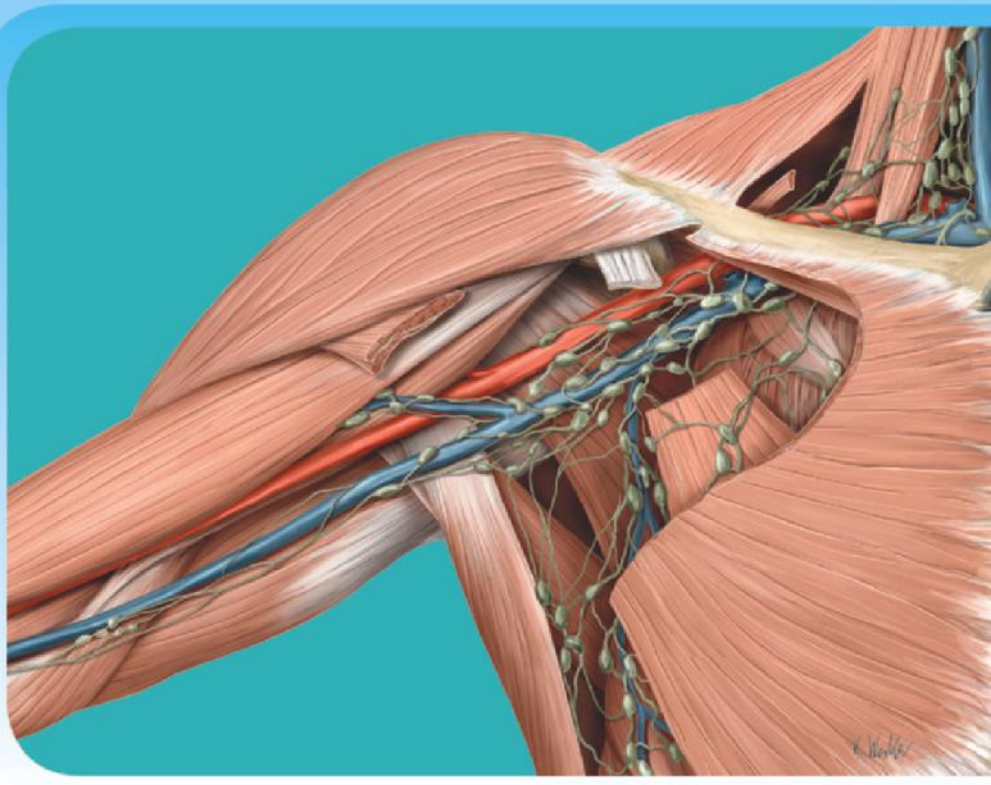
Taschenlehrbuch Anatomie

Online-Version

Joachim Kirsch
Christian Albrecht May
Dietrich Lorke
Andreas Winkelmann
Wolfgang Schwab
Gudrun Herrmann
Richard Funk

2. Auflage



Thieme

Auf einen Blick

Allgemeine Anatomie	**Bauplan des Körpers**	**1**
	Bewegungsapparat	**2**
	Kreislauf- und Lymphsystem	**3**
	Gewebe, Organe, seröse Höhlen	**4**
	Schleimhaut und Drüsen	**5**
	Nervensystem	**6**
	Embryologische Grundlagen	**7**
Bewegungsapparat	**Entwicklung und funktionelle Zusammenhänge**	**8**
	Rumpfwand	**9**
	Untere Extremität	**10**
	Obere Extremität	**11**
Brust-, Bauch- und Beckeneingeweide	**Embryonalentwicklung der serösen Höhlen**	**12**
	Brusteingeweide	**13**
	Baucheingeweide	**14**
	Beckeneingeweide und äußere Geschlechtsorgane	**15**
Hals, Kopf, Sinnes- und Nervensystem	**Hals**	**16**
	Kopf	**17**
	Haut und Hautanhangsgebilde	**18**
	Zentrales Nervensystem	**19**
Anhang	**Systematik der Muskeln und Leitungsbahnen**	**20**
	Systematik der quergestreiften Muskeln	20.1
	Systematik der Arterien	20.2
	Systematik der Venen	20.3
	Systematik der Lymphstämme und Lymphknoten	20.4
	Systematik der Nerven	20.5

Thieme

Taschenlehrbuch Anatomie

Joachim Kirsch
Christian Albrecht May
Dietrich Lorke
Andreas Winkelmann
Wolfgang Schwab †
Gudrun Herrmann
Richard Funk

2., überarbeitete Auflage

354 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter

www.thieme.de/service/feedback.html



Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse. Ganz besonders gilt das für die Behandlung und die medikamentöse Therapie. Bei allen in diesem Werk erwähnten Dosierungen oder Applikationen dürfen Sie darauf vertrauen: Autoren, Herausgeber und Verlag haben große Sorgfalt darauf verwandt, dass diese Angaben dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entsprechen.
Eine Garantie kann jedoch nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors, des Verlags oder seiner Beauftragten für Personen-, Sach- oder Vermögensschäden ist ausgeschlossen.
Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®) werden nicht immer besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

1. Auflage 2011

© 2011, 2017 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstr. 14
70469 Stuttgart
Deutschland
www.thieme.de

Printed in Germany

Zeichnungen: Markus Voll, München; Karl Wesker, Berlin
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlagfoto: Karl Wesker, Berlin, aus Prometheus, LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem, 4. Auflage, Thieme, 2014
Satz: Druckhaus Götz GmbH, Ludwigsburg
Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

DOI 10.1055/b-004-135 641

ISBN 978-3-13-144992-4 1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-162512-0
eISBN (epub) 978-3-13-240350-5

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen oder die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Vorwort

Die 1. Auflage des Taschenlehrbuchs Anatomie ist 2010 mit dem Anspruch angetreten, „dem Anfänger die im Gegenstandskatalog des IMPP in Anatomie geforderten Kenntnisse im relevanten klinischen Kontext zu vermitteln und den informierten Studierenden, mit Hilfe einer komprimierten Systematik, eine rasche Orientierung und eine umfassende Wiederholung zu ermöglichen".

Die freundliche Aufnahme, die das Taschenlehrbuch in den vergangenen Jahren bei Fachkollegen, vor allem aber bei den Studierenden gefunden hat, zeigt, dass dieses Konzept in den Grundzügen aufgegangen ist. Es wurde daher für die 2. Auflage unverändert übernommen.

Zu den Kernelementen des Taschenlehrbuches gehören die gute Lesbarkeit des Lehrtextes, ein übersichtliches Layout und bereits im Schriftbild hervorgehobene relevante Begriffe. Die wichtigen anatomischen Strukturen sind bereits im Text mit den Ziffern versehen, unter denen sie in der zugehörigen Abbildung auftauchen. Die Abbildungen selbst wurden wie zuvor weitgehend aus den Prometheus-Atlanten übernommen und den Bedürfnissen dieses Taschenbuches angepasst. Die reduktionistische Ansicht der Projektion von stilisierten Muskeln auf die entsprechenden Skelettelemente, soll die Funktionen der Muskeln unmittelbar veranschaulichen und intuitiv verständlich machen. Bereits Leonardo da Vinci beschrieb diese didaktische Reduktion und setzte sie in seinen berühmten anatomischen Zeichnungen ein. Sie hat sich auch im Taschenlehrbuch bewährt.

Klinische Aspekte sind grün hinterlegt und mit einem Klinik-Symbol gekennzeichnet. Sie illustrieren die Bedeutung der zuvor erörterten anatomischen Zusammenhänge. Die umfangreiche Systematik im Anhang ist besonders nützlich, um bereits erarbeitete Kenntnisse (z. B. vor Prüfungen) konzentriert und effizient aufzufrischen. Die Umstellung auf ein größeres Format sorgt für mehr Übersicht und weniger Umfang, ohne dass durch Kürzungen bedingte inhaltliche Kompromisse eingegangen werden müssen. Vielmehr erhoffen wir uns davon, dass die Lesbarkeit des Buches dadurch noch einmal verbessert wird, weil nun größere Zusammenhänge in unmittelbarer Nachbarschaft dargestellt werden können.

Korrigiert wurden selbstverständlich fehlerhafte oder missverständliche Formulierungen. Herzlichen Dank an dieser Stelle den Studierenden und Kollegen, die sich die Mühe gemacht haben, uns auf diese Punkte aufmerksam zu machen. Selbstverständlich wurde der Text auch auf den neuesten Stand der Wissenschaft und ihrer einschlägigen Terminologie (Terminologia anatomica) gebracht. Für kritische Rückmeldungen und weitere Verbesserungsvorschläge sind die Autoren stets offen.

Die Initiative zu diesem Taschenlehrbuch stammt von Frau Marianne Mauch vom Georg Thieme Verlag. Für ihren vielfältigen Einsatz für dieses Buch sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Der Dank der Autoren gilt auch den Herren Karl Wesker und Markus Voll für die gelungene Adaption der Prometheus-Grafiken und die perfekte Umsetzung unserer Vorschläge sowie Herrn Thomas Böttcher für die souveräne Redaktion der Texte. Ebenso danken wir Frau Tamara Werner vom Georg Thieme Verlag für die Betreuung der 2. Auflage.

Wir wünschen der 2. Auflage eine ebenso freundliche Aufnahme durch Studierende und Kollegen – auf dass sie allen viel Nutzen bringen möge.

Die Autoren im Juni 2017

Das was man sieht, sagt einem nichts, wenn man nicht schon vorher weiß, wonach man suchen muss.
Peter B. Medawar,
Nobelpreisträger für Medizin 1960

Anschriften

Prof. Dr. med. Richard **Funk**
Medizinische Fakultät der TU Dresden
Institut für Anatomie
Fetscherstr. 74
01307 Dresden

PD Dr. med. Gudrun **Herrmann**
Institut für Anatomie der Universität Bern
Baltzerstrasse 2, Postfach
3000 Bern 9
Schweiz

Prof. Dr. med. Joachim **Kirsch**
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Institut für Anatomie und Zellbiologie
Im Neuenheimer Feld 307
69120 Heidelberg

Prof. Dr. med. Dietrich E. **Lorke**
Florida International University
Department of Cellular Biology & Pharmacology
11 200 SW 8th Street, GL 495E
33199 Miami FL
USA

Prof. Dr. med. Christian Albrecht **May**
Medizinische Fakultät der TU Dresden
Institut für Anatomie
Fetscherstr. 74
01307 Dresden

PD Dr. med. habil. Wolfgang **Schwab** (†)
ehem. Medizinische Fakultät der TU Dresden

Prof. Dr. med. Andreas **Winkelmann**
Medizinische Hochschule Brandenburg -
Theodor Fontane
Institut für Anatomie
Fehrbelliner Str. 38
16816 Neuruppin

Teil 1

Allgemeine Anatomie

1 Bauplan des Körpers *16*

2 Bewegungsapparat *24*

3 Kreislauf- und Lymphsystem *39*

4 Gewebe, Organe, seröse Höhlen *52*

5 Schleimhaut und Drüsen *55*

6 Nervensystem *58*

7 Embryologische Grundlagen *72*

1

1 Bauplan des Körpers

Joachim Kirsch

Das *äußere Erscheinungsbild* eines Organismus oder seiner Teile bezeichnet man als **Gestalt**. Dem gegenüber steht das *innere Gefüge*, die **Struktur**. In Abhängigkeit von der Fragestellung können strukturelle Untersuchungen je nach gewünschter „Auflösung" vom makroskopischen über den mikroskopischen bis zum molekularen Bereich durchgeführt werden.

Der Begriff **„Anatomie"** leitet sich von der griechischen Präposition ανα, „hinein", „hinauf" und dem Verb τεμνειν für „schneiden" ab. Erst anatomische Sektionen haben aus der jahrhundertelang stagnierenden ärztlichen „Kunst" eine moderne **Wissenschaft** gemacht, die sich zum Wohl der Patienten stetig weiter entwickelt. Moderne Anatomen „zergliedern" nicht mehr ausschließlich mit dem Skalpell. Anatomische Untersuchungen umfassen neben der **makroskopischen** Ebene selbstverständlich auch **mikroskopische** und **ultrastrukturelle** Studien. Besonders vielversprechend ist der Aufbruch in **molekulare** Dimensionen, wo zusammen mit den medizinischen Grundlagenfächern Biochemie und Physiologie die wissenschaftlichen Grundlagen für die Prophylaxe, Diagnostik, Therapie und Rehabilitation von Erkrankungen erarbeitet werden. Der Anatomie geht es um die Aufklärung von Struktur-Funktions-Beziehungen, und in diesem Bemühen wurde inzwischen eine molekulare „Auflösung" erreicht. Daher bilden anatomische Kenntnisse nach wie vor eine wesentliche Grundlage ärztlichen Handelns. Das Fach wird klassischerweise eingeteilt in:

- makroskopische Anatomie,
- mikroskopische Anatomie,
- Embryologie/Entwicklungsgeschichte

Die Embryologie ist weitgehend der molekular und funktionell orientierten Entwicklungsbiologie gewichen. Die **deskriptive Anatomie** beschreibt Befunde aus den genannten Teilgebieten der Anatomie, während die **funktionelle Anatomie** Befunde zu einem funktionellen Zusammenhang verbindet.

1.1 Gliederung und Messgrößen des Körpers

Der Grundbauplan des menschlichen Körpers folgt dem der **Wirbeltiere**. Hinzu kommen **säugetier**spezifische Merkmale sowie Besonderheiten des Baus, wie sie nur bei den nächsten Verwandten im Tierreich, den **Primaten** und insbesondere den **Hominiden** (**Menschenaffen**), vorkommen. Schließlich gibt es ganz spezifische Merkmale, durch welche sich der Bau des menschlichen Körpers von dem der Hominiden unterscheidet.

Das namengebende morphologische Merkmal aller **Wirbeltiere** (Vertebraten) ist die **Wirbelsäule**. Typisch für Wirbeltiere ist außerdem die Ausbildung einer mehrschichtigen Epidermis und eines **Gehirns**, das zusammen mit den großen Sinnesorganen, von einer schützenden Kapsel umgeben wird.

Das namengebende morphologische Merkmal aller **Säugetiere** ist die Ausbildung der **Brust-** oder **Milchdrüse** (Glandula mammaria). Weitere Merkmale sind Lippen und Wangen (saugen!), die spezifische Ausbildung des **Endhirns** (Telencephalon) mit einem neuen Typ der Hirnrinde und die vorgeburtliche Entwicklung im Mutterleib unter Ausbildung einer **Plazenta**. Die meisten Säugetiere besitzen außerdem ein dichtes Haarkleid.

Unsere nächsten Verwandten sind die **Primaten** (Affen) und von diesen wiederum die Menschenaffen (**Hominidae**). Zu diesen werden die Orang-Utans, Gorillas, Schimpansen und auch der Mensch gerechnet. Ein Vergleich des genetischen Materials von Mensch und Schimpanse zeigt, dass das Erbgut von Schimpansen zu 98,8 % mit dem des Menschen übereinstimmt. Zu den gemein-

samen morphologischen Merkmalen der Hominiden zählen u. a. ein ausgeprägter **Geschlechtsdimorphismus**, eine verringerte Anzahl von Lendenwirbeln und eine charakteristische **Krümmung der Brustwirbelsäule** (Brustkyphose).

Die morphologischen Besonderheiten des **Menschen** hängen mit der dauerhaft **aufrechten Körperhaltung** zusammen. Die Darmbeine sind verbreitert und gegen das Sitzbein abgewinkelt, sodass die kleinen Gesäßmuskeln das Becken auch beim Stand auf einem Bein in der Waagerechten halten können. Diese Veränderung schafft die Voraussetzung für **bipedales Gehen**. Die Lendenwirbelsäule erfährt eine charakteristische Krümmung (**Lendenlordose**). Somit können die Beine allein den Körper tragen und der Fortbewegung dienen. Hierzu sind auch die **Fußgewölbe** in typischer Weise umgestaltet.

Die Arme können ausschließlich zum Greifen benutzt werden. Um einen „Pinzettengriff" zu ermöglichen, muss der **Daumen** opponierbar sein, d. h. den übrigen Fingern gegenübergestellt werden können, was wiederum eine Voraussetzung für Werkzeugentwicklung und -gebrauch ist. Die aufrechte Körperhaltung führt auch dazu, dass das **Foramen magnum**, über das die Schädelhöhle mit dem Wirbelkanal in Verbindung steht, nach **basal** verlagert wird. Mit der Vergrößerung der Endhirnhemisphären nimmt das **Schädelvolumen** zu. Dem muss sich das weibliche **Becken** anpassen, damit der relativ große Kopf eines menschlichen Neugeborenen durch den Geburtskanal passt.

1.1.1 Gliederung des menschlichen Körpers

Regionale Gliederung

Am menschlichen Körper unterscheidet man zur regionalen Gliederung den **Stamm** und die paarigen **oberen** und unteren Gliedmaßen (**Extremitäten**). Der Stamm wird wiederum untergliedert in Kopf (**Caput**), Hals (**Collum**) und Rumpf (**Truncus**).

Kopf. Das Skelett des Kopfes wird **Schädel** (**Cranium**) genannt. Man unterscheidet den Hirnschädel (**Neurocranium**) zur Aufnahme des Gehirns und den Eingeweideschädel (**Viscerocranium**) mit Mund- und Nasen-Rachen-Raum.

Hals. Die Halswirbelsäule ist von der Halsmuskulatur bedeckt. Den Hals durchziehen zahlreiche Leitungsbahnen. Zu den Eingeweiden des Halses zählen Rachen (**Pharynx**), Kehlkopf (**Larynx**), die Anfangsabschnitte von Speise- und Luftröhre (**Oesophagus** bzw. **Trachea**), Schilddrüse (**Glandula thyroidea**) und Nebenschilddrüsen (**Glandulae parathyroideae**).

Rumpf. Der Rumpf wird in Brust (**Thorax**) und Bauch (**Abdomen**) unterteilt. Beide beinhalten die Körperhöhle, die durch das Zwerchfell (**Diaphragma**) in Brust- und Bauchraum (**Cavitas thoracis** und **abdominalis**) getrennt wird. Die Wirbelsäulenabschnitte aus Brust- und Lendenbereich, Kreuz- und Steißbein bilden das **Achsenskelett** dieser Körperregion. Knöcherner Brustkorb und Beckenknochen grenzen den Rumpf nach vorn bzw. unten ab. Knochen und Muskulatur bilden die Rumpfwand, wobei der Bauchraum nach vorne lediglich durch die Bauchmuskulatur abgeschlossen wird.

Der **Brustraum** (**Cavitas thoracis**) beherbergt die rechte und linke Pleurahöhle (**Cavitas pleuralis**), die durch den Mittelfellraum (**Mediastinum**) voneinander getrennt werden. In den Pleurahöhlen liegen die beiden **Lungen**. Im Mediastinum liegen Teile von Oesophagus, Trachea und der großen Gefäße sowie der **Thymus** und die Herzbeutelhöhle (Cavitas pericardialis) mit dem **Herzen**.

Der **Bauchraum** (**Cavitas abdominalis**) enthält die **Peritonealhöhle** (Cavitas peritonealis), die vom **Peritoneum** ausgekleidet ist, sowie den **Extraperitonealraum**. In der Peritonealhöhle liegen die vom viszeralen Blatt des Peritoneums umkleideten Teile des **Darms**, außerdem **Leber** und **Milz**. Den Abschnitt des Extraperitonealraums zwischen Hinterwand der Peritonealhöhle und Vorderseite der hinteren Rumpfwand nennt man **Retroperitonealraum** (Spatium retroperitoneale). Hier liegen die **Nieren** und **Nebennieren**, das **Pancreas** sowie Leitungsbahnen.

Der **Beckenraum** (**Cavitas pelvis**) setzt den Bauchraum nach unten fort. Den unteren Abschluss des knöchernen Beckens bildet eine Muskelplatte, der **Beckenboden**. An der Beckenwand und am Beckenboden befestigte Organe sind die Beckeneingeweide. Zu ihnen gehören Mastdarm (**Rectum**), Analkanal (**Canalis analis**), Harnblase (**Vesica urinaria**) und **innere Geschlechtsorgane**. Den Abschnitt zwischen der Rückseite des Schambeins und der Vorderwand der Beckenhöhle, die an dieser Stelle von der Harnblase gebildet wird, bezeichnet man als **Spatium retropubicum**.

Funktionelle Gliederung

Bei der funktionellen Gliederung versteht man unter „Organ“ eine **Funktionseinheit**, die aus mehreren **Geweben** zusammengesetzt ist, eine umrissene **Gestalt** und **Struktur** aufweist und **spezifische** Aufgaben erfüllt. Kooperieren mehrere Organe bei der Durchführung **komplexer Funktionen**, können diese zu einem **Organsystem** oder einem „**Apparat**“ zusammengefasst werden.

Da ein Organ stets an unterschiedlichen Körpervorgängen beteiligt ist, ist eine Zusammenstellung zu Systemen in gewissem Maße willkürlich. Sie erleichtert jedoch ein funktionelles Verständnis des Körpers.

Tab. 1.1 Einteilung funktioneller Systeme

System/Apparat	Subsystem
Bewegungsapparat	• *passiver* Teil: Skelett und Knochenverbindungen • *aktiver* Teil: Skelettmuskulatur
Stoffwechselapparat	• Herz-Kreislauf-System • lymphatisches System • Atmungssystem • Verdauungssystem • Harnsystem • endokrines System
Urogenitalapparat	• Harnsystem • Genitalapparat
Kommunikationsapparat	• Nervensystem • Sinnesorgane inklusive Haut

1.1.2 Achsen und Ebenen, Lage- und Richtungsbezeichnungen

Für eine standardisierte Betrachtung wurden 3 **senkrecht aufeinander stehende Hauptachsen** und die durch diese **festgelegten Ebenen** ausgewählt.

Achsen und Ebenen

Die Bezeichnung der Hauptachsen und Ebenen ist unabhängig von der Körperlage (stehend, liegend) und ermöglicht so eine eindeutige Beschreibung. Die **Achsen** dienen der Beschreibung von Bewegungsrichtungen (▶ Tab. 1.2). Die **Ebenen** stehen senkrecht aufeinander und definieren ein dreidimensionales **Koordinatensystem** (▶ Tab. 1.3, ▶ **Abb. 1.1**). Ohne Verständnis der Ebenen ist eine Interpretation der Darstellungen moderner bildgebender Verfahren (CT, MRT) unmöglich.

Tab. 1.2 Hauptachsen des menschlichen Körpers (s. ▶ **Abb. 1.1**)

Achse	Ausrichtung	Verbindung
Longitudinalachse[2]	kranial – kaudal (beim Stehenden: vertikal)	vom Scheitel zur Sohle; trifft senkrecht auf der Standfläche auf
Transversalachse[6]	lateral – medial (beim Stehenden: horizontal)	zwischen sich entsprechenden Punkten der rechten und linken Körperhälfte
Sagittalachse[4]	ventral – dorsal	zwischen Vorder- und Rückseite des Körpers

Tab. 1.3 Hauptebenen des menschlichen Körpers (s. ▶ **Abb. 1.1**)

Anatomische Ebene	Radiologische Schnittebene	Verlauf	Gliederung des Körpers
Frontalebene[1]	koronar	parallel zur Stirn bzw. Koronarnaht	beliebig viele Ebenen von ventral nach dorsal
Transversalebene[5]	axial	parallel zur (gedachten) Standfläche	beliebig viele Ebenen von kranial nach kaudal
Sagittalebene[3]	sagittal	senkrecht zur Körperoberfläche, ventrodorsal	beliebig viele Ebenen von medial nach lateral
Medianebene (Mediosagittalebene)	sagittal	wie Sagittalebene, aber genau in der Mittelinie zwischen rechter und linker Seite	2 längs geteilte Körperhälften

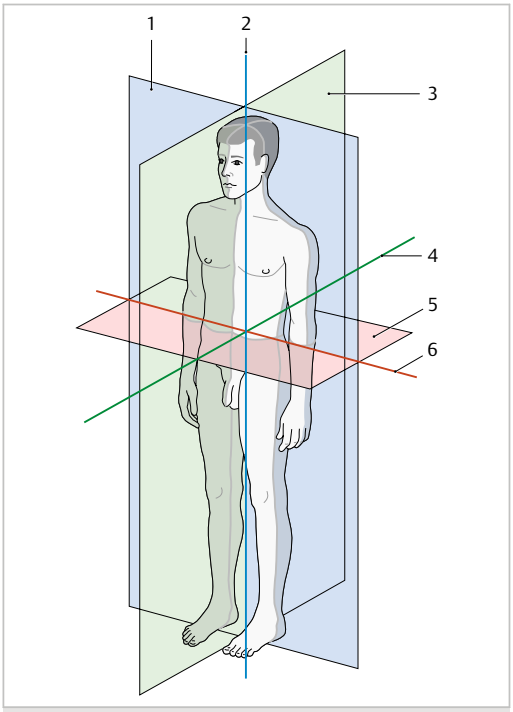


Abb. 1.1 Hauptebenen und -achsen. Neutral-Null-Stellung in der Ansicht von ventral oben links.
1 Frontalebene
2 Longitudinalachse
3 Sagittalebene (Mediosagittalebene)
4 Sagittalachse
5 Transversalebene
6 Transversalachse
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Lage- und Richtungsbezeichnungen

Die Richtungs- und Lagebezeichnungen gehen von einem Bezugspunkt, der **anatomischen Normalposition** aus. Hierunter versteht man einen stehenden Menschen mit nach vorn gerichtetem Blick, supinierten Händen (Handflächen nach vorn) und parallel stehenden Füßen. Bei der **Neutral-Null-Stellung** dagegen weisen die Handflächen zum Körper hin.

Lagebezeichnungen sind relativ. So bedeutet „medialis" in der Regel: diejenige von 2 oder mehr Strukturen, die Richtung Mittellinie liegt. Die Angaben der Lage- und Richtungsbezeichnungen an den Extremitäten folgen einer eigenen Terminologie (▶ Tab. 1.4).

Bei **Seitenangaben** gibt man rechts und links immer aus der Sicht des Patienten an.

Die natürlichen Bewegungen des Körpers im sind meist komplex. Man kann sie sich als Summe elementarer Bewegungen mit definierter Richtung vorstellen (▶ Tab. 2.3).

1.1.3 Wachstum, biometrische Größen, Proportionen

Einfache **biometrische Merkmale** sind Körpergröße und -gewicht. Unter **Körpergröße** versteht man die Länge der Strecke vom Scheitel zur Fußsohle. Die maximal erreichbare Körpergröße ist genetisch bestimmt, wird aber von der Ernährung entscheidend beeinflusst. In den Industrienationen nimmt die mittlere Körpergröße stetig zu (**Akzeleration**). Das **Körpergewicht** wird von der Körpergröße mitbestimmt und kann je nach **Ernährung** und **Ernährungsgewohnheiten** stark schwanken. Darüber hinaus unterliegen Körpergewicht, Körpergröße und die **Proportionierung** starken entwicklungsbedingten Veränderungen.

Bei neugeborenen Jungen beträgt die **Körpergröße** 52,4 ± 3,5 cm bei 3,6 ± 0,6 kg, bei Mädchen 52 ± 3 cm bei 3,5 ± 0,6 kg. Die Wachstumsphase vollzieht sich in **Schüben** und ist bei Mädchen mit 17–18 Jahren, bei Jungen mit 18–19 Jahren abgeschlossen.

Im **1. Halbjahr** des nachgeburtlichen Lebens ist die Wachstumsrate besonders **hoch**. Zwischen dem 3. und 10. Lebensjahr bleibt die Wachstumsrate nahezu **konstant** (5–6 cm/Jahr). Um das 6. Lebensjahr kann es zu einer **Stagnation** kommen, die von einem **präpubertären Wachstumsschub** abgelöst wird.

Im Jahr 2013 betrug die **mittlere Körpergröße** eines erwachsenen, in Deutschland lebenden Mannes 178 cm bei einen **Durchschnittsgewicht** von 84,3 kg, die einer Frau 165 cm bei einem Durchschnittsgewicht von 68,4 kg. Abweichungen des Körperwachstums von der Norm sind in ▶ Tab. 1.5 zusammengestellt.

Tab. 1.4 Richtungs- und Lagebezeichnungen

Bezeichnung	Herkunft	Bedeutung
allgemein		
kranial, superior, -us	cranium (lat.): Schädel	zum Kopfende hin
kaudal, inferior, -us	cauda (lat.): Schwanz	zum Steiß hin
dexter	lat.: rechts	rechts
sinister	lat.: links	links
ventral, anterior, -us	venter (lat.): Bauch	zur Vorderfläche (Bauchseite) hin
dorsal, posterior, -us	dorsum (lat.): Rücken	zur Rückfläche (Rückenseite) hin
medial	medium (lat.): Mitte	zur Mitte (Medianebene) hin
lateral	latus (lat.): Seite	von der Medianebene weg
median	Grenze zwischen 2 Hälften	in der Medianebene
profundus	lat.: tief	tief gelegen
superficialis	lat.: oberflächlich	oberflächlich gelegen
internus	lat.: innen	innen gelegen
externus	lat.: außen	außen gelegen
zentral	centrum (lat.): Mittelpunkt	zum Körperinnern hin
peripher	lat./griech.: Umlauf, das Herumtragen	zur Körperoberfläche hin
Kopf		
rostral	rostrum (lat.): Schnabel	nach vorne
frontal	frons (lat.): Stirn	zur Stirn hin
nasal	nasus (lat.): Nase	zur Nase hin
okzipital	occiput (lat.): Hinterhaupt	Richtung Hinterhaupt
basal	basis (griech.): Grundlage	Richtung Schädelbasis
Extremitäten allgemein		
proximal	proximus (lat.): nächster	zum Rumpf hin
distal	distalis (lat.): entfernt	vom Rumpf weg
obere Extremität		
radial	radius (lat.): Speiche	zur Daumeseite hin
ulnar	ulna (lat.): Elle	zur Kleinfingerseite hin
palmar	palma (lat.): Handfläche	zur Handfläche hin
dorsal	dorsum (lat.): Rücken	zum Handrücken hin
untere Extremität		
tibial	tibia (lat.): Flöte, Schienbein	zur Großzehenseite hin
fibular	fibula (lat.): Wadenbein	zur Kleinzehenseite hin
plantar	planta (lat.) Fußsohle	zur Fußsohle hin
dorsal	dorsum (lat.): Rücken	zum Fußrücken hin

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wird in den USA und Europa eine Beschleunigung des Wachstums (**Akzeleration**) beobachtet, die sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts allerdings etwas abschwächte. Die Akzeleration umfasst die **Erhöhung der Geburtsmaße**, eine Beschleunigung der **Entwicklungsgeschwindigkeit**, ein früheres **Eintreten der Pubertät** und **gesteigerte Körpermaße** nach dem Ende der Wachstumsperiode. So betrug 2013 die durchschnittliche Körpergröße einer 18–20 Jahre alten Frau 1,68 m, während sie bei über 75-jährigen nur 1,62 m betrug (bei Männern: 1,81 m im Vergleich zu 1,73 m). Die Gründe für die Akzeleration werden den sich stetig verbessernden soziokulturellen Lebensbedingungen und einer proteinreichen Ernährung zugeschrieben.

Tab. 1.5 Von der Norm abweichendes Körperwachstum.

Bezeichnung	Kriterien	Frau	Mann
Zwergwuchs (Nanosomie)	Körpergröße < μ − 3σ	< 148 cm	< 157,2 cm
Minderwuchs (Mikrosomie)	μ − 3σ < Körpergröße < μ − 1σ	148–159,6 cm	157,2–171 cm
Hochwuchs (Makrosomie)	μ + 1σ < Körpergröße < μ + 3σ	171,2–182,8 cm	184,8–198,6 cm
Riesenwuchs (Hypersomie, Gigantismus)	Körpergröße > μ + 3σ	> 182,8 cm	> 198,6 cm

μ = Durchschnittswert der Körpergröße; σ = Standardabweichung. Die Zahlenwerte in den beiden rechten Spalten gelten für in Deutschland lebende Erwachsene.

Sozialer Status und **Körpergröße** korrelieren in den Industriestaaten. Menschen aus der sozialen Oberschicht sind signifikant größer als diejenigen der mittleren oder Unterschicht.

Das **Körpergewicht** hängt ab von der Körpergröße, der Ernährung und der Funktion endokriner Drüsen. In den Industrienationen steigt das durchschnittliche Körpergewicht überproportional zur Zunahme der Körpergröße an, was auf Ernährungsgewohnheiten (fett- und kohlenhydratreich) und unzureichende Bewegung zurückgeführt wird.

Als Maß zur Beurteilung der Relation zwischen Körpergröße und -gewicht dient der **Body Mass Index** (**BMI**, ▶ Tab. 1.6). Zu seiner Berechnung wird das Körpergewicht (in kg) durch das Quadrat der Körpergröße (in m) geteilt.

Die **Körperoberfläche** hängt nichtlinear von der Körpergröße und dem Gewicht ab, weshalb zu ihrer Bestimmung entweder Formeln oder **Nomogramme** eingesetzt werden. Die Körperoberfläche beeinflusst die Abgabe von **Wasser** und eines Großteils der **Körperwärme**. Für die Regulation des Energiehaushalts ist sie daher ein wichtiger Parameter. Sie beträgt bei Männern durchschnittlich ca. 1,9 m^2 und bei Frauen 1,6 m^2.

Die **Proportionen**, also die Größenverhältnisse der einzelnen Körperteile zueinander, variieren innerhalb enger Grenzen zwischen unterschiedlichen Individuen. Da sich Organe, Organsysteme und Körperabschnitte bereits vor der Geburt, aber auch danach in unterschiedlichem Tempo entwickeln (**heterochrones Wachstum**), entstehen Proportionsveränderungen und -verschiebungen (**Allometrien**). Das Wachstum des Gehirns eilt dem Wachstum der übrigen Körperabschnitte voraus. Der Kopf macht beim Neugeborenen etwa 25 % der Körperlänge aus, beim 6-jährigen Kind 17 % und beim Erwachsenen nur noch 12,5 %. In gleichem Maße nimmt der Anteil der unteren Extremitäten an der Körperlänge zu. Folglich liegt die **Mitte des Körpers** beim Neugeborenen auf der Höhe des Nabels, beim 6-jährigen Kind etwa zwischen Nabel und Symphyse und beim Erwachsenen am Ober- (Frau) bzw. Unterrand (Mann) der Symphyse.

Tab. 1.6 Beurteilung des Körpergewichts nach dem Body Mass Index (BMI).

Bezeichnung	BMI [kg/m^2]
Untergewicht	BMI < 17 (Minimum 12; entspricht 48 kg bei 1,96 m)
Normalgewicht	18 < BMI < 25
Übergewicht	25 < BMI < 30
Adipositas	30 < BMI < 40
starke Adipositas	40 < BMI < 55 (Maximum; entspricht 120 kg bei 1,48 m)

1.2 Primäre und sekundäre Geschlechtsmerkmale

Primäre Geschlechtsmerkmale sind die bereits vor der Geburt gebildeten primären Geschlechtsorgane (Synonyme: Keimdrüsen, Gonaden), also die jeweils paarigen Hoden (*Testes*) beim Mann und Eierstöcke (*Ovarien*) bei der Frau. Hinzu kommen die ableitenden Geschlechtswege (Ductus deferens, Tuba ovarica) und äußeren Geschlechtsorgane (Penis, Schamlippen) als sekundäre Geschlechtsorgane.

Sekundäre Geschlechtsmerkmale sind geschlechtsspezifische Merkmale des **Körperbaus**, die nicht unmittelbar mit den Sexualfunktionen in Zusammenhang stehen. Sie werden erst während der **Pubertät** ausgebildet.

Tab. 1.5 Von der Norm abweichendes Körperwachstum.

Bezeichnung	Kriterien	Frau	Mann
Zwergwuchs (Nanosomie)	Körpergröße < μ − 3σ	< 148 cm	< 157,2 cm
Minderwuchs (Mikrosomie)	μ − 3σ < Körpergröße < μ − 1σ	148–159,6 cm	157,2–171 cm
Hochwuchs (Makrosomie)	μ + 1σ < Körpergröße < μ + 3σ	171,2–182,8 cm	184,8–198,6 cm
Riesenwuchs (Hypersomie, Gigantismus)	Körpergröße > μ + 3σ	> 182,8 cm	> 198,6 cm

μ = Durchschnittswert der Körpergröße; σ = Standardabweichung. Die Zahlenwerte in den beiden rechten Spalten gelten für in Deutschland lebende Erwachsene.

Sozialer Status und **Körpergröße** korrelieren in den Industriestaaten. Menschen aus der sozialen Oberschicht sind signifikant größer als diejenigen der mittleren oder Unterschicht.

Das **Körpergewicht** hängt ab von der Körpergröße, der Ernährung und der Funktion endokriner Drüsen. In den Industrienationen steigt das durchschnittliche Körpergewicht überproportional zur Zunahme der Körpergröße an, was auf Ernährungsgewohnheiten (fett- und kohlenhydratreich) und unzureichende Bewegung zurückgeführt wird.

Als Maß zur Beurteilung der Relation zwischen Körpergröße und -gewicht dient der **Body Mass Index** (**BMI**, ▶ Tab. 1.6). Zu seiner Berechnung wird das Körpergewicht (in kg) durch das Quadrat der Körpergröße (in m) geteilt.

Die **Körperoberfläche** hängt nichtlinear von der Körpergröße und dem Gewicht ab, weshalb zu ihrer Bestimmung entweder Formeln oder **Nomogramme** eingesetzt werden. Die Körperoberfläche beeinflusst die Abgabe von **Wasser** und eines Großteils der **Körperwärme**. Für die Regulation des Energiehaushalts ist sie daher ein wichtiger Parameter. Sie beträgt bei Männern durchschnittlich ca. 1,9 m^2 und bei Frauen 1,6 m^2.

Die **Proportionen**, also die Größenverhältnisse der einzelnen Körperteile zueinander, variieren innerhalb enger Grenzen zwischen unterschiedlichen Individuen. Da sich Organe, Organsysteme und Körperabschnitte bereits vor der Geburt, aber auch danach in unterschiedlichem Tempo entwickeln (**heterochrones Wachstum**), entstehen Proportionsveränderungen und -verschiebungen (**Allometrien**). Das Wachstum des Gehirns eilt dem Wachstum der übrigen Körperabschnitte voraus. Der Kopf macht beim Neugeborenen etwa 25 % der Körperlänge aus, beim 6-jährigen Kind 17 % und beim Erwachsenen nur noch 12,5 %. In gleichem Maße nimmt der Anteil der unteren Extremitäten an der Körperlänge zu. Folglich liegt die **Mitte des Körpers** beim Neugeborenen auf der Höhe des Nabels, beim 6-jährigen Kind etwa zwischen Nabel und Symphyse und beim Erwachsenen am Ober- (Frau) bzw. Unterrand (Mann) der Symphyse.

Tab. 1.6 Beurteilung des Körpergewichts nach dem Body Mass Index (BMI).

Bezeichnung	BMI [kg/m^2]
Untergewicht	BMI < 17 (Minimum 12; entspricht 48 kg bei 1,96 m)
Normalgewicht	18 < BMI < 25
Übergewicht	25 < BMI < 30
Adipositas	30 < BMI < 40
starke Adipositas	40 < BMI < 55 (Maximum; entspricht 120 kg bei 1,48 m)

1.2 Primäre und sekundäre Geschlechtsmerkmale

Primäre Geschlechtsmerkmale sind die bereits vor der Geburt gebildeten primären Geschlechtsorgane (Synonyme: Keimdrüsen, Gonaden), also die jeweils paarigen Hoden (*Testes*) beim Mann und Eierstöcke (*Ovarien*) bei der Frau. Hinzu kommen die ableitenden Geschlechtswege (Ductus deferens, Tuba ovarica) und äußeren Geschlechtsorgane (Penis, Schamlippen) als sekundäre Geschlechtsorgane.

Sekundäre Geschlechtsmerkmale sind geschlechtsspezifische Merkmale des **Körperbaus**, die nicht unmittelbar mit den Sexualfunktionen in Zusammenhang stehen. Sie werden erst während der **Pubertät** ausgebildet.

Tab. 1.7 Sekundäre Geschlechtsmerkmale

Männlich	Weiblich
Gesichtsbehaarung (Bart)	Brustdrüse
ausgeprägte Körperbehaarung	spärliche Körperbehaarung
Haaransatz in Form von „Geheimratsecken“	Haaransatz gleichmäßig oval
stark ausgebildetes Skelett und Muskulatur	mehr subkutanes Fettgewebe
Schulter breiter als Hüfte	Schulter und Hüfte ungefähr gleich breit
Beckenform wie Spielkartenherz	Beckenform queroval
ausgeprägter Schildknorpel	Becken niedriger und breiter

Während das **genetische Geschlecht** und die Ausbildung der **primären Geschlechtsmerkmale** genetisch bestimmt sind, wird die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale durch die vor der **Pubertät** beginnende Sekretion von **Gonadotropinen** aus der Hypophyse eingeleitet. Die Gonadotropine stimulieren die Reifung der Gonaden und die Sekretion der Geschlechtshormone (Androgene bzw. Östrogene). Männliche und weibliche sekundäre Geschlechtsmerkmale sind in ▶Tab. 1.7 zusammengefasst.

1.3 Körperbautypen (Konstitutionstypen)

Das individuelle Erscheinungsbild eines Menschen ist genetisch bedingt, wird aber von psychischen (Einfluss des Nervensystems auf die Steuerung endokriner Drüsen) und exogenen (Verfügbarkeit von Nahrung, körperliche Aktivität) Faktoren entscheidend beeinflusst.

Der Begriff „**Konstitution**“ ist nicht eindeutig definiert und wird in der Klinik oft im Sinne von **Disposition** („Krankheitsbereitschaft“) benutzt. Die Kenntnis der Konstitution eines Patienten ist für den Arzt von Bedeutung, weil sie Hinweise auf die körperliche, aber auch geistige und seelische **Grundstruktur** eines Menschen geben kann. Eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Körperbautyp ist selten möglich, da die meisten Menschen eher **Mischtypen** sind.

Eine im klinischen Alltag noch immer gebräuchliche Einteilung der Konstitutionstypen wurde von dem Psychiater Ernst **Kretschmer** um die Mitte des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Dieser nahm an, dass die Konstitution die morphologische Manifestation der körperlichen, geistigen und seelischen Verfassung eines Menschen darstelle. Anhand seiner Einteilungskriterien (Zustand der Muskulatur, Körperlänge und -breite, Form von Kopf, Brustkorb, Bauch und Gliedmaßen) wurden 3 **Konstitutionstypen** definiert, die bei beiden Geschlechtern vorkommen, bei Männern aber deutlicher ausgeprägt sind.

Leptosomer Typ: normales Längen-, aber nur geringes Dickenwachstum; spärliche Muskulatur ohne ausgeprägtes Oberflächenrelief; wenig Fettgewebe; schmaler Kopf; eingefallene Wangen; tief liegende Augen; schmale Brust; hängende Schultern; grazile Extremitäten mit deutlichen Knochenpunkten. Die Extremform des Leptosomen wird **Astheniker** genannt. Er unterscheidet sich vom Leptosomen durch völlig fehlendes Fettgewebe und reduzierte Muskulatur.

Pyknischer Typ: ausgeprägte Breitenentwicklung des Körperstamms; hoher Anteil an subkutanem Fettgewebe (Bauch); Muskulatur gut ausgeprägt, aber nicht an der Oberfläche abgezeichnet; breiter, kurzer Kopf; weiches Gesicht; gedrungener Hals; im Vergleich zum Brustkorb schmale Schultern; kurze Extremitäten.

Athletischer Typ: Skelett und Muskulatur kräftig; deutliches muskulöses Oberflächenrelief; hoher, derber Schädel; Brustkorb mit kräftiger Wölbung nach vorn und seitlich; breite Schultern; mittellange Extremitäten mit gut ausgebildeter Muskulatur.

Eine Korrelation zwischen Konstitution und Disposition wird heute allgemein bezweifelt.

Tab. 1.7 Sekundäre Geschlechtsmerkmale

Männlich	Weiblich
Gesichtsbehaarung (Bart)	Brustdrüse
ausgeprägte Körperbehaarung	spärliche Körperbehaarung
Haaransatz in Form von „Geheimratsecken“	Haaransatz gleichmäßig oval
stark ausgebildetes Skelett und Muskulatur	mehr subkutanes Fettgewebe
Schulter breiter als Hüfte	Schulter und Hüfte ungefähr gleich breit
Beckenform wie Spielkartenherz	Beckenform queroval
ausgeprägter Schildknorpel	Becken niedriger und breiter

Während das **genetische Geschlecht** und die Ausbildung der **primären Geschlechtsmerkmale** genetisch bestimmt sind, wird die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale durch die vor der **Pubertät** beginnende Sekretion von **Gonadotropinen** aus der Hypophyse eingeleitet. Die Gonadotropine stimulieren die Reifung der Gonaden und die Sekretion der Geschlechtshormone (Androgene bzw. Östrogene). Männliche und weibliche sekundäre Geschlechtsmerkmale sind in ▶Tab. 1.7 zusammengefasst.

1.3 Körperbautypen (Konstitutionstypen)

Das individuelle Erscheinungsbild eines Menschen ist genetisch bedingt, wird aber von psychischen (Einfluss des Nervensystems auf die Steuerung endokriner Drüsen) und exogenen (Verfügbarkeit von Nahrung, körperliche Aktivität) Faktoren entscheidend beeinflusst.

Der Begriff „**Konstitution**“ ist nicht eindeutig definiert und wird in der Klinik oft im Sinne von **Disposition** („Krankheitsbereitschaft“) benutzt. Die Kenntnis der Konstitution eines Patienten ist für den Arzt von Bedeutung, weil sie Hinweise auf die körperliche, aber auch geistige und seelische **Grundstruktur** eines Menschen geben kann. Eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Körperbautyp ist selten möglich, da die meisten Menschen eher **Mischtypen** sind.

Eine im klinischen Alltag noch immer gebräuchliche Einteilung der Konstitutionstypen wurde von dem Psychiater Ernst **Kretschmer** um die Mitte des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Dieser nahm an, dass die Konstitution die morphologische Manifestation der körperlichen, geistigen und seelischen Verfassung eines Menschen darstelle. Anhand seiner Einteilungskriterien (Zustand der Muskulatur, Körperlänge und -breite, Form von Kopf, Brustkorb, Bauch und Gliedmaßen) wurden 3 **Konstitutionstypen** definiert, die bei beiden Geschlechtern vorkommen, bei Männern aber deutlicher ausgeprägt sind.

Leptosomer Typ: normales Längen-, aber nur geringes Dickenwachstum; spärliche Muskulatur ohne ausgeprägtes Oberflächenrelief; wenig Fettgewebe; schmaler Kopf; eingefallene Wangen; tief liegende Augen; schmale Brust; hängende Schultern; grazile Extremitäten mit deutlichen Knochenpunkten. Die Extremform des Leptosomen wird **Astheniker** genannt. Er unterscheidet sich vom Leptosomen durch völlig fehlendes Fettgewebe und reduzierte Muskulatur.

Pyknischer Typ: ausgeprägte Breitenentwicklung des Körperstamms; hoher Anteil an subkutanem Fettgewebe (Bauch); Muskulatur gut ausgeprägt, aber nicht an der Oberfläche abgezeichnet; breiter, kurzer Kopf; weiches Gesicht; gedrungener Hals; im Vergleich zum Brustkorb schmale Schultern; kurze Extremitäten.

Athletischer Typ: Skelett und Muskulatur kräftig; deutliches muskulöses Oberflächenrelief; hoher, derber Schädel; Brustkorb mit kräftiger Wölbung nach vorn und seitlich; breite Schultern; mittellange Extremitäten mit gut ausgebildeter Muskulatur.

Eine Korrelation zwischen Konstitution und Disposition wird heute allgemein bezweifelt.

1.4 Norm, Variabilität, Fehlbildung

Als (statistische) **Norm** gilt die beim Gesunden am **häufigsten** beobachtete **Merkmalsausprägung**. Als **Variabilität** bezeichnet man eine Abweichung von der Norm, welche aber die Anpassung des Organismus an seine natürliche Umwelt nicht oder nicht merklich mindert. Unter **Fehlbildung** versteht man die dauerhafte Abweichung von der Norm, die auf eine **Störung der Entwicklung** zurückzuführen ist.

Als anatomisch normal (**Norm**) bezeichnet man die **typische** Gestalt, die typische Struktur oder Merkmalsausprägung, die bei den **gesunden Mitgliedern** einer Population **statistisch** am häufigsten beobachtet wird. Abweichungen von der statistischen Norm, welche **keine funktionellen Veränderungen** mit sich bringen, werden **Variation** oder **Variabilität** genannt.

Bei allen biologischen Objekten sind Variabilitäten sehr **häufig**. Es kann sich dabei um kleine**, lokal begrenzte** Veränderungen – etwa eine geänderte Astfolge von Arterien oder die Ausbildung einer Halsrippe – oder aber um grundsätzliche Unterschiede des Bauplans wie z. B. die spiegelbildliche Anordnung der inneren Organe beim **Situs inversus** handeln.

Beruht die Abweichung von der Norm auf einer **gestörten** (ausgebliebenen, gehemmten, überschießenden oder fehlerhaften) **Entwicklung**, ist sie **dauerhaft** und geht mit einer **funktionellen Beeinträchtigung** einher, spricht man von **Fehlbildung**. Fehlbildungen können durch (spontane) Mutationen im Erbgut oder durch exogene Faktoren wie radioaktive Strahlung oder mutagene Substanzen ausgelöst werden.

2 Bewegungsapparat

Joachim Kirsch

Unter dem Begriff **„Bewegungsapparat“** versteht man das *Skelett*, die bindegewebigen *Verbindungen* von Skelettteilen und die *Skelettmuskulatur*. Er bestimmt die äußere Gestalt des menschlichen Körpers wesentlich mit und ermöglicht die koordinierte Bewegung von Rumpf und Extremitäten. Der Bewegungsapparats kann unterteilt werden in einen **passiven Teil** (Skelett und seine Elemente) und einen **aktiven Teil** (Skelettmuskulatur).

Das Skelett stützt die weichen Anteile des Körpers und trägt damit wesentlich dazu bei, dem Körper seine äußere Gestalt zu geben. Die Schädelknochen und Wirbel umgeben das Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) und schützen es vor mechanischer Beschädigung. Das Skelett besteht aus 223 Knochen, jedoch kann die konkrete Zahl etwas schwanken, da überzählige Knochen (Wirbel, Halsrippen) nicht selten auftreten, in den Schädelnähten Nahtknochen entstehen oder akzessorische Knochen ausgebildet werden können. Durch starke mechanische Beanspruchung kann auch beim Erwachsenen an atypischer Stelle im Bindegewebe ein Knochen entstehen (z. B. „Reitknochen“ in den Adduktoren des Oberschenkels).

2.1 Elemente und Bauprinzipien des Skeletts

2.1.1 Baumaterialien des Skeletts

Beim Erwachsenen bestehen die Skelettelemente fast ausschließlich aus **Knochen**. **Knorpel** überzieht die Enden der Knochen, die **gelenkige Verbindungen** eingehen. Außerdem kommt Knorpel in einigen Rippen, im Processus xiphoideus (Schwertfortsatz) des Sternums, in der Nase und der Ohrmuschel vor.

Knochengewebe

Neben der **Stützfunktion** erfüllen Knochen noch weitere Funktionen. Schädelknochen und Wirbel nehmen das Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) auf und **schützen** es vor mechanischen Beschädigungen. Ebenso schützen das knöcherne Becken und der Thorax die darin liegenden inneren Organe. Wegen seines hohen Kalziumgehalts ist das Skelett ein **Kalziumreservoir**. Nach der Geburt ist das Mark der platten Knochen der wichtigste Ort der **Blutbildung**.

Aufbau. Knochen besteht aus **Knochenzellen** (Osteoblasten, Osteozyten und Osteoklasten), die in eine Matrix, die Knochengrundsubstanz (**Osteoid**), eingelagert sind. Osteoid besteht aus geformtem und ungeformtem **organischem Material** (Kollagenfibrillen, Glukosaminoglykane, Proteoglykane), in das **Mineralien** (vor allem Hydroxylapatit) eingelagert sind. In der Trockensubstanz beträgt der Anteil organischen Materials etwa ein Drittel.

Die äußere Oberfläche der Knochen (mit Ausnahme der knorpeligen Gelenkflächen und der von einer Synovialmembran überzogenen gelenknahen Knochenanteilen) ist von einer Knochenhaut (**Periost**) umgeben. Das gut innervierte Periost ist sehr schmerzempfindlich. Aus den Gefäßnetzen des Periost treten Blutgefäße durch die **Foramina nutritiva** in den Knochen ein. Sie durchlaufen die äußere, kompakte Schicht (Kortikalis) und verzweigen sich im Markraum, von wo sie in die Peripherie zurücklaufen.

Eine Unterbrechung der Blutzufuhr durch eine Fraktur führt zu einer **Knochennekrose**, also zu einem lokalen Untergang des Knochengewebes (z. B. Femurkopfnekrose nach Schenkelhalsfraktur).

Periost und Knochen sind durch Fasern, die vom Periost in die darunter liegende kompakte Schicht des Knochens einstrahlen (**Sharpey-Fasern**, Fibrae perforantes) fest miteinander verbunden. Das Peri-

ost dient auch als Ansatz für Sehnen und Bänder am Knochen.

Als **Endost** bezeichnet man eine dünne Schicht aus meist abgeplatteten Bindegewebszellen, die der inneren Oberfläche des Knochens anliegen.

Geflechtknochen (syn.: Faserknochen, primärer Knochen) ist der relativ weiche, embryonale Knochen. Er besteht aus einem Flechtwerk aus **Kollagenfibrillen**. Innerhalb des 1. Lebensjahres wird er umgebaut in den mechanisch stabileren Lamellenknochen. Beim Erwachsenen findet sich Geflechtknochen noch in den **Schädelnähten**, im **knöchernen Labyrinth** des Innenohrs, das in der Pars petrosa des Os temporale liegt, und an Stellen, wo **Sehnen** in den Knochen einstrahlen.

Lamellenknochen (syn.: sekundärer Knochen, ▶ **Abb. 2.1**) besteht aus einer äußeren kompakten Schicht (**Substantia compacta, Kortikalis**[4]), die nach innen in die schwammartige **Substantia spongiosa**[3] übergeht. Das Spongiosanetzwerk besteht aus **Knochenbälkchen**, zwischen denen das **Knochenmark** liegt.

In der Embryonalentwicklung werden die meisten Teile des Skeletts zunächst als **Knorpelmatrizen** aus Geflechtknochen angelegt. Diese knorpeligen Skelettelemente werden ab der 7. Embryonalwoche bis zum 3. Lebensjahr vollständig durch knöcherne Skelettelemente aus Lamellenknochen ersetzt (chondrale Osteogenese). Da diese Knochen ihre knorpeligen Vorläufer ersetzen, werden sie auch **Ersatzknochen** genannt. Die Verknöcherung der knorpelig angelegten Skelettelemente geht von Ossifikationspunkten aus, die im Röntgenbild erkennbar sind und als **Knochenkerne** bezeichnet werden.

Anhand der Zahl, Form und Größe der Knochenkerne im Röntgenbild kann der Grad der **Skelettreifung** bestimmt werden.

Knochenumbau. Umbau- und Reparaturvorgänge gehen vom **Periost**[5] und dem **Endost** aus, die Vorläuferzellen enthalten, aus denen sich **Osteoblasten** differenzieren können. Diese Umbauvorgänge finden wegen der wechselnden Belastung von Knochen ständig statt. Sie beginnen damit, dass Osteoklasten Kanäle erzeugen, in die Blutgefäße einwachsen. Um diese Blutgefäße (Havers-Gefäße) herum richten sich dann die neu gebildeten Lamellen konzentrisch aus. Die ständigen Umbauvorgänge passen den Knochen der vorherrschenden Belastung an.

Auch am ausgewachsenen Skelett findet ein ständiger **Knochenumbau** statt. Jährlich werden etwa 10 % des Knochengewebes, vorwiegend in der Spongiosa, umgebaut. **Mechanische Belastung** aktiviert Osteoblasten, sodass unter normalen Bedingungen Auf- und Abbau von Knochen im Gleichgewicht stehen. Bei **verminderter Beanspruchung** (längere Bettruhe, Ruhigstellung, Bewegungsarmut im Alter) oder veränderten hormonellen Bedingungen (verringerte Östrogensekretion in der Postmenopause) wird vermehrt Knochensubstanz abgebaut (**Osteoporose**). Da diese Umbauvorgänge vorwiegend die Spongiosa betreffen, sind von osteoporotischen Veränderungen vor allem spongiöse Knochen wie **Wirbelkörper** oder **Femurhals** betroffen. Osteoporotische Knochen können leichter brechen. Regelmäßige Beanspruchung führt dagegen zu einer erhöhten Knochendichte.

Der Umbau von Knochen wird über das **Parathormon** der Nebenschilddrüse reguliert, unter dessen Einwirkung Kalzium und Phosphat aus dem Knochen mobilisiert werden. Dagegen ist **Vitamin D** für die Aufnahme von Kalzium aus der Nahrung und damit für die Mineralisierung der Kochengrundsubstanz wichtig. **Vitamin C** ist zur Bildung von Kollagenfibrillen der Grundsubstanz erforderlich.

Knochenmark. Das Knochenmark macht etwa 5 % des Knochengewichts aus. Beim Kind sind die Markräume aller Knochen von **rotem, Blut bildendem Knochenmark** ausgefüllt. Beim Erwachsenen findet es sich nur noch in den Markräumen von *kurzen* und *platten* Knochen sowie in den *Epiphysen*[7,9] der Röhrenknochen. In den Markhöhlen der Diaphysen wird das rote durch **gelbes Knochenmark** (**Fettmark**) ersetzt. Beim gesunden Erwachsenen sind die Anteile von rotem und gelbem Knochenmark ungefähr gleich groß. Die Blutversorgung des Knochenmarks verläuft über die **Vasa nutritientia**. Ihre kapillare Endstrecke mündet in weitlumigen Sinus.

Knorpelgewebe

Im Bewegungsapparat kommt fast ausschließlich **hyaliner Knorpel**[1] vor, der die Gelenkflächen überzieht. Er besteht zu 60–70 % aus Wasser. Die meist in kleinen Gruppen gelagerten Knorpelzel-

len (**Chondrozyten**) sind von einer amorphen **Knorpelgrundsubstanz** aus sulfatierten Glykosaminoglykanen (Chondroitinsulfat) und Proteoglykanen umgeben, in die lichtmikroskopisch unsichtbare („maskierte") **Kollagenfasern** eingelagert sind.

Bei degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels (**Arthrose**) kommt es zu einer Demaskierung der Kollagenfasern (Asbestfaserung) und zur Einlagerung von Mineralien.

Faserknorpel kommt vor an den Gelenkflächen der Kiefer- und Schlüsselbeingelenke (Articulatio sternoclavicularis) sowie in den Bandscheiben und der Schambeinfuge. Er unterscheidet sich von hyalinem Knorpel dadurch, dass die dicht gedrängten Kollagenfasern **nicht maskiert** sind. In der Grundsubstanz liegen Inseln vereinzelter oder kleine Gruppen von Chondrozyten.

Das **Perichondrium** (Knorpelhaut) besteht aus straffem Bindegewebe und elastischen Netzen. Es führt Blutgefäße und Nerven. Das Perichondrium geht ohne scharfe Grenze in das Knorpelgewebe über.

Knorpelgewebe ist nahezu frei von Blutgefäßen und Nerven. Ernährt wird es ausschließlich durch Diffusion von der Knorpelhaut oder aus der Synovialflüssigkeit (Gelenkschmiere).

2.1.2 Knochentypen

Die Knochen werden entsprechend ihrer äußeren Form in **kurze**, **lange** und **platte** Knochen eingeteilt. Dieser Einteilung nach äußerlichen Kriterien entsprechen jedoch auch **strukturelle Differenzierungen**.

Kurze Knochen (Wirbelkörper, Fuß- und Handknochen) besitzen eine dünne Kortikalis, die ein Netzwerk von Spongiosabälkchen einschließt. Eine einheitliche Markhöhle ist nicht vorhanden.

Lange Knochen (lange Röhrenknochen der Extremitäten, Röhrenknochen der Mittelhand- und Mittelfußknochen, ▶ **Abb. 2.1**) besitzen einen röhrenförmigen Mittelteil (**Diaphyse**), dessen Kortika-

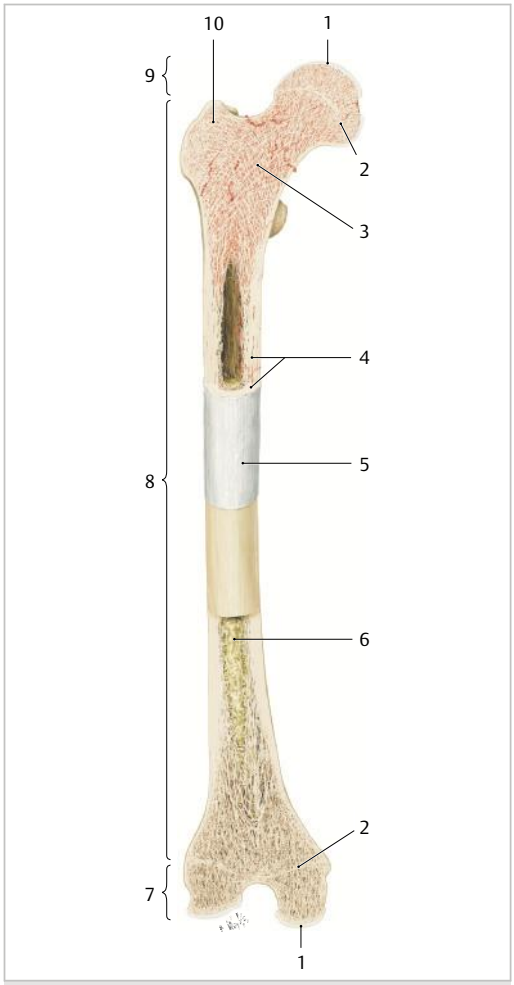


Abb. 2.1 Bau von Röhrenknochen. Frontaler Sägeschnitt durch den proximalen und distalen Femur eines Erwachsenen.
1 Gelenkknorpel
2 knöcherne Epiphysenlinie
3 Substantia spongiosa mit rotem, blutbildendem Knochenmark
4 Substantia compacta (Substantia corticalis)
5 Periost
6 Markhöhle mit Fettmark
7 distale Epiphyse
8 Diaphyse
9 proximale Epiphyse
10 Apophyse
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

lis als massive **Substantia compacta** ausgebildet ist. Die Diaphyse umschließt eine einheitliche Markhöhle mit spärlichen Spongiosabälkchen. Die Markhöhle[6] ist mit gelbem Knochenmark ausgefüllt. Die Endstücke (**Epiphysen**[7,9]) sind von einer dünnen Kortikalis umgeben und weisen eine ausgeprägte Spongiosa auf, zwischen deren Knochenbälkchen meist rotes, blutbildendes Knochenmark liegt. Am Ende der Epiphysen befinden sich die Gelenkflächen. In der Wachstumsphase befindet sich zwischen Epi- und Diaphyse die **Metaphyse**. Größere Knochenvorsprünge, an denen Sehnen oder Bänder inserieren, werden **Apophyse**[10] genannt.

Platte Knochen haben je nach mechanischer Beanspruchung einen unterschiedlichen Aufbau. Die Rippen und die Knochen des Schädeldachs haben auf der Innen- und Außenseite eine verstärkte Kompakta und im Innern ein grobes Spongiosanetzwerk. Beim Schädel wird die Spongiosa als **Diploe** bezeichnet. Die äußere bzw. innere Kortikalis der platten Schädelknochen nennt man **Lamina externa** bzw. **interna**. Am Schulterblatt (Scapula), dem Hüftbein (Os coxae) und dem Brustbein (Sternum) ist der Aufbau der dickeren Anteile ähnlich. Doch zwischen der spärlichen Spongiosa liegt hier **blutbildendes Knochenmark**. Die dünnen Anteile dieser und einiger anderer platter Knochen (z. B. Vomer) sind als einheitliche **Knochenlamelle** ohne Spongiosa ausgebildet.

Lufthaltige Knochen sind auf ihrer inneren Oberfläche mit einer Schleimhaut ausgekleidet. Zu ihnen zählen der Processus mastoideus und die Paukenhöhle sowie die Knochen, welche die Wände der Nasennebenhöhlen (Sinus maxillaris, frontalis, sphenoidalis und Cellulae ethmoidales) bilden.

Unter dem Begriff „**unregelmäßige Knochen**" fasst man die Knochen zusammen, die keiner der anderen Gruppen zugeordnet werden können (z. B. Wirbel der Wirbelsäule).

2.1.3 Funktioneller Bau des Knochens

Das menschliche Skelett ist in „Leichtbauweise" gestaltet: Es vereint mechanische Festigkeit mit einem geringen Einsatz an Bausubstanz. Das niedrige Gewicht bedeutet auch einen geringeren Energieaufwand für Bewegungen.

Dies wird hauptsächlich durch 2 **Bauprinzipien** erreicht:

- Der **Steigungswinkel** der **Kollagenfibrillen** in der Kompakta variiert von Lamelle zu Lamelle. Wird auf eine solche Struktur Druck ausgeübt, versteifen die Osteone (Flächenpressung).
- Die Spongiosabälkchen verlaufen entlang der Linien, in denen die größten Kräfte auftreten (**trajektorielle Bauweise**). Damit passt sich der Knochen optimal an die tatsächlich auftretende mechanische Beanspruchung an.

Zusätzlich können die Skelettmuskeln die Biegespannung mindern, indem sie zusammen mit dem Bandapparat bei Kontraktion für eine Verspannung (Zuggurtung) sorgen.

Die Druckfestigkeit von Röhrenknochen ist mit 10–15 kg/mm^2 höher als deren Zugfestigkeit. Die Torsionsfestigkeit dagegen ist nur gering, da hierbei hohe Zugspannungen auftreten.

2.2 Verbindungen der Skelettelemente

Die Verbindungen zwischen Skelettelementen können kontinuierlich in Form von Fugen (**Synarthrosen**, „unechte Gelenke") oder diskontinuierlich als Gelenke (**Diarthrosen**, „echte Gelenke") ausgestaltet sein.

2.2.1 Synarthrose (Fuge)

Eine kontinuierliche Verbindung zwischen 2 Skelettelementen durch ein **Füllgewebe** nennt man Fuge (Synarthrose). ▶ Tab. 2.1 listet die unterschiedlichen Formen von Synarthrosen auf. Das Füllgewebe besteht im Fall der **Juncturae fibrosae** aus kollagenem oder elastischem Bindegewebe und im Fall der **Juncturae cartilagineae** aus Faser- oder hyalinem Knorpel. Wird das ursprünglich in einer Fuge vorhandene Gewebe durch Knochen ersetzt, wie z. B. zwischen den ursprünglich separaten Sakralwirbeln, spricht man von **Synostose**.

In der Schambeinsymphyse tritt nach der Geburt nahezu regelmäßig ein mit Gelenkschmiere (Synovia) gefüllter Spalt auf, weshalb man diese Fuge auch als *Hemiarthrose* bezeichnet.

lis als massive **Substantia compacta** ausgebildet ist. Die Diaphyse umschließt eine einheitliche Markhöhle mit spärlichen Spongiosabälkchen. Die Markhöhle[6] ist mit gelbem Knochenmark ausgefüllt. Die Endstücke (**Epiphysen**[7,9]) sind von einer dünnen Kortikalis umgeben und weisen eine ausgeprägte Spongiosa auf, zwischen deren Knochenbälkchen meist rotes, blutbildendes Knochenmark liegt. Am Ende der Epiphysen befinden sich die Gelenkflächen. In der Wachstumsphase befindet sich zwischen Epi- und Diaphyse die **Metaphyse**. Größere Knochenvorsprünge, an denen Sehnen oder Bänder inserieren, werden **Apophyse**[10] genannt.

Platte Knochen haben je nach mechanischer Beanspruchung einen unterschiedlichen Aufbau. Die Rippen und die Knochen des Schädeldachs haben auf der Innen- und Außenseite eine verstärkte Kompakta und im Innern ein grobes Spongiosanetzwerk. Beim Schädel wird die Spongiosa als **Diploe** bezeichnet. Die äußere bzw. innere Kortikalis der platten Schädelknochen nennt man **Lamina externa** bzw. **interna**. Am Schulterblatt (Scapula), dem Hüftbein (Os coxae) und dem Brustbein (Sternum) ist der Aufbau der dickeren Anteile ähnlich. Doch zwischen der spärlichen Spongiosa liegt hier **blutbildendes Knochenmark**. Die dünnen Anteile dieser und einiger anderer platter Knochen (z. B. Vomer) sind als einheitliche **Knochenlamelle** ohne Spongiosa ausgebildet.

Lufthaltige Knochen sind auf ihrer inneren Oberfläche mit einer Schleimhaut ausgekleidet. Zu ihnen zählen der Processus mastoideus und die Paukenhöhle sowie die Knochen, welche die Wände der Nasennebenhöhlen (Sinus maxillaris, frontalis, sphenoidalis und Cellulae ethmoidales) bilden.

Unter dem Begriff „**unregelmäßige Knochen**" fasst man die Knochen zusammen, die keiner der anderen Gruppen zugeordnet werden können (z. B. Wirbel der Wirbelsäule).

2.1.3 Funktioneller Bau des Knochens

Das menschliche Skelett ist in „Leichtbauweise" gestaltet: Es vereint mechanische Festigkeit mit einem geringen Einsatz an Bausubstanz. Das niedrige Gewicht bedeutet auch einen geringeren Energieaufwand für Bewegungen.

Dies wird hauptsächlich durch 2 **Bauprinzipien** erreicht:

- Der **Steigungswinkel** der **Kollagenfibrillen** in der Kompakta variiert von Lamelle zu Lamelle. Wird auf eine solche Struktur Druck ausgeübt, versteifen die Osteone (Flächenpressung).
- Die Spongiosabälkchen verlaufen entlang der Linien, in denen die größten Kräfte auftreten (**trajektorielle Bauweise**). Damit passt sich der Knochen optimal an die tatsächlich auftretende mechanische Beanspruchung an.

Zusätzlich können die Skelettmuskeln die Biegespannung mindern, indem sie zusammen mit dem Bandapparat bei Kontraktion für eine Verspannung (Zuggurtung) sorgen.

Die Druckfestigkeit von Röhrenknochen ist mit 10–15 kg/mm^2 höher als deren Zugfestigkeit. Die Torsionsfestigkeit dagegen ist nur gering, da hierbei hohe Zugspannungen auftreten.

2.2 Verbindungen der Skelettelemente

Die Verbindungen zwischen Skelettelementen können kontinuierlich in Form von Fugen (**Synarthrosen**, „unechte Gelenke") oder diskontinuierlich als Gelenke (**Diarthrosen**, „echte Gelenke") ausgestaltet sein.

2.2.1 Synarthrose (Fuge)

Eine kontinuierliche Verbindung zwischen 2 Skelettelementen durch ein **Füllgewebe** nennt man Fuge (Synarthrose). ▶ Tab. 2.1 listet die unterschiedlichen Formen von Synarthrosen auf. Das Füllgewebe besteht im Fall der **Juncturae fibrosae** aus kollagenem oder elastischem Bindegewebe und im Fall der **Juncturae cartilagineae** aus Faser- oder hyalinem Knorpel. Wird das ursprünglich in einer Fuge vorhandene Gewebe durch Knochen ersetzt, wie z. B. zwischen den ursprünglich separaten Sakralwirbeln, spricht man von **Synostose**.

In der Schambeinsymphyse tritt nach der Geburt nahezu regelmäßig ein mit Gelenkschmiere (Synovia) gefüllter Spalt auf, weshalb man diese Fuge auch als *Hemiarthrose* bezeichnet.

Tab. 2.1 Synarthrosen.

Bezeichnung der Fuge	Füllgewebe	Beispiel
Junctura fibrosa		
Syndesmose	kollagenes Bindegewebe	Membrana interossea zwischen Radius und Ulna
	elastisches Bindegewebe	Ligg. flava zwischen den Bögen benachbarter Wirbel
Knochennaht (Sutura):		Nähte der Schädelknochen:
• Sutura plana	kollagenes Bindegewebe	• Sutura palatina mediana
• Sutura squamosa	Bindegewebe zurückgebildet	• Sutura parietotemporalis
• Sutura serrata	Bindegewebe zurückgebildet	• Sutura sagittalis
Gomphosis (Einzapfung)	kollagenes Bindegewebe	Einzapfung der Zahnwurzeln im Processus alveolaris der Kiefer
Schindylesis (Nutennaht)	Bindegewebe zurückgebildet	Einsenkung des Vomers in eine keilförmige Vertiefung des Os sphenoidale
Junctura cartilaginea		
Synchondrose	hyaliner Knorpel	Synchondrosis sternocostalis zwischen Rippen und Sternum
Symphyse	Faserknorpel	zwischen den Ossa pubica (Schambeinfuge)

2.2.2 Diarthrose (Gelenk)

Das Charakteristikum der echten Gelenke (Diarthrosen) ist die Trennung der gelenkbildenden Knochen durch einen mit Gelenkschmiere (**Synovia**) gefüllten **Spalt**.

Gelenkaufbau (▶ Abb. 2.2)

Die Gelenkenden der Knochen können sehr unterschiedlich geformt sein. Grundsätzlich kann man jedoch einen (beweglicheren) **Gelenkkopf** (**Caput articulare**[5]) von einer (weniger beweglichen) **Gelenkpfanne** (**Fossa articularis**[2]) unterscheiden. Die Gelenkfläche (Facies articularis) besteht aus einer 0,2–0,5 mm, bei der Kniescheibe bis zu 6 mm dicken Schicht aus hyalinem Knorpel. Lediglich beim Sternoklavikulargelenk und dem Kiefergelenk findet sich Faserknorpel.

Die glatte Oberfläche des **Gelenkknorpels** (**Cartilago articularis**[3]) vermindert die Reibung zwischen den Gelenkflächen. Da der Gelenkknorpel elastisch ist, wird der Druck gleichmäßig auf die Spongiosa darunter verteilt. Allerdings reicht die Deformierbarkeit der dünnen Knorpelschicht nicht aus, um Stöße elastisch abzufedern.

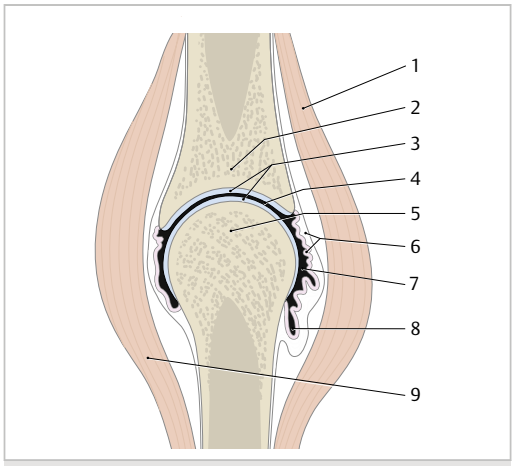


Abb. 2.2 Aufbau eines Gelenks.
1 Muskulatur (Antagonist)
2 Gelenkpfanne
3 Gelenkknorpel
4 Gelenkspalt
5 Gelenkkopf
6 Gelenkkapsel
7 Gelenkhöhle (enthält Synovialflüssigkeit)
8 Reservefalte (Recessus)
9 Muskulatur (Agonist)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Starke mechanische Belastungen, insbesondere Stoßbelastungen, können zu degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels (**Arthrosen**) führen.

Für die elastische Deformierbarkeit des Gelenkknorpels spielt die Anordnung von zugfesten **Kollagenfasern** im hyalinen Knorpel eine besondere Rolle. Diese **Tangentialfasern** genannten Kollagenfaserbündel sind in der dem Knochengewebe benachbarten *Verkalkungszone* des mineralisierenden Knorpels verankert. Sie ziehen zunächst senkrecht zur Gelenkfläche, biegen aber nahe der Oberfläche in einer *Übergangszone* in eine Verlaufsrichtung parallel zur Oberfläche um. Am Rand gehen die Tangentialfasern kontinuierlich in das *Periost* über. Die Tangentialfasern wirken einer Flächendehnung des Knorpels entgegen.

Die **Gelenkhöhle** (**Cavum articulare**[7]) ist ein kapillarer Spalt, der mit einer viskösen Flüssigkeit (**Synovia**) gefüllt ist. Sie wird von der **Gelenkkapsel** (**Capsula articularis**[6]) luftdicht abgeschlossen. Die Gelenkkapsel besteht aus einer außen liegenden Faserschicht (**Membrana fibrosa**) und einer an die Gelenkhöhle angrenzenden, zellreichen **Membrana synovialis** (**Gelenkinnenhaut**). In der Membrana synovialis, die sich zur Oberflächenvergrößerung in **Falten** und **Zotten** legt, lassen sich wiederum 2 Schichten unterscheiden, das **subintimale Gewebe** und die an den Spalt grenzende **synoviale Intima**.

Bei längerer **Immobilisierung** eines Gelenks (Ruhigstellung nach Fraktur) kann die **Gelenkkapsel schrumpfen** und dadurch die Beweglichkeit des Gelenks stark einschränken. Eine Bewegungstherapie kann die ursprüngliche Beweglichkeit wiederherstellen.

An **schwachen Stellen** der Membrana fibrosa kann sich die Membrana synovialis nach außen stülpen, sodass ein „Überbein“ (**Ganglion**) entsteht.

Die **Synovialflüssigkeit** (Gelenkschmiere) ist eine klare, leicht gelbliche, Fäden ziehende, viskose Flüssigkeit. Ihre Menge richtet sich nach der Größe des Gelenks. In großen Gelenken kann bis zu 35 ml Synovia auftreten. Sie wird von den Synoviozyten vom Typ B produziert und besteht aus *Hyaluronsäure*, *Proteoglykanen* und einem *Transsudat* („Filtrat“) des Blutes. Als weiteren wichtigen Bestandteil enthält die Synovia daher auch **Glukose**.

Die Synovialflüssigkeit dient der **Ernährung** des Gelenkknorpels und anderer intraartikulärer Strukturen sowie als „**Schmiermittel**“ für ein reibungsarmes Gleiten der von Knorpel überzogenen Gelenkflächen. Da Flüssigkeiten nicht komprimierbar sind, verteilt sich der Druck in der Synovialflüssigkeit gleichmäßig. Zusammen mit den elastischen Anteilen der Gelenkkapsel wirkt die Synovia daher auch als **Stoßdämpfer**.

Entzündungen und Verletzungen von Gelenken können zu einer massiven Überproduktion von Synovialflüssigkeit führen (**Gelenkerguss**). Da dieser Erguss mit einer erhöhten Spannung der gut innervierten Gelenkkapsel einhergeht, kann dies sehr **schmerzhaft** sein.

Kommt es nach Verletzungen zu Einblutungen in ein Gelenk, wird dieser Erguss **Hämarthros** genannt.

Gelenkformen

Gängige Kriterien für die Einteilung von Gelenken sind:

- Form der Gelenkkörper,
- Gestalt der artikulierenden Flächen,
- Anzahl der Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade),
- Anzahl und Lage der Bewegungsachsen.

Bei **einachsigen Gelenken** ist nur eine Bewegung um eine einzige Achse möglich, deren Lage die Art der Bewegung bestimmt. Einachsige Gelenke verfügen über nur einen Freiheitsgrad. **Zweiachsige Gelenke** bewegen sich um 2 senkrecht zueinander stehende Achsen, die sich im (geometrischen) Mittelpunkt des Gelenks schneiden. **Dreiachsige Gelenke** haben eine (theoretisch) unendliche Anzahl von Bewegungsachsen. Zur Vereinfachung reduziert man die Achsen auf die 3 Hauptachsen des Raums.

Die Gelenkformen mit ihren Bewegungsmöglichkeiten sind in ▸ Tab. 2.2 und ▸ **Abb. 2.3** zusammengestellt.

Tab. 2.2 Gelenkformen.

Gelenkform	Gelenkaufbau und -beweglichkeit	Beispiel
Einachsige Gelenke		
ebenes Gelenk (Articulatio plana)	ebene Gelenkflächen erlauben Gleit- und Drehbewegungen.	Wirbelbogengelenk
Walzengelenk (Articulatio cylindrica):		
• Scharniergelenk (Ginglymus)	konkave und konvexe Gelenkflächen erlauben Scharnierbewegungen um eine senkrecht zu den artikulierenden Teilen verlaufende Achse	oberes Sprunggelenk
• Rad- oder Zapfengelenk (Articulatio trochoidea)	radförmige Gelenkfläche dreht sich in einer unbeweglichen, konkaven Führungsschale Drehachse verläuft senkrecht durch das Zentrum der radförmigen Gelenkfläche	proximales Radioulnargelenk
Zweiachsige Gelenke		
Eigelenk (Articulatio ellipsoidea)	ellipsenförmige Gelenkflächen aufgrund der Hebelwirkung erfordert eine Bewegung um die (längere) Hauptachse der Ellipse weniger Kraft	proximales Handgelenk
Sattelgelenk (Articulatio sellaris)	konkave (sattelförmige) Gelenkflächen Drehachsen verlaufen entlang der Längsrichtung des „Sattels“	Articulatio carpometacarpalis pollicis (Daumensattelgelenk)
Kondylengelenk (Articulatio bicondylaris)	Gelenkflächen sind 2 Rollen (Kondylen) oder Wülste (Tori) mit unterschiedlichem Krümmungsradius Achsen verlaufen parallel durch jeweiligen die Mittelpunkte der Tori	Kniegelenk
Dreiachsige Gelenke		
Kugelgelenk (Articulatio sphaeroidea)	kugelförmige Gelenkfläche (Gelenkkopf) artikuliert mit konkavem Gegenstück (Gelenkpfanne) Drehachsen entsprechen den senkrecht aufeinander stehenden Hauptrichtungen des Raums und schneiden sich im Zentrum der Kugel	Schultergelenk
Nussgelenk (Enarthrosis)	besondere Form des Kugelgelenks, bei der die Gelenkpfanne über den Äquator des Gelenkkopfs hinausreicht	Hüftgelenk

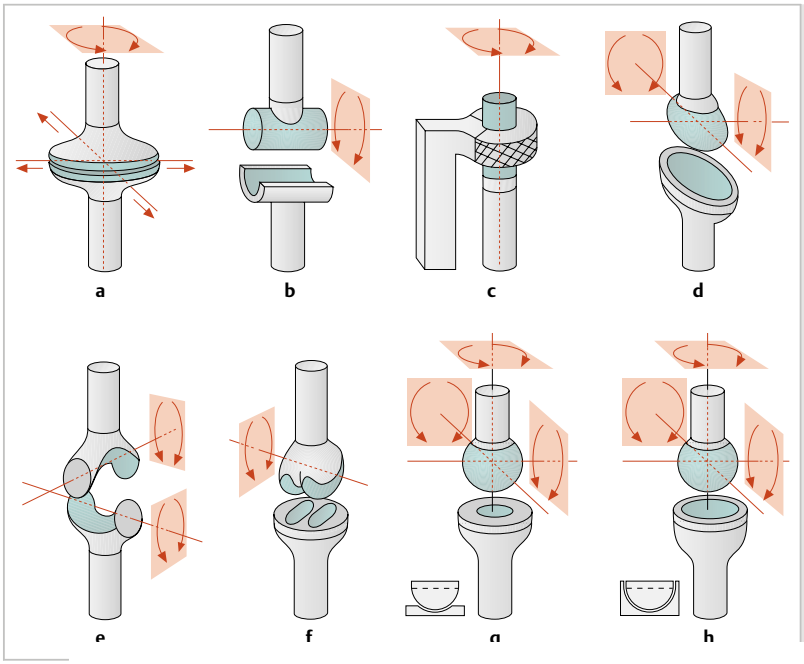


Abb. 2.3 Gelenkformen und Bewegungsmöglichkeiten.
a ebenes Gelenk
b Scharniergelenk
c Rad- oder Zapfengelenk
d Eigelenk
e Sattelgelenk
f Kondylengelenk
g Kugelgelenk
h Nussgelenk (Kugelgelenk mit tiefer Pfanne)
(a: nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2014; b-e und g–h: nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Gelenkmechanik

Richtung und Ausmaß einer Gelenkbewegung hängen ab von der **Geometrie** des Gelenks sowie von der Anordnung der **Muskulatur** und der **Hilfseinrichtungen** des Gelenks (z. B. Bänder), welche die Bewegungsmöglichkeiten einschränken können.

Bei der **Knochenhemmung** stoßen in einer bestimmten Gelenkstellung Skelettelemente gegeneinander und verhindern so eine Weiterführung der Bewegung (z. B. Olecranon in der Fossa olecrani bei starker Extension des Ellenbogengelenks).

Wird ein Bandzug bei einer Bewegung so angespannt, dass die Bewegung nicht weitergeführt werden kann (z. B. Lig. iliofemorale bei Streckung im Hüftgelenk), spricht man von **Bandhemmung**.

Kommt eine Bewegung dadurch zum Stillstand, dass der bewegte Körperteil an Weichteile (Muskel und Bindegewebe) stößt (z. B. Unterschenkelmuskulatur stößt an die dorsale Oberschenkelmuskulatur bei passiver Beugung im Kniegelenk), spricht man von **Weichteilhemmung** oder **Massenhemmung**.

Begrenzt die Dehnbarkeit eines Muskels die Bewegung, nennt man dies **Muskelhemmung**.

Um die Bewegungsmöglichkeiten in Gelenken im klinischen Alltag zu ermitteln, bedient man sich der **Neutral-Null-Methode**. Sie geht von einem aufrecht stehenden Menschen mit hängenden Armen aus, dessen Blick nach vorn gerichtet ist. Die Füße stehen parallel und geschlossen. Im Gegensatz zur anatomischen Normalposition, bei der die Hände supiniert sind, werden die Handflächen bei der Neutral-Null-Methode zum Körper hin orientiert (Daumen weisen nach ventral). In dieser Ausgangsstellung befinden sich sämtliche Gelenke in Ruheposition, also definitionsgemäß bei 0°. Von dieser Position aus untersucht man die maximale Auslenkung in beide Richtungen um die untersuchte Achse.

Bei Gelenken mit mehreren Freiheitgraden misst man die Beweglichkeit eines Gelenks für jede Achse einzeln (▶ Tab. 2.3).

Hilfseinrichtungen der Gelenke

Zur Stabilisierung, Führung und zum Schutz der Gelenke und ihrer umgebenden Strukturen gibt es eine Reihe von Hilfseinrichtungen (▶ Tab. 2.4). Diese sind je nach Belastung und Bauform der Gelenke in unterschiedlicher Ausprägung zu finden.

Sind Gelenkkopf und Gelenkkapsel in Form oder Größe nicht hinreichend kongruent und einer Druckbelastung ausgesetzt, werden die Unebenheiten durch knorpelige Zwischenscheiben ausgeglichen. Zwischenscheiben können als **Discus** oder **Meniscus articularis** ausgebildet sein.

Zur Abpolsterung zwischen Knochenvorsprüngen und Sehnen oder Muskeln sind an zahlreichen Gelenken **Schleimbeutel** (**Bursae synoviales**) eingelagert. Dabei handelt es sich um einen Hohlraum, der wie die Gelenkkapsel aufgebaut ist: außen liegt eine derbe Faserschicht (Membrana fi-

Tab. 2.3 Bewegungsrichtungen.

Bewegungsrichtung	Bedeutung
Flexion	Beugung (Rumpf oder Extremitäten)
Extension	Streckung (Rumpf oder Extremitäten)
Anteversion	Wegführen der Extremität nach ventral
Retroversion	Wegführen der Extremität nach dorsal
Adduktion	Heranführen der Extremität an den Rumpf in der Frontalebene
Abduktion	Wegführen der Extremität vom Rumpf in der Frontalebene
Elevation	Anheben über die Horizontale (gelingt meist nur mit dem Arm)
Innenrotation	Einwärtsdrehung der Extremität um deren Längsachse
Außenrotation	Auswärtsdrehung der Extremität um deren Längsachse
Opposition	Gegenüberstellung des Daumens zu den übrigen Fingern
Pronation	Handfläche nach unten durch Drehung des Unterarms
Supination	Handfläche nach oben durch Drehung des Unterarms
Inversion	Drehung der Fußsohle nach innen
Eversion	Drehung der Fußsohle nach außen

Tab. 2.4 Hilfseinrichtungen von Gelenken.

Name der Hilfseinrichtung	Lage und Bau	Beispiel
Discus articularis	Scheibe aus Faserknorpel und straffem Bindegewebe, die die Gelenkhöhle vollständig ausfüllt; oft mit der Gelenkkapsel verwachsen	Sternoklavikulargelenk
Meniscus articularis	sichel- oder halbkreisförmige Scheibe aus Faserknorpel; überlagert die Gelenkfläche am Rand	Kniegelenk
Labrum glenoidale (Pfannenlippe)	Ringwulst aus Faserknorpel zur Vergrößerung der Gelenkpfanne	Schultergelenk, Hüftgelenk
Bursa synovialis (Schleimbeutel)	kommunizierende Bursa: mit Gelenkspalt verbunden	Bursa subacromialis am Schultergelenk
	nicht kommunizierende Bursa: eigenständige Struktur	Bursa subcutanea acromialis am Schultergelenk
Band (Ligamentum)	intraartikulär (innerhalb des Gelenks)	Ligg. cruciata am Kniegelenk
	extraartikulär (außerhalb des Gelenks):	
	• kapsulär: mit der Gelenkkapsel verwachsen	Lig. collaterale mediale am Kniegelenk
	• außerhalb der Kapsel	Lig. collaterale laterale am Kniegelenk
	funktionelle Einteilung:	
	• Verstärkungsband: Verstärkung der Kapsel	Lig. iliofemorale
	• Führungsband: Sicherung der Gelenkführung	Lig. anulare radii
	• Hemmungsband: Hemmung der Beweglichkeit	Lig. coracoacromiale

brosa) und innen eine Membrana synovialis. Allerdings ist die synoviale Auskleidung oft nicht vollständig und fehlt an größeren Flächen. Manche Schleimbeutel kommunizieren mit der Gelenkhöhle, andere haben dagegen keine Verbindung zum Gelenk.

Für den Zusammenhalt, die Führung und die Stabilisierung des Gelenks sorgen **Bänder** (**Ligamenta**). Diese zugfesten, kräftigen Züge aus kollagenen Fasern liegen meist in Richtung der Hauptbelastungsrichtungen um das Gelenk und verstärken die Gelenkkapsel. Mitunter verlaufen Bänder aber auch in der Gelenkhöhle selbst, z. B. die Kreuzbänder des Kniegelenks.

Der Zusammenhalt von Gelenken wird außerdem unterstützt vom **Muskelzug**, der die Gelenkflächen aufeinander presst.

2.3 Allgemeine Muskellehre

Man unterscheidet 3 Arten von Muskelgewebe: **glatte Muskulatur**, die in der Wand von Hohlorganen der Eingeweide und Gefäßen vorkommt, **quergestreifte Skelettmuskulatur**, die den aktiven Teil des Bewegungsapparats bildet, aber auch in der Zunge sowie im kranialen Drittel von Speiseröhre, Kehlkopf und Rachen vorkommt, sowie die **Herzmuskulatur**. Im Folgenden ist ausschließlich von der quergestreiften Muskulatur des Bewegungsapparats die Rede. Quergestreifte Skelettmuskulatur kann sich als Reaktion auf die Freisetzung des Neurotransmitters Azetylcholin aus den Endigungen motorischer Nerven hin unter Kraftentwicklung verkürzen. Die Verkürzung geht mit einer Dickenzunahme einher.

Tab. 2.4 Hilfseinrichtungen von Gelenken.

Name der Hilfseinrichtung	Lage und Bau	Beispiel
Discus articularis	Scheibe aus Faserknorpel und straffem Bindegewebe, die die Gelenkhöhle vollständig ausfüllt; oft mit der Gelenkkapsel verwachsen	Sternoklavikulargelenk
Meniscus articularis	sichel- oder halbkreisförmige Scheibe aus Faserknorpel; überlagert die Gelenkfläche am Rand	Kniegelenk
Labrum glenoidale (Pfannenlippe)	Ringwulst aus Faserknorpel zur Vergrößerung der Gelenkpfanne	Schultergelenk, Hüftgelenk
Bursa synovialis (Schleimbeutel)	kommunizierende Bursa: mit Gelenkspalt verbunden	Bursa subacromialis am Schultergelenk
	nicht kommunizierende Bursa: eigenständige Struktur	Bursa subcutanea acromialis am Schultergelenk
Band (Ligamentum)	intraartikulär (innerhalb des Gelenks)	Ligg. cruciata am Kniegelenk
	extraartikulär (außerhalb des Gelenks):	
	• kapsulär: mit der Gelenkkapsel verwachsen	Lig. collaterale mediale am Kniegelenk
	• außerhalb der Kapsel	Lig. collaterale laterale am Kniegelenk
	funktionelle Einteilung:	
	• Verstärkungsband: Verstärkung der Kapsel	Lig. iliofemorale
	• Führungsband: Sicherung der Gelenkführung	Lig. anulare radii
	• Hemmungsband: Hemmung der Beweglichkeit	Lig. coracoacromiale

brosa) und innen eine Membrana synovialis. Allerdings ist die synoviale Auskleidung oft nicht vollständig und fehlt an größeren Flächen. Manche Schleimbeutel kommunizieren mit der Gelenkhöhle, andere haben dagegen keine Verbindung zum Gelenk.

Für den Zusammenhalt, die Führung und die Stabilisierung des Gelenks sorgen **Bänder** (**Ligamenta**). Diese zugfesten, kräftigen Züge aus kollagenen Fasern liegen meist in Richtung der Hauptbelastungsrichtungen um das Gelenk und verstärken die Gelenkkapsel. Mitunter verlaufen Bänder aber auch in der Gelenkhöhle selbst, z. B. die Kreuzbänder des Kniegelenks.

Der Zusammenhalt von Gelenken wird außerdem unterstützt vom **Muskelzug**, der die Gelenkflächen aufeinander presst.

2.3 Allgemeine Muskellehre

Man unterscheidet 3 Arten von Muskelgewebe: **glatte Muskulatur**, die in der Wand von Hohlorganen der Eingeweide und Gefäßen vorkommt, **quergestreifte Skelettmuskulatur**, die den aktiven Teil des Bewegungsapparats bildet, aber auch in der Zunge sowie im kranialen Drittel von Speiseröhre, Kehlkopf und Rachen vorkommt, sowie die **Herzmuskulatur**. Im Folgenden ist ausschließlich von der quergestreiften Muskulatur des Bewegungsapparats die Rede. Quergestreifte Skelettmuskulatur kann sich als Reaktion auf die Freisetzung des Neurotransmitters Azetylcholin aus den Endigungen motorischer Nerven hin unter Kraftentwicklung verkürzen. Die Verkürzung geht mit einer Dickenzunahme einher.

2.3.1 Aufbau der Skelettmuskulatur

Muskel

Ein Skelettmuskel (▶ **Abb. 2.4**) erhält seine Kontraktionsfähigkeit durch kontraktile Elemente (**Sarkomere**[13]). Diese bestehen hauptsächlich aus Aktin- und Myosinfilamenten, die sich in Gegenwart von Kalziumionen unter ATP-Verbrauch gegeneinander bewegen können. Die Sarkomere sind zu langen Formationen aneinandergereiht und bilden so **Myofibrillen**[12], von denen wiederum zahlreiche Bündel im Zytoplasma der **Muskelfasern** liegen. Eine Muskelfaser mit vielen oberflächennahen Zellkernen entsteht durch Verschmelzung von Vorläuferzellen (Myoblasten).

Bindegewebige Hüllen teilen den Muskel in Untereinheiten. Zunächst ist jede einzelne **Muskelfaser**[11] vom *Endomysium*[10] aus Retikulinfasern umgeben. Im Endomysium verlaufen Blutgefäße und Nerven. Der nächstgrößere Verband sind Faserbündel, und zwar zunächst die **Primärbündel**[8] die vom *Perimysium externum*[3] umschlossen werden. Primärbündel sind die kleinsten Funktionseinheiten des Skelettmuskels. Das *Perimysium externum* fasst mehrere Primärbündel zu unterschiedlich dicken **Sekundärbündeln**[9] („Fleischfasern") zusammen. Eine Vielzahl von Sekundärbündeln bildet dann den **Muskelbauch**, welcher vom *Epimysium*[3] umgeben ist, dem seinerseits die Muskelfaszie[2] aufliegt.

Nur bei größtmöglicher Kraftentfaltung sind alle Fasern eines Muskels angespannt. Bei einer normalen Bewegung werden stets nur Teile eines Muskels angespannt. Dadurch kann die Kraftentfaltung dosiert werden.

Der Muskelbauch wird von einer derben bindegewebigen Hülle, der **Faszie** (▶ **Abb. 2.5**), umschlossen, die gleichzeitig als **Verschiebeschicht** gegen die umgebenden Muskeln dient. Faszien können auch als Ursprungs- und Ansatzfläche von Muskeln dienen. Mehrere Muskeln können von einer **Gruppenfaszie**[5] umschlossen werden, die mit den individuellen Faszien und dem Knochen in kon-

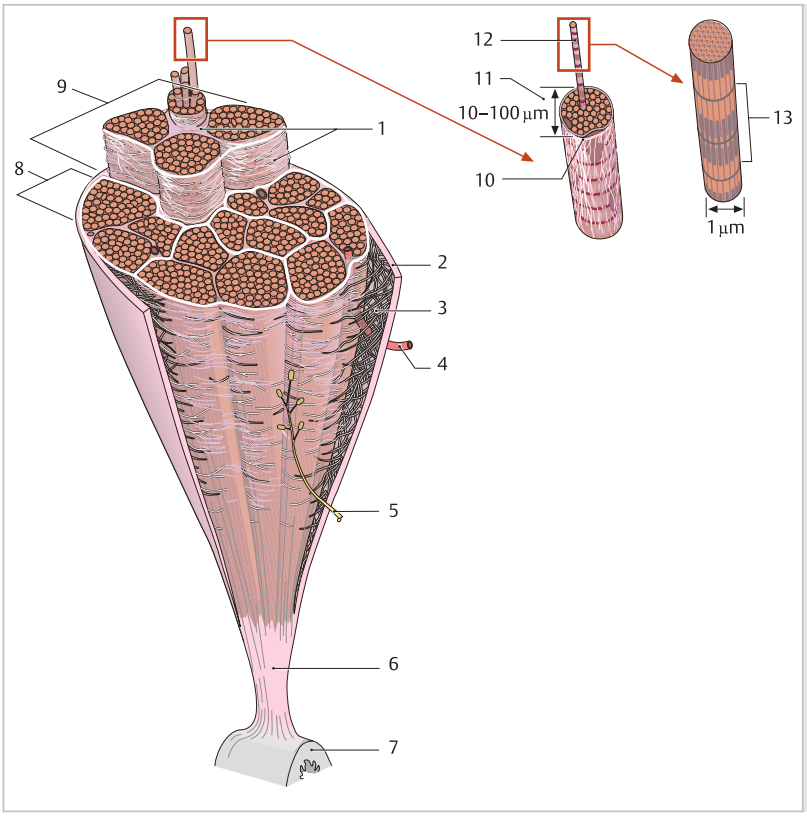


Abb. 2.4 Aufbau eines Skelettmuskels.
1 Perimysium
2 Muskelfaszie
3 Epimysium
4 zuführendes Blutgefäß
5 Nerv mit motorischen Endplatten
6 Sehne
7 Knochen
8 Primärbündel
9 Sekundärbündel
10 Endomysium
11 Muskelfaser = Muskelzelle
12 Myofibrille
13 Sarkomer
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

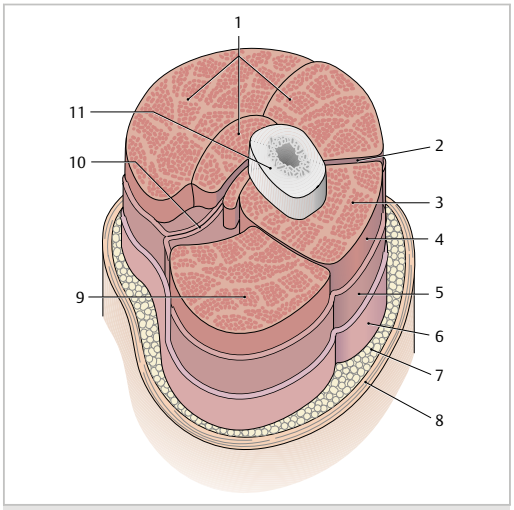


Abb. 2.5 Muskelfaszien. Querschnitt durch das mittlere Drittel des rechten Oberarms. Ansicht von proximal.
1 M. triceps brachii
2 Septum intermusculare (brachii) laterale
3 M. brachialis
4 Muskelfaszie (Einzelfaszie)
5 Gruppenfaszie
6 Oberarmfaszie (Fascia brachii)
7 Subcutis
8 Cutis
9 M. biceps brachii
10 Septum intermusculare (brachii) mediale
11 Humerus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

tinuierlicher Verbindung steht. Durch die Faszien werden **Muskellogen** (Kompartments) gegeneinander abgegrenzt, innerhalb derer sich einzelne Muskeln oder Muskelgruppen gegeneinander verschieben können. Stoßen mehrere Gruppenfaszien aneinander, entsteht ein **Septum intermusculare**[2, 10].

Die gesamte von Muskeln bedeckte Oberfläche des Körpers mit Ausnahme einiger Regionen des Gesichts ist von der **Körperfaszie** (Synonym: Generalfaszie, Fascia superficialis) überzogen. Das derbe Bindegewebe der Faszie bildet eine natürliche (mechanische) Barriere für entzündliche Prozesse, deren Vordringen in tiefere Körperregionen durch sie behindert wird.

Kommt es bei geschlossenem Haut- und Weichteilmantel innerhalb einer kaum dehnbaren Muskelloge (häufig an Unterarm oder Unterschenkel) zu einer starken Erhöhung des Gewebedrucks (z. B. durch Bluterguss oder Ödem), kann dies zu einer Minderdurchblutung und einer irreversiblen Schädigung von Muskeln, Gefäßen und Nerven führen. Dieses Krankheitsbild wird **Kompartmentsyndrom** genannt. Zur Therapie muss die entsprechende Gruppenfaszie gespalten werden, um eine rasche Druckentlastung (Dekompression) zu erreichen.

Sehnen

Der Muskelbauch geht an seinen Enden in eine meist wesentlich dünnere **Sehne** (Tendo) über. Sie besteht aus kaum vaskularisierten, zugfesten Kollagenfaserbündeln. An den Extremitäten bezeichnet man die näher am Rumpf (proximal) gelegene Anheftungsstelle als **Ursprung** (Origo), die distale Anheftungsstelle wird **Ansatz** (Insertio) genannt. Bei der Rumpfmuskulatur ist die kraniale Anheftungsstelle der Ursprung.

Ursprung und Ansatz eines Muskels werden als Konvention festgelegt. Sie sind zu unterscheiden von **Punctum fixum** (unbeweglicher Teil) und **Punctum mobile** (beweglicher Teil). Bei Bewegungen im Ellenbogengelenk ist z. B. normalerweise der proximale Muskelursprung am Humerus das Punctum fixum. Aber beim Klimmzug kehrt sich die Situation um: Der Unterarm ist fixiert und der Körper, also der proximale Teil, bewegt sich. In aller Regel ist jedoch das Punctum fixum mit dem Ursprung identisch.

Übergang Muskel – Sehne. Die Sehnenfasern schieben sich von der Muskeloberfläche her zwischen die Muskelfaserbündel. Sie setzen daher (auch beim parallelfaserigen Muskel) nicht die Verlaufsrichtung der Muskelfaser fort. Muskel- und Sehnenfasern bilden einen mehr oder weniger spitzen Winkel (**Fiederungswinkel**). Verkürzung (Kontraktion) und Dickenzunahme der Muskulatur führen zu einer Vergrößerung des Fiederungswinkels. Durch diesen Mechanismus wird Raum für die Dickenzunahme des Muskels während der Kontraktion gewonnen, ohne dass die Sehnenfasern auseinandergedrängt werden müssen. Breitflächige Sehnen bezeichnet man als **Aponeurosen**.

Übergang Sehne – Knochen. Ein Muskel ist immer über eine Sehne mit dem Knochen verbunden. Allerdings kann die Sehne so kurz sein, dass sie makroskopisch nicht zu erkennen ist. In diesem Fall spricht man von einem **fleischigen Ansatz** des Muskels. Sehnen übertragen den Muskelzug direkt oder indirekt auf Knochen oder Faszien:

- Sehnen mit großem Querschnitt strahlen in das **Periost** ein und sind über **Sharpey-Fasern** mit dem Knochen verbunden.
- Sehnen mit kleinem Querschnitt heften sich oft an **Knochenvorsprünge** oder **Rauigkeiten** an und sind direkt im Knochen verankert. Das Periost hat an den entsprechenden Stellen Lücken.

Sehnenfasern, die in den Knochen eintreten, sind von **Knorpel** umgeben und spalten sich im Knochen **fächerförmig** auf. Die äußere Schicht des Knorpels verkalkt und verzahnt die Sehne mit den Knochen. Die Knorpelschicht verhindert als Polster auch Beschädigungen der Sehne, die durch ein scharfwinkliges Abknicken zwischen dem eingemauerten und dem freien Teil der Sehne hervorgerufen werden könnten.

Die Verankerung des eingemauerten Teils der Sehne im Knochen ist so innig, dass bei einem Ausriss der Sehne meist ein kleines Stück des Knochens mit herausgerissen wird (**Abrissfraktur**).

Eine Sehne, deren Zugrichtung weitgehend identisch ist mir der Hauptlinie der Verkürzungsrichtung eines Muskels wird **Zugsehne** genannt. Bei der **Gleitsehne** weist die Zugrichtung von dieser ab. Die Ablenkung der Sehnenverlaufsrichtung kann in Form von **Retinacula** (Haltebänder) oder durch ein Skelettelement erfolgen. Das knöcherne Widerlager wird als **Hypomochlion** bezeichnet.

2.3.2 Muskeltypen

Muskel unterscheiden sich im Faserverlauf, in ihrer äußeren Gestalt oder in ihrer Wirkung auf ein oder mehrere Gelenke (▶ Tab. 2.5).

Tab. 2.5 Muskeltypen.

Muskelform	Beispiel
Einteilung nach Faserverlauf	
parallelfaseriger Muskel	M. rectus abdominis
gefiederter Muskel	M. semimembranosus (*M. unipennatus*), M. biceps brachii (*M. bipennatus*)
Einteilung nach Muskelform	
Muskelform:	
• platte Muskeln (Mm. plani)	M. obliquus externus abdominis
• spindelförmige Muskeln (Mm. fusiformes)	M. extensor carpi radialis brevis
• ringförmige Muskeln	M. sphincter ani externus
Muskelköpfe:	
• einköpfige Muskeln	M. abductor pollicis brevis
• mehrköpfige Muskeln	M. biceps brachii (zweiköpfig), M. triceps (dreiköpfig), M. quadriceps femoris (vierköpfig)
Muskelbäuche:	
• einbäuchige Muskeln	M. semitendinosus, M. semimembranosus
• mehrbäuchige Muskeln	M. digastricus (zweibäuchig), M. rectus abdominis (mehrbäuchig)
Einteilung nach Gelenkbeteiligung	
eingelenkige Muskeln	M. gluteus maximus
mehrgelenkige Muskeln	M. biceps brachii

Muskeltypen nach Faserverlauf

Parallelfaseriger Muskel. Die Muskelfasern verlaufen weitgehend parallel zur Zugrichtung der Sehne. Dies ermöglicht ausdauernde, jedoch nur wenig kraftvolle Bewegungen.

Gefiederter Muskel. Muskelfaser und Zugrichtung der Sehne bilden einen spitzen Fiederungswinkel. Erreichen die Muskelfasern die Sehne von nur einer Seite, handelt es sich um einem *M. unipennatus*, erreichen die Fasern die Sehne von 2 Seiten, spricht man von einem *M. bipennatus*. Wegen des schrägen Winkels können mehr Muskelfasern an der Sehne ansetzen. Hierdurch erhöht sich der physiologische Gesamtquerschnitt des Muskels und damit die wirksame Muskelkraft.

Muskeltypen nach Muskelform (▶ Abb. 2.6)

Platte Muskeln (Mm. plani) sind insbesondere am Bau der vorderen Rumpfwand beteiligt und gehen in eine Aponeurose über. Bei **spindelförmigen Muskeln** (Mm. fusiformes) verjüngt sich der Bauch in Richtung Sehnen.

Muskeln mit mehreren Ursprungssehnen werden **zwei-** oder **mehrköpfige** Muskeln genannt, wobei jede Ursprungsportion einem Kopf (Caput) entspricht. Ist der Muskelbauch selbst durch Sehnen untergliedert, spricht man von einem **zwei-** oder **mehrbäuchigen** Muskel. Bei **Ringmuskeln** verlaufen die Muskelfasern ringförmig (meist um eine Körperöffnung). Bei ihrer Kontraktion verringert sich der Durchmesser der freien Öffnung bis zum kompletten Verschluss.

Muskeltypen nach Gelenkbeteiligung

Je nachdem, ob ein Muskel sein Wirkungen auf ein oder mehrere Gelenke ausübt, spricht man von einem **ein-** oder **mehrgelenkigen** Muskel. Eine Besonderheit der mimischen Muskulatur und der Zungenbinnenmuskulatur besteht darin, dass sie keine Beziehung zu Gelenken haben.

2.3.3 Muskelmechanik und -funktion

Der **anatomische Querschnitt** eines Muskels verläuft senkrecht zur Längsachse im *dicksten* Teil des Muskels. Als **physiologischen Querschnitt** bezeichnet man dagegen die Summe der Querschnitte aller Muskelfasern. Er gibt somit Auskunft über die maximal mögliche Kraftentwicklung eines Muskels. Anatomischer und physiologischer Querschnitt stimmen nur bei parallelfaserigen Muskeln überein.

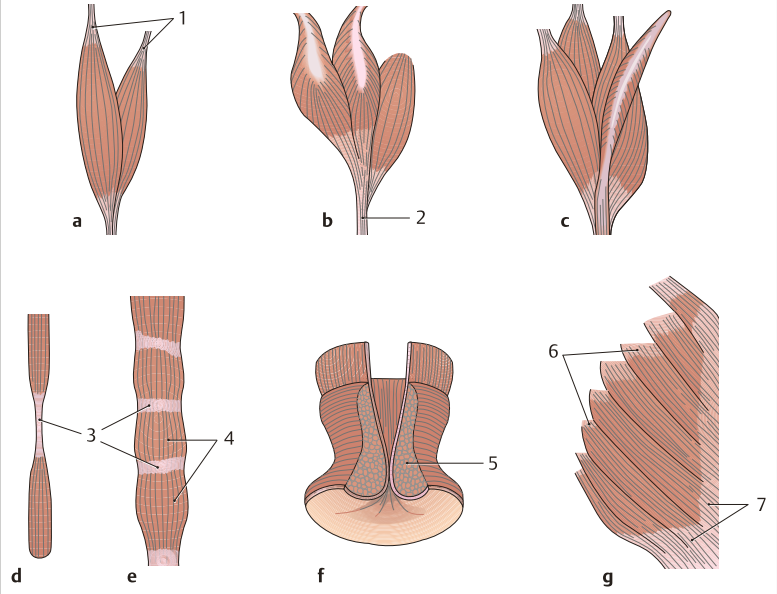


Abb. 2.6 Muskelformen.
a zweiköpfiger Muskel
b dreiköpfiger Muskel
c vierköpfiger Muskel
d zweibäuchiger Muskel
e mehrbäuchiger Muskel
f ringförmiger Muskel
g platter Muskel
1 Ursprungssehnen
2 Ansatzsehne
3 Zwischensehnen
4 Muskelbäuche
5 Schnittfläche des ringförmigen Muskels
6 Muskelursprünge
7 Aponeurose (Ansatz)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Hubhöhe** (Verkürzung) gibt die Differenz zwischen der Muskellänge vor und nach der Kontraktion an. Sie ist abhängig von der Faserlänge und dem Fiederungswinkel. Gedehnte Muskelfasern können sich um 30–50 % ihrer Ausgangslänge verkürzen.

Durch das Ausholen vor einem Wurf werden die benötigten Flexoren maximal gedehnt, sodass bei der Flexion die maximale Hubhöhe (Verkürzung) erreicht werden kann.

Die **Richtung** des Muskelzugs bzw. Sehnenzugs wird durch die *wirksame Endstrecke* der Ansatzsehne bestimmt. Liegen Ursprungssehne, Muskelbauch und Ansatzsehne in einer Linie, wirkt der Muskelzug genau in deren Richtung. Wird die Sehne jedoch um ein Widerlager (Hypomochlion) geführt, entspricht die Zugrichtung der Richtung zwischen Hypomochlion und Ansatz.

Auch in Ruhe weist jeder Muskel eine individuelle Spannung (**Ruhetonus**) auf. Diese ist individuell verschieden und unterscheidet sich zusätzlich von Muskel zu Muskel. Der Ruhetonus geht auf eine **reflektorische Dauererregung** zurück, die über Muskelspindeln (Sensoren für Muskellänge und -spannung) und deren synaptische Verbindungen im Rückenmark reguliert wird. Der Ruhetonus wird bei Vollnarkose und bei Durchtrennung peripherer Nerven stark herabgesetzt. Die Aufgabe von Haltemuskeln besteht darin, die Lage eines Körperteils konstant zu halten. Dies wird durch eine Steuerung des Muskeltonus und weniger durch Kontraktion der Muskeln erreicht.

Bei der Durchführung von Bewegungen arbeiten immer mehrere Muskeln zusammen. Sie werden im Hinblick auf diese Bewegung als **Synergisten** bezeichnet. Oft sind Ketten von Muskeln beteiligt, die über mehrere Gelenke hinweg ziehen und deren Komponenten sich **zeitlich koordiniert** kontrahieren. Dies ist aber nur dann möglich, wenn sich diejenigen Muskeln, die der beabsichtigten Bewegung entgegenwirken (**Antagonisten**), ebenso koordiniert **entspannen** (z. B. Entspannung der Flexoren bei Extension). Synergisten und Antagonisten sind als **funktionelle Gruppen** anzusehen. Muskeln, die bei einer Bewegung als Synergisten wirken, können bei einer anderen Bewegung Antagonisten sein.

Inserieren Agonist und Antagonist an nahezu der gleichen Stelle eines Knochens, bilden sie zusammen eine **Muskelschlinge**, in der der Knochen geführt wird.

Bis zur sichtbaren Bewegung eines Körperteils muss der Ruhetonus des Antagonisten überwunden werden. Dies führt zu einem erhöhten Muskeltonus ohne Verkürzung des Muskels (**isometrische Kontraktion**). Erst anschließend kontrahiert sich der Muskel bei gleich bleibendem Tonus (**isotonische Kontraktion**) und es kommt eine Bewegung zustande.

Ist selbst bei maximaler Verkürzung eines Muskels noch eine weitere Bewegung des Gelenks möglich, spricht man von **aktiver Insuffizienz** des Muskels. Dagegen spricht man von **passiver Insuffizienz**, wenn das Gelenk zwar eine weitere Bewegung zuließe, der Muskel aber zerreißen würde, weil er bereits maximal gedehnt ist.

2.3.4 Hilfseinrichtungen von Muskeln und Sehnen

Eine **Sehnenscheide** (**Vagina tendinis**) ist ein röhrenförmiger Führungskanal für häufig bewegte Sehnen, die nahe an oder über Knochen verlaufen. Sie verbessern die Gleitfähigkeit der langen Sehnen an Hand und Fuß, die über oder um Knochen herum geführt werden. Ihr Aufbau ähnelt dem von Gelenkkapseln und Schleimbeuteln mit einem äußeren Stratum fibrosum und einem inneren Stratum synoviale.



Durch eine Überbelastung kann es zur Entzündung einer Sehnenscheide kommen (**Tendovaginitis**). Sie ist aufgrund der guten sensiblen Innervation sehr schmerzhaft.

Bindegewebige Haltebänder (**Retinacula**) auf der Beuge- bzw. Streckseite (Retinaculum flexorum bzw. extensorum) von Unterarm und Unterschenkel verhindern eine Auslenkung der Sehnen aus ihrer physiologischen Zugrichtung.

Sesambeine (**Ossa sesamoidea**) sind rundliche **Verknöcherungen**, die an Stellen hoher Druckbeanspruchung in Sehnen eingebaut sind. Manche Sesambeine wirken als **Hypomochlion**. Sie verlängern den Abstand zur Drehachse und verbessern somit die **Hebelwirkung** des Sehnenzugs auf das distale Skelettelement. Das größte Sesambein des menschlichen Körpers ist die Patella (▶ **Abb. 2.7**).

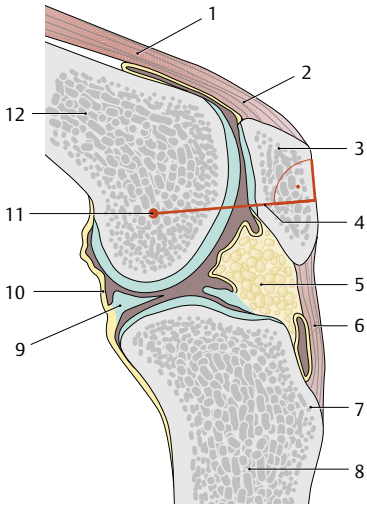


Abb. 2.7 Funktionelle Bedeutung eines Sesambeins (Patella).

1 M. quadriceps femoris
2 Patellarsehne
3 Patella
4 wirksamer Hebelarm
5 Hoffa-Fettkörper
6 Lig. patellae
7 Tuberositas tibiae
8 Tibia
9 Meniscus
10 Gelenkkapsel
11 Bewegungsachse im Kniegelenk
12 Femur

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

3 Kreislauf- und Lymphsystem

Joachim Kirsch

Um die biologischen Funktionen der Zellen eines Organismus zu gewährleisten, ist eine **kontinuierliche Versorgung** mit Sauerstoff, Nährstoffen, Wasser, Hormonen, Abwehrstoffen und Wärme erforderlich. Gleichzeitig müssen Kohlendioxid und andere beim Stoffwechsel anfallenden Endprodukte abgeführt und ausgeschieden werden. Als Transportvehikel dient das **Blut**. Das **Herz** erzeugt den für den Transport erforderlichen Druck. Die Transportprozesse laufen in einem geschlossenen Kreislauf ab, dessen Transportstrecken aus **Blutgefäßen** bestehen. Je nach Strömungsrichtung des Bluts unterscheidet man bei den Blutgefäßen **Arterien** (vom Herzen weg) und **Venen** (zum Herzen hin). Die **Lymphgefäße** führen extrazelluläre Flüssigkeit in das Blutgefäßsystem zurück. Die in ihren Verlauf eingebauten **Lymphknoten** dienen als Filterstationen der spezifischen Abwehr.

3.1 Kreislaufsystem

3.1.1 Blutkreislauf (▶ Abb. 3.1)

Der Blutkreislauf entsteht durch den Weg des Blutes durch die Gefäße, die den gesamten Körper durchziehen. Die **Blutgefäße** eines Organismus bilden ein in sich **geschlossenes**, vielfach verzweigtes **System** aus Röhren mit unterschiedlichem Durchmesser und Wandbau. Unter physiologischen Bedingungen verlässt das Blut diese Röhren nur in der Milz.

Man kann das Kreislaufsystem unterteilen in den **großen** oder **Körperkreislauf** und den **kleinen** oder **Lungenkreislauf**[1]. Das Herz sitzt an der **Schnittstelle** zwischen diesen beiden Komponenten und dient beiden als Druck erzeugende Pumpe. Ein anderes Einteilungsmerkmal für das Kreislaufsystem ist der Druck, der im arteriellen **Hochdrucksystem** (linke Kammer und Arterien) zwischen 60 und 120 mmHg, im **Niederdrucksystem** (Kapillaren, Venen, rechtes Herz, Lungenkreislauf und linker Vorhof) aber nur maximal 20 mmHg beträgt.

Das Herz ist sowohl im Körper- als auch im Lungenkreislauf der Motor der Blutbewegung. Man unterscheidet eine **rechte** und eine **linke Herzhälfte** (rechtes bzw. linkes Herz), die jeweils aus einem Vorhof (**Atrium**) und einer Herzkammer (**Ventrikel**) bestehen.

Die großen Hohlvenen (**V. cava superior**[17] und **inferior**[14]) führen das kohlendioxidreiche und sauerstoffarme Blut aus dem Körper zum rechten Vorhof. Vom rechten Vorhof gelangt das Blut in den rechten Ventrikel und weiter über den **Truncus pulmonalis** und die beiden Lungenarterien[2] (**A. pulmonalis dextra** und **sinistra**) in die Lungen. Hier findet der **Gasaustausch** statt: Kohlendioxid wird abgegeben, Sauerstoff wird aufgenommen. Das nun oxygenierte, also sauerstoffreiche Blut gelangt über die **Lungenvenen** (Vv. pulmonales[18]) zum linken Vorhof und weiter in den linken Ventrikel. Dieser pumpt das Blut über die große Körperschlagader (**Aorta**[3]) in den Körperkreislauf.

In den **Arterien** (S. 42) des Körperkreislaufs gelangt das Blut zu den Organen des Körpers. Dort zweigen sich die Arterien unter Verringerung des Durchmessers immer weiter auf, bis sie in Arteriolen – also Arterien mit geringem Durchmesser (Lumen ca. 20 µm) – und schließlich in **Kapillaren** (Haargefäße) übergehen (S. 43). In den Kapillaren wird die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes sehr langsam und die Wanddicke sehr gering, was den **Stoffaustausch** mit dem umgebenden Gewebe ermöglicht.

Diejenigen Blutgefäße eines Organs, die ausschließlich seiner eigenen Versorgung dienen (z. B. Gefäße zur Versorgung des Lungengewebes), werden **Vasa privata** genannt, während Blutgefäße, die im Dienst des Organismus stehen (z. B. Lungengefäße, die dem Gasaustausch dienen), als **Vasa publica** bezeichnet werden.

Nach Durchlaufen des **Kapillarbetts** sammelt sich das Blut, dessen Zusammensetzung sich nun organ- bzw. gewebespezifisch verändert hat, in **Venolen** (syn. Venulen), die sich schließlich zu **Venen** (S. 45) vereinigen, deren Durchmesser zum Herzen hin immer größer wird. Letztlich sammelt sich das gesamte venöse, sauerstoffarme Blut des Körperkreislaufs in den 2 großen Hohlvenen, die in den rechten Vorhof münden.

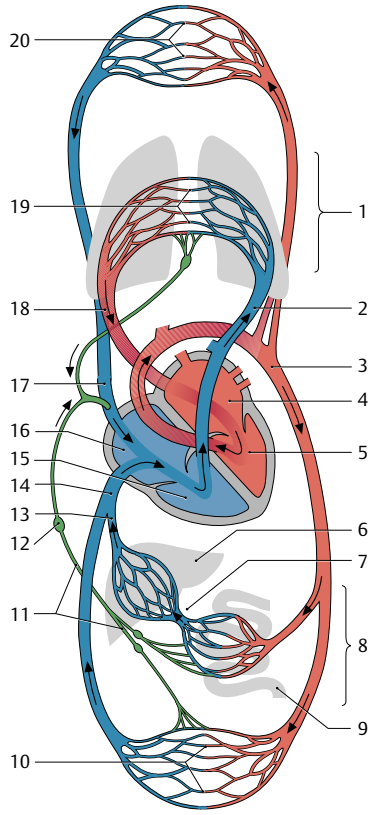


Abb. 3.1 Aufbau des Kreislaufsystems.
1 Lungenkreislauf
2 A. pulmonalis
3 Aorta
4 linker Vorhof
5 linker Ventrikel
6 Leber
7 V. portae hepatis
8 Pfortaderkreislauf
9 Magen-Darm-Trakt
10 Kapillargebiet der unteren Körperhälfte
11 Lymphgefäße
12 Lymphknoten
13 Vv. hepaticae
14 V. cava inferior
15 rechter Ventrikel
16 rechter Vorhof
17 V. cava superior
18 V. pulmonalis
19 Kapillargebiet der Lunge
20 Kapillargebiet der oberen Körperhälfte
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der venöse Schenkel des Körperkreislaufs hat ein höheres Fassungsvermögen als der arterielle. Nur etwa 15 % des strömenden Blutes (Blutvolumen beim Erwachsenen ca. 5 l) befindet sich im Hochdrucksystem, dagegen 80 % im Niederdrucksystem und 5 % im Kapillarbett.

Zum **fetalen Kreislauf** s. Kapitel Entwicklung (S. 232).

3.1.2 Herz

Das Herz (S. 234) ist ein **Hohlmuskel**, dessen Wand (**Myokard**) aus spezialisierten **Herzmuskelzellen** aufgebaut ist. Die koordinierte, rhythmische Kontraktion der Herzmuskelzellen erzeugt den Druck, der für die Fortbewegung des Bluts im Lungen- und Körperkreislauf erforderlich ist. Ein Rückstrom des Bluts wird im Herz durch Ventile, die **Herzklappen**, verhindert. Die Kontraktion der Herzmuskulatur nennt man **Systole**, die Erschlaffungsphase **Diastole**.

Die **Herzwand** besteht aus 3 Schichten:
- Außen liegt dem Herzen das **Epikard** (= Serosa der Perikardhöhle) auf.
- Es folgt als mittlere Schicht das **Myokard**, das aus *Herzmuskelzellen* besteht.
- Nach innen schließt sich das **Endokard** an, das der inneren Schicht (Tunica intima) der Gefäße entspricht.

Das Herz besitzt insgesamt 4 **Herzklappen**, die bei der Kontraktion des Myokards für einen gerichteten Blutstrom sorgen.

Zwischen Vorhof und Herzkammer sitzt jeweils eine **Segelklappe**. Sie besteht am rechten Herzen aus 3 Segeln und wird daher **Trikuspidalklappe** (*Valva atrioventricularis dextra*) genannt. Die Segelklappe des linken Herzens, die **Bikuspidalklappe** oder **Mitralklappe** (*Valva atrioventricularis sinistra*), weist nur 2 Segel auf. Die beiden Segelklappen werden aufgrund ihrer Position zwischen Vorhof und Ventrikel auch als Atrioventrikularklappen (AV-Klappen) bezeichnet. Sie sind die „*Einlassventile*" der Ventrikel und verhindern den Rückstrom von Blut aus den Ventrikeln in die Vorhöfe.

Am Übergang der Ventrikel in die Ausstrombahn sitzen **Taschenklappen** als „*Auslassventile*". Die

Pulmonalklappe (*Valva trunci pulmonalis*) in der rechten Ausstrombahn führt in den Lungenkreislauf, die **Aortenklappe** (*Valva aortae*) in der linken Ausstrombahn in die Aorta und damit in den Körperkreislauf.

Der Verschlussmechanismen der beiden Klappentypen sind grundlegend verschieden: Während sich die Segel der Segelklappen durch den hindurch tretenden Blutstrom annähern und bei vollständiger Füllung des Ventrikels aneinanderlegen („*Strömungsklappen*"), handelt es sich bei Aorten- und Pulmonalklappe um *Rückschlagventile* (Taschenklappen), die sich dann schließen, wenn der Druck in der Ausstrombahn höher ist als im Ventrikel.

Das Blut, das während der Füllungsphase der Diastole von den Vorhöfen in die Kammern strömt, führt zu einer Annäherung der Segelklappen (Bernoulli-Venturi-Effekt). Durch die Anspannung des Ventrikelmyokards während der Anspannungsphase der Systole kommt es dann zu einer Druckerhöhung im Ventrikel, welche die Segel aneinanderdrückt und somit einen Rückstrom in die Vorhöfe verhindert. Ein Durchschlagen der Segel in die Vorhöfe wird durch ihre Befestigung an den Papillarmuskeln verhindert. Bei den Valvulae semilunares (Taschenklappen) verhindert der Bernoulli-Venturi-Effekt ein „Ankleben" an der Wand von Aorta bzw. Truncus pulmonalis während der Austreibungsphase der Systole. Sobald der Blutdruck in der Aorta bzw. Truncus pulmonalis höher ist als im Ventrikel (Entspannungsphase der Diastole), können die Taschenklappen daher im Sinne eines „Rückschlagventils" zurückklappen und den Rückstrom des Blutes in die Ventrikel verhindern.

Die bei der Herzaktion auftretenden Zustände des Myokards und der Herzklappen sind in ▶ Tab. 3.1 zusammengefasst.

Stimmen die vom rechten und linken Herzen geförderten Volumina aufgrund einer Herzschwäche (**Herzinsuffizienz**) nicht genau überein, kommt es zu einer **Stauung**. Fördert das linke Herz zu wenig (**Linksherzinsuffizienz**), kann sich das Blut in die Lunge zurückstauen (**Lungenstauung**, in ausgeprägten Fällen **Lungenödem**). Fördert dagegen das rechte Herz zu wenig (**Rechtsherzinsuffizienz**), führt dies zu einer Blutstauung im venösen Schenkel des Kreislaufsystems, was sich in einer Flüssigkeitseinlagerung im Gewebe (**Weichteilödeme**) äußert.

3.1.3 Aufbau der Blutgefäße

Die Wand der **größeren Gefäße** besteht aus **3 Schichten**:

- Die innere Schicht (**Tunica intima**) besteht aus flachen *Endothelzellen*, die auf einer *Basalmembran* ruhen und den Stoffaustausch regulieren. Sie wird nach außen von einer **Membrana elastica interna** begrenzt, die bei Arterien wesentlich stärker ausgeprägt ist als bei Venen.
- Die mittlere Schicht (**Tunica media**) besteht aus *glatten Muskelzellen* und bei Arterien besonders ausgeprägten *elastischen Netzen.* Die glatten Muskelzellen können durch ihre Kontraktion den Gefäßquerschnitt und damit den Strömungswiderstand regulieren. Eine **Membrana elastica externa** bildet die Abgrenzung zur Tunica externa.
- Die äußere Schicht (**Tunica adventitia** oder **externa**) besteht aus *kollagenem Bindegewebe* und dient dem Einbau des Gefäßes in seine Umgebung. Die Tunica adventitia führt außerdem *Ner-*

Tab. 3.1 Herzaktionen.

Phase	Myokard	Herzklappen AV-Klappen	Taschenklappen
Systole			
Anspannungsphase	angespannt	geschlossen	geschlossen
Austreibungsphase	angespannt	geschlossen	offen
Diastole			
Entspannungsphase	entspannt	geschlossen	geschlossen
Füllungsphase	entspannt	offen	geschlossen

ven und bei Gefäßen mit großem Durchmesser auch *Blutgefäße* zur Versorgung der Gefäßwand (**Vasa vasorum**).

In Anpassung an die unterschiedlichen Funktionen von Arterien und Venen unterscheidet sich deren Wandbau vor allem in der Tunica media.

Die Wand von **Kapillaren** besteht dagegen nur aus einer Tunica intima, was den Stoffaustausch durch die Kapillarwand ermöglicht.

3.1.4 Arterien

Die besonders **elastischen** herznahen **Arterien** wandeln die kräftige Pulswelle des vom Herzen kommenden Bluts in eine *kontinuierliche Strömung* um. In den herzfernen Arterien ist die Muskelschicht besonders ausgeprägt. Daher können diese Arterien die Durchblutung ihres Versorgungsgebiets über eine Veränderung ihres Durchmessers regulieren. Außerdem dienen diese Arterien als **Widerstandsgefäße** der Blutdruckregulation.

In der Tunica media der **herznahen Arterien** sind **elastische Membranen** besonders stark ausgeprägt. Sie fangen die durch die Systole des Myokards hervorgerufene Pulswelle ab und wandeln sie in eine **kontinuierliche Blutströmung** um. Durch den Druck und den Volumenzuwachs der Pulswelle weiten sich diese Arterien zunächst ballonartig. Wegen ihrer Elastizität verringert sich ihr Durchmesser mit Abschwellen der Pulswelle wieder kontinuierlich, wodurch das „zwischengespeicherte" Blutvolumen allmählich in den nachgeschalteten Abschnitt des Kreislaufs gedrückt wird. Diese „**Windkesselfunktion** " (vor allem der Aorta) mildert also den kurzen, sehr hohen Auswurfdruck des Herzens etwas ab und verteilt ihn auf einen längeren Zeitabschnitt. Da das Myokard nur in der Diastole durchblutet werden kann, ist die Windkesselfunktion essentiell für die Blutversorgung des Myokards.

In den **herzfernen Arterien** überwiegt in der Tunica media die **glatte Muskulatur**. Diese Arterien können durch eine Kontraktion oder Entspannung ihrer glatten Muskulatur die Durchblutung in ihrem Versorgungsgebiet regulieren. Eine Verkleinerung des Gefäßquerschnitts aufgrund einer Kontraktion der glatten Muskulatur führt außerdem zu einem Blutdruckanstieg vor dem entsprechenden Versorgungsgebiet („**Widerstandsgefäße** "). Damit dienen diese Gefäße auch der Regulation des Blutdrucks.

Arterien stehen unter einer elastischen **Längsspannung**, was ihre Anpassung an Gelenkstellungen und Bewegungen erleichtert. Verlieren die Arterien im Alter an Elastizität, verlaufen sie geschlängelt.

Bei einer **Arterienverletzung** kommt es bei Durchtrennung kleiner Arterien zunächst zu einer **spritzenden Blutung**. Aufgrund ihrer Längsspannung ziehen sich die durchtrennten Enden in das Bindegewebe zurück. Die elastischen Netze der Gefäßwand stülpen die durchtrennten Enden in das Lumen ein und verringern damit die Blutung, bis sich ein Blutpfropf gebildet hat. Bei größeren Arterien kann dieser Mechanismus die Blutung jedoch nicht stoppen.

Kollateralen . Periphere Arterien bilden untereinander oft Verbindungen (**Anastomosen**) aus, die sich auch zu einem arteriellen Netz (*Rete arteriosum*) ausweiten können. Erlauben diese Anastomosen die parallele Durchblutung desselben Versorgungsgebiets, spricht man von Kollateralen. Beim Ausfall einer zuführenden Arterie kann das nachgeschaltete Kapillargebiet bei ausreichender Kollateralisierung von den Kollateralen versorgt werden (**Kollateralkreislauf**).

Vor der chirurgischen Unterbindung einer Arterie (**Arterienligatur**) muss klar sein, ob eine Versorgung des nachgeschalteten Gebiets über Kollateralen sichergestellt ist.

Endarterien . Existieren für ein Versorgungsgebiet *keine Kollateralen*, nennt man das versorgende Gefäß Endarterie (Beispiel: Aa. digitales oder A. poplitea). Bei **funktionellen Endarterien** gibt es zwar *anatomische* Kollateralgefäße, doch diese führen nicht ausreichend Blut, um beim Verschluss eines Gefäßes eine adäquate Versorgung durch ein anderes zu gewährleisten (Beispiel: Herzkranzgefäße = Aa. coronaria dextra und sinistra).

Der akute **Verschluss von Endarterien** (z. B. durch einen Embolus oder Thrombus) führt im Versorgungsgebiet zu einem Sauerstoffmangel (**Ischämie**), der bei längerem Bestehen zum Gewebeuntergang (**Infarkt**) führt. Infarktgefährdete Organe sind Lunge, Leber, Milz, Nieren, Herz, Gehirn und die Netzhaut des Auges. Entwickelt sich der Verschluss jedoch über einen längeren Zeitraum, kann sich oft ein Kollateralkreislauf ausbilden.

3.1.5 Kapillaren

Kapillaren haben Durchmesser von 4–15 µm. Ihre Innenwand besteht aus **Endothelzellen**, die einer **Basallamina** aufliegen. Auf der anderen Seite der Basallamina befinden sich sternförmig verzweigte, kontraktile **Perizyten**. In den Kapillaren findet der **Stoffaustausch** mit dem umgebenden Gewebe statt.

Sperrarterien sind eine Sonderform. Sie besitzen in der Tunica media längs verlaufende, *glatte Muskelzellen* und in der Tunica intima oft epitheloide Muskelzellen. Eine Membrana elastica interna fehlt. Bei einer Kontraktion der längs verlaufenden glatten Muskulatur wird die Tunica intima polsterartig in das Lumen vorgeschoben und der Blutfluss gedrosselt oder zeitweilig unterbunden. Sie können ein Kapillargebiet also vorübergehend von der Durchblutung ausschließen. Polsterarterien finden sich vor allem in *endokrinen Organen* und in den *genitalen Schwellkörpern*.

Arteriolen. Dem Kapillarbett vorgeschaltet sind Arteriolen mit einem Durchmesser von etwa 30 µm (lichte Weite ca. 20 µm). Ihre *Membrana elastica interna* ist diskontinuierlich oder fehlt, die *Tunica media* besteht aus **einer einzigen** Schicht glatter Muskulatur. In der Endstrecke vor dem Kapillarbett, den **Metarteriolen**, bilden zirkulär angeordnete glatte Muskelzellen („Sphinkterzellen") den *„präkapillaren Sphinkter"*. Die Freisetzung von Noradrenalin aus den zahlreichen Nervenendigungen in der Tunica adventitia führt zur Kontraktion dieser Muskelzellen. Dieser Mechanismus ermöglicht eine selektive Durchblutung des nachgeschalteten Kapillarbetts.

Arteriovenöse Anastomosen. An manchen Stellen (z. B. Fingerbeere) wird das Blut aus kleinen Arterien unter *Umgehung eines Kapillargebietes* direkt in kleine Venen umgeleitet. Solche arteriovenöse Anastomosen in der Haut dienen vor allem der **Wärmeregulation**.

Während der Querschnitt der Aorta etwa 4,5 cm^2 beträgt, hat das Kapillarbett des Körpers einen Gesamtquerschnitt von 4 500 cm^2. Mit der Vergrößerung des Gesamtquerschnitts geht ein Druckabfall von 120 mmHg (große Arterien) auf 15 mmHg und eine Verlangsamung der Strömungsgeschwindigkeit von 50 cm/s auf ca. 0,5 mm/s einher (▶ **Abb. 3.2**).

Eine Kapillare ist etwa 1 mm lang, das Blut durchfließt diese Strecke in etwas mehr als 3 s. Die Gesamtlänge aller Kapillaren des menschlichen Körpers wird auf 100 000 km geschätzt, die für den Gas- und Stoffaustausch zur Verfügung stehende Gesamtfläche auf 700 m^2. An einem Tag strömen ca. 70 000 l Blut durch die Kapillaren. Eine Körperzelle ist zwischen 60 und 80 µm von einer Kapillare entfernt.

Bau und Funktion. Die **Endothelzellen** der Kapillaren sind durch Zellkontakte (Tight Junctions, Gap Junctions und Adherens Junctions) miteinander verbunden. In ihrem Zytoplasma können unterschiedlich große **Poren** vorkommen, die den Austausch von Stoffen und die *Diapedese* von Zellen des Immunsystems erleichtern. Für den Stoffaustausch gibt es unterschiedliche Mechanismen:

- *Diffusion:* Lipophile Substanzen wie *molekularer Sauerstoff* und *Kohlendioxid* können die lipidhaltigen Plasmamembranen des Endothels durch Diffusion direkt durchqueren. Hydrophile Substanzen dagegen müssen den Diffusionsweg durch die *Poren* zwischen den Endothelzellen nehmen oder werden durch die unten aufgeführten Mechanismen aufgenommen.
- *Transzytose:* Manche Substanzen (z. B. Immunglobulin A) werden von Endothelzellen aus der Kapillare aufgenommen und in den Extrazellularraum wieder abgegeben.
- *Transportmoleküle:* Für bestimmte hydrophile Moleküle existieren spezielle Transportmolekü-

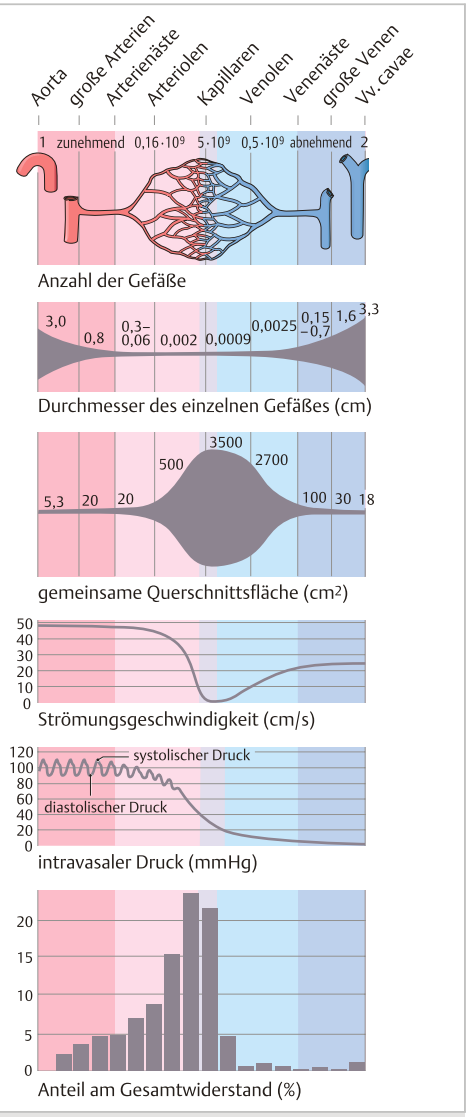


Abb. 3.2 Charakteristische Parameter der unterschiedlichen Abschnitte des Kreislaufsystems. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

le. Diese sind u. U. in Caveolae (stabile Einstülpungen der Endothelzellmembran) konzentriert.

- *Filtration und Osmose:* Der Wasseraustausch zwischen Kapillare und Extrazellularraum hängt von der Differenz zwischen hydrostatischem Druck und kolloidosmotischem Druck in der Kapillare ab. Der hydrostatische Druck führt zur Filtration in den Extrazellularraum, der kolloidosmotische Druck zur Rückresorption in die Kapillare. Unter Normalbedingungen überwiegt der hydrostatische Druck, sodass etwas mehr Flüssigkeit filtriert als resorbiert wird. Der Überschuss an extrazellulärer Flüssigkeit wird von den Lymphgefäßen (S. 48) aufgenommen und über die **Lymphbahnen** und den **Ductus thoracicus** zurück ins venöse System geleitet.

Unter einem **Ödem** versteht man die vermehrte Ansammlung von Flüssigkeit im Extrazellularraum. Mögliche Ursachen sind ein erhöhter hydrostatischer Druck in den Kapillaren (z. B. nach langem Stehen), ein erniedrigter kolloidosmotischer Druck in den Kapillaren (z. B. bei verminderter Albuminsynthese der Leber) oder ein erhöhter kolloidosmotischer Druck im Gewebe (z. B. bei erhöhter Permeabilität des Endothels durch Entzündungsmediatoren).

Kapillartypen. Man unterscheidet **kontinuierliche Kapillaren**, bei denen das Endothel eine vollständig oder annähernd vollständig geschlossene Röhre bildet. Dieser Typ ist am weitesten verbreitet und kommt im Nervensystem, Muskel- und Bindegewebe sowie in Lunge und Herzen vor. Bei **fenestrierten Kapillaren** ist das Zytoplasma der Endothelzellen mit Poren (Fenestrae) von 20–100 nm durchsetzt. Die Poren sind mit einem Diaphragma aus Fibrillen und Glykoproteinen abgedeckt, das Peptide, Glukose, Aminosäuren und Ionen ungehindert durchlässt. Solche Kapillaren sind dort ausgebildet, wo ein intensiver Stoffaustausch stattfindet, also in den peritubulären Kapillaren der Niere, exokrinen Drüsen, allen endokrinen Organen, dem Plexus choroideus und den zirkumventrikulären Organen des Gehirns. Bei einem **diskontinuierlichen Endothel** sind die Poren (ca. 100 nm) nicht von einem Diaphragma verschlossen. Man unterscheidet hierbei ein **perforiertes Endothel** mit geschlossenen Interzellularkontakten von einem **disjunkten Endothel**, wo Interzellularkontakte abschnittsweise komplett fehlen. Diskontinuierliche Endothelien sind typisch für die Sinusoide der Leber oder des Knochenmarks. Als **Sinusoide** bezeichnet man Kapillaren mit weitem, unregelmäßigem Lumen.

3.1.6 Venen

Auf die Kapillaren folgen die **postkapillären Venolen**, deren Wandbau sich noch kaum von dem der Kapillaren unterscheidet. Auch in ihnen können Stoffe ausgetauscht werden. Sie schließen sich zu **Sammelvenolen** zusammen, die bereits den dreischichtigen Wandbau der Venen aufweisen. Venen weisen zwar den gleichen Umfang wie die begleitenden Arterien auf, ihre Wand ist aber dünner und das Lumen daher weiter. Da sich ca. 80 % des Blutvolumens in den Venen befindet, spricht man auch von **Kapazitätsgefäßen**.

Der venöse Schenkel des Körperkreislaufs hat ein höheres Fassungsvermögen als der arterielle. Nur etwa 15 % des strömenden Blutes befindet sich im Hochdrucksystem, dagegen 80 % im Niederdrucksystem und 5 % im Kapillarbett. Daher kann man das venöse System als eine Art „Blutspeicher" ansehen, weshalb man bei den Venen auch von **Kapazitätsgefäßen** spricht.

Die eher spärliche *glatte Muskulatur* der Tunica media erzeugt die Spannung der Venenwand (**Venentonus**), die im Wesentlichen die Dehnbarkeit des Gefäßes und damit das Blutvolumen in ihm steuert. *Elastische Netze* sind deutlich weniger ausgeprägt als in Arterien, dafür findet man in der Wand zahlreiche *Kollagenfibrillen*.

Der **Bau der Venenwand** weist je nach den hämodynamischen Verhältnissen regionale Unterschiede auf. In den Venen der unteren Extremitäten gibt es mehr glatte Muskelzellen, da hier der hydrostatische Druck höher ist als in den herznahen Venen. In Gehirn und Retina kommen muskelfreie Venen vor.

Venenklappen (▶ **Abb. 3.3**) sind taschenförmige Intimaduplikaturen in kleinen und mittleren Venen. Da die Öffnung der Taschen immer herzwärts gerichtet ist, wirken die Venenklappen wie ein *Rückschlagventil* und bestimmen die Richtung des venösen Blutflusses. Taschenklappen fehlen aber bei den Venen des Kopfes, des Wirbelkanals und in zahlreichen Venen der Eingeweide.

Der Druck, den die Skelettmuskulatur bei Kontraktion auf die Venen ausübt, verursacht eine Verschiebung des Bluts, die wegen der Venenklappen nur Richtung Herz möglich ist (**Muskelpumpe**). Ebenso wirkt die Ausdehnung der Arterien mit der Pulswelle bei denjenigen Venen, die direkt neben einer Arterie verlaufen (**arteriovenöse Kopplung**).

Krampfadern (**Varizen**) sind unregelmäßig erweiterte und geschlängelte Hautvenen. Sie können entstehen, wenn sich der Venenquerschnitt vergrößert, wodurch die **Venenklappen** nicht mehr richtig schließen (Klappeninsuffizienz). Der venöse Rückstau führt zu einer weiteren Volumenbelastung und Dehnung der Venenwände. Ursachen hierfür können ein u. U. genetisch bedingter, unzureichender Venentonus, eine unzureichende Betätigung der Muskelpumpe (Bewegungsarmut) oder ein über einen längeren Zeitraum gesteigerter hydrostatischer Druck (häufiges langes Stehen) sein.

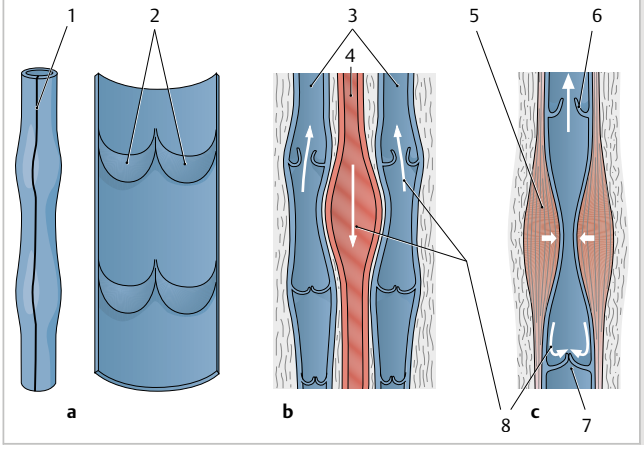


Abb. 3.3 Mechanismen des venösen Rückstroms zum Herzen.
a Venenklappen, **b** arteriovenöse Kopplung, **c** Muskelpumpe
1 Längsschnitt durch eine Vene
2 Venenklappe
3 Venen
4 Arterie
5 kontrahierter Skelettmuskel
6 offene Venenklappe
7 geschlossene Venenklappe
8 Flussrichtung des Bluts
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Für den **Rücktransport des Blutes** aus der V. cava inferior zum Herzen spielen die **Atemexkursionen** des Thorax (Unterdruck) die entscheidende Rolle. Muskelpumpe und arteriovenöse Kopplung wirken ebenso wie die Sogwirkung des Herzens in den großen, herznahen Gefäßen (der V. cava superior und inferior, V. jugularis) unterstützend. Für den Blutstrom in den peripheren Venen sind der vom Herzen erzeugte Blutdruck, der am Ende des Kapillarbetts noch 15 mmHg beträgt, sowie Muskelpumpe und arteriovenöse Kopplung von Bedeutung. In den Venen der oberen Körperhälfte spielt der hydrostatische Druck eine wichtige Rolle.

Periphere Venen bilden häufiger als Arterien unregelmäßige **venöse Kollateralen** aus. Am Hals und an den Extremitäten existieren venöse Kollateralkreisläufe zwischen tiefen, die Arterien begleitenden Venen (Begleitvenen) und Hautvenen, sodass die Unterbrechung einer Vene den venösen Abfluss nicht behindert.

Ähnlich wie bei *Sperrarterien* kommen in der Wand mancher postkapillärer Venen starke **ringförmige** und **längsgestellte glatte Muskelzellen** vor, deren Kontraktion das Blut im Kapillargebiet aufstaut. Solche **Drosselvenen** findet man in *endokrinen Organen* (Nebennierenmark), der *Nasenschleimhaut* und den *Genitalorganen*.

Im allgemeinen Sprachgebrauch versteht man unter **venösen Sinus** oder **Sinusoiden** unregelmäßig erweiterte, mikroskopisch kleine Gefäßstrecken im venösen Schenkel des Gefäßbetts. Doch im Schädel bezeichnet man **starre**, von harter Hirnhaut (**Dura mater**) umschlossene **venöse Blutleiter** als **Sinus durae matris**.

3.2 Blut

Blut ist das Medium, in dem die **Blutgase** *Sauerstoff* und *Kohlendioxid*, **Nährstoffe**, deren *Metaboliten* und *Abbauprodukte*, Wasser, körpereigene Substanzen wie **Hormone** und **Mediatoren** der spezifischen und unspezifischen **Abwehr** sowie **Wärme** zu den Geweben und Organen des Körpers transportiert werden. Es besteht aus einer Flüssigkeit, dem **Blutplasma**, und den **Blutzellen**.

Das Blut macht etwa 8 % des Körpergewichts aus, beim Erwachsenen also 4–6 l. Es setzt sich zusammen aus einem korpuskulären Anteil (**Blutzellen**) und Flüssigkeit (**Blutplasma**). Das Blutplasma macht etwa 56 % des Blutvolumens aus. Es besteht aus 90 % Wasser und 7–8 % Plasmaproteinen (60 % Albumin, 40 % Globuline). Ferner enthält das Blutplasma 2–3 % niedermolekulare Substanzen, darunter Elektrolyte.

Zu den Plasmaproteinen gehören auch die Bestandteile des **Blutgerinnungssystems** (u. a. *Thrombin* und *Fibrinogen*) und des **Komplementsystems**, das der Abwehr dient.

Die zellulären Bestandteile machen etwa 44 % des Blutvolumens aus. Den größten Anteil daran haben mit $4\,000–6\,000 \times 10^9$/l die roten Blutkörperchen (Erythrozyten) gefolgt von Thrombozyten ($150–350 \times 10^9$/l) und Leukozyten ($3{,}5–10 \times 10^9$/l).

Frisch entnommenes Blut **gerinnt** nach etwa 5–10 min. Am Ende einer **Kaskade** von Aktivierungsschritten wird *Fibrinogen* in fadenförmiges *Fibrin* umgewandelt, das die zellulären Bestandteile des Bluts zu einem „*Blutkuchen*“ gerinnen lässt. Über diesem setzt sich das **Blutserum** (= Blutplasma ohne Fibrinogen) ab.

Erythrozyten . Bei den kernlosen roten Blutzellen handelt es sich um in der Mitte eingedellte (bikonkave) Scheiben von 7,7 µm Durchmesser. Sie enthalten als Hauptbestandteil Hämoglobin (280×10^6 Moleküle/Zelle) – ein Protein, das molekularen Sauerstoff binden kann. Erythrozyten haben eine Lebensdauer von 100–120 Tagen und verlassen im Gegensatz zu den Leukozyten nur in der Milz die Blutbahn.

Retikulozyten sind noch nicht völlig ausgereifte Erythrozyten. Mit Spezialfärbungen kann man in ihnen RNA und Reste von Ribosomen (Substantia granuloreticulofilamentosa) nachweisen. Der Anteil von Retikulozyten an den roten Blutzellen beträgt im Blut etwa 0,1–1,5 %, kann jedoch nach starkem Blutverlust erheblich ansteigen.

Leukozyten. Die „weißen“, eigentlich farblosen Blutkörperchen gehören zum Abwehrsystem des Körpers. Sie nutzen das Blut als Transportmedium zwischen Bildungsstätte im Knochenmark und Wirkungsstätte in den Geweben und Organen des Körpers. Man unterscheidet Granulozyten, Monozyten und Lymphozyten.

Die amöboid beweglichen **Granulozyten** gehören zum *unspezifischen* Abwehrsystem. Durch Anfärbung kann man neutrophile, basophile und eosinophile Granulozyten unterscheiden:

Für den **Rücktransport des Blutes** aus der V. cava inferior zum Herzen spielen die **Atemexkursionen** des Thorax (Unterdruck) die entscheidende Rolle. Muskelpumpe und arteriovenöse Kopplung wirken ebenso wie die Sogwirkung des Herzens in den großen, herznahen Gefäßen (der V. cava superior und inferior, V. jugularis) unterstützend. Für den Blutstrom in den peripheren Venen sind der vom Herzen erzeugte Blutdruck, der am Ende des Kapillarbetts noch 15 mmHg beträgt, sowie Muskelpumpe und arteriovenöse Kopplung von Bedeutung. In den Venen der oberen Körperhälfte spielt der hydrostatische Druck eine wichtige Rolle.

Periphere Venen bilden häufiger als Arterien unregelmäßige **venöse Kollateralen** aus. Am Hals und an den Extremitäten existieren venöse Kollateralkreisläufe zwischen tiefen, die Arterien begleitenden Venen (Begleitvenen) und Hautvenen, sodass die Unterbrechung einer Vene den venösen Abfluss nicht behindert.

Ähnlich wie bei *Sperrarterien* kommen in der Wand mancher postkapillärer Venen starke **ringförmige** und **längsgestellte glatte Muskelzellen** vor, deren Kontraktion das Blut im Kapillargebiet aufstaut. Solche **Drosselvenen** findet man in *endokrinen Organen* (Nebennierenmark), der *Nasenschleimhaut* und den *Genitalorganen*.

Im allgemeinen Sprachgebrauch versteht man unter **venösen Sinus** oder **Sinusoiden** unregelmäßig erweiterte, mikroskopisch kleine Gefäßstrecken im venösen Schenkel des Gefäßbetts. Doch im Schädel bezeichnet man **starre**, von harter Hirnhaut (**Dura mater**) umschlossene **venöse Blutleiter** als **Sinus durae matris**.

3.2 Blut

Blut ist das Medium, in dem die **Blutgase** *Sauerstoff* und *Kohlendioxid*, **Nährstoffe**, deren *Metaboliten* und *Abbauprodukte*, Wasser, körpereigene Substanzen wie **Hormone** und **Mediatoren** der spezifischen und unspezifischen **Abwehr** sowie **Wärme** zu den Geweben und Organen des Körpers transportiert werden. Es besteht aus einer Flüssigkeit, dem **Blutplasma**, und den **Blutzellen**.

Das Blut macht etwa 8 % des Körpergewichts aus, beim Erwachsenen also 4–6 l. Es setzt sich zusammen aus einem korpuskulären Anteil (**Blutzellen**) und Flüssigkeit (**Blutplasma**). Das Blutplasma macht etwa 56 % des Blutvolumens aus. Es besteht aus 90 % Wasser und 7–8 % Plasmaproteinen (60 % Albumin, 40 % Globuline). Ferner enthält das Blutplasma 2–3 % niedermolekulare Substanzen, darunter Elektrolyte.

Zu den Plasmaproteinen gehören auch die Bestandteile des **Blutgerinnungssystems** (u. a. *Thrombin* und *Fibrinogen*) und des **Komplementsystems**, das der Abwehr dient.

Die zellulären Bestandteile machen etwa 44 % des Blutvolumens aus. Den größten Anteil daran haben mit $4\,000–6\,000 \times 10^9$/l die roten Blutkörperchen (Erythrozyten) gefolgt von Thrombozyten ($150–350 \times 10^9$/l) und Leukozyten ($3{,}5–10 \times 10^9$/l).

Frisch entnommenes Blut **gerinnt** nach etwa 5–10 min. Am Ende einer **Kaskade** von Aktivierungsschritten wird *Fibrinogen* in fadenförmiges *Fibrin* umgewandelt, das die zellulären Bestandteile des Bluts zu einem „*Blutkuchen*“ gerinnen lässt. Über diesem setzt sich das **Blutserum** (= Blutplasma ohne Fibrinogen) ab.

Erythrozyten . Bei den kernlosen roten Blutzellen handelt es sich um in der Mitte eingedellte (bikonkave) Scheiben von 7,7 µm Durchmesser. Sie enthalten als Hauptbestandteil Hämoglobin (280×10^6 Moleküle/Zelle) – ein Protein, das molekularen Sauerstoff binden kann. Erythrozyten haben eine Lebensdauer von 100–120 Tagen und verlassen im Gegensatz zu den Leukozyten nur in der Milz die Blutbahn.

Retikulozyten sind noch nicht völlig ausgereifte Erythrozyten. Mit Spezialfärbungen kann man in ihnen RNA und Reste von Ribosomen (Substantia granuloreticulofilamentosa) nachweisen. Der Anteil von Retikulozyten an den roten Blutzellen beträgt im Blut etwa 0,1–1,5 %, kann jedoch nach starkem Blutverlust erheblich ansteigen.

Leukozyten. Die „weißen“, eigentlich farblosen Blutkörperchen gehören zum Abwehrsystem des Körpers. Sie nutzen das Blut als Transportmedium zwischen Bildungsstätte im Knochenmark und Wirkungsstätte in den Geweben und Organen des Körpers. Man unterscheidet Granulozyten, Monozyten und Lymphozyten.

Die amöboid beweglichen **Granulozyten** gehören zum *unspezifischen* Abwehrsystem. Durch Anfärbung kann man neutrophile, basophile und eosinophile Granulozyten unterscheiden:

- *Neutrophile Granulozyten* (ø 10-12 µm) können kleine Partikel wie Gewebetrümmer und Bakterien phagozytieren.
- Die *eosinophilen Granulozyten* (ø 12 µm) sind auf die Phagozytose und den Abbau von Antigen-Antikörper-Komplexen spezialisiert und an allergischen Prozessen beteiligt. Ihre Zahl ist bei Parasitenbefall erhöht.
- Die *basophilen Granulozyten* (ø 10 µm) sind nicht zur Phagozytose fähig. Sie bilden das gerinnungshemmende Heparin und setzen aus ihren Granula die gefäßerweiternde Substanz Histamin frei.

Bei den meisten **Monozyten** (ø 20 µm) handelt es sich um die inaktive Transportform von Gewebemakrophagen (s. u.). In aktiver Form kommen Monozyten z. B. als amöboid bewegliche *Histiozyten* im Bindegewebe oder als *Alveolar-Makrophagen* in den Alveolen der Lunge vor.

Lymphozyten (ø 4-15 µm) gehören zum *spezifischen* Abwehrsystem. Im Blut kommen B-Lymphozyten (ca. 15 %), T-Lymphozyten (ca. 75 %) und Natürliche Killerzellen (NK-Zellen; 10 %) vor. Sie zirkulieren ständig zwischen dem Blut und den lymphatischen Organen. Ihre Aufenthaltszeit im Blut beträgt durchschnittlich nur eine Stunde.

T-Lymphozyten sind die Effektoren der *zellulären Immunantwort*. Aus dem Blut wandern sie in die sekundären lymphatischen Organe ein (s. ▶ **Abb. 3.4**), können aber von dort auch wieder zurück ins Blut gelangen.

Autoimmunerkrankungen (z. B. Lupus erythematodes, rheumatoide Arthritis, Pemphigus vulgaris) entstehen, wenn T-Zellen körpereigene Zellen fälschlicherweise als fremd identifizieren und angreifen.

Durch den ersten Kontakt einer T-Zelle mit einem Antigen entstehen u. a. Gedächtniszellen, die bei einem erneuten Antigenkontakt wieder proliferieren und damit eine schnelle Immunantwort ermöglichen.

B-Lymphozyten sind die Effektoren der *humoralen Immunantwort*. Jede B-Zelle trägt an ihrer Oberfläche nur einen einzigen Typ von B-Zell-Rezeptor. Die Bindung des spezifischen Antigens an den B-Zell-Rezeptor führt zur Proliferation des B-Lymphozyten in Lymphknoten und zur Differenzierung in **Plasmazellen**, die sich nicht mehr teilen können. Die Plasmazellen sezernieren dann Antikörper. Auch B-Zellen können nach einem Primärkontakt Gedächtniszellen bilden.

NK-Zellen, die dem unspezifischen Abwehrsystem zugerechnet werden, können aufgrund spezifischer Rezeptoren an ihrer Oberfläche Tumorzellen und von Viren befallene Zellen von normalen Zellen unterscheiden und abtöten.

Thrombozyten (ø 2-3 µm) sind keine Zellen, sondern von einer Plasmamembran umgebene **Abschnürungen** von Zellen des Knochenmarks, den **Megakaryozyten**. Wenn Thrombozyten Kontakt mit unphysiologischen Oberflächen bekommen, haften sie daran (Adhäsion) und aggregieren (primäre **Hämostase**). Außerdem geben sie den Inhalt ihrer Granula ab. Damit wird u. a. das Enzym *Thrombokinase* freigesetzt, welches die **Blutgerinnung (sekundäre Hämostase)** aktiviert.

3.3 Lymphatisches System

Zum lymphatischen System zählen Lymphgefäße und lymphatische Organe. Diesen kann man 2 unterschiedliche Aufgaben, nämlich den Flüssigkeits- und Fetttransport sowie die Immunabwehr zuordnen. Als **Transportsystem** führen die Lymphgefäße einen Teil der aus den Kapillaren in das Interstitium übergetretenen Flüssigkeit wieder dem venösen Schenkel des Gefäßsystems zu. Außerdem transportieren sie die im Darm aufgenommenen Fette in Form von **Chylomikronen** ins Blut. Da die Lymphgefäße als Lymphkapillaren beginnen, die unmittelbar ins Interstitium übergehen, handelt es sich um ein offenes Transportsystem. Im Zentralnervensystem sowie im Knochen- und Knorpelgewebe gibt es keine Lymphgefäße.

Das körpereigene **Abwehrsystem** bekämpft und eliminiert Krankheitserreger, körperfremde Stoffe und entartete körpereigene Zellen. Man unterscheidet ein entwicklungsgeschichtlich altes, unspezifisches Abwehrsystem von dem phylogenetisch jungen, spezifischen Abwehrsystem. Die Zellen des *spezifischen Abwehrsystems* (Lymphozyten) erhalten in den **primären lymphatischen Organen** ihre Prägung und wandern danach in die **sekundären lymphatischen Organe** aus. Außerdem sind in die Verzweigungspunkte der größeren Lymphgefäße *Lymphknoten* mit immunologi-

- *Neutrophile Granulozyten* (ø 10-12 µm) können kleine Partikel wie Gewebetrümmer und Bakterien phagozytieren.
- Die *eosinophilen Granulozyten* (ø 12 µm) sind auf die Phagozytose und den Abbau von Antigen-Antikörper-Komplexen spezialisiert und an allergischen Prozessen beteiligt. Ihre Zahl ist bei Parasitenbefall erhöht.
- Die *basophilen Granulozyten* (ø 10 µm) sind nicht zur Phagozytose fähig. Sie bilden das gerinnungshemmende Heparin und setzen aus ihren Granula die gefäßerweiternde Substanz Histamin frei.

Bei den meisten **Monozyten** (ø 20 µm) handelt es sich um die inaktive Transportform von Gewebemakrophagen (s. u.). In aktiver Form kommen Monozyten z. B. als amöboid bewegliche *Histiozyten* im Bindegewebe oder als *Alveolar-Makrophagen* in den Alveolen der Lunge vor.

Lymphozyten (ø 4-15 µm) gehören zum *spezifischen* Abwehrsystem. Im Blut kommen B-Lymphozyten (ca. 15 %), T-Lymphozyten (ca. 75 %) und Natürliche Killerzellen (NK-Zellen; 10 %) vor. Sie zirkulieren ständig zwischen dem Blut und den lymphatischen Organen. Ihre Aufenthaltszeit im Blut beträgt durchschnittlich nur eine Stunde.

T-Lymphozyten sind die Effektoren der *zellulären Immunantwort*. Aus dem Blut wandern sie in die sekundären lymphatischen Organe ein (s. ▶ **Abb. 3.4**), können aber von dort auch wieder zurück ins Blut gelangen.

Autoimmunerkrankungen (z. B. Lupus erythematodes, rheumatoide Arthritis, Pemphigus vulgaris) entstehen, wenn T-Zellen körpereigene Zellen fälschlicherweise als fremd identifizieren und angreifen.

Durch den ersten Kontakt einer T-Zelle mit einem Antigen entstehen u. a. Gedächtniszellen, die bei einem erneuten Antigenkontakt wieder proliferieren und damit eine schnelle Immunantwort ermöglichen.

B-Lymphozyten sind die Effektoren der *humoralen Immunantwort*. Jede B-Zelle trägt an ihrer Oberfläche nur einen einzigen Typ von B-Zell-Rezeptor. Die Bindung des spezifischen Antigens an den B-Zell-Rezeptor führt zur Proliferation des B-Lymphozyten in Lymphknoten und zur Differenzierung in **Plasmazellen**, die sich nicht mehr teilen können. Die Plasmazellen sezernieren dann Antikörper. Auch B-Zellen können nach einem Primärkontakt Gedächtniszellen bilden.

NK-Zellen, die dem unspezifischen Abwehrsystem zugerechnet werden, können aufgrund spezifischer Rezeptoren an ihrer Oberfläche Tumorzellen und von Viren befallene Zellen von normalen Zellen unterscheiden und abtöten.

Thrombozyten (ø 2-3 µm) sind keine Zellen, sondern von einer Plasmamembran umgebene **Abschnürungen** von Zellen des Knochenmarks, den **Megakaryozyten**. Wenn Thrombozyten Kontakt mit unphysiologischen Oberflächen bekommen, haften sie daran (Adhäsion) und aggregieren (primäre **Hämostase**). Außerdem geben sie den Inhalt ihrer Granula ab. Damit wird u. a. das Enzym *Thrombokinase* freigesetzt, welches die **Blutgerinnung (sekundäre Hämostase)** aktiviert.

3.3 Lymphatisches System

Zum lymphatischen System zählen Lymphgefäße und lymphatische Organe. Diesen kann man 2 unterschiedliche Aufgaben, nämlich den Flüssigkeits- und Fetttransport sowie die Immunabwehr zuordnen. Als **Transportsystem** führen die Lymphgefäße einen Teil der aus den Kapillaren in das Interstitium übergetretenen Flüssigkeit wieder dem venösen Schenkel des Gefäßsystems zu. Außerdem transportieren sie die im Darm aufgenommenen Fette in Form von **Chylomikronen** ins Blut. Da die Lymphgefäße als Lymphkapillaren beginnen, die unmittelbar ins Interstitium übergehen, handelt es sich um ein offenes Transportsystem. Im Zentralnervensystem sowie im Knochen- und Knorpelgewebe gibt es keine Lymphgefäße.

Das körpereigene **Abwehrsystem** bekämpft und eliminiert Krankheitserreger, körperfremde Stoffe und entartete körpereigene Zellen. Man unterscheidet ein entwicklungsgeschichtlich altes, unspezifisches Abwehrsystem von dem phylogenetisch jungen, spezifischen Abwehrsystem. Die Zellen des *spezifischen Abwehrsystems* (Lymphozyten) erhalten in den **primären lymphatischen Organen** ihre Prägung und wandern danach in die **sekundären lymphatischen Organe** aus. Außerdem sind in die Verzweigungspunkte der größeren Lymphgefäße *Lymphknoten* mit immunologi-

scher Filterfunktion eingeschaltet. In ihnen sammeln sich Krankheitserreger und Fremdstoffe, die ins Gewebe eingedrungen sind, bevor diese ins Blut gelangen können. Lymphknoten zählen zu den sekundären lymphatischen Organen.

3.3.1 Lymphgefäße

Im Kapillarbett wird etwas mehr Flüssigkeit in den Extrazellularraum filtriert als aus diesem zurück in die Kapillaren resorbiert wird. Die überschüssige Flüssigkeit nehmen die Lymphgefäße auf. Die **Lymphkapillaren** beginnen ohne dauerhaft offene Verbindung mit dem Extrazellularraum. Ihre Wand wird von **Endothelzellen** gebildet, die mit **Ankerfäden** im umgebenden Bindegewebe fixiert sind. Außerdem können die Lymphkapillaren durch Zug aus dem Bindegewebe oder durch den Druck der interstitiellen Flüssigkeit geöffnet werden. Die Lymphkapillaren vereinen sich zu **Sammelgefäßen** (**Kollektoren**), deren weites Lumen locker und netzartig von glatten Muskelzellen umgeben ist. Die Kollektoren vereinen sich weiter zu **Transportgefäßen**, die sich wiederum zu Bündeln (**Lymphbahnen**) zusammenschließen.

Kollektoren und Transportgefäße besitzen Klappen, die den Taschenklappen der Venen entsprechen. Die Abschnitte zwischen den Klappen können durch die umgebende glatte Muskulatur kontrahiert werden, wodurch die Lymphe gerichtet transportiert wird.

Relativ zur Lage der jeweiligen Lymphknoten unterscheidet man *prä-* und *postnodale Lymphbahnen*. Die postnodalen Lymphbahnen münden in die Lymphstämme (**Trunci lymphatici**) bzw. in den **Ductus thoracicus oder Truncus lymphaticus dexter**, worüber die Lymphe beidseits in den Venenwinkeln (Zusammenfluss von V. jugularis und V. subclavia) in das venöse Blut zurückfließt. Die Wand der Lymphstämme ähnelt der kleiner Venen.

Eine Entzündung der unter der Haut verlaufenden Lymphgefäße (**Lymphangitis**, oft fälschlich „Blutvergiftung“ genannt) ist an einer längsgerichteten, streifenförmigen Rötung der Haut erkennbar. Oft sind auch benachbarte (regionäre) Lymphknoten schmerzhaft angeschwollen.

3.3.2 Lymphatische Organe (▶ Abb. 3.4)

Primäre lymphatische Organe

Das **Knochenmark**[6] ist Sitz der lymphoiden Vorläuferzellen. Durch asymmetrische Zellteilung entstehen aus diesen Vorläuferzellen einerseits wiederum Vorläuferzellen, aber auch die *Vorgänger von T- und B-Lymphozyten sowie NK Zellen*. Die im Knochenmark verbleibenden Lymphozyten erhalten eine spezifische B-Zell-Prägung. Die Prä-T-Lymphozyten wandern dagegen mit dem Blut in den **Thymus** (Bries[7]). Dieser liegt retrosternal im oberen Mediastinum (S. 217). Hier erhalten die T-Lymphozyten durch Interaktion mit den Thymusepithelzellen ihre spezifische Prägung. NK-Zellen gehören zum unspezifischen Abwehrsystem. Sie können nicht „hinzulernen“ und erhalten keine weitere Prägung.

Ein meist gutartiger Tumor der Thymusepithelzellen wird **Thymom** genannt. Er äußert sich in einem retrosternalen Druckgefühl, Schluckbeschwerden, Husten oder Luftnot. Die Thymomzellen können die Bildung von **Antikörpern** verursachen, die an den Azetylcholinrezeptor der neuromuskulären Endplatte binden und diesen blockieren. Dies führt zu einer **Schwäche** der quergestreiften Muskulatur, die bei wiederholter Belastung zunimmt (**Myasthenia gravis**). Betroffene Patienten können häufig abends die Augenlider nicht mehr anheben. Die Symptomatik kann durch Entfernung des Thymus oft verbessert werden.

Sekundäre lymphatische Organe

Sekundäre lymphatische Organe sind:
- Lymphknoten[2],
- Tonsillen des lymphatischen Rachenrings[1],
- mukosaassoziiertes lymphatisches Gewebe (MALT; v. a. Peyer-Plaques[4] im terminalen Ileum und Appendix vermiformis),
- Milz[3]

In den sekundären lymphatischen Organen sind die Lymphozyten meist in kugeligen Kolonien, den **Lymphfollikeln**, angeordnet, in denen ihre Ver-

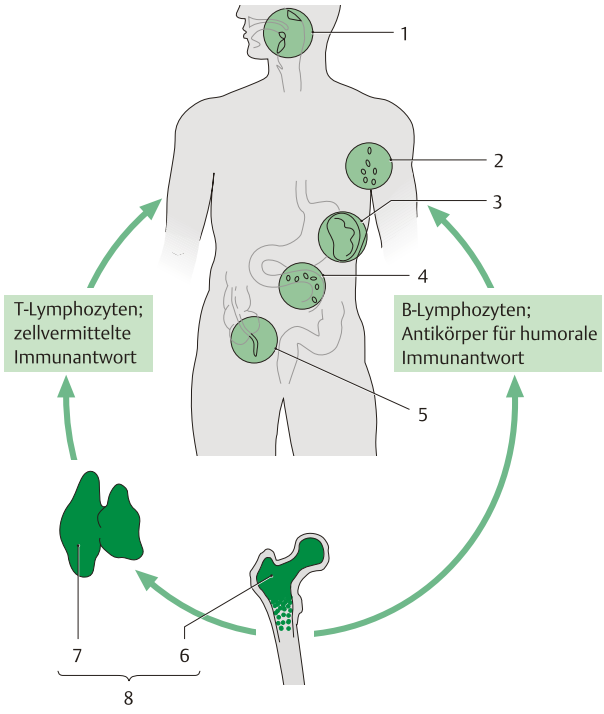


Abb. 3.4 Primäre und sekundäre lymphatische Organe.
1 Tonsillen
2 Lymphknoten
3 Milz
4 Peyer-Plaques (Lymphfollikel im Darm)
5 Appendix vermiformis
6 Knochenmark
7 Thymus
8 primäre lymphatische Organe
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

mehrung und teils auch Differenzierung zu Plasmazellen stattfindet. Nach ihrer Morphologie unterscheidet man zwischen Primär- und Sekundärfollikeln.

Primärfollikel kommen fast ausschließlich bei Feten und Neugeborenen vor. Die Lymphozyten sind in ihnen gleichmäßig verteilt. Nach **Antigenkontakt** kommt es zur klonalen Vermehrung und Differenzierung der Lymphozyten, was auch zu einer morphologischen Veränderung des Lymphfollikels führt: Der Randbereich (**parafollikulärer Raum**) besteht nun aus dicht gelagerten *T-Zellen*. Im zellärmeren **Keimzentrum** befinden sich vorwiegend *B-Zellen* und *Makrophagen*. Einen solchen Follikel bezeichnet man als **Sekundärfollikel**.

Die etwa bohnenförmigen **Lymphknoten** dienen als **Filterstationen** der Lymphe (▶ **Abb. 3.5**). Sie sind der Ort der **primären Immunantwort**. Als **regionäre Lymphknoten** bezeichnet man die erste Filterstation eines Organs oder einer Körperregion.

Bei lymphogener Metastasierung siedeln sich die Tumorzellen meist in den ersten, regionären Lymphknoten des betroffenen Organs ab. Die pathologische Untersuchung kann sich daher zunächst auf diese **Wächterlymphknoten** („sentinel nodes") konzentrieren. Nur wenn diese befallen sind, muss man auch den weiteren Lymphabflussweg kontrollieren.

Von der kollagenen **Kapsel**[1] des Lymphknotens ziehen *retikuläre Fasern* ins Innere und bilden ein Netz aus *retikulärem Bindegewebe*, in das die Lymphozyten eingelagert werden. Das Parenchym gliedert sich in 3 Abschnitte:

- B-Zell-reiche Rinde (Cortex[3] = B-Zone) mit zahlreichen Lymphfollikeln,
- T-Zell-reicher Paracortex[4] (T-Zone) ohne Anordnung in Follikeln,
- Mark (Medulla), in dem vorwiegend Plasmazellen strangförmig angeordnet sind[5].

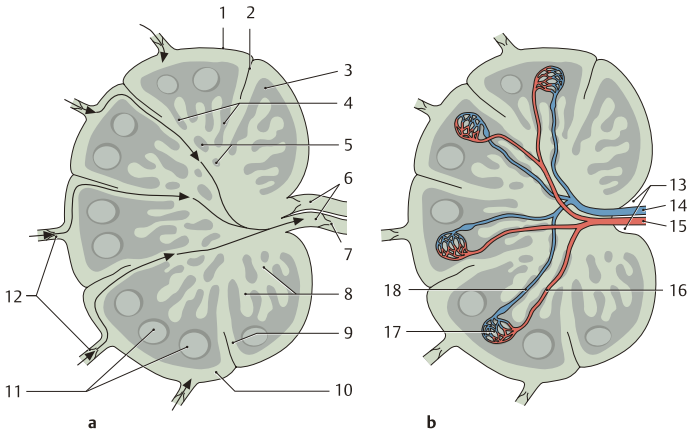


Abb. 3.5 Zirkulation im Lymphknoten. a Lymphzirkulation, **b** Blutgefäße.

1 Kapsel
2 Trabekel
3 Cortex
4 Paracortex
5 Markstränge
6 abführendes Lymphgefäß (Vas efferens)
7 Klappe
8 Marksinus
9 Intermediärsinus
10 Marginalsinus
11 Sekundärfollikel
12 zuführende Lymphgefäße (Vasa afferentia)
13 Hilum
14 Vene
15 Arterie
16 Arteriole
17 Kapillarschlingen um Lymphfollikel
18 postkapilläre Venole

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Auf der konkaven Seite des Organs treten **Blutgefäße** ein bzw. aus. Die Arterie eines Lymphknotens spaltet sich im Cortex in ein *Kapillarnetz* auf. Die Lymphozyten verlassen das Gefäßsystem aber erst in *postkapillären* **Hochendothelvenolen**[18] am Übergang vom Paracortex zur Medulla.

Die Lymphe tritt über zahlreiche **Vasa afferentia**[12] auf der konvexen Seite in den Lymphknoten ein und gelangt über **subkapsuläre Randsinus**[10] und **Intermediärsinus**[9] in die **Marksinus**[8]. Die Sinus sind mit einem fenestrierten Endothel ausgekleidet. Zwischen den Endothelzellen sitzen *Makrophagen*, die Antigene verarbeiten oder den Lymphozyten präsentieren. Die Marksinus vereinigen sich zum **Vas efferens**[6], das auf der konkaven Seite die „gefilterte", zellreiche Lymphe weiterleitet.

Die **Tonsillen** bilden am Eingang zum Rachen einen **lymphatischen Rachenring**, der aus 3 Teilen besteht (S. 381):

- den paarigen **Tonsillae palatinae** (in der Fossa tonsillaris des Isthmus faucium),
- der **Tonsilla pharyngea** (Hinterwand der Pars nasalis pharyngis),
- der **Tonsilla lingualis** (Schleimhaut der Radix linguae).

Dieser lymphatische Rachenring ist ein erster Abwehrwall gegen mit der Nahrung oder der Atemluft eintretende Antigene. Bei den Tonsillen liegen aggregierte Lymphfollikel unmittelbar unter dem Epithel (**lymphoepitheliale Organe**), dessen Oberfläche von zahlreichen Einbuchtungen (**Krypten**) vergrößert wird. Gegen das darunter liegende Gewebe sind die Tonsillen durch eine kollagene Kapsel (Capsula tonsillaris) abgegrenzt.

Bei einer Entfernung (**Tonsillektomie**) wird die Tonsilla palatina aus ihrem bindegewebigen Bett geschält. Hierbei ist insbesondere wegen der Gefahr von **Nachblutungen** die **arterielle Versorgung** zu beachten. Die Äste zur Tonsilla palatina haben einen sehr variablen Verlauf und stammen aus A. facialis, A. pharyngea ascendens und A. maxillaris.

Zum **mukosaassoziierten lymphatischen Gewebe** (MALT) zählt man makroskopisch sichtbare Aggregate von Lymphfollikeln in der Wand von Ileum (Peyer-Plaques), Appendix vermiformis (Wurmfortsatz) und Caecum (Blinddarm).

Die **Peyer-Plaques** befinden sich auf der dem Meso abgewandten Seite des terminalen Ileum auf einer Fläche von etwa 20 cm × 1 cm. Jede Plaque besteht aus zahlreichen miteinander verschmolzenen Sekundärfollikeln, die vom Epithel durch einen relativ zellarmen **Dom** getrennt sind. Im Dom kommen vorwiegend T- und B-Lymphozyten, aber auch Antigen präsentierende Zellen vor. Das Epithel über den Follikeln beherbergt keine Enterozyten und kaum Becher- oder enteroendokrine Zellen. Stattdessen kommen hier **M-Zellen** vor, die durch Transzytose Antigene aus dem Darmlumen zu den antigenpräsentierenden Zellen im subepithelialen Dom transportieren.

Die **Appendix vermiformis** ist ein Anhängsel des Caecum am Beginn des von Bakterien besiedelten Teils des Gastrointestinaltrakts. Während der Wandbau grundsätzlich dem des Caecum entspricht, ist die Submukosa der Appendix durchsetzt mit Lymphfollikeln. Es wird vermutet, dass sich die Darmflora aus den in der Appendix geschützten Bakterien regenerieren kann (z. B. nach infektiösen Darmerkrankungen, Antibiotikatherapie). Allerdings kann die Appendix bei einer Entzündung ohne nachteilige Folgen entfernt werden.

Die **Milz** (S. 297) dient als **Filterstation** des Bluts, das über *A. und V. splenica* zu- bzw. abgeführt wird. Der Feinbau ist in Kap. 15.1.5 geschildert. Das Milzparenchym gliedert sich in **rote** und **weiße Pulpa**, wobei nur Letztere im strengen Sinne zum lymphatischen System gehört. In ihr bilden T-Zellen als **periarterioläre Lymphozytenscheide** (**PALS**) eine Manschette um die Zentralarterie, die von zahlreichen Lymphfollikeln unterbrochen wird. An die **parafollikuläre Zone** schließt sich die **Marginalzone** mit *B-* und einigen *T-Lymphozyten* an.

4 Gewebe, Organe, seröse Höhlen

Joachim Kirsch

Zellen sind die Grundbausteine von **Geweben**, die sich wiederum zu **Organen** mit spezifischen Funktionen zusammenfinden. Die Organe der Körperhöhlen werden **Eingeweide** genannt. Brust-, Bauch- und Beckenraum bestehen aus **serösen Höhlen**, die mit einem glatten **Mesothel** überzogen sind, und komplementären **Bindegewebsräumen**. Der Mesothelüberzug und die **Flüssigkeit** in den serösen Höhlen ermöglichen eine **reibungsarme Verschiebung** der Organe gegenüber ihrer Umgebung. Das ist besonders wichtig für Organe, die großen Volumenschwankungen ausgesetzt oder in stetiger Bewegung sind (Herz, Lunge, Darm).

4.1 Gewebe, Organe und Eingeweide

Unter **Gewebe** versteht man die Ansammlung von gleich- und/oder verschiedenartig differenzierten **Zellen** und **extrazellulärer Matrix**, die zusammen spezifische Aufgaben erfüllen. Man unterscheidet Epithel-, Binde-, Muskel- und Nervengewebe.

Epithelgewebe bilden u. a. die Oberflächen des Körpers – also seine inneren und äußeren Grenzen. Es besteht aus polaren Zellen, die über spezifische Zellkontakte lückenlos miteinander verbunden sind. Der basale Zellpol der Epithelzellen (Basis) ist mit einer Basallamina verbunden. Ihm gegenüber liegt der apikale Zellpol (Apex), der zur freien Oberfläche gerichtet ist, welche auch ein Innenraum oder Lumen sein kann. Zwischen den Epithelzellen liegt kaum extrazelluläre Matrix. Die spezielle Auskleidung der inneren Oberfläche von Herz und Blutgefäßen nennt man **Endothel**, die der serösen Höhlen **Mesothel**.

Beim **Bindegewebe** bilden die Zellen einen Verband, in den „geformte“ (z. B. kollagene, elastische oder retikuläre Fasern) und „ungeformte“ Interzellularsubstanzen (z. B. Proteoglykane, Matrixmoleküle) eingelagert sind. In das Netzwerk wandern weitere Zellen (z. B. der Abwehr) ein.

Muskelgewebe kommt als quergestreifte Skelettmuskulatur bzw. Herzmuskulatur vor. In inneren Organen trifft man auf **glatte Muskulatur**. Sie bewirkt die Motilität eines Organs oder die seiner Schleimhaut. Bei Hohlorganen ermöglicht sie die Veränderung ihres Volumens.

Nervengewebe ist eine Funktionseinheit aus Nerven- und Gliazellen zur Informationsleitung und -verarbeitung. **Nerven** sind parallel verlaufende Fortsätze von Nervenzellen, die von Gliazellen und einer bindegewebigen Hülle (Perineurium) umgeben sind. Der Informationsfluss in einem Nerv kann *efferent* sein (zum Erfolgsorgan), *afferent* (zum Zentralnervensystem) oder beides. **Ganglien** sind lokale Ansammlungen von Nervenzellen und Glia (Mantel- oder Satellitenzellen) außerhalb des Zentralnervensystems.

Ein **Organ** ist eine aus *verschiedenen Geweben* zusammengesetzte Funktionseinheit mit definierter Form. Das Gewebe (meist Epithelgewebe), das die organspezifische Funktion trägt, wird **Parenchym** genannt. Das Parenchym ist eingebettet in ein **Stroma** aus kollagenen oder retikulären Fasern, welches das innere Gerüst eines Organs bildet und die Parenchymzellen verbindet. Das Stroma steht mit der bindegewebigen Organkapsel (Capsula fibrosa) in Verbindung.

Die Organe des Atmungs-, Verdauungs- und Urogenitalsystems werden unter dem Begriff „**Eingeweide**“ zusammengefasst. Nach ihrer Lage unterscheidet man Kopf-, Hals-, Brust-, Bauch- und Beckeneingeweide.

4.2 Bauprinzipien des Brust-, Bauch- und Beckenraums

4.2.1 Seröse Körperhöhlen und Bindegewebsräume

Die **serösen Höhlen** des menschlichen Körpers liegen in der Brust, im Bauch und im Becken (▶ **Abb. 4.1**):

- Im Brustraum (Cavitas thoracis[1]) liegen die beiden nicht miteinander kommunizierenden **Pleurahöhlen** (Cavitas pleuralis) und die **Perikardhöhle** (Cavitas pericardialis).

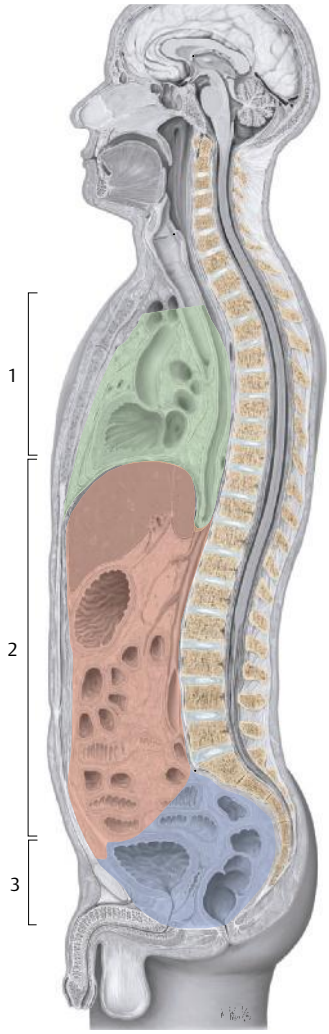


Abb. 4.1 Medianosagittalschnitt durch die Höhlen des Rumpfes. Ansicht von links.
1 Brusthöhle
2 Bauchhöhle
3 Beckenhöhle
(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2014)

- Bauchraum (**Cavitas abdominalis**[2]) und Beckenraum (**Cavitas pelvis**[3]) beinhalten zusammen die **Peritonealhöhle** (Cavitas peritonealis), die unterteilt wird in die Cavitas peritonealis abdominis und die Cavitas peritonealis pelvis. Die Grenze zwischen beiden bildet die **Linea terminalis**, die auch großes und kleines Becken trennt.

Bei den serösen Höhlen handelt es sich allerdings nicht um größere „leere" Räume, sondern um kapillare Spalträume zwischen den Organen bzw. zwischen Organen und Höhlenwand. Diese Spalträume werden von einer serösen Haut (**Tunica serosa, Mesothel, Serosa**) ausgekleidet und sind mit wenigen Millilitern einer *serösen Flüssigkeit* angefüllt. Die hierdurch verursachte **Kapillaradhäsion** führt zu einem gleitenden Zusammenhalt der Kontaktflächen, der z. B. für die Atemmechanik von grundlegender Bedeutung ist.

Der Flüssigkeitsfilm entsteht durch den Übertritt von Interzellularflüssigkeit durch das Mesothel (**Transsudation**). Umgekehrt können Flüssigkeiten und darin gelöste Stoffe schnell über das Mesothel resorbiert werden. Intraperitoneal verabreichte Substanzen (Medikamente, Toxine) werden daher besonders schnell aufgenommen.

Eine vermehrte **Flüssigkeitsansammlung** in der Perikard- oder Pleurahöhle wird **Perikard-** bzw. **Pleuraerguss**, in der Peritonealhöhle **Aszites** genannt.

Neben den in sich geschlossenen serösen Körperhöhlen gibt es im Brust-, Bauch- und Beckenraum auch **Bindegewebsräume**, die Organe oder Organabschnitte beherbergen und in denen Leitungsbahnen verlaufen. Diese Bindegewebsräume sind im Brustraum das **Mediastinum**, und im Bauch- und Beckenraum der **Retroperitoneal-** bzw. **Subperitonealraum**. Während die serösen Höhlen nicht miteinander kommunizieren, stehen die Bindegewebsräume untereinander in kontinuierlicher Verbindung oder sind über Lücken im Zwerchfell miteinander verbunden.

4.2.2 Serosa (▶ Abb. 4.2)

Die seröse Haut (Serosa), die die Körperhöhlen auskleidet (**Serosa parietalis**[3]) bzw. die Organe überzieht (**Serosa visceralis**[2]), ist dünn und erscheint wegen der darunter liegenden Kapillaren rötlich. Da an ihrer Oberfläche ständig Flüssigkeit austritt, erscheint sie spiegelnd glatt. Parietale und viszerale Serosa gehen an einer **Umschlagslinie** (Meso[1]) ineinander über.

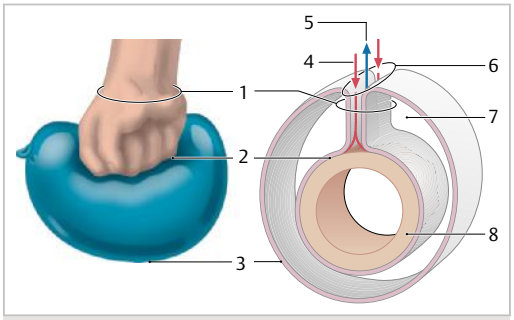


Abb. 4.2 Veranschaulichung der Serosaverhältnisse. **a** Ein Organ (symbolisiert durch die Faust) drückt auf einen schwach aufgeblasenen Luftballon. **b** resultierende Serosaverhältnisse im Schema (genaue Bezeichnung beim Jejunum in Klammern).
1 Meso (Mesenterium)
2 viszerales Blatt der Serosa (Peritoneum viscerale)
3 parietales Blatt der Serosa (Peritoneum parietale)
4 zuführende Arterien (A. mesenterica superior)
5 abführende Venen (V. mesenterica superior)
6 Wurzel des Mesos (Radix mesenterii)
7 seröse Höhle (Peritonealhöhle)
8 Organ (Jejunum)
(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2014)

Die Serosa der unterschiedlichen Körperhöhlen hat eigene Bezeichnungen:

- Die Serosa der Pleurahöhle wird **Pleura** genannt. Die Pleura parietalis über der Innenfläche des Brustkorbs wird *Pleura costalis* (Rippenfell) genannt, die Pleura visceralis über den Lungen *Pleura pulmonalis* (Lungenfell).
- Das parietale Blatt der Serosa der Perikardhöhle wird kurz **Perikard** genannt, während das viszerale Blatt als **Epikard** bezeichnet wird.
- Die Serosa der Peritonealhöhle ist das parietale bzw. viszerale **Peritoneum** (Bauchfell).

Nach Verletzungen der Serosa (z. B. nach Operationen im Bauchraum) oder Entzündungen kann es zu **Verwachsungen (Briden)** zwischen der parietalen und viszeralen Serosa kommen, die Einschränkungen der Beweglichkeit und eine Funktionseinschränkung der umhüllten Organe nach sich ziehen, z. B. zu einem Darmverschluss durch Verwachsungsstränge (**Bridenileus**)

Die **parietale** Serosa ist **sensibel innerviert** und sehr **schmerzempfindlich,** während die **viszerale** Serosa bei den meisten Organen **nicht sensibel innerviert** und daher schmerzunempfindlich ist.

4.2.3 Meso und Ligamente

Da Leitungsbahnen oder organspezifische Strukturen (z. B. Bronchien oder Gallengänge) von der Wand einer serösen Höhle zum Organ gelangen müssen, kann die Serosa die Organe nicht vollständig umhüllen. Die Leitungsbahnen verlaufen in einer bindegewebigen Platte, die allseits mit Serosa bedeckt ist (**Serosaduplikatur**). Hier gehen viszerales und parietales Blatt ineinander über (**Umschlagfalten**). Zusammen mit dem umschlossenen Bindegewebsstrang und darin gelegenen Leitungsbahnen werden diese Serosaduplikaturen als **„Meso“** bezeichnet. Im anatomischen und klinischen Sprachgebrauch wird „Meso“ stets mit einem das Organ kennzeichnenden Zusatz kombiniert (z. B. Mesogastrium). Verlaufen in einem Meso starke Gefäße oder ist es durch Bindegewebszüge verstärkt, kann es auch als **Ligament** bezeichnet werden, obwohl es nicht der Aufhängung eines Organs dient. Ebenso können serosabedeckte Bindegewebszüge, die Organe untereinander verbinden (mit oder ohne Leitungsbahnen), „Bänder“ genannt werden. Ihre Festigkeit ist deutlich geringer als die des Bandapparats der Gelenke. Ist ein Meso zwischen Organ und Rumpfwand bzw. dem Bindegewebsraum der jeweiligen Körperhöhle ausgespannt, nennt man die organferne Befestigung **Radix** („Wurzel“ des Meso).

Bauch- und Beckenorgane, die in der Peritonealhöhle liegen und über ein Meso mit der Peritonealwand und/oder Nachbarorganen verbunden sind, liegen **intraperitoneal** (z. B. Magen und Milz). Liegt ein Organ hinter dem Peritoneum parietale, während die übrigen Wandflächen von retroperitonealem Bindegewebe umgeben sind, spricht man von **retroperitonealer** Lage (z. B. Niere). Gelangt ein Organ aus einer ursprünglich intraperitonealen Lage im Laufe der vorgeburtlichen Entwicklung an die Wand der Peritonealhöhle, sodass das wandseitige Peritoneum viscerale und Peritoneum parietale miteinander verwachsen, bezeichnet man dies als **sekundär retroperitoneale** Lage (z. B. Duodenum und Pancreas). Organe der Cavitas abdominalis bzw. pelvis, die komplett von Bindegewebe umgeben sind und keinen Bezug zur Peritonealhöhle aufweisen, liegen **extraperitoneal** (z. B. die Prostata).

5 Schleimhaut und Drüsen

Joachim Kirsch

Schleimhäute kleiden die inneren Oberflächen der Organe aus und dienen oft *organspezifischen Funktionen* (**Sekretion**, **Resorption**, **Protektion**). Obwohl ihr Bau je nach Funktionen große Unterschiede aufweist, lässt sich ein einheitlicher, dreischichtiger Grundbauplan ausmachen.

5.1 Elemente und Bauprinzipien der Schleimhaut

Schleimhäute (**Tunica mucosa**; Mukosa) kleiden die inneren und teils auch die äußeren Oberflächen der Eingeweide aus. Sie üben organspezifische Funktionen aus und weisen daher große strukturelle Unterschiede auf. Ihre Funktion steht meist in Zusammenhang mit der Produktion und Abgabe von **Sekreten** in ein Lumen, doch kann auch die **Resorption** von Stoffen aus dem Lumen oder der **Schutz** darunter liegender Gewebe von Bedeutung sein. Der dreischichtige Grundaufbau einer Schleimhaut ist in ▶Tab. 5.1 zusammengestellt.

Unter der Schleimhaut befindet sich submuköses Bindegewebe (**Tela submucosa**). Neben lockerem kollagenem Bindegewebe enthält dieses Blut- und Lymphgefäße.

5.2 Einteilung und Bauprinzipien von Drüsen

Drüsen sind **Epithelzellverbände**, die ihr **Sekret** in den Extrazellularraum abgeben und durch Bindegewebe „organartig" zusammengefasst sind.
Wird das Sekret über einen Ausführungsgang abgegeben, spricht man von einer **exokrinen** Drüse. **Endokrine** Drüsen sezernieren Hormone, die sie direkt in die Blutbahn ausschütten.

5.2.1 Exokrine Drüsen

Exokrine Drüsen geben ihr Sekret über **Ausführungsgänge** an die Körperoberfläche oder eine innere Oberfläche ab. Zu den exokrinen Drüsen gehören z. B. Schweiß-, Duft- und Talgdrüsen der Haut, die großen Speicheldrüsen, Leber und Pancreas.

Tab. 5.1 Dreischichtiger Grundbauplan von Schleimhäuten.

Schicht	Bau	Funktionen
Lamina epithelialis mucosae	**Sekretorische** Epithelzellen sind meist hoch- oder isoprismatisch. Sie geben ein spezifisches Sekret ab. Eine unspezifische Sekretionsleistung ist die Schleimproduktion in Becherzellen.	**Sekretion** spezieller Stoffe (z. B. Enzyme, Schleim, Hormone).
	Die apikale Oberfläche **resorptiver** Epithelzellen ist durch **Mikrovilli** (Mikrozotten) vergrößert.	**Resorption** von Stoffen aus einem Lumen ins Innere des Organs oder ins Blut.
	Protektive Epithelien verhindern Ablagerungen (z. B. Bronchialepithel) oder schützen den Organismus vor dem Eindringen von schädlichen Substanzen oder Organismen (z. B. Bakterien).	**Schutz** tieferer Schichten vor mechanischen, thermischen oder chemischen Einwirkungen.
Lamina propria mucosae	Kollagenes (seltener retikuläres) **Bindegewebe**, das mit **Blut**- und **Lymphkapillaren** durchsetzt ist.	**Transitstrecke** für den Stofftransport. Eingewanderte Zellen dienen der **Abwehr** schädlicher Stoffe oder Keime.
Lamina muscularis mucosae	Meist ringförmig angeordnete, **scherengitterartig** gebündelte, glatte Muskelzellen.	**Eigenmotilität** der Schleimhaut (Bildung von *Schleimhautfalten* bei Kontraktion).

Die Epithelzellverbände am Beginn eines Ausführungsgangs nennt man Endstücke. Bindegewebige Septen fassen mehrere Endstücke zu einem **Läppchen** zusammen. Bei den meisten Drüsen sind die Läppchen wiederum von Bindegewebe umgeben, das von einer mehr oder weniger ausgeprägten Organkapsel (**Capsula fibrosa**) ausgeht. Den Transport des Sekrets bewirken kontraktile *Myoepithelzellen* und *glatte Muskelzellen* in der Umgebung des Endstücks sowie der *Sekretdruck*.

In den **Ausführungsgängen** kommt es zu einer **Veränderung des Primärsekrets**, z. B. zur Änderung der *ionalen Zusammensetzung* und der *Viskosität*. Diese Modifikationen sind beim Pancreassekret entscheidend für die Neutralisierung des sauren Nahrungsbreis und damit für die Effizienz der enzymatischen Aufspaltung der Nahrungsbestandteile.

Die meisten Drüsen wachsen im Laufe der Entwicklung aus dem Epithel ihrer Herkunft in das darunter liegende Bindegewebe, weshalb sie als *exoepitheliale* Drüsen bezeichnet werden. Bei ihnen mündet der Ausführungsgang an der Stelle des Epithels, von der das Aussprossen der Drüse ausging. Becherzellen (einzellige Drüsen) und kleine mehrzellige Drüsen im Epithel der Nasenhöhle und Harnröhre bezeichnet man dagegen aufgrund ihrer Lage im Epithelverband als *endoepitheliale Drüsen*.

5.2.2 Endokrine Drüsen

Endokrine Drüsen besitzen keinen Ausführungsgang. Ihr Sekret enthält **Hormone**, die auf dem Blutweg abtransportiert werden und so zu ihrem Wirkort gelangen (▶ **Abb. 5.1**).

Hormone sind Botenstoffe, die von spezialisierten Zellen in geringen Mengen in die Blutbahn abgegeben und im gesamten Körper verteilt werden. Sie wirken jedoch nur an Zellen, die für das jeweilige Hormon spezifische Rezeptoren tragen.

Neben den endokrinen Drüsen kommen in einigen Organen auch spezialisierte Zellen oder Zellverbände mit endokriner Sekretion vor, z. B. die *Langerhans-Inseln* des Pancreas, die hormonproduzierenden Zellen der *Niere* und des *rechten Vorhofs* oder die *enteroendokrinen Zellen* der Schleimhaut des Gastrointestinaltrakts.

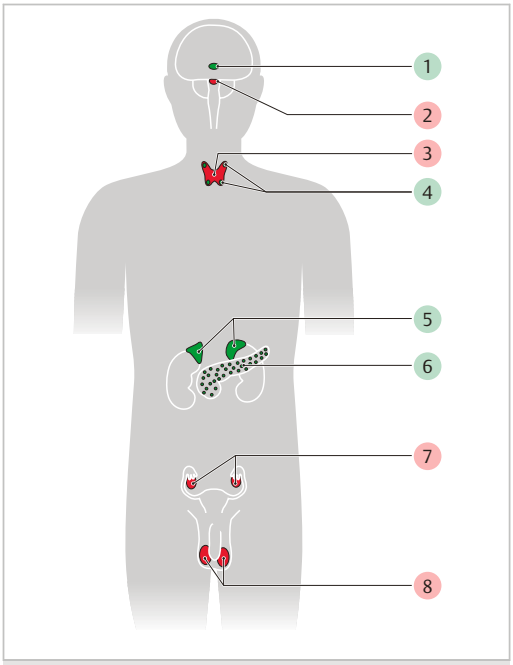


Abb. 5.1 Die endokrinen Drüsen des Menschen. grün: von der Hypophyse unabhängige Drüsen rot: von der Hypophyse abhängige Drüsen.
1 Corpus pineale (Epiphyse)
2 Hypophyse (Hirnanhangsdrüse)
3 Glandula thyroidea (Schilddrüse)
4 Glandulae parathyroideae (Nebenschilddrüsen)
5 Glandulae suprarenales (Nebennieren)
6 Langerhans-Inseln des Pancreas
7 Ovarien (Eierstöcke)
8 Testes (Hoden)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Hypothalamus-Hypophysen-System

In Nervenzellen des **Hypothalamus** (*Nucleus supraopticus* bzw. *paraventricularis*) werden die Peptidhormone *antidiuretisches Hormon (ADH)* bzw. *Oxytocin* synthetisiert.

ADH erhöht die *Rückresoprtion von Wasser* in den Sammelröhren der Niere. **Oxytocin** stimuliert die *Uteruskontraktion* bei der Geburt und die *Milchejektion* der Brustdrüse. Außerdem verstärkt seine Freisetzung die *emotionale* Bindung zwischen Personen.

Diese beiden Hormone gelangen in den Axonen derjenigen Nervenzellen des Hypothalamus, die sie synthetisieren, durch den *Hypophysenstiel* in den Hinterlappen der Hypophyse (**Neurohypophyse**). Hier werden sie zwischengespeichert und rhythmisch bzw. bei Bedarf ins Blut abgegeben. Die Neurohypophyse dient also lediglich als Freisetzungsort für Hormone, die im Hypothalamus gebildet wurden.

Im Gegensatz dazu werden in anderen Hypothalamuskernen lediglich **Steuerhormone** („releasing factors" = "Liberine" oder „release inhibiting factors" = "Statine") gebildet. Diese gelangen über einen speziellen Blutweg zur Hypophyse, wo sie die Freisetzung **glandotroper Hormone** aus dem Hypophysenvorderlappen (**Adenohypophyse**) regulieren. Die Adenohypophyse steuert mit ihren Hormonen wiederum einige periphere endokrine Drüsen, was sie zu deren übergeordnetem **Steuerorgan** macht. Einige glandotrope Hormone, z. B. ACTH und MSH (siehe unten), werden in der Adenohypophyse bzw. dem Zwischenlappen durch Proteolyse aus einem Prohormon, dem **Proopiomelanocortin (POMC)**, hergestellt.

- Gonaden (Ovar und Hoden): follikelstimulierendes Hormon (FSH), luteinisierendes Hormon (LH),
- Nebennierenrinde: adrenokortikotropes Hormon (ACTH),
- Schilddrüse: thyroideastimulierendes Hormon (TSH).

Diese von der Adenohypophyse gesteuerten peripheren endokrinen Organe produzieren ihrerseits Hormone (**Effektorhormone**), z. B. die Sexualhormone Östrogen und Testosteron oder das Trijodthyronin der Schilddrüse.

Neben den genannten Steuerhormonen sezerniert die Adenohypophyse auch die Effektorhormone Prolaktin, das melanozytenstimulierende Hormon (MSH) und das Wachstumshormon Somatotropin.

Da die Effektorhormone die Ausschüttung der glandotropen Hormone und damit der Steuerhormone über einen *negativen Rückkopplungsmechanismus* kontrollieren, bildet das Hypothalamus-Hypophysen-System komplexe biologische **Regelkreise**.

Vom Hypothalamus unabhängige endokrine Drüsen

Die **Epiphyse** (Corpus pineale, Zirbeldrüse) hängt außen am Dach des III. Hirnventrikels. Sie sezerniert Melatonin, das an der Regulation zirkadianer Körperrhythmen beteiligt ist.

Im **Nebennierenmark** werden die Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin freigesetzt. Sie bewirken eine Erhöhung von Herzfrequenz und Blutdruck, eine Bronchodilatation und fördern die Bereitstellung von Energiereserven durch Lipolyse. Eine ähnliche Bedeutung haben auch die Paraganglien an der Aorta.

Nebenschilddrüsen (Glandulae parathyroideae, Epithelkörperchen) sind erbsengroße Knötchen auf der Rückseite der Schilddrüse, in denen das **Parathormon** synthetisiert wird, das Kalziumionen aus den Knochen mobilisiert. In der Niere erhöht Parathormon die Resorption von Kalziumionen und hemmt die Rückresorption von Phosphat.

Die **Langerhans-Inseln** des Pancreas sind mikroskopisch klein und sezernieren die Hormone Insulin, Glukagon und Somatostatin, mit deren Hilfe der Blutzuckerspiegel kontrolliert wird.

Im Epithel des Gastrointestinaltrakts liegen **enteroendokrine Zellen**, die über unterschiedliche Hormone die Funktion des Darms und seine Motilität beeinflussen.

Die **Plazenta** produziert das humane Choriongonadotropin (hCG), das auch zum Nachweis einer Schwangerschaft herangezogen wird, und das weibliche Sexualhormon Progesteron.

6 Nervensystem

Joachim Kirsch

Das Nervensystem ist ein komplexes Gebilde aus **Nerven-** und **Gliazellen**. Es dient der Erzeugung, Aufnahme, Weiterleitung, Verarbeitung und Integration von *elektrischen Signalen*. Diese Signale kodieren Informationen, die einerseits über Sinnesorgane aus der Umwelt oder dem eigenen Körper stammen (*Afferenzen*) und die andererseits vom Nervensystem selbst ausgehen und Körperfunktionen steuern (*Efferenzen*).

Man unterscheidet das **Zentralnervensystem** (**ZNS**, Gehirn und Rückenmark) vom **peripheren Nervensystem** (**PNS**, Nerven und Ganglien). Eine andere Einteilung berücksichtigt funktionelle Aspekte. Das **somatische** (animalische) Nervensystem ist mit der Verarbeitung von inneren und äußeren Reizen befasst, während das **vegetative** (autonome) Nervensystem die Organfunktionen zur Aufrechterhaltung des inneren Milieus (Homöostase) steuert.

6.1 Elemente und Bauprinzipien

6.1.1 Elemente

Die erregungsbildenden bzw. -leitenden Elemente sind die **Nervenzellen** (Neurone) mit ihren Fortsätzen, die ihre Funktion jedoch nur mit der Unterstützung durch **Gliazellen** ausüben können.

Neurone

Die erregungsbildende und -weiterleitende Zelle des Nervensystems ist das Neuron. Es besteht aus dem **Zellkörper** (**Perikaryon, Soma**) das den *Zellkern* und weitere lebenswichtigen *Zellorganellen* enthält, und 2 unterschiedlichen Typen von Fortsätzen, einem **Axon** und den **Dendriten**.

Im **Perikaryon** laufen die metabolischen Vorgänge ab, die das Überleben der Nervenzelle sichern und deren spezifische Funktionen ermöglichen. In den eher kurzen, relativ dicken und meist *zahlreichen*, baumförmig verzweigten **Dendriten** werden die Signale anderer Neuronen aufgenommen und zum Perikaryon (*zentripetal*) geleitet. Während ein Neuron zahlreiche Dendriten haben kann, bildet es nur ein einziges **Axon**. Dieser dünne, aber bis zu 1 m lange Fortsatz entspringt fast immer aus dem **Axonhügel** des Perikaryons. Das Axon leitet die Erregung vom Perikaryon weg (*zentrifugal*), wobei es sich in mehrere **Kollateralen** oder unmittelbar vor Erreichen des Erfolgsgewebes in ein Endbäumchen (Telodendron) aufspalten kann. Eine elektrische Erregung passiert ein Neuron also immer in einer Richtung, nämlich vom Dendriten zum Axon.

Man unterscheidet Neurone in morphologischer und funktioneller Hinsicht (▶ Tab. 6.1).

Das Axonende enthält mit Neurotransmitter gefüllte **Vesikel**. Wichtige Neurotransmitter sind Glutamat, γ-Aminobuttersäure (GABA), Glyzin und Azetylcholin. Erreicht ein Aktionspotenzial das Axonende, wird Neurotransmitter freigesetzt. Dieser diffundiert durch den synaptischen Spalt, der etwa 20 nm breit ist. Die gegenüberliegende **postsynaptische Membran** des nächsten Neurons (postsynaptisches Neuron) trägt Rezeptoren für den Neurotransmitter, die durch Bindung des Transmitters aktiviert werden (▶ **Abb. 6.1**). Man unterscheidet erregend wirkende (*exzitatorische*) und hemmende (*inhibitorische*) Rezeptoren. Die Summe aller postsynaptischen Potenziale in einem Neuron führt zur **Depolarisation** (Erhöhung) oder **Hyperpolarisation** (Erniedrigung) des Membranpotenzials der postsynaptischen Zelle.

Neurotransmitterrezeptoren können nach ihrem Wirkungsmechanismus unterteilt werden in **ionotrope** und **metabotrope** (an G-Protein gekoppelte) Rezeptoren. Diese unterscheiden sich stark in ihrem molekularen Aufbau. Bei ionotropen Rezeptoren handelt es sich um **ligandengesteuerte Ionenkanäle**. Ob sie exzitatorisch oder inhibitorisch wirken, hängt vom *elektrochemischen Gradienten* der Ionen ab, für die sie durchlässig sind. Bei metabotropen Rezeptoren bewirkt die Bindung des Liganden die Produktion von **„Second Messenger"-Molekülen** und die nachfolgende **Aktivierung intrazellulärer Signalkaskaden**, die ggf. den Schluss/Öffnung ionotroper Kanäle nach sich ziehen. Im Vergleich zu den ionotropen Rezeptoren, deren Wirkung innerhalb von Millisekunden einsetzt, ist

Tab. 6.1 Morphologische und funktionelle Einteilung von Neuronen.

Neurontyp	Merkmal	Beispiel
Morphologische Einteilung		
multipolar	zahlreiche verzweigte Dendriten, ein Axon	Purkinje-Zelle, Pyramidenzelle
bipolar	ein Dendrit und ein Axon an gegenüberliegenden Stellen des Zellkörpers	Retina, Innenohr, Riechepithel
pseudounipolar	nur ein Fortsatz verlässt das Soma, der sich in ein afferentes (dendritisches) und ein efferentes (axonales) Axon teilt	Spinalganglien, sensible Ganglien der Hirnnerven
unipolar	nur ein (verzweigter) Fortsatz	embryonales ZNS
Funktionelle Einteilung		
sensorisches Neuron	führt afferente Impulse zum ZNS	pseudounipolares Neuron
Projektionsneuron	multipolares Neuron, das Impulse über mittlere und lange Strecken überträgt	Betz-Riesenzelle
Motoneuron	führt efferente Impulse zur Skelettmuskulatur	spinales Motoneuron
Interneuron	multipolares Neuron mit kurzem Axon für lokale (inhibitorische) Verschaltung	Golgi-Zelle des Kleinhirns
neuroendokrine Zelle	Synthese und Freisetzung von Hormonen	Neurone des Nucleus supraopticus und paraventricularis

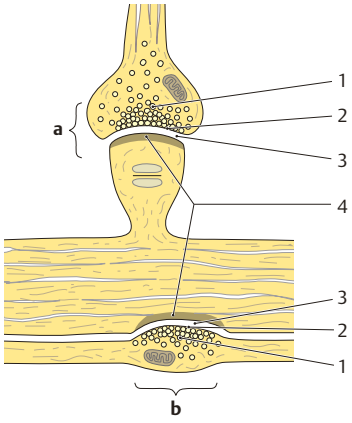


Abb. 6.1 Die beiden häufigsten Synapsentypen.
a Dornensynapse **b** Synapse „en passant".
1 Vesikel mit Neurotransmitter
2 präsynaptische Membran
3 synaptischer Spalt
4 postsynaptische Membran
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

die Wirkung der metabotropen Rezeptoren langsam (Sekunden).

Nach erfolgter Exozytose muss der Neurotransmitter aus dem synaptischen Spalt entfernt werden. Azetylcholin wird von der **Azetylcholinesterase** enzymatisch gespalten. Anschließend wird Cholin **aktiv** in die Axonendigung **rücktransportiert**. Das Cholin wird zur Neusynthese von Azetylcholin verwendet. Die anderen Neurotransmitter werden direkt durch entsprechende **Transporter** in die Axonendigung zurückbefördert und wieder in synaptische Vesikel geladen. Die Konzentration der Neurotransmitter Glutamat, Glyzin und GABA im synaptischen Spalt wird maßgeblich von Transportern in umliegende **Astrozyten** bestimmt, die diese Transmitter aufnehmen und metabolisieren.

Man unterscheidet nach der Lage der präsynaptischen Endigung axodendritische, axosomatische und axoaxonische Synapsen (▶ **Abb. 6.2**). Außer Synapsen, die an einem weiteren Neuron enden, gibt es auch solche, die ihr Signal an einen Muskel (**neuromuskuläre Synapse**) oder eine Drüse (**neuroglanduläre Synapse**) weitergeben.

Neuroglia

Gliazellen füllen den Raum zwischen den Neuronen und ihren Fortsätzen *lückenlos* aus. Sie übernehmen spezialisierte Aufgaben, die das Funktionieren der Neurone erst ermöglichen.

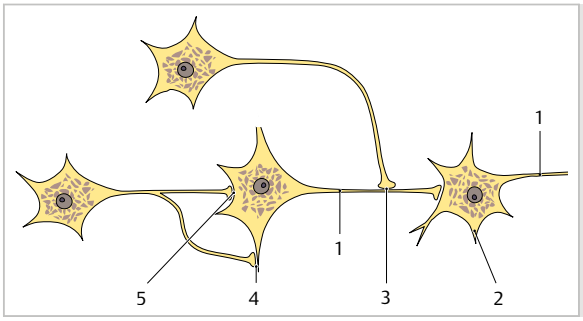


Abb. 6.2 Verschaltungen in einem kleinen Neuronenverband.
1 Axon
2 Dendrit
3 axoaxonische Synapse
4 axodendritische Synapse
5 axosomatische Synapse
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Im **peripheren Nervensystem** umhüllen **Schwann-Zellen** die Axone und ermöglichen durch *Myelinisierung* die schnelle saltatorische Erregungsübertragung (s. u.). **Mantelzellen** umgeben die Nervenzellen von Ganglien.

Im **zentralen Nervensystem** erfüllen **Oligodendrozyten** die Aufgabe der Schwann-Zellen, wobei ein einziger Oligodendrozyt mehrere Axone umschließen kann. **Astrozyten** beteiligen sich an der Ausbildung der Blut-Hirn-Schranke, regulieren die Zusammensetzung der Extrazellularflüssigkeit und bilden bei einer mechanischen Schädigung des Gehirns oder Rückenmarks eine Glianarbe. Die immunkompetenten Zellen des zentralen Nervensystems sind die **Mikrogliazellen** (Hortega-Zellen). **Ependymzellen** kleiden die inneren Liquorräume aus.

Große, elongierte Astrozyten, die während der Entwicklung die Wand des Neuralrohrs radiär durchspannen, werden **radiäre Glia** (Radialglia) genannt. Man geht heute davon aus, dass es sich bei diesen Zellen um **neuronale Vorläuferzellen** handelt, aus denen durch asymmetrische Zellteilung Nervenzellen entstehen, die im weiteren Verlauf der Embryonalentwicklung entlang der langen Fortsätze zu ihrem endgültigen Bestimmungsort wandern („Leitschiene"). In einigen Hirnregionen persistieren Zellen der radiären Glia, die dann meist mit Eigennamen benannt werden (z. B. Müller-Glia in der Retina, Bergmann-Glia im Kleinhirn, Pituizyten im Hypophysenhinterlappen). Werden keine Neurone neu gebildet, wandelt sich die radiäre Glia wahrscheinlich in Astrozyten um. Neurone werden auch nach der Geburt in der Subventrikulärzone neu gebildet und wandern dann z. B. in den Bulbus olfactorius oder den Hippocampus.

Primäre Hirntumoren gehen nicht von Neuronen, sondern von Gliazellen aus.

6.1.2 Bauprinzipien

Nervenfaser, Myelinisierung

Das **Axon** von Nervenzellen wird mit Ausnahme seines präsynaptischen Endes komplett von Gliazellen eingehüllt (**Gliascheide**). Axon und Gliascheide bilden zusammen eine **Nervenfaser**.

Im **zentralen Nervensystem** wird ein Bündel von Nervenfasern mit gleicher Funktion als **Faserbahn** (**Tractus**) bezeichnet. Dünne Axone werden von Astrozytenfortsätzen gebündelt und bilden **marklose Nervenfasern**. Dickere Axone sind – mitunter zu mehreren – von einer **Myelinscheide** umgeben, die von **Oligodendrozyten** gebildet wird. Sie werden als **markhaltige** oder **myelinisierte** Nervenfasern bezeichnet (▶ **Abb. 6.3**).

Die **Myelinisierung** beginnt bereits während der Fetalzeit, setzt sich aber bis ins 2. Lebensjahrzehnt fort. Manche Hirnregionen werden früher (Pyramidenbahn), andere später (Frontalhirn) myelinisiert.

Bei der **multiplen Sklerose** (Encephalomyelitis disseminata) kommt es durch Autoimmunprozesse zu lokalen (fleckförmigen) **Entmyelinisierungen** und damit zu Funktionsstörungen. Die neurologische Symptomatik hängt von der Lokalisation der Entmarkungsherde ab.

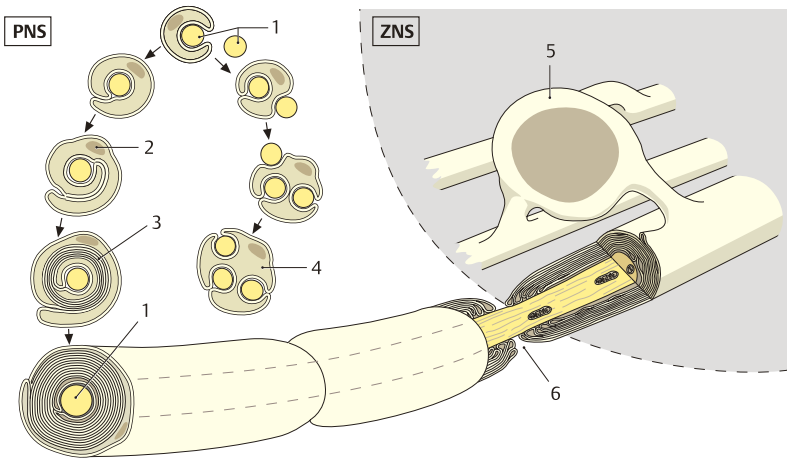


Abb. 6.3 Unterschiedliche Myelinisierung von peripherem und zentralem Nervensystem.
1 Axon
2 Zellkern einer Schwann-Zelle
3 Schwann-Zelle mit einem myelinisierten Axon
4 Schwann-Zelle mit mehreren unmyelinisierten Axonen
5 Oligodendrozyt
6 Ranvier-Schnürring
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Neuronenketten und -kreise (Netzwerke)

Die Neurone der verschiedenen funktionellen Systeme in Gehirn und Rückenmark sind in Ketten oder Kreisen (Netzen) angeordnet. Die einzelnen Glieder dieser Strukturen werden dabei mit Ordnungszahlen benannt, also als 1., 2. oder 3. Neuron einer Kette oder eines Netzes bezeichnet.

Innerhalb eines funktionellen Systems gibt es allerdings zahlreiche, oft Tausende von Neuronen, denen die gleiche Ordnungszahl zugewiesen werden kann. Ihre Gemeinsamkeiten bestehen in der Lokalisation von Dendriten und Soma an einer definierten Stelle im zentralen Nervensystem und dem Verlauf der Axone.

Die Neurone des peripheren Nervensystems sind meist Anfangs- (afferente Neurone) oder Endglieder (Motoneurone) von Neuronenketten. Sie sind meist mit Netzwerken des zentralen Nervensystems verbunden.

Graue und weiße Substanz

An frischen Schnitten durch Gehirn und Rückenmark kann man rot- oder grau-braune Bezirke mit grauer Substanz (**Substantia grisea**) von weißen Arealen der weißen Substanz (**Substantia alba**) unterscheiden. Die graue Substanz besteht aus Ansammlungen von **Perikaryen** und zugehörigen **Dendriten**, die weiße Substanz aus **Faserzügen**.

Im Querschnitt des Rückenmarks liegt die graue Substanz schmetterlingsförmig im Zentrum und ist von weißer Substanz umgeben, die aus **Faserzügen** besteht. Die graue Substanz bildet im Gehirn die **Großhirnrinde** (**Cortex**) und ist außerdem in **subkortikalen Kerngebieten** konzentriert. Dazwischen liegen die Faserzüge der weißen Substanz. Außerdem sind beide Großhirnhemisphären über Faserzüge (*Corpus callosum*, Kommissuren) miteinander verbunden.

Diejenigen Neurone einer Neuronenkette, die die gleiche Ordnungszahl haben, liegen meist in einem einheitlichen Kerngebiet (**Nucleus**, **Corpus**) zusammen.

Nervenfasern mit gemeinsamer Herkunft sowie gemeinsamem Verlauf und Ziel werden als **Tractus** oder **Fasciculus** (Faszikel), seltener als **Fibrae** bezeichnet. Die Nachbarschaftsbeziehungen der einzelnen Fasern spiegeln dabei meist die topographischen Beziehungen der Ursprungs- und/oder Zielneuronen wider (**Somatotopie**). Oft schließen sich unterschiedliche Tractus für eine gewisse Wegstrecke zusammen und sind makroskopisch nur schwer zu unterscheiden.

Periphere Nerven und Ganglien

Im peripheren Nervensystem bilden die Schwann-Zellen die Gliascheide. Bei **marklosen Fasern** liegen mehrere Axone über eine Länge von etwa 500 µm in Rinnen einer Schwann-Zelle. Bei **mark-**

haltigen Nervenfasern umhüllen dagegen mehrere Schwann-Zellen ein einziges Axon (▶ **Abb. 6.3**). Markhaltige Fasern sind also besonders gut „isoliert". Beim Übergang von einer Schwann-Zelle zur nächsten entstehen ringförmige Einschnürungen der Myelinscheide, die **Ranvier-Schnürringe**. Das Axon ist an dieser Stelle etwas verdickt (**Ranvier-Knoten**). Als **Internodium** bezeichnet man die Strecke zwischen 2 Knoten. Die **Nervenleitgeschwindigkeit** hängt von der Dicke der Nervenfaser und der Länge der Internodien ab und beträgt 3–120 m/s.

Ein **peripherer Nerv** (▶ **Abb. 6.4**) besteht aus Bündeln afferenter und efferenter Nervenfasern (myelinisierter Axone), die von einer bindegewebigen Hülle, dem **Epineurium**[7], umgeben sind. Innerhalb des Epineuriums verlaufen bei dickeren Nerven auch Blutgefäße. Die einzelnen Bündel sind wiederum umgeben vom **Perineurium**[6]. In die von Schwann-Zellen gebildete Basalmembran einer einzelnen Nervenfaser strahlen retikuläre Fasern ein. Beide zusammen bilden das **Endoneurium**[5], in das Kapillaren, Lymphgefäße und einzelne Kollagenfasern eintreten. Der Raum zwischen Peri- und Endoneurium heißt **Endoneuralraum**.

Bei Verletzung einer peripheren Nervenfaser kommt es im Perikaryon sowie dem proximalen und distalen Axonstumpf zu charakteristischen Veränderungen, die man **Waller-Degeneration** nennt. Eine Regeneration der Nervenfaser ist nur möglich, wenn distal der Schädigung *Schwann-Zellen und Basalmembran* als **Leitschiene** für das neu einsprossende Axon intakt geblieben sind.

Ganglien sind Anhäufungen von Perikaryen im peripheren Nervensystem. **Sensible Ganglien** (Spinalganglien sowie sensible Ganglien bestimmter

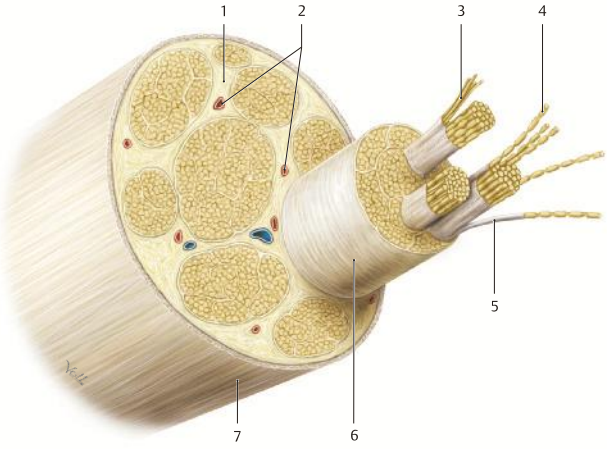


Abb. 6.4 Aufbau eines peripheren Nervs.
1 Binde- und Fettgewebe
2 Blutgefäße
3 marklose Faser (vegetativ)
4 markhaltige Faser (somatomotorisch oder -sensibel)
5 Endoneurium
6 Perineurium
7 Epineurium
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Hirnnerven) enthalten die Somata der **1. Neurone afferenter** Nervenbahnen. Die Afferenzen durchlaufen sensible Ganglien ohne Umschaltung in Synapsen.

In **vegetativen Ganglien** (para- und prävertebrale Ganglien des Truncus sympathicus, intramurale Ganglien, vegetative Ganglien einzelner Hirnnerven) bilden die Axone des 1. Neurons einer **efferenten** Leitungsbahn Synapsen mit multipolaren Ganglienzellen, die das **2. Neuron** dieser Bahn repräsentieren.

6.2 Bauplan

6.2.1 Zentrales Nervensystem

Gehirn (**Encephalon**) und Rückenmark (**Medulla spinalis**) bilden das zentrale Nervensystem. Beide stehen am Hirnstamm (Truncus cerebri) miteinander in Verbindung.

Das **Rückenmark** (▶ **Abb. 6.5**) bildet als Reflexorgan die Schnittstelle zwischen den übergeordneten Steuerzentren des Gehirns und den Spinalnerven, die von ihm ausgehen, aber bereits zum peripheren Nervensystem gerechnet werden. Die **graue Substanz** besteht aus Perikaryen (Wurzelzellen). Sie verteilt sich schmetterlingsförmig um den beim Menschen sehr engen **Zentralkanal**, der zu den inneren Liquorräumen gehört. Man unterscheidet das sensorische Hinterhorn und das motorische Vorderhorn. Dazwischen liegt im Bereich des thorakalen und sakralen Rückenmarks das vegetative Seitenhorn. Der grauen Substanz liegt außen die weiße Substanz an: dorsal und lateral die **aufsteigenden**, lateral und ventral die **absteigenden Bahnen**.

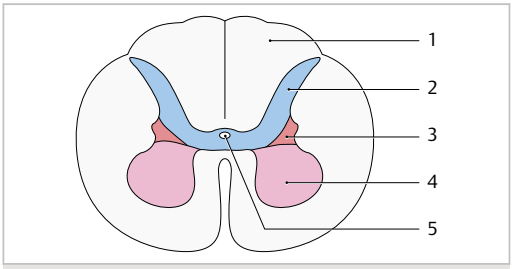


Abb. 6.5 Querschnitt durch das adulte Rückenmark.
1 weiße Substanz
2 Hinterhorn
3 Seitenhorn
4 Vorderhorn
5 Zentralkanal
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Nach kranial schließt sich dem Rückenmark das **Rhombencephalon** (Rautenhirn) an. Es besteht aus dem *Myelencephalon* (= *Medulla oblongata*, verlängertes Mark) und dem *Metencephalon*, das sich wiederum aus dem *Pons* (Brücke) und dem *Cerebellum* (Kleinhirn) zusammensetzt. Das Rhombencephalon umschließt den rautenförmigen *IV. Ventrikel*, der sowohl mit dem Zentralkanal als auch mit den äußeren Liquorräumen kommuniziert.

In der **Medulla oblongata** befinden sich neben durchziehenden Bahnen auch Ausgangs- bzw. Endpunkte von Hirnnerven sowie Kerngebiete für viele lebenswichtige Funktionen, z. B. die Zentren zur Regulation von Kreislauf und Atmung, aber auch das so genannte „Brechzentrum".

Auch der **Pons** ist Ursprung bzw. Ende von Hirnnerven und Durchgangsstation für aszendierende und deszendierende Bahnen. In seinen Kerngebieten (Brückenkerne, Nuclei pontis) werden motorische Informationen vom Großhirn abgezweigt und zum Kleinhirn geschickt, einem Koordinierungszentrum der Motorik. Denn das **Kleinhirn** vergleicht die „Kopien" der geplanten Bewegungsabläufe mit den sensorischen Informationen aus dem Bewegungsapparat und dem Gleichgewichtsorgan und passt ggf. Bewegungsabläufe und Muskeltonus an. Die gleichen Mechanismen sorgen auch für die Erhaltung des Gleichgewichts.

Rostral, also oberhalb des Pons, liegt das **Mesencephalon**. Seine Kerngebiete sind teils Ursprungskerne von Hirnnerven und teils Relaisstationen der Motorik. Das Mesencephalon umschließt den *Aquaeductus mesencephali* (Aquädukt), der als dünne Röhre den III. und IV. Ventrikel miteinander verbindet.

Medulla oblongata, Pons und Mesencephalon bilden zusammen den **Hirnstamm**. Dieser wird von grauer Substanz, dem *Tegmentum*, durchzogen, in der Kerne von Hirnnerven liegen. Man unterscheidet die *efferenten Ursprungskerne* (Nuclei originis, z. B. Efferenzen für Muskeln und Drüsen) und *afferenten Endkerne* (Nuclei terminationis, z. B. Afferenzen von Mechano- und Chemorezeptoren in Herz, Lunge und Gastrointestinaltrakt).

Außerdem befindet sich im Hirnstamm die **Formatio reticularis**. Sie besteht aus netzartig angeordneten Neuronen und Faserbündeln mit wenigen Kerngebieten. Die Formatio reticularis ist an

Hirnnerven) enthalten die Somata der **1. Neurone afferenter** Nervenbahnen. Die Afferenzen durchlaufen sensible Ganglien ohne Umschaltung in Synapsen.

In **vegetativen Ganglien** (para- und prävertebrale Ganglien des Truncus sympathicus, intramurale Ganglien, vegetative Ganglien einzelner Hirnnerven) bilden die Axone des 1. Neurons einer **efferenten** Leitungsbahn Synapsen mit multipolaren Ganglienzellen, die das **2. Neuron** dieser Bahn repräsentieren.

6.2 Bauplan

6.2.1 Zentrales Nervensystem

Gehirn (**Encephalon**) und Rückenmark (**Medulla spinalis**) bilden das zentrale Nervensystem. Beide stehen am Hirnstamm (Truncus cerebri) miteinander in Verbindung.

Das **Rückenmark** (▶ **Abb. 6.5**) bildet als Reflexorgan die Schnittstelle zwischen den übergeordneten Steuerzentren des Gehirns und den Spinalnerven, die von ihm ausgehen, aber bereits zum peripheren Nervensystem gerechnet werden. Die **graue Substanz** besteht aus Perikaryen (Wurzelzellen). Sie verteilt sich schmetterlingsförmig um den beim Menschen sehr engen **Zentralkanal**, der zu den inneren Liquorräumen gehört. Man unterscheidet das sensorische Hinterhorn und das motorische Vorderhorn. Dazwischen liegt im Bereich des thorakalen und sakralen Rückenmarks das vegetative Seitenhorn. Der grauen Substanz liegt außen die weiße Substanz an: dorsal und lateral die **aufsteigenden**, lateral und ventral die **absteigenden Bahnen**.

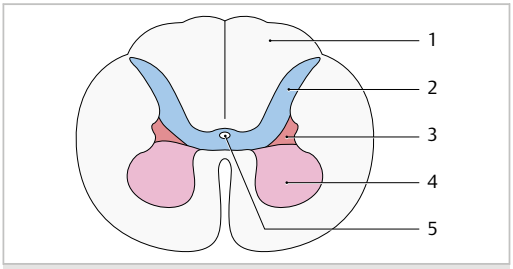


Abb. 6.5 Querschnitt durch das adulte Rückenmark.
1 weiße Substanz
2 Hinterhorn
3 Seitenhorn
4 Vorderhorn
5 Zentralkanal
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Nach kranial schließt sich dem Rückenmark das **Rhombencephalon** (Rautenhirn) an. Es besteht aus dem *Myelencephalon* (= *Medulla oblongata*, verlängertes Mark) und dem *Metencephalon*, das sich wiederum aus dem *Pons* (Brücke) und dem *Cerebellum* (Kleinhirn) zusammensetzt. Das Rhombencephalon umschließt den rautenförmigen *IV. Ventrikel*, der sowohl mit dem Zentralkanal als auch mit den äußeren Liquorräumen kommuniziert.

In der **Medulla oblongata** befinden sich neben durchziehenden Bahnen auch Ausgangs- bzw. Endpunkte von Hirnnerven sowie Kerngebiete für viele lebenswichtige Funktionen, z. B. die Zentren zur Regulation von Kreislauf und Atmung, aber auch das so genannte „Brechzentrum".

Auch der **Pons** ist Ursprung bzw. Ende von Hirnnerven und Durchgangsstation für aszendierende und deszendierende Bahnen. In seinen Kerngebieten (Brückenkerne, Nuclei pontis) werden motorische Informationen vom Großhirn abgezweigt und zum Kleinhirn geschickt, einem Koordinierungszentrum der Motorik. Denn das **Kleinhirn** vergleicht die „Kopien" der geplanten Bewegungsabläufe mit den sensorischen Informationen aus dem Bewegungsapparat und dem Gleichgewichtsorgan und passt ggf. Bewegungsabläufe und Muskeltonus an. Die gleichen Mechanismen sorgen auch für die Erhaltung des Gleichgewichts.

Rostral, also oberhalb des Pons, liegt das **Mesencephalon**. Seine Kerngebiete sind teils Ursprungskerne von Hirnnerven und teils Relaisstationen der Motorik. Das Mesencephalon umschließt den *Aquaeductus mesencephali* (Aquädukt), der als dünne Röhre den III. und IV. Ventrikel miteinander verbindet.

Medulla oblongata, Pons und Mesencephalon bilden zusammen den **Hirnstamm**. Dieser wird von grauer Substanz, dem *Tegmentum*, durchzogen, in der Kerne von Hirnnerven liegen. Man unterscheidet die *efferenten Ursprungskerne* (Nuclei originis, z. B. Efferenzen für Muskeln und Drüsen) und *afferenten Endkerne* (Nuclei terminationis, z. B. Afferenzen von Mechano- und Chemorezeptoren in Herz, Lunge und Gastrointestinaltrakt).

Außerdem befindet sich im Hirnstamm die **Formatio reticularis**. Sie besteht aus netzartig angeordneten Neuronen und Faserbündeln mit wenigen Kerngebieten. Die Formatio reticularis ist an

der Regulation der Aufmerksamkeit und der Wachheit (Vigilanz) beteiligt und kontrolliert Atmung und Kreislauffunktionen.

Rostral des Mesencephalons schließt sich das **Prosencephalon** (Vorderhirn) an, das aus dem *Diencephalon* (Zwischenhirn) und dem *Telencephalon* (Endhirn) besteht.

Das **Diencephalon** bildet die Wände des *III. Ventrikels*. Es setzt sich zusammen aus dem *Thalamus*, dem *Hypothalamus*, dem *Subthalamus* sowie dem *Epithalamus*. Der Thalamus besteht aus zahlreichen Kerngruppen (Nuclei) mit Verbindungen zur Großhirnrinde (Cortex). Er ist die letzte Umschaltstation sensorischer Informationen vor dem Cortex, und er kontrolliert den Motorcortex. Einige Kerngebiete des Thalamus werden zum *limbischen System* gezählt, das an der Verarbeitung von Emotionen beteiligt ist. Entwicklungsgeschichtlich gehören auch der Globus pallidus sowie der N. opticus als in die Peripherie verlagerter Teil der Sehbahn zum Diencephalon. Kaudal des Thalamus liegt der Hypothalamus. Er kontrolliert das endokrine System und reguliert Körpertemperatur, Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme sowie Sexualität. Über eine Verbindung zur Epiphyse (dem größten Teil des Epithalamus) wird die Ausschüttung des schlaffördernden Hormons Melatonin und damit der zirkadiane Rhythmus eingestellt. Der Subthalamus hat vorwiegend bewegungshemmende Funktion. Eine Störung dieser Hirnregion führt zu unwillkürlichen, heftigen, einseitigen oder beidseitigen Schleuderbewegungen (**Ballismus** bzw. **Hemiballismus**).

Das **Telencephalon** wölbt sich über Mesencephalon und Diencephalon und bildet auch die Gehirnoberfläche. Es wird auch als *Großhirn* bezeichnet und besteht aus den beiden *funktionell asymmetrischen* Hemisphären, die jeweils einen *Seitenventrikel* umschließen, und den darunter liegenden subkortikalen Kernen (Basalganglien, s. u.).

Das Telencephalon (End- oder Großhirn) ist Sitz des Bewusstseins, der bewussten Sinnesempfindungen und der Erinnerung (Gedächtnis). Auch höhere kognitive Fähigkeiten sind hier angesiedelt. Bei den meisten Menschen ist die linke Hemisphäre bevorzugt für Sprache und analytisches Denken verantwortlich, während räumliches Erkennen und emotionale Fähigkeiten bevorzugt in der rechten Hemisphäre beheimatet sind.

Die konvexe Außenseite der Hemisphären bildet den Hirnmantel (**Pallium**), der aus grauer Substanz, dem **Cortex**, sowie dem darunter liegenden **Marklager** aus weißer Substanz besteht. Die Oberfläche des Cortex ist durch Windungen (**Gyri**) und Furchen (**Sulci**) stark vergrößert. Durch einige besonders tiefe Sulci wird der Cortex in 4 Lappen (Lobi) unterteilt (▶ **Abb. 6.6**):

- Lobus frontalis (Stirnlappen[1]),
- Lobus parietalis (Scheitellappen[3]),
- Lobus temporalis (Schläfenlappen[5]),
- Lobus occipitalis (Hinterhauptslappen[4]).

Die beiden Hemisphären sind untereinander über insgesamt 5 Fasertrakte (Kommissuren) verbunden. Der wichtigste und größte dieser Trakte ist der „Balken" (*Corpus callosum*[10]).

Verbindungen (Faserbündel), die in der Mittelinie des Großhirns kreuzen und funktionell zusammengehörende (nicht zwangsläufig symmetrisch angeordnete) Cortexareale von rechter und linker Hemisphäre miteinander verbinden, nennt man **Kommissuren**. Dagegen versteht man unter **Assoziationsfasern** Verbindungen zwischen funktionell zusammenhängenden Cortexarealen derselben Hemisphäre. **Projektionsfasern** verbinden den Cortex mit weiter kaudal gelegenen Kernen.

Im Inneren der Hemisphären bildet die graue Substanz ausgedehnte Kerngebiete, die als **Basalganglien** bezeichnet werden. Im Prinzip handelt es sich dabei um je eine große Zone grauer Substanz direkt lateral der Seitenventrikel. Durch diese Zone ziehen etwa in ihrer Mitte jedoch Fasern von und zur Großhirnrinde, was zu einem gestreiften Aussehen dieser Region führt. Daher wird diese zentrale Region Streifenkörper (Corpus striatum) genannt. Den Teil der Basalganglien, der medial des Corpus striatum liegt, bezeichnet man als Nucleus caudatus, den lateralen als Putamen. Meist wird auch der eigentlich zum Diencephalon gehörende Globus pallidus ebenfalls zu den Basalganglien gerechnet.

Die Basalganglien sind zusammen mit dem *Kleinhirn* an der **Planung und Durchführung von Bewegungen** beteiligt und schicken die entsprechenden Programme an den *primären Motorcortex*. Über *absteigende* Bahnen beeinflussen die Basalganglien auch die *spinale Motorik*.

6.2.2 Peripheres Nervensystem

Das periphere Nervensystem besteht aus den 31–32 paarigen **Spinalnerven**, die mit dem Rückenmark bzw. den Spinalganglien in Verbindung stehen, und den 12 ebenfalls paarigen **Hirnnerven**, die an das Gehirn angeschlossen sind. Bei den ers-

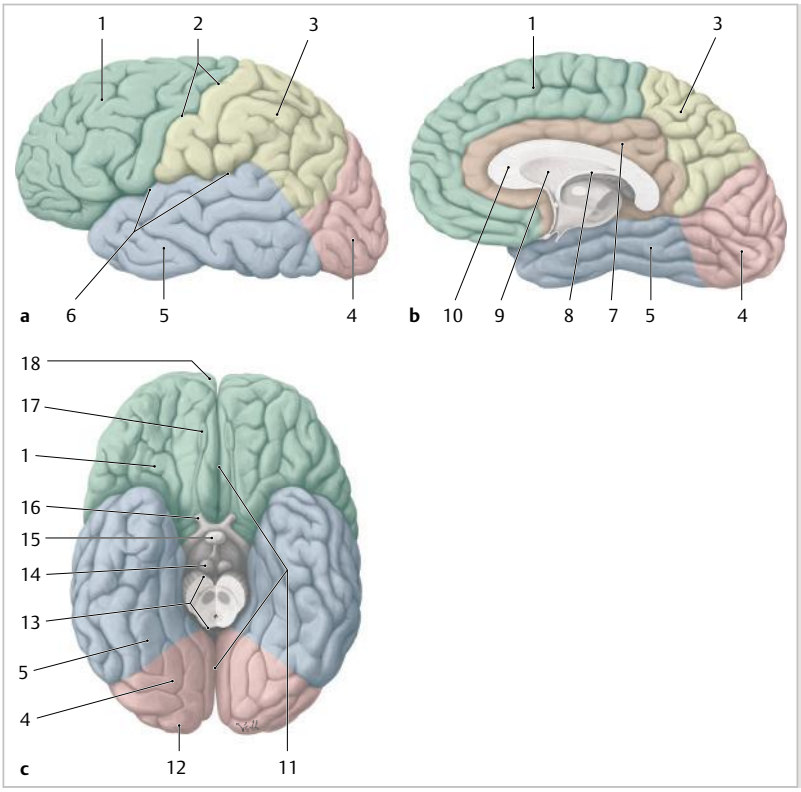


Abb. 6.6 Gliederung der Hirnhemisphären.
1 Lobus frontalis
2 Sulcus centralis
3 Lobus parietalis
4 Lobus occipitalis
5 Lobus temporalis
6 Sulcus lateralis
7 Lobus limbicus
8 Fornix
9 Septum pellucidum
10 Corpus callosum
11 Fissura longitudinalis cerebri
12 Polus occipitalis
13 Mesencephalon
14 Corpus mammillare
15 Hypophyse
16 N. opticus
17 Bulbus olfactorius
18 Polus frontalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 6.2 Faserqualitäten in Spinal- und Hirnnerven

Faserqualität	Richtung	Somatisch/Vegetativ	Innervierte Organe (Beispiele)
somatosensorisch	afferent	somatisch	Reize aus: Haut, Gelenken, Skelettmuskulatur (Propriozeption)
viszerosensorisch	afferent	vegetativ	Reize aus: glatter Muskulatur, Drüsen
somatomotorisch	efferent	somatisch	Reize zu: Skelettmuskulatur
viszeromotorisch	efferent	vegetativ	Reize zu: glatter Muskulatur, Drüsen

ten beiden Hirnnerven (N. olfactorius und N. opticus) handelt es sich streng genommen nicht um periphere Nerven, sondern um Ausstülpungen des Tel- bzw. Diencephalons.

Spinalnerven

Die 31–32 Spinalnerven (Nervi spinales) werden untergliedert in:
- 8 Zervikalnerven (C 1–8),
- 12 Thorakalnerven (Th 1–12),
- 5 Lumbalnerven (L 1–5),
- 5 Sakralnerven (S 1–5),
- 1–2 Kokzygealnerven.

Die Spinalnerven entstehen aus dem Zusammenschluss *efferenter*, *afferenter* und im Bereich des Thorakal- und Sakralmarks auch *vegetativer* Nervenfasern (s. u.). Die **efferenten** und die **vegetativen Nervenfasern** verlassen das Rückenmark über die **Radix anterior**, die **afferenten Nervenfasern** treten über die **Radix posterior** in das Rückenmark ein.

Spinalnerven führen demnach die in ▶ Tab. 6.2 aufgeführten **Faserqualitäten**, die auch in Hirnnerven vorkommen können.

Da das Längenwachstum des Rückenmarks hinter dem der Wirbelsäule zurückbleibt, wird der Verlauf von Vorder- und Hinterwurzeln zu ihrem Austritts- bzw. Eintrittsort in kraniokaudaler Richtung zunehmend steiler.

Da der 1. Zervikalnerv zwischen dem Os occipitale und dem 1. Halswirbel (Atlas) austritt, befinden sich auch die Austrittspunkte der folgenden 6 Zervikalnerven *kranial* der zugehörigen Wirbelkörper.

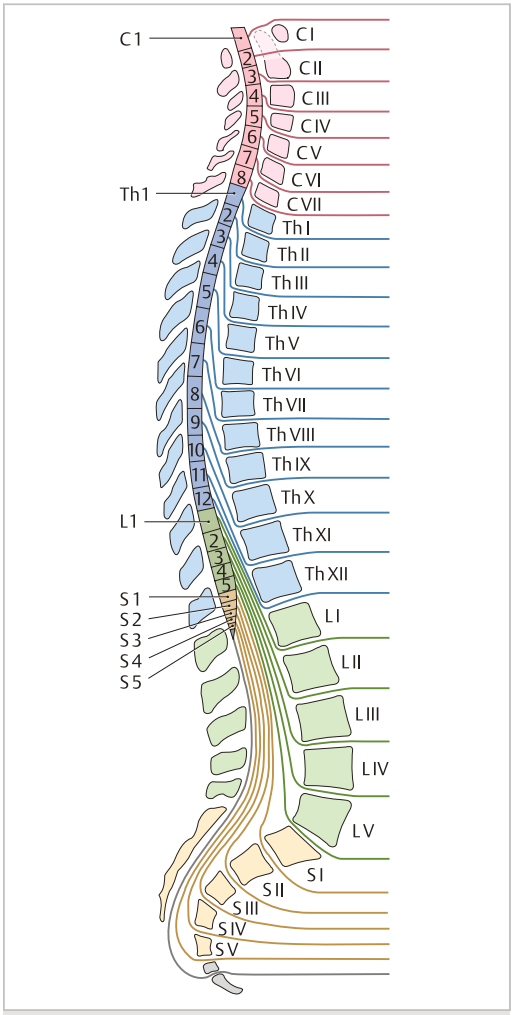


Abb. 6.7 Einteilung und Lage der Rückenmarkssegmente in Bezug auf den Wirbelkanal beim Erwachsenen. Das Niveau der Rückenmarkssegmente (Zahlen links) entspricht nicht der Höhe der Wirbelsegmente (Zahlen rechts), da das Rückenmark kürzer ist als der Wirbelkanal. (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Es gibt zwar 8 Zervikalsegmente, aber nur 7 Halswirbel. Daher tritt der 8. Zervikalnerv kaudal des 7. Halswirbels aus. Die Austrittspunkte aller folgenden Spinalnerven liegen folglich *kaudal* der zugehörigen Wirbelkörper (▶ **Abb. 6.7**).

Unmittelbar distal des Zusammenschlusses von Afferenzen und Efferenzen zu einem Spinalnerv teilt sich dieser in 5 Äste:

- Der **R. dorsalis** (**posterior**) versorgt am Rumpf *motorisch* die paravertebrale (autochthone) Rückenmuskulatur und *sensorisch* die Haut.
- Der **R. ventralis** (**anterior**) versorgt *motorisch* und *sensorisch* die Extremitäten und den ventrolateralen Rumpf.
- Der **R. meningeus** läuft zum Wirbelkanal zurück, wo er die Rückenmarkhäute *sensorisch* innerviert.
- Der wenig myelinisierte **R. communicans albus** (nur C 8/L 1–2) zieht zu den *Grenzstrangganglien* des sympathischen Nervensystems, wo er auf das 2. Neuron umgeschaltet wird (s. u.).
- Im marklosen **R. communicans griseus** laufen die *sympathischen Efferenzen* zurück zum Spinalnerv, wo sie sich auf die übrigen Äste verteilen.

Der von einem Spinalnerv *sensorisch* innervierte Hautbezirk wird als **Dermatom** bezeichnet (▶ **Abb. 6.8**), die Gesamtheit der von ihm *motorisch* innervierten Muskeln nennt man **Myotom**. Im Thorakalbereich sind die Dermatome gürtelförmig angeordnet, wobei der Hautstreifen auf Höhe des Bauchnabels etwa dem Dermatom Th 10 entspricht. Da es an den Extremitäten während der vorgeburtlichen Entwicklung zur Umlagerung von Skelettmuskeln und anderen Geweben kommt, sind die Dermatome dort weniger regelmäßig angeordnet.

Da jedes Dermatom zusätzlich aus den beiden benachbarten Rückenmarkssegmenten versorgt wird, führt die **Läsion einer Hinterwurzel** lediglich zu einer verminderten Sensibilität (**Hypästhesie**), nicht aber zum vollständigen Ausfall der Sensibilität (**Anästhesie**) im betroffenen Dermatom.

Die Rami anteriores, die die Extremitäten versorgen, bilden **Nervengeflechte (Plexus)**. Hierbei mischen sich die Fasern *mehrerer Segmente* und lagern sich zu neuen Nerven („Plexusnerven“) zusammen.

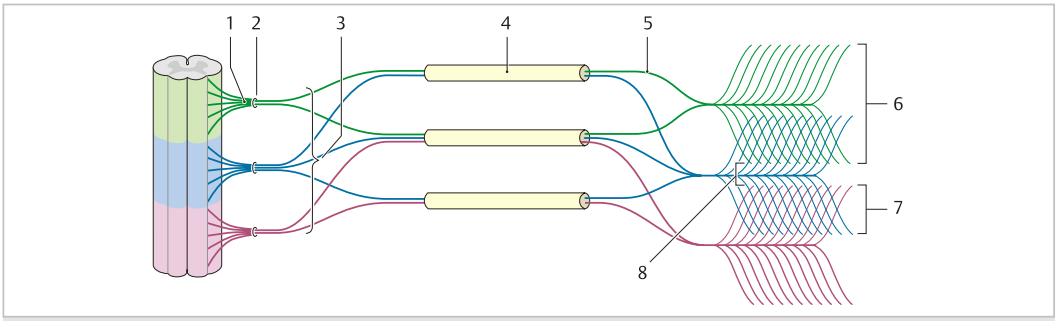


Abb. 6.8 Verlauf sensibler Fasern von der Hinterwurzel bis zum Dermatom.
1 sensible Hinterwurzel
2 Spinalnerv im Foramen intervertebrale
3 Plexus
4 peripherer Nerv
5 Hautnerv
6 maximales Innervationsgebiet eines Hautnervs
7 überlappendes Innervationsgebiet zweier Hautnerven
8 Autonomiegebiet eines Hautnervs
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Schädigung eines Rückenmarkssegments** führt aufgrund der Mischung von Fasern mehrerer Segmente nicht zum vollständigen Ausfall eines „Plexusnervs", da auch andere Segmente Fasern beisteuern. Statt zu einer **Paralyse** (vollständige Lähmung) eines Muskels kommt es lediglich zu einer **Parese** (Muskelschwäche).

Im **Rückenmark** können Afferenzen aus inneren Organen zusammen mit Afferenzen aus der Körperperipherie auf Nervenzellen des gleichen Rückenmarkssegments projizieren (**„konvergente Verschaltung"**). Die Erkrankung eines inneren Organs macht diese Nervenzellen leichter erregbar für Afferenzen aus der Peripherie und führt damit zu einer Überempfindlichkeit (**Hyperästhesie**) der betreffenden Hautareale. Berührungen der betreffenden Hautpartien werden als unangenehm empfunden (**Parästhesie**). Die aufgrund konvergenter Verschaltung bestimmten inneren Organen zuordenbaren Hautareale werden als **Head-Zonen** bezeichnet.

Hirnnerven

Bei den 12 paarigen **Hirnnerven** (S. 674) kommen zu den 4 bei den Spinalnerven genannten 3 weitere Faserqualitäten hinzu, da z. B. *somatoafferente* Fasern spezifische Sinnesreize (Hören und Sehen) und *viszerosensible* Fasern (Geruch und Geschmack) auch bewusste Wahrnehmungen transportieren. Manche Hirnnerven führen viszeromotorische Fasern für die Innervation von Abkömmlingen der Schlundbogenmuskulatur. Für diese besonderen Qualitäten haben sich die Bezeichnungen **speziell somato-** bzw. **viszeroafferent** und **speziell viszeroefferent** (*branchiomotorisch*) durchgesetzt (▶ Tab. 6.3). Nicht alle Hirnnerven enthalten Fasern aller 7 Qualitäten. Im Gegensatz zu Spinalnerven sind Hirnnerven nicht segmental angeordnet und besitzen keine unterschiedlichen Wurzeln für den Ein- bzw. Austritt in bzw. aus dem zentralen Nervensystem. Auch unterscheiden sie sich untereinander erheblich in der Zusammensetzung ihrer Faserqualitäten und damit in ihren Funktionen.

Die Ursprungsneurone der Hirnnerven liegen in verschiedenen **Ursprungskernen**. Die *afferenten Fasern* von Hirnnerven ziehen analog zu den Spinalganglien kurz vor dem Eintritt in den *Hirnstamm* durch sensorische **Hirnnervenganglien**. Deren Neurone bilden in den **Endkernen** Synapsen mit den dort ansässigen Neuronen. Je nach Anzahl der Faserqualitäten weist ein Hirnnerv mehrere Ursprungs- bzw. Endkerne auf.

Eine Besonderheit stellen die ersten beiden Hirnnerven dar: Denn beim **N. olfactorius** und **N. opticus** handelt es sich streng genommen um in die Peripherie verlagerte Bahnen des zentralen Nervensystems.

Tab. 6.3 Faserqualitäten, die ausschließlich in Hirnnerven vorkommen.

Faserqualität	Sensorisch/Motorisch	Somatisch/ Viszeral	Hirnnerven
speziell somato-*afferent*	sensorisch, Photorezeptoren und Haarzellen	somatisch	N. opticus (II) N. vestibulocochlearis (VIII)
speziell viszero-*afferent*	sensorisch, Geruchs- und Geschmackssensoren	somatisch	N. olfactorius (I) N. facialis (VII) N. glossopharyngeus (IX) N. vagus (X)
speziell viszero-*efferent*	motorisch, branchiogene Muskulatur	viszeral	N. mandibularis (V_3) N. facialis (VII) N. glossopharyngeus (IX) N. vagus (X) mit Fasern der Radix cranialis des N. accessorius

Somatisches Nervensystem

Das **somatische** (**animale**) **Nervensystem** umfasst diejenigen Teile des Nervensystems, die bewusste und willkürliche Interaktionen des Organismus mit seiner Umwelt vermitteln. Die Aktivitäten des somatischen Nervensystems manifestieren sich z. B. in bewussten Wahrnehmungen und sichtbaren Bewegungen.

Als **Sensoren** für die Reizaufnahme dienen Sinneszellen am distalen Ende der afferenten Neuronenkette. Man unterscheidet **Mechanorezeptoren** (Druck, Dehnung), **Chemorezeptoren** (Duftstoffe), **Thermorezeptoren** (Temperaturänderungen) und **Nozizeptoren** (Gewebeschädigung).

Hautsinnesorgane (**Exterozeptoren**) nehmen Druck- und Berührung wahr. Die Sinnesorgane der Tiefensensibilität (Spindelapparate und Golgi-Sehnenorgane) liegen in Muskeln, Sehnen und Gelenkkapseln. Sie werden durch die Aktivität des Bewegungsapparats erregt und daher **Propriozeptoren** genannt. Die Organe der Eingeweidesensibilität werden als **Interozeptoren** oder **Viszerozeptoren** bezeichnet. Mechanorezeptoren, die den Blutdruck registrieren, werden **Presso-** oder **Barorezeptoren** genannt. Da Riech-, Seh- und Hörorgan weit entfernte Reize wahrnehmen, bezeichnet man diese auch als **Telezeptoren**. Das Riech- und Geschmacksorgan verfügt über **Chemorezeptoren**, das Hör- und Gleichgewichtsorgan über **Mechanorezeptoren**. Im Auge gibt es **Photorezeptoren**.

In der Regel gelangt die Information über eine Kette von **3 Neuronen** zum Cortex (S. 536). Das **1. Neuron** reicht von der Sinneszelle in der Peripherie bis zur ersten Synapse im Rückenmark oder Hirnstamm. Hier wird der Reiz auf das **2. Neuron** umgeschaltet. Eine weitere Umschaltung auf das **3. Neuron** gibt es wiederum im Rückenmark, Hirnstamm oder Thalamus. Erst dieses 3. Neuron projiziert zum **Cortex**, wo mit Ausnahme von Schmerzen alle Sinnesmodalitäten in speziellen **Zentren** verarbeitet werden.

Die **Efferenzen** des somatischen Nervensystems ziehen über **deszendierende motorische Bahnen** zu den motorischen Hirnnervenkernen oder zum Vorderhorn des Rückenmarks, wo eine synaptische Umschaltung auf **Motoneurone** erfolgt (S. 554). Von dort verlaufen sie in peripheren Nerven zur Skelettmuskulatur.

Vegetatives Nervensystem

Das **vegetative** (**autonome**) **Nervensystem** reguliert unbewusste, nicht der Willkür unterworfene Funktionen, z. B. Herz- und Kreislauftätigkeit, Atmung und Verdauung. Die hierfür erforderlichen Informationen aus den inneren Organen erhält das vegetative Nervensystem über **Afferenzen** des somatischen Nervensystems. Seine **Efferenzen** enden an der glatten Muskulatur von Gefäßen und Organen sowie an Drüsen (▶ **Abb. 6.9**).

Man unterscheidet beim vegetativen Nervensystem 2 Anteile: den **Sympathicus** und den **Parasympathicus**. Beide Systeme bestehen jeweils aus einer Kette von 2 Neuronen, die über eine Synapse miteinander verschaltet sind. Die beiden Subsysteme des vegetativen Nervensystems wirken in vielen Fällen antagonistisch.

Ein weiterer Bestandteil des autonomen Nervensystems ist das **enterische Nervensystem**, das etwa genauso viele Nervenzellen enthält wie das Rückenmark und u. a. die komplexen Bewegungen

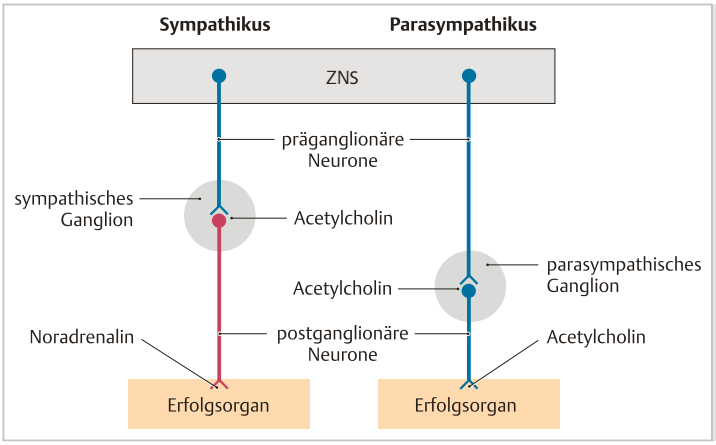


Abb. 6.9 Schaltschema des vegetativen Nervensystems.
(aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

des Darms steuert. Seine Aktivität kann durch Sympathicus und Parasympathicus modifiziert werden.

6.2.3 Hüllen von Rückenmark und Gehirn (▶ Abb. 6.10)

Gehirn und Rückenmark sind in einem mit Flüssigkeit (**Liquor cerebrospinalis**) gefüllten Raum gelagert und von Hüllen unterschiedlicher Konsistenz umgeben (S. 581). Außen liegt die **harte Hirnhaut** (**Pachymeninx**, **Dura mater**[2]), die eine Verbindung zu den umgebenden Knochen des Schädels bzw. des Wirbelkanals bildet. Innen liegt ihr die **weiche Hirnhaut** (**Leptomeninx**) an, die mit ihren Anteilen **Arachnoidea**[4] und **Pia mater**[7] die Begrenzung der äußeren Liquorräume bildet. Obwohl die Anordnung dieser Strukturen in beiden Teilen des zentralen Nervensystems grundsätzlich gleich ist, gibt es charakteristische Unterschiede.

Harte Hirn- und Rückenmarkshaut (Dura mater)

Die Dura mater besteht aus straffem, faserreichen Bindegewebe. Man unterschiedet ein **periostales Blatt**, das dem Knochen dicht anliegt oder mit ihm verwachsen ist, von einem **meningealen Blatt**, das in Kontakt mit der Arachnoidea mater steht.

Intrakraniell ist das periostale Blatt der Dura mater fest mit dem meningealen Blatt verwachsen. Ausnahmen sind die **Sinus durae matris**, wo beide Blätter auseinander treten und venöse Blutleiter bilden. Intrakraniell gibt es unter physiologischen Bedingungen keinen Epiduralraum.

Auch im Spinalkanal treten beide Durablätter auseinander. Der Zwischenraum ist hier mit in Fettgewebe gelagerten venösen Plexus gefüllt und wird als **Epi-** oder **Periduralraum** (Spatium epidurale /peridurale) bezeichnet.

Bei einer **Periduralanästhesie** wird ein Lokalanästhetikum in den Periduralraum injiziert.

Spinnwebhaut (Arachnoidea mater)

Das meningeale Blatt der Dura mater steht in Kontakt zur Arachnoidea mater (Spinnwebhaut oder kurz Arachnoidea[4]). Beide Hirnhäute sind jedoch gut voneinander abgrenzbar. Zwischen Dura mater und Arachnoidea liegt ein flüssigkeitsgefüllter kapillarer Spalt, der durch eine Blutung der Brückenvenen zum **Subduralraum** geweitet werden kann. Die Arachnoidea besteht aus lockerem Bindegewebe, von dem einzelne Bälkchen[6] bis zur Pia mater reichen. Zwischen Arachnoidea und Pia mater dehnt sich der **Subarachnoidalraum** (**Spatium subarachnoidale**[5]), der neben dem Liquor cerebrospinalis noch die Gefäße des Circulus arteriosus (Willisi) und oberflächliche Hirnvenen enthält.

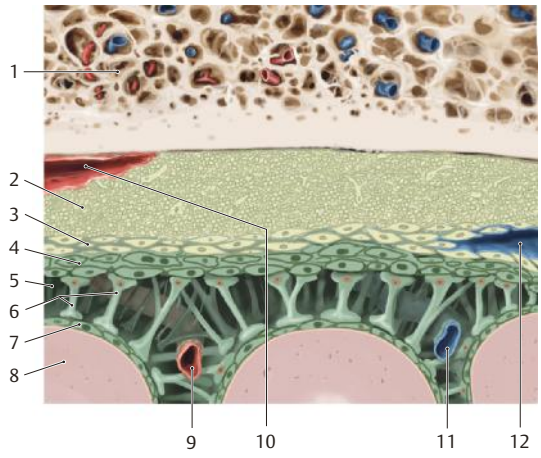


Abb. 6.10 Hirnhäute und zugehörige Räume.
1 Schädelknochen
2 Dura mater
3 Neurothel
4 Arachnoidea
5 Subarachnoidalraum
6 Arachnoidalsepten
7 Pia mater encephali
8 Cortex cerebri
9 A. cerebri
10 arterielle Epiduralblutung
11 V. cerebri
12 venöse Subduralblutung
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

An den Gefäßen des Circulus arteriosus können angeborene Fehlbildungen (Aneurysmen) vorkommen, die bei Blutdrucksteigerungen (Blutdruckspitzen) leicht reißen und zu einer **Subarachnoidalblutung** führen können.

Dura mater und Arachnoidea reichen weit nach kaudal in den Spinalkanal. Da die Pia mater jedoch mit dem Conus medullaris nur bis zur Höhe des 2. oder 3. LWK reicht, entsteht im lumbalen Spinalkanal ein ausgedehnter, mit Liquor cerebrospinalis gefüllter Subarachnoidalraum, die **Cisterna lumbalis**. Er wird lediglich von den vorderen und hinteren Wurzelfäden der kaudalen Rückenmarkssegmente, der **Cauda equina**, durchzogen.

Weiche Hirn- und Rückenmarkshaut (Pia mater)

Die **Pia mater**[7] besteht ebenfalls aus lockerem Bindewebe. Sie liegt der **Membrana gliae limitans externa** (äußere Gliagrenzmembran), der äußeren Begrenzung des zentralen Nervensystems, unmittelbar auf und folgt daher allen Fissuren und Sulci von Gehirn und Rückenmark. Die in Gehirn und Rückenmark eindringenden Gefäße werden ein Stück weit von der Pia mater begleitet, sodass um die Gefäße kurze, trichterförmige Hohlräume entstehen (**Virchow-Robin-Räume**).

Innervation der Hirn- und Rückenmarkshäute

Intrakraniell werden Dura und Arachnoidea mater frontal und parietal von Ästen des **N. trigeminus** und okzipital vom **N. vagus** und möglicherweise auch den N. glossopharyngeus sensibel innerviert. Dura und Arachnoidea des Rückenmarks werden über die **Rr. meningei** der Spinalnerven sensibel innerviert.

Eine Reizung der Meningen bei Hirnhautentzündung (**Meningitis**) oder Sonnenstich führt rasch zu Erbrechen. Dieses Symptom wird durch die Innervation der okzipitalen Anteile der Meningen durch den N. vagus erklärt.

Die Pia mater ist **nicht sensibel** innerviert.

Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit (Liquor cerebrospinalis)

Der **Liquor cerebrospinalis** (kurz: Liquor) ist eine klare, weitgehend zellfreie Flüssigkeit, deren Zusammensetzung in etwa der des Blutplasmas und der interstitiellen Flüssigkeit entspricht. Wie diese sorgt auch der Liquor für die **Homöostase** des extrazellulären Milieus und damit für das Funktionieren von Ionenkanälen, -pumpen und unterschiedlichen Transportmolekülen. Außerdem bil-

det der Liquor eine Art Flüssigkeitsmantel zum **Schutz** des zentralen Nervensystems, das in ihm nahezu schwerelos (Prinzip des Auftriebs) gelagert ist.

Die mit Liquor gefüllten Räume im Inneren des Gehirns (Ventrikel) kommunizieren über Kanäle, die vom IV. Ventrikel ausgehen (Aperturae), mit dem äußeren Liquorraum, der im Wesentlichen dem Subarachnoidalraum entspricht. Aufgrund der Anordnung von Arachnoidea und Pia mater befinden sich intrakraniell mit Liquor gefüllte Erweiterungen des Subarachnoidalraums, die **Zisternen** genannt werden. Klinisch wichtig sind die *Cisterna lumbalis* (Lumbalpunktion) und die *Cisterna cerebellomedullaris* (Subokzipitalpunktion) zwischen der Unterseite des Kleinhirns und der Rückseite der Medulla oblongata.

Liquorzirkulation. Der Liquor wird von den **Plexus choroidei** gebildet. Dies sind gefäßreiche Ausstülpungen der Pia mater, die sich in den Seitenventrikeln, im Dach des III. Ventrikels und im kaudalen Teil des Dachs des IV. Ventrikels befinden. Durch den **Sekretionsdruck** der Plexus und möglicherweise durch die Kinozilienbewegung der Ependymzellen entsteht ein **Liquorfluss** in Richtung des IV. Ventrikels, von wo aus der Liquor durch die Aperturae laterales und mediana in die Cisterna cerebellomedullaris und die äußeren Liquorräume gelangt, die Gehirn und Rückenmark umgeben (▶ Abb. 19.56). Diese Strömung wird zunächst Richtung Hirnstamm und Rückenmark abgeleitet und steigt dann nach parietal zum Sinus sagittalis superior auf. Dort befinden sich die **Granulationes arachnoideae** (**Pacchioni-Granulationen**), über die der Liquor dem venösen System der Sinus durae matris oder Diploe-Venen zugeführt wird. Diese sind zwar nicht der einizige, aber der wichtigste Resorptionsort für den Liquor.

7 Embryologische Grundlagen

Joachim Kirsch

Vom Zeitpunkt der Befruchtung an gerechnet (post conceptionem = p. c.) dauert die vorgeburtliche Entwicklung des Menschen 266 Tage (38 Wochen). Die **Frühentwicklung** reicht von der 1. bis zur 3. Entwicklungswoche. Zwischen der 4. und 8. Woche p. c. liegt die **Embryonalperiode**, zu deren Ende die Organsysteme angelegt sind. Die darauf folgende **Fetalperiode** ist gekennzeichnet durch eine Größen- und Gewichtszunahme mit einer charakteristischen Veränderung der Körperproportionen.

Da der Zeitpunkt der Befruchtung nicht eindeutig bestimmt werden kann, wird die Dauer einer Schwangerschaft in der Klinik vom 1. Tag der letzten Menstruation an gerechnet (post menstruationem = p.m.). Zwischen letzter Menstruation und Geburt liegen im Normalfall **280 Tage** (**40 Wochen**). Da der Zeitpunkt zwischen letzter Menstruation und Ovulation bzw. Befruchtung aber nicht immer genau 14 Tage beträgt, ist diese Berechnung mit Unsicherheiten behaftet.

7.1 Frühentwicklung

7.1.1 Konzeption bis Implantation

Unter „Befruchtung" (Synonyme: Konzeption, Fertilisation) versteht man die **Verschmelzung** einer männlichen (Spermium) und einer weiblichen Keimzelle (Oozyte). Die Eizelle ist zu diesem Zeitpunkt von der aus Glykoproteinen bestehenden **Zona pellucida** und einer Schicht **Corona-radiata-Zellen** umgeben. Beim Menschen geschieht die Befruchtung in der Pars ampullaris des Eileiters. Dabei werden Organellen des Spermiums (männlicher Vorkern, Zentrosom, Zilium und Mitochondrien) in das Zytoplasma der Eizelle aufgenommen (**Imprägnation**). Von diesen Organellen werden das Zilium und die Mitochondrien abgebaut, während das Zentrosom erhalten bleibt und später verdoppelt wird. In einer befruchteten Eizelle stammen also alle Mitochondrien von der Eizelle (mütterliche Vererbung), während das Zentrosom vom Spermium beigesteuert wird.

Durch die Anordnung der mütterlichen und väterlichen Chromosomen in einer gemeinsamen Teilungsspindel entsteht die erste Zelle des neuen Organismus, die **Zygote**. Diese teilt sich innerhalb von 4–12 h in 2 Tochterzellen (**Blastomere**), die sich in der Folge mehrfach mitotisch teilen (Furchungsteilung).

Durch Furchungsteilungen entstehen ca. 30 Blastomere, die noch immer von der Zona pellucida umgeben sind. Das Gebilde sieht einer Maulbeere ähnlich und wird daher **Morula** genannt. Sie erreicht am 3.–4. Tag das Cavum uteri. Die äußeren Zellen der Morula schließen sich zu einer kompakten Zellschicht zusammen (**Trophoblast**). Durch den Einstrom von Flüssigkeit zwischen die innen liegenden Zellen (**Embryoblast**) entsteht eine flüssigkeitsgefüllte Höhle in der die Zellen des Embryoblast einen kleinen Hügel bilden. Das ganze Gebilde wird nun **Blastozyste** genannt. Die dem Embryoblast gegenüberliegenden Trophoblastzellen (= abembryonaler Pol) sezernieren Enzyme, welche die Zona pellucida von innen andauen. Hierdurch und durch **Ausdehnungskontraktionen** gelingt es der Blastozyste schließlich, aus der Zona pellucida zu „schlüpfen".

An dieses Schlüpfen der Blastozyste schließt sich am 6.–8. Tag p. c. die **Implantation** (Nidation) an.

Die Trophoblastzellen produzieren das Hormon „humanes Chorion-Gonadotropin" (**hCG**), das im Blut einer Schwangeren bereits 6–9 Tage p. c., also noch vor dem Ausbleiben der Menstruation nachweisbar ist. **Schwangerschaftstests** beruhen meist auf dem Nachweis von hCG im Urin, der etwa ab 14 Tage p. c. möglich ist.

Mit Beginn der Implantation bildet sich aus dem Embryoblast zunächst eine **zweiblättrige Keimscheibe** bestehend aus **Epiblast** (dorsal) und **Hypoblast** (ventral). **Hypoblastzellen** wandern nach lateral aus und legen sich von innen auf die Zytotrophoblastzellen (Heuser-Membran). Schließlich

kleiden sie die gesamte Blastozystenhöhle aus, die nun **primärer Dottersack** genannt wird. Der *sekundäre Dottersack* entsteht durch Abschnürung von *Exocoelzysten* am abembryonalen Pol. Auch zwischen Epiblast und Trophoblast entstehen flüssigkeitsgefüllte Extrazellularräume, die sich zur **Amnionhöhle** erweitern. Am Rand des Epiblast entstehen die Amnioblasten, welche die Amnionhöhle von innen auskleiden. Eine streifenförmige Verdickung der Hypoblastzellen (**vorderer Randbogen**) markiert den zukünftigen kranialen Pol des Embryos.

Der Trophoblast differenziert sich in einen **Synzytiotrophoblasten**, der rasch die Gebärmutterschleimhaut infiltriert und den innen liegenden **Zytotrophoblasten**, der wesentlich schneller wächst als der Dottersack. Die so zwischen den beiden Strukturen entstehenden Spalträume vereinigen sich zur **Chorionhöhle (extraembryonales Zölom)**, die von Zellen des Hypoblasten ausgekleidet wird. Diese bedecken nicht nur die Außenwand aus Zytotrophoblast sondern auch Dottersack und Amnionhöhle und werden als extraembryonales Mesoderm bezeichnet. Die Ausbildung der Chorionhöhle unterbleibt nur an einer Stelle zwischen Amnion und Wand der Chorionhöhle. Hier bildet sich ein **Haftstiel** aus, an dem der Embryo in der Chorionhöhle befestigt ist.

Am Anfang der 3. Embryonalwoche wird die zweiblättrige in eine **dreiblättrige Keimscheibe** umgewandelt wird. Dieser Umformungsprozess wird **Gastrulation** genannt. Zeitgleich bilden sich **extraembryonale Hohlräume**.

Die Gastrulation beginnt etwa am 15. Tag p. c. mit der Ausbildung einer bandartigen Zellverdichtung im Epiblast, dem **Primitivstreifen**. Sie wächst in der Längsachse des Embryos von kaudal bis etwa in die **Mitte der Keimscheibe** vor. Dort bildet sich eine knotenförmige Verdickung (**Primitivknoten**). In der Mitte des Primitivstreifens entsteht eine Rinne (**Primitivrinne**), in die von lateral Zellen einwandern und sich zwischen Epiblast und Hypoblast drängen. Aus diesen Zellen geht das **intraembryonale Mesoderm** hervor.

Ausgehend vom Primitivknoten wandern Zellen nach kranial und bilden den **Chordafortsatz**. Die besonders teilungsaktiven Zellen im lateralen Bereich des Zellstrangs verdrängen die Hypoblastzellen und werden zum **Endoderm** (Synonym: Entoderm). Die medial liegenden Zellen bilden eine Platte (**Chordaplatte**), in deren Mitte sich eine rasch vertiefende Rinne bildet. Deren aufgefaltete Ränder verschmelzen schließlich zu einem Rohr, der **Chorda dorsalis**, die völlig vom Endoderm abgelöst ist. Unter dem Einfluss **chemischer Signale** aus dem intraembryonalen Mesoderm und der Chorda dorsalis bildet sich aus dem Epiblast das **Ektoderm**.

Die Abgrenzung der 3 Keimblätter ist etwa am 17. Tag p. c. abgeschlossen. Lediglich an 2 Stellen liegen Ektoderm und Endoderm unmittelbar aneinander und bilden die Rachenmembran (**Membrana oropharyngealis**) und die **Kloakenmembran** (**Membrana cloacalis**).

7.2 Von der Neurulation bis zur Bildung der Zölomhöhle

7.2.1 Neurulation (▶ Abb. 7.1)



Mit der Bildung der Chorda dorsalis beginnt auch die Differenzierung einer **Neuralplatte** aus dem Ektoderm. Unter **Neurulation** versteht man die Vorgänge, die von der Bildung der Neuralplatte zur Entstehung eines zunächst noch kranial und kaudal offenen **Neuralrohrs** führen. Der Prozess wird der embryonalen **Frühentwicklung** zugerechnet, wird aber hier in einem eigenen Kapitel dargestellt, da er simultan zu Vorgängen abläuft, die zur Bildung der **Zölomhöhle** führen.

Chemische Signale der Chorda dorsalis induzieren eine weitere Differenzierung des **Ektoderms** in die zentral und kranial gelegene **Neuralplatte** und das lateral davon gelegene **Oberflächenektoderm**. Im kranialen Bereich bilden sich zwischen Neuralplatte und Oberflächenektoderm 4 Zellverdichtungen (**Riech-, Ohr-, Linsen-** und **Trigeminus-Plakode**). Die Neuralplatte vertieft sich zu einer **Neuralrinne**[3], deren Ränder (**Neuralwülste**[4]) sich etwa am Tag 20 p. c. zum **Neuralrohr**[20] zusammenschließen. Der Zusammenschluss beginnt etwa in der **Mitte** der Neuralrinne und setzt sich gleichzeitig nach kaudal und kranial fort. Die Öffnungen des Neuralrohrs werden **Neuroporus cranialis** bzw. **caudalis** genannt, sie verschließen sich am 24. bzw. 16. Tag. Aus der **Kontaktzone** zwischen Neuralrinne und Oberflächenektoderm wachsen ektodermale Zellen aus und bilden rechts und links neben dem Neuralrohr die paarigen **Neuralleisten**[17].

kleiden sie die gesamte Blastozystenhöhle aus, die nun **primärer Dottersack** genannt wird. Der *sekundäre Dottersack* entsteht durch Abschnürung von *Exocoelzysten* am abembryonalen Pol. Auch zwischen Epiblast und Trophoblast entstehen flüssigkeitsgefüllte Extrazellularräume, die sich zur **Amnionhöhle** erweitern. Am Rand des Epiblast entstehen die Amnioblasten, welche die Amnionhöhle von innen auskleiden. Eine streifenförmige Verdickung der Hypoblastzellen (**vorderer Randbogen**) markiert den zukünftigen kranialen Pol des Embryos.

Der Trophoblast differenziert sich in einen **Synzytiotrophoblasten**, der rasch die Gebärmutterschleimhaut infiltriert und den innen liegenden **Zytotrophoblasten**, der wesentlich schneller wächst als der Dottersack. Die so zwischen den beiden Strukturen entstehenden Spalträume vereinigen sich zur **Chorionhöhle (extraembryonales Zölom)**, die von Zellen des Hypoblasten ausgekleidet wird. Diese bedecken nicht nur die Außenwand aus Zytotrophoblast sondern auch Dottersack und Amnionhöhle und werden als extraembryonales Mesoderm bezeichnet. Die Ausbildung der Chorionhöhle unterbleibt nur an einer Stelle zwischen Amnion und Wand der Chorionhöhle. Hier bildet sich ein **Haftstiel** aus, an dem der Embryo in der Chorionhöhle befestigt ist.

Am Anfang der 3. Embryonalwoche wird die zweiblättrige in eine **dreiblättrige Keimscheibe** umgewandelt wird. Dieser Umformungsprozess wird **Gastrulation** genannt. Zeitgleich bilden sich **extraembryonale Hohlräume**.

Die Gastrulation beginnt etwa am 15. Tag p. c. mit der Ausbildung einer bandartigen Zellverdichtung im Epiblast, dem **Primitivstreifen**. Sie wächst in der Längsachse des Embryos von kaudal bis etwa in die **Mitte der Keimscheibe** vor. Dort bildet sich eine knotenförmige Verdickung (**Primitivknoten**). In der Mitte des Primitivstreifens entsteht eine Rinne (**Primitivrinne**), in die von lateral Zellen einwandern und sich zwischen Epiblast und Hypoblast drängen. Aus diesen Zellen geht das **intraembryonale Mesoderm** hervor.

Ausgehend vom Primitivknoten wandern Zellen nach kranial und bilden den **Chordafortsatz**. Die besonders teilungsaktiven Zellen im lateralen Bereich des Zellstrangs verdrängen die Hypoblastzellen und werden zum **Endoderm** (Synonym: Entoderm). Die medial liegenden Zellen bilden eine Platte (**Chordaplatte**), in deren Mitte sich eine rasch vertiefende Rinne bildet. Deren aufgefaltete Ränder verschmelzen schließlich zu einem Rohr, der **Chorda dorsalis**, die völlig vom Endoderm abgelöst ist. Unter dem Einfluss **chemischer Signale** aus dem intraembryonalen Mesoderm und der Chorda dorsalis bildet sich aus dem Epiblast das **Ektoderm**.

Die Abgrenzung der 3 Keimblätter ist etwa am 17. Tag p. c. abgeschlossen. Lediglich an 2 Stellen liegen Ektoderm und Endoderm unmittelbar aneinander und bilden die Rachenmembran (**Membrana oropharyngealis**) und die **Kloakenmembran** (**Membrana cloacalis**).

7.2 Von der Neurulation bis zur Bildung der Zölomhöhle

7.2.1 Neurulation (▶ Abb. 7.1)



Mit der Bildung der Chorda dorsalis beginnt auch die Differenzierung einer **Neuralplatte** aus dem Ektoderm. Unter **Neurulation** versteht man die Vorgänge, die von der Bildung der Neuralplatte zur Entstehung eines zunächst noch kranial und kaudal offenen **Neuralrohrs** führen. Der Prozess wird der embryonalen **Frühentwicklung** zugerechnet, wird aber hier in einem eigenen Kapitel dargestellt, da er simultan zu Vorgängen abläuft, die zur Bildung der **Zölomhöhle** führen.

Chemische Signale der Chorda dorsalis induzieren eine weitere Differenzierung des **Ektoderms** in die zentral und kranial gelegene **Neuralplatte** und das lateral davon gelegene **Oberflächenektoderm**. Im kranialen Bereich bilden sich zwischen Neuralplatte und Oberflächenektoderm 4 Zellverdichtungen (**Riech-, Ohr-, Linsen-** und **Trigeminus-Plakode**). Die Neuralplatte vertieft sich zu einer **Neuralrinne**[3], deren Ränder (**Neuralwülste**[4]) sich etwa am Tag 20 p. c. zum **Neuralrohr**[20] zusammenschließen. Der Zusammenschluss beginnt etwa in der **Mitte** der Neuralrinne und setzt sich gleichzeitig nach kaudal und kranial fort. Die Öffnungen des Neuralrohrs werden **Neuroporus cranialis** bzw. **caudalis** genannt, sie verschließen sich am 24. bzw. 16. Tag. Aus der **Kontaktzone** zwischen Neuralrinne und Oberflächenektoderm wachsen ektodermale Zellen aus und bilden rechts und links neben dem Neuralrohr die paarigen **Neuralleisten**[17].

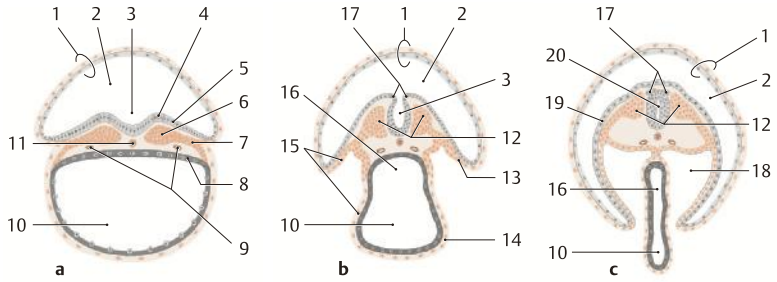


Abb. 7.1 Transversalschnitt durch die Keimscheibe während der Neurulation. a 19 Tage, **b** 20 Tage, **c** 22 Tage alte Keimscheibe.

1 Amnion
2 Amnionhöhle
3 Neuralrinne
4 Neuralwulst
5 Ektoderm
6 paraxiales Mesoderm
7 intermediäres Mesoderm
8 Endoderm
9 dorsale Aorta (paarig)
10 Dottersack
11 Chorda dorsalis
12 Somiten
13 Somatopleura
14 Splanchnopleura
15 Seitenplattenmesoderm
16 späteres Darmrohr
17 Neuralleisten
18 intraembryonales Zölom (spätere Körperhöhle)
19 Oberflächenektoderm
20 Neuralrohr
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Neuralrohr und Neuralleisten werden schließlich von Oberflächenektoderm[19] überwachsen.

7.2.2 Somitenbildung

Somiten sind paarige, segmentale Verdichtungen des neben der Chorda gelegenen Mesoderms, die durch oszillierende Expression von Transkriptionsfaktoren entlang eines Konzentrationsgradienten **sukzessive** gebildet werden. Ihre Bildung markiert den Beginn der **segmentalen Gliederung** des Körpers.

Die Chorda dorsalis[11] induziert zu ihren beiden Seiten **strangförmige Verdichtungen** des Mesoderms (**paraxiales Mesoderm**[6]). Die nach lateral anschließenden Mesodermplatten werden als **intermediäres** bzw. **Seitenplattenmesoderm**[7] bezeichnet. Ab dem 20. Tag bilden sich im paraxialen Mesoderm kranial des Primitivknotens durch Umwandlung von Mesodermzellen **Epithelblasen** (**Somiten**[12]) mit einem zentralen Hohlraum (**Myocoel**). In rascher Folge setzt sich die Somitenbildung nach kaudal fort. Man kann 4 okzipitale, 8 zervikale, 12 thorakale, 5 lumbale, 5 sakrale und etwa 8 kokzygeale Somitenpaare beobachten. Unter dem induzierenden Einfluss von Chorda dorsalis und Neuroektoderm werden die Somitenblasen in **ventromediale** und **dorsolaterale** Segmente untergliedert. Die Zellen des ventromedialen Segments (**Sklerotom**) beider Seiten schließen sich zu segmental angeordneten Mesenchymspangen zusammen, aus denn die **Wirbel** hervorgehen. Die Zellen des dorsolateralen Segments bilden das **Dermomyotom**, dessen dem Oberflächenektoderm zugewandter Teil die Vorläuferzellen der Unterhaut (**Dermis**) und dessen dem Sklerotom zugewandter Teil die Vorläufer für die **segmentale Muskulatur** liefern.

7.2.3 Entstehung der Körperhöhle (Zölomhöhle)

Die starken **Wachstumsvorgänge** im **Neuroektoderm** und im **Mesenchym** führen zu einer allseitigen **Krümmung** des Embryos um den Dottersack, die eine Spaltung des **Seitenplattenmesoderms** zur Folge hat. Beim Zusammentreffen der rechten und linken Anlagen der Körperwand in der Frontalebene kommt es zu deren **Verschmelzung** und zur Bildung des **intraembryonalen Zöloms**.

Infolge des im Vergleich zum Dottersack starken **Längenwachstums** der **Neuralplatte** und der **Somitenbildung**, die mit einer Proliferation des Mesoderms einhergeht, krümmt sich der Embryo in kraniokaudaler Richtung (**kraniokaudale Krümmung**) bzw. nach lateral (**laterale Abfaltung**) um den Dottersack. Zeitgleich spaltet sich das **Seitenplattenmesoderm**[15] in eine dem Oberflächenktoderm von innen anliegende **Somatopleura**[13] und eine dem Endoderm von außen anliegende **Splanchnopleura**[14]. Diese Aufspaltung unterbleibt an der Stelle, wo sich das *Septum transversum*, eine der Zwerchfellanlagen, bildet. Durch die laterale Abfaltung gelangen die Anlagen der Rumpfwand von der Sagittal- in die Frontalebene. Das weitere Wachstum der Somatopleura beider Seiten nach ventral führt schließlich zu deren **Verschmelzen** und zur Bildung einer zunächst einheitlichen Körperhöhle, dem **intraembryonalen Zölom**[18], das anschließend durch Bildung des **Zwerchfells** in eine Thorax- und eine Abdominalhöhle getrennt wird.

Nabelbildung. Das Verschmelzen der beiden Rumpfwandanlagen unterbleibt im Bereich des Nabels. Die starke Vergrößerung der Amnionhöhle und die Krümmungen des Embryos führen dazu, dass die Umschlagstelle von Amnion und Oberflächenektoderm auf die Ventralseite verlagert wird. Die Umschlagstelle engt den **Dottersack**[10] ringförmig ein und unterteilt ihn in einen intra- und einen extraembryonalen Abschnitt, die im Bereich des **Nabelrings** über den **Dottergang** (**Ductus omphaloentericus, Ductus vitellinus**) miteinander verbunden sind. Aus dem intraembryonalen Teil[16] entwickelt sich der Darm. Der extraembryonale Teil wird weiterhin Dottersack genannt. Die gleichen Wachstumsvorgänge führen auch dazu, dass der **Haftstiel** mit den Vorläufern der Umbilikalgefäße, durch den der Embryo ursprünglich dorsokaudal mit dem extraembryonalen Mesoderm verbunden war, nach ventral in die Nähe des Dottergangs gelangt. Unter weiterer Proliferation legt sich das Amnion um Haftstiel und Dottergang und fasst beide zur Nabelschnur zusammen.

Teil 2

Bewegungsapparat

8 Entwicklung und funktionelle Zusammenhänge *78*

9 Rumpfwand *83*

10 Untere Extremität *121*

11 Obere Extremität *163*

8 Entwicklung und funktionelle Zusammenhänge

Christian Albrecht May

8.1 Embryonale Entwicklung

Die Anlagen für den Bewegungsapparat von Rumpf und Extremitäten entstehen aus dem mittleren Keimblatt (**Mesoderm**). Für den Rumpf ist die Bildung der **Somiten** (Ursegmente) ausschlaggebend. Diese bilden sich von der Mitte der Körperachse nach kranial und kaudal aus und leiten strukturell die **metamere Gliederung** der Rumpfwand ein. Die Extremitäten entstehen aus der ventrolateralen Körperwand, in die hinein Skelettmuskelzellen aus den sich auflösenden Somiten einwandern.

Somiten sind paarig neben dem Neuralrohr und der Chorda dorsalis angelegte, würfelförmige Ansammlungen epithelialer Zellen (▶ **Abb. 8.1**). Diese verlieren ihren epithelialen Charakter und differenzieren sich in 3 Zellgruppen:

- **Sklerotom**[2]: aus dem ventromedialen Teil. Es bildet sich zu den Wirbelkörpern und den Rippen aus.
- **Dermomyotom**[3]: aus dem äußeren dorsolateralen Teil. Bildet die Grundlage für die Unterhaut und die Muskulatur der Extremitäten.
- **Myotom**[4]: aus dem inneren dorsolateralen Teil. Hieraus entstehen die Körperwandmuskeln.

Aus der **Somatopleura**, den seitlich der Somiten liegenden Seitenplatten, entsteht die Matrix der ventrolateralen Körperwand (Sternum, gesamtes Bindegewebe). Die Extremitäten entstehen als Falten der ventrolateralen Körperwand, also aus Zellen der Somatopleura, in Verbindung mit dem daran anliegenden Epithel, das eine typische **Randleiste** ausbildet. Die Randleisten dienen der Entwicklung der distalen Extremitätenabschnitte und bilden sich danach zurück. Aus den Somatopleurazellen bilden sich alle Skelett- und Bindegewebsstrukturen der Extremitäten, die durch einwandernde Muskelzellen aus dem Dermomyotom und die dazugehörigen Nerven ergänzt werden.

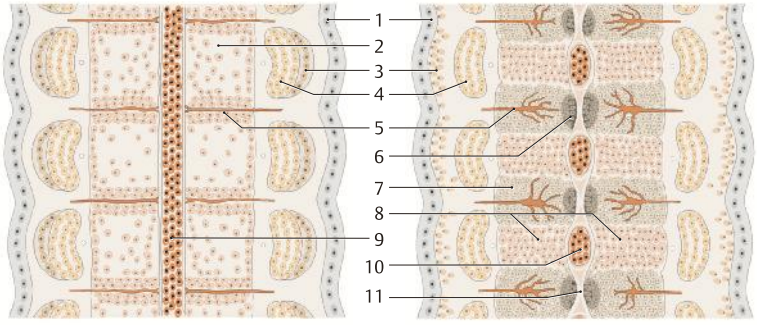


Abb. 8.1 Schema der Bildung der Wirbelkörper. Zwischen dem kranialen und kaudalen Bereich der Somiten bildet sich die Bandscheibe. Der Wirbelkörper entsteht somit aus den kaudalen und kranialen Anteilen benachbarter Somitenpaare (insgesamt aus 4 Somitenteilen). Neuralleistenzellen für die Bildung der Spinalganglien befinden sich im kranialen Somitenbereich. **a** Entwicklungsstand am Ende der 4 . Woche, **b** Entwicklungsstand in der 8. Woche.

1 Ektoderm
2 Sklerotom
3 Dermomyotom
4 Myotom
5 intersegmentales Blutgefäß
6 beginnende Knochenbildung (Knochenkerne)
7 Wirbelkörperanlage (hyaliner Knorpel)
8 Anulus fibrosus der Bandscheibe
9 Chorda dorsalis
10 Nucleus pulposus der Bandscheibe (Rest der Chorda dorsalis)
11 Chordascheidenstrang (löst sich auf)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

8.2 Metamere Struktur des Rumpfes

Ein basales Strukturprinzip der Entwicklung größerer Lebewesen ist die Bildung und Reihung **gleichartiger Segmente**. Diese bestehen aus Skelettanteilen, Muskulatur, Gefäßen und Nerven. Durch die Ausbildung von Organen (segmentübergeordnete Funktionseinheiten) und Extremitäten müssen bestimmte Segmentgruppen den neuen Bedingungen angepasst werden, und es entstehen innerhalb der Segmentabfolge **unterschiedliche Abschnitte**. Beim Menschen sind dies der zervikale, thorakale, lumbale und sakrale Bereich. Zusätzlich formen auch die Auseinandersetzung mit der Schwerkraft und die aufrechte Haltung die einzelnen segmentalen Abschnitte.

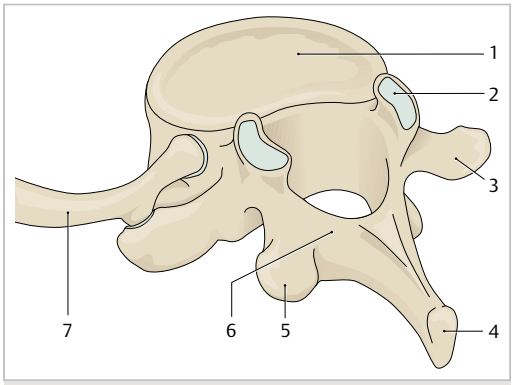


Abb. 8.2 Knöcherne Bauelemente eines Segments (Wirbel und Rippen).
1 Corpus vertebrae
2 Processus articularis superior
3 Processus transversus
4 Processus spinosus
5 Processus articularis inferior
6 Arcus vertebrae
7 Costa
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

8.2.1 Grundgliederung der Einzelsegmente

Als **Skelett** findet man einen dorsal gelegenen **Wirbel** (▶ **Abb. 8.2**), bestehend aus einem Wirbelkörper (**Corpus vertebrae**[1]) und den Wirbelbögen (**Arcus vertebrae**[6]). Die Wirbelbögen umschließen den Wirbelkanal mit dem Rückenmark. An den Wirbelbögen finden sich nach kranial und kaudal ausgerichtete Gelenkfortsätze (**Processus articulares**[2, 5]) und nach lateral und dorsal ausgerichtete Fortsätze, die u. a. als Muskelansatzstellen dienen (**Processus transversus**[3] und **spinosus**[4]). Seitlich am Wirbel bilden sich paarig Rippen (**Costae**[7]), die mit ihrem Köpfchen (**Caput costae**) und ihrem kleinen Höcker (**Tuberculum costae**) gelenkig mit dem Wirbel verbunden sind. Sie ziehen als **Corpus costae** bogenförmig nach ventral. Rippen sind beim Menschen allerdings nur noch an den Brustwirbeln vorhanden – in den anderen Abschnitten der Wirbelkette sind sie zurückgebildet.

Die **Muskulatur** der Bauchwand besteht aus einem 3-schichtigen Muskelsystem:

- Die äußere Schicht verläuft schräg von kraniolateral nach kaudomedial (wie der Griff in die Hosentasche).
- Die mittlere Schicht verläuft um um 90° versetzt dazu (kraniomedial nach kaudolateral).
- Die innere Schicht verläuft transversal (quer zur Körperachse, also horizontal).

Ventral bildet die Muskulatur ein zusätzliches, längs zur Körperachse ausgerichtetes Muskelsystem (M. rectus abdominis und M. pyramidalis).

Dorsal der Wirbelkörper befindet sich die Rückenmuskulatur, die ebenfalls aus schrägen und geraden Anteilen aufgebaut ist, die jedoch stark ineinandergreifen und sich daher nicht so eindeutig in Schichten trennen lassen wie diejenigen der ventralen Rumpfwand.

Die Muskelgruppen werden von gemeinsamen **Muskelfaszien** umschlossen (dorsal: Fascia thoracolumbalis, ventral: Fascia thoracica und endothoracica).

Gefäße und **Nerven** sind wie die Rippen paarig angelegt und verlaufen an deren Unterrand. Die Gefäße sind dabei in jeder Segmenthälfte doppelt, nämlich ventral und dorsal, mit den größeren, longitudinal verlaufenden Gefäßen verbunden (S. 115).

Tab. 8.1 Analogie der Strukturen in den Körperabschnitten.

	zervikal	thorakal	lumbal
Wirbel	C 1–7	Th 1–12	L 1–5
Rippe	ventraler Teil des Processus transversus	Costa	Processus costalis
äußere Muskelschicht	M. scalenus anterior	M. intercostalis externus	M. obliquus externus abdominis
mittlere Muskelschicht	M. scalenus medius	M. intercostalis internus	M. obliquus internus abdominis
innere Muskelschicht	M. scalenus posterior	M. intercostalis intimus	M. transversus abdominis
ventrale Muskulatur	M. longus capitis et colli	knöchern ersetzt durch das Sternum (evtl. M. sternalis)	M. rectus abdominis und M. pyramidalis

8.2.2 Segmentstruktur entlang der Körperlängsachse

Skelett und Muskulatur unterliegen charakteristischen Veränderungen entlang der Körperlängsachse, die unter anderem durch die aufrechte Körperhaltung bedingt sind. Diese sind bereits innerhalb des thorakalen Abschnitts zu beobachten, in dem die Grundgliederung am deutlichsten ausgeprägt ist.

Zum **lumbalen Bereich** hin besteht die Veränderung in einer Verkürzung der Rippen, die zunächst noch knorpelig mit dem Brustbein verbunden bleiben (8.–10. Rippe), dann frei zwischen den Muskeln der hinteren Bauchwand liegen (11. und 12. Rippe). An der LWS verschmelzen die Rippenanlagen mit den seitlichen Muskelfortsätzen zu einem Rippenfortsatz (**Processus costalis**). Die Wirbelkörper werden nach kaudal hin dicker, die Fläche zu den Bandscheiben vergrößert sich. Proportional dazu verplumpen auch die Muskelfortsätze.

Die Muskulatur dominiert im lumbalen Bereich, und die einzelnen Segmente verschmelzen miteinander, sodass größere **Muskelplatten** entstehen, s. Bauchmuskulatur (S. 107). Die **Gefäße** und **Nerven** behalten ihren **segmentalen Verlauf** bei.

Der kaudal anschließende, **sakrale Bereich** zeigt eine weitere Verschmelzung und Versteifung, sodass die 5 letzten Segmente bereits vom Skelett her eine feste Einheit bilden, das Kreuzbein (**Os sacrum**). Die segmentale Muskulatur sowie die begleitenden Gefäße und Nerven bilden den **Beckenboden** (M. levator ani und Mm. transversi perinei). Diese Verlagerung aus der vertikalen in die horizontale Ebene ist notwendig, um die inneren Organe bei der Aufrichtung zu stabilisieren.

Im **zervikalen Bereich** findet keine Raumbildung statt, da der Kopf bei aufrechter Haltung abgestützt werden muss. Dies wird im oberen Thoraxabschnitt durch eine Verengung des Rippenbogens bereits vorbereitet. Die Rippenanlagen verschmelzen zervikal mit den Wirbeln – allerdings bleibt zwischen ihnen und dem Querfortsatz eine Öffnung bestehen (**Foramen transversarium**), bedingt durch das Gefäß, das an dieser Stelle in Richtung Gehirn zieht (A. vertebralis). Da ein Innenraum fehlt, lagern sich die ventralen Muskelanteile direkt an die Wirbelkörper und bilden die **prävertebrale Muskulatur** und die **Skalenusgruppe**. Die Gefäße und Nerven verlieren dadurch ihren segmentalen Verlauf und formen sich nach den Gegebenheiten um.

8.2.3 Krümmung der Wirbelkette (Wirbelsäule, ▶ Abb. 8.3)

Die einzelnen Wirbel sind nicht als starre, senkrecht stehende Säule übereinander geschichtet, sondern bilden eine straffe, aber elastische **Kette**, die beim Erwachsenen im zervikalen und lumbalen Abschnitt nach ventral gebogen ist (**Lordose**), im thorakalen und sakralen Abschnitt nach dorsal (**Kyphose**). Die Rückenmuskulatur dient neben dem Bandapparat maßgeblich der Stabilisierung der Wirbelkette. Deshalb verschmelzen die oberflächlichen Schichten miteinander und bilden lange, segmentübergreifende Einheiten.

Die Krümmungen der Wirbelkette bilden sich durch die Bewegung und Belastung im Lauf des 1. Lebensjahres aus einer anfangs völlig kyphosierten Lage. Die Schwerelinie liegt zunächst ventral der Wirbelkörper und verläuft erst nach der Pubertät durch die oberen und unteren Halswirbelkörper sowie durch den lumbalen Abschnitt.

Formabweichungen der Wirbelkette sind nicht selten. Die **Halslordose** ist häufig nicht sehr stark ausgeprägt, man spricht dann von der **gestreckten Form** (keine ventral-dorsale Krümmung) oder vom **Lordoseknick** (Krümmung nur zwischen C 2 und C 3). Eine seitliche Krümmung der Wirbelkette nennt man **Skoliose**. Sie kommt in leichter Ausprägung bei den meisten Erwachsenen durch die unterschiedliche Belastung der Körperhälften vor.

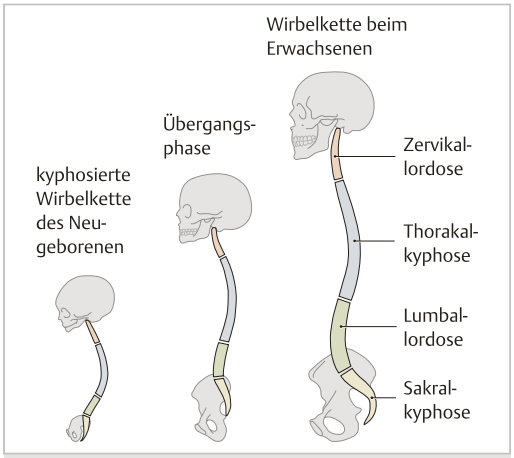


Abb. 8.3 Krümmung der Wirbelkette zu unterschiedlichen Entwicklungszeitpunkten. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

8.3 Gestaltprinzipien der Extremitäten

Die bei der Gesamtanlage des Körpers auffallenden Gestaltprinzipien, in die die Extremitäten eingeschlossen sind, sind das sphärisch-radiäre Prinzip, das sich in der kraniosakralen Richtung ausbildet, und die bilaterale Symmetrie, die sich in der Rechts-links-Orientierung zeigt.

Die unterschiedliche Eindrehung der oberen und unteren Extremitäten im Zuge der phylogenetischen Entwicklung führt zu charakteristischen Unterschieden in Gelenkstellung und Position der Muskulatur. Durch die Aufrichtung wird die obere Extremität entlastet, sodass sie mehr Freiheitsgrade und Funktionalitäten hat.

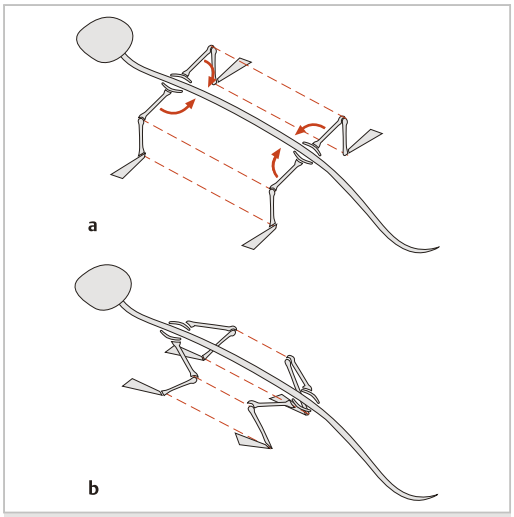


Abb. 8.4 Eindrehung der Extremitäten im Zuge der evolutionären Entwicklung von primitiven Landwirbeltieren (z. B. Reptilien, **a**) zu Säugetieren (**b**). Durch die Eindrehung werden die Extremitäten parallel zum Körper gestellt und nahe unter den Körper gebracht. Die vordere Gliedmaße wird dabei nach hinten gedreht, die hintere nach vorne. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Betrachtet man die phylogenetische Entwicklung der Extremitäten, so lassen sich 3 Schritte erkennen, die das radiäre Gestaltmerkmal weiter modifizieren:

- Zunächst entstehen die Extremitäten als seitliche Aussprossungen. Sie sind in ihrer Gestalt kaum voneinander zu unterscheiden und dienen der seitlichen Stabilisierung.
- In einem 2. Schritt werden die Extremitäten unter den Körper geschoben und erlauben somit einen größeren Aktionsradius. Bei diesem Entwicklungsschritt werden vordere und hintere Extremität unterschiedlich eingedreht, sodass das mittlere Gelenk der Extremitäten einmal nach hinten (Ellenbogen) und einmal nach vorne (Knie) zeigt (▶ **Abb. 8.4**).
- Eine letzte Modifikation ist die Aufrichtung. Während nun die untere Extremität verstärkt der Schwerkraft ausgesetzt ist und funktionell „versteift" werden muss, bekommt die obere Extremität eine größere Bewegungsfreiheit.

Formabweichungen der Wirbelkette sind nicht selten. Die **Halslordose** ist häufig nicht sehr stark ausgeprägt, man spricht dann von der **gestreckten Form** (keine ventral-dorsale Krümmung) oder vom **Lordoseknick** (Krümmung nur zwischen C 2 und C 3). Eine seitliche Krümmung der Wirbelkette nennt man **Skoliose**. Sie kommt in leichter Ausprägung bei den meisten Erwachsenen durch die unterschiedliche Belastung der Körperhälften vor.

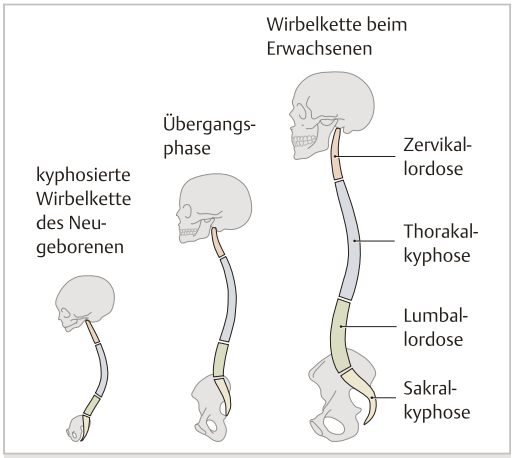


Abb. 8.3 Krümmung der Wirbelkette zu unterschiedlichen Entwicklungszeitpunkten. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

8.3 Gestaltprinzipien der Extremitäten

Die bei der Gesamtanlage des Körpers auffallenden Gestaltprinzipien, in die die Extremitäten eingeschlossen sind, sind das sphärisch-radiäre Prinzip, das sich in der kraniosakralen Richtung ausbildet, und die bilaterale Symmetrie, die sich in der Rechts-links-Orientierung zeigt.

Die unterschiedliche Eindrehung der oberen und unteren Extremitäten im Zuge der phylogenetischen Entwicklung führt zu charakteristischen Unterschieden in Gelenkstellung und Position der Muskulatur. Durch die Aufrichtung wird die obere Extremität entlastet, sodass sie mehr Freiheitsgrade und Funktionalitäten hat.

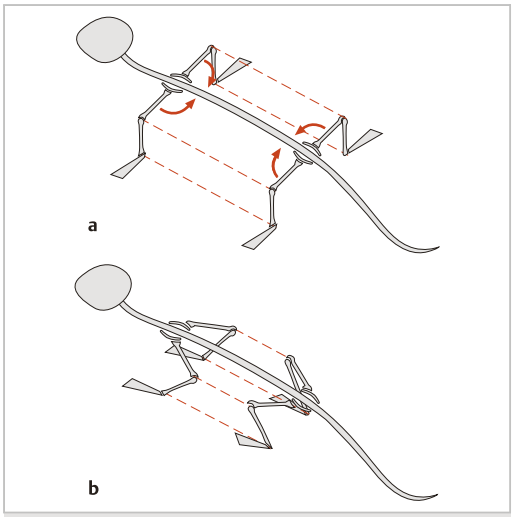


Abb. 8.4 Eindrehung der Extremitäten im Zuge der evolutionären Entwicklung von primitiven Landwirbeltieren (z. B. Reptilien, **a**) zu Säugetieren (**b**). Durch die Eindrehung werden die Extremitäten parallel zum Körper gestellt und nahe unter den Körper gebracht. Die vordere Gliedmaße wird dabei nach hinten gedreht, die hintere nach vorne. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Betrachtet man die phylogenetische Entwicklung der Extremitäten, so lassen sich 3 Schritte erkennen, die das radiäre Gestaltmerkmal weiter modifizieren:

- Zunächst entstehen die Extremitäten als seitliche Aussprossungen. Sie sind in ihrer Gestalt kaum voneinander zu unterscheiden und dienen der seitlichen Stabilisierung.
- In einem 2. Schritt werden die Extremitäten unter den Körper geschoben und erlauben somit einen größeren Aktionsradius. Bei diesem Entwicklungsschritt werden vordere und hintere Extremität unterschiedlich eingedreht, sodass das mittlere Gelenk der Extremitäten einmal nach hinten (Ellenbogen) und einmal nach vorne (Knie) zeigt (▶ **Abb. 8.4**).
- Eine letzte Modifikation ist die Aufrichtung. Während nun die untere Extremität verstärkt der Schwerkraft ausgesetzt ist und funktionell „versteift" werden muss, bekommt die obere Extremität eine größere Bewegungsfreiheit.

Die bilaterale Symmetrie ist für obere und untere Extremität getrennt zu bewerten. Für die untere Extremität zählt vor allem die Gewichtsverteilung, die sich ähnlich wie in der Architektur durch Bögen auf 2 Stützen besser verteilen lässt. Die obere Extremität verwendet ihre Zweiheit im übergeordneten Sinn zur Selbsterkennung und Bewusstwerdung.

Zwei Aspekte müssen bei der unterschiedlichen Drehung der Extremitäten besonders berücksichtigt werden:

- Durch die Drehung der vorderen Extremität nach kaudal würde die Endgliedfläche eigentlich nach oben zeigen. Die Unterarmknochen müssen deshalb eine gekreuzte Stellung (**Pronation**) einnehmen, damit die Hand- bzw. Pfotenfläche nach unten zeigt.
- Durch die Drehung der hinteren Extremität nach kranial verdrehen sich Dorsal- und Ventralseite. Die Extensoren-Muskulatur liegt deshalb am Ober- und Unterschenkel ventral, die Flexoren dorsal.

Betrachtet man die einzelne Extremität, so findet sich in ihr als Hauptgestaltprinzip ein von proximal nach distal zunehmender **Strahlenfächer**, der besonders am Skelett erkennbar ist. Einem proximalen Knochen (Femur bzw. Humerus) folgen:

- 2 distale Knochen (Tibia und Fibula bzw. Radius und Ulna),
- 3 proximale Wurzelknochen (Talus, Calcaneus, Os naviculare bzw. Os scaphoideum, Os lunatum, Os trapezium),
- 4 distale Wurzelknochen (Os cuboideum und Ossa cuneiformia am Fuß bzw. Ostrapezium, Os trapezoideum, Os capitatum und Os hamatum an der Hand),
- 5 Finger- bzw. Zehen.

Die Beweglichkeit der Extremitäten wird durch zahlreiche Gelenke im distalen Bereich ermöglicht; im proximalen Abschnitt durch Gelenke mit 3 Freiheitsgraden, die eine differenzierte muskuläre Verbindung mit dem Rumpf aufweisen (Schultergürtel bzw. Beckengürtel). Die Muskeln können nach ihrer überwiegenden Bewegungsrichtung in 6 Gruppen eingeteilt werden:

- Adduktion und Abduktion (sagittale Achse),
- Innenrotation und Außenrotation (Längsachse),
- Anteversion und Retroversion (transversale Achse).

Durch die Funktionsdifferenzierung zwischen oberer und unterer Extremität entstehen verschieden stark ausgeprägte Muskelgruppen. So sind z. B. die Adduktoren der unteren Extremität in 5 Muskeln aufgegliedert (M. gracilis, M. adductor magnus, M. adductor longus, M. adductor brevis, M. pectineus), während an der oberen Extremität nur ein kleiner Muskel (M. coracobrachialis) diese Gruppe repräsentiert. Ähnliche Verhältnisse findet man z. B. beim Vergleich der Gesäßmuskeln (M. gluteus maximus, M. gluteus medius, M. gluteus minimus) mit den äußeren Schulterblattmuskeln (M. supraspinatus, M. infraspinatus).

Die Bewegungsrichtungen sind bei den korrespondierenden Muskelgruppen nicht immer äquivalent, da die unterschiedliche Ausrichtung der Extremitäten und die Größe der Muskeln neue Funktionsgruppen bilden.

9 Rumpfwand

Christian Albrecht May

9.1 Oberflächenanatomie des Rückens

Das Rückenrelief wird hauptsächlich geformt vom **M. trapezius** und dem **M. latissimus dorsi**. Außerdem kann man einige Knochenvorsprünge tasten, darunter median die **Dornfortsätze** und paarig die **Spina scapulae** (Schultergräte) und die **Crista iliaca** des Beckens.

Die Haut des Rückens wird von kleinen Arterienästen mit Blut versorgt, das über ein subkutanes Netz schließlich in das Azygos-Hemiazygos-Venensystem abfließt. Die metamer austretenden Nerven haben am oberen Hals eine eigene Nomenklatur.

9.1.1 Oberflächenrelief (► Abb. 9.1)

Bei aufrechter Haltung sieht man in der hinteren Medianlinie ab dem Processus spinosus des 7. Halswirbels (Vertebra prominens) bis hinab zum Os sacrum die **Rückenfurche**[1] (**Rückenrinne**). Das subkutane Bindegewebe ist in diesem Bereich an den Dornfortsätzen fixiert, während sich seitlich davon die Längswülste des M. erector spinae hervorwölben. Lateral davon zeichnet sich am Übergang zum Hals der **M. trapezius**[5] ab, etwas darunter die Scapula[4]. Unterhalb der Rippen bildet sich seitlich zwischen M. latissimus dorsi und Crista iliaca das **Trigonum lumbale**, das bei kräftig ausgeprägter Muskulatur als Einziehung zu erkennen ist.

Über dem Os sacrum verbreitert sich die Rückenfurche flächig. Beim Mann erkennt man das **Sakraldreieck**, mit der Basis zwischen den Spinae iliacae posteriores superiores und der nach kaudal zeigenden Spitze zur **Crena ani**[3] (Afterfurche). Bei der Frau ist die Haut auch über dem 5. Lendenwirbel eingezogen. Dadurch entsteht eine nahezu quadratische Raute (Venusraute oder **Michaelis-Raute**[2]).

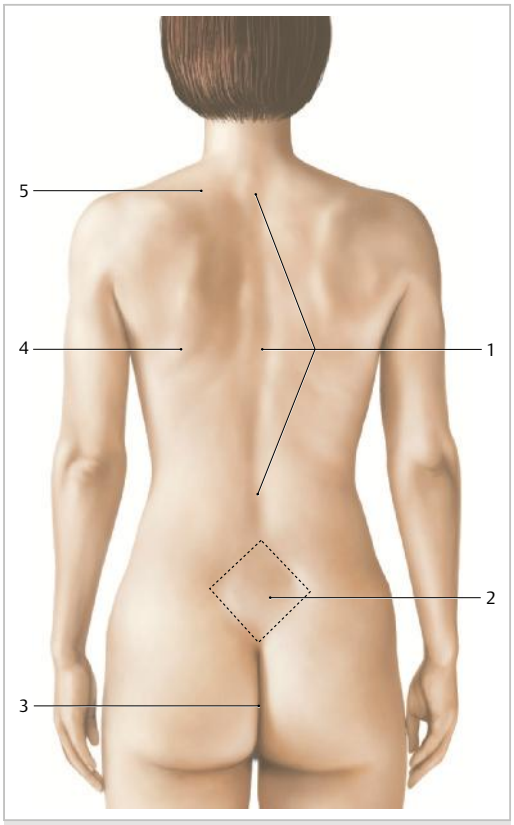


Abb. 9.1 Oberflächenanatomie der Frau von dorsal.
1 Rückenfurche
2 Michaelis-Raute
3 Crena ani
4 Angulus inferior scapulae
5 M. trapezius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Form der **Michaelis-Raute** kann dem Geburtshelfer Hinweise auf die Breite des kleinen Beckens und eventuelle Verformungen geben.

Die Spaltlinien der Haut verlaufen am Nacken, oberhalb der Scapulae und in der Lendenregion annähernd quer, in dem dazwischen gelegenen Abschnitt leicht schräg von median nach lateral abfallend.

9.1.2 Tastbare Knochenpunkte (▶ Abb. 9.2)

In kyphotischer Haltung (Vorwärtsbeugung von Kopf und Rumpf) kann man in der Medianlinie die **Processi spinosi**[13] der Hals-, Brust- und Lendenwirbel palpieren und abzählen. In dieser Haltung sind auch Skoliosen am leichtesten festzustellen.

Seitlich kann man am oberen Rücken parallel zur Wirbelkette den medialen Rand der Scapula (**Margo medialis scapulae**[5]) bis zum oberen Winkel (**Angulus superior scapulae**[4]) sowie nach lateral die **Spina scapulae**[3] zum **Acromion**[2] tasten. Kaudal der Scapula kann man die 8.–12. **Rippe**[7] spüren.

Lateral der Sakraleinziehung verläuft bogenförmig die obere Kante der Darmbeinschaufel (**Crista iliaca**[8]) von der Spina iliaca posterior superior[9] bis zur Ventralseite (Spina iliaca anterior superior). Von der Gesäßfurche aus kann man den hinteren Rand des Sitzbeinknochens (**Tuber ischiadicum**[10]) tasten.

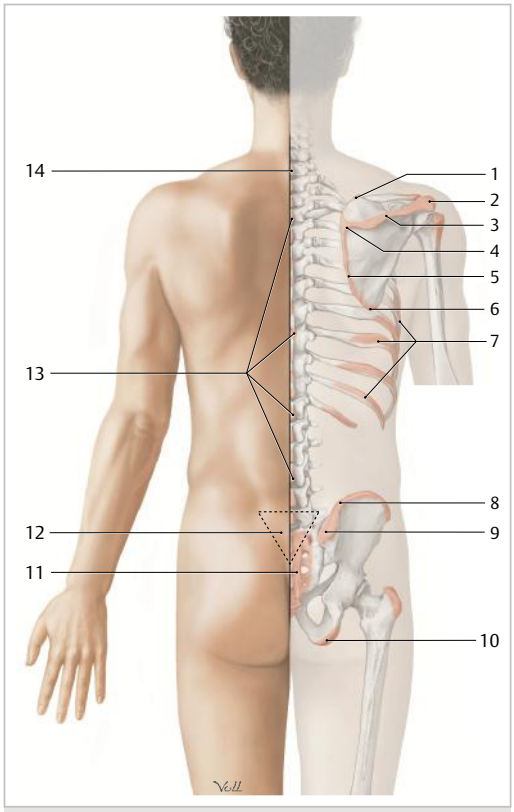


Abb. 9.2 Tastbare Knochenpunkte des Mannes von dorsal.
1 Angulus superior scapulae
2 Acromion
3 Spina scapulae
4 Angulus superior scapulae
5 Margo medialis scapulae
6 Angulus inferior scapulae
7 Rippen
8 Crista iliaca
9 Spina iliaca posterior superior
10 Tuber ischiadicum
11 Os sacrum
12 Sakraldreieck
13 Processi spinosi
14 Vertebra prominens
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Zur Orientierung kann man folgende **Bezugspunkte an der Wirbelkette** heranziehen: C 7 ist am hervorstehenden Processus spinosus erkennbar. Th 3 liegt auf Höhe der Spina scapulae, Th 6 auf Höhe des Unterrandes der Scapula (Angulus inferior scapulae), Th 12 an der untersten Rippe und L 4 auf Höhe der oberen Darmbeinschaufeln.

9.2 Wirbelkette und Rückenmuskulatur

9.2.1 Wirbel

Die Wirbel bilden die knöcherne Achse des Rumpfes und sind von ihrer Grundform alle gleich angelegt (s. ▶ **Abb. 8.2**). Sie bestehen aus einem Wirbelkörper (**Corpus vertebrae**) und einem Wirbelbogen (**Arcus vertebrae**), von dem verschiedene Fortsätze ausgehen: 4 Gelenkfortsätze (**Processus articulares,** jeweils 2 nach oben und 2 nach unten) zur gelenkigen Verbindung zwischen den Wirbeln sowie 2 seitliche Querfortsätze (**Processus transversi**) und ein nach dorsal gerichteter Dornfortsatz (**Processus spinosus**) zur Anheftung der kräftigen Muskulatur.

Aufgrund typischer Abwandlungen unterscheidet man 24 präsakrale Wirbel (7 Halswirbel, 12 Brustwirbel, 5 Lendenwirbel) sowie 5 miteinander zum Kreuzbein verschmolzene Kreuzwirbel und ca. 4 Steißwirbel, die das Steißbein bilden.

Die Wirbel erhalten nach ihrer regionalen Zugehörigkeit einen Kennbuchstaben und werden chronologisch von kranial nach kaudal durchgezählt:

- Halswirbel (**Vertebrae cervicales**): C 1–C 7
- Brustwirbel (**Vertebrae thoracales**): Th 1–Th 12
- Lendenwirbel (**Vertebrae lumbales**): L 1–L 5
- Kreuzwirbel (**Vertebrae sacrales**): S 1–S 5
- Steißwirbel (**Vertebrae coccygeales**): Co1–Co4

Die normale Zahl von 33 Wirbeln kommt nur bei etwa 40 % aller Menschen vor. Der erste Halswirbel kann mit dem Schädel verschmolzen sein, 2 benachbarte Wirbel können verschmelzen (**Blockwirbel**) und die Zahl der Steißwirbel ist sehr variabel (3–6). Die 24 präsakralen Wirbel sind bei etwa 92 % aller Menschen vorhanden. Im Übergangsbereich zwischen den regionalen charakteristischen Wirbeln kann es zu Varianten kommen, z. B. eine zusätzliche Rippe an L 1, eine fehlende Rippe an Th 12 sowie eine Verschmelzung von L 5 und S 1 (**Sakralisation**) oder ein einzelner S 1-Wirbel (**Lumbalisation**).

Die **Verknöcherung der Wirbel** aus einer knorpeligen Anlage beginnt in der 9. Woche paarig im Pediculus arcus vertebrae und ab dem 3. Entwicklungsmonat zentral im Corpus vertebrae. Bei voranschreitender Verknöcherung bleiben zunächst kranial und kaudal der Wirbelkörper Knorpelplatten bestehen, die ab dem 8. Lebensjahr vom Rand aus verknöchern (Randleiste, Epiphysis anularis) und ab dem 18. Lebensjahr mit dem Wirbelkörperkern im Sinn einer Synostose verschmelzen.

1. Halswirbel (▶ **Abb. 9.3**). Der 1. Halswirbel (Vertebra cervicalis I) heißt auch Atlas. Er hat als einziger Wirbel keinen Wirbelkörper und keinen Dornfortsatz, sondern besteht nur aus einem Knochenring. Dieser besteht aus dem kurzen, ventralen **Arcus anterior**[5] und dem langen **Arcus posterior**[9]. Am vorderen Bogen ragt ein kleines **Tuberculum anterius**[6] nach ventral hervor. Auf der Innenseite des vorderen Bogens befindet sich die überknorpelte **Fovea dentis**[7] für die Artikulation mit dem Dens axis.

Am Übergang vom vorderen in den hinteren Bogen befinden sich seitlich die **Massae laterales**[10] mit den **Facies articulares**. Die Facies articulares superiores[8] sind nierenförmig und artikulieren mit den Kondylen des Os occipitale. Ihre Längsachse konvergiert nach ventral. Die Facies articulares in-

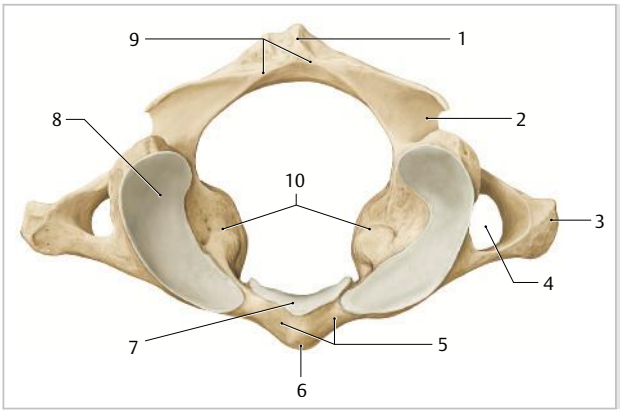


Abb. 9.3 Atlas von kranial.
1 Tuberculum posterius
2 Sulcus a. vertebralis
3 Processus transversus
4 Foramen transversarium
5 Arcus anterior
6 Tuberculum anterius
7 Fovea dentis
8 Facies articularis superior
9 Arcus posterior
10 Massae laterales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

feriores sind dagegen eher rundlich und zeigen nach kaudal, medial und dorsal. Durch den Knorpelüberzug wird die Fläche leicht konvex. Sie artikuliert mit dem zweiten Halswirbel.

Seitlich setzt sich die Massa lateralis jeweils in einen besonders weit nach lateral weisenden Processus transversus[3] fort, der ein **Foramen transversarium**[4] besitzt. Durch dieses zieht die A. vertebralis, die weiter über einer Rinne hinter der Massa lateralis am oberen Rand des hinteren Bogens (**Sulcus a. vertebralis**[2]) zum Foramen magnum des Os occipitale verläuft. Der hintere Bogen läuft nach dorsal in das **Tuberculum posterius**[1], ein Dornfortsatzrudiment, aus.

Den **Processus transversus des Atlas** kann man hinter dem Kieferwinkel durch die Haut tasten.

2. Halswirbel (▶ **Abb. 9.4**). Der 2. Halswirbel (Vertebra cervicalis II) wird auch als Axis bezeichnet. Er besitzt neben einem Körper und einem Bogen mit den Fortsätzen (Gestalt siehe Vertebrae cervicales III–VII) einen **Dens axis**[1], der dem Wirbelkörper kranialwärts aufsitzt. An ihm befinden sich 2 Gelenkflächen: Die **Facies articularis anterior**[10] artikuliert mit dem vorderen Atlasbogen, die **Facies articularis posterior**[2] bildet ein unechtes Gelenk mit dem Lig. transversum atlantis.

3.–7. Halswirbel (▶ **Abb. 9.5**). Der 3.–7. Halswirbel hat einen kleinen, in der Aufsicht querovalen Wirbelkörper[7]. Ganz typisch geformt sind die Foramina vertebralia[11] der Halswirbel: Sie sind dreieckig und erscheinen proportional zum Wirbelkörper groß. Der Processus transversus[8] bildet mit den verschmolzenen Rippenrudimenten an der Basis das **Foramen transversarium**[5], in dem die A. und die V. vertebralis verlaufen. Lateral kann man am Processus transversus ein **Tuberculum anterius**[6] und **Tuberculum posterius**[4] erkennen, zwischen denen sich der **Sulcus n. spinalis** bildet.

Die Dornfortsätze (Processus spinosi[1]) der Halswirbel sind leicht nach kaudal geneigt und mit Ausnahme des 7. Halswirbeldorns gegabelt. Die Gelenkflächen der Processus articulares stehen überwiegend in der Horizontalebene, jedoch leicht nach median unten geneigt.

Der Processus spinosus des 7. Halswirbels ist der erste, der sich gut durch die Haut tasten lässt (**Vertebra prominens**). Häufig ragt jedoch der Processus spinosus des 1. Brustwirbels weiter nach dorsal vor.

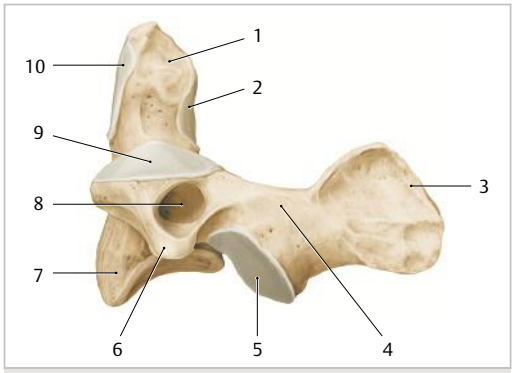


Abb. 9.4 Axis von links.
1 Dens axis
2 Facies articularis posterior
3 Processus spinosus
4 Arcus vertebrae
5 Facies articularis inferior
6 Processus transversus
7 Corpus vertebrae
8 Foramen transversarium
9 Facies articularis superior
10 Facies articularis anterior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

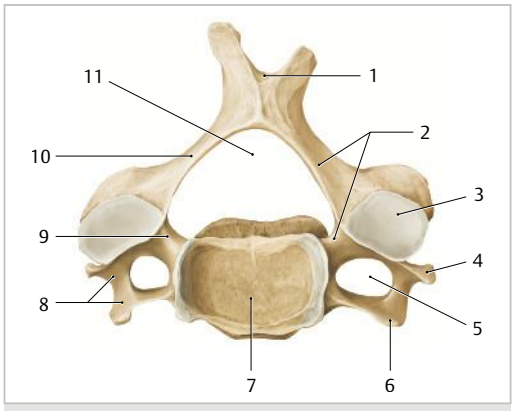


Abb. 9.5 Vierter Halswirbel von kranial.
1 Processus spinosus
2 Arcus vertebrae
3 Facies articularis superior
4 Tuberculum posterius
5 Foramen transversarium
6 Tuberculum anterius
7 Corpus vertebrae
8 Processus transversus mit Sulcus n. spinalis
9 Pediculus arcus vertebrae
10 Lamina arcus vertebrae
11 Foramen vertebrale
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Eine häufige Variante (Häufigkeit: 1 : 100) ist die Ausbildung einer Rippe am 7. Halswirbel (**Halsrippe**). Sie kann auch als nicht verknöchertes Band vorkommen.

Brustwirbel (▶ **Abb. 9.6**). Die Wirbelkörper der Brustwirbel sind in der Aufsicht dorsal breiter als ventral und nehmen von kranial (Th 1) nach kaudal (Th 12) an Masse zu. Im Gegensatz zu den dreieckigen Foramina vertebralia der Hals- und der Lendenwirbel sind diejenigen der Brustwirbel rund. An den Wirbelkörpern und den Querfortsätzen (Processus transversus) befinden sich überknorpelte Gelenkflächen zur Artikulation mit den Rippen.

Der 1. Brustwirbel artikuliert mit 1,5 Rippen und besitzt daher eine vollständige obere Gelenkpfanne für die 1. Rippe und eine halbe untere für die 2. Rippe. Die 2.–10. Rippe schiebt sich mit ihrem Caput costae jeweils zwischen 2 Wirbelkörper, sodass der 2.–9. Brustwirbel am Ober- und Unterrand beidseits je eine halbe Gelenkpfanne (**Fovea costalis superior**[10] und **inferior**[11]) trägt. Der 10. Brustwirbel besitzt nur eine einzige Fovea costalis superior für die 10. Rippe. Die letzten beiden Rippen setzen jeweils am Wirbelkörper ihres zugehörigen Wirbels an. Die Gelenkpfanne des 11. Brustwirbels liegt seitlich kranial, die des 12. Brustwirbels seitlich medial am Wirbelkörper.

Die Rippen haben jedoch außer den genannten Gelenken mit den Wirbelkörpern noch eine zweite gelenkige Verbindung zur Wirbelkette, und zwar mit den Lateralflächen der Processus transversi der Brustwirbel: Das Tuberculum costae artikuliert jeweils an der **Fovea costalis processus transversi**[5], die am 11. und 12. Brustwirbel auch fehlen kann.

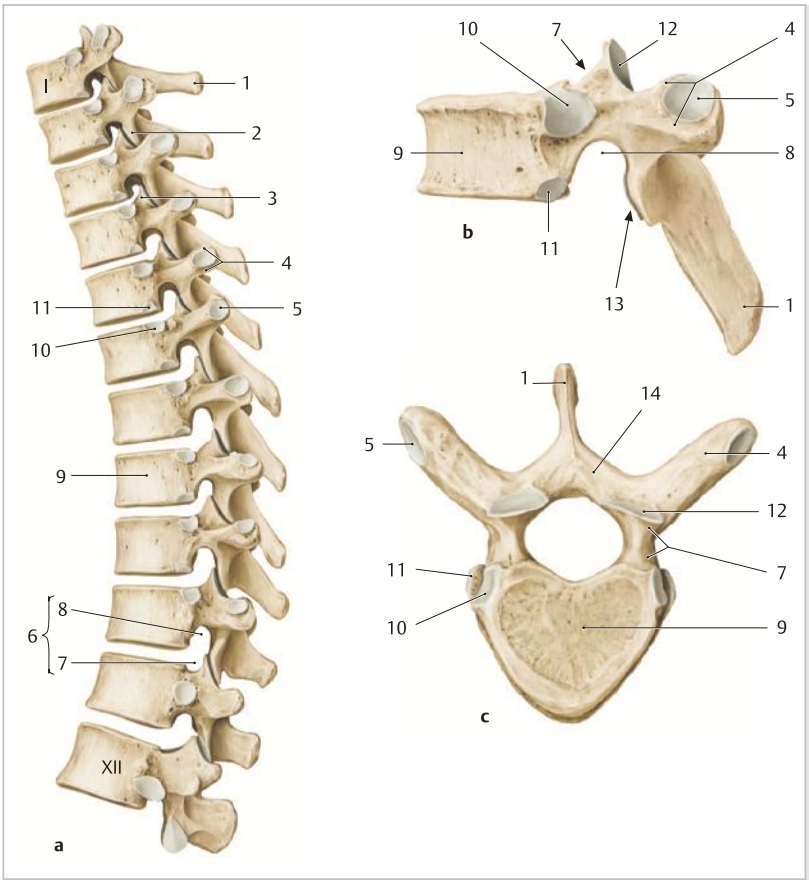


Abb. 9.6 Gesamte Brustwirbelkette von links (**a**) und **6. Brustwirbel** von links (**b**) und von kranial (**c**).
1 Processus spinosus
2 Processus articularis inferior
3 Processus articularis superior
4 Processus transversus
5 Fovea costalis processus transversi
6 Foramen intervertebrale
7 Incisura vertebralis superior
8 Incisura vertebralis inferior
9 Corpus vertebrae
10 Fovea costalis superior
11 Fovea costalis inferior
12 Facies articularis superior
13 Facies articularis inferior
14 Lamina arcus vertebrae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Dornfortsätze (Processus spinosi) sind lang und nach kaudal abgeknickt (▶ **Abb. 9.6b**), sodass sie sich dachziegelartig überdecken. Die Gelenkflächen der Processus articulares stehen überwiegend in der Frontalebene.

Lendenwirbel (▶ **Abb. 9.7**). Die Lendenwirbel besitzen kräftige, in der Aufsicht nierenförmige Wirbelkörper, die Foramia vertebralia sind dreieckig. Die **Processus costales**[5] sind verschmolzene Rippenrudimente. Der eigentliche Seitenfortsatz ist dorsal der Rippenfortsätze dagegen nur noch rudimentär vorhanden. Er wird daher an den Lendenwirbeln nicht als Processus transversus, sondern als **Processus accessorius**[10] bezeichnet. Die Dornfortsätze (Processus spinosi) sind nach lateral abgeplattet und stehen steil nach dorsal, sodass ein größerer Abstand zwischen ihnen entsteht. Die Gelenkflächen der Processus articulares stehen überwiegend in der Sagittalebene und biegen sich ventral leicht in die Frontalebene. An den **Processus articulares superiores**[4] der Lendenwirbel findet man nach lateral weisende **Processus mammillares**[3], Ansatzstellen für die Mm. intertransversarii mediales lumborum und Mm. rotatores longi der autochthonen Rückenmuskulatur.

Der 5. Lendenwirbelkörper ist ventral höher als dorsal, was die lumbosakrale Beweglichkeit fördert, jedoch auch zu einem Abrutschen nach ventral führen kann.

Die Stellung der Processus spinosi ermöglicht an der Lendenwirbelkette bei nach vorne gebeugtem Rumpf die **Punktion des Wirbelkanals** von median (Lumbalpunktion), um Liquor cerebrospinalis zur Laboruntersuchung zu gewinnen. Punktiert wird zwischen L 3 und L 4.

Kreuzbein (**Os sacrum**, ▶ **Abb. 9.8**). Dieser Knochen entsteht aus der Verschmelzung von 5 Wirbeln. Der oberste Sakralwirbel (S 1) steht mit L 5 über eine Bandscheibe auf der **Basis ossis sacri**[2] in Verbindung – und zusätzlich über seine Processus articulares superiores[3] mit einer nach dorsal weisenden Gelenkfläche. An die kaudale Fläche des untersten Wirbels (**Apex ossis sacri**[7]) schließt sich das Steißbein[6] an.

Von ventral (**Facies pelvica**[4]) sind die einzelnen Wirbelkörper durch die **Lineae transversae**[5] abgrenzbar. Seitlich der Körper bilden sich beidseitig je 4 **Foramina sacralia anteriora**[8], durch die die ventralen Äste der Spinalnerven S 1–4 austreten, und die verschmolzenen Seitenfortsätze (**Ala ossis sacri**[4]).

Von dorsal (**Facies dorsalis**[10]) findet man median von S 1–S 3 die **Crista sacralis mediana**, Reste der verschmolzenen Dornfortsätze, und direkt daneben die paarigen **Cristae sacrales intermediae**, Reste der verschmolzenen Gelenkfortsätze, die kaudal in den **Cornua sacralia**[11] enden.

Im Inneren des Kreuzbeins verläuft der im Querschnitt dreieckige **Canalis sacralis**, der im unteren Kreuzbein nicht knöchern, sondern durch straffe Bindegewebszüge verschlossen ist und hier als **Hiatus sacralis** bezeichnet wird. Seitlich der hinteren Sakralöffnungen (**Foramina sacralia posteriora**), durch die die Rr. posteriores der sakralen Spinalnerven ziehen, bildet sich die **Crista sacralis lateralis**[13] (Verschmelzung der Querfortsätze).

Lateral bildet sich in der oberen Hälfte des Kreuzbeins eine Gelenkfläche (**Facies auricularis**[15]), die als Amphiarthrose mit dem Os ilium in Verbindung steht.

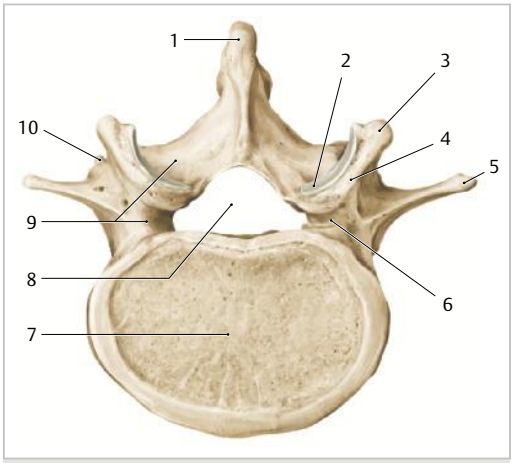


Abb. 9.7 Vierter Lendenwirbel von kranial.
1 Processus spinosus
2 Facies articularis superior
3 Processus mammillaris
4 Processus articularis superior
5 Processus costalis
6 Incisura vertebralis superior
7 Corpus vertebrae
8 Foramen vertebrale
9 Arcus vertebrae
10 Processus accessorius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

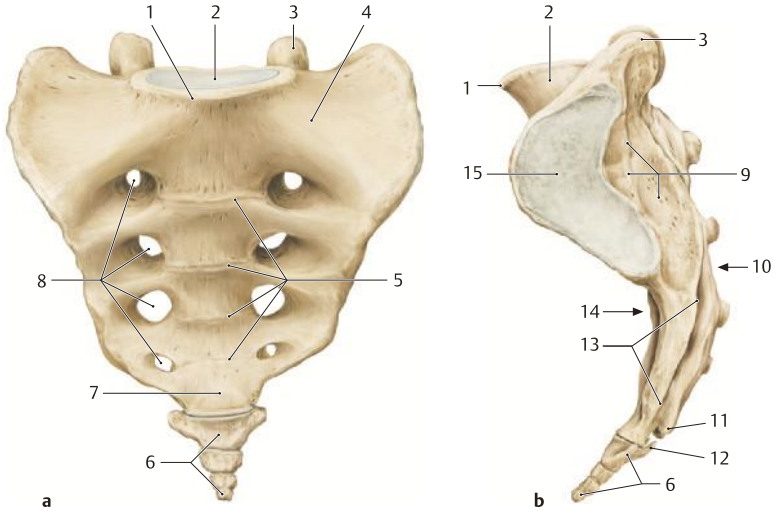


Abb. 9.8 Kreuzbein und Steißbein von ventral (a) und links (b).
1 Promontorium
2 Basis ossis sacri
3 Processus articularis superior
4 Ala ossis sacri
5 Lineae transversae
6 Os coccygis
7 Apex ossis sacri
8 Foramina sacralia anteriora
9 Tuberositas ossis sacri
10 Facies dorsalis
11 Cornu sacralis
12 Cornu coccygeum
13 Crista sacralis lateralis
14 Facies pelvica
15 Facies auricularis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das Os sacrum weist beim Erwachsenen deutliche Geschlechtsunterschiede auf: Beim Mann ist es länger, schmaler und stärker gekrümmt als bei der Frau. Das **Promontorium**[1], die vordere Kante des Wirbelkörpers S 1, tritt somit bei der Frau deutlicher hervor.

Steißbein (Os coccygis). Der erste Steißwirbel zeigt noch Rudimente eines Arcus costae und eines Processus articularis superior (**Cornu coccygeum**[12]). Zwischen dem Kreuzbein und dem ersten Steißwirbel findet sich beim jüngeren Menschen noch eine Bandscheibe. Diese reißt später in der Regel zu einem Gelenkspalt ein (Articulatio sacrococcygea), dessen Flächen aus Faserknorpel bestehen. Die übrigen Steißwirbel (variable Anzahl) bestehen nur noch aus Resten des Wirbelkörpers und verschmelzen bis zum 30. Lebensjahr synostotisch.

9.2.2 Verbindungen zwischen den Wirbeln (▶ Abb. 9.9)

Die Wirbelkörper stehen durch **Bandscheiben** (Disci intervertebrales), die Wirbelbögen über **Diarthrosen** an den Gelenkfortsätzen miteinander in Verbindung. Zusätzlich sind die Knochen durch ausgeprägte lange und kurze **Bandzüge** miteinander verbunden. In deren Mitte entsteht so der Wirbelkanal.

Bandscheiben (Disci intervertebrales[7]) verbinden vom 2. Halswirbel bis zum Kreuzbein jeweils die Körper zweier aufeinanderfolgender Wirbel. Sie nehmen von kranial nach kaudal an Höhe und Fläche zu und bilden als gefäß- und nervenfreier Faserknorpel etwa ein Viertel der Wirbelkettenhöhe. Die Bandscheiben bestehen aus 2 Anteilen: Die äu-

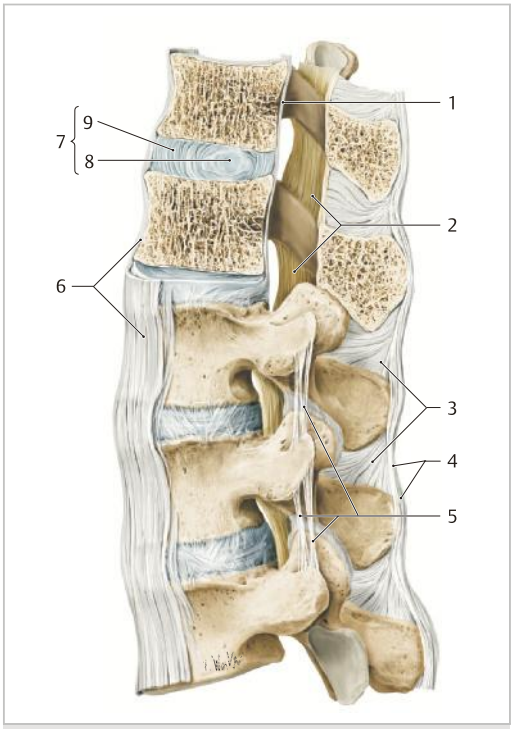


Abb. 9.9 Verbindung der thorakolumbalen Wirbel (Th 11–L 3) von links.
1 Lig. longitudinale posterius
2 Ligg. flava
3 Ligg. interspinalia
4 Lig. supraspinale
5 Ligg. intertransversaria
6 Lig. longitudinale anterius
7 Discus intervertebralis
8 Nucleus pulposus
9 Anulus fibrosus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ßere Umfassung ist der **Anulus fibrosus**[9], ein Faserring mit parallel und schraubenförmig verlaufenden kollagenen Faserbündeln, die in die angrenzenden Wirbelkörper einstrahlen. Der **Nucleus pulposus**[8] ist ein zentral gelegener Gallertkern mit 80 % Wasser und damit nahezu inkompressibel. Er trägt wie ein Wasserkissen den Wirbelkörper und sorgt auch bei Bewegungen der Wirbelkette für eine gleichmäßige Druckverteilung und eine formschlüssige Verbindung unter den Wirbeln. Dazu kann der Nucleus pulposus etwas aus dem Zentrum der Bandscheibe rutschen und eine eher keilförmige Gestalt annehmen. Er verändert dabei aber nicht sein Volumen und spannt von innen immer die Fasern des Anulus fibrosus. Die Bandscheiben sind also nicht elastisch und enthalten auch keine elastischen Fasern. Die Beweglichkeit geht allein auf die Masseverschiebung und Formänderung im Nucleus pulposus zurück.

Die Wirbelkörper werden zusätzlich über **zwei Längsbänder** stabilisiert (▶ **Abb. 9.9**). Das **Lig. longitudinale anterius**[6] (vorderes Längsband) zieht vom vorderen Rand des Foramen magnum (Os occipitale) und vom Tuberculum anterius atlantis zum Kreuzbein. Es ist mit der Vorderfläche der Wirbelkörper fest verbunden und am Os sacrum mit dem Periost verschmolzen. Nach kaudal wird es zunehmend breiter. Das **Lig. longitudinale posterius**[1] (hinteres Längsband) entspringt am Clivus und verläuft längs an der Dorsalfläche der Wirbelkörper. Es ist an den Knochen und auch an den Bandscheiben angeheftet.

Die beiden Längsbänder haben eine wesentliche Bedeutung für die Erhaltung der Eigenform der Wirbelkette, da sie durch den Quellungsdruck des Nucleus pulposus ebenso gespannt werden wie der Anulus fibrosus.

Die paarigen **Wirbelbogengelenke** (**Articulationes intervertebrales** oder **zygapophysiales**) besitzen an der Halswirbelkette eine schlaffe, nach lumbal zunehmend straffere Gelenkkapsel. Zwischen den Gelenkflächen bildet sich eine meniskusartige, gefäßreiche Gewebeplatte, die sich beim Erwachsenen auf die Hals- und mittleren Lendensegmente beschränkt, während sie bei Kindern zwischen allen Gelenken vorkommt.

Die Gelenkflächen sind in den einzelnen Abschnitten unterschiedlich ausgerichtet. Bei den Halswirbeln (C 2–7) liegen sie nahezu horizontal, was ein breites Bewegungsspektrum in fast alle Richtungen erlaubt (45° Ventralflexion, 30° Dorsalflexion, 30° Lateralflexion, 15° Rotation). Bei den Brustwirbeln steht die Gelenkfläche weitgehend frontal, was eine starke Ventralflexion (35°), Lateralflexion (20°) und Rotation (35°) erlaubt. Die Stellung der Gelenkflächen im Lendenbereich (überwiegend sagittal) ermöglicht eine Ventral- (50°) und Dorsalflexion (35°).

Bänder der Wirbelbögen. An den Wirbelbögen findet man 5 voneinander abgrenzbare Bandstrukturen (▶ **Abb. 9.9**):

Die **Ligg. flava**[2] vervollständigen dorsal der Foramina intervertebralia die Wand des Wirbel-

kanals zwischen den Wirbelbögen. Sie bestehen aus überwiegend elastischen Fasern und stehen bereits bei aufrechter Haltung unter Spannung. Sie hemmen zusammen mit den Ligg. interspinalia und dem Lig. supraspinale eine übermäßige Vorwärtsneigung der Wirbelkette.

Die **Ligg. interspinalia**[3] sind besonders im Hals- und Lendenbereich zwischen den Processus spinosi benachbarter Wirbel ausgeprägt. Am Hals sind die Fasern anterokranial ausgerichtet und gehen in das Lig. nuchae über. Im Lendenbereich ist die Ausrichtung der Fasern posterokranial und eng verbunden mit der Fascia thoracolumbalis (Hülle der autochthonen Rückenmuskulatur).

Das **Lig. supraspinale**[4] ist an den Dornfortsatzspitzen befestigt und zieht über mehrere Bewegungssegmente. Es ist lumbal am kräftigsten ausgebildet.

Das **Lig. nuchae**, beim Menschen nur sparsam mit elastischen Fasern ausgestattet, zieht von der Protuberantia occipitalis externa zum Dornfortsatz des 7. Halswirbels. Es entspricht dem nach dorsal ausgezogenen Lig. supraspinale. Während es bei Vierfüßlern den Kopf tragen hilft, hat es beim Menschen unter physiologischen Bedingungen nur eine geringe mechanische Bedeutung.

Die **Ligg. intertransversaria**[5] sind schwache Bandzüge zwischen den Querfortsätzen der Brustwirbel und den Processus accessorii der Lendenwirbel.

Kopfgelenke. Durch die besondere Ausformung von Os occipitale, Atlas und Axisunterscheiden sich die Kopfgelenke von den übrigen Wirbelverbindungen (▶ **Abb. 9.10**):

- In den **Articulationes atlantooccipitales**[8] treffen die nierenförmigen konkaven oberen Gelenkflächen des Atlas mit den konvexen Kondylen des Os occipitale zusammen.
- Die **Articulationes atlantoaxialis laterales**[12] sind die Wirbelbogengelenke zwischen Atlas und Axis.
- Die **Articulatio atlantoaxialis mediana** ist schließlich eine gelenkige Verbindung zwischen dem Dens axis und der Fovea dentis atlantis an der Densvorderseite bzw. dem Lig. transversum atlantis an der Densrückseite.

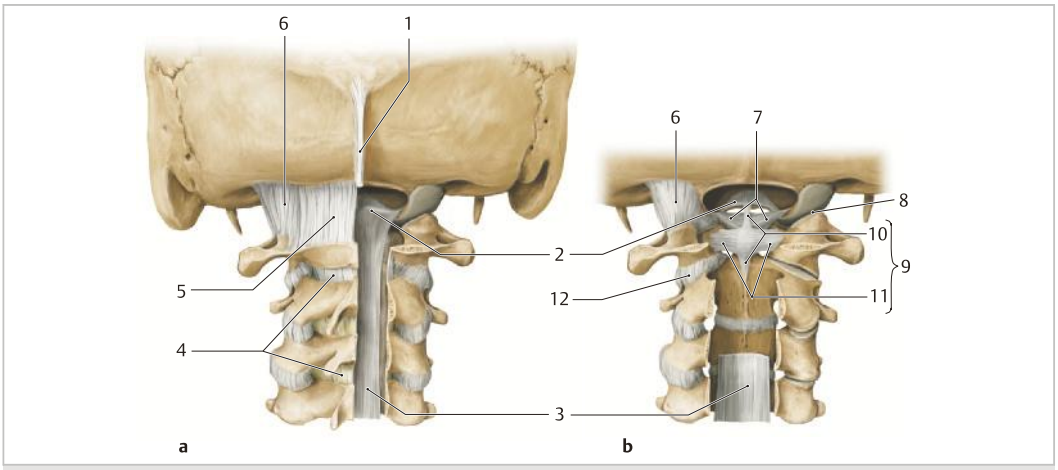


Abb. 9.10 Bandapparat der oberen Halswirbelkette von dorsal. Oberflächliche Schicht (**a** links), nach Eröffnung des Wirbelkanals und Entfernung des Rückenmarks (**a** rechts) sowie nach Entfernung der Membrana tectoria (**b**).

1 Lig. nuchae
2 Membrana tectoria
3 Lig. longitudinale posterius
4 Ligg. flava
5 Membrana atlantooccipitalis posterior
6 Lig. atlantooccipitalis laterale
7 Ligg. alaria
8 Articulatio atlantooccipitalis
9 Lig. cruciforme atlantis
10 Fasciculi longitudinales
11 Lig. transversum atlantis
12 Articulatio atlantoaxialis lateralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Verbindung zwischen Os occipitale und Atlas ist ein atypisches Ellipsoidgelenk, das nicht nur 2 Freiheitsgrade (Ventral-/Dorsalflexion, Lateralflexion), sondern zusätzlich eine – allerdings nur geringe – Rotation erlaubt (10° Dorsalflexion, 1° Ventralflexion, 4° Lateralflexion, 2° Rotation).

Die insgesamt 4 Einzelgelenke (2 Wirbelbogengelenke und Gelenkflächen an Densvorder- und Densrückseite), die insgesamt das Zapfengelenk zwischen Atlas und Axis bilden, machen durch den Dens axis eine sehr ausgeprägte Rotationsbewegung von etwa 35° nach beiden Seiten möglich.

Die Kopfgelenke sind trotz ihrer kleinen Bewegungsspielräume für die natürliche Bewegung des Kopfes als Feinregulation wichtig. Geringe Einschränkungen führen bereits zu deutlich sichtbaren Veränderungen des Bewegungsmusters.

Die **Bänder der Kopfgelenke** (▶ Abb. 9.10) sind eine Fortsetzung der bereits besprochenen Wirbelverbindungen. Die Lig. flava[4] setzen sich als **Membrana atlantooccipitalis posterior**[5] fort und verschließen den Wirbelkanal zwischen Atlas und Os occipitale an der Dorsalseite. Durch sie hindurch tritt die A. vertebralis und ein begleitendes Venengeflecht zum Foramen magnum. Außerdem tritt der N. suboccipitalis von innen heraus zu den hinteren kurzen Nackenmuskeln.

Das hintere Längsband an den Wirbelkörpern verbreitert sich nach kranial zur Seite hin und wird zur **Membrana tectoria**[2], deren ventral abgespaltener Anteil als Fasciculus longitudinalis[10] in das **Lig. cruciforme atlantis**[9] eingeht. Dieses dient der Stabilisierung des Dens axis nach dorsal und besitzt neben dem längs verlaufenden Anteil auch einen quer dazu ziehenden Teil (Lig. transversum atlantis[11]), der an den Innenflächen der Massa laterales des Atlas befestigt ist. Der Dens axis ist selbst noch durch seitliche Bandzüge (**Ligg. alaria**[7]) mit den Gelenkkondylen des Os occipitale und durch das **Lig. apicis dentis** mit dem Vorderrand des Foramen magnum verbunden. Nach ventral schließt sich als Abschluss das verbreiterte vordere Längsband an (**Membrana atlantooccipitalis anterior**).

Der **Wirbelkanal** (**Canalis vertebralis**) steht kranial am Foramen magnum mit der Schädelhöhle in Verbindung und reicht kaudal bis zum Hiatus sacralis. Innerhalb seiner osteoligamentären Begrenzung findet man von außen nach innen Fettgewebe und Gefäße im Epiduralraum, Rückenmarkhäute, Spinalnervenwurzeln im Subarachnoidalraum und Nervengewebe (Medulla spinalis), s. Kapitel zentrales Nervensystem (S. 502).

9.2.3 Eingewanderte Rückenmuskeln (▶ Abb. 9.11)

Die eigentliche Rückenmuskulatur, die aus dorsalen Myotomen hervorgeht und sich ortsständig, also autochthon entwickelt, liegt beidseits der Dornfortsätze als paariger Strang (s. u.). Innerviert wird sie aufgrund ihrer Herkunft von den Rr. posteriores (= Rr. dorsales) der Spinalnerven C 1–S 1.

Überlagert wird diese autochthone Rückenmuskulatur von Muskeln, die im Laufe der Entwicklung von ventral eingewandert sind und überwiegend zur oberen Extremität gehören. Sie werden daher im Gegensatz zur autochthonen Rückenmuskulatur hauptsächlich von den **Rr. anteriores** (**= ventrales**) **der Spinalnerven** innerviert. Bei der eingewanderten Rückenmuskulatur unterscheidet man 3 Gruppen:

- spinohumerale Muskeln von der Wirbelkette zum Humerus,
- spinoskapuläre Muskeln von der Wirbelkette zum Schultergürtel,
- spinokostale Muskeln von der Wirbelkette zu den Rippen.

Am oberflächlichsten liegen kaudal der **M. latissimus dorsi**[7] (spinohumeral (S. 177)) und kranial der **M. trapezius**[8, 10, 11] (spinoskapulär (S. 172)). Eine Schicht tiefer findet man unter dem M. trapezius weitere spinoskapuläre Muskeln: Von kranial nach kaudal sind dies der **M. levator scapulae**[1] (S. 171) und der **M. rhomboideus**[2, 3] (S. 171).

Zu den spinokostalen Muskeln (tiefste Schicht der eingewanderten Rückenmuskeln) zählen der **M. serratus posterior superior** und **inferior**[4]. Der obere Teil entspringt von den Dornfortsätzen C 6–Th 2 und zieht schräg abwärts zur 2.–5. Rippe. Der untere Teil entspringt von der Fascia thoracolumbalis auf Höhe von Th 11–L 2 und zieht schräg aufwärts zur 9.–12. Rippe. Die sehnige Verbindung der Muskelanteile ist meist mit der Fascia thoracolumbalis verschmolzen. Der obere Teil des Muskels wird zu den Rippenhebern gerechnet und kann bei der Inspiration unterstützend wirken. Der untere Teil bewirkt eine Rippensenkung und Seitwärtslenkung und ist damit ein Antagonist zum Zwerchfell. Die Ausbildung des M. serratus posterior ist sehr variabel, er kann auch komplett fehlen und nur als Bindegewebsplatte angelegt sein.

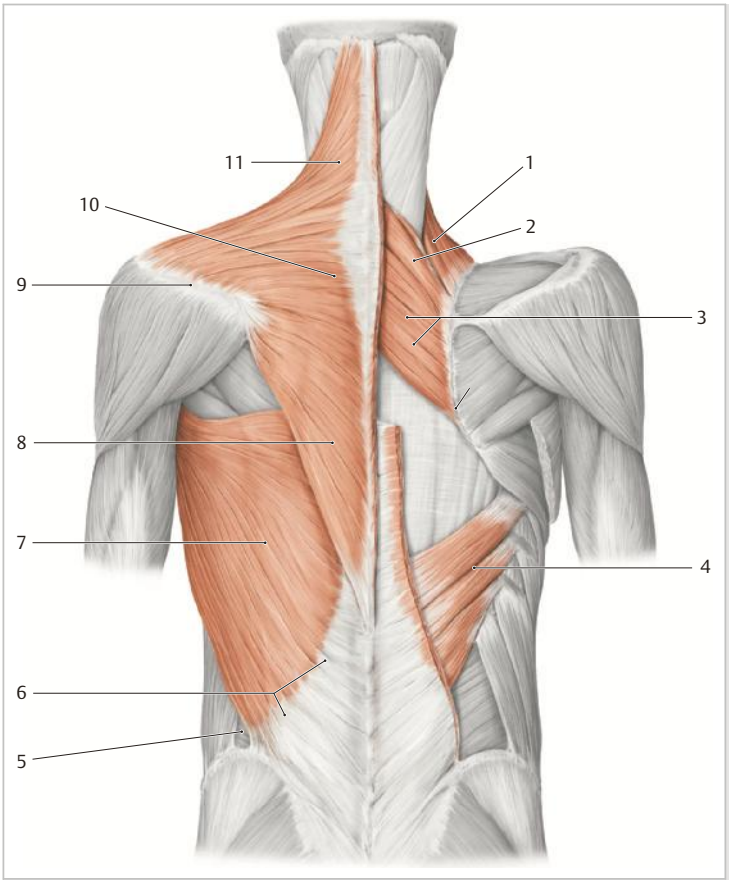


Abb. 9.11 Eingewanderte Rückenmuskulatur der dorsalen Rumpfwand.
1 M. levator scapulae
2 M. rhomboideus minor
3 M. rhomboideus major
4 M. serratus posterior inferior
5 Trigonum lumbale
6 Ursprungsaponeurose des M. latissimus dorsi
7 M. latissimus dorsi
8 M. trapezius, Pars ascendens
9 Spina scapulae
10 M. trapezius, Pars transversa
11 M. trapezius, Pars descendens
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

9.2.4 Autochthone Rückenmuskeln (▶ Abb. 9.12)

Der **M. erector spinae** bezeichnet die Gesamtheit aller dorsalen Muskelfasern, dieinnerhalb der Fascia thoracolumbalis vereint sind und, aus dorsalen Myotomen hervorgegangen, von den **Rr. posteriores (= dorsales) der Spinalnerven** C 1–S 1 innerviert werden. Diese teilen sich in einen medialen und lateralen Ast, der auch die Einteilung der Muskelfasern in einen medialen und lateralen Trakt rechtfertigt.

Die Muskelfasern der mit der Sammelbezeichnung „**M. erector spinae**“ bezeichneten autochthonen Rückenmuskeln verlaufen in den beiden Rinnen links und rechts der Dornfortsätze und sind von der Fascia thoracolumbalis umgeben.

Das oberflächliche Blatt der **Fascia thoracolumbalis** begrenzt den M. erector spinae dorsal und spannt sich von den Dornfortsätzen nach lateral auf. Im zervikalen Bereich wird das oberflächliche Blatt auch **Fascia nuchae** genannt. Diese zieht vom Lig. nuchae (medial) zur Faszie des M. levator scapulae (lateral). Das tiefe Blatt grenzt insbesondere im lumbalen Abschnitt als großflächige Faszie die autochthone Rückenmuskulatur vom M. quadratus lumborum ab. Im thorakalen Bereich wird das tiefe Blatt von den Rippen und der nach dorsal fortgeführten Fascia thoracica gebildet.

Im oberen Halsbereich bilden die Muskeln des M. erector spinae eigene Faszien aus, sodass sie deutlicher voneinander abgrenzbar werden.

Bei **Operationen am Rücken** (z. B. Zugang zur Niere) ist das tiefe Blatt der Fascia thoracolumbalis eine wichtige Orientierungsschicht.

Lateraler Trakt (▶ Abb. 9.12)

Direkt unter dem oberflächlichen Blatt der Fascia thoracolumbalis liegen die langgezogenen Faserzüge des lateralen Trakts des M. erector spinae.

M. longissimus dorsi[1–3]. Der Muskel bildet den medialen Teil des lateralen Trakts und erstreckt sich vom Kreuzbein bis zum Hinterhaupt. Lenden- und Brustteil werden als M. longissimus thoracis[3] bezeichnet, kranial davon befinden sich der M. longissimus cervicis[2] und M. longissimus capitis[1]. Der Ursprung liegt medial an der lumbalen Sehnenplatte bzw. im kranialen Bereich an den Querfortsätzen der oberen Brustwirbel. Von dort ziehen die Muskelfasern zu den Rippen bzw. im Halsbereich zu den Rippenrudimenten (Tuberculum posterius der Processi transversi). Der Kopfteil inseriert am Processus mastoideus des Schläfenbeins und führt zur Drehbewegung des Kopfes nach der gleichen Seite.

Die **Mm. splenii**[9,10] liegen dem zervikalen Abschnitt des M. longissimus dorsi auf. Man unterscheidet den kleineren M. splenius cervicis[9] und den kräftigeren, zum Kopf ziehenden M. splenius capitis[10]. Beide entspringen an den Dornfortsätzen C 7–Th 6 und ziehen an die Tubercula posteriora der oberen Halswirbel (C 1–3) und flächig an die Linea nuchalis superior sowie seitlich bis zum Processus mastoideus.

Die **Mm. levatores costarum**[5] ziehen vom Angulus costae (Ursprung direkt medial vom M. iliocostalis) nach medial zu den Querfortsätzen des nächsten (M. levator costae brevis) oder übernächsten Wirbels (M. levator costae longus). Entgegen ihrem Namen wirken die Muskeln nicht so sehr als Rippenheber, sondern mehr zusammen mit den übrigen autochthonen Muskeln als Strecker und Dreher der Wirbelkette.

Die **Mm. intertransversarii**[11,12] verbinden jeweils die Querfortsätze benachbarter Wirbel:

- Mm. intertransversarii posteriores cervicis[11],
- Mm. intertransversarii thoracis (im oberen Thorax oft nur schwach ausgebildet),
- Mm. intertransversarii mediales lumborum[12].

Im Hals- und Lendenbereich gibt es zusätzlich einen anterioren Anteil der Mm. intertransversarii, der streng genommen nicht zur autochthonen Muskulatur zählt. Dies sind rudimentäre Interkostalmuskeln am Hals (Mm. intertransversarii anteriores cervicis) und im Lendenbereich (Mm. intertransversarii laterales lumborum).

Die Muskelfasern der Mm. intertransversarii sind oft eng mit dem M. longissimus verbunden und präparatorisch nur schwer isoliert darstellbar.

M. iliocostalis[6–8]. Unterschieden werden bei diesem Muskel ein lumbaler[6], ein thorakaler[7] und ein zervikaler[8] Anteil. Der Ursprung liegt seitlich vom M. longissimus dorsi am Darmbeinkamm und den Anguli costae der Rippen. Die Muskelfasern ziehen schräg seitlich nach kranial und setzen seitlich der Rippenwinkel an; im Halsbereich ziehen sie zu den äußersten Enden der Tubercula posteriora.

Die zwischen L 5 und der Tuberositas iliaca liegenden kaudalen Muskelabschnitte liegen nahezu horizontal und können so aktiv ein Abgleiten des 5. Lendenwirbels nach vorne verhindern. Zusätzlich sichern sie den kranialen Anteil des Sakroiliakalgelenks.

Medialer Trakt (▶ Abb. 9.12)

Tiefer als der laterale liegt der **mediale Trakt** des M. erector spinae. Er bildet ein ausgeprägtes transversospinales und ein schwächeres spinales System.

Das **spinale System**[20,21] liegt oberflächlich medial und verbindet Dornfortsätze miteinander. Zu ihm zählen die **Mm. interspinales**[20], die aber nur zervikal und lumbal vorhanden sind. Bei ihnen handelt es sich um paarig angeordnete, kurze Muskeln zwischen den Dornfortsätzen benachbarter Wirbel.

Im thorakalen Abschnitt, in dem keine Mm. interspinales ausgebildet sind, findet man stattdessen die **Mm. spinales**[21]. Diese ebenfalls paarigen Muskeln überziehen jeweils seitlich der Dornfortsätze mehrere Wirbeletagen. Die Mm. spinales sind zwar mitunter auch kranial des thorakalen Abschnitts zu finden, hier jedoch nur schwach ausgeprägt (s. u.). Der kräftige thorakale Teil (M. spinalis thoracis) entspringt kaudal zwischen Th 11 und L 3 zusammen mit dem M. longissimus und strahlt mit dem M. multifidus an die Dornfortsätze der Wirbel Th 3–8.

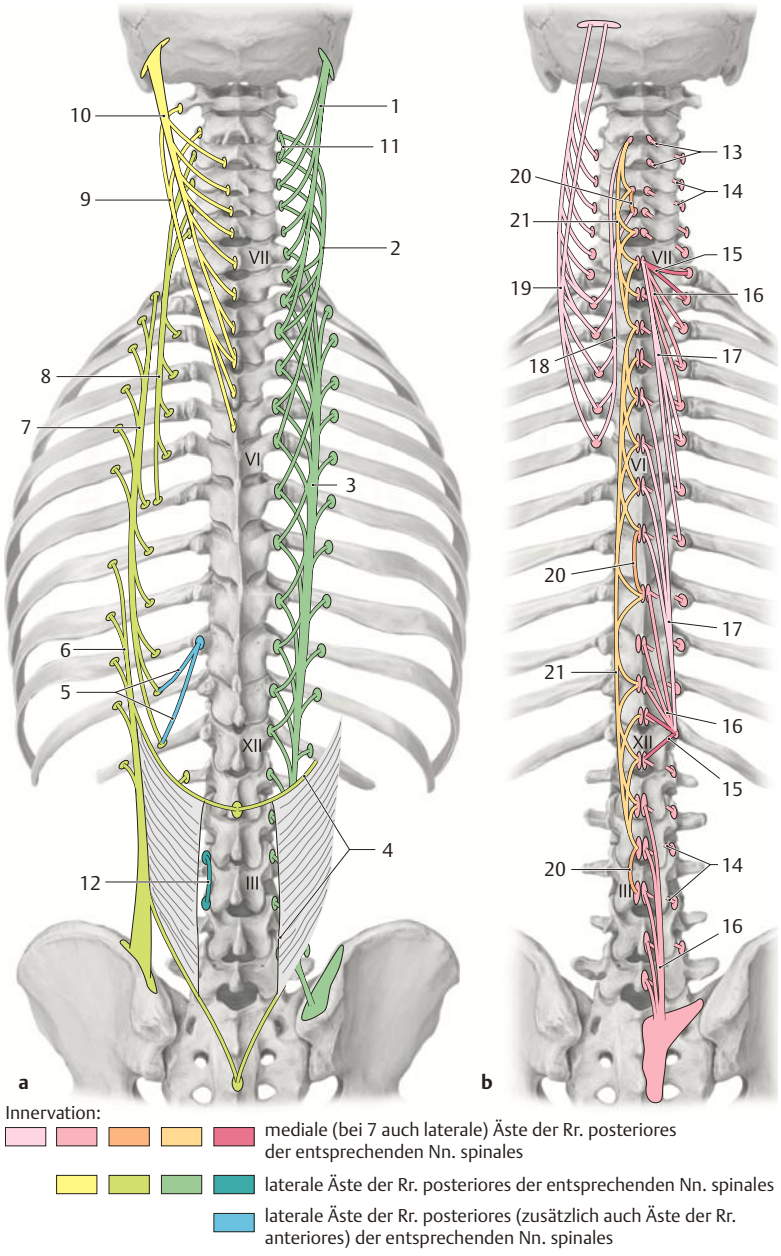


Abb. 9.12 Autochthone Rückenmuskulatur (M. erector spinae) von dorsal.

a Muskeln des lateralen Trakts.

1–8 sakrospinales System
- **1** M. longissimus capitis
- **2** M. longissimus cervicis
- **3** M. longissimus thoracis
- **4** gemeinsame Ursprungsaponeurose des sakrospinalen Systems
- **5** M. levator costarum longus und brevis
- **6** M. iliocostalis lumborum
- **7** M. iliocostalis thoracis
- **8** M. iliocostalis cervicis

9–10
- **9** M. splenius cervicis
- **10** M. splenius capitis

11–12 intertransversales System
- **11** Mm. intertransversarii posteriores cervicis
- **12** Mm. intertransversarii mediales lumborum

b Muskeln des medialen Trakts.

13–19 transversospinales System
- **13** Insertionsbündel
- **15** M. rotator longus und brevis
- **16** M. multifidus
- **17** M. semispinalis thoracis
- **18** M. semispinalis cervicis
- **19** M. semispinalis capitis

20–21 spinales System
- **20** M. interspinalis
- **21** M. spinalis

(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten

Inkonstant kann ein M. spinalis cervicis vorhanden sein, der sich zwischen C2 und Th2 ausbildet. Als seltene Variante können die Muskelfasern auch bis zur Protuberantia occipitalis externa reichen: man spricht dann von einem M. spinalis capitis.

Das **transversospinale System**[13–19] verläuft zwischen Quer- und Dornfortsätzen. Wie das spinale System verbindet es teils benachbarte Wirbel, teils zieht es über mehrere Etagen hinweg.

Die **Mm. rotatores**[15] sind zwischen allen Wirbeln auffindbar und bilden die tiefste Schicht des transversospinalen Systems. Die Mm. rotatores breves ziehen von der Wurzel eines Querfortsatzes zur Basis des Dornfortsatzes des nächsthöheren Wirbels und haben damit einen transversalen Verlauf. Die Mm. rotatores longi überdecken die kurzen Muskeln und überspringen jeweils einen Wirbelkörper. Daher verlaufen sie etwas schräg nach kranial gerichtet.

Der über den Mm. rotatores liegende **M. multifidus**[16] ist besonders ausgeprägt im Lendenbereich zu finden, zieht aber über die gesamte Länge der Wirbelkette von C2 bis L5. Er überbrückt mit seinen tiefen Anteilen 2–3, mit den oberflächlicheren 3–5 Wirbel. Dadurch ist sein Verlauf noch stärker karanialwärts gerichtet als der der Mm. rotatores longi.

Der oberflächlichste Muskel des transversospinalen Systems ist der **M. semispinalis**[17–19]. Es überspringt jeweils 5–7 Wirbel. Im Lendenbereich ist der Muskel kaum, im Brust- (M. semispinalis thoracis) und Halsbereich (M. semispinalis cervicis) oft als eine kaum abgrenzbare Einheit vorhanden. Als Besonderheit zieht dieser Muskel mit seinem Kopfanteil (M. semispinalis capitis) bis zur Linea nuchalis superior des Os occipitale und überdeckt damit direkt die hinteren kurzen Nackenmuskeln.

Der M. semispinalis capitis entsteht teilweise auch aus Anlagen der lateralen Muskelgruppe, wird deswegen auch vom lateralen Ast der dorsalen Spinalnervenäste versorgt. In dem Muskel findet man regelmäßig Zwischensehnen.

Hintere kurze Nackenmuskeln (▶ Abb. 9.13)

Als Fortführung der Mm. interspinales zieht der **M. rectus capitis posterior minor**[6] am weitesten medial vom Tuberculum posterius des Atlas zur Linea nuchalis inferior des Os occipitale. Seitlich davon liegt der **M. rectus capitis posterior major**[5], der vom Processus spinosus des Axis ebenfalls zur Linea nuchalis inferior zieht. Gleichen Ursprung hat auch der **M. obliquus capitis inferior**[7], der vom Axis zu den Querfortsätzen des Atlas zieht und somit als isolierte Fortsetzung des M. splenius zu werten ist. Vom Processus transversus des Atlas

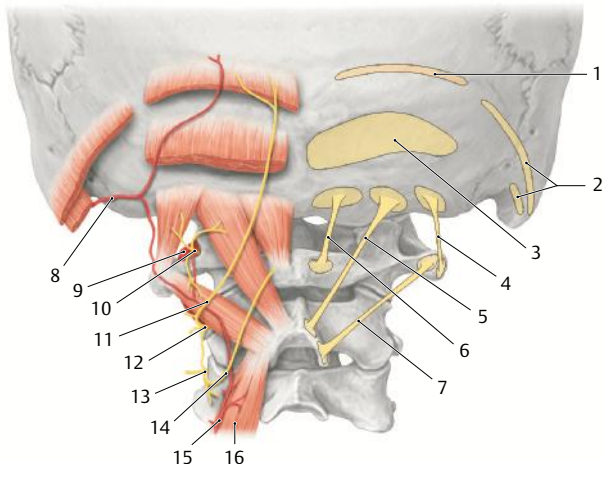


Abb. 9.13 Hintere kurze Nackenmuskeln von dorsal.
1 M. trapezius
2 M. splenius capitis und darunter M. longissimus capitis
3 M. semispinalis capitis
4 M. obliquus capitis superior
5 M. rectus capitis posterior major
6 M. rectus capitis posterior minor
7 M. obliquus capitis inferior
8 A. occipitalis
9 A. vertebralis
10 N. suboccipitalis (R. posterior des 1. Spinalnervs)
11 N. occipitalis major
12 R. posterior des 2. Spinalnervs
13 R. posterior des 3. Spinalnervs
14 N. occipitalis tertius
15 A. cervicalis profunda
16 M. semispinalis cervicis
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

aus zieht dann der **M. obliquus capitis superior**[4] zur Linea nuchalis inferior, der aufgrund seiner Innervation dem lateralen Trakt zuzuordnen ist (Fortführung der Mm. intertransversarii).

M. obliquus capitis superior und inferior sowie M. rectus capitis major bilden eine dreiseitige Grube, in deren Tiefe die A. vertebralis und der N. suboccipitalis verlaufen.

Prävertebrale Halsmuskeln (▶ Abb. 9.14)

Seitlich an den M. obliquus capitis superior lagert sich der **M. rectus capitis lateralis**[2] als oberster Anteil des M. intertransversarius anterior cervicis an. Er zieht vom vorderen Höcker des Processus transversus des Atlas zum Processus jugularis des Os occipitale. Ventral findet sich noch der kurze **M. rectus capitis anterior**[1], der von der Massa lateralis atlantis zur Pars basilaris des Os occipitale verläuft.

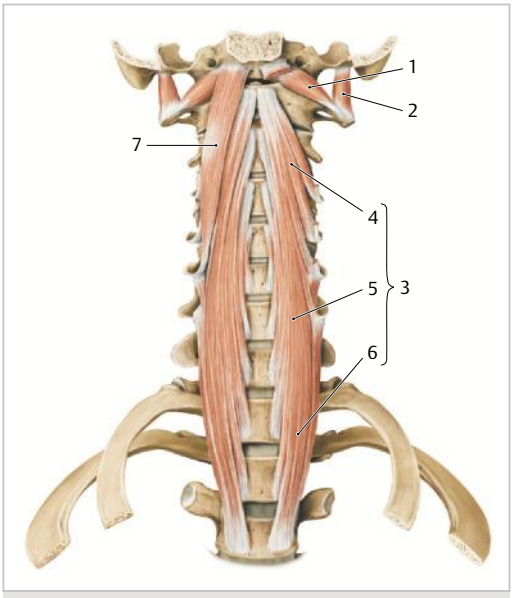


Abb. 9.14 Prävertebrale Halsmuskulatur von ventral.
1 M. rectus capitis anterior
2 M. rectus capitis lateralis
3 M. longus colli
4 Pars obliqua superior m. longi colli
5 Pars recta m. longi colli
6 Pars obliqua inferior m. longi colli
7 M. longus capitis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die vorderen Längsmuskeln des Halses (**M. longus capitis**[7] und **M. longus colli**[3]) sind nur schwer voneinander abgrenzbar und besitzen eine komplexe Fiederung aus longitudinalen und schrägen Faserzügen, oft mit Zwischensehnen durchsetzt. Sie sind mit den Vorderflächen der Processi transversi C2–7 und teilweise auch mitden Wirbelkörpern bzw. dem Tuberculum anterius des Atlas verbunden. Der M. longus capitis führt Fasern auch bis an die Pars basilaris des Os occipitale.

Einige von Rr. anteriores (= ventrales) der Spinalnerven innervierte Muskeln lagern sich dicht an die autochthone Rückenmuskulatur an und stehen in direkter funktioneller Verbindung zum M. erector spinae, besonders in den lordotischen Bereichen, also an Hals und Lenden (Reste der Zwischenrippenmuskulatur). Dazu zählen die vorderen Mm. intertransversarii des lateralen Trakts, die prävertebralen Halsmuskeln (**M. rectus capitis lateralis** und **anterior**, **M. longus capitis** und **colli**), die Skalenusmuskeln und lumbal der M. quadratus lumborum und der M. psoas.

9.3 Oberflächenanatomie des ventralen Rumpfes

Am Lebenden sind für das ventrale Relief besonders der **M. pectoralis major** und die **Bauchmuskulatur** formgebend. An der Brust ist bei der Frau hauptsächlich die Brustdrüse mit dem sie umgebenden Fettgewebe formgebend. Daneben lassen sich einige Knochenvorsprünge tasten, darunter median das Sternum (Brustbein), die Clavicula (Schlüsselbein), die Rippen und die Spina iliaca anterior superior.

Die Haut wird über die A. thoracica interna und die Aa. epigastricae mit Blut versorgt. Die Venen bilden ein Netz mit dem Nabel als unpaariges Zentrum.

9.3.1 Oberflächenrelief (▶ Abb. 9.15)

Beim Mann wird die vordere Brustwand von den Konturen des **M. pectoralis major**[2] bestimmt. An dessen Oberrand zum M. deltoideus senkt sich die Haut besonders bei mageren Menschen etwas in die Tiefe (Sulcus deltoideopectoralis; Mohrenheim-Grube). Im unteren seitlichen Bereich bildet

aus zieht dann der **M. obliquus capitis superior**[4] zur Linea nuchalis inferior, der aufgrund seiner Innervation dem lateralen Trakt zuzuordnen ist (Fortführung der Mm. intertransversarii).

M. obliquus capitis superior und inferior sowie M. rectus capitis major bilden eine dreiseitige Grube, in deren Tiefe die A. vertebralis und der N. suboccipitalis verlaufen.

Prävertebrale Halsmuskeln (▶ Abb. 9.14)

Seitlich an den M. obliquus capitis superior lagert sich der **M. rectus capitis lateralis**[2] als oberster Anteil des M. intertransversarius anterior cervicis an. Er zieht vom vorderen Höcker des Processus transversus des Atlas zum Processus jugularis des Os occipitale. Ventral findet sich noch der kurze **M. rectus capitis anterior**[1], der von der Massa lateralis atlantis zur Pars basilaris des Os occipitale verläuft.

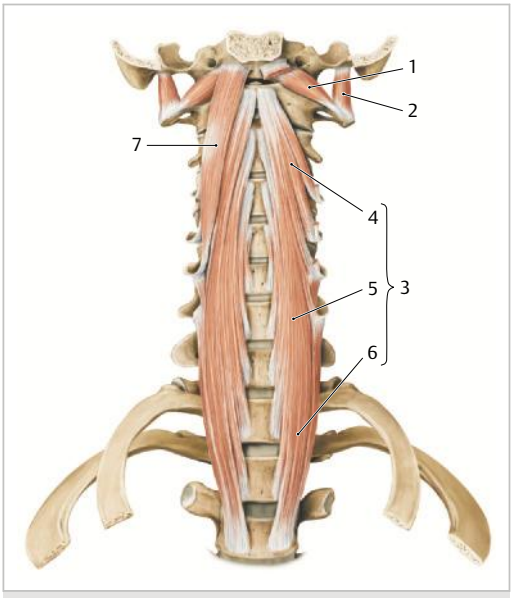


Abb. 9.14 Prävertebrale Halsmuskulatur von ventral.
1 M. rectus capitis anterior
2 M. rectus capitis lateralis
3 M. longus colli
4 Pars obliqua superior m. longi colli
5 Pars recta m. longi colli
6 Pars obliqua inferior m. longi colli
7 M. longus capitis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die vorderen Längsmuskeln des Halses (**M. longus capitis**[7] und **M. longus colli**[3]) sind nur schwer voneinander abgrenzbar und besitzen eine komplexe Fiederung aus longitudinalen und schrägen Faserzügen, oft mit Zwischensehnen durchsetzt. Sie sind mit den Vorderflächen der Processi transversi C2–7 und teilweise auch mitden Wirbelkörpern bzw. dem Tuberculum anterius des Atlas verbunden. Der M. longus capitis führt Fasern auch bis an die Pars basilaris des Os occipitale.

Einige von Rr. anteriores (= ventrales) der Spinalnerven innervierte Muskeln lagern sich dicht an die autochthone Rückenmuskulatur an und stehen in direkter funktioneller Verbindung zum M. erector spinae, besonders in den lordotischen Bereichen, also an Hals und Lenden (Reste der Zwischenrippenmuskulatur). Dazu zählen die vorderen Mm. intertransversarii des lateralen Trakts, die prävertebralen Halsmuskeln (**M. rectus capitis lateralis** und **anterior**, **M. longus capitis** und **colli**), die Skalenusmuskeln und lumbal der M. quadratus lumborum und der M. psoas.

9.3 Oberflächenanatomie des ventralen Rumpfes

Am Lebenden sind für das ventrale Relief besonders der **M. pectoralis major** und die **Bauchmuskulatur** formgebend. An der Brust ist bei der Frau hauptsächlich die Brustdrüse mit dem sie umgebenden Fettgewebe formgebend. Daneben lassen sich einige Knochenvorsprünge tasten, darunter median das Sternum (Brustbein), die Clavicula (Schlüsselbein), die Rippen und die Spina iliaca anterior superior.

Die Haut wird über die A. thoracica interna und die Aa. epigastricae mit Blut versorgt. Die Venen bilden ein Netz mit dem Nabel als unpaariges Zentrum.

9.3.1 Oberflächenrelief (▶ Abb. 9.15)

Beim Mann wird die vordere Brustwand von den Konturen des **M. pectoralis major**[2] bestimmt. An dessen Oberrand zum M. deltoideus senkt sich die Haut besonders bei mageren Menschen etwas in die Tiefe (Sulcus deltoideopectoralis; Mohrenheim-Grube). Im unteren seitlichen Bereich bildet

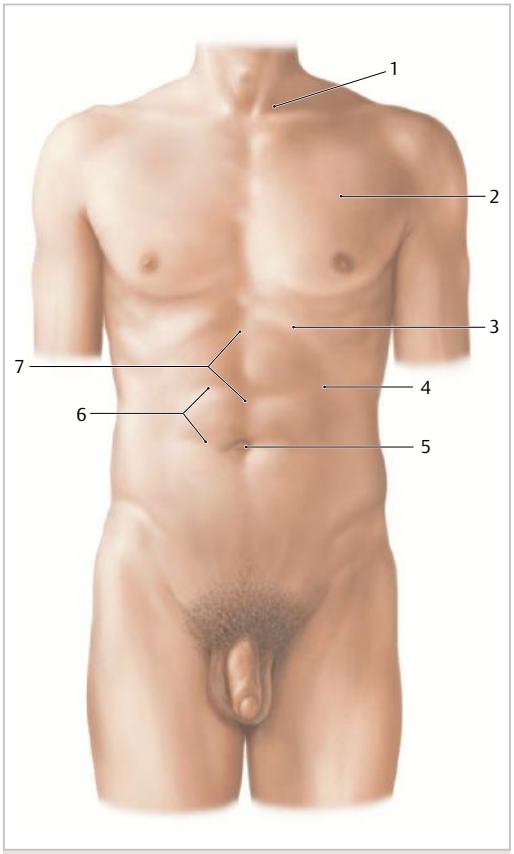


Abb. 9.15 Oberflächenanatomie des Mannes von ventral.
1 Fossa supraclavicularis
2 M. pectoralis major
3 Arcus costalis
4 Linea semilunaris
5 Umbilicus
6 Intersectiones tendineae
7 Linea alba
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

sich die gezackte Gerdy-Linie durch die sich abwechselnden Ursprünge des M. serratus anterior und des M. obliquus externus abdominis. Die Bauchwand lässt bei mageren und besonders muskulösen Männern die durch eine mediane Rinne (**Linea alba**[7]) getrennten Längswülste der Mm. recti abdominis und deren durch die **Intersectiones tendineae**[6] bedingten Querfurchen erkennen („Sixpack"). Der sehnige Übergang zu den seitlichen Bauchmuskeln (M. transversus abdominis, M. obliquus internus und externus abdominis) bildet die **Linea semilunaris**[4].

Bei der Frau wird die Ansicht der vorderen Brustwand durch die Größe, Form und Lage der Brustdrüse (S. 104) und des sie umgebenden Fettgewebes bestimmt. Die Mohrenheim-Grube erkennt man meist gut. Der Rippenbogen zeichnet sich bei schlanken Frauen deutlich als Grenze im oberen Bauchraum ab.

Durch subkutane Fetteinlagerungen sind bei vielen Menschen die Muskelkonturen des Bauches verstrichen und das Relief ist durch die Fettpolster bestimmt. Sichtbar bleibt in der Regel die median um den Nabel gelegene Linea alba. Am Nabel (Umbilicus) fehlt das subkutane Fettgewebe. Die Haut ist zur Nabelgrube eingesenkt.

Bei einer **akuten Appendizitis** kann ein Druckschmerz häufig am Lanz-Punkt (rechter Drittelpunkt einer gedachten Linie zwischen den beiden Spinae iliacae anteriores superiores) oder am McBurney-Punkt (mittleres Drittel einer gedachten Linie zwischen Nabel und rechter Spina iliaca anterior superior) ausgelöst werden. Durch die variable Lage des Appendix ist dieser Test jedoch nur eingeschränkt verwertbar.

9.3.2 Tastbare Knochenpunkte (► Abb. 9.16)

Von der median gelegenen Incisura jugularis sterni aus kann man nach lateral die beiden Schlüsselbeine (Claviculae[11]) bis zum Acromion[10] gut tasten. Darunter ist in der Tiefe mit stärkerem Druck oft auch der Processus coracoideus[9] palpabel. An der gesamten Brust geben die Rippen[7] eine gute Orientierung.

Die erste Rippe ist von der Clavicula verdeckt und daher nicht tastbar. Zur Orientierung ist es besser die knöchernen Rippen seitlich zu zählen, da die unteren Rippenknorpel nach medial sehr eng aneinander liegen.

Seitlich an der Bauchwand ist der Darmbeinkamm (**Crista iliaca**[6]) bis zu seinem ventralen Ende (Spina iliaca anterior superior[5]) ohne Schwierigkeiten zu tasten. Kaudal ist medial das Tuberculum pubicum[4] als Übergang zur Schamregion tastbar.

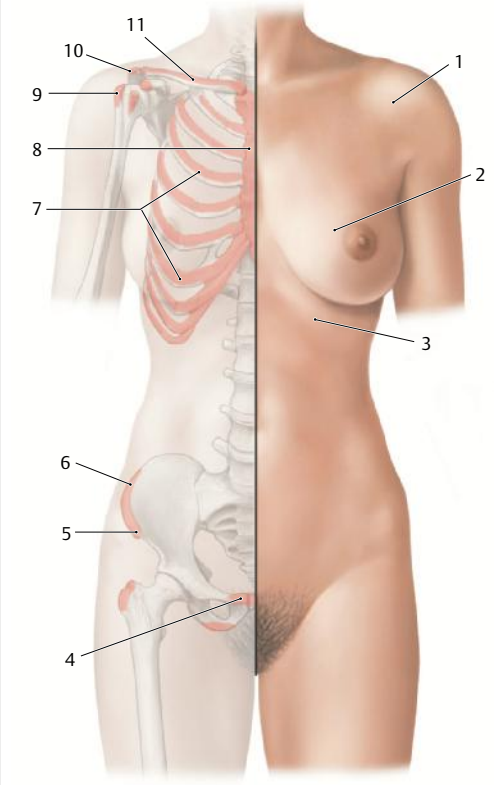


Abb. 9.16 Tastbare Knochenpunkte der Frau von ventral.
1 Sulcus deltoideopectoralis
2 Mamma
3 Arcus costalis
4 Tuberculum pubicum
5 Spina iliaca anterior superior
6 Crista iliaca
7 Costae
8 Corpus sterni
9 Tuberculum majus humeri
10 Acromion
11 Clavicula
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

9.4 Brustwand

9.4.1 Knöcherner Thorax

Die von den Brustwirbeln ausgehenden 12 Rippenpaare sind zu den Wirbeln hin verknöchert (**Os costale**) und setzen sich nach ventral als knorpelige Rippen fort (**Cartilago costalis**). Der knöcherne Teil hat einen Rippenkopf (**Caput costae**), einen Hals (**Collum costae**) und einen Körper (**Corpus costae**), an dessen Unterrand sich eine Rinne befindet (**Sulcus costae**). Zwischen Hals und Körper befindet sich ein Höckerchen (**Tuberculum costae**), das mit dem Processus transversus der Wirbelkörper artikuliert. Der knorpelige Anteil, der bei den unteren Rippen verschmilzt, ist ventral am Brustbein (**Sternum**) fixiert.

Rippen (▶ Abb. 9.17)

Je nach Ausbildung des knorpeligen Rippenanteiles unterscheidet man echte Rippen (**Costae verae**, 1.–7. Rippe), die eine unmittelbare Verbindung mit Wirbelkörper und Brustbein haben, und falsche Rippen (**Costae spuriae**, 8. und 9. Rippe). Die falschen Rippen stehen mit dem Brustbein indirekt in Verbindung, indem sich die knorpeligen Anteile an die nächst höhere Rippe anhängen. So entsteht der Rippenbogen (**Arcus costalis**). Die 10.–12. Rippe (**Costae fluctuantes**) hat keinen knorpeligen Anteil und endet frei beweglich in der Brustwand, eingelagert in die Bauchmuskulatur.

Bei etwa 33 % der Bevölkerung hat die 10. Rippe eine knorpelige Verbindung zur 9. Rippe.

Die **1. Rippe** (Costa I, ▶ **Abb. 9.17a**) ist stark kraniokaudal abgeplattet, der knorpelige Anteil ausgesprochen kurz. Am knöchernen Corpus costae findet sich ventral an der Ansatzstelle des M. scalenus anterior eine knöcherne Ausziehung (**Tuberculum m. scaleni anterioris**[5]). Seitlich davon drückt die A. subclavia eine Rinne in den Knochen (**Sulcus a. subclaviae**[4]), medial davon die gleichnamige Vene (Sulcus v. subclaviae[6]). Ein Sulcus costae am Unterrand der Rippe fehlt.

Die **2.–10. Rippe** (Costa II–X, ▶ **Abb. 9.17b**) weist eine dreifache Krümmung auf:
- Die Flächenkrümmung verursacht die seitliche Wölbung des Thorax.

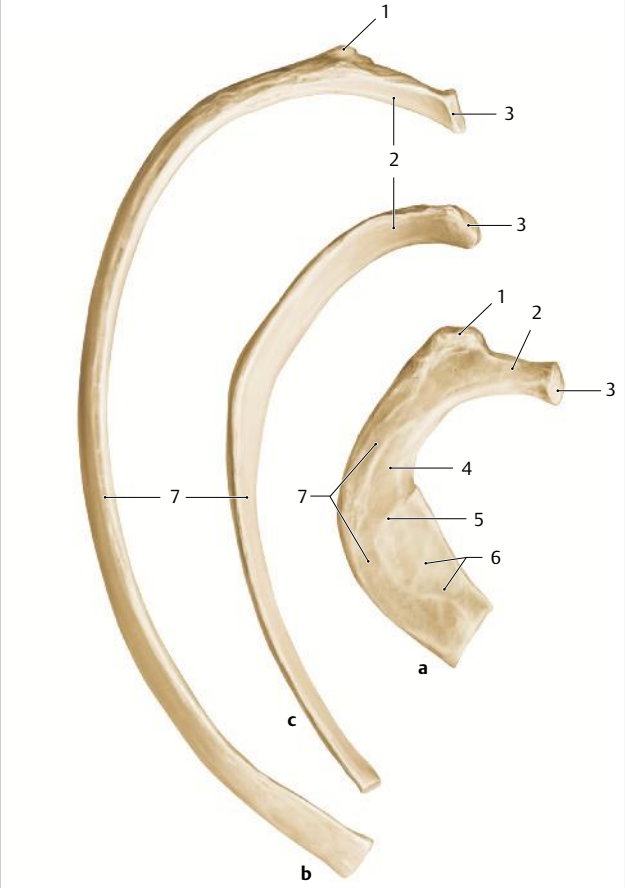


Abb. 9.17 Erste (a), **fünfte** (b) und **elfte** (c) Rippe von kranial.
1 Tuberculum costae
2 Collum costae
3 Caput costae
4 Sulcus a. subclaviae
5 Tuberculum m. scaleni anterioris
6 Sulcus v. subclaviae
7 Corpus costae
8 Angulus costae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- Die Kantenkrümmung senkt den ventralen Rippenteil gegenüber dem dorsalen um etwa 2 Wirbelkörper nach kaudal.
- Die Torsion um die Längsachse dreht die Außenfläche des dorsalen Rippenteils leicht nach kaudal, den ventralen leicht nach kranial.

Die Facies articularis capitis costae dieser Rippen ist durch die **Crista capitis costae** in 2 Facetten unterteilt, da das Köpfchen mit 2 benachbarten Wirbelkörpern artikuliert. An der Unterfläche findet sich eine Furche (**Sulcus costae**), in der die Interkostalgefäße und -nerven verlaufen.

Bei der **11. und 12. Rippe** (Costa XI und XII, ▶ **Abb. 9.17c**) ist kein Tuberculum costae und kein Sulcus costae vorhanden.

Überzählige Rippen kommen bei etwa 6 % der Menschen vor. Vollständig ausgebildete Halsrippen (ausgehend vom Wirbelkörper C 7) finden sich jedoch bei nur knapp 1 %. Allerdings kann auch eine nur bindegewebig angelegte Halsrippe den Verlauf der Armgefäße und -nerven bereits stören und zu klinischen Symptomen führen (Durchblutungsstörungen, Schwellungen durch Blutstau, Nervenausfälle).

Sternum

Das Sternum (**Brustbein**) besteht beim Erwachsenen aus 3 knöchernen Teilen (▶ **Abb. 9.18**):

- dem kurzen Manubrium sterni[5],
- dem langen Corpus sterni[7],
- dem meist knorpelig endigenden Schwertfortsatz (Processus xiphoideus[8]).

Diese Knochen sind über Synchondrosen miteinander verbunden. Da das Manubrium in der Frontalebene nach dorsokranial zeigt, bildet es in Höhe der 2. Rippe mit dem Corpus den **Angulus sterni**.

Zwischen Manubrium und Corpus sterni findet sich in über 30 % ein mit Synovia gefüllter Spalt, der Symphysis manubriosternalis genannt wird. Nach dem 40. Lebensjahr verschmelzen die Sternalknochen synostotisch.

Kranial weist das Manubrium sterni eine Einbuchtung (**Incisura jugularis**[2]) auf, seitlich davon die paarigen **Incisurae claviculares**[3] für die gelenkige Verbindung mit den Claviculae und kaudal daran anschließend die Incisura costalis I. Am Übergang zwischen Manubrium und Corpus inseriert die 2. Rippe, die gelenkig mit beiden Teilen des Sternum in Verbindung steht. Die 3.–7. Rippe hat Kontakt zum Corpus sterni über weitere Incisurae costales.

Im Sternum befindet sich rotes Knochenmark. Eine **Sternalpunktion** wird in der Medianlinie im Corpus sterni zwischen der 2. und 3. Rippe durchgeführt. Weiter kaudal darf man nicht punktieren, da durch eine paarige Knorpelanlage in der Entwicklung hier ein Knochenspalt (**Fissura sterni congenita**) vorhanden sein kann.

Brustkorb

Rippen und Sternum bilden zusammen den Brustkorb (**Thorax**, ▶ **Abb. 9.18**), der nicht nur den Brustraum (Cavitas thoracis) umschließt, sondern auch Teile des oberen Bauchraums (Regio abdominalis superior). Da die Wirbelkörper von dorsal in den Brustkorb vorspringen, erscheint die Cavitas thoracis im Querschnitt nierenförmig. Seitlich der Wirbelkörper entsteht jeweils eine sich nach kaudal verbreiternde Rinne (**Sulcus pulmonalis**). Damit liegen die Brustorgane nicht nur ventral, sondern auch lateral der Wirbelkörper, was eine günstigere Gewichtsverteilung für den aufrechten Gang liefert.

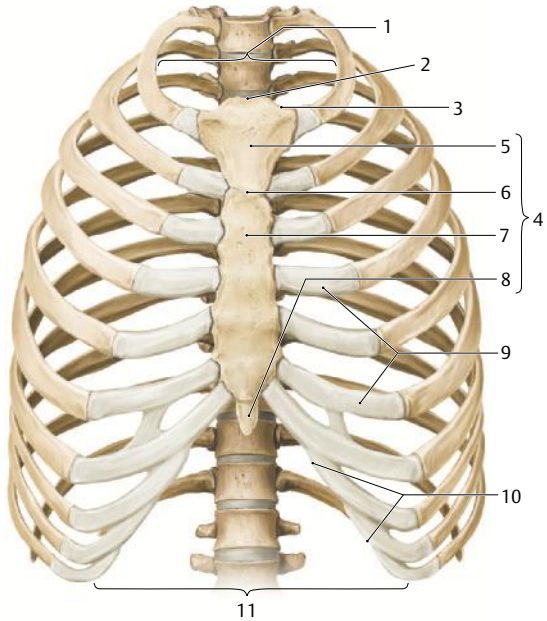


Abb. 9.18 Sternum und Brustkorb von ventral. Dargestellt ist der mit 33 % seltenere Fall, in dem die knorpelige Verbindung mit dem Sternum bis zur 10. Rippe reicht. Bei zwei Dritteln der Bevölkerung reicht die Verbindung nur bis zur 9. Rippe.

1 Apertura thoracis superior
2 Incisura jugularis
3 Incisura clavicularis
4 Sternum
5 Manubrium sterni
6 Angulus sterni
7 Corpus sterni
8 Processus xiphoideus
9 Cartilago costalis
10 Arcus costalis
11 Apertura thoracis inferior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Beim Neugeborenen ist der Thorax fassförmig, die Rippen stehen in der Horizontalebene nahezu parallel. Der sagittale Durchmesser ist relativ größer als beim Erwachsenen, jedoch stets kleiner als der Querdurchmesser. In der Adoleszenz neigen sich die Rippen zunehmend nach ventrokaudal. Dadurch verkleinert sich der Rippenbogenwinkel (Angulus infrasternalis) und die untere Thoraxöffnung. Bei der Frau ist der Brustkorb in der Regel etwas kürzer und schmaler als beim Mann. Mit zunehmendem Alter wird der Rippenbogenwinkel spitzer, zeigt jedoch konstitutionelle Variationen.

Die obere Thoraxöffnung (**Apertura thoracis superior**[1]) wird vom 1. Brustwirbel, dem 1. Rippenpaar und dem Oberrand des Manubrium sterni umgrenzt. Die enge Eingangsebene liegt schräg nach ventral gekippt.

Die weite untere Thoraxöffnung (**Apertura thoracis inferior**[11]) wird vom 12. Brustwirbel, den freien Enden der 11. und 12. Rippe, den Arcus costales und dem Processus xiphoideus eingefasst.

Skoliosen der Brustwirbelkette führen zu einer Verformung des Brustkorbs, die zu einer Verlagerung der Brustorgane und zu Funktionsstörungen führen kann (häufig Fixierung des Thorax in Exspirationsstellung).

9.4.2 Gelenkige Verbindungen der Rippen

Die Rippen bilden mit ihrem Caput und dem Tuberculum Gelenke mit dem **Wirbel**, mit ihrem knorpeligen Anteil Gelenke bzw. Synchondrosen mit dem **Sternum**.

Articulationes costovertebrales (► Abb. 9.19)

Der Rippenkopf der 1., 11. und 12. Rippe artikuliert mit den dazugehörenden Brustwirbelkörpern, während die 2.–10. Rippe kranial verschoben und deshalb mit 2 benachbarten Wirbelkörpern gelenkig verbunden ist. Auf Höhe der Zwischenwirbelscheibe findet sich ein Band (**Lig. capitis costae intraarticulare**[9]), das die beiden Gelenkräume trennt. Die Gelenkkapsel wird durch das **Lig. capitis costae radiatum**[8] ventral verstärkt.

Der Rippenhöcker (Tuberculum costae) der 1.–10. Rippe lagert sich an den Processus transversus des entsprechenden Brustwirbels an. An der Hinterfläche dieses Gelenks findet man eine Bandverstärkung (**Lig. costotransversarium laterale**[4]) zwischen der Spitze des Processus transversus und dem Tuberculum costae. Nach medial stabilisiert das **Lig. costotransversarium**[5] den Rippenhals am dazugehörigen Processus transversus. Durch das **Lig. costotransversarium superius**[7] wird der Rippenhals am Querfortsatz des nächst höheren Wirbels aufgehängt.

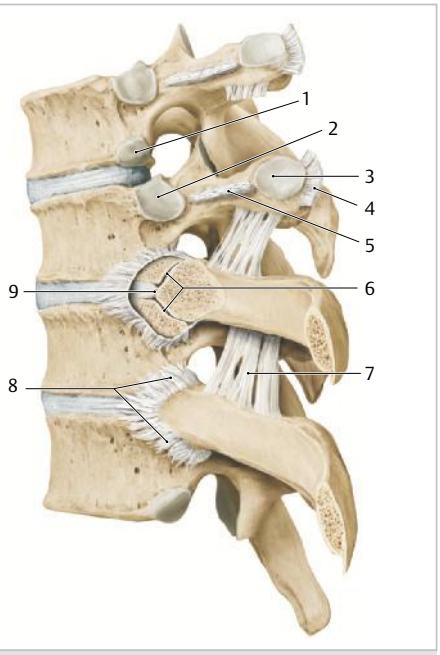


Abb. 9.19 Rippen-Wirbel-Gelenke Th 5–8 von links.
1 Fovea costalis inferior
2 Fovea costalis superior
3 Fovea costalis processi transversi
4 Lig. costotransversarium laterale
5 Lig. costotransversarium
6 Facies articularis capitis costae
7 Lig. costotransversarium superius
8 Lig. capitis costae radiatum
9 Lig. capitis costae intraarticulare
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Articulationes sternocostales

Die 1. Rippe, häufig auch die 6. und 7. Rippe, ist mit ihrem knorpeligen Teil synchondrotisch mit dem Sternum verbunden. Die 2.–5. Rippe bildet mit ihrem knorpeligen Abschnitt echte Gelenke, die außen durch **Ligg. sternocostalia radiata** stabilisiert werden, die in die Membrana sterni einstrahlen. Im Sternokostalgelenk der 2. Rippe, weniger regelmäßig auch der 3., 4. oder 5. Rippe, findet sich ein **Lig. sternocostale intraarticulare**, das den Gelenkspalt in 2 Räume trennt.

9.4.3 Brustmuskulatur (▶ Abb. 9.20)

Die Brustmuskulatur besteht aus der **Zwischenrippenmuskulatur** (Mm. intercostales externi, interni und intimi), die jeweils benachbarte Rippen miteinander verbindet, sowie dem **M. subcostalis** und dem **M. transversus thoracis**, die sich über mehrere Segmente ausspannen. Innerviert werden sie von den Nn. intercostales.

Die **Mm. intercostales externi**[2] bilden die oberflächliche Schicht der Zwischenrippenmuskulatur und erstrecken sich von Tuberculum costae bis zur Knochen-Knorpel-Grenze der Rippen. Ihre Fasern verlaufen schräg von dorsal kranial nach ventral kaudal. Zwischen den Rippenknorpeln tritt eine Membrana intercostalis externa an die Stelle der Muskelfasern.

Die **Mm. intercostales interni**[1] erstrecken sich vom Sternum bis zum Angulus costae. Im dorsalen Rippenbereich werden sie von der Membrana intercostalis interna ersetzt. Die Muskelfasern verlaufen quer zu den äußeren Rippenmuskeln – von dorsal kaudal nach ventral kranial.

Die **Mm. intercostales intimi** haben den gleichen Faserverlauf wie die inneren Rippenmuskeln und grenzen sich von Letzteren durch die Leitungsbahnen im Sulcus costae ab. Im kaudalen Thoraxbereich finden sich in der Nähe der Rippenwinkel die **Mm. subcostales**[3], die ebenfalls den Faserverlauf der inneren Rippenmuskeln zeigen, jedoch mindestens ein Segment überspringen. Anzahl und Häufigkeit sind sehr variabel. Auch die äußeren Rippenmuskeln können sich in seltenen Fällen segmentübergreifende Fasern bilden (Mm. supracostales).

Der **M. transversus thoracis**[4] bildet die innerste Schicht der Brustmuskeln und findet sich im unteren Bereich des Corpus sterni und am Processus xiphoideus. Von dort ziehen die Muskelfasern nahezu horizontal bzw. leicht schräg aufwärts zum

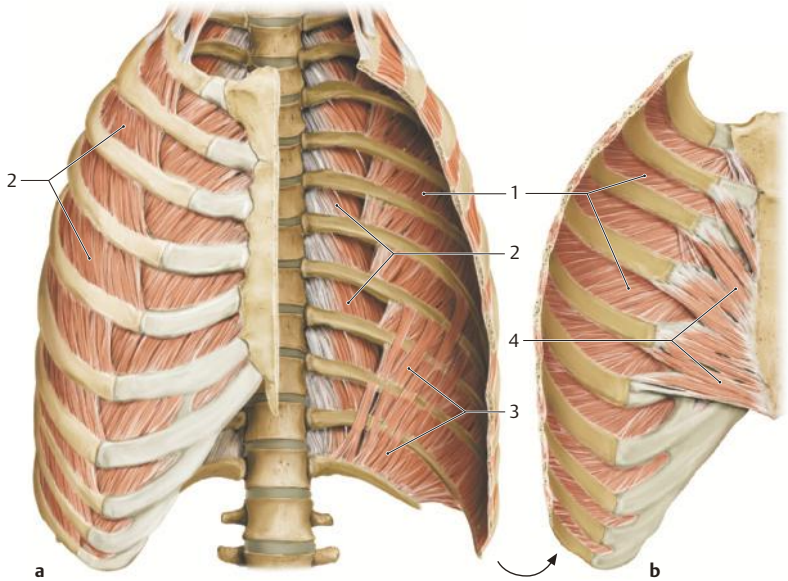


Abb. 9.20 Brustkorbmuskulatur.
1 Mm. intercostales interni
2 Mm. intercostales externi
3 Mm. subcostales
4 M. transversus thoracis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Knochen-Knorpel-Übergang der 2.–6. Rippe. Teile des Muskels können sehnig umgewandelt sein.

Die Funktion der Brustmuskeln ist bei der Atemmechanik beschrieben (S. 231).

9.4.4 Brustdrüse

Entwicklung. Die Anlagen der Brustdrüsen (Glandulae mammariae) entstehen entlang der Milchleisten, die beidseitig von der Axilla bis zur Leistenbeuge ziehen. Bis auf das thorakale Paar bilden sich die Anlagen in der Regel zurück.

Akzessorische Brustwarzen (**Polythelie**) kommen in seltenen Fällen entlang der Milchleisten vor, überwiegend in der Axillarregion. Bildet sich eine vollständige zusätzliche Brustdrüse aus, spricht man von Polymastie.

Mit Eintritt der Menarche kommt es durch einen Anstieg weiblicher Sexualhormone zum Wachstum des Drüsenbaums und der Ausbildung der typisch weiblichen Brustform.

Der Begriff „Mamma" bezeichnet die weibliche Brust, die aus Brustdrüse (Glandula mammaria), Fett- und Bindegewebe besteht. Mitunter wird aber „Mamma" auch synonym für die Brustdrüse verwendet.

Aufbau (▶ **Abb. 9.21a**). Von außen erkennt man im Zentrum der Brust die Brustwarze (**Papilla mammaria, Mamille**[4]) die von dem variabel breiten, meist stark pigmentierten Warzenhof (**Areola mammae**) umgeben ist. In der Brustwarze treffen sich die Ausführungsgänge (Ductus lactifer colligens[6]) der 10–20 eigenständigen Drüsenlappen (Lobi glandulae mammariae[3]) und bilden mehrere weitlumige Milchsäckchen (Sinus lactiferi[5]). Im Warzenhof weisen zahlreiche kleine Höcker auf die apokrinen Duftdrüsen und freien Talgdrüsen hin.

Formabweichungen der Brustwarzen können das Stillen erschweren. Wenn das Bindegewebswachstum der Brustwarzen zurückbleibt, entsteht eine **Flachwarze**. Bleibt das Bindegewebe noch stärker zurück, münden die Ausführungsgänge in einer kleinen Grube. Diese Situation bezeichnet man als **Hohlwarze**.

Das Brustdrüsengewebe liegt ventral der Fascia pectoralis in der Unterhaut (**Glandula mammaria**). Zusammen mit dem umgebenden Binde- und Fettgewebe wird es als Corpus mammae bezeichnet. Die Bindegewebszüge, die das Drüsengewebe an der Brustfaszie (Fascia pectoralis[1]) fixieren, nennt man Ligg. suspensoria mammaria[2].

Gefäßversorgung. Die **arterielle Blutversorgung** der Mamma verläuft über Rr. perforantes der A. thoracica interna (Rr. mammarii mediales aus dem 2.–4. Interkostalraum), Äste der A. thoracica lateralis (Rr. mammarii laterales) und direkte Gefäße der 2.–5. Interkostalarterien.

Um den Warzenhof bildet sich ein **Venengeflecht** (Plexus venosus areolaris), das über größere oberflächliche Venen mit der V. thoracica interna und lateralis in Verbindung steht. Während der Laktation sind diese Venen oft deutlich durch die Haut sichtbar.

Die **Lymphabflüsse der Mamma** (▶ **Abb. 9.21b**, s. a. ▶ Tab. 20.3) sind als Ausbreitungswege von Karzinommetastasen von besonderer Bedeutung. Aus einem oberflächlichen und einem tiefen miteinander kommunizierendem Netz verlaufen die Lymphgefäße zu den Lymphknoten der Axilla , die in 3 Etagen eingeteilt werden:

- Zur unteren Etage (lateral des M. pectoralis minor) zählen die Nodi lymphoidei paramammarii[10], axillares laterales[11], axillares pectorales[12] und axillares subscapulares[13].
- Zur mittleren Etage (auf Höhe des M. pectoralis minor) zählen die Nodi lymphoidei axillares interpectorales[15] und centrales[14].
- Zur oberen Etage (medial des M. pectoralis minor) zählen die Nodi lymphoidei axillares apicales[8].
- Ein vierter Lymphabfluss verläuft medial über die Nodi lymphoidei parasternales[9] (an den Vasa thoracica interna), die teils über die Medianlinie zur Gegenseitereichen, und zu den Nodi lymphoidei intercostales (in der Nähe der Rippenköpfe).

Nach kaudal gibt es Anastomosen durch das Zwerchfell mit der Oberbauchregion. Hier können ebenfalls Metastasen eines Mammakarzinoms gefunden werden.

Innervation. Innerviert wird die Brustdrüse sensibel durch Äste des 2.–6. Interkostalnervs (Rr. mammarii laterales und mediales), kranial teilweise auch durch die Nn. supraclaviculares. Sekretorische Nervenfasern stammen aus dem perivaskulären sympathischen Geflecht.

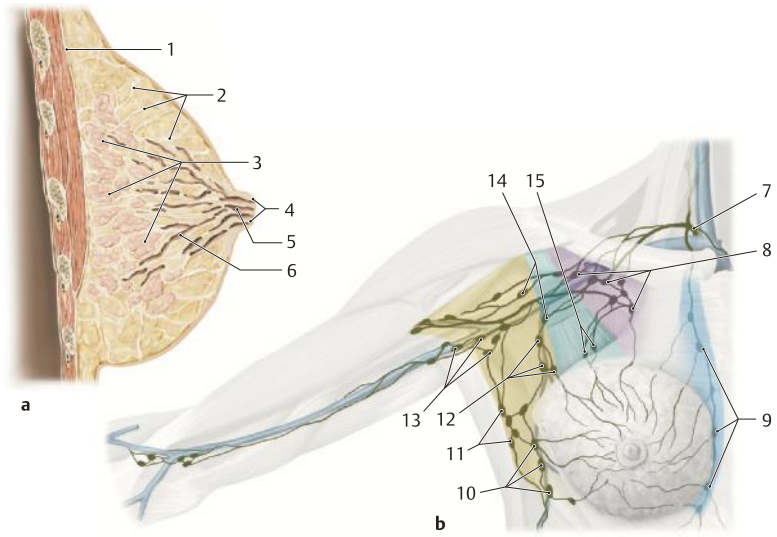


Abb. 9.21 Aufbau (a) und Lymphabfluss (b) der weiblichen Brustdrüse.

1 Fascia pectoralis
2 Ligg. suspensoria mammaria
3 Lobi glandulae mammariae
4 Papilla mammaria
5 Sinus lactifer
6 Ductus lactifer colligens
7 Ductus lymphaticus dexter
8 Nodi lymphoidei axillares apicales (obere Etage des Lymphabflusses)
9 Nodi lymphoidei parasternales (medialer Lymphabfluss)
10–13 untere Etage des Lymphabflusses
10 Nodi lymphoidei paramammarii
11 Nodi lymphoidei axillares laterales
12 Nodi lymphoidei axillares pectorales
13 Nodi lymphoidei axillares subscapulares
14–15 mittlere Etage des Lymphabflusses
14 Nodi lymphoidei axillares centrales
15 Nodi lymphoidei axillares interpectorales

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Laktation. Die ruhende Brustdrüse (Mamma non lactans) verändert sich während des ovariellen Zyklus nur geringgradig. Ab dem 2. Monat der Gravidität beginnen sich die Milchgänge jedoch unter dem Einfluss von Östrogen zu vergrößern und weiter aufzuzweigen. Stimuliert durch Progesteron bilden sich an den Enden Alveolen. Das Bindegewebe wird zurückgedrängt. Ab dem 8. Schwangerschaftsmonat stimuliert Prolactin die Vormilchbildung (Kolostrum), eine gelbliche, eiweißreiche, fett- und kohlenhydratarme Flüssigkeit. Wenige Tage nach der Geburt beginnt durch das Saugen des Neugeborenen die Milchsekretion (Mamma lactans), das zu einer erneuten Ausschüttung von Prolactin und Oxytocin führt und die Milchproduktion aufrecht hält.

Beim **Abstillen** kommt es zu einer Milchstauung. Die Alveolen reißen ein und werden zurückgebildet. Milchreste werden phagozytiert und vornehmlich auf dem Lymphweg abtransportiert. Lockeres Bindegewebe wird gebildet, und das Verhältnis von Binde- zu Drüsengewebe wird auf das der ruhenden Brustdrüse zurückgeführt.

Männliche Brustdrüse. Die männliche Glandula mammaria bleibt klein mit einem Durchmesser von etwa 1,5 cm und einer Dicke von 0,5 cm. Unter dem Einfluss weiblicher Sexualhormone (z. B. bei hormonellen Schwankungen während der Pubertät oder bei ausgeprägter Adipositas) kann es zu einem Anschwellen der männlichen Brustdrüse (Gynäkomastie) und sogar zu einer leichten Sekretion kommen.

9.5 Bauchwand

9.5.1 Bauchfaszien (▶ Abb. 9.22)

Man unterscheidet bei der Bauchwand eine **oberflächliche Schicht**, die aus Haut, Unterhaut und allgemeiner Körperfaszie (Fascia abdominis superficialis) besteht, eine **mittlere Schicht**, in der die Bauchmuskeln und ihre Sehnenplatten liegen, und eine **tiefe Schicht** aus subserösem Bindegewebe und dem parietalen Peritoneum.

Die **oberflächliche Bauchfaszie** (**Fascia abdominis superficialis**[1]) überzieht die vordere Bauchmuskulatur als dünne, bindegewebige Platte. Median im Bereich der Linea alba ist sie fest mit der Aponeurose des M. obliquus externus abdominis, in der Leistenfurche mit dem Leistenband verbunden. Sie zieht auch mit dem Samenstrang als Teil der **Fascia spermatica externa** in den Hodensack.

Die **Rektusscheide** (Vagina m. recti abdominalis) wird von den Aponeurosen der 3 seitlichen Bauchmuskeln (M. transversus abdominis, M. obliquus internus und externus abdominis) gebildet. Die Rektusscheide ist kranial anders aufgebaut als kaudal. Die scharfe Grenze dieser beiden Bereiche ist als **Linea arcuata** (Douglas) innen an der Bauchwand sichtbar und befindet sich etwa 2 Fingerbreit kaudal des Nabels.

Oberhalb der Linea arcuata (▶ **Abb. 9.22a**) bildet die Rektusscheide ein **vorderes Blatt**[7] (aus den Aponeurosen der beiden Mm. obliqui abdominis[9, 10]) und ein **hinteres Blatt**[8] (aus der gespaltenen Aponeurose des M. obliquus internus abdominis[10] und des M. transversus abdominis[11]). In der Medianlinie kommt es teilweise zur Verflechtung der beiden Blätter. Dieser senkrecht verlaufende Bereich, der etwa 2 cm breit ist, wird als **Linea alba**[6] bezeichnet. Etwas unterhalb der Mitte zwischen Sternum und Symphyse liegt in der Linea alba der **Nabel**. Die vom Anulus umbilicalis umrahmte Durchtrittsstelle der embryonalen Nabelgefäße

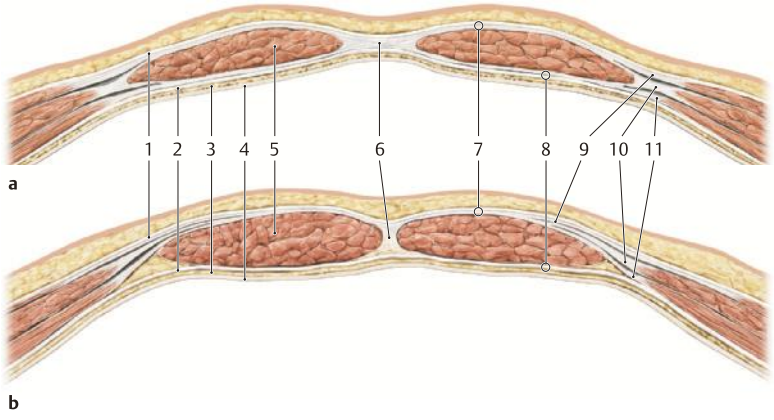


Abb. 9.22 Aufbau der Bauchwand im Querschnitt, kranial (**a**) und kaudal (**b**) der Linea arcuata. Oberhalb der Linea arcuata besteht die Rektusscheide ventral aus der Aponeurose des M. obliquus externus abdominis und dem ventralen Teil der gespaltenen Aponeurose des M. obliquus internus abdominis. Zur Bauchhöhle hin setzt sie sich zusammen aus dem dorsalen Teil der gespaltenen Aponeurose des M. obliquus internus abdominis und der Aponeurose des M. transversus abdominis. Unterhalb der Linea arcuata verlaufen dagegen alle 3 Aponeurosen (von M. obliquus externus abdominis, M. obliquus internus abdominis und M. transversus abdominis) ventral des M. rectus abdominis. Die Rückseite bedeckt hier nur die Fascia transversalis und das Peritoneum.

1 Fascia abdominis superficialis
2 Fascia transversalis
3 präperitonealer Raum
4 Peritoneum parietale
5 M. rectus abdominis
6 Linea alba
7 Vagina m. recti abdominis, Lamina anterior
8 Vagina m. recti abdominis, Lamina posterior
9 Aponeurosis m. obliquus externus abdominis
10 Aponeurosis m. obliquus internus abdominis
11 Aponeurosis m. transversus abdominis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

wird postnatal von Bindegewebe ausgefüllt und als Nabelpapille (Papilla umbilicalis) bezeichnet.

Unterhalb der Linea arcuata (▶ **Abb. 9.22b**) verlaufen die Aponeurosen aller 3 seitlichen Bauchmuskeln *vor* dem M. rectus abdominis. Die Rückseite der Muskulatur ist hier nur von der dünnen inneren Bauchfaszie (Fascia transversalis) und dem Peritoneum bedeckt.

Die **innere Bauchfaszie** (**Fascia transversalis**[2]) bedeckt die Innenseite der Bauchwand und setzt sich kranial auf das Zwerchfell fort. Sie ist mit dem Peritoneum[4] fest verbunden. Verstärkungen befinden sich in der Nabelgegend (Fascia umbilicalis) und am Leistenkanal (Tractus iliopubicus). Am inneren Leistenring (Anulus inguinalis profundus, s. u.) stülpt sich die Faszie als **Fascia spermatica interna** durch den Leistenkanal. Medial des Anulus inguinalis profundus wird die Faszie durch das Lig. interfoveolare verstärkt.

An der kaudalen Bauchwand ist das Unterhautfettgewebe mit kräftigen Bindegewebslamellen durchsetzt (Stratum membranosum abdominis, Scarpa-Faszie) und wird als Panniculus adiposus abdominis bezeichnet. In dieser Schicht befinden sich die größeren subkutanen Gefäßstämme. Ein Teil der Bindegewebszüge strahlt als Lig. fundiforme penis bzw. clitoridis in den Penis- bzw. Clitorisschaft.

Der Nabel weist während der Embryonalentwicklung einen physiologischen Bruch auf, in dem sich zunächst Teile des Dünndarms bilden. Daraus ergeben sich 2 unterschiedliche Ursachen für einen **Nabelbruch** (**Hernia umbilicalis**): Bei einem **angeborenen Nabelbruch** fehlt die vollständige Rückbildung und Verlagerung der Darmschlingen in den Bauchraum. Der Bruchsack ist sehr dünn und besteht aus Peritoneum und Amnion. Der **erworbene Nabelbruch** entsteht entweder bevor die Nabelregion stabilisiert wird (z. B. bei heftigem Schreien eines Säuglings) oder bei starker Dehnung des normal entwickelten Nabels (besonders bei Schwangerschaft).

Durch massive Fetteinlagerungen oder im Rahmen einer Schwangerschaft kann es zum Auseinanderweichen der beiden Mm. recti und zu einer Verbreiterung der Linea alba und damit zur Bildung einer **Rektusdiastase** kommen. Eine kleine **Hernia epigastrica** kann durch die Ausdehnung einer Lücke innerhalb der Linea alba oberhalb des Nabels entstehen.

9.5.2 Bauchmuskulatur

Die **oberflächlichen Bauchmuskeln** gliedern sich in 2 Gruppen: In die seitlichen Bauchmuskeln (M. obliquus externus und internus abdominis, M. transversus abdominis) und die mediale Gruppe (M. rectus abdominis, M. pyramidalis). Zu den **tiefen Bauchmuskeln** zählen der M. quadratus lumborum und der M. psoas major. Innervation: Rr. anteriores der Nn. thoracici V–XII und der Nn. lumbales I–II.

Oberflächliche Bauchmuskeln (▶ Abb. 9.23)

Der **M. obliquus externus abdominis**[5] entspringt mit 8 Zacken an der Außenfläche der 5.–12. Rippe, verzahnt mit dem M. serratus anterior und dem M. latissimus dorsi. Er zieht schräg von dorsal kranial nach ventral kaudal und endet medial in der Aponeurose parallel zum lateralen Rand des M. rectus abdominis[9]. Kaudal enden muskuläre Faserzüge an der Crista iliaca und am lateralen Teil des Leistenbands, die Aponeurose zieht bis zum Os pubis und der Linea alba.

Etwas oberhalb der Spina iliaca anterior superior endet der Muskel an einer horizontalen Linie, die bei Trainierten als Muskelecke sichtbar werden kann.

Die Muskelfasern des M. latissimus dorsi beginnen häufig nicht direkt am M. obliquus externus abdominis, sondern etwas weiter kaudal der Crista iliaca, sodass ein sehnig überdecktes Trigonum lumbale entsteht, bei dem die oberflächliche Muskelschicht fehlt und das somit eine Schwachstelle für pathologische Prozesse (z. B. Durchbrechen von Wirbelkettenabszessen oder selten Hernien) bietet.

Am kaudalen Ende lösen sich einige Muskelfasern aus der flächigen Anordnung und ziehen beim Mann als M. cremaster mit dem Samenstrang durch den Leistenkanal zum Hoden. Der Hoden kann so im Skrotum an den Rumpf gezogen werden. Bei der Frau können einzelne Fasern mit dem Lig. teres uteri zum äußeren Leistenring ziehen.

Der **M. transversus abdominis**[7] entspringt von der Innenseite des 7.–12. Rippenknorpels, von den Processus costales der Lendenwirbel und vom Labium internum der Crista iliaca. Die Muskelfasern verlaufen horizontal und strahlen in einer halbmondförmigen, nach lateral konvexen Linie (Linea semilunaris) in die Aponeurose ein.

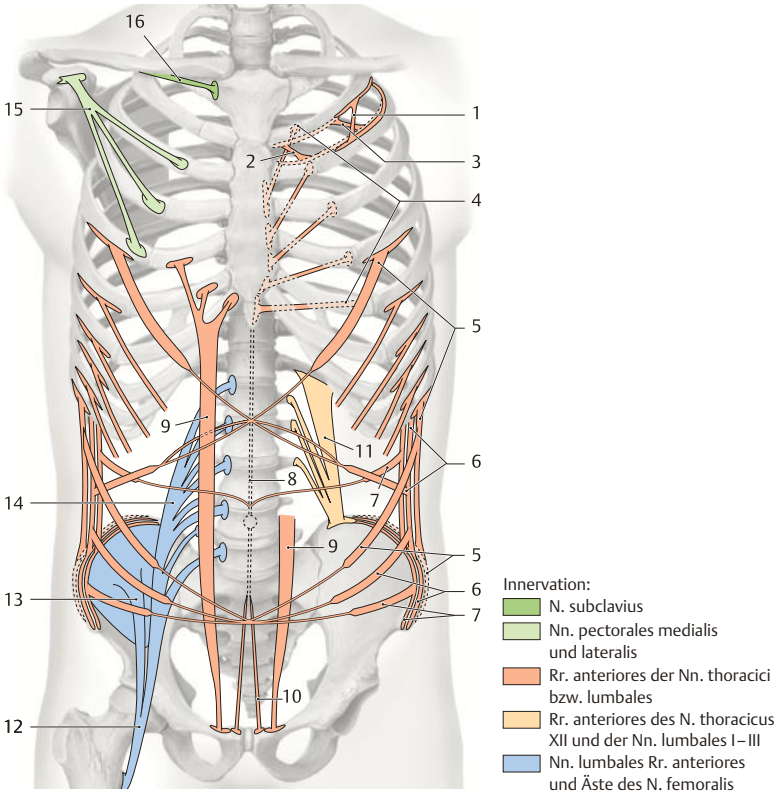


Abb. 9.23 Muskeln der Brust- und Bauchwand.
1 M. intercostalis externus
2 M. intercostalis internus zwischen Rippenknorpeln
3 M. intercostalis internus zwischen knöchernen Rippen
4 M. transversus thoracis
5 M. obliquus externus abdominis
6 M. obliquus internus abdominis
7 M. transversus abdominis
8 Linea alba
10 M. pyramidalis
11 M. quadratus lumborum
12 M. iliopsoas
13 M. iliacus
14 M. psoas major
15 M. pectoralis minor
16 M. subclavius
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Der **M. rectus abdominis**[9] zieht als Streifen beidseits der Medianlinie vom sternalen Ende der 5.–7. Rippe zum Oberrand des Os pubis (Crista pubica). Unregelmäßig angeordnete Zwischensehnen (Intersectiones tendineae) gliedern den Muskel in 4–5 Muskelbäuche, die unabhängig voneinander kontrahiert werden können.

Die Intersectiones tendineae bilden eine Pseudometamerie, die nicht mit den Myotomen der Somiten übereinstimmt. Sie sind ventral mit dem vorderen Blatt der Rektusscheide und medial mit der Linea alba verwachsen. Somit ist der Muskel bei Bauchwandbewegungen stets in seiner paramedianen Lage fixiert.

Der **M. pyramidalis**[10] ist variabel ausgebildet (teilweise nur als Bindegewebsstrang) und zieht von der Symphyse zur Linea alba unterhalb der Linea arcuata.

Tiefe Bauchmuskeln (▶ Abb. 9.23)

Der **M. quadratus lumborum**[11] hat seinen Ursprung an der Crista iliaca (Labium internum). Die ventralen Muskelfasern verlaufen lateral der Lendenwirbelkette zur 12. Rippe, die dorsalen Muskelfasern ziehen zu den Processus costales von L 1–3.

M. psoas major[14] und M. iliacus[13], die mitunter zu den tiefen Bauchmuskeln gezählt werden, gehören funktionell zur Hüftmuskulatur (S. 600).

9.5.3 Inguinalregion (▶ Abb. 9.24)

Die Leistenregion grenzt die Bauchwand nach kaudal zur unteren Extremität und zum Becken hin ab. Durch den **Leistenkanal** zieht beim Mann der Samenstrang (Funiculus spermaticus), bei der Frau das Lig. teres uteri und Lymphgefäße. Die dünnere Wand im Bereich des Ein- und Austritts des Leistenkanals stellt eine Schwachstelle dar, die häufig zu Hernien führt.

Das Leistenband (**Lig. inguinale**[12]) zieht von der Spina iliaca anterior superior zum Tuberculum pubicum und bildet die kaudale Begrenzung der Bauchwand. Es ist eine bindegewebige Verstärkung der Fascia iliaca (gemeinsame Muskelfaszie von M. iliacus und M. psoas major). Der mediale Teil des Leistenbandes entsteht aus den Aponeurosen der seitlichen Bauchmuskeln (M. transversus abdominis, M. obliquus internus und externus abdominis[2]).

Beide Anteile sind nach ventral mit der oberflächlichen Bauchfaszie und ventrolateral mit der Fascia lata verschmolzen. Ein Bindegewebsstrang verläuft vom Leistenband nach dorsal (**Arcus iliopectineus**[13]) und gliedert so den Raum zwischen Beckenknochen und Leistenband in eine Lacuna musculorum und eine Lacuna vasorum. Die mediale, verbreiterte Anheftung des Leistenbands wird Lig. lacunare genannt.

Da die Lacuna vasorum nur Gefäße und Nerven enthält, die bei erhöhtem abdominalem Druck komprimiert werden können, ist diese Region als Schwachstelle zu werten. Die dadurch entstehenden Hernien werden als **Hernia femoralis** bezeichnet (kommt besonders bei Frauen vor).

Der **Leistenkanal** (**Canalis inguinalis**, ▶ Tab. 9.1) durchzieht die vordere Bauchwand oberhalb des Leistenbandes. Er verläuft von dorsal lateral nach ventral medial und ist etwa 4 cm lang. Das Innere des Kanals ist vollständig mit Gewebe (Funiculus spermaticus[6] beim Mann, Lig. teres uteri bei der Frau) ausgefüllt.

Den Boden bildet neben dem Leistenband der kaudale Rand der Aponeurose des M. obliquus externus abdominis, der sich nach dorsal einschlägt und dann nach medial richtung Linea alba zieht (**Lig. reflexum**[5]). So entsteht eine schräg nach medial laufende bindegewebige Rinne. Gleichzeitig bildet die Aponeurose damit auch die vordere Wand des Leistenkanals.

Das Dach des Leistenkanals wird vom kaudalen Rand der Aponeurose des M. obliquus internus abdominis und M. transversus abdominis gebildet. Die hintere Wand wird von der Fascia transversalis geformt.

Die äußere, mediale Öffnung des Leistenkanals (**Anulus inguinalis superficialis**[8]) ist von der oberflächlichen Bauchfaszie[1] bedeckt, die sich beim Mann als Fascia spermatica externa um den Samenstrang in Richtung Hoden legt. Die Aponeurose des M. obliquus externus abdominis begrenzt die schlitzförmige Öffnung mit einem bindegewebigen **Crus mediale**[11] (ventromedial) und einem **Crus laterale**[9] (dorsokaudal). Lateral der Öffnung findet man Bindegewebszüge, die die beiden Crura miteinander verbinden (**Fibrae intercrurales**[10]).

Die innere, laterale Öffnung (**Anulus inguinalis profundus**[15]) ist durch eine Einziehung der Fascia transversalis (Processus vaginalis), die beim Mann

Tab. 9.1 Begrenzungen des Leistenkanals.

Anteil	Richtung	Struktur
Dach	kranial	Aponeurose des M. obliquus internus abdominis und M. transversus abdominis
Boden	kaudal	kaudaler Rand der Aponeurose des M. obliquus externus abdominis, verstärkt vom Leistenband
Vorderwand	ventral	Aponeurose des M. obliquus externus abdominis
Hinterwand	dorsal	Fascia transversalis

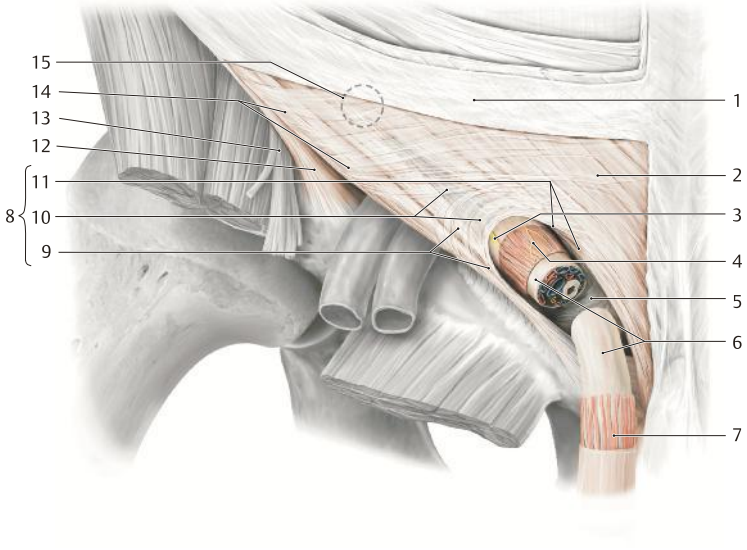


Abb. 9.24 Leistenregion beim Mann von ventral.
1 Fascia abdominis superficialis
2 Aponeurose des M. obliquus externus abdominis
3 N. ilioinguinalis
4 N. genitofemoralis, R. genitalis
5 Lig. reflexum
6 Funiculus spermaticus
7 M. cremaster
8 Anulus inguinalis superficialis
9 Crus laterale
10 Fibrae intercrurales
11 Crus mediale
12 Arcus iliopectineus
13 N. femoralis
14 Lig. inguinale
15 Angulus inguinalis profundus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

als Fascia spermatica interna durch den Leistenkanal zieht, von innen erkennbar. Bei der Frau bildet sich der Processus vaginalis in der Regel zurück.

Ein persistierender Processus vaginalis bei der Frau wird als **weibliche Hydrozele** oder Nuck-Zyste bezeichnet.

Betrachtet man die **Bauchwand von innen** (▶ **Abb. 9.25**), so erkennt man kaudal beidseits 3 Einsenkungen, die durch Gewebefalten voneinander getrennt sind:

- In der Medianlinie bildet sich die Plica umbilicalis mediana[2] durch den obliterierten, von der Blase zum Nabel ziehenden Urachus (Lig. umbilicale medianum). Die seitlich davon liegende Einsenkung wird jeweils als **Fossa supravesicalis**[7] bezeichnet und seitlich von der Plica umbilicalis medialis[3] begrenzt. In dieser verläuft die meist zum Lig. umbilicale mediale obliterierte A. umbilicalis.
- Lateral der Plica umbilicalis medialis liegt die mediale Leistengrube (**Fossa inguinalis medialis**[6]). Von ventral projiziert sich auf diese Region der äußere Leistenring. Da in diesem Bereich keine Muskelplatten existieren, ist er relativ anfällig bei einem erhöhten intraabdominalen Druck.
- Seitlich der medialen Leistengrube wird die Rückseite der Bauchwand durch die Vasa epigastrica inferiora[12] zu einer Falte (Plica umbilicalis lateralis[4] bzw. Plica epigastrica) aufgeworfen. Seitlich davon befindet sich die laterale Leistengrube (**Fossa inguinalis lateralis**[5]), deren tiefste

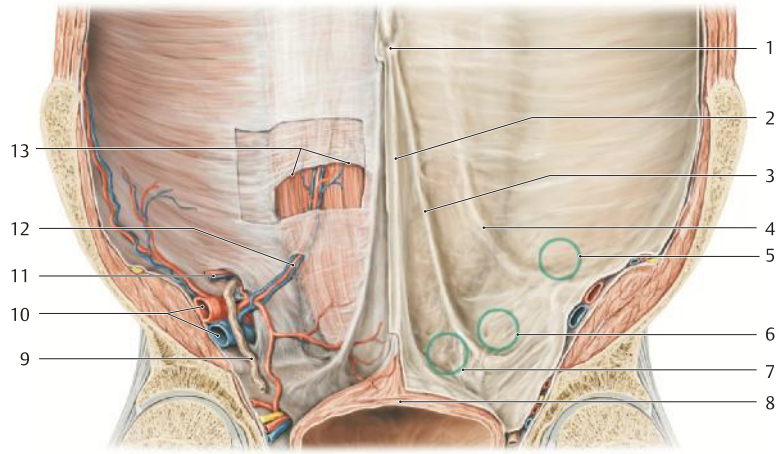


Abb. 9.25 Innenrelief des Unterbauchs beim Mann von dorsal.
1 Umbilicus
2 Plica umbilicalis mediana
3 Plica umbilicalis medialis
4 Plica umbilicalis lateralis
5 Fossa inguinalis lateralis
6 Fossa inguinalis medialis
7 Fossa supravesicalis
8 Vesica urinaria
9 Ductus deferens
10 A. und V. femoralis
11 A. und V. testicularis
12 A. und V. epigastrica inferior
13 Linea arcuata
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

mediale Grube den Bereich des inneren Leistenrings markiert.

Leistenbrüche: Die lateralen Leistenbrüche (**Herniae inguinales laterales**) schieben sich von der Fossa inguinalis lateralis (innerer Leistenring) aus durch den Leistenkanal und den äußeren Leistenring nach außen. Sie werden deshalb auch als **indirekte Hernien** bezeichnet.

Wenn der Processus vaginalis peritonei nicht obliteriert ist, kann sich eine solche Hernie besonders leicht bilden und wird dann als **angeborene Leistenhernie** bezeichnet. Durch einen hohen intraabdominalen Druck wird der Peritonealsack einfach entlang des Processus vaginalis peritonei durch den Leistenkanal geschoben.

Die medialen Leistenbrüche (**Herniae inguinales mediales**) werden dagegen als **direkte Hernien** bezeichnet, da der Bruchsack von der Fossa inguinalis medialis aus in gerader Linie unmittelbar durch den äußeren Leistenring drückt. Sie sind stets erworben.

9.6 Bewegungsfunktionen des Rumpfes

Die Aufgaben der Rumpfmuskulatur lassen sich grob in 3 Funktionsbereiche einteilen. Mit einer **statischen Komponente** wird die Stabilisierung der Wirbelkette für den aufrechten Stand sichergestellt. Die **dynamische Komponente** gliedert sich in 2 Teilgebiete: Zum einen ist eine Beuge- und Drehbewegung des Rumpfes möglich, zum anderen wird durch eine Veränderung des Thoraxvolumens die Atmung sichergestellt. Die Atemmechanik (S. 231) wird separat besprochen.

9.6.1 Muskelstatik des aufrechten Standes

Für die aufrechte **Haltung des Körpers** im Stehen ist überwiegend der M. erector spinae verantwortlich. Durch seine vielen Auffiederungen bildet er die Grundlage für ein dynamisches Gleichgewicht, das die Bewegungen der Extremitäten und des

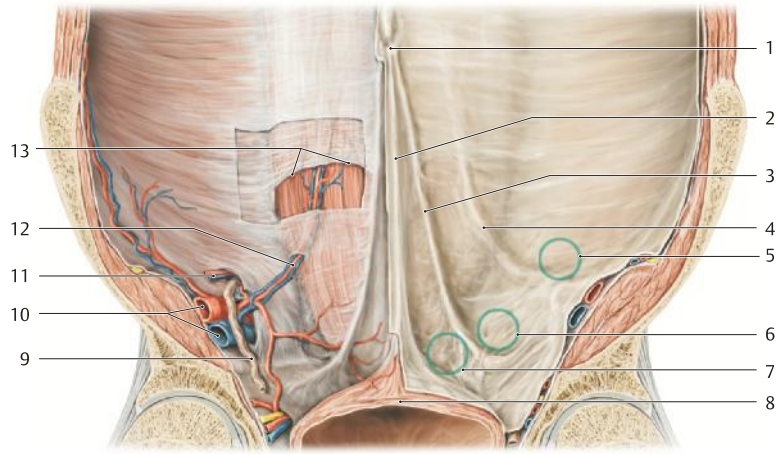


Abb. 9.25 Innenrelief des Unterbauchs beim Mann von dorsal.
1 Umbilicus
2 Plica umbilicalis mediana
3 Plica umbilicalis medialis
4 Plica umbilicalis lateralis
5 Fossa inguinalis lateralis
6 Fossa inguinalis medialis
7 Fossa supravesicalis
8 Vesica urinaria
9 Ductus deferens
10 A. und V. femoralis
11 A. und V. testicularis
12 A. und V. epigastrica inferior
13 Linea arcuata
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

mediale Grube den Bereich des inneren Leistenrings markiert.

Leistenbrüche: Die lateralen Leistenbrüche (**Herniae inguinales laterales**) schieben sich von der Fossa inguinalis lateralis (innerer Leistenring) aus durch den Leistenkanal und den äußeren Leistenring nach außen. Sie werden deshalb auch als **indirekte Hernien** bezeichnet.

Wenn der Processus vaginalis peritonei nicht obliteriert ist, kann sich eine solche Hernie besonders leicht bilden und wird dann als **angeborene Leistenhernie** bezeichnet. Durch einen hohen intraabdominalen Druck wird der Peritonealsack einfach entlang des Processus vaginalis peritonei durch den Leistenkanal geschoben.

Die medialen Leistenbrüche (**Herniae inguinales mediales**) werden dagegen als **direkte Hernien** bezeichnet, da der Bruchsack von der Fossa inguinalis medialis aus in gerader Linie unmittelbar durch den äußeren Leistenring drückt. Sie sind stets erworben.

9.6 Bewegungsfunktionen des Rumpfes

Die Aufgaben der Rumpfmuskulatur lassen sich grob in 3 Funktionsbereiche einteilen. Mit einer **statischen Komponente** wird die Stabilisierung der Wirbelkette für den aufrechten Stand sichergestellt. Die **dynamische Komponente** gliedert sich in 2 Teilgebiete: Zum einen ist eine Beuge- und Drehbewegung des Rumpfes möglich, zum anderen wird durch eine Veränderung des Thoraxvolumens die Atmung sichergestellt. Die Atemmechanik (S. 231) wird separat besprochen.

9.6.1 Muskelstatik des aufrechten Standes

Für die aufrechte **Haltung des Körpers** im Stehen ist überwiegend der M. erector spinae verantwortlich. Durch seine vielen Auffiederungen bildet er die Grundlage für ein dynamisches Gleichgewicht, das die Bewegungen der Extremitäten und des

Kopfes ausgleicht. Ergänzt und entlastet wird die Rückenmuskulatur durch einen Grundtonus der Bauchmuskeln.

Da der Rumpf auf den beiden unteren Extremitäten ausbalanciert werden muss, ist die **Position des Beckens** von grundlegender Bedeutung für die weiter kranial liegenden Muskelgruppen (▶ **Abb. 9.26**). Die Stabilisierung des Beckens am Übergang zu den Beinen wird im Stehen ventral vom M. iliopsoas[8] und M. quadriceps femoris[7], dorsal vom M. gluteus maximus[3] und der ischiokruralen Muskulatur[4] bewirkt (s. Kap. 10). Beim Einbeinstand wird das Muskelspiel durch den M. gluteus medius ergänzt. Der Rumpf wird im „Ruhestand" mit der Bauchmuskulatur ventral und dem lumbalen Anteil des M. erector spinae[10] dorsal so auf dem Becken eingestellt, dass der Schwerpunkt der Körpermasse auf den Hüftgelenken liegt. Beide Körperseiten wirken dabei synergistisch.

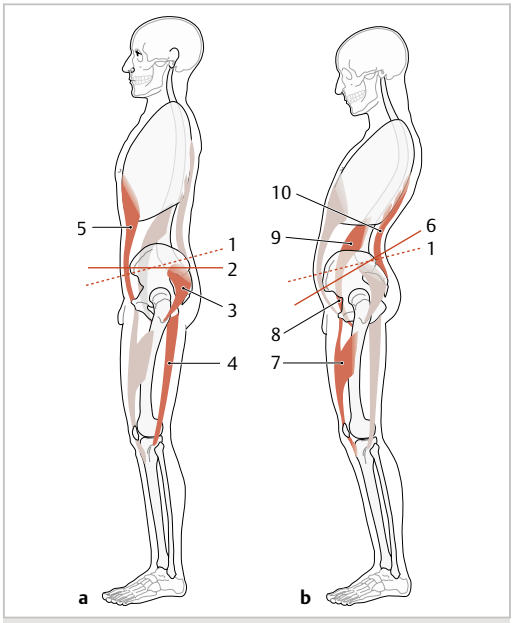


Abb. 9.26 Belastung der Muskelzüge und Stellung des Beckens bei **a** aktiver (strammer) und **b** passiver (schlaffer) Haltung.
1 normale Beckenstellung: 12° nach vorne gekippt
2 horizontal gestelltes Becken
3 M. gluteus maximus
4 ischiokrurale Muskulatur
5 Bauchmuskulatur
6 übermäßig nach vorne gekipptes Becken
7 M. quadriceps femoris
8 M. iliopsoas
9 M. psoas major
10 M. erector spinae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Konstitution des Körpers, aber auch dauerhafte Fehlhaltungen können zu einer **Überbelastung der stabilisierenden Muskeln** führen, die häufig mit chronischen Schmerzen verbunden sind. Dies passiert sehr leicht bei schlaffer Bauchmuskulatur oder durch massive Fetteinlagerung in der Bauchwand: das Becken kippt nach vorne, was durch eine Hyperlordose im Lendenbereich kompensiert wird. Gefestigt wird eine solche Fehlhaltung durch die Verkürzung des M. iliopsoas.

9.6.2 Beugen, Strecken, Drehen

Durch den Grundaufbau mit metamer angeordneten Einzelsegmenten gleicht die Beweglichkeit des Rumpfes einer Gliederkette, bei der entweder einzelne Abschnitte oder aber die Kette als Ganzes verformt wird. Die unterschiedliche Ausrichtung der Wirbelbogengelenke schränkt die Beweglichkeit in den einzelnen Abschnitten dabei teilweise deutlich ein. Die **Bewegungsrichtungen** des Rumpfes in den Hauptebenen sind:

- Ventral- und Dorsalflexion in der Sagittalebene,
- Lateralflexion in der Frontalebene,
- Torsion in der Transversalebene.

Die **Ventralflexion** vollzieht sich durch zweierlei Mechanismen: **Indirekt** kann sichdie Wirbelkette über eine Schwerpunkverlagerung nach ventral und eine Spannungsabnahme (Tonusminderung) des M. erector spinae kontrolliert nach vorne biegen. Der Bewegungsradius im Lendenbereich (50°) ist dabei etwas größer als im Brustbereich (35°). **Direkt** kann eine Ventralflexion über den **M. rectus abdominis** initiiert werden. Diese betrifft jedoch überwiegend den Lendenbereich und muss für eine vollständige Beugung durch die indirekte Muskulatur (M. obliquus internus abdominis und M. obliquus externus abdominis) ergänzt werden. Der M. rectus abdominis verliert dabei seine Flexionsfähigkeit und zeigt eine funktionelle Insuffizienz, bedingt durch seine immer noch beträchtliche Länge trotz maximaler Verkürzung. Die Rück-

führung in den geraden Stand bewerkstelligt ausschließlich der M. erector spinae (überwiegend durch den lateralen Trakt).

Aus dem geraden Stand spannt sich zur **Dorsalflexion** der **M. erector spinae** über seinen Grundtonus an. Auch hierbei ist der Lendenbereich (35°) beweglicher als der Brustbereich (25°), jedoch geringer als bei der Beugung nach ventral, da dorsal die Processus spinosi eine knöcherne Bewegungsbarriere bilden. Neben der Muskelkraft kann nach ausreichender Verlagerung des Schwerpunkts auch die Schwerkraft eingesetzt werden. Die aktive Gleichgewichtsregulation übernimmt die Bauchmuskaulatur und das Kippen des Beckens nach ventral mit entsprechender Anspannung des M. quadriceps femoris.

Die **Lateralflexion** wird durch einseitige Anspannung des **M. iliocostalis** (lateraler Trakt des M. erector spinae) und der schrägen Bauchmuskeln (**M. obliquus externus** und **internus abdominis**) möglich. Die kontralaterale Seite (eigentlich die Antagonisten) übernimmt dabei durch ihre passive Dehnung die Kontrolle für die Statik und den Bewegungsablauf. Der **M. quadratus lumborum** unterstützt die Bewegung. Thorakal und lumbal ist jeweils eine seitliche Beugung vom geraden Stand aus um 20° nach links und rechts möglich.

Die **Rotation** findet überwiegend im Brustbereich (35°) und nur zu einem geringen Grad im Lendenbereich (5°) statt. Sie wird im Brustbereich von den nur dort vorkommenden kurzen transversospinale Muskeln (**Mm. rotatores breves** und **longi**) der einen Seite zusammen mit spinotransversalen Muskeln (**Mm. splenii**) der anderen Seite ermöglicht. Lumbal ergänzt diese Drehung der **M. obliquus externus abdominis**, am kaudalen Thorax die **Mm. intercostales externi** (beide auf der Seite der transversospinalen Muskeln). So entsteht eine schraubenförmige Muskelkette.

Häufiger als einheitliche Rumpfbewegungen sind **gemischte Bewegungen** mit teilweise unterschiedlicher Akzentuierung in den einzelnen Abschnitten der Wirbelkette. Dabei müssen die besprochenen Muskelketten und Gruppen in die Extremitäten und in den Hals verlängert werden. So entstehen für jede individuelle Bewegung komplexe Muster von Dehnung und Anspannung, die jedoch nicht einfach als Summe der Grundbewegungen beschreibbar sind.

9.6.3 Bauchpresse

Bei Kot- und Harnentleerung wird der Druck im Bauchraum erhöht durch eine Kontraktion aller umliegenden Muskeln (oberflächliche und tiefe Bauchmuskeln, Zwerchfell). Die Beteiligung der Beckenbodenmuskulatur ist je nach Vorgang unterschiedlich: Beim Husten kontrahiert sie sich vollständig, bei Kot- und Harnentleerung nur teilweise, in der Austreibungsphase der Geburt ist sie entspannt.

Auch beim Heben schwerer Lasten wird zur Entlastung der Zwischenwirbelscheiben im Lendenbereich diese „Versteifung“ aktiviert. Da das Zwerchfell schwächer als die Bauchmuskeln und der Bauchinhalt nicht komprimierbar ist, muss im Thorax ein Gegendruck aufgebaut werden, damit das Zwerchfell nicht in den Thorax gedrückt wird. Dazu wird reflektorisch die Stimmritze geschlossen (meist in Inspiration). Die eingeschlossene Luft wirkt wie ein Luftkissen, das so weit zusammengedrückt wird, bis ein Druckgleichgewicht in Brust- und Bauchhöhle herrscht.

9.7 Leitungsbahnen des Rumpfes

Die Einteilung des Rumpfes in einzelne Segmente bestimmt auch die Anordnung der Leitungsbahnen. Die Blutgefäße bilden Anastomosen zwischen der dorsalen (Aorta bzw. Azygos-System) und der ventralen Rumpfwand (Vasa thoracica interna und Vasa epigastricae).

Die Innervation wird kranial durch den Plexus brachialis und kaudal durch den Plexus lumbosacralis unterbrochen. Von den ventralen Ästen der Spinalnerven beteiligen sich deshalb nur die Äste C 4, Th 2–L 3 und S 4–Co.

9.7.1 Hautgefäße und Hautnerven (▶ Abb. 9.27)

Die **Hautarterien des Rückens** (▶ **Abb. 9.27**) sind Endäste der segmentalen Rr. dorsales (= Rr. posteriores), die sich in einen **R. cutaneus medialis** und einen **R. cutaneus lateralis** aufzweigen. Die Rr. dorsales entspringen:

führung in den geraden Stand bewerkstelligt ausschließlich der M. erector spinae (überwiegend durch den lateralen Trakt).

Aus dem geraden Stand spannt sich zur **Dorsalflexion** der **M. erector spinae** über seinen Grundtonus an. Auch hierbei ist der Lendenbereich (35°) beweglicher als der Brustbereich (25°), jedoch geringer als bei der Beugung nach ventral, da dorsal die Processus spinosi eine knöcherne Bewegungsbarriere bilden. Neben der Muskelkraft kann nach ausreichender Verlagerung des Schwerpunkts auch die Schwerkraft eingesetzt werden. Die aktive Gleichgewichtsregulation übernimmt die Bauchmuskaulatur und das Kippen des Beckens nach ventral mit entsprechender Anspannung des M. quadriceps femoris.

Die **Lateralflexion** wird durch einseitige Anspannung des **M. iliocostalis** (lateraler Trakt des M. erector spinae) und der schrägen Bauchmuskeln (**M. obliquus externus** und **internus abdominis**) möglich. Die kontralaterale Seite (eigentlich die Antagonisten) übernimmt dabei durch ihre passive Dehnung die Kontrolle für die Statik und den Bewegungsablauf. Der **M. quadratus lumborum** unterstützt die Bewegung. Thorakal und lumbal ist jeweils eine seitliche Beugung vom geraden Stand aus um 20° nach links und rechts möglich.

Die **Rotation** findet überwiegend im Brustbereich (35°) und nur zu einem geringen Grad im Lendenbereich (5°) statt. Sie wird im Brustbereich von den nur dort vorkommenden kurzen transversospinale Muskeln (**Mm. rotatores breves** und **longi**) der einen Seite zusammen mit spinotransversalen Muskeln (**Mm. splenii**) der anderen Seite ermöglicht. Lumbal ergänzt diese Drehung der **M. obliquus externus abdominis**, am kaudalen Thorax die **Mm. intercostales externi** (beide auf der Seite der transversospinalen Muskeln). So entsteht eine schraubenförmige Muskelkette.

Häufiger als einheitliche Rumpfbewegungen sind **gemischte Bewegungen** mit teilweise unterschiedlicher Akzentuierung in den einzelnen Abschnitten der Wirbelkette. Dabei müssen die besprochenen Muskelketten und Gruppen in die Extremitäten und in den Hals verlängert werden. So entstehen für jede individuelle Bewegung komplexe Muster von Dehnung und Anspannung, die jedoch nicht einfach als Summe der Grundbewegungen beschreibbar sind.

9.6.3 Bauchpresse

Bei Kot- und Harnentleerung wird der Druck im Bauchraum erhöht durch eine Kontraktion aller umliegenden Muskeln (oberflächliche und tiefe Bauchmuskeln, Zwerchfell). Die Beteiligung der Beckenbodenmuskulatur ist je nach Vorgang unterschiedlich: Beim Husten kontrahiert sie sich vollständig, bei Kot- und Harnentleerung nur teilweise, in der Austreibungsphase der Geburt ist sie entspannt.

Auch beim Heben schwerer Lasten wird zur Entlastung der Zwischenwirbelscheiben im Lendenbereich diese „Versteifung“ aktiviert. Da das Zwerchfell schwächer als die Bauchmuskeln und der Bauchinhalt nicht komprimierbar ist, muss im Thorax ein Gegendruck aufgebaut werden, damit das Zwerchfell nicht in den Thorax gedrückt wird. Dazu wird reflektorisch die Stimmritze geschlossen (meist in Inspiration). Die eingeschlossene Luft wirkt wie ein Luftkissen, das so weit zusammengedrückt wird, bis ein Druckgleichgewicht in Brust- und Bauchhöhle herrscht.

9.7 Leitungsbahnen des Rumpfes

Die Einteilung des Rumpfes in einzelne Segmente bestimmt auch die Anordnung der Leitungsbahnen. Die Blutgefäße bilden Anastomosen zwischen der dorsalen (Aorta bzw. Azygos-System) und der ventralen Rumpfwand (Vasa thoracica interna und Vasa epigastricae).

Die Innervation wird kranial durch den Plexus brachialis und kaudal durch den Plexus lumbosacralis unterbrochen. Von den ventralen Ästen der Spinalnerven beteiligen sich deshalb nur die Äste C 4, Th 2–L 3 und S 4–Co.

9.7.1 Hautgefäße und Hautnerven (▶ Abb. 9.27)

Die **Hautarterien des Rückens** (▶ **Abb. 9.27**) sind Endäste der segmentalen Rr. dorsales (= Rr. posteriores), die sich in einen **R. cutaneus medialis** und einen **R. cutaneus lateralis** aufzweigen. Die Rr. dorsales entspringen:

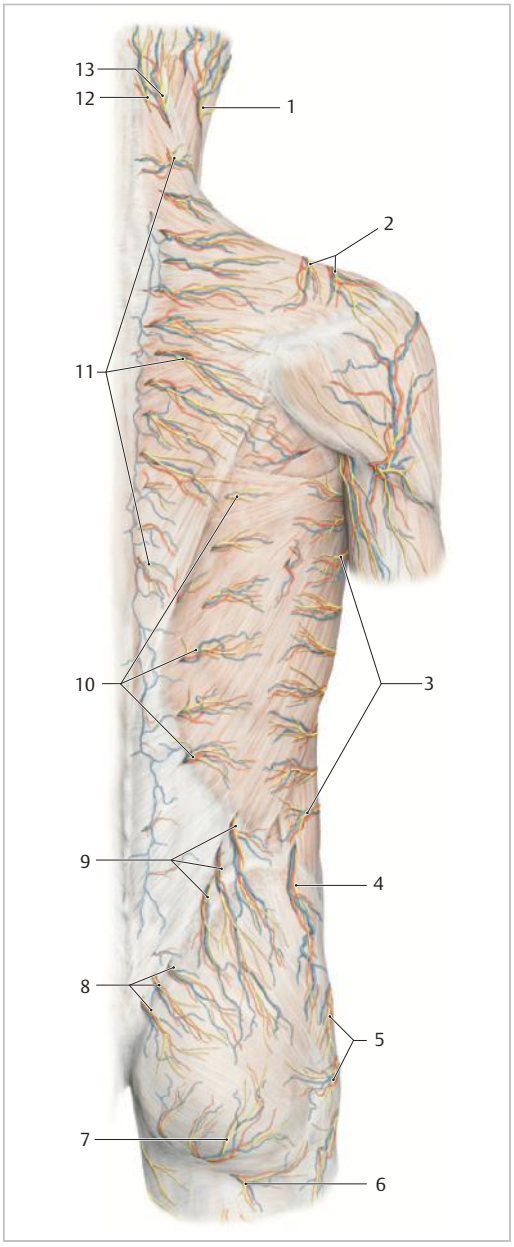


Abb. 9.27 Epifasziale Hautgefäße und Hautnerven der dorsalen Rumpfwand.
1 N. occipitalis minor
2 Nn. supraclaviculares
3 Rr. cutanei laterales der Nn. intercostales
4 R. cutaneus lateralis des N. iliohypogastricus
5 N. cutaneus femoris lateralis
6 N. cutaneus femoris posterior
7 Nn. clunium inferiores
8 Nn. clunium medii
9 Nn. clunium superiores
10 Rr. cutanei laterales der dorsalen Spinalnervenäste
11 Rr. cutanei mediales der dorsalen Spinalnervenäste
12 N. occipitalis tertius
13 N. occipitalis major
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- am Hals aus der **A. cervicalis profunda** (aus dem Truncus costocervicalis der A. subclavia),
- am Thorax aus den 11 **Aa. intercostales posteriores** und der **A. subcostalis** (dieobersten beiden aus der A. intercostalis suprema aus dem Truncus costocervicalis der A. subclavia, die weiteren direkt aus der Aorta),
- lumbal aus den 4 **Aa. lumbales** (aus der Aorta),
- am Kreuzbein aus den **A. sacralis lateralis** (aus der A. iliaca interna).

An der Schulter treten zusätzlich auf Höhe der Medioskapularlinie Äste der A. cervicalis superficialis und weiter lateral Äste der A. suprascapularis und A. circumflexa scapulae in die Haut. Die Haut der seitlichen Gesäßregion wird von der A. glutea superior versorgt.

Wie am Rücken, so sind auch an der **seitlichen vorderen Rumpfwand** die Hautarterien Endäste der segmentalen Aa. intercostales posteriores, der A. subcostalis und der Aa. lumbales. Die Äste der Aa. intercostales posteriores anastomosieren mit den Rr. intercostales anteriores, die aus der A. thoracica interna stammen.

Die Haut der **Brust** wird ventral von **Rr. perforantes** der A. thoracica interna versorgt. Vom Hals aus reichen außerdem Hautäste der A. cervicalis superficialis und der A. thoracoacromialis (R. deltoideus) bis zum oberen Brustbereich. Die Haut der Achselregion wird ventral von Ästen der A. thoracica lateralis, in der Achselgrube von der A. thoracodorsalis versorgt.

Am **Bauch** gibt es von kranial her **R. cutanei anteriores** der Aa. intercostales posteriores VII–XI und der A. subcostalis. Von kaudal versorgt die **A. epigastrica superficialis** aus der A. femoralis die Bauchhaut bis etwa zur Nabelhöhe.

In der **Leistenregion** ergänzen Äste der A. circumflexa ilium superficialis, die parallel zum Leistenband nach lateral laufen, die arterielle Blutver-

sorgung. Am Übergang zur Schamregion zweigen kleine Rr. inguinales der A. pudenda externa in die Haut ab.

Die **Hautvenen** (▶ **Abb. 9.27**) bilden ein subkutanes Netz, das mit den Ästen der parallel zu den Arterien verlaufenden Rr. cutanei laterales und anteriores in die entsprechenden tieferen Venen drainiert:

- an der **dorsalen Rumpfwand**:
  - über die V. cervicalis profunda in die V. vertebralis (Hals),
  - über die Vv. intercostales posteriores in die V. azygos bzw. hemiazygos (Thorax),
  - über die Vv. lumbales in die V. cava inferior (Lendenbereich),
  - über die Vv. sacrales laterales in die V. iliaca interna (Sakralbereich).
- an der ventralen Rumpfwand:
  - über die V. thoracoepigastrica in die V. axillaris (obere Brust und Achsel),
  - über die V. thoracica interna in die V. cava superior (vordere Brust und Bauch oberhalb des Nabels),
  - über die Vv. lumbales in die V. cava inferior (lateraler Bauch)
  - über den Hiatus saphenus in die V. femoralis (Bauch unterhalb des Nabels).

Neben den oberflächlichen Venen der Haut verlaufen die Venen der Rumpfwand überwiegend parallel zu den Arterien mit den entsprechenden Namen.



Bei einer Behinderung des venösen Rückflusses im Bauchraum (z. B. bei Leberzirrhose) können sich die oberflächlichen Bauchvenen erweitern. So entstehen Kollateralwege zwischen V. cava superior und inferior (Anastomosen zwischen der V. thoracoepigastrica und der V. epigastrica superficialis) sowie zwischen der Pfortader und den Hohlvenen (über die Vv. paraumbilicales). Die sich dabei erweiternden paraumbilikalen Venen werden als „Medusenhaupt“ (**Caput Medusae**) bezeichnet.

Die **oberflächlichen Lymphbahnen** bilden ein Netz, das sich ventral über die Mittellinie hinweg ausbildet. Am Rücken verläuft dagegen eine „Wasserscheide“ zwischen linker und rechter Seite in der Medianlinie der Dornfortsätze.

Vom oberen Hals fließt die Lymphe zu Lymphknoten im Nacken (Nodi lymphoidei occipitales), der untere Hals dräniert überwiegend zu den axillären Lymphknoten, der kaudale Rücken zu den oberflächlichen inguinalen Lymphknoten.

Am Körperstamm fließt die Lymphe der Rumpfwand oberhalb des Nabels überwiegend zu den Lymphknotenstationen am Unterrand des M. pectoralis minor (Nodi lymphoidei axillares pectorales), unterhalb des Nabels dräniert die Lymphe zu den oberflächlichen inguinalen Lymphknoten. Zum Lymphabfluss der Mamma (S. 667).

Die **Hautnerven** sind Endaufzweigungen der Rr. posteriores der Spinalnerven, die überwiegend parallel mit den Blutgefäßen verlaufen (▶ **Abb. 9.27**).

Der 1. Spinalnerv (C 1) bildet keinen Hautast. Dem gegenüber ist der 2. Spinalnerv (C 2) als **N. occipitalis major**[1] überwiegend für die Hautversorgung angelegt. Darunter liegen die Hautäste des **N. occipitalis tertius**[12].

Am unteren Thorax bilden sich neben den Rr. cutanei mediales[11] auch seitlich Rr. cutanei laterales[10] aus, die nach kaudal zunehmend stärker werden, während die Rr. cutanei mediales kaum mehr präparatorisch dargestellt werden können. Die Äste von L 1–3 ziehen als Rr. clunium superiores[9], die Äste von S 1–3 als Rr. clunium medii[8] zur Gesäßregion. Die Rr. posteriores von L 4, L 5, S 4, S 5 und Co besitzen keine Hautäste.

9.7.2 Arterien (▶ Abb. 9.28)

Die Arterien des **Rückens** sind Endäste der segmentalen Aa. intercostales posteriores, der A. subcostalis und der Aa. lumbales.

Die ersten beiden **Aa. intercostales posteriores** kommen aus dem Truncus costocervicalis der A. subclavia. Die Aa. intercostales posteriores III–XI[12] entspringen direkt aus der Aorta, ebenso die letzte Interkostalarterie, die **A. subcostalis**[9] (A. intercostalis posterior XII). Alle Interkostalarterien verlaufen am Unterrand der Rippen (Sulcus costae) und geben auf Höhe des Angulus costae einen R. collateralis und an der seitlichen Brustwand einen R. cutaneus lateralis ab. Im Bereich der Brustdrüse sind diese Äste als Rr. mammarii laterales besonders kräftig.

Die seitliche Thoraxregion wird außerhalb des Brustkorbs noch von absteigenden Gefäßen der A. subclavia und A. axillaris versorgt. Dazu gehören von ventral nach dorsal die A. thoracica superior, die A. thoracoacromialis, die A. thoracica lateralis und die A. thoracodorsalis.

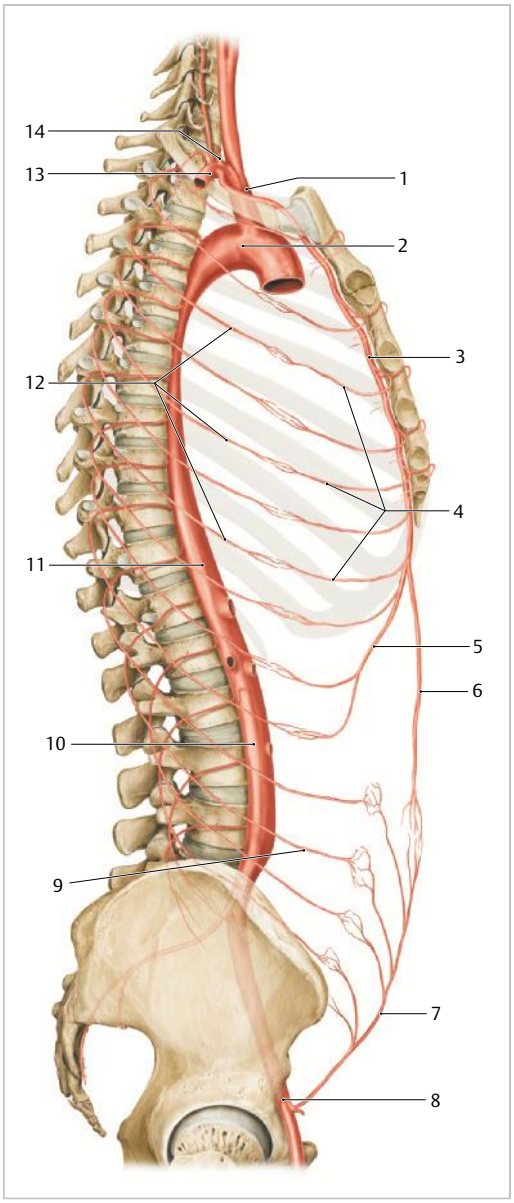


Abb. 9.28 Arterien der Rumpfwand. Ansicht von rechts.
1 Truncus brachiocephalicus
2 Arcus aortae
3 A. thoracica interna
4 Aa. intercostales anteriores
5 A. musculophrenica
6 A. epigastrica superior
7 A. epigastrica inferior
8 A. iliaca externa
9 A. subcostalis
10 Aorta abdominalis
11 Aorta thoracica
12 Aa. intercostales posteriores
13 A. subclavia
14 Truncus thyreocervicalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Wie die Interkostalarterien entspringen auch die 4 ebenfalls paarigen und segmentalen **Aa. lumbales** I–IV aus der Aorta.

Seitlich am dorsalen Rand der Wirbelkörper geben alle Segmentarterien (Aa. intercostales posteriores und Aa. lumbales) einen **R. dorsalis** ab, der neben der Muskulatur und Haut des Rückens (R. cutaneus lateralis und medialis) auch die Knochen (periostales Gefäßnetz) und die Rückenmarkhäute (R. spinalis) mit Blut versorgt. Das Rückenmark selbst wird dagegen ventral von der A. spinalis anterior, dorsal von den Aa. spinales posteriores versorgt.

Nur 8–10 der Rr. spinales laufen entlang der Nervenwurzeln zum Rückenmark und versorgen die Spinalarterien. Neben der A. vertebralis am Foramen magnum liegt das größte dieser Gefäße im oberen Lumbalbereich (A. radicularis magna). Am Thorax ist die A. spinalis anterior sehr dünn. Dieser Abschnitt ist deshalb bei Durchblutungsstörungen besonders gefährdet.

Die vordere Rumfwand wird an der **Brust** von den Rr. perforantes der **A. thoracica interna**[3] (aus der A. subclavia[13]) versorgt. Die A. thoracica interna liegt parasternal, dorsal der knorpeligen Rippen, und gibt folgende Äste ab:

- 5–6 Aa. intercostales anteriores[4], die mit den Aa. intercostales posteriores teilweise anastomosieren,
- Rr. sternales, die das Sternum versorgen (rotes Knochenmark),
- Rr. perforantes, die die ventralen Hautäste darstellen.

Oberhalb des Zwerchfells spaltet sich die A. thoracica interna in ihre 2 Endäste:

- Die **A. musculophrenica**[5] zieht schräg nach dorsokaudal, bildet die Aa. intercostales anteriores VII–X und versorgt die Pars costalis des Zwerchfells.
- Die **A. epigastrica superior**[6] zieht durch das Trigonum sternocostale (Larrey-Spalte) des Zwerchfells und das hintere Blatt der Rektus-

scheide und versorgt den Oberbauch bis etwa zum Nabel.

Am **Bauch** zieht die **A. epigastrica inferior**[7] (aus der A. iliaca externa[8]) von lateral zwischen der Fascia transversalis und dem Peritoneum zum M. rectus abdominis. Direkt an ihrem Ursprung gibt sie ein kleines Gefäß für den Leistenkanal ab (A. ductus deferentis bzw. A. ligamenti teretis uteri) und ein mit der A. obturatoria anastomosierendes Gefäß (R. pubicus bzw. A. corona mortis). Sie bildet mehrere Seitenäste, die mit den Aa. lumbales anastomosieren.

Die seitlichen Bauchmuskeln (M. transversus abdominis, M. obliquus internus und externus abdominis) werden von kaudal auch von der **A. circumflexa ilium superficialis** versorgt, die mit der A. epigastrica inferior kaudal des Nabels regelmäßig anastomosiert. An der Innenseite der Darmbeinschaufel liegt noch die A. circumflexa ilium profunda aus der A. iliaca externa.

9.7.3 Venen (▶ Abb. 9.29)

Die Formierung der größeren Venen der **dorsalen Rumpfwand** entlang der Wirbelkette zeigt ein unsymmetrisches Bild: Auf der rechten Seite bildet sich die **V. azygos**[5], die vom Plexus sacralis aufsteigend die Vv. lumbales[7] und Vv. intercostales posteriores VI–XII[12] aufnimmt. Die oberen Interkostalvenen bilden zunächst ein eigenständiges Gefäß (**V. intercostalis superior dextra**[3]), das etwa auf Höhe der 5. Rippe in die V. azygos mündet. Die V. azygos biegt an dieser Stelle ventral in das Mediastinum und zieht zur V. cava superior[13].

Auf der linken Seite bildet sich kaudal die **V. hemiazygos**[6], die ebenfalls vom Plexus sacralis aufsteigend die linken Lumbalvenen und die Vv. intercostales posteriores VIII–XII aufnimmt. Auf Höhe des 8. Brustwirbelkörpers kreuzt sie über die Mitte und vereint sich mit der V. azygos. Die kranialen Brustsegmente der linken Seite bilden eine **V. hemiazygos accessoria**[4], die durch kleine Äste mit der V. hemiazygos verbunden ist, ihr Blut jedoch hauptsächlich über einen Verbindungsast auf Höhe des 6. Brustwirbels an die V. azygos abgibt. Die V. hemiazygos accessoria ist zusätzlich noch kranial mit der V. brachiocephalica sinistra[2] verbunden.

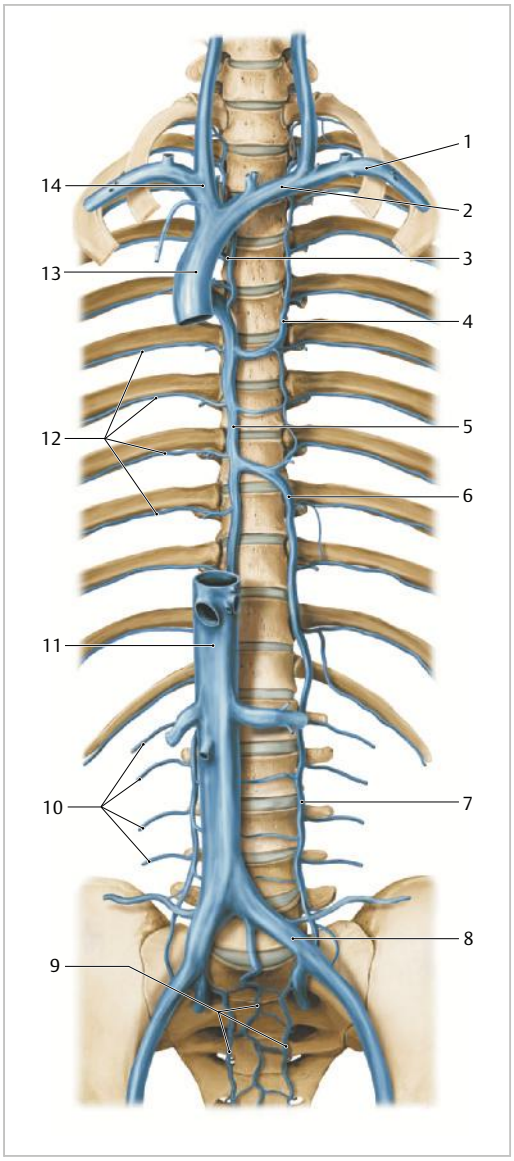


Abb. 9.29 Venenstämme der dorsalen Rumpfwand. ▶
Ansicht von ventral.
1 V. intercostalis suprema
2 V. brachiocephalica sinistra
3 V. intercostalis superior dextra
4 V. hemiazygos accessoria
5 V. azygos
6 V. hemiazygos
7 V. lumbalis ascendens
8 V. iliaca communis
9 Plexus venosus sacralis
10 Vv. lumbales
11 V. cava inferior
12 Vv. intercostales posteriores
13 V. cava superior
14 V. brachiocephalica dextra
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Zwischen V. azygos und V. hemiazygos spannt sich um die Wirbelkörper der **Plexus venosus vertebralis externus**, der das Blut aus dem Rückenmark, dem Rückenmarkskanal (Plexus venosus vertebralis internus) und den Wirbeln sammelt und der mit beiden großen Venenstämmen verbunden ist.

An der **ventralen Rumpfwand** dräniert die **V. thoracica interna** in die V. brachiocephalica, die **V. epigastrica inferior** in die V. iliaca externa. Um den Nabel können zusätzlich Anastomosen über die meist obliterierten Nabelvenen mit dem Pfortadersystem gebildet werden (Vv. paraumbilicales).

Bei einem Verschluss der V. cava inferior oder der tiefen Iliakalgefäße kann über den Rumpf das Blut in die V. cava superior fließen (**Cavocavale Anastomosen**). Dabei sind von der V. cava inferior zur V. cava superior mehrere Wege möglich:

- am oberflächlichsten über die V. circumflexa ilium superficialis oder die V. epigastrica superficialis zum Plexus umbilicus und von dort über die V. thoracoepigastrica oder V. thoracica lateralis,
- eine Schicht tiefer über die V. circumflexa ilium profunda oder V. epigastrica inferior zur V. epigastrica superior und weiter zur V. thoracica interna,dorsal besteht eine dichte Anastomosierung zwischen den Plexus venosi vertebrales sowie eine Verbindung zwischen V. lumbalis ascendens aus der V. iliaca interna und dem Azygos-Hemiazygos-System.

9.7.4 Lymphgefäße

Segmentale Lymphbahnen (Vasa lymphatica intercostalia) begleiten im Brustraum die Interkostalgefäße. Sie führen dorsal über Nodi lymphoidei intercostales (an den Rippenköpfen) in den Truncus bronchomediastinalis, ventral über Nodi lymphoidei parasternales zum jeweiligen linken bzw. rechten Venenwinkel.

Aus dem Bauchraum fließt die Lymphe entweder nach kranial zu den Nodi lymphoidei parasternales oder nach kaudal über die Nodi lymphoidei epigastrici inferiores zu den Leistenlymphknoten. Die „Wasserscheide“ liegt auf einer horizontalen Linie etwa 3 Fingerbreit oberhalb des Nabels.

9.7.5 Nerven

Der **R. posterior** (= **dorsalis**) aller Spinalnerven (▶ **Abb. 9.30**) gibt durch das Foramen intervertebrale einen rein afferenten, rückläufigen Ast (**R. meningeus**) zur Wand des Wirbelkanals und zu den Rückenmarkhäuten ab. Der Hauptnervenast teilt sich in einen medialen und einen lateralen Ast, der jeweils die dazugehörige autochthone Rückenmuskulatur efferent und myoafferent innerviert. Die Endäste dieser Nerven erreichen als R. cutaneus medialis und lateralis die Haut.

Der **R. anterior** (= **ventralis**) der Spinalnerven bildet die Grundlage für die Versorgung von Rumpf, Hals und Extremitäten. Für den Rumpf spielen dabei die Segmente C 4, Th 2–L 3 und S 4–Co die entscheidende Rolle.

Der kraniale Abschnitt des Brustraums bis zum Hals wird vom Rückenmarkssegment **C 4** sensibel innerviert. Dieser Ast gehört zum Plexus cervicalis (C 1–4) und sendet efferente und myoafferente Fasern zu den Skalenusmuskeln (**Nn. scaleni**), sowie dermatoafferente Fasern über die **Nn. supraclaviculares** an die Haut kranial der Clavicula (Schlüsselbeingrube) und der Schulter.

Weitere Efferenzen und Afferenzen ziehen von C 4 (oft ergänzt aus C 3) als **N. phrenicus** zum Zwerchfell. Der N. phrenicus liegt ventral des M. scalenus anterior (Leitmuskel) und zieht vor der A. subclavia in die obere Thoraxapertur. Er verläuft im mittleren Mediastinum und gibt auf seinem Weg afferente **Rr. pericardiaci** an das Perikard ab. Neben der Zwerchfellmuskulatur versorgen Afferenzen kranial die basale Pleura und kaudal das Peritoneum (**Rr. phrenicoabdominales**) bis zu den Oberbauchorganen (Pancreas, Leber, Gallenblase).

Eine Schädigung des Zervikalmarks oder der Wurzeln in Höhe von C 3–5 führt zu einer **Lähmung des Zwerchfells**. Andererseits kann bei einer Lähmung der Thoraxmuskulatur die Atmung über den N. phrenicus aufrecht erhalten werden.

Die afferente Innervation des Peritoneums im Oberbauch durch den N. phrenicus erklärt, warum Schmerzen von Leber und Gallenblasenerkrankungen in die rechte, Pancreaserkrankungen in die linke Schulter strahlen können (**Head-Zonen des Zwerchfells**).

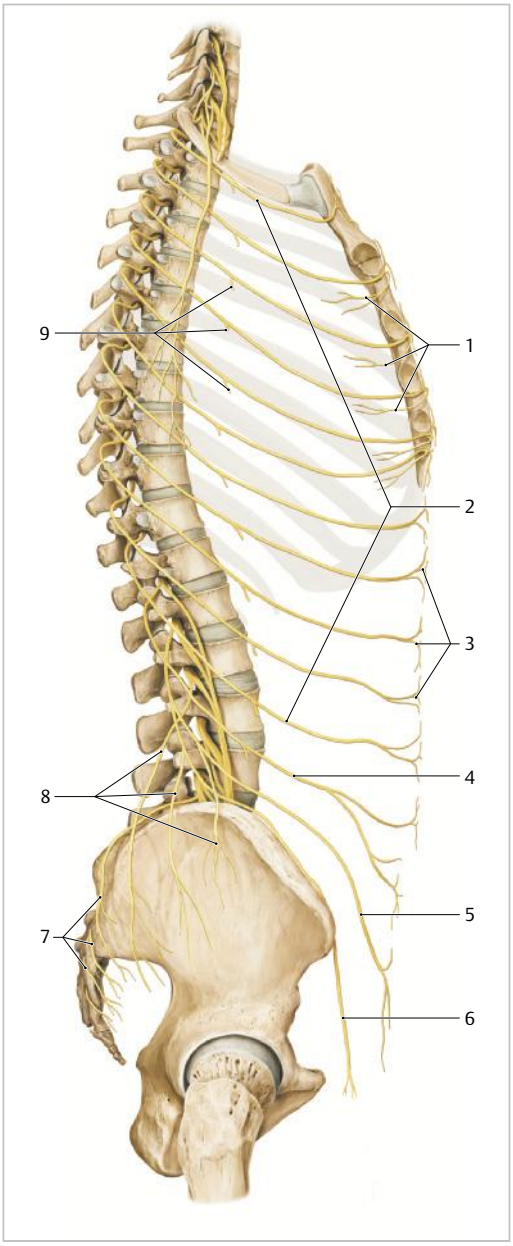


Abb. 9.30 Rr. ventrales der rumpfversorgenden Spinalnerven. Ansicht von rechts.
1 Rr. mammarii mediales der Interkostalnerven
2 Nn. intercostales
3 Rr. cutanei anteriores der Interkostalnerven
4 N. subcostalis
5 N. iliohypogastricus
6 N. ilioinguinalis
7 Nn. clunium medii
8 Nn. clunium superiores
9 Rr. cutanei laterales der Interkostalnerven
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Aus dem **Plexus brachialis** (**C 5–Th 1**) wird die auf dem oberen Rumpf liegende Schultergürtelmuskulatur efferent und afferent versorgt. Die darüberliegende Haut wird von den entsprechenden thorakalen Segmenten der Rumfwand afferent innerviert.

Die Rr. ventrales von **Th 2–6** verlaufen als **Nn. intercostales** im Sulcus costae bis zum Sternum. Efferente und myoafferente Nervenfortsätze versorgen die segmentalen Interkostalmuskeln, den M. serratus posterior superior und den M. transversus thoracis. Hautafferenzen gehen am Vorderrand des M. serratus anterior als **Rr. cutanei laterales** und neben dem Sternum als **Rr. cutanei anteriores** aus den Interkostalnerven hervor. Diese Äste werden auch als Rr. mammarii laterales und mediales bezeichnet.

Der **N. intercostalis II** sendet oft Afferenzen aus seinem lateralen Hautast an den Oberarm (N. intercostobrachialis). Erkrankungen der **oberen** und **seitlichen Mamma** können deshalb leicht **in den Oberarm ausstrahlende Schmerzen** verursachen.

Die Nn. intercostales von **Th 7–11** und der **N. subcostalis** (**Th 12**)[4] ziehen zunächst im Sulcus costae entlang und biegen dann am vorderen Ende der Rippen nach mediokaudal ab. Sie versorgen efferent und afferent die seitliche und vordere Bauchmuskulatur sowie dermatoafferent die darüberliegende Haut.

Die Leistenregion und der M. quadratus lumborum (tiefe Bauchmuskulatur) wird vom **Plexus lumbalis** (**Th 12–L 4**) von mehreren Nerven versorgt:

- Der **N. iliohypogastricus**[5] läuft dorsal auf Höhe der Nieren und zieht dann zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis, die er auch efferent und afferent versorgt. Hautäste dieses Nervs ziehen zur seitlichen Leistenregion und zur Regio pubica.
- Der **N. ilioinguinalis**[6] zieht entlang des Leistenbandes und hat ebenfalls efferente Fasern für die

seitliche Bauchmuskulatur (M. transversus abdominis, M. obliquus internus und externus abdominis). Seine Hautäste ziehen durch den Leistenkanal und versorgen das Skrotum bzw. die Labia majora.

- Der **N. genitofemoralis** versorgt mit seinen efferenten und myoafferenten Fasern des **R. genitalis** den M. cremaster und unterstützt den N. ilioinguinalis mit dermatoafferenten Fasern.



Da die von der Haut kommenden Informationen im Rückenmark mit den Informationen der Eingeweide teilweise parallel verschaltet werden (**Konvergenztheorie**), werden im Gehirn ungewöhnlich starke Impulse der Eingeweide (z. B. bei Erkrankungen) als Schmerzreize aus dem entsprechenden Hautareal (**Head-Zonen**) interpretiert. Dies kann bei der Diagnose innerer Organe hilfreich sein.

Durch die engen Verbindungen der Oberflächen- und Eingeweidenerven ist auch eine Stimulation der Eingeweide über die Haut (**kutiviszeraler Reflex**) möglich. Diese Kenntnis wird therapeutisch eingesetzt, z. B. bei der Kälte- oder Wärmebehandlung bestimmter Hautareale.

Der Rumpf wird nach kaudal vom Beckenboden begrenzt. Dieser wird efferent und myoafferent vom **unteren Plexus sacralis** (**S 3–4**), dermatoafferent vom **N. pudendus** (überwiegend S 4 und Co) innerviert.

10 Untere Extremität

Christian Albrecht May

10.1 Oberflächenanatomie

Ganz unter dem Zeichen des aufrechten Gangs stehend prägen die ventralen Muskeln am Oberschenkel und die dorsalen Muskeln an Becken und Unterschenkel die Form der unteren Extremität, soweit sie nicht von Fettgewebe überlagert werden.

10.1.1 Oberflächenrelief (▶ Abb. 10.1)

Ventral markiert die **Leistenfurche**[14], dorsal die **Gesäßfurche**[2] die Grenze zwischen Rumpf und Oberschenkel. Bei mageren Menschen liegt die Leistenfurche auf Höhe des Leistenbandes, die Gesäßfurche am Unterrand des M. gluteus maximus. Durch subkutanes Fettgewebe verschiebt sich diese Grenze unterschiedlich stark nach distal auf den Oberschenkel.

Die Konturen des **Oberschenkels** werden überwiegend durch die Muskulatur geformt: Ventral bestimmt der **M. quadriceps femoris** (S. 143) die Form:

- proximal der M. rectus femoris[16],
- distal am Übergang zum Sehnenspiegel hauptsächlich der M. vastus lateralis[3] und medialis[12] sowie der darüberliegende M. sartorius (von proximolateral nach distomedial),
- medial die Adduktorengruppe[13],
- lateral kann sich proximal auf Hüfthöhe der M. tensor fasciae latae[15] hervorwölben und dorsal kann distomedial der M. semimembranosus[11] konturgebend werden.

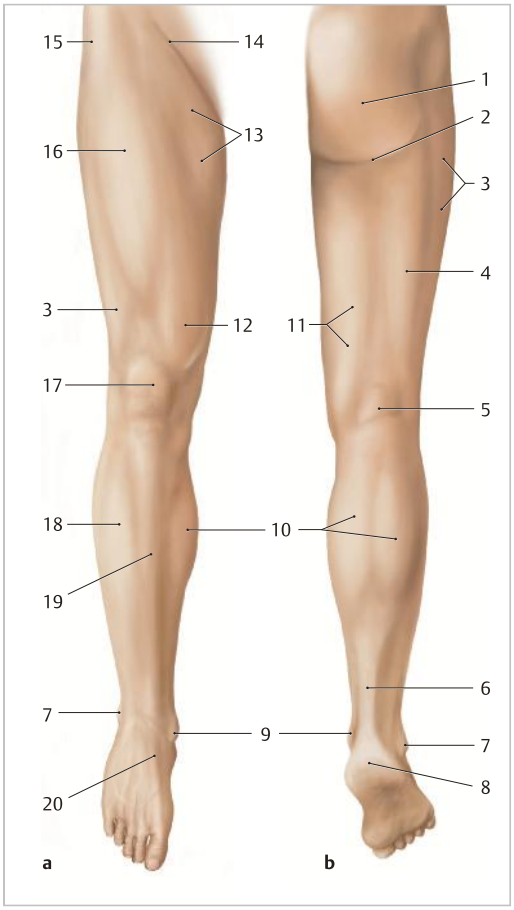


Abb. 10.1 Oberflächenrelief des rechten Beins von ventral (**a**) und dorsal (**b**).
1 M. gluteus maximus
2 Gesäßfurche
3 M. vastus lateralis
4 M. biceps femoris
5 Fossa poplitea
6 Tendo calcaneus
7 Malleolus lateralis
8 Tuber calcanei
9 Malleolus medialis
10 M. gastrocnemius
11 M. semitendinosus und semimembranosus
12 M. vastus medialis
13 Adduktorengruppe
14 Leistenfurche
15 M. tensor fasciae latae
16 M. rectus femoris
17 Patella
18 M. tibialis anterior
19 Tibia
20 Sehnen des Fußrückens
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Am **Knie** erkennt man im Stehen von ventral die **Kniescheibe**[17] (Patella) und das Lig. patellae; seitlich dieser Strukturen bilden sich medial und lateral deutliche Hautgruben, die bei gebeugtem Knie etwas verstreichen. Die **Fossa poplitea**[5] (Kniekehle) bildet sich als deutliche Grube ebenfalls nur bei gebeugtem Knie durch das Hervortreten der ischiokruralen Muskelsehnen. In gestreckter Position kann man nur leichte Längsrinnen auf der Haut sehen. Außerdem sieht man zum Teil mehrere querverlaufende Beugefurchen.

Am **Unterschenkel** tritt ventral die Tibia[19] unter der Haut hervor. Dorsal wird die Form der Wade durch die Ausprägung des M. triceps surae (S. 148) mit dem M. gastrocnemius[10] bestimmt, der distal in die prominente **Achillessehne** (Tendo calcaneus[6]) übergeht. Der **Malleolus lateralis**[7] der Fibula und der **Malleolus medialis**[9] der Tibia formen seitlich am Übergang zum Fuß die beiden Knöchel.

Die Form des **Fußes** wird im Wesentlichen durch das Fußskelett bestimmt. Der **Fußrücken** ist mehr in Quer- als in Längsrichtung gewölbt. Das oberflächliche Venennetz und die Sehnen[20] der Extensoren treten unterschiedlich stark hervor. An der **Fußsohle** bilden Fersenballen, lateraler Fußrand und die Zehenballen die Unterstützungsfläche des Fußskeletts. Der mediale Fußrand ist zur Fußsohlennische hochgewölbt. Die Zehenballen sind von den Zehenkuppen durch eine Querfurche getrennt.

10.1.2 Tastbare Knochenpunkte (▶ Abb. 10.2)

Am **Becken** kann man zumindest bei schlanken Personen den kranialen Rand der Darmbeinschaufel tasten (Darmbeinkamm, **Crista**[18]). Deren vorderes Ende (**Spina iliaca anterior superior**[19]) ist

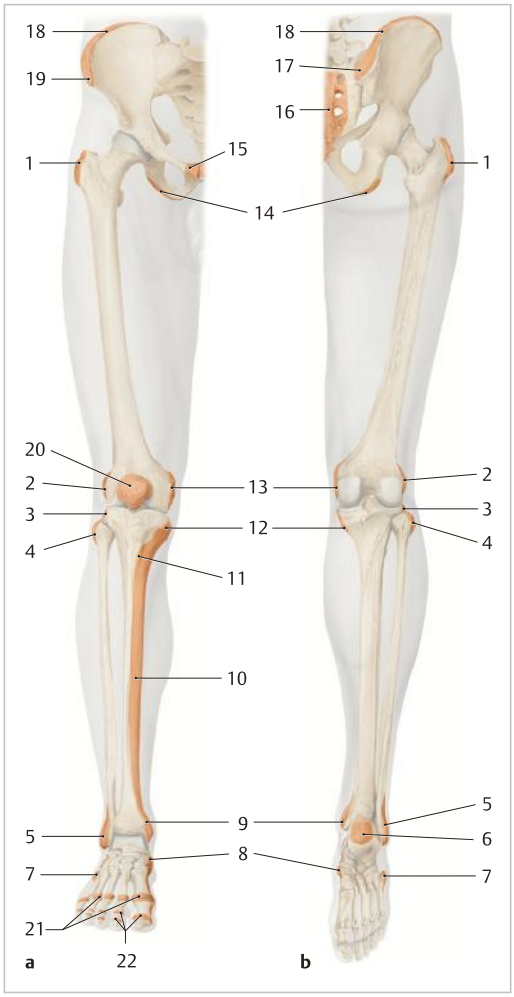


Abb. 10.2 Tastbare Knochenpunkte der unteren Extremität von ventral (**a**) und dorsal (**b**).
1 Trochanter major
2 Epicondylus lateralis
3 Condylus lateralis tibiae
4 Caput fibulae
5 Malleolus lateralis
6 Tuber calcanei
7 Tuberositas ossis metatarsi V
8 Tuberositas ossis navicularis
9 Malleolus medialis
10 Facies medialis tibiae
11 Tuberositas tibiae
12 Condylus medialis tibiae
13 Epicondylus medialis
14 Tuber ischiadicum
15 Tuberculum pubicum
16 Os sacrum
17 Spina iliaca posterior superior
18 Crista iliaca
19 Spina iliaca anterior superior
20 Patella
21 Articulationes metatarsophalangeae
22 Articulationes interphalangeae pedis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ein wichtiger klinischer Tastpunkt. Kaudal sind die **Sitzbeinhöcker**[14] sowie die Rückfläche von Kreuz- und Steißbein[16] palpabel.

Vom **Oberschenkel** lassen sich der **Trochanter major**[1] und die beiden **Epicondylen**[2, 13] ertasten. Die **Patella**[20] als größtes Sesambein in der Sehne des M. quadriceps femoris ist ebenfalls von ventral tastbar.

Am **Unterschenkel** ist neben den **Condylen** der Tibia auch das proximale **Fibulaköpfchen**[4] palpabel. Ventral kann die **mediale Tibiafläche**[10] über die gesamte Länge durch die Haut gespürt werden. Distal sind die beiden **Knöchel**[5, 9] markante Tastpunkte.

Die **Fußknochen** sind je nach Ausbildung des subkutanen Fettgewebes und der Einlagerung von Wasser tastbar. Konstante Punkte sind das Tuber calcanei[6], die Tuberositas ossis navicularis[8] und die Tuberositas ossis metatarsalis V[7].

10.2 Knochen der unteren Extremität

10.2.1 Becken

Das Becken besteht aus dem dorsalen Os sacrum und den 2 Hüftbeinen (**Ossa coxae**), die durch die Synostose von 3 Einzelknochen entstehen (**Os ilium, Osischii, Os pubis**, ▶ **Abb. 10.3**). Ventral sind die beiden Schambeine an der Symphyse miteinander verbunden. Alle 3 Knochen des Os coxae treffen sich im **Acetabulum** (Hüftpfanne). Bei der Frau sind die Maße des Beckeneingangs und -ausgangs für die Geburt von großer Bedeutung.

Am **Os ilium** (Darmbein) unterscheidet man eine Knochenplatte (Darmbeinschaufel, **Ala** ossis ilii[1]), die sich nach innen zur **Fossa iliaca** vertieft, und

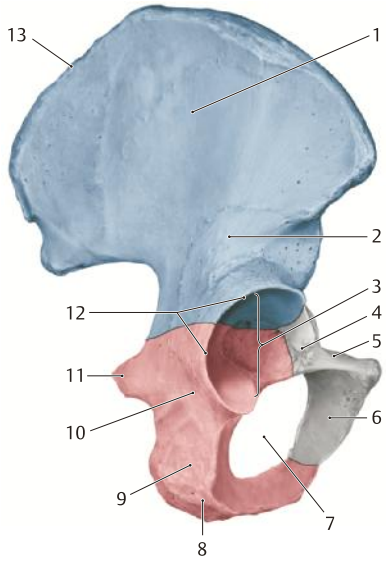


Abb. 10.3 Zusammensetzung des Os coxae (Hüftbein) aus den 3 Knochen Os ilium (Darmbein, blau), Os ischii (Sitzbein, rot) und Os pubis (Schambein, grau). Ansicht von lateral.
1 Ala ossis ilii
2 Corpus ossis ilii
3 Acetabulum
4 Corpus ossis pubis
5 R. superior ossis pubis
6 R. inferior ossis pubis
7 Foramen obturatum
8 Tuber ischiadicum
9 R. ossis ischii
10 Corpus ossis ischii
11 Spina ischiadica
12 Limbus acetabuli
13 Crista iliaca
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ein wichtiger klinischer Tastpunkt. Kaudal sind die **Sitzbeinhöcker**[14] sowie die Rückfläche von Kreuz- und Steißbein[16] palpabel.

Vom **Oberschenkel** lassen sich der **Trochanter major**[1] und die beiden **Epicondylen**[2, 13] ertasten. Die **Patella**[20] als größtes Sesambein in der Sehne des M. quadriceps femoris ist ebenfalls von ventral tastbar.

Am **Unterschenkel** ist neben den **Condylen** der Tibia auch das proximale **Fibulaköpfchen**[4] palpabel. Ventral kann die **mediale Tibiafläche**[10] über die gesamte Länge durch die Haut gespürt werden. Distal sind die beiden **Knöchel**[5, 9] markante Tastpunkte.

Die **Fußknochen** sind je nach Ausbildung des subkutanen Fettgewebes und der Einlagerung von Wasser tastbar. Konstante Punkte sind das Tuber calcanei[6], die Tuberositas ossis navicularis[8] und die Tuberositas ossis metatarsalis V[7].

10.2 Knochen der unteren Extremität

10.2.1 Becken

Das Becken besteht aus dem dorsalen Os sacrum und den 2 Hüftbeinen (**Ossa coxae**), die durch die Synostose von 3 Einzelknochen entstehen (**Os ilium, Osischii, Os pubis**, ▶ **Abb. 10.3**). Ventral sind die beiden Schambeine an der Symphyse miteinander verbunden. Alle 3 Knochen des Os coxae treffen sich im **Acetabulum** (Hüftpfanne). Bei der Frau sind die Maße des Beckeneingangs und -ausgangs für die Geburt von großer Bedeutung.

Am **Os ilium** (Darmbein) unterscheidet man eine Knochenplatte (Darmbeinschaufel, **Ala** ossis ilii[1]), die sich nach innen zur **Fossa iliaca** vertieft, und

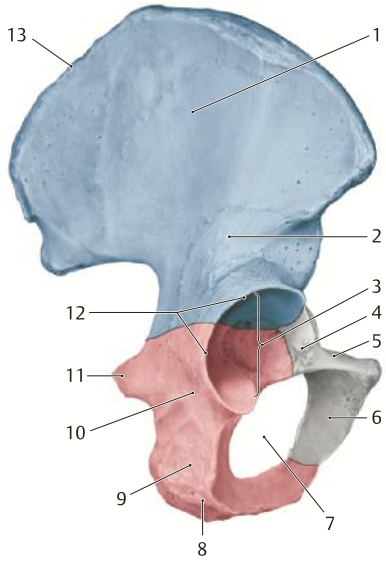


Abb. 10.3 Zusammensetzung des Os coxae (Hüftbein) aus den 3 Knochen Os ilium (Darmbein, blau), Os ischii (Sitzbein, rot) und Os pubis (Schambein, grau). Ansicht von lateral.
1 Ala ossis ilii
2 Corpus ossis ilii
3 Acetabulum
4 Corpus ossis pubis
5 R. superior ossis pubis
6 R. inferior ossis pubis
7 Foramen obturatum
8 Tuber ischiadicum
9 R. ossis ischii
10 Corpus ossis ischii
11 Spina ischiadica
12 Limbus acetabuli
13 Crista iliaca
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

einen massiven Sockel (**Corpus** ossis ilii[2]), dessen kaudaler Anteil den oberen Sektor des Acetabulums[3] bildet. An der Grenze zwischen beiden Teilen verläuft auf der medialen Seiteeine Knochenleiste (**Linea arcuata**).

Der kraniale Rand der Darmbeinschaufel wird Darmbeinkamm (**Crista iliaca**[13]) genannt und endet ventral als **Spina iliaca anterior superior** und dorsal als **Spina iliaca posterior superior**. Der Darmbeinkamm hat 3 Leisten (Labium externum, Linea intermedia, Labium internum) als Oberflächenvergrößerung für Muskelansätze. Die Außenseite der Darmbeinschaufel (**Facies glutea**) ist durch 3 Knochenleisten gegliedert (**Linea glutea anterior, posterior et inferior**), die sich ebenfalls durch dort ansetzende Muskeln bilden.

Das Corpus ossis ilii besitzt nach medial eine Gelenkfläche (**Facies auricularis**) zur Verbindung mit dem Os sacrum.

Das Corpus des **Os ischii** (Sitzbein) bildet einen Großteil des Acetabulums und hat nach dorsal eine knöcherne Ausziehung (**Spina ischiadica**[11]). Vom Corpus zieht von dorsal der R. ossis ischii[9] henkelförmig nach ventral zum R. inferior[6] des Os pubis. Beide zusammen umschließen eine Öffnung im Becken, das Foramen obturatum[7]. Dorsokaudal bildet der R. ossis ischii eine Verdickung (**Tuber ischiadicum**[8]), die im Sitzen das Körpergewicht auf die Unterlage überträgt.

Das **Os pubis** (Schambein) gliedert sich in den **Corpus** ossis pubis[4], von dem der **R. superior**[5] zum Os ilium und zum Acetabulum und der etwas längere **R. inferior**[6] zum Os ischii zieht. Die **Facies symphysiales** der beiden Schambeinkörper stehen sich gegenüber und sind miteinander über die Symphyse verbunden. Kranial der Facies symphysialis ragt das **Tuberculum pubicum** hervor, von dem ein Knochenkamm (**Pecten ossis pubis**) nach lateral zieht.

Durch die Zusammenlagerung der beiden Ossa coxae mit dem Os sacrum entsteht das knöcherne **Becken** (▶ **Abb. 10.4**). Das große Becken (**Pelvis major**) wird von den Darmbeinschaufeln gebildet und umfasst dorsolateral die Eingeweide. Das kleine Becken (**Pelvis minor**) begrenzt den Beckenraum (**Cavitas pelvis**).

Die Grenzlinie (**Linea terminalis**), die großes und kleines Becken trennt, setzt sich aus dem Promontorium[1] (S. 89), der Linea arcuata[2] und dem Pecten ossis pubis[3] zusammen. Auf dieser Linie, deren dorsaler Anteil das auf dem Os sacrum lastende Körpergewicht aufnimmt und deren ventraler Anteil die Spannungen aus dem Symphysenbereich ableitet, liegt nach außen projiziert das Acetabulum. Stabilisiert wird dieser von der Linea terminalis gebildete Rahmen links und rechts von jeweils 2 Schleifen. Die erste ist knöchern gefüllt und verläuft entlang des Beckenkamms nach dorsal, medial und kranial. Die zweite Schleife wird gebildet vom Os pubis und Os ischii und verläuft nach ventral, medial und kaudal. Sie umgibt das Foramen obturatum[4]. Die beiden Schleifen sind zueinander um annähernd 90° in kraniokaudaler Richtung verdreht, was dem Becken eine komplexe dreidimensionale Form gibt. Die untere Schleife berührt diejenige der Gegenseite an der **Symphyse** (Symphysis pubica[5]) über den R. inferior ossis pubis.

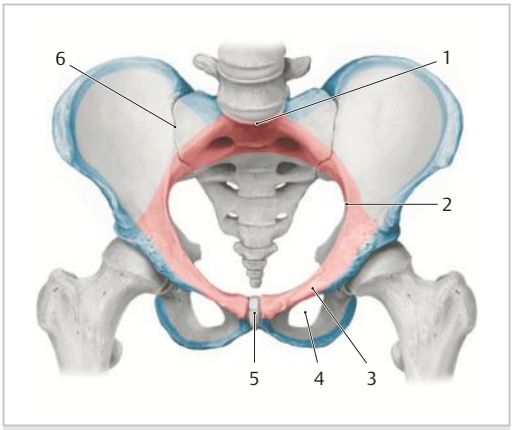


Abb. 10.4 Knöchernes Becken und Beckenring. Ansicht von ventral-kranial. Der Beckenring ist rot eingefärbt, die stabilisierenden Knochenschleifen blau.
1 Promontorium
2 Linea arcuata
3 Pecten ossis pubis
4 Foramen obturatum
5 Symphysis pubica
6 Articulatio sacroiliaca
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Symphyse weist an ihrer Unterseite eine umgekehrt V-förmige Öffnung auf. Deren Winkel ist beim Mann kleiner als bei der Frau, weshalb er bei beiden Geschlechtern auch eine unterschiedliche Bezeichnung trägt: **Angulus subpubicus** beim Mann, **Arcus pubis** bei der Frau.

Die Cavitas pelvis bildet bei der **Geburt** den **Beckenkanal**, durch den der kindliche Kopf hindurchtreten muss. Der Beckeneingang (**Apertura**

pelvis superior) wird von der Linea terminalis umgrenzt und ist im normalen, aufrechten Stand um etwa 65° nach ventral geneigt. Im Sitzen liegt die Beckeneingangsebene nahezu horizontal. Der Beckenausgang (**Apertura pelvis inferior**) wird von der Steißbeinspitze, den Sitzbeinhöckern und den unteren Schambeinästen begrenzt.

Die **Maße des inneren Beckens**, die für die Geburtshilfe eine Rolle spielen sind (▶ **Abb. 10.5**):

- **Conjugata vera**[11] **:** kürzester Abstand zwischen Promontorium und Hinterfläche der Symphyse (ca. 11 cm, nur radiologisch bestimmbar),
- **Conjugata diagonalis**[12] **:** Abstand zwischen Promontorium und Unterrand der Symphyse (ca. 13 cm, transvaginal in vivo messbar),
- **Diameter transversa**[6] **:** weitester Querabstand der Linea terminalis (ca. 13,5 cm, nur radiologisch bestimmbar),
- **Conjugata recta**[8] **:** kürzester Abstand zwischen Steißbeinspitze und Unterrand der Symphyse (ca. 9 cm); durch die Beweglichkeit des Steißbeins ist diese engste Stelle beim Geburtsvorgang in der Regel problemlos dehnbar.

Klinisch weniger wichtige Maße sind:

- Diameter obliqua[7]: Linie zwischen Articulatio sacroiliaca und Eminentia iliopubica der Gegenseite (ca. 12 cm),
- Conjugata anatomica: Abstand zwischen Promontorium und Tuberculum pubicum (ca. 12 cm).

Die früher in der Geburtshilfe verwendeten **äußeren Beckenmaße** (Conjugata externa, Distantia spinarum, Distantia cristarum) haben im Zeitalter moderner bildgebender Verfahren kaum noch Bedeutung. Sie lassen sich zwar problemlos messen, korrelieren jedoch mit den Abmessungen des Geburtskanals nicht ausreichend.

Durch die unterschiedliche Wirkung der Sexualhormone in der Pubertät bilden sich besonders im Becken typische **Geschlechtsunterschiede** aus (▶ **Abb. 10.6**).

Bei der **Frau** ist das gesamte Becken breiter als hoch. Die Darmbeinschaufeln ragen breit nach außen und der Abstand der Tubera ischiadica ist relativ groß. Der Beckeneingang ist rundlich bis quero-

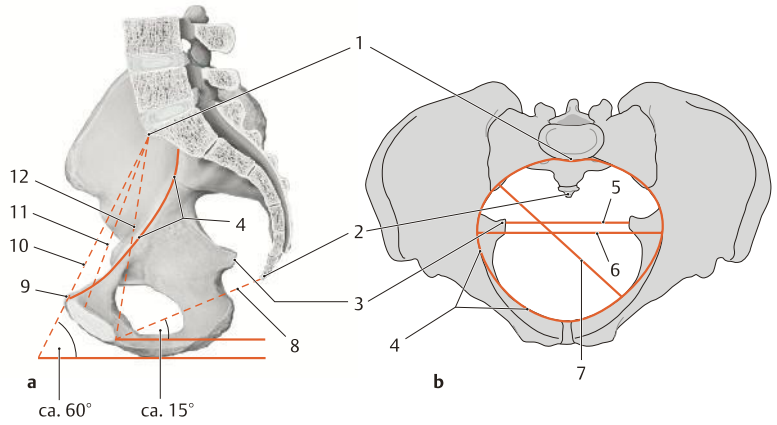


Abb. 10.5 Innere Beckenmaße der Frau. Ansicht von lateral (**a**) und ventral (**b**).
1 Promontorium
2 Os coccygis
3 Spina ischiadica
4 Linea terminalis
5 Diameter transversa der Beckenenge (11 cm)
6 Diameter transversa der Beckeneingangsebene (13 cm)
7 Diameter obliqua (12 cm)
8 Conjugata recta (Beckenausgangsebene, 9–11 cm)
9 Tuberculum pubicum
10 Beckeneingangsebene
11 Conjugata vera (11 cm)
12 Conjugata diagonalis (12,5–13 cm)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

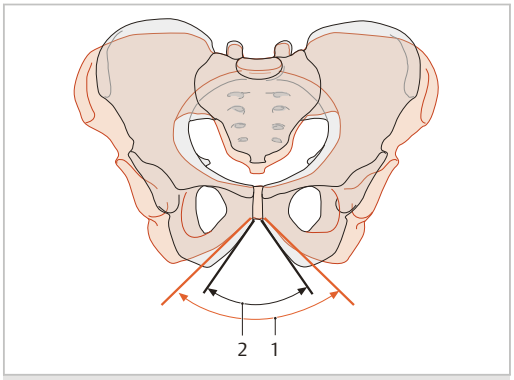


Abb. 10.6 Geschlechtsspezifische Beckenmerkmale. Ansicht von ventral kranial. Weibliches Becken rot, männliches grau. Das weibliche Becken ist größer und ausladender, der Schambeinwinkel ist größer und der Beckeneingang queroval. Das männliche Becken ist dagegen steiler und enger.
1 Arcus pubis
2 Angulus subpubicus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

val, der Arcus pubis ist stumpf (90–100°). Das Foramen obturatum ist queroval.

Beim **Mann** ist das Becken dagegen eher höher als breit. Die Darmbeinschaufeln stehen steil, eng und aufrecht. Der Abstand der Tubera ischiadica ist relativ klein. Das Promontorium ragt weiter nach ventral, sodass sich ein kartenherzförmiger Umriss des Beckeneingangs ergibt. Der Angulus subpubicus ist spitz (ca. 70°). Das Foramen obturatum ist rundlich.

10.2.2 Oberschenkel (▶ Abb. 10.7)

Der Oberschenkelknochen (**Os femoris, Femur**) bestimmt als längster Knochen des Skeletts wesentlich die Körpergröße. Kopf (**Caput femoris**), Hals (**Collum femoris**) und Schaft (**Corpus femoris**) bilden einen Winkel (**CCD-Winkel**), der typische altersabhängige Veränderungen zeigt. Distal formen sich am Femur 2 **Condylen** zum Kniegelenk.

Der **Hüftkopf** (**Caput femoris**[19]) ist großflächig überknorpelt und bildet den kugeligen Gelenkkopf, der im Acetabulum des Beckens liegt. Zentral bildet sich ein knorpelfreier Bereich (**Fovea capitis femoris**[18]) für eine ligamentäre Verankerung.

Der **Schenkelhals** (**Collum femoris**[17]) zeigt aufgrund seiner extremen Belastung beim Einbeinstand die größten Veränderungen im Lauf des Lebens: In der Entwicklung ist er zunächst sehr steil (vertikal) angelegt und nähert sich dann zunehmend der Horizontalebene. Zusätzlich verläuft er von medioventral nach dorsolateral, zeigt somit eine leichte Anteversion des Hüftkopfs.

Der Winkel zwischen Schenkelhals und Femurschaft wird Caput-Collum-Diaphysen-Winkel (**CCD-Winkel**) genannt. Bei Neugeborenen liegt er bei etwa 150°, bei Kleinkindern hat er noch 140° und ab dem 3. Lebensjahr verringert er sich dann auf 125°. Bei älteren Menschen verringert sich der Winkel häufig auf unter 120°, was zu einer schlechteren Stabilität und einer höheren Frakturneigung führt. Bleibt der CCD-Winkel über 138°, spricht man von Coxa valga, wird er kleiner als 120°, nennt man das Coxa vara.

Die **Anteversion des Schenkelhalses** bildet sich in der Fetalzeit aus und erreicht bei der Geburt ihren höchsten Wert (ca. 34°). Beim Erwachsenen reduziert sich dieser Winkel auf etwa 12°.

Der **Femurschaft** (**Corpus femoris**) ist eine kompakte Knochenröhre. Dorsal auf ihr verläuft längs ein Knochenkamm (**Linea aspera**[6]), der 2 Lippen ausbildet (**Labium mediale** und **laterale**), die proximal und distal jeweils v-förmig auseinanderweichen. Proximal zieht das Labium mediale auf die Ventralseite und geht in die **Linea intertrochanterica**[21] über, das Labium laterale zieht in Richtung Trochanter major und bildet die **Tuberositas glutealis**. Distal gehen die beiden Labien in die **Linea supracondylaris** lateralis[7] bzw. medialis[8] über. Zwischen ihnen formt sich die **Facies poplitea**[9].

Durch die zahlreichen vom Becken ansetzenden Muskeln bilden sich am proximalen Femurschaft 2 Muskelapophysen, lateral der mächtige **Trochanter major**[2] und dorsomedial der wesentlich kleinere **Trochanter minor**[16]. Die ausgeprägte Einsenkung zwischen den Trochanteren dorsal nennt man **Crista intertrochanterica**[3], ventral spricht man von einer **Linea intertrochanterica**[21]. In Rich-

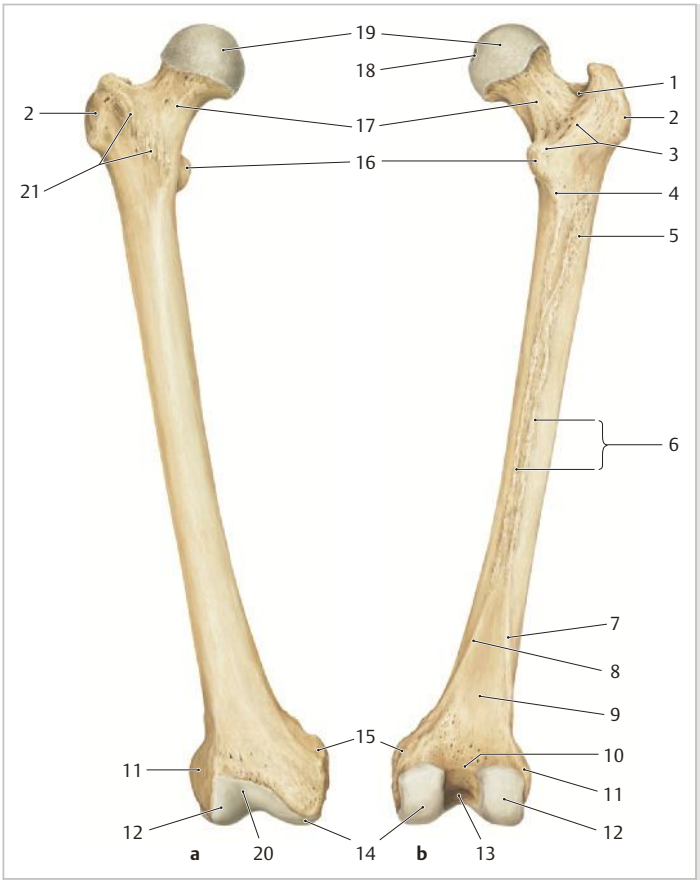


Abb. 10.7 Rechtes Femur von ventral (**a**) und dorsal (**b**).
1 Fossa trochanterica
2 Trochanter major
3 Crista intertrochanterica
4 Linea pectinea
5 Tuberositas glutealis
6 Linea aspera
7 Linea supracondylaris lateralis
8 Linea supracondylaris medialis
9 Facies poplitea
10 Linea intercondylaris
11 Epicondylus lateralis
12 Condylus lateralis
13 Fossa intercondylaris
14 Condylus medialis
15 Epicondylus medialis
16 Trochanter minor
17 Collum femoris
18 Fovea capitis femoris
19 Caput femoris
20 Facies patellaris
21 Linea intertrochanterica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

tung Schenkelhals bildet sich am Trochanter major noch die **Fossa trochanterica**[1] aus.

Distal verbreitert sich der Schenkelschaft zu dem prominenteren **Epicondylus medialis**[15] und dem etwas weniger vorspringenden **Epicondylus lateralis**[11]. An den Epicondylen liegen von dorsal betrachtet die knorpelüberzogenen **Condylen**[12, 14], die durch eine tiefe **Fossa intercondylaris**[13] getrennt sind. Auf der Ventralseite verbinden sich die Knorpelflächen in der **Facies patellaris**[20]. Die Krümmung der Gelenkflächen ist dorsal stärker als ventral.

Die Kniescheibe (**Patella**) liegt als größtes Sesambein des Körpers ventral am distalen Ende des Femurs. Der proximale Rand des flächigen Knochens ist abgerundet (Basis patellae), der distale Rand ist leicht ausgezogen (Apex patellae). Die Hinterfläche (Facies articularis) bildet in der Mitte eine Führungsleiste und ist insgesamt knorpelig überzogen.

10.2.3 Unterschenkel (▶ Abb. 10.8)

Zwei Knochen stabilisieren den Unterschenkel: das lasttragende Schienbein (**Tibia**) und das angelagerte schlankere Wadenbein (**Fibula**). Während proximal nur die Tibia mit dem Femur artikuliert, bilden beide Unterschenkelknochen distal die **Malleolengabel** des oberen Sprunggelenks.

Der proximale **Tibiakopf** (**Caput tibiae**) bildet auf seinen Condylen die beiden flachen **Facies articulares superiores**, die durch eine flache Vertiefung voneinander getrennt sind. Quer durch diese Vertiefung verläuft ein Steg (**Eminentia intercondylaris**), der die beiden Gelenkflächen miteinander verbindet und die Vertiefung in eine vordere und

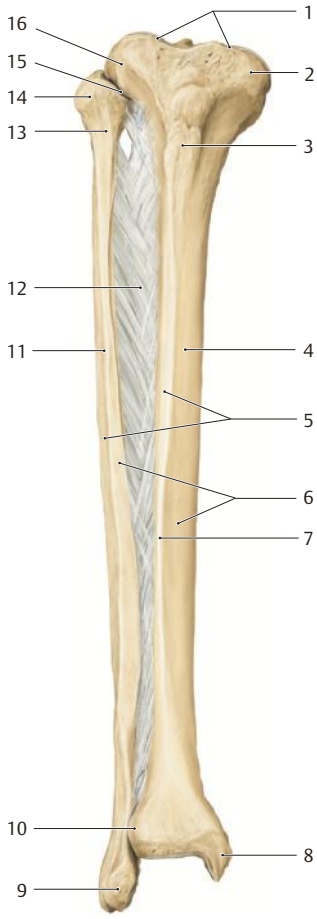


Abb. 10.8 Tibia und Fibula des rechten Unterschenkels von ventral.
1 Tibiaplateau
2 Condylus medialis
3 Tuberositas tibiae
4 Corpus tibiae
5 Facies lateralis
6 Facies medialis
7 Margo anterior
8 Malleolus medialis
9 Malleolus lateralis
10 Syndesmosis tibiofibularis
11 Corpus fibulae
12 Membrana interossea cruris
13 Collum fibulae
14 Caput fibulae
15 Articulatio tibiofibularis
16 Condylus lateralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

eine hintere Hälfte teilt (Area intercondylaris anterior und posterior). Dorsolateral liegt am Condylus lateralis tibiae nach distal zeigend die **Facies articularis fibularis**.

Der **Tibiaschaft** (**Corpus tibiae**[4]) geht fließend aus dem Tibiakopf hervor und hat eine typische, dreikantige Form. Nach ventral weisen Margo anterior[7] (Schienbeinkante) und die Facies medialis[6], die dorsomedial abgerundet über die Margo medialis in die Facies posterior übergeht. Proximal verläuft an der Facies posterior eine Rauigkeit schräg von proxolateral nach distomedial (Linea m. solei). Ventral liegt unterhalb des Tibiakopfs die **Tuberositas tibiae**[3].

Der distale Abschnitt der Tibia verbreitert sich und bildet lateral die **Incisura fibularis**, in der über eine Syndesmose die Fibula fixiert ist. Medial geht der Tibiaschaft in den Innenknöchel (**Malleolus medialis**[8]) über, der an seiner dorsalen Seite eine Einkerbung (**Sulcus malleolaris**) aufweist, in der die Sehne des M. tibialis posterior gleitet. Die laterale Fläche des Malleolus medialis und die distale Abschlussfläche der Tibia bilden eine gemeinsame, von Knorpel überzogene Facies articularis.

Die Tibia weist von proximal nach distal eine **Torsion** auf, die beim Erwachsenen etwa 23° nach außen beträgt. Sie kompensiert die Antetorsion des Oberschenkelhalses und bewirkt, dass die Füße beim Stand leicht nach außen weisen und ihre Längsachsen einen Winkel von ca. 45° bilden. Beim Kleinkind ist die Tibiatorsion noch nicht so stark ausgeprägt; deshalb weisen die Fußspitzen physiologischerweise leicht nach innen.

Das **Fibulaköpfchen** (**Caput fibulae**[14]) trägt medial eine überknorpelte Gelenkfläche und ist über einen kurzen, sich verjüngenden Abschnitt (Collum fibulae[13]) mit dem **Fibulaschaft** (**Corpus fibulae**[11]) verbunden, der im Querschnitt drei- bis vierkantig ist. Distal bildet die Fibula den Außenknöchel (**Malleolus lateralis**[9]) mit einer nach medial gerichteten Gelenkfläche. An der Dorsalseite findet man im Außenknöchel eine Grube (**Fossa malleoli lateralis**), an der lateralen Seite eine Rinne (**Sulcus malleolaris**).

10.2.4 Fuß (▶ Abb. 10.9)

Am Fuß unterscheidet man 3 hintereinander geordnete Abschnitte: Fußwurzel (**Tarsus**), Mittelfuß (**Metatarsus**) und Zehen (**Digiti pedis**). Klinisch

teilt man den Fuß in einen **Rückfuß** (Talus und Calcaneus), einen **Mittelfuß** (Region des Os naviculare, cuneiforme und cuboideum sowie des Metatarsus) und einen **Vorfuß** (Zehen) ein. Das Fußskelett ist sowohl in der Längs- als auch in der Querrichtung gewölbt.

Funktionell gliedert sich der Fuß in 2 Streben:

- die tibiale Strebe wird von Os naviculare[12], den Ossa cuneiformia[13–15] sowie den Ossa metatarsi I–III und den zugehörigen Zehen gebildet. Beim gewöhnlichen Stehen mit leicht außenrotierten Füßen trägt diese Achse die Hauptlast des Körpers.
- Die fibulare Strebe beginnt am vorderen Calcaneus[6] und zieht über das Os cuboideum[5] zum Os metatarsi IV und V sowie weiter zum 4. und 5. Zeh. Werden die Füße parallel gestellt, ist diese Achse besonders belastet.

Um die mechanische Belastung aufzufangen und zu verteilen, gibt es am Fuß 2 Wölbungen: Die Längswölbung zieht vom Calcaneus bis zu den Mittelfußknochen. Sie ist tibial stärker ausgeprägt als fibular. Die Querwölbung findet sich überwiegend im distalen Tarsus. Beide Gewölbe sind knöchern angelegt, müssen jedoch über Bänder und Muskeln stabilisiert werden.

Man unterscheidet folgende **Fußdeformitäten**: Beim **Plattfuß** sinkt die tibiale Strebe ein und bedingt einen Verlust der Längs- und Querwölbung. Beim **Spreizfuß** ist die Querwölbung im Mittelfuß abgeflacht, was zu einer verstärkten Belastung der Mittelfußknochen II–IV und zu einer Verbreiterung des Vorfußes führt. Beim **Klumpfuß** ist der laterale Fußrand nach plantar gerichtet, die Fußsohle blickt nach medial.

Tarsus

Der Knochenkörper des **Talus**[11] (Sprungbein) bildet nach proximal (Facies superior) eine große, walzenförmige Gelenkfläche (**Trochlea tali**[8]), die sich nach lateral und medial der Malleolengabel folgend erweitert (Facies malleolaris lateralis und

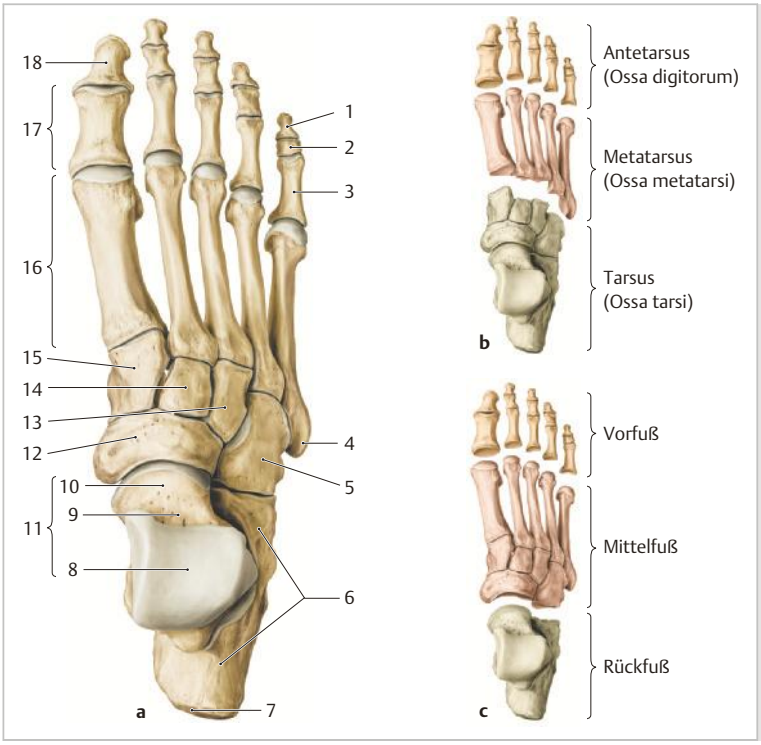


Abb. 10.9 Fußskelett.
a Knochen, **b** anatomische und **c** klinische Einteilung.
1 Phalanx distalis V
2 Phalanx media V
3 Phalanx proximalis V
4 Tuberositas ossis metatarsi V
5 Os cuboideum
6 Calcaneus
7 Tuber calcanei
8 Corpus tali mit Trochlea tali
9 Collum tali
10 Caput tali
11 Talus
12 Os naviculare
13 Os cuneiforme laterale
14 Os cuneiforme intermedium
15 Os cuneiforme mediale
16 Os metatarsi I
17 Phalanx proximalis I
18 Phalanx distalis I
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

medialis). An der Facies inferior bildet sich ebenfalls eine größere Gelenkfläche, die zum Calcaneus zeigt (Facies articularis calcanea posterior). Medial dieser Fläche bildet sich eine knöcherne Rinne für die Sehne des M. flexor hallucis longus (Sulcus tendinis m. flexoris hallucis longi). In Richtung Zehen formt sich das **Collum tali**[9], das in einem knorpelüberzogenen Kopf endet (**Caput tali**[10] mit Facies articularis navicularis). Auf der Unterseite befinden sich an den Gelenkflächen des Kopfs noch 2 weitere Gelenkflächen, die mit dem Calcaneus in Verbindung stehen (Facies articularis calcanea media und anterior).

Der **Calcaneus**[6] (Fersenbein) ist der größte Fußwurzelknochen. Er ragt mit dem mächtigen **Tuber calcanei**[7] nach dorsal. An der Facies superior befinden sich analog zum Talus 3 Gelenkflächen (Facies articularis talaris posterior, media und anterior). An der hinteren der Flächen findet man einen Sulcus calcanei, an der mittleren bildet sich nach medial ein knöcherner Vorsprung (Sustentaculum tali), um welches die Sehne des M. flexor hallucis longus nach distal zieht. Zehenwärts befindet sich die Facies articularis cuboidea.

Proximal am **Os naviculare**[12] (Kahnbein) befindet sich eine konkave Gelenkfläche für den Taluskopf, distal 3 facettierte Knorpelflächen für den Kontakt mit den Ossa cuneiformia. Medial bildet sich ein Knochenvorsprung (Tuberositas ossis navicularis), der durch die Haut tastbar ist.

Am lateralen Tarsus liegt das **Os cuboideum**[5] (Würfelbein). Es hat Verbindungen zum Calcaneus, Os cuneiforme laterale und zu den Ossa metatarsi IV und V. Gelegentlich gibt es auch eine Verbindung mit dem Os naviculare. An der Unterseite befindet sich eine Rille für die Sehne des M. fibularis longus, deren Hinterrand ein ausgeprägter Knochenwulst ist (Tuberositas ossis cuboidei).

Die 3 **Ossa cuneiformia**[13–15] (Keilbeine) liegen in einer Reihe distal des Os naviculare und bilden (besonders das Os cuneiforme intermedium und laterale) durch ihre keilförmig zur Fußsohle zeigende Form die knöcherne Grundlage für das Quergewölbe.

Metatarsus

Die 5 Mittelfußknochen (Ossa metatarsales) haben proximal eine **Basis**, dann ein **Corpus** und distal ein **Caput**. An der Basis des kräftigsten Os metatarsale I befindet sich lateral ein knöcherner Höcker (**Tuberositas ossis metatarsalis I**; Ansatz der Sehne des M. fibularis longus), im Kopfbereich formen sich regelmäßig 2 **Sesambeine**. Der zweitstärkste Knochen des Mittelfußes ist das Os metatarsale V am lateralen Fußrand. Auch an diesem Knochen bildet sich seitlich ein Höcker (**Tuberositas ossis metatarsalis V**[4]), der sich als Vorwölbung an der lateralen Fußseite abzeichnet.

Zehen

Das Skelett der Zehen (Digiti pedis) ist prinzipiell aufgebaut wie das der Finger. Die 2.–5. Zehe besitzt eine **Phalanx proximalis**, **Phalanx media** und **Phalanx distalis**, während der 1. Zeh (Hallux) wie der Daumen nur 2 Phalangen hat. Jeder dieser Knochen besteht aus Basis (proximal), Corpus und Caput phalangis (distal).

10.3 Gelenke und Muskeln

10.3.1 Gelenke des Beckens



Die beiden Darmbeine des Beckens sind dorsal über die beiden **Iliosakralgelenke** mit dem Kreuzbein, die beiden Schambeine ventral über die **Symphyse** miteinander verbunden. Insgesamt bildet das Becken so einen straffen Ring. Aus mechanischen Gründen sind zusätzlich kräftige Bänder (insbesondere die **Ligg. sacrotuberalia** und **sacrospinalia**) aufgespannt. Die Beckengürtelmuskulatur dient überwiegend der Beckenstabilisierung und weniger der Beweglichkeit.

Gelenkige Verbindungen und Bandapparat (▶ Abb. 10.10)

Über die **Articulatio sacroiliaca** stehen Kreuzbein (Os sacrum) und Darmbein (Osilium) in äußerst straffer gelenkiger Verbindung (Amphiarthrose). Klinisch wird sie als Iliosakralgelenk (ISG) bezeichnet. Ventral überspannen die **Ligg. sacroiliaca anteriora**[8] den Gelenkspalt. Dorsal des Gelenks ziehen zunächst die kurzen Ligg. sacroiliaca interossea zwischen Tuberositas sacralis und Tuberositas iliaca, auf die die **Ligg. sacroiliaca posteriores**[6] folgen, die mehr schräg vom Kreuzbein zur Tuberositas iliaca und der Spina iliaca posterior inferior verlaufen. Einige oberflächliche Faserzüge verlaufen auch zur Spina iliaca posterior superior.

medialis). An der Facies inferior bildet sich ebenfalls eine größere Gelenkfläche, die zum Calcaneus zeigt (Facies articularis calcanea posterior). Medial dieser Fläche bildet sich eine knöcherne Rinne für die Sehne des M. flexor hallucis longus (Sulcus tendinis m. flexoris hallucis longi). In Richtung Zehen formt sich das **Collum tali**[9], das in einem knorpelüberzogenen Kopf endet (**Caput tali**[10] mit Facies articularis navicularis). Auf der Unterseite befinden sich an den Gelenkflächen des Kopfs noch 2 weitere Gelenkflächen, die mit dem Calcaneus in Verbindung stehen (Facies articularis calcanea media und anterior).

Der **Calcaneus**[6] (Fersenbein) ist der größte Fußwurzelknochen. Er ragt mit dem mächtigen **Tuber calcanei**[7] nach dorsal. An der Facies superior befinden sich analog zum Talus 3 Gelenkflächen (Facies articularis talaris posterior, media und anterior). An der hinteren der Flächen findet man einen Sulcus calcanei, an der mittleren bildet sich nach medial ein knöcherner Vorsprung (Sustentaculum tali), um welches die Sehne des M. flexor hallucis longus nach distal zieht. Zehenwärts befindet sich die Facies articularis cuboidea.

Proximal am **Os naviculare**[12] (Kahnbein) befindet sich eine konkave Gelenkfläche für den Taluskopf, distal 3 facettierte Knorpelflächen für den Kontakt mit den Ossa cuneiformia. Medial bildet sich ein Knochenvorsprung (Tuberositas ossis navicularis), der durch die Haut tastbar ist.

Am lateralen Tarsus liegt das **Os cuboideum**[5] (Würfelbein). Es hat Verbindungen zum Calcaneus, Os cuneiforme laterale und zu den Ossa metatarsi IV und V. Gelegentlich gibt es auch eine Verbindung mit dem Os naviculare. An der Unterseite befindet sich eine Rille für die Sehne des M. fibularis longus, deren Hinterrand ein ausgeprägter Knochenwulst ist (Tuberositas ossis cuboidei).

Die 3 **Ossa cuneiformia**[13–15] (Keilbeine) liegen in einer Reihe distal des Os naviculare und bilden (besonders das Os cuneiforme intermedium und laterale) durch ihre keilförmig zur Fußsohle zeigende Form die knöcherne Grundlage für das Quergewölbe.

Metatarsus

Die 5 Mittelfußknochen (Ossa metatarsales) haben proximal eine **Basis**, dann ein **Corpus** und distal ein **Caput**. An der Basis des kräftigsten Os metatarsale I befindet sich lateral ein knöcherner Höcker (**Tuberositas ossis metatarsalis I**; Ansatz der Sehne des M. fibularis longus), im Kopfbereich formen sich regelmäßig 2 **Sesambeine**. Der zweitstärkste Knochen des Mittelfußes ist das Os metatarsale V am lateralen Fußrand. Auch an diesem Knochen bildet sich seitlich ein Höcker (**Tuberositas ossis metatarsalis V**[4]), der sich als Vorwölbung an der lateralen Fußseite abzeichnet.

Zehen

Das Skelett der Zehen (Digiti pedis) ist prinzipiell aufgebaut wie das der Finger. Die 2.–5. Zehe besitzt eine **Phalanx proximalis**, **Phalanx media** und **Phalanx distalis**, während der 1. Zeh (Hallux) wie der Daumen nur 2 Phalangen hat. Jeder dieser Knochen besteht aus Basis (proximal), Corpus und Caput phalangis (distal).

10.3 Gelenke und Muskeln

10.3.1 Gelenke des Beckens



Die beiden Darmbeine des Beckens sind dorsal über die beiden **Iliosakralgelenke** mit dem Kreuzbein, die beiden Schambeine ventral über die **Symphyse** miteinander verbunden. Insgesamt bildet das Becken so einen straffen Ring. Aus mechanischen Gründen sind zusätzlich kräftige Bänder (insbesondere die **Ligg. sacrotuberalia** und **sacrospinalia**) aufgespannt. Die Beckengürtelmuskulatur dient überwiegend der Beckenstabilisierung und weniger der Beweglichkeit.

Gelenkige Verbindungen und Bandapparat (▶ Abb. 10.10)

Über die **Articulatio sacroiliaca** stehen Kreuzbein (Os sacrum) und Darmbein (Osilium) in äußerst straffer gelenkiger Verbindung (Amphiarthrose). Klinisch wird sie als Iliosakralgelenk (ISG) bezeichnet. Ventral überspannen die **Ligg. sacroiliaca anteriora**[8] den Gelenkspalt. Dorsal des Gelenks ziehen zunächst die kurzen Ligg. sacroiliaca interossea zwischen Tuberositas sacralis und Tuberositas iliaca, auf die die **Ligg. sacroiliaca posteriores**[6] folgen, die mehr schräg vom Kreuzbein zur Tuberositas iliaca und der Spina iliaca posterior inferior verlaufen. Einige oberflächliche Faserzüge verlaufen auch zur Spina iliaca posterior superior.

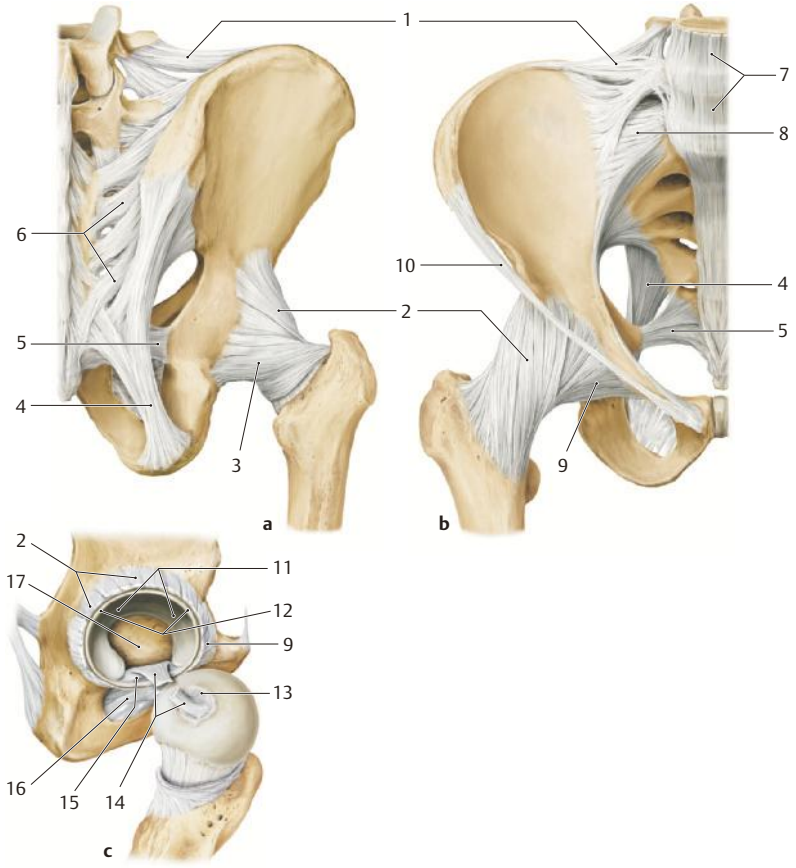


Abb. 10.10 Bandapparat des Hüftgelenks.
1 Lig. iliolumbale
2 Lig. iliofemorale
3 Lig. ischiofemorale
4 Lig. sacrotuberale
5 Lig. sacrospinale
6 Ligg. sacroiliaca posteriores
7 Lig. longitudinale anterius
8 Ligg. sacroiliaca anteriora
9 Lig. pubofemorale
10 Lig. inguinale
11 Facies lunata
12 Labrum acetabuli
13 Fovea capitis femoris
14 Lig. capitis femoris
15 Lig. transversumacetabuli
16 Membrana obturatoria
17 Fossa acetabuli
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Weiter kaudal ist das Sitzbein (Os ischii) zwar nicht gelenkig, aber durch Bänder mit dem Kreuzbein verbunden. Dorsal zieht das **Lig. sacrotuberale**[4] vom Kreuzbein nach kaudal lateral zum Tuber ischiadicum. Ventral davon liegt das **Lig. sacrospinale**[5], das vom kaudalen Kreuzbein nahezu horizontal zur Spina ischiadica zieht. Die Bänder bilden mit den Knochenrändern des Beckens 2 laterale Öffnungen, das große kranial gelegene **Foramen ischiadicum majus** und das kleinere **Foramen ischiadicum minus**.

Innerhalb des Hüftbeins (Os coxae) bleiben trotz synostotischer Verschmelzung Bandstrukturen zwischen den Knochenanteilen bestehen. Das längste dieser Bänder ist das Leistenband (**Lig. inguinale**[10]) zwischen der Spina iliaca anterior superior und dem Tuberculum pubicum. Zwischen Band und Knochen liegt eine langgestreckte Öffnung, die von einen von der Mitte des Bandes zum Knochen ziehenden Bindegewebszug (**Arcus iliopectineus**) in 2 Teile getrennt wird: medial die Lacuna vasorum und lateral die Lacuna musculorum.

Am Foramen obturatum bildet sich eine flächige **Membrana obturatoria**[16] mit überwiegend von superior posterior nach inferior anterior verlaufenden Faserzügen. Superior medial bleibt allerdings eine kleine Aussparung offen (**Canalis obturatorius**), ergänzt durch eine Einkerbung im R. superior ossis pubis (Sulcus obturatorius).

An der Schambeinfuge (**Symphysis pubica**) verbinden sich die beiden Schambeine über Faserknorpel (Discus interpubicus). Der kraniale Rand wird vom **Lig. pubicum superius** verstärkt, der kaudale vom **Lig. arcuatum pubis** (entsprichtdem Lig. pubicum inferius).

Mechanik des Beckens

Bedingt durch die Lendenlordose und das markante Abknicken des Os sacrum nach dorsal drückt das Körpergewicht das Promontorium nach ventrokaudal, was zu einer Dorsalkippung des Os sacrum führen würde. Diese Bewegung wir durch 2 starke Bänder verhindert (Lig. sacrotuberale und sacrospinale). Die Gegenbewegung, d. h. die Aufstellung des Beckens, wird durch die Lage der Iliosakralgelenke (Diarthrosen) und deren straffe Bandaufhängung gebremst und kann nur durch eine Hyperlordose der Lendenwirbel leicht variiert werden.

Die **Symphyse** ist ebenfalls eine straffe Knochenverbindung (Synarthrose), die nur minimale Verschiebungen erlaubt.

Die **Beckenstabilität während der Schwangerschaft** wird unter dem Einfluss des im Corpus luteum gebildeten Hormons Relaxin verändert: Das kollagene Bindegewebe der Beckenverbindungen wird flexibler, sodass sich die Beweglichkeit im Iliosakralgelenk und der Symphyse erhöht. Dadurch kann sich während der Geburt der Beckenkanal passiv durch den Druck des kindlichen Kopfs erweitern. Andererseits wird dadurch die Stabilität des Beckens reduziert, was zu Gangstörungen und Rückenbeschwerden führen kann. Die Stabilisierungsphase nach der Geburt dauert mindestens 1 Jahr.

Beim **Stehen auf 2 Beinen** wird die Last des Rumpfes von der Wirbelkette über die Iliosakralgelenke auf die Femurköpfe übertragen. Die daraus resultierende, nach lateral verlaufende Kraftaufteilung bewirkt **Zugkräfte** an der Symphyse, die durch eine Kontraktion der Glutealmuskulatur und des Beckenbodens noch verstärkt werden können. Den Zugkräften entgegen wirken die Bänder der Symphyse und eine muskuläre Stabilisierung durch den M. iliopsoas.

Beim **Stand auf nur einem Bein** bzw. beim **Gehen** übernimmt das Standbein, unterstützt vom M. gluteus medius (S. 136), das gesamte Rumpfgewicht, während sich das Spielbein frei bewegen kann. Das Spielbein wirkt jedoch als zusätzliches Gewicht, was zu einer **Druckbelastung** der Symphyse besonders im kaudalen Bereich führt. Diese Druckwirkung kann durch aktives Anheben des Beckens auf der Spielbeinseite (M. quadratus lumborum (S. 107), M. obliquus internus abdominis und externus) reduziert werden.

Beim **Sitzen** wird das Körpergewicht auf die beiden Tubera ischiadica übertragen, die medial des Iliosakralgelenks liegen. Die Kräfte wirken somit nach medial, was zu einer **Druckbelastung** der Symphyse führt. Dies erklärt den knorpeligen Anteil im Discus interpubicus. Die Druckbelastung kann aktiv durch Anspannung des Beckenbodens reduziert werden.

Viele Haltungsschäden und Rückenbeschwerden gehen mit einer **Fehlbelastung des Beckens** beim Stehen und Sitzen einher. Ein bewusstes Einsetzen der entlastenden Muskelgruppen kann zu erstaunlichen Besserungen führen.

Muskulatur des Beckens

Die weitgehende Versteifung der Einzelknochen des Beckens (Os ileum, Os ischii und Os pubis) und die Verbindung mit den Wirbeln (Os sacrum) macht aus der ursprünglich vorhandenen bewegungsorientierten Muskulatur eine Stabilisierungsmuskulatur.

Als Beckengürtelmuskulatur sind zusammenzufassen:

- M. quadratus lumborum (S. 610),
- M. psoas minor: bei etwa 50 % der Menschen vorhanden, zieht vom 12. Brust- und 1. Lendenwirbel mit einer langen Sehne in den Arcus iliopectineus des Lig. inguinale (▶ **Abb. 10.11**[1]),
- M. levator ani (S. 316),
- M. coccygeus (S. 316).

10.3.2 Hüftgelenk

Becken und Oberschenkel sind über die **Articulatio coxae** verbunden, einem Nussgelenk mit 3 Freiheitsgraden. Ein straffes Bandsystem schränkt den Bewegungsradius zugunsten einer höheren Stabilität ein, die für den aufrechten Stand und Gang notwendig ist. Als Gegenspieler zur passiven Krafteinwirkung bilden sich muskulär

besonders die **Strecker**, die **Adduktoren** und die **Außenrotatoren** aus.

Aufbau des Hüftgelenks (▶ Abb. 10.10)

Über das Hüftgelenk (Articulatio coxae) ist das Femur mit dem Becken verbunden. Die Pfanne des Hüftgelenks besteht aus dem knöchernen **Acetabulum** und dem **Lig. transversum acetabuli**[15], welches die kaudale knöcherne Aussparung (Incisura acetabuli) schließt. Etwas vergrößert wird die Pfanne durch eine faserknorpelige Pfannenlippe (**Labrum acetabuli**[12]). Diese Lippe umfasst den kugelförmigen Gelenkkopf (Caput femoris) jenseits des Äquators und schließt somit den Gelenkspalt ab. Die Gelenkfläche des Acetabulums ist die sichelförmige, knorpelüberzogene **Facies lunata**[11], die in ihrer Mitte die Fossa acetabuli[16] frei lässt, in die das **Lig. capitis femoris**[14] eingebettet ist. Dieses Band entspringt in der Incisura acetabuli und zieht zur Fovea capitis femoris[13]. Es dient als Leitschiene für den R. acetabularis der A. obturatoria und hat keine mechanische Funktion.

Die **Gelenkkapsel** ist außen am knöchernen Pfannenrand und am Lig. transversum acetabuli, nicht jedoch an der Pfannenlippe fixiert. Am Femur setzt sie ventral an der Linea intertrochanterica an. Damit liegt die Vorderfläche des Schenkelhalses vollständig intrakapsulär. Dorsal zieht sie nicht ganz bis zur Crista intertrochanterica. Der Schenkelhals ist von Synovialmembran überzogen, unter der Blutgefäße aus der A. circumflexa femoris medialis und lateralis zur Versorgung des Femurkopfs ziehen. Das Lig. capitis femoris ist ebenfalls von einer Synovialmembran umgeben – und somit extrakapsulär.

In der Ruhestellung, die bei 30° Flexion, 30° Abduktion und 10–20° Außenrotation erreicht wird, sind Gelenkkapsel und Bandapparat des Hüftgelenks am meisten entspannt. Die verriegelte Stellung mit maximaler Anspannung des Kapsel- und Bandapparats erreicht man in maximaler Extention bei gleichzeitiger Innenrotation und Adduktion.

In die fibröse Wandschicht der Gelenkkapsel sind kräftige **Verstärkungsbänder** eingelassen, welche die Bewegungsmöglichkeiten des Hüftgelenks entscheidend beeinflussen:

- Das **Lig. iliofemorale**[2] zieht auf der Ventralseite von der Spina iliaca anterior inferior fächerförmig zur Linea intertrochanterica. Man unterscheidet eine Pars transversa (in Richtung Basis des Trochanter major) und eine Pars longitudinalis (in Richtung Trochanter minor).
- Das **Lig. pubofemorale**[9] verläuft medial am Gelenk vom R. superior des Os pubis zur Basis des Trochanter minor.
- Das **Lig. ischiofemorale**[3] zieht dorsal vom Corpus ischii mit einer horizontal verlaufenden Pars superior zur Basis des Trochanter major und mit einer Pars inferior zum Trochanter minor.
- Die **Zona orbicularis** bildet einen Faserring an der dünnsten Stelle des Schenkelhalses und ist schraubenförmig mit allen 3 genannten Bändern verschmolzen. Der Hüftkopf ist damit fest in der Pfanne verankert.



Eine **traumatische Hüftluxation** ist selten und entsteht nur bei sehr starker Gewalteinwirkung. Die Schwachstellen des Bändergürtels liegen dabei zwischen Lig. iliofemorale und ischiofemorale (Verlagerung nach dorsal kranial) sowie zwischen Lig. iliofemorale und pubofemorale (Verlagerung nach ventral kaudal). Das Lig. capitis femoris reißt dabei in der Regel ab, die Kapsel reißt ein.

Bei **angeborener Hüftluxation** ist die Pfanne zu flach. Daher wandert der Schenkelkopf bei den ersten Belastungen ohne Kapselriss auf die Darmbeinschaufel. Das führt zu einem Funktionsverlust der Abduktoren und beidseitig zu einem Watschelgang (Trendelenburg-Zeichen).

Gelenkmechanik des Hüftgelenks

Das Hüftgelenk ist im Prinzip ein Kugelgelenk, doch da das Labrum acetabuli den kugelförmigen Gelenkkopf zu mehr als der Hälfte umfasst, spricht man von einem **Nussgelenk**. Dieses hat wie das Kugelgelenk 3 Freiheitsgrade, ist jedoch endgradig in der Beweglichkeit eingeschränkt. Die Beweglichkeit des Hüftgelenks wird aus der Normalstellung (Neutral-Null-Stellung) in die 3 Hauptebenen gemessen:

- Frontalachse: Flexion und Extension,
- Sagittalachse: Abduktion und Adduktion,
- Längsachse: Innenrotation und Außenrotation.

Die **Flexion** ist nicht durch Bänder gehemmt und beträgt passiv 120–140°. Bei gestrecktem Knie ist

die Beweglichkeit durch die passive Insuffizienz der ischiokruralen Muskulatur oft schon weit vorher begrenzt. Die **Extension** wird vom gesamten Bandsystem des Hüftgelenks auf etwa 15° beschränkt. Eine scheinbare stärkere Streckung kann nur bei rotatorischer Mitbewegung des Beckens erzielt werden.

Die **Abduktion** aus der Normalstellung wird vom Lig. pubofemorale begrenzt und beträgt maximal 30–45°. Bei gleichzeitiger Beugung kann die Abduktion jedoch bis auf 90° gesteigert werden. Der reine „Querspagat" kann allerdings nur durch eine Verstärkung der Lendenlordose vorgetäuscht werden. Die **Adduktion** wird durch das kräftige Lig. iliofemorale eingeschränkt und beträgt bei gestrecktem Bein etwa 20–30°. Bei gebeugtem Bein kann sie auf 55° erweitert werden.

Die **Innenrotation** wird vom Lig. ischiofemorale gehemmt und beträgt 40–50°. Die **Außenrotation**, eingeschränkt durch das Lig. pubofemorale, liegt zwischen 30 und 45°, kann jedoch durch Hüftbeugung auf bis zu 60° erhöht werden. Die Rotation wird klinisch meist bei jeweils 90° gebeugtem Hüft- und Kniegelenk bestimmt, denn dann kann der Unterschenkel als Messzeiger eingesetzt werden.

Beim **aufrechten Stand** auf 2 Beinen wird jedes Hüftgelenk mit etwa einem Drittel des Gesamtkörpergewichts belastet (das ist die Hälfte des Gewichts von Rumpf, Kopf und oberer Extremität). Eine Kraftersparnis der Streckmuskulatur kann durch ein leicht nach dorsal gekipptes Becken erzielt werden. Die Ligg. iliofemoralia übernehmen dann stärker die Stabilisierung.

Beim lässigen **Einbeinstand** sinkt das Becken zur Spielbeinseite so weit ab, bis der laterale Schenkel des Lig. iliofemorale angespannt ist. Damit werden die Abduktoren der Hüfte entlastet.

Die Gewichtsbelastung des Hüftkopfs wird beim reinen Einbeinstand durch den sehr kurzen Hebelarm (horizontaler Abstand zwischen Femurkopf und Trochanter major) stark erhöht: Die vektorielle Summe der einwirkenden Kräfte steigt bei normaler Anatomie bis auf das 3-Fache des Körpergewichts. Ist der CCD-Winkel (s. o.) größer als 130° (**Coxa valga**), wird der kurze Hebelarm noch kürzer, das Gelenk wird demzufolge mit höherer Kraft belastet (bis auf das 4-Fache des Körpergewichts). Bei einem CCD-Winkel von unter 120° (**Coxa vara**) muss die Muskulatur dagegen weniger Kraft aufbringen, die Gelenkbelastung ist demnach geringer. Allerdings erhöht sich die Biegebeanspruchung, was sich in einer erhöhten Frakturgefahr niederschlägt.

Muskulatur des Hüftgelenks

Die Hüftmuskeln umfassen als ringsum geschlossener Muskelmantel das Hüftgelenk. Nach dem Verlauf zu den 3 Hauptachsen des Hüftgelenks kann man die Muskeln in 6 Funktionsgruppen unterteilen (Beuger, Strecker, Abduktoren, Adduktoren, Innen- und Außenrotatoren). Durch die breiten Ursprungs- und Ansatzbereiche gehören aber einige Muskeln zu mehreren, teilweise sogar antagonistischen Gruppen, was diesen Muskeln mehr Haltearbeit als tatsächliche Bewegungsarbeit zuschreibt.

Alternative Einteilungen, die man in der Literatur findet, richten sich nach topografischen Gesichtspunkten (innere Hüftmuskeln, Glutealmuskeln, pelvitrochantere Muskeln, Adduktoren) oder nach den versorgenden Nerven.

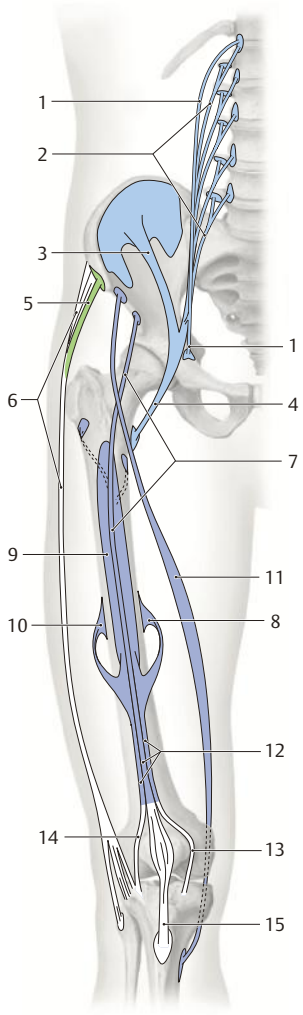
Beuger (▶ Abb. 10.11)

Der zweiteilige **M. iliopsoas** besteht medial aus dem **M. psoas major**[2], der miteiner oberflächlichen Schicht von der Seitenfläche des 12. BWK und des 1.–4. LWK sowie der Zwischenwirbelscheiben und mit einer tiefen Schicht von den Processus costales der Lendenwirbel ausgeht. Der laterale Bestandteil ist der **M. iliacus**[3], dessen Ursprung ein Großteil der Fossa iliaca ist. Die einheitliche Endsehne des M. iliopsoas inseriert am Trochanter minor.

Die Muskelfasern treten in der Leistenregion durch die **Lacuna musculorum**, umgreifen den Schenkelhals von medial und werden von der Gelenkkapsel durch die gelegentlich mit der Gelenkhöhle kommunizierende **Bursa iliopectinea** getrennt. Die Ansatzsehne wird häufig von einem weiteren Schleimbeutel, der **Bursa subtendinea iliaca**, abgefedert. Neben der Beugung kann der Muskel auch bei der Außenrotation mitwirken.

Abszesse der lumbalen Wirbel können entlang der Muskelfaszie des M. iliopsoas bis unter das Leistenband gelangen (**Senkungsabszess**). Durch die Reizung befindet sich das Bein dann häufig in einer gebeugten und außenrotierten Stellung.

In geringerem Ausmaß sind an der Beugung im Hüftgelenk folgende Muskeln beteiligt: M. tensor fasciae latae (S. 137), M. rectus femoris (S. 143),



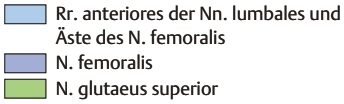
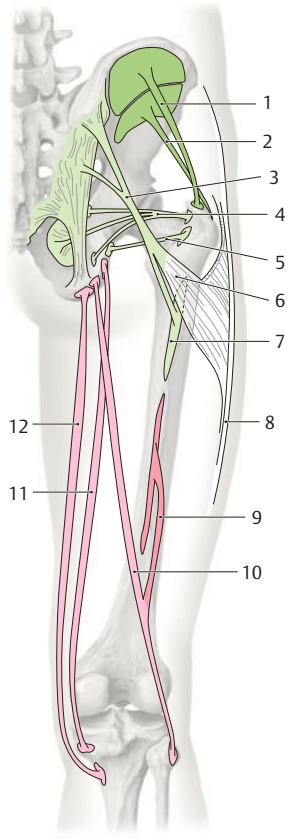


Abb. 10.11 Innere Hüftmuskeln, M. tensor fasciae latae und **Extensorengruppe der Oberschenkelmuskulatur** von ventral.
1 M. psoas minor
2 M. psoas major
3 M. iliacus
4 M. iliopsoas
5 M. tensor fasciae latae
6 Tractus iliotibialis
7 M. rectus femoris
8 M. vastus medialis
9 M. vastus intermedius
10 M. vastus lateralis
11 M. sartorius
12 M. quadriceps femoris
13 Retinaculum patellae mediale
14 Retinaculum patellae laterale
15 Lig. patellae
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

M. sartorius (S. 144), M. pectineus (S. 137), M. adductor longus und brevis (S. 137), M. gracilis (S. 144).

Strecker (▶ Abb. 10.12)

Der große Gesäßmuskel (**M. gluteus maximus**[3]) ist der wichtigste Strecker im Hüftgelenk und damit besonders wichtig für den aufrechten Stand und Gang. Erist der größte Muskel des menschlichen Körpers und hat einen sehr breiten Ursprung vom Rand von Kreuzbein und Steißbein, vom Darmbeinkamm hinter der Linea glutealis posterior, von der Fascia thoracolumbalis und vom Lig. sacrotuberale. Die schräg nach lateral verlaufenden Muskelfasern gehen in eine breite Sehne über, die proximal an der Fascia lata und dem Tractus iliotibialis, distal an der Tuberositas glutealis und über das Septum intermusculare laterale an der seitlichen Lippe der Linea aspera ansetzt. Zwischen Tuber ischiadicum und M. gluteus maximus liegt zur Dämpfung die **Bursa ischiadica m. glutei maximi**. Am Trochanter major bildet sich ebenfalls ein Schleimbeutel zur Sehne (**Bursa trochanterica m. glutei maximi**). Mit den kranial liegenden Fasern kann der Muskel zusätzlich noch



Innervation:
- N. glutaeus superior
- N. glutaeus inferior, 4 N. musculi obturatoris interni, 5 N. musculi quadrati femoris
- Tibialisanteil des N. ischiadicus
- Fibularisanteil des N. ischiadicus

Abb. 10.12 Äußere Hüftmuskeln und **Flexorengruppe der Oberschenkelmuskulatur** von dorsal.
1 M. gluteus medius
2 M. gluteus minimus
3 M. gluteus maximus
4 M. obturatorius internus und Mm. gemelli
5 M. quadratus femoris
6 Ansatzsehne des M. gluteus maximus zum Tractus iliotibialis
7 Ansatzsehne des M. gluteus maximus zur Tuberositas glutea
8 Tractus iliotibialis
9 Caput breve des M. biceps femoris
10 Caput longum des M. biceps femoris
11 M. semimembranosus
12 M. semitendinosus
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

die Abduktion unterstützen, mit den kaudalen Faserzügen die Adduktion. Durch seinen schrägen Verlauf ist der M. gluteus maximus auch der wichtigste Außenrotator.

Bei **Lähmung des M. gluteus maximus** ist Treppensteigen und Aufstehen aus dem Sitzen nicht mehr möglich. Im Stehen und beim flachen Gehen kann die Extension durch die nachgenannten Muskeln labil aufrechterhalten werden.

In geringerem Ausmaß sind an der Streckung im Hüftgelenk folgende Muskeln beteiligt: M. gluteus medius und minimus (S. 137) (dorsale Fasern; s. auch u.), M. semimembranosus (S. 143), M. semitendinosus (S. 143), M. adductor magnus (S. 137), M. piriformis (S. 139) und das Caput longum des M. biceps femoris (S. 144).

Abduktoren

Wichtigster Abduktor im Hüftgelenk ist der **M. gluteus medius** (▶ **Abb. 11.12**[1]). Mit seinem breitbasigen Ursprung an der Außenfläche der Darmbeinschaufel zwischen Darmbeinkamm, Linea glutealis anterior und posterior ziehen die Muskelfasern teilweise ohne längere Sehnen gebündelt an die Spitze des Trochanter major. Zwischen Ansatzsehne und Knochen bilden sich oft mehrere kleine

Bursae trochantericae m. glutei medii. Die ventralen Muskelfasern unterstützen neben der Abduktion maßgeblich die Innenrotation, die dorsalen Anteile können bei der Außenrotation und Streckung mit eingesetzt werden.

Ein **Ausfall der „kleinen Gluteen“** (N. gluteus superior) führt beim Einbeinstand zum Absinken des Beckens zur Spielbeinseite (**Trendelenburg-Zeichen**). Beim Gehen wird kompensatorisch der Rumpf zur Seite gebeugt (**Duchenne-Hinken**).

Der platte, parallelfaserige **M. tensor fasciae latae** (▶ **Abb. 10.11**[5]) entspringt lateral von der Spina iliaca anterior superior und inseriert an der Fascia lata. Durch seine laterale Lage unterstützt er maßgeblich auch die Beugung und Innenrotation. Aufgrund seiner Lage ist der Muskel ein guter Beuger und besonders bei Sprintern ausgeprägt.

Der **M. gluteus minimus** (▶ **Abb. 10.12**[2]) hat seinen Ursprung zwischen Linea glutealis anterior und inferior auf der Außenfläche der Darmbeinschaufel, sein Ansatz liegt an der lateralen Kante der Vorderfläche des Trochanter major. Der Muskel unterstützt den M. gluteus medius, ist jedoch nur ein schwacher Abduktor.

In geringerem Ausmaß sind an der Abduktion der M. gluteus maximus (S. 135) (Fasern, die an der Fascia lata ansetzen), der M. piriformis (S. 139) und der M. obturatorius internus (S. 138) beteiligt.

Adduktoren (▶ Abb. 10.13)

Der **M. adductor magnus**[6] entspringt dorsal der übrigen Adduktoren von der Vorderfläche des R. inferior ossis pubis über das Os ischii bis zum Tuber ischiadicum. Der mediale Teil bildet eine Sehne und zieht zum Epicondylus medialis des Femurs. Von dieser Sehe aus zieht eine Bindegewebsplatte zum M. vastus medialis, die Membrana vastoadductoria. Sie bildet einen von ventroproximal geöffneten Spaltraum (Adduktorenkanal, Canalis adductorius), der sich nach dorsodistal über den Hiatus adductorius in die Kniekehle öffnet. In diesem Kanal verlaufen A. und V. femoralis sowie der N. saphenus.

Der laterale Teil des M. adductor magnus setzt muskulös an der medialen Lippe der Linea aspera an. Die proximalen Faserzüge werden auch als **M. adductor minimus** bezeichnet, da sie etwas ventral der Ebene der Muskelplatte liegen. Sie ziehen vom R. inferior des Os pubis zur Tuberositas glutealis.

Der **M. adductor longus**[4] entspringt mit einer deutlichen Sehne von der Crista pubica und der Symphyse. Er verbreitert sich distalwärts und inseriert am mittleren Drittel der Linea aspera ventral des M. adductor magnus. Der **M. adductor brevis**[5] schiebt sich lateral zwischen den M. adductor longus und M. adductor magnus, entspringt ebenfalls am Os pubis und setzt proximal des M. adductor longus an der Linea aspera an.

Neben M. adductor magnus, minimus und longus sind die nächstwichtigeren Muskeln für die Adduktion der M. gluteus maximus (S. 135) (Fasern, die an der Tuberositas glutealis ansetzen), der M. gracilis (S. 144) und der M. semitendinosus (S. 143).

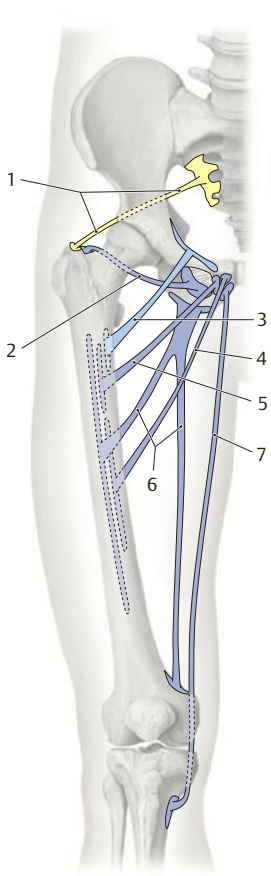
Von geringerer Bedeutung für die Adduktion ist der **M. pectineus**[3]. Er entspringt am oberen Schambeinast zwischen Eminentia iliopubica und Tuberculum pubicum und verläuft lateral vom M. adductor brevis zur Linea pectinea des Femur. Noch schwächere Adduktoren sind der M. quadratus femoris (S. 138) und der M. obturatorius externus (S. 138).

Eine **Leistenzerrung** entsteht an den Ursprungssehnen der Adduktoren aufgrund einer abrupten, unkontrollierten Abduktion (z. B. bei Grätsche oder Spagat).

Bei **Übererregung durch den N. obturatorius** (z. B. nach frühkindlichem Hirnschaden) kommt es zum **Adduktorenspasmus**, bei dem die Beine gekreuzt und Stehen und Gehen unmöglich sind.

Innenrotatoren

Stärkste Innenrotatoren im Hüftgelenk sind **M. gluteus medius** und **minimus** (ventrale Fasern; ▶ **Abb. 10.12**). Unterstützt werden sie vom M. tensor fasciae latae (S. 137) und von Teilen des M. adductor magnus (S. 137). Bei abduziertem Bein trägt auch der M. pectineus (S. 137) zur Innenrotation bei.



N. obturatorius
N. femoralis und R. anterior des N. obturatorius
N. musculi piriformis

Abb. 10.13 Adduktoren des rechten Oberschenkels von ventral.
1 M. piriformis
2 M. obturatorius externus
3 M. pectineus
4 M. adductor longus
5 M. adductor brevis
6 M. adductor magnus; der oberste Teil entspricht dem M. adductor minimus
7 M. gracilis
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Außenrotatoren

Wichtigster Außenrotator ist der **M. gluteus maximus** (S. 135). Der zweitwichtigste Muskel für die Außenrotation ist der **M. quadratus femoris** (▶ **Abb. 10.12[5]**). Er zieht als viereckige Muskelplatte vom Tuber ischiadicum zur Crista intertrochanterica. Durch seine Lage kann er zusätzlich bei der Adduktion eingesetzt werden.

Weitere entscheidend an der Außenrotation beteiligte Muskeln sind der **M. obturatorius internus** und die beiden **Mm. gemelli** (▶ **Abb. 10.12[4]**). Diese 3 Muskeln werden zusammen auch als „Triceps coxae" bezeichnet. Der M. obturatorius internus entspringt im Beckeninneren auf der Membrana obturatoria und den knöchernen Rändern des Foramen obturatum. Dann zieht er spitzwinklig (Hypomochlion-Effekt) um das Foramen ischiadicum minus, das an dieser Stelle überknorpelt und mit einem Schleimbeutel (Bursa ischiadica m. obturatorii interni) gepuffert ist. Schließlich geht der Muskel in eine Sehne über, die in der Fossa trochanterica ansetzt. Die Mm. gemelli sind Randpartien der Sehne des M. obturatorius internus. Der M. gemellus superior kommt von der Spina ischiadica, der M. gemellus inferior vom Tuber ischiadicum. In 90° Beugung (Sitzen) wirkt der Triceps coxae auch bei der Abduktion mit.

Zu den etwas schwächeren Außenrotatoren im Hüftgelenk zählen der **M. gluteus medius** (S. 137) und **minimus** (dorsale Fasern) sowie der **M. iliopsoas** (S. 134). Ebenso der **M. obturatorius externus** (▶ **Abb. 10.13[2]**), der von der Außenfläche der Membrana obturatoria und deren knöcherner Umrandung ausgeht. Die Muskelfasern ziehen dann von ventromedial kommend um den Schenkelhals

Tab. 10.1 Muskulatur des Hüftgelenks und ihre Beteiligung an den Bewegungen.

	Beugung	Streckung	Abduktion	Adduktion	Innenrotation	Außenrotation
• M. rectus femoris	++					
• M. biceps femoris		++ Caput longum				
• M. quadratus femoris				+		+++
• M. semimembranosus		+				
• M. semitendinosus		+		++		
• M. sartorius	+					
• M. gracilis	+			++		
• M. tensor fasciae latae	+		++		+	
• M. adductor longus	+			++		
• M. adductor brevis	+			++		+
• M. adductor magnus		+		+++	+	+
• M. adductor minimus				+		+
• M. gluteus maximus		+++	+			+++
• M. gluteus medius		++	+++		+++	++
• M. gluteus minimus		+	++		+++	++
• M. iliopsoas	+++					++
• M. pectineus	+			+	+ bei abduziertem Bein	
• M. piriformis		+	+			+
• Mm. gemelli						++
• M. obturatorius internus			+	+		++
• M. obturatorius externus						++

auf die Dorsalseite und konisch zulaufend über eine kürzere Sehne zur Fossa trochanterica.

Unterstützt werden die genannten Außenrotatoren von den Adduktoren (**M. adductor longus, magnus, brevis** und **minimus** (S. 137)) und dem **M. piriformis** (▶ **Abb. 10.13**[1]). Letzterer entspringt von der Facies pelvica des Kreuzbeins, der Kapsel des Iliosakralgelenks und vom Oberrand der Incisura ischiadica major. Er zieht dann durch das Foramen ischiadicum majus, geht in eine schlanke Sehne über und setzt an der Innenseite der Spitze des Trochanter major an. Der Muskel füllt das Foramen ischiadicum majus fast vollständig aus und teilt es in einen suprapiriformen und einen infrapiriformen Abschnitt. Ein ebenfalls schwacher Außenrotator ist schließlich der M. sartorius (S. 144).

Durch Nervenäste des Plexus sacralis kann der M. piriformis in mehrere Anteile aufgespalten sein (Häufigkeit ca. 17 %). Bei Hypertrophie des Muskels kann es dann leicht zu Nervenausfällen (**Piriformissyndrom**) kommen.

10.3.3 Kniegelenk

Das Kniegelenk (**Articulatio genus**) ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers. Aufgrund der geringen Weichteilbedeckung und der inkongruenten Gelenkkörper, die durch 2 **Menisci** teilweise

ausgeglichen werden, ist es besonders anfällig für Verletzungen. Als Dreh-Scharnier-Gelenk (**Trochoginglymus**) besitzt es Bänder, die beide Bewegungsebenen stabilisieren. Allerdings sichert hauptsächlich die Muskulatur die Stabilität, vor allem die **Strecker**.

Aufbau des Kniegelenks (▶ Abb. 10.14)

Das Kniegelenk (**Articulatio genus**) besteht aus 2 Teilgelenken, dem für die Kraftübertragung entscheidenden **Femorotibialgelenk** und dem für die Sehnenführung der Extensoren wichtigen **Femoropatellargelenk**. Beide Teile stehen über eine Gelenkhöhle miteinander in Verbindung. Im femorotibialen Hauptgelenk gleiten die beiden rollenförmigen Femurkondylen in den flachen Pfannen der Facies articularis superior der Tibia.

Die beiden C-förmigen **Menisci**[2, 7] bestehen aus Faserknorpel und haben einen keilförmigen Querschnitt mit der größten Dicke am Rand (**Meniskusbasis**); dort ist auch die sonst sparsame Blutversorgung ausreichend vorhanden. Die Menisci bilden auf den Tibiakondylen bewegliche Gelenkpfannen, die in den verschiedenen Gelenkstellungen den Druck des Femurs gleichmäßig auf die tibiale Gelenkfläche verteilen und Inkongruenzen zwischen den Gelenkflächen ausfüllen. Die Enden der Menisci sind in der Area intercondylaris im Knochen verankert. Die Vorderhörner sind durch das **Lig. transversum genus**[8] miteinander verbunden.

Der Innenmeniskus (**Meniscus medialis**[2]) ist durch seine Bandfixierung (Lig. collaterale tibiale[3]) weniger flexibel und steht bei Beugung und Außenrotation vermehrt unter Spannung. Der Außenmeniskus (**Meniscus lateralis**[7]) ist an der dorsalen Anheftung durch ein zusätzliches Band (**Lig. meniscofemorale posterius**[10]) am medialen Femurkondylus fixiert. Dieses Band wird auch als Wrisberg-Ligament bezeichnet und verläuft direkt dorsal des hinteren Kreuzbandes.

Aufgrund seiner stärkeren Fixierung wird der **Innenmeniskus** wesentlich häufiger als der Außenmeniskus verletzt (besonders bei abrupter Außenrotation des gebeugten Knies). Dabei kommt es zu radiär (ausgefranste Ränder) oder längs (z. B. Korbhenkelriss) verlaufenden Einrissen. Abgerissene Meniskusteile können das Gelenk beim Strecken blockieren. Risse am Rand werden genäht, da durch die Durchblutung eine ausreichende Wundheilung möglich ist. Risse im Inneren des Meniskus werden dagegen meist nur geglättet.

Die **Gelenkkapsel** des Kniegelenks umgibt die größte und am kompliziertesten aufgebaute Gelenkhöhle. Sie heftet sich an der Tibia längs der Knorpel-Knochen-Grenze an. Ähnlich ist es an den Femurkondylen. Distal der Patella schiebt sich ein Fettkörper (**Corpus adiposum infrapatellare, Hoffa-Fettkörper**[13]) zwischen die beiden Schichten der Gelenkkapsel (Membrana synovialis und fibrosa) und ragt mit 2 **Plicae alares** in das Gelenk. Der Hoffa-Fettkörper ist außerdem durch ein Band (Plica synovialis infrapatellaris) mit dem vorderen Kreuzband verbunden. Dorsal lagern sich die Kreuzbänder zwischen die Gelenkkapselschichten und liegen somit außerhalb der Gelenkhöhle.

Ventral befindet sich unter der Sehne des M. quadriceps femoris ein **Schleimbeutel** (Bursa suprapatellaris), der mit der Gelenkhöhle kommuniziert und auch **Recessus suprapatellaris** genannt wird. Kleinere Schleimbeutel, die nicht mit der Gelenkhöhle kommunizieren, liegen ventral am distalen Rand der Patella (Bursa prepatellaris) und zwischen Tibia und Lig. patellae (Bursa infrapatellaris).

Beim **Kniegelenkerguss** kommt es beim gestreckten Knie durch die Verbindung zwischen Gelenkraum und Bursa suprapatellaris zum Phänomen der **„tanzenden Patella“**: Die Patella wird von der Flüssigkeit nach ventral abgehoben und lässt sich mit Druck an ihre eigentliche Position bewegen.

Die **Bänder** des Kniegelenks (▶ Abb. 10.14) spielen eine wichtige Rolle bei der Stabilisierung des komplizierten Gelenks. Ventral verstärkt die Sehne des M. quadriceps femoris die Gelenkkapsel. Aufgrund der Einlagerung des großen Sesambeins (Patella) nennt man den distalen Abschnitt der Sehne zwischen Patella und Tuberositas tibiae auch **Lig. patellae**[4]. Die seitlich an der Patella entlangziehenden Sehnenfasern werden als **Retinaculum patellae mediale** und **laterale** bezeichnet.

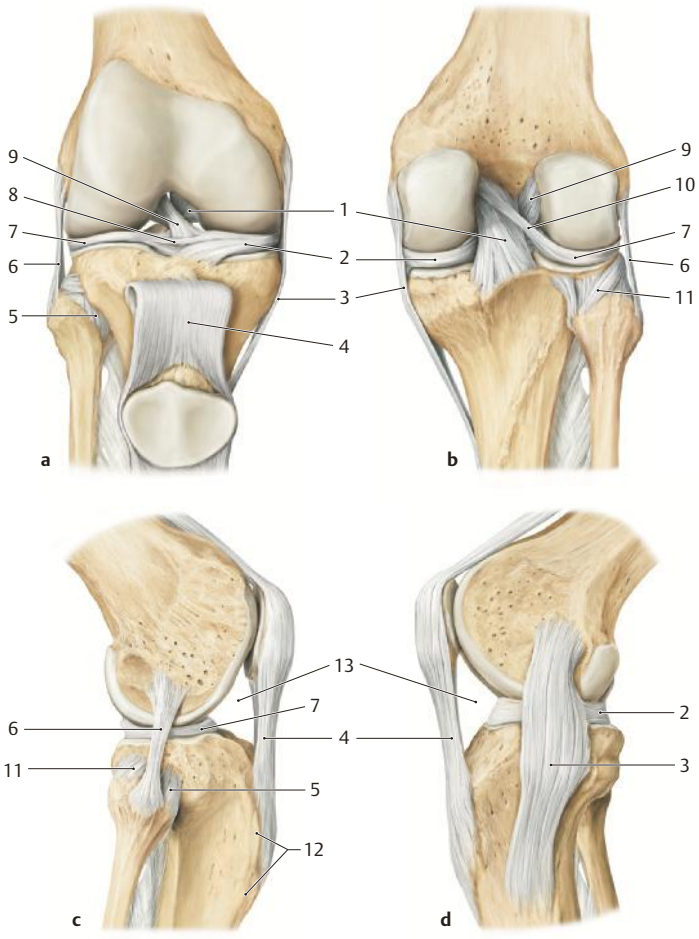


Abb. 10.14 Bänder des rechten Kniegelenks. a von vorn, **b** von hinten, **c** von lateral, **d** von medial.
1 Lig. cruciatum posterius
2 Meniscus medialis
3 Lig. collaterale tibiale
4 Lig. patellae
5 Lig. capitis fibulae anterius
6 Lig. collaterale fibulare
7 Meniscus lateralis
8 Lig. transversum genus
9 Lig. cruciatum anterius
10 Lig. meniscofemorale
11 Lig. capitis fibulae posterius
12 Tuberositas tibiae
13 Position des Hoffa-Fettkörpers
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Lateral befinden sich die **Kollateralbänder** des Kniegelenks: Das mediale Seitenband (**Lig. collaterale tibiale**[3]) ist mit der Gelenkkapsel und dem anliegenden Innenmeniskus fest verwachsen. Es besteht aus 2 Anteilen: Der eine zieht vom Epicondylus medialis des Femurs, der andere von der inneren Femurrolle zur medialen Fläche der proximalen Tibia. Bei gestrecktem Knie ist das Band gespannt und die beiden Anteile liegen flächig nebeneinander; bei gebeugtem Knie schieben sie sich zusammen und entspannen sich.

Das laterale Seitenband (**Lig. collaterale fibulare**[6]) zieht extraartikulär – von der Gelenkkapsel durch lockeres Bindegewebe getrennt – als rundlicher Strang vom Epicondylus lateralis des Femurs zum Caput fibulae. Es entspannt sich ebenfalls in gebeugter Kniestellung.

Beim Verdacht auf einen **Seitenbandriss** wird in gestreckter oder leicht gebeugter (ca. 30°) Stellung des Kniegelenks der Unterschenkel nach medial und lateral bewegt. Ist dies über 5° möglich, ist ein Bänderriss wahrscheinlich. Zusätzlich werden die Insertionsstellen auf Druckschmerzhaftigkeit untersucht.

Dorsal wird die Gelenkkapsel von Sehnenbündeln aus den Mm. semimembranosus, popliteus und gastrocnemius und von Bandzügen der Articulatio tibiofibularis, die von lateral in die Kapsel einstrahlen, verstärkt und vor dem Einklemmen bewahrt. Das **Lig. popliteum obliquum** zieht vom

medialen Tibiakondylus zum lateralen Femurepikondylus. Das **Lig. popliteum arcuatum** läuft quer dazu vom Fibulaköpfchen bogenförmig über den M. popliteus in die dorsale Kapsel.

Zentral im Kniegelenk befinden sich die **Kreuzbänder**[1,9] (Ligg. cruciata): Das dünnere vordere Kreuzband (**Lig. cruciatum anterius**[9]) zieht von der dorsalen Innenfläche des Condylus femoris lateralis schräg nach ventromedial zur Area intercondylaris anterior der Tibia. Das dickere hintere Kreuzband (**Lig. cruciatum posterius**[1]) verläuft von der ventralen Innenfläche des Condylus femoris medialis nach dorsolateral zur Area intercondylaris posterior der Tibia. Die Kreuzbänder verlaufen zwischen den Gelenkkapselschichten und haben zur Gelenkhöhle hin einen synovialen Überzug; damit liegen sie zwar intrakapsulär, aber extrasynovial.



Die **Kreuzbänder** werden in 90° Beugestellung des Knies untersucht. Bei Ruptur des vorderen Kreuzbandes lässt sich der Unterschenkel nach vorne ziehen (**vorderes Schubladenphänomen**), bei Ruptur des hinteren Kreuzbandes lässt sich der Unterschenkel deutlich nach hinten drücken (**hinteres Schubladenphänomen**). Aufgrund der schlechteren Durchblutung des vorderen Kreuzbandes muss dieses meist chirurgisch versorgt werden; die Heilungsrate ohne Operation ist beim hinteren Kreuzband deutlich höher.

Gelenkmechanik des Kniegelenks

Das Kniegelenk ist ein **Dreh-Scharnier-Gelenk** (Trochoginglymus). Dies bedeutet, dass die **Beugung** im Kniegelenk aus 2 sich überlagernden Bewegungen besteht. Die Hauptbewegung ist eine **Scharnierbewegung** um eine Drehachse, die nahezu frontal durch die Femurkondylen verläuft. Zusätzlich verschiebt sich aber bei zunehmender Beugung diese Drehachse durch ein **Abrollen** der Femurkondylen auf den Gelenkflächen der Tibia nach dorsal. Diese Bewegung nach dorsal müssen auch die Menisci nachvollziehen. Schließlich liegen die Kontaktflächen der Femurkondylen bei gebeugtem Knie nicht mehr in der Mitte, sondern am dorsalen Rand der Tibiagelenkflächen und die Menisci haben sich um 1 cm nach dorsal verlagert. Durch die ungleichmäßige Krümmung der Femurkondylen ist die Auflagefläche außerdem beim gestreckten Knie am größten und reduziert sich beim Beugen. Die Patella verlagert sich während der Beugung bis maxial 6 cm nach kaudal.

Aktiv lässt sich das Kniegelenk um etwa 130° beugen, dann setzt eine Insuffizienz der Kniebeuger ein. Passiv beträgt die Beugekapazität im Knie etwa 155°, bevor die Weichteile der Fossa poplitea die Bewegung beenden. Bei stark gebeugtem Knie liegt die Patella auf der Facies patellaris des Femur, während sie bei Streckung nach proximal vor der Bursa suprapatellaris liegt.

Ausgehend von der Normal-Null-Stellung des Kniegelenks (vollständig gestreckt) ist durch die Anspannung der seitlichen und hinteren Bänder und der Kreuzbänder keine weitere Streckung möglich. Um aus der Beugung die voll gestreckte Position zu erreichen, werden die Kreuzbänder durch eine Außenrotation der Tibia um 5° etwas gelockert. Diese Tibiarotation nennt man **Schlussrotation**. In der Streckstellung rastet das Knie gewissermaßen ein und wird neben der Muskulatur vor allem von den dann unter Spannung stehenden Bändern stabilisiert.

Bei der erneuten Beugung verläuft die Schlussrotation umgekehrt. Bei etwa 10° Beugestellung wird die Tibia in eine 0°-Stellung zurückgedreht, bevor eine weitere Beugung möglich ist. Bei etwa 25° Beugung wird die Entspannungsstellung des Kniegelenks erreicht, bei der alle Bandstrukturen ohne stärkere Spannung sind.

Drehbewegungen zwischen Femur und Tibia sind umso besser möglich, je stärker das Kniegelenk gebeugt ist. In der Streckstellung ist aufgrund der straffen Bänder keine Rotation im Kniegelenk möglich. Klinisch prüft man die Drehung bei 90° Beugung. Normal sind etwa 10° Innenrotation und 40° Außenrotation möglich. Die Innenrotation wird dabei vom dorsalen Anteil des Lig. collaterale tibiale und insbesondere durch die Verdrehung der Kreuzbänder gebremst. Bei der Außenrotation stehen die Kreuzbänder fast parallel; die passive Stabilität wird vom ventralen Anteil des Lig. collaterale tibiale, vom Lig. collaterale fibulare und vom Lig. popliteum obliquum gewährleistet.

Muskulatur für die Kniebewegung

Zur Stabilisierung des aufrechten Standes ist die Streckmuskulatur wesentlich stärker ausgeprägt als die Beugemuskulatur. Letztere ist ein Summeneffekt der dorsal gelegenen ischiokruralen Mus-

keln (Sammelbegriff für alle Muskeln, die vom Os ischii zum Unterschenkel ziehen), die medial und lateral am Kniegelenk entlang ziehen und durch die Bildung der Fossa poplitea den Beugeradius des Kniegelenks erhöhen. Bei einseitiger Aktivierung können diese Muskeln Rotationsbewegungen durchführen.

Der einzige, aber dafür sehr kräftige **Strecker** des Kniegelenks ist der **M. quadriceps femoris** (▶ **Abb. 10.11**[12]), der aus 4 Anteilen besteht. Seine Wirkung ist bei gestrecktem Hüftgelenk optimiert, da dann neben den Vastusbäuchen auch der doppelgelenkige M. rectus femoris voll zur Wirkung kommt. Folgende Anteile des M. quadriceps femoris werden unterschieden:

- Der doppeltgefiederte **M. rectus femoris**[7] entspringt mit einem Caput rectum an der Spina iliaca anterior inferior und mit einem Caput reflexum am Oberrand der Hüftpfanne.
- Der **M. vastus lateralis**[10], größter Kopf des M. quadriceps femoris, entspringt von der Basis des Trochanter major ausgehend entlang der Linea aspera.
- Der **M. vastus medialis**[8] beginnt an den proximalen 2 Dritteln der Linea aspera.
- Der **M. vastus intermedius**[9] hat seinen Ursprung über große Teile des ventralen Femurschafts von der Linea intertrochanterica distalwärts.

Die 4 Muskelanteile vereinigen sich distal zu einer einzigen, sehr kräftigen Sehne, in welche die Patella integriert ist, und die an der Tuberositas tibiae ansetzt. Der Abschnitt zwischen Patella und Tibia wird auch als Lig. patellae[15] bezeichnet, die seitlich davon liegenden Sehnenanteile als Retinaculum patellae mediale[13] und laterale[14] (s. o.).

Ein kleiner Anteil distal gelegener Fasern des M. vastus intermedius zieht als **M. articularis genus** zur Kniegelenkskapsel und spannt diese beim Strecken, um ein Einklemmen zu verhindern.

Die Extension des Knies wird zusätzlich vom Tractus iliotibialis[6] stabilisiert. Dabei können indirekt der M. gluteus maximus und der M. tensor fasciae latae[5] durch eine Straffung des Bandzuges unterstützend einwirken.

Bei der **Beugung** des Kniegelenks wirken die Gruppe der **Innenrotatoren** (▶ **Abb. 10.15**) (insbesondere M. semimembranosus und M. semitendinosus), in schwächerem Ausmaß auch M. gracilis, M. sartorius, M. popliteus) und der **Außenrotator** (M. biceps femoris) synergistisch zusammen.



Eine untergeordnete Rolle bei der Flexion spielt der **M. gastrocnemius**. Bei suprakondylären Femurfrakturen reicht seine Kraft jedoch aus, das distale Bruchstück nach dorsal und distal zu ziehen.

Der **M. semimembranosus**[12] entspringt mit einer langen Ursprungssehne vom Tuber ischiadicum. Dorsomedial geht er am Oberschenkel relativ schnell in seine 3 Ansatzsehnen über, welche zum Condylus medialis der Tibia, zur hinteren Kapselwand des Kniegelenks (in Verlängerung als Lig. popliteum obliquum) und zur Faszie des M. popliteus führen. Die 3 Endsehnen werden auch als Pes anserinus profundus bezeichnet.

Vom Tuber ischiadicum zieht der **M. semitendinosus**[13] seitlich am M. semimembranosus entlang und läuft in einer langen, dünnen Sehne zur me-

Tab. 10.2 Muskulatur des Kniegelenks und ihre Beteiligung an den Bewegungen.

	Beugung	Streckung	Innenrotation	Außenrotation
• M. vastus lateralis		+++		
• M. vastus intermedius		+++		
• M. vastus medialis		+++		
• M. rectus femoris		+++		
• M. biceps femoris	++			+++
• M. semimembranosus	++		++	
• M. semitendinosus	++		++	
• M. sartorius	++		+	
• M. gracilis	++		+	
• M. popliteus	+		+	

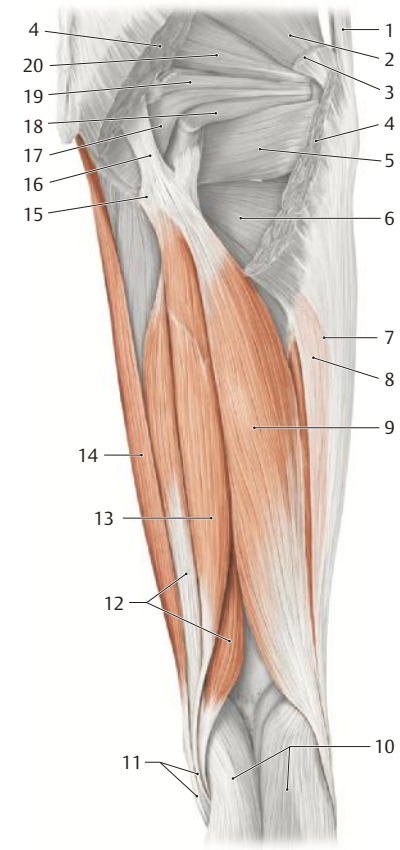


Abb. 10.15 Kniebeuger am rechten Oberschenkel von dorsal.
1 M. tensor fasciae latae
2 M. gluteus minimus
3 M. gluteus medius
4 M. gluteus maximus
5 M. quadratus femoris
6 M. adductor magnus
7 Tractus iliotibialis
8 M. biceps femoris, Caput breve
9 M. biceps femoris, Caput longum
10 M. gastrocnemius, Caput mediale und laterale
11 Pes anserinus superficialis
12 M. semimembranosus
13 M. semitendinosus
14 M. gracilis
15 Tuber ischiadicum
16 Lig. sacrotuberale
17 M. obturatorius internus
18 M. gemellus inferior
19 M. gemellus superior
20 M. piriformis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

dialen Fläche der proximalen Tibia zur Fascia cruris. Er bildet eine Sehne des Pes anserinus superficialis.

Aufgrund seiner Lage wird der **M. gracilis**[14] gelegentlich auch zur Adduktorengruppe der Hüfte gezählt. Er entspringt am R. inferior des Os pubis unterhalb der Symphyse und zieht medial am Oberschenkel mit einer längeren Sehne zur Tuberositas tibiae, wo er eine weitere Sehne des Pes anserinus superficialis bildet. Als doppelgelenkiger Muskel kann er die Hüftadduktion und -beugung unterstützen.

Der ventral verlaufende **M. sartorius** (▶ **Abb. 10.11**[11]) hat seinen Ursprung an der Spina iliaca anterior superior und zieht quer über den Oberschenkel zwischen dem M. quadriceps femoris und der Adduktorengruppe nach mediodistal, um als 3. Muskel mit einer Sehne am Pes anserinus superficialis (Tuberositas tibiae) anzusetzen. Durch seinen doppelgelenkigen Verlauf ist er besonders für Bewegungen geeignet, die eine gleichzeitige Beugung und Außenrotation in der Hüfte sowie eine Beugung und Innenrotation im Knie erfordern (Schneidersitz).

Der kleine **M. popliteus** (▶ **Abb. 10.18**[7]) zieht vom Condylus lateralis des Femurs zur Facies posterior der proximalen Tibia. Er dient insbesondere zur Stabilisierung des Knies in gestreckter Position und löst die initiale Innenrotation bei Beugung des voll gestreckten Knies aus.

Das Caput longum des **M. biceps femoris** (▶ **Abb. 10.15**[8,9]) entspringt flächig am Tuber ischiadicum und an Teilen des Lig. sacrotuberale, das Caput breve vom mittleren Drittel der Linea aspera, nach lateral weisend. Die beiden Anteile verbinden sich zu einem Muskel und setzen am Caput fibulae an.

10.3.4 Unterschenkel und Fuß

Über die geschichtet angeordneten Sprunggelenke wird eine Knickung der Fußfläche gegenüber der Beinlängsachse um 90° erreicht. Die Plantarseite kann damit als Standfläche genutzt werden. Die Gewölbebildung am Fuß dient dazu, das Gewicht sinnvoll zu verteilen. Muskulär wird das Fußgewölbe von langen Muskeln des Unterschenkels und von den kurzen Fußmuskeln der Plantarseite stabilisiert.

Verbindungen der Unterschenkelknochen

Tibia und Fibula sind nahezu über ihre gesamte Länge eng miteinander verbunden. Proximal befindet sich die **Articulatio tibiofibularis**, die durch eine straffe Kapsel und verstärkende Bänder (Lig. capitis fibulae anterius und posterius) kaum Bewegungen zulässt.

Bei etwa 20 % steht der Gelenkspalt der Articulatio tibiofibularis mit dem Kniegelenk über den **Recessus subpopliteus** in Verbindung. Entzündungen können dann vom einen auf das andere Gelenk übergreifen.

Den Schaft von Tibia und Fibula verbindet die **Membrana interossea cruris**, eine straffe Bindegewebsplatte aus gegenläufigen Faserzügen. Eine kleine Lücke proximal in der Membran erlaubt den Durchtritt der Vasa tibialia anteriora.

Distal sind Tibia und Fibula durch einen kräftigen Bindegewebszug, die Syndesmose (**Syndesmosis tibiofibularis**), miteinander verbunden, wodurch nach distal die Malleolengabel zur Aufnahme des Fußes entsteht. Stabilisiert wird die Malleolengabel vom Lig. tibiofibulare anterius und posterius (s. ▶ **Abb. 10.17**). Diese beiden Bänder lassen eine leichte Bewegung zu, wie sie z. B. bei starker Dorsalextension des Fußes notwendig ist.

Sprunggelenke (▶ Abb. 10.16)

Das **obere Sprunggelenk** (OSG, **Articulatio talocruralis**, ▶ **Abb. 10.16a**) ist ein einachsiges Scharniergelenk, bei dem die Talusrolle (Trochlea tali) mit der Malleolengabel über 3 Seiten verbunden ist. Seine Achse verläuft leicht schräg durch die Talusrolle und die Malleolengabel. Es erlaubt die Flexion (Plantarflexion) des Fußes um etwa 30° und die Extension (Dorsalextension) um etwa 25°. Da die Talusrolle ventral 5–6 mm breiter ist als dorsal, ist ihre knöcherne Führung in der Malleolengabel bei Dorsalextension des Fußes am besten, z. B. in Hockstellung. Je mehr der Fuß nach plantar flektiert wird, z. B. bei Zehenstand, desto weiter gleitet die schmalere Seite der Talusrolle in die Malleolengabel, womit die knöcherne Führung geringer wird und auch die Spannung der Syndesmosenbänder zwischen Tibia und Fibula nachlässt.

Die dünne Gelenkkapsel des oberen Sprunggelenks ist besonders an den Seiten durch Bänder verstärkt. Das mediale Kollateralband (Lig. mediale, klinisch als **Lig. deltoideum** bezeichnet, ▶ **Abb. 10.17**[3]) verbindet den medialen Knöchel mit dem Talus (Pars tibiotalaris anterior und posterior), mit dem Os naviculare (Pars tibionavicularis) und mit dem Sustentaculum tali des Calcaneus (Pars tibiocalcanea). Das laterale Kollateralband

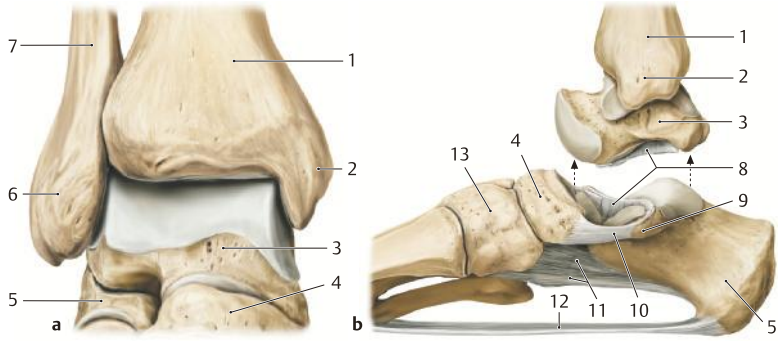


Abb. 10.16 Oberes Sprunggelenk von ventral (**a**) und **eröffnetes unteres Sprunggelenk** von medial (**b**).
1 Tibia
2 Malleolus medialis
3 Talus
4 Os naviculare
5 Calcaneus
6 Malleolus lateralis
7 Fibula
8 Lig. talocalcaneum interosseum
9 Sustentaculum tali
10 Pfannenband
11 Lig. plantare longum
12 Plantaraponeurose
13 Os cuneiforme mediale
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

besteht aus 3 Anteilen: Lig. talofibulare anterius und posterius (▶ **Abb. 10.17**[27, 28]) und dazwischen das Lig. calcaneofibulare (▶ **Abb. 10.17**[26, 25]).

Das **untere Sprunggelenk** (USG, ▶ **Abb. 10.16b**) besteht aus 2 Anteilen, der dorsalen **Articulatio subtalaris** (Zapfengelenk) und der ventralen **Articulatio talocalcaneonavicularis** (Kugelgelenk), die man zusammen auch als **Articulatio talotarsalis** bezeichnet. Beide Teilgelenke des unteren Sprunggelenks besitzen je eine eigene Kapsel. Die beiden Gelenkhöhlen sind durch den Sinus tarsi voneinander getrennt.

Funktionell bilden die beiden Gelenke zusammen ein einachsiges Gelenk. Dessen Bewegungsachse läuft vom Tuber calcanei durch das Collum tali nahe der Facies articularis navicularis (von lateral hinten unten nach medial vorne oben) und ist um rund 60° zu derjenigen des oberen Sprunggelenks gedreht. Das untere Sprunggelenk ermöglicht die Supination (Calcaneus kippt nach medial) und die Pronation (Calcaneus kippt nach lateral) des Fußes. Die Beweglichkeit des Gelenks hängt allerdings stark vom Alter und vom Übungszustand ab. Vor allem straffe Bänder schränken die Bewegung ein. Pronation und Supination betragen beim Erwachsenen kaum über 30°, beim älteren Menschen sind sie deutlich geringer.

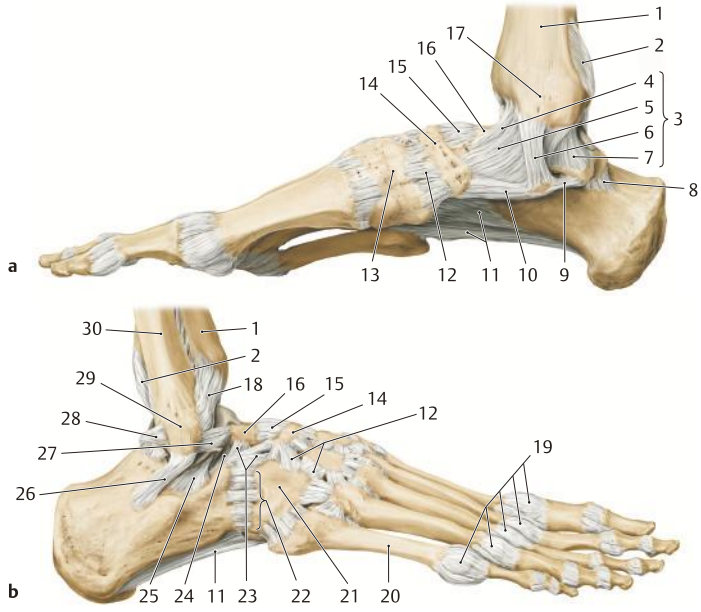


Abb. 10.17 Bandapparat des rechten Fußes von medial (**a**) und lateral (**b**).

1 Tibia
2 Lig. tibiofibulare posterius
3 Lig. deltoideum
4 Pars tibiotalaris anterior des Lig. deltoideum
5 Pars tibionavicularis des Lig. deltoideum
6 Pars tibiocalcanea des Lig. deltoideum
7 Pars tibiotalaris posterior des Lig. deltoideum
8 Lig. talocalcaneum posterius
9 Lig. talocalcaneum mediale
10 Pfannenband
11 Lig. plantare longum
12 Ligg. tarsi dorsalia
13 Os cuneiforme mediale
14 Os naviculare
15 Lig. talonaviculare dorsale
16 Talus
17 Malleolus medialis
18 Lig. tibiofibulare anterius
19 Gelenkkapseln der Grundgelenke
20 Os metatarsi V
21 Os cuboideum
22 Ligg. cuboidea dorsalia
23 Lig. bifurcatum
24 Lig. talocalcaneum interosseum
25 Lig. talocalcaneum laterale
26 Lig. calcaneofibulare
27 Lig. talofibulare anterius
28 Lig. talofibulare posterius
29 Malleolus lateralis
30 Fibula

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Articulatio subtalaris** zwischen Talus und Calcaneus wird von folgenden Bändern stabilisiert (▶ **Abb. 10.17**):
- seitlich vom Lig. talocalcaneum mediale[9] und laterale[25],
- dorsal vom Lig. talocalcaneum posterius[8],
- nach ventral trennt das Lig. talocalcaneum interosseum[24] die Articulatio subtalaris vom vorderen Gelenk.

Die Gelenkpfanne der **Articulatio talocalcaneonavicularis** besteht aus 3 Knorpeleinheiten. Die beiden Knorpelflächen auf dem Calcaneus und dem Os naviculare bestehen aus hyalinem Knorpel. Die zusätzliche Knorpelfläche auf dem Lig. calcaneonaviculare plantare (Pfannenband[10]), welches die beiden Knochen medial miteinander verbindet, besteht dagegen aus Faserknorpel. Die Gelenkkapsel umschließt alle Anteile. Der Stabilisierung des Gelenks dienen folgende Bänder (▶ **Abb. 10.17**):
- dorsal das Lig. talocalcaneum interosseum[24],
- ventral das Lig. talonaviculare[15],
- medial das tiefe Lig. bifurcatum[23] (zwischen Calcaneus, Os naviculare und Os cuboideum) und das nach außen anliegende Lig. deltoideum[3].

Mittelfußgelenke und Fußgewölbe

In den distal der Sprunggelenke gelegenen **Gelenken** der Fußwurzelknochen und der Metatarsalknochen finden keine isolierten Bewegungen statt. Die straffen Kapseln und Bandzüge erlauben nur geringgradige Verschiebungen (Amphiarthrosen). Zu diesen Gelenken zählen:
- die Verbindungen der proximalen mit den distalen Fußwurzelknochen (Articulatio calcaneocuboidea, Articulatio cuneonavicularis, Articulatio cuneocuboidea),
- die Verbindungen der distalen Fußwurzelknochen untereinander (Articulationes intertarsales),
- die Verbindungen der Fußwurzel mit dem Mittelfuß (Articulationes tarsometatarsales),
- die Verbindungen der Basen der Mittelfußknochen II–IV untereinander (Articulationes intermetatarsales).

Im klinischen Sprachgebrauch werden die Articulationes tarsometatarsales häufig als ein gemeinsames Gelenk aufgefasst und als **Lisfranc-Gelenk** bezeichnet. Ebenso fasst man Articulatio calcaneocuboidea und Articulatio talonavicularis zusammen als **Chopart-Gelenk** (auch „Midtarsalgelenk" genannt).



Eine **Fußamputation** kann sinnvollerweise an 2 Stellen vorgenommen werden: an den Articulationes tarsometatarsales (**Lisfranc-Linie**) oder entlang der Articulatio tarsi transversa (**Chopart-Linie**).

Die Gelenkkapseln dieser Gelenke werden von kurzen **Bändern** zwischen den einzelnen Knochen fixiert. Am Tarsus befinden sie sich überwiegend auf dem Fußrücken. Dazu zählen die Ligg. intercuneiformia dorsalia, das Lig. cuneocuboideum dorsale und cuboideonaviculare dorsale sowie die Ligg. cuneonavicularia dorsalia und die Ligg. calcaneocuboidea dorsalia. Zwischen Tarsus und Metatarsus sowie am Metatarsus bilden sich für die Gelenke dorsale und plantare kurze Bänder (Ligg. tarsometatarsalia und Ligg. metatarsalia interossea).

Die Bänder der Plantarseite stabilisieren nicht nur die Einzelgelenke, sondern durch lange Faserzüge zusätzlich auch das Gewölbe des Mittelfußes. Oberflächlich bildet sich die **Aponeurosis plantaris** (▶ **Abb. 10.16**[12]), die das Tuber calcanei mit den Grundphalangen verbindet. Sie stabilisiert besonders im Stand das Längsgewölbe und mit querverlaufenden Faserzügen auch die Querwölbung. Unter der Aponeurose liegen die kurzen Fußmuskeln, darunter in der Tiefe das **Lig. plantare longum** (▶ **Abb. 10.16**[11], ▶ **Abb. 10.17**[11]), das überwiegend die fibulare Strebe stabilisiert (vom Tuber calcanei zum Os cuboideum und den Ossa metatarsalia II–V). Medial ergänzt das **Lig. calcaneonaviculare plantare** (▶ **Abb. 10.17**[10]) vom unteren Sprunggelenk aus die passive Stabilisierung des Längsgewölbes.

Zehengelenke

Die **Zehengrundgelenke** (**Articulationes metatarsophalangeales**) sind ihrer Form nach Kugelgelenke, die jedoch eine aktive Bewegung nur als Plantarflexion (bis zu 40°) und Dorsalextension (bis zu 55°) erlauben. In Streckstellung ist auch eine aktive Spreizung möglich. Eine passive Spreizung und Kreiselung der Gelenke wird durch Kollatereralbänder (**Ligg. collateralia**) verhindert, die von

proximal dorsal nach distal plantar verlaufen. Daneben bilden sich plantar die Gelenkkapsel verstärkende Bänder (**Ligg. plantaria**), in die an der Großzehe und häufig auch an der kleinen Zehe Sesambeine eingelassen sind, sowie ein Bandzug, der die Köpfe aller Metatarsalknochen verbindet (**Lig. metatarsale transversum profundum**).

Mittel- und **Endgelenke** der Zehen sind reine Scharniergelenke, wobei die Mittelgelenke aus der Neutral-Null-Stellung nur um 90° nach dorsal extendiert werden können, während bei den Endgelenken jeweils 45° nach plantar und dorsal möglich sind.

Beim **unbelasteten Fuß** sind die Zehen im Grundgelenk leicht nach dorsal extendiert, im Mittel- und Endgelenk leicht nach plantar flektiert. Bei **Belastung des Vorfußes** werden die Zehen II–V durch eine Beugung im Mittelgelenk stärker gekrümmt, die Metatarsalknochen und die Zehenendglieder dadurch auf den Untergrund gepresst; die Großzehe liegt flach auf dem Boden. Beim **Zehenstand** (Belastung der Capitae ossae metatarsales) werden die Grundglieder passiv stark nach dorsal extendiert, Mittel- und Endgelenke leicht nach plantar gebeugt. Durch leichtes Auseinanderweichen der Metatarsaleköpfchen verbreitert sich die Standfläche, die auf der tibialen Seite durch die Großzehe stabilisiert wird.

10

Muskulatur zur Bewegung in den Sprunggelenken

Um die Stabilität für den aufrechten Stand zu sichern, sind die Tarsalknochen durch einen 90°-Winkel vom Unterschenkel nach ventral abgeknickt. Bis auf die Achillessehne müssen deshalb alle Sehnen umgelenkt und im Bereich der Knöchel entweder durch Knochenkerben oder straffe Bindegewebszüge (Retinacula) fixiert werden (s. ▶ **Abb. 10.19**). Diese Retinacula werden somit deutlich stärker beansprucht als diejenigen der oberen Extremität.

Obwohl die Sehnen der langen Zehenbeuger ebenfalls durch die Retinacula ziehen und umgelenkt werden, haben sie keine genuine Fußbewegerfunktion. Dass dennoch viele Lehrbücher sie bei der Fußbewegung mit auflisten, liegt daran, dass die meisten Fußmuskeln als Muskelgruppen eingesetzt und ihre differenzierte Bewegung (besonders beim Tragen von Schuhen) nicht geübt wird. So ergibt sich eine scheinbare Beteiligung der Zehenmuskulatur bei Fußbewegungen und umgekehrt.

Plantarflexion

Die wichtigsten Muskeln zur Plantarflexion (▶ **Abb. 10.18**) sind M. gastrocnemius, M. soleus und M. plantaris, die man auch zusammenfasst als **M. triceps surae**[5].

Der **M. gastrocnemius**[2, 3] entspringt mit 2 Köpfen an der Facies poplitea oberhalb der Femurkondylen – das kräftigere Caput mediale etwas weiter proximal als das Caput laterale. In der Mitte des Unterschenkels bildet sich eine breitflächige Sehnenplatte, die nach distal in die Achillessehne übergeht. Der **M. soleus**[4] entspringt, überdeckt vom M. gastrocnemius, dorsal an der Fibula, außerdem an einer sehnigen Arkade über die Gefäß-Nerven-Straße (**Arcus tendineus m. solei**) und von der Linea m. solei der Tibia. Der **M. plantaris**[1] entspringt medial vom lateralen Gastrocnemiuskopf am lateralen Femurkondylus, formt einen kurzen Muskelbauch und eine lange Sehne.

Alle 3 Muskeln haben ihren Ansatz über die Achillessehne (**Tendo calcaneus**[6]) am Fersenbeinhöcker (Tuber calcanei), abgepolstert durch eine Bursa tendinis calcanei.

Unterstützend wirken bei der Plantarflexion der **M. fibularis longus** und **brevis** sowie der **M. tibialis posterior**[8] (s. u.).

Dorsalextension

Für die Dorsalextension ist der **M. tibialis anterior** (▶ **Abb. 10.19**[2]) verantwortlich. Erentspringt vom Condylus lateralis tibiae, von den proximalen zwei Dritteln der Facies lateralis tibiae, der Fascia cruris und der Membrana interossea. Seine lange Sehne verläuft ventral des Malleolus medialis und wird von den Retinacula musculorum extensorum gehalten. In diesem Bereich ist die Sehne in eine Sehnenscheide eingehüllt. Sie setzt an der Plantarfläche von Os metatarsale I und Os cuneiforme I an. Der Sehnenansatz unterstützt auch die Fußsupination.

Supination

Kräftigster Supinator des Fußes ist der **M. triceps surae** (S. 148).

Ebenfalls ein starker Supinator ist der **M. tibialis posterior** (▶ **Abb. 10.18**[8]). Er entspringt breit dorsal an der Membrana interossea cruris und an der proximalen Tibia und Fibula. Die Sehne unterkreuzt am distalen Unterschenkel die Sehne des M. flexor digitorum longus (**Chiasma crurale**[11]),

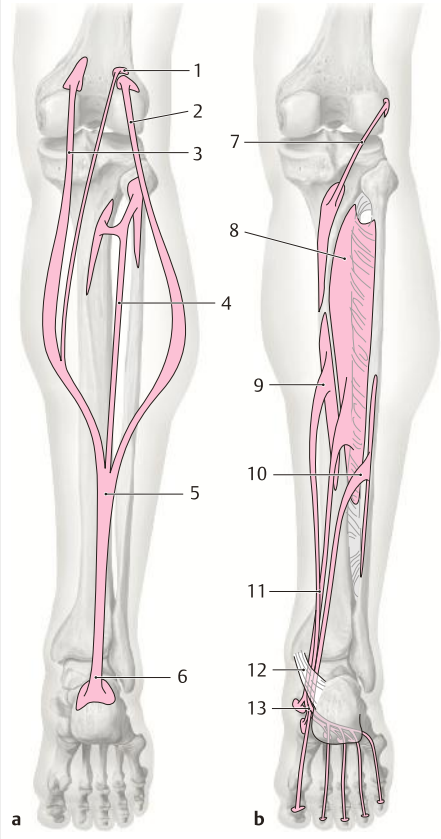


Abb. 10.18 Flexorengruppe des Unterschenkels, oberflächliche (**a**) und tiefe Schicht (**b**). Ansicht von dorsal.

1 M. plantaris
2 M. gastrocnemius, Caput laterale
3 M. gastrocnemius, Caput mediale
4 M. soleus
5 M. triceps surae
6 Tendo calcaneus (Achillessehne)
7 M. popliteus
8 M. tibialis posterior
9 M. flexor digitorum longus
10 M. flexor hallucis longus
11 Chiasma crurale
12 Retinaculum musculorum flexorum
13 Chiasma plantare

(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Innervation:
N. tibialis

biegt im Sulcus malleolaris medialis um den Knöchel und setzt fächerförmig an allen distalen Ossa tarsi und an den Basen der Ossa metatarsalia II–IV an. Die Plantarflexion ist durch den Sehnenverlauf zwar ebenfalls möglich, praktisch jedoch nicht von Bedeutung.

Nur schwach an der Supination beteiligt ist der **M. tibialis anterior** (s. o.).

Pronation

Die beiden kräftigsten Pronatoren des Fußes (▶ **Abb. 10.19**) sind der M. fibularis longus und brevis. Der **M. fibularis longus**[9] (syn.: M. peroneus longus) entspringt als doppelt gefiederter Muskel proximal an der Fibula, den Septa intermuscularia cruris und der Fascia cruris. Die Sehne liegt zunächst oberflächlich auf dem M. fibularis brevis und zieht dann weiter hinter dem Malleolus lateralis zusammen mit der Sehne des M. fibularis brevis in einer gemeinsamen Sehnenscheide, fixiert durch die Retinacula musculorum fibularium superius und inferius. Am Sulcus tendinosus des Os cuboideum biegt die Sehne von lateral auf die Fußsohle. An dieser Stelle findet man einen faserknorpeligen Überzug, gelegentlich auch ein Sesambein. Der Ansatz ist an der Basis des Os metatarsale I und dem Os cuneiforme mediale. Neben der Pronation ist auch eine schwache Plantarflexion durch den Sehnenverlauf möglich.

Der **M. fibularis brevis**[8] (syn.: M. peroneus brevis) entspringt von der distalen Hälfte der Fibula und den Septa intermuscularia cruris. Die Sehne zieht gemeinsam mit dem M. fibularis longus hinter dem lateralen Knöchel vorbei und setzt an der Tuberositas ossis metatarsalis V an. Zusammen mit dem M. fibularis longus ist aucheine schwache Plantarflexion möglich.

Wesentlich schwächer trägt der **M. fibularis tertius** zur Pronation bei. Dieser Muskel ist eine distale Abspaltung des M. extensor digitorum longus[4],

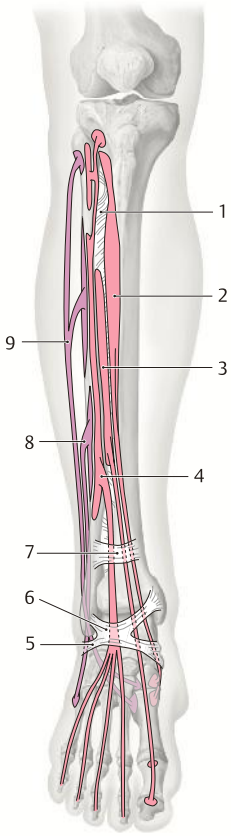


Abb. 10.19 Extensoren- und Fibularisgruppe von ventral.
1 Membrana interossea cruris
2 M. tibialis anterior
3 M. extensor hallucis longus
4 M. extensor digitorum longus
5 Retinaculum musculorum fibularium inferius
6 Retinaculum musculorum extensorum inferius
7 Retinaculum musculorum extensorum superius
8 M. fibularis brevis
9 M. fibularis longus
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

N. fibularis superficialis
N. fibularis profundus

der mit einer eigenen Ansatzsehne zur Basis des Os metatarsale V (und gelegentlich auch IV) zieht. Die Sehne verläuft vor dem lateralen Knöchel durch die Retinacula musculorum extensorum[6,7].

Inversion und Eversion

Bewegungen des gesamten Fußes setzen sich aus Bewegungen in mehreren Gelenken zusammen und werden als Inversion (Heben des medialen Fußrandes) oder als Eversion (Heben des lateralen Fußrandes) bezeichnet. Bei der Inversion steht das obere Sprunggelenk in Plantarflexion, das untere Sprunggelenk in Adduktion und das Chopart-Gelenk in Supination. Bei der Eversion ist entgegengesetzt das obere Sprunggelenk in Dorsalextension, das untere Sprunggelenk in Abduktionund das Chopart-Gelenk in Pronation.

Muskulatur zur Zehenbewegung

Beuger und Strecker

Für die aktive Bewegung der Zehen sind hauptsächlich die langen Beuger und Strecker zuständig, während die kurzen Zehenmuskeln mehr der Stabilisierung des Fußgewölbes dienen. Beim Gehen (Abrollen des Fußes) ist die passive Dorsalextension der Zehen bis zu 90° besonders wichtig.

Beugemuskeln. Der **M. flexor digitorum longus** (▶ **Abb. 10.18**[9]) entspringt von der Hinterfläche der Tibia, von einer Sehnenarkade in der Faszie des M. tibialis posterior und von der tiefen Unterschenkelfaszie. Die Sehnen verlaufen in einer eigenen Sehnenscheide dorsomedial der Sehne des M. tibialis posterior durch den Sulcus malleolaris medial zur Fußsohle. Um den schrägen Verlauf der Sehnen für die Zehenbeugung anzupassen, setzt der **M. quadratus plantae** (auch M. flexor accessorius genannt) vom Calcaneus kommend an der Sehne der langen Zehenbeuger an und fungiert so als dynamisches Hypomochlion. Die Endsehnen des M. flexor digitorum longus inserieren an den Endgliedern der 2.–5. Zehe.

Der Ursprung des **M. flexor hallucis longus** (▶ **Abb. 10.18**[10]) liegt weit lateral an der Fibula und der Membrana interossea. Die Sehne läuft mit eigenständiger Sehnenscheide im Sulcus tendinis des Talus und entlang des Sustentaculum tali des Calcaneus dorsomedial zur Fußsohle. Dort unterkreuzt sie auf Höhe des unteren Sprunggelenks die Sehne des M. flexor digitorum longus (**Chiasma plantare**) und zieht nach medial zum Endglied der großen Zehe.

Streckmuskeln. Der **M. extensor digitorum longus** (▶ **Abb. 10.19**[4]) geht aus vom Condylus lateralis tibiae, der Membrana interossea, der Margo anterior der Fibula und der Fascia cruris. Der Mus-

Tab. 10.3 Muskulatur des Fußgelenks und ihre Beteiligung an den Bewegungen.

	Plantarflexion	Dorsalextension	Inversion	Eversion
• M. gastrocnemius	+++		+++	
• M. soleus	+++		+++	
• M. plantaris	+++		+++	
• M. fibularis (peroneus) longus	+			+++
• M. fibularis (peroneus) brevis	+			+++
• M. fibularis tertius				+
• M. tibialis anterior		+++	+	
• M. tibialis posterior	+		++	

kel liegt langgestreckt ventral am Unterschenkel. Zunächst bildet sich eine größere Sehne, die sich am Knöchel in 4 Teilsehnen aufspaltet, welche unter den Retinacula musculorum extensorum über den Fußrücken ziehen und an den Dorsalaponeurosen der 2.–5. Zehe ansetzen.

Unterstützt wird die Streckung der Mittelzehen (2.–4. Zehe) vom **M. extensor digitorum brevis**, der vom Calcaneus entspringt, unter den Sehnen des M. extensor digitorum longus liegt und ebenfalls sehnig in die Dorsalaponeurose der Zehen einstrahlt.

Der **M. extensor hallucis longus** (▶ **Abb. 10.19**[3]) liegt medial des M. flexor digitorum longus und entspringt an der Facies medialis der Fibula und der Membrana interossea. Die Sehne läuft mit einer eigenen Sehnenscheide durch die Retinacula musculorum extensorum und inseriert über die Dorsalaponeurose am Endglied der großen Zehe.

Medial des M. extensor digitorum brevis liegt der **M. extensor hallucis brevis**, der ebenfalls vom Calcaneus ausgehend mit einer Sehne am Grundglied der großen Zehe ansetzt und die Großzehenstreckung unterstützt.

Muskulatur, die zusätzlich das Fußgewölbe stabilisiert

Für die aktive Sicherstellung der Fußgewölbe lassen sich 2 Module unterscheiden. Zum einen sind es die **kurzen Muskeln der Fußsohle**, die von tibial nach fibular als Muskeln der Großzehe, Muskeln des mittleren Bereichs und Muskeln der Kleinzehe zusammengefasst werden können (▶ **Abb. 10.20**). Neben ihren motorischen Funktionen für die Zehen polstern und stabilisieren sie die Fußsohle (im Sinne einer Druckverteilung des Körpergewichts) und wirken antagonistisch ausgleichend zum M. triceps surae.

Zum anderen sind es die **langen Sehnen der Unterschenkelmuskulatur**, die durch ihre Anordnung steigbügelartige Stabilisierungen bilden.

Großzehenmuskulatur. Den medialen Rand des Fußes bildet der **M. abductor hallucis**[1], der vom Tuber calcanei und der Plantaraponeurose zum medialen Sesambein und zum Grundglied der Großzehe zieht. Ihm schließt sich der **M. flexor hallucis brevis**[2] an, der sich von den Ossa cuneiformia zu beiden Sesambeinen und dem Grundglied erstreckt. Der **M. adductor hallucis**[3, 4] entspringt mit seinem Caput obliquum vom Os cuboideum, Os cuneiforme laterale und den Ossa metatarsi II–IV und mit dem Caput transversum von den Zehengrundgelenken III–V. Beide Anteile treffen sich am lateralen Sesambein und am Grundglied der Großzehe.

Muskeln des mittleren Bereichs. Als größerer Muskel befindet sich im mittleren Bereich der Fußsohle der **M. flexor digitorum brevis**[10], der vom Tuber calcanei undder Plantaraponeurose zu den Mittelgliedern der Zehen II–V zieht. Von den medialen Rändern der Sehnen des M. flexor digitorum longus verlaufen die 4 **Mm. lumbricales** zur Dorsalaponeurose der Zehen II–V. Die 3 plantaren und 4 dorsalen **Mm. interossei** ziehen von den Metatarsalknochen zu den Zehengrundgliedern.

Eine willkürliche Abduktion und Adduktion der Zehen durch die Mm. interosseiund lumbricales ist nur eingeschränkt möglich, wobei die 2. Zehe bei Spreizbewegungen in Ruhestellung bleibt.

Kleinzehenmuskulatur. Am Kleinzehenballen befinden sich 3 Muskeln: der **M. abductor digiti minimi**[5] vom Tuber calcanei zur Grundphalanx V, der **M. flexor digiti minimi brevis**[6] vom Metatarsalbereich zur Grundphalanx V und der **M. oppo-**

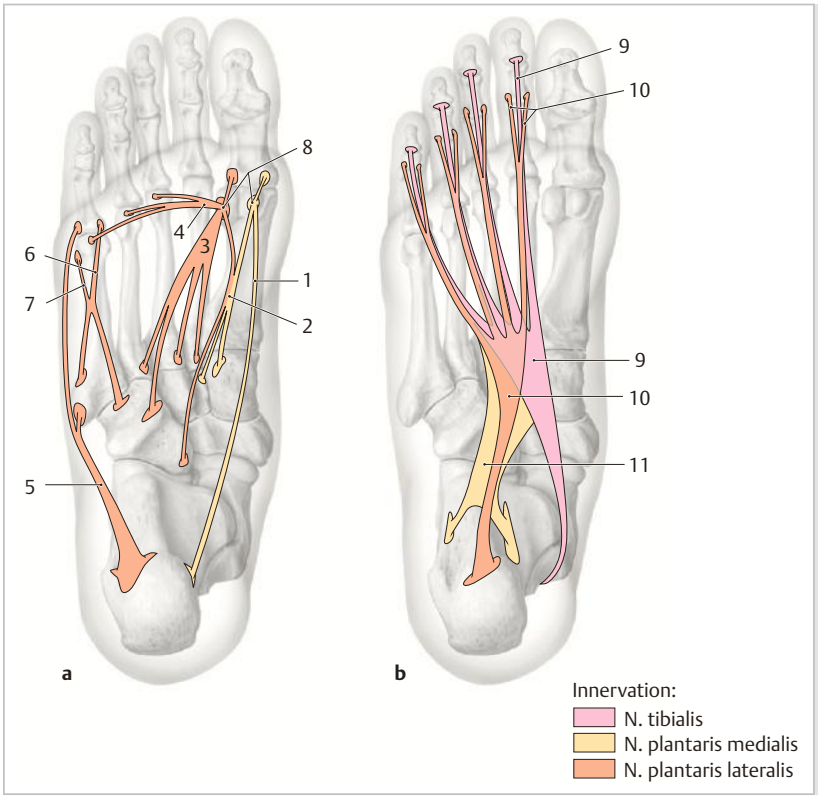


Abb. 10.20 Muskeln der Fußsohle.
a Muskeln der Groß- und Kleinzehe, **b** kurzer und langer Zehenbeuger.
1 M. abductor hallucis
2 M. flexor hallucis brevis
3 M. adductor hallucis, Caput obliquum
4 M. adductor hallucis, Caput transversum
5 M. abductor digiti minimi
6 M. flexor digiti minimi brevis
7 M. opponens digiti minimi
8 Ossa sesamoidea
9 M. flexor digitorum longus
10 M. flexor digitorum brevis
11 M. quadratus plantae
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

nens digiti minimi[7] vom Lig. plantare longum zum Os metatarsi V.

Gewölbestabilisierende Sehnen. Bei den vom Unterschenkel entspringenden Muskeln sind besonders die Sehnen des M. fibularis longus, des M. tibialis posterior und des M. tibialis anterior synergistisch an der Stabilisierung des Fußgewölbes beteiligt. Die Sehnen der beiden ersten Muskeln bilden auf der Plantarseite eine sich überkreuzende Verspannung, bei der durch Zug an beiden Seiten die mittig gelegenen Ossa cuneiforma intermedium und laterale im oberen Quergewölbebogen gehalten werden. Da der M. fibularis longus und der M. tibialis anterior beide am Os metatarsale I und am Os cuneiforme mediale ansetzten, bilden die beiden Sehnen eine einem Steigbügel vergleichbare Klammer.

10.4 Leitungsbahnen der unteren Extremität

Die Gefäße und Nerven der unteren Extremität treten auf 3 Wegen vom Becken nach distal:
- durch das Foramen ischiadicum majus in die Genitoanalregion,
- durch den Canalis obturatorius in die mediale Hüftregion,
- zwischen Leistenband und oberem Beckenrand in die ventrale Hüftregion.

10.4.1 Arterien der unteren Extremität

Die A. iliaca externa verläuft als **A. femoralis** ventral am Oberschenkel und durch den Canalis adductorius auf die dorsale Seite der Knieregion. Die Gesäßregion wird durch eigene Gefäße aus der A. iliaca interna versorgt. In der Kniekehle teilt

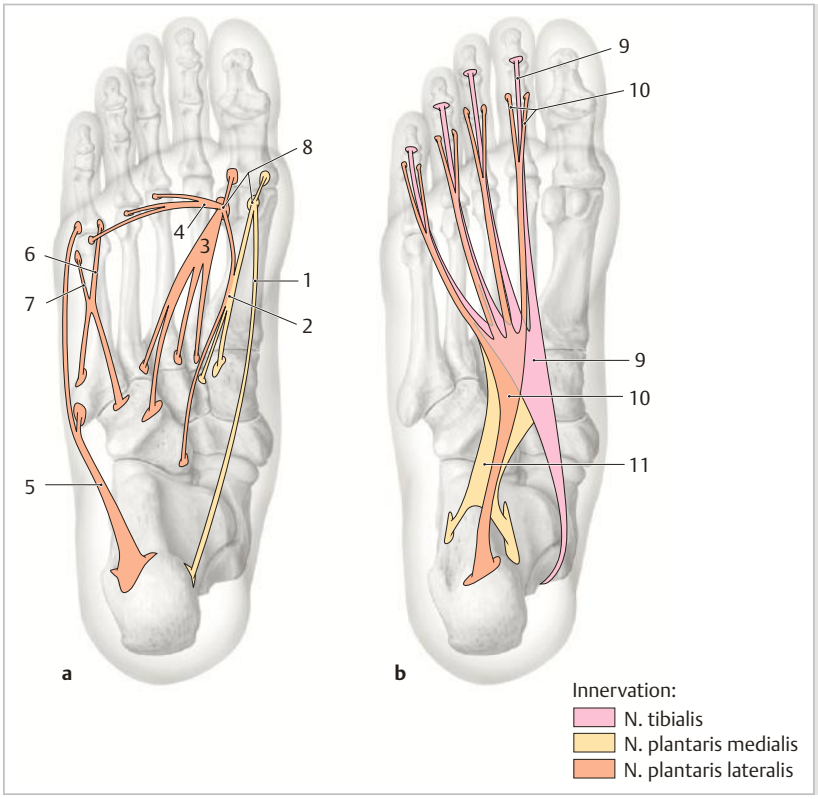


Abb. 10.20 Muskeln der Fußsohle.
a Muskeln der Groß- und Kleinzehe, **b** kurzer und langer Zehenbeuger.
1 M. abductor hallucis
2 M. flexor hallucis brevis
3 M. adductor hallucis, Caput obliquum
4 M. adductor hallucis, Caput transversum
5 M. abductor digiti minimi
6 M. flexor digiti minimi brevis
7 M. opponens digiti minimi
8 Ossa sesamoidea
9 M. flexor digitorum longus
10 M. flexor digitorum brevis
11 M. quadratus plantae
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

nens digiti minimi[7] vom Lig. plantare longum zum Os metatarsi V.

Gewölbestabilisierende Sehnen. Bei den vom Unterschenkel entspringenden Muskeln sind besonders die Sehnen des M. fibularis longus, des M. tibialis posterior und des M. tibialis anterior synergistisch an der Stabilisierung des Fußgewölbes beteiligt. Die Sehnen der beiden ersten Muskeln bilden auf der Plantarseite eine sich überkreuzende Verspannung, bei der durch Zug an beiden Seiten die mittig gelegenen Ossa cuneiforma intermedium und laterale im oberen Quergewölbebogen gehalten werden. Da der M. fibularis longus und der M. tibialis anterior beide am Os metatarsale I und am Os cuneiforme mediale ansetzten, bilden die beiden Sehnen eine einem Steigbügel vergleichbare Klammer.

10.4 Leitungsbahnen der unteren Extremität

Die Gefäße und Nerven der unteren Extremität treten auf 3 Wegen vom Becken nach distal:
- durch das Foramen ischiadicum majus in die Genitoanalregion,
- durch den Canalis obturatorius in die mediale Hüftregion,
- zwischen Leistenband und oberem Beckenrand in die ventrale Hüftregion.

10.4.1 Arterien der unteren Extremität

Die A. iliaca externa verläuft als **A. femoralis** ventral am Oberschenkel und durch den Canalis adductorius auf die dorsale Seite der Knieregion. Die Gesäßregion wird durch eigene Gefäße aus der A. iliaca interna versorgt. In der Kniekehle teilt

sich die A. femoralis in die **A. tibialis anterior**, die ventral zum Fußrücken (**A. dorsalis pedis**) zieht, und die **A. tibialis posterior**, die die **A. fibularis** abgibt und in die Fußsohle von medial als **Aa. plantares** eintritt.

Arterien der Genitoanalregion

Der M. piriformis, der durch das Foramen ischiadicum majus zieht, lässt 2 Spalten für die Leitungsbahnen frei: Foramen suprapiriforme und infrapiriforme. Durch das **Foramen suprapiriforme** zieht die **A. glutea superior**, ein Ast der A. iliaca interna zur Versorgung der Gesäßmuskeln. Das **Foramen infrapiriforme** ergänzt die Versorgung der Glutealregion durch die **A. glutea inferior** (überwiegend zum M. gluteus maximus). Medial davon verläuft die **A. pudenda interna**, die aber sofort wieder durch das Foramen ischiadicum minus in die Fossa ischioanalis zurückkehrt und die Genitoanalregion versorgt.

Von einer A. ischiadica, die bei Nicht-Säugern das Hauptgefäß der kaudalen Extremität bildet, bleibt in der menschlichen Ontogenese nur die dünne **A. comitans n. ischiadici** aus der A. glutea inferior erhalten.

Arterien der medialen Hüftregion

Der Canalis obturatorius wird vom Sulcus obturatorius und der Membrana obturatoria begrenzt und verbindet die Innenwand des kleinen Beckens mit der Faszienkammer der Adduktoren. Durch ihn zieht die **A. obturatoria**, ein parietaler Ast der A. iliaca interna. Sie versorgt im kleinen Becken den M. iliopsoas und den M. obturatorius internus. Die 2 großen Endäste (R. anterior und R. posterior) versorgen die Adduktoren und die entsprechenden Hautregionen.

Neben dem Zufluss aus der A. iliaca interna kann die A. obturatoria in ca. 30 % auch Blut von der A. epigastrica inferior erhalten (**A. obturatoria accessoria**). Da bei Schenkelhernien Verletzungen dieses Gefäßes zu lebensbedrohlichen Blutungen führen können, wird diese Anastomose als „Corona mortis“ bezeichnet.

A. femoralis und ihre Äste

Die Durchtrittsstelle unter dem Leistenband wird vom Arcus iliopectineus in die Lacuna musculorum und die Lacuna vasorum geteilt. Die A. iliaca externa zieht zur Lacuna vasorum und geht hier in die A. femoralis über, die weiter nach distal verläuft.



Direkt distal des Leistenbandes liegt die **A. femoralis** relativ oberflächlich in der Unterleistengrube. Sie ist hier nur von der Fascia lata und Haut bedeckt und kann daher leicht getastet und punktiert werden. Die Arterie verläuft hier zwischen der medial von ihr gelegenen V. femoralis und dem lateral verlaufenden N. femoralis.

Die **A. femoralis** verläuft über den gesamten Oberschenkel zusammen mit der V. femoralis und dem N. femoralis als Gefäß-Nerven-Bündel. Sie gibt zunächst direkt unter dem Leistenband kleinere Äste zur Versorgung der Haut ab: **A. epigastrica superficialis** zur Bauchhaut bis zur Nabelregion, **A. circumflexa ilium superficialis** zur seitlichen Hüftregion und **Aa. pudendae externae** zum Skrotum bzw. den Labia majora.

Die Blutversorgung des Oberschenkels ist variabel. In etwa 60 % findet man eine **A. profunda femoris**, von der 2 große Äste (**A. circumflexa femoris medialis** und **A. circumflexa femoris lateralis**) abgehen. Bei etwa 35 % geht einer oder beide Zirkumflexa-Äste direkt aus der A. femoralis ab. Im proximalen Oberschenkel treten meist 3 **Aa. perforantes** aus der A. profunda femoris durch den M. adductor magnus an die dorsale Seite und versorgen die ischiokrurale Muskulatur.



Aus der A. obturatoria zieht ein **R. acetabularis** (auch A. capitis femoris genannt) durch das Lig. capitis femoris und versorgt den Hüftkopf mit Blut. Bei Verletzungen oder Gefäßerkrankungen kann es zur **Hüftkopfnekrose** oder zu Deformitäten kommen. Spätfolge ist eine Hüftarthrose (**Coxarthrose**). Eine den Hüftkopf erhaltende The-

rapie muss deshalb innerhalb von 6 h nach dem Trauma durchgeführt werden. Die alleinige Blutversorgung über die A. circumflexa femoris medialis reicht nicht aus.

Etwas unterhalb der Mitte des Oberschenkels bildet die Membrana vastoadductoria unter dem M. sartorius den **Adduktorenkanal** (S. 161) , in den die A. femoralis mit dem restlichen Gefäß-Nerven-Bündel eintritt. Nach dessen Passage und dem Austritt in die Kniekehle wird sie als A. poplitea bezeichnet.

Die **A. poplitea** zieht knochen- und gelenknah durch die Kniekehle und verzweigt sich erst am Unterrand des M. popliteus in die A. tibialis posterior und A. tibialis anterior. Mit 4 Ästen versorgt sie insbesondere das Kniegelenk und bildet Kollateralen:

- proximal zweigen die **A. superior lateralis genus** und **A. superior medialis genus** ab,
- distal zweigen die **A. inferior lateralis genus** und die **A. inferior medialis genus** ab.

Zwischen den paarigen Kniegefäßen der A. poplitea gibt es noch eine unpaarige **A. media genus**, die von dorsal die Kreuzbänder versorgt.

In dieses arterielle Netzwerk um das Kniegelenk (**Rete articulare genus**) strahlen außerdem weitere kleine Äste ein:

- aus der A. femoralis: der R. descendens der A. circumflexa femoris lateralis und die A. descendens genicularis,
- aus der A. tibialis anterior die A. recurrens tibialis anterior,
- aus der A. tibialis posterior der R. circumflexus fibularis.

Die Anastomosen können eine plötzliche Unterbrechung des Blutflusses der A. poplitea allerdings nicht kompensieren.

Am proximalen Unterschenkel verzweigt sich die A. poplitea. Zunächst gibt sie die A. tibialis anterior ab, um sich anschließend in die A. tibialis posterior und die A. fibularis aufzuteilen.

Lateral der Tibia befindet sich die Extensorenloge (M. tibialis anterior, M. extensor digitorum longus, M. extensor hallucis longus), die durch die Membrana interossea cruris von der tiefen Flexorenloge getrennt ist. Direkt an der Membran und an der Tibia verläuft die **A. tibialis anterior** zusammen mit der gleichnamigen Vene und dem N. fibularis profundus. Am Fuß geht die A. tibialis anterior in die **A. dorsalis pedis** über. Diese liegt unter der Faszie und bildet die **A. arcuata**, aus der die **Aa. metatarseae dorsales** zur Versorgung des Fußrückens abgehen, welche letztlich in die **Aa. digitales dorsales** zur Blutversorgung des dorsalen Bereichs der Zehen übergehen. Über die A. metatarsea perforans hat die A. arcuata Verbindung zum Arcus plantaris.



Der **Puls der A. dorsalis pedis** wird lateral der Sehne des M. extensor hallucis longus getastet.

Der zweite Ast der A. poplitea, die **A. tibialis posterior**, liegt zusammen mit V. tibialis posterior und N. tibialis in der tiefen Flexorenloge des Unterschenkels medial direkt unter dem tiefen Blatt der Fascia cruris. Sie ziehen gemeinsam oberflächlich hinter dem Malleolus medialis zur Fußsohle.

Unterhalb des Innenknöchels entwickelt sich aus den gemeinsamen Leitungsbahnen (N. tibialis, A. und Vv. tibiales posteriores) die laterale und die mediale Gefäß-Nerven-Straße der Fußsohle, die unter der Plantaraponeurose und dem M. flexor digitorum brevis nach distal verläuft. Hier teilt sich die A. tibialis posterior in die A. plantaris lateralis und die A. plantaris medialis. Die **A. plantaris lateralis** bildet auf Höhe des Os metatarsale V den **Arcus plantaris profundus**, der zwischen dem M. adductor hallucis und den Mm. interossei verläuft und dort die **Aa. metatarsales plantares** und aus diesen hervorgehend die **Aa. digitales plantares communes** abgibt. Mitunter geht vom Arcus plantaris profundus ein R. profundus ab, der eine Anastomose mit der A. plantaris medialis bildet.

Der mediale Gefäß-Nerven-Strang liegt lateral am Großzehenballen zum Mittelfuß. Die **A. plantaris medialis** gibt kleinere Äste zur Haut und medialen Muskulatur ab. Ein oberflächlicher Endast mündet in die A. digitalis plantaris propria I, ein tiefer Ast schließt sich dem Arcus plantaris profundus an.

Ein oberflächlicher Gefäßbogen (Arcus palmaris superficialis) kommt nur in 2 % der Fälle vor. In 25 % ist er als sehr dünne Queranastomose zwischen M. flexor digitorum brevis und M. flexor digitorum longus erkennbar.

Lateral unter dem M. flexor hallucis longus verläuft der dritte Ast der A. poplitea, die **A. fibularis** – zusammen mit der V. fibularis und kleinen Ästen des N. tibialis zur Versorgung der tiefen Flexoren (M. tibialis posterior, M. flexor digitorum longus, M. flexor hallucis longus). Die A. fibularis wird nach distal zunehmend kleiner und verzweigt sich schließlich in ein feines Netzwerk um den lateralen Knöchel (**Rete malleolare laterale**) und die Ferse (**Rete calcaneum**).

10.4.2 Venen der unteren Extremität

Die Arterien werden von gleichnamigen Venen begleitet, welche das tiefe Venensystem bilden. Zusätzlich gibt es ein oberflächliches Venensystem, das als Netz am Fuß beginnt und in 2 große Gefäße mündet (dorsal **V. saphena parva**, medial **V. saphena magna**). Zwischen oberflächlichem und tiefem Venensystem gibt es zahlreiche Anastomosen (**Vv. perforantes**). Die oberflächlichen Venen neigen durch die Belastung zur Insuffizienz und zur Varizenbildung.

Die epifaszialen **Hautvenen** der unteren Extremität haben aufgrund ihrer starken hydrostatischen Belastung eine relativ dicke Wand im Vergleich zu Venen gleichen Kalibers an anderen Stellen des Körpers.

Am Fußrücken befindet sich ein engmaschiges Venennetz (**Rete venosum dorsale pedis**), welches das Blut aus den tiefen Venen des Fußes aufnimmt. Dieses Venennetz mündet am distalen Unterschenkel in 2 große **oberflächliche Venen**, die V. saphena magna und die V. saphena parva.

Die **V. saphena magna** entsteht aus Längsvenen an der Medialseite des Fußrückens und zieht ventral des inneren Fußknöchels an die mediale Seite des Unterschenkels. Von dort verläuft sie weiter an der Medialseite des Oberschenkels, wo sie kurz unterhalb des Leistenbandes in den „Venenstern“ (s. u.) mündet. In ihrem Verlauf nimmt die V. saphena magna zahlreiche kleinere Venen auf, die von der ventralen Haut des Unterschenkels und vom Oberschenkel stammen. Am proximalen Oberschenkel gibt es als zusätzliche oberflächliche Vene ventral die **V. circumflexa ilium superficialis**, die ebenfalls in den „Venenstern“ mündet.

In der tiefen Schicht der Leistenregion fließen die oberflächlichen Venen zusammen und bilden dabei den **„Venenstern“**, der durch den Hiatus saphenus zur V. femoralis zieht und zahlreiche Variationen aufweisen kann. Bei der häufigsten Variante (etwa 40 %) vereinigen sich hier die V. saphena magna und V. saphena accessoria lateralis von distal, die V. pudenda externa von medial, die V. epigastrica superficialis von abdominal und die V. circumflexa ilium superficialis von lateral.

Die **V. saphena parva** entsteht am lateralen Fußrand und verläuft dorsal zur Wade. Am Unterschenkel begleitet sie den N. suralis und durchdringt schließlich distal der Kniekehle die Fascia cruris, um in die V. poplitea zu münden. Häufig gibt es Anastomosen zwischen V. saphena parva und V. saphena magna, auch über den dorsalen Oberschenkel (V. femoropoplitea).

Zwischen den epifaszialen und den in der Tiefe mit den Arterien laufenden Venen bestehen etwa 150 **Anastomosen** (Vv. communicantes bzw. Vv. perforantes), die durch die Faszie treten und aufgrund ihrer Venenklappen nur einen gerichteten Blutstrom von der Oberfläche in die Tiefe zulassen. Bei diesen zahlreichen Verbindungen sind 3 Gruppen von besonderer klinischer Bedeutung: am mediodistalen Oberschenkel zur V. femoralis (Dodd- bzw. Hunter-Venen), am proximalen Unterschenkel zur V. tibialis posterior (Sherman-Boyd-Venen) und proximal des medialen Fußknöchels zur V. tibialis posterior (Cockett-Venen).

Sind die Venenklappen der Anastomosen funktionsuntüchtig, so wird der venöse Rückfluss des Blutes gestört und das Blut staut sich in den epifaszialen Venen. Sind sie pathologisch erweitert, bezeichnet man sie als **Varizen** (Krampfadern).

Die Sammelvene des **tiefen Venensystems** der unteren Extremität ist die **V. femoralis**, die zusammen mit der A. femoralis und dem R. femoralis des N. genitofemoralis durch die Lacuna vasorum unter dem Leistenband verläuft. Oberhalb des Leistenbandes setzt sich das Gefäß als V. iliaca externa fort.

Distal durchquert die V. femoralis zusammen mit A. femoralis und N. femoralis den Adduktorenkanal, an dessem distalen Ausgang sie in die **V. poplitea** übergeht. Diese wiederum geht hervor aus dem Zusammenfluss von **V. tibialis anterior**, **V. ti-**

bialis posterior und **V. fibularis**, die die gleichnamigen Arterien begleiten. Allerdings ist das tiefe Venensystem am Unterschenkel sehr variabel. Insbesondere die V. tibialis posterior und die V. fibularis sind häufig doppelt angelegt. Diese vereinigen sich in der Regel bereits unterhalb der Kniekehle zur V. poplitea, in die die V. tibialis anterior erst in der Kniekehle mündet. Noch etwas weiter proximal nimmt die V. poplitea die V. saphena parva auf. Der Zusammenfluss kann aber auch erst oberhalb der Kniekehle am Hiatus adductorius liegen.

Während sich V. tibialis anterior und V. fibularis im Unterschenkel aus kleinen Muskelästen bilden, reicht die V. tibialis posterior weiter nach distal und entsteht durch den Zusammenfluss von V. plantaris medialis und lateralis.

10.4.3 Nerven der unteren Extremität

Aus dem **Plexus lumbosacralis** formen sich mehrere periphere Nerven. Ventral liegt der N. cutaneus femoris lateralis, der **N. femoralis** (beide ziehen durch die Lacuna musculorum der Leiste) und der **N. obturatorius** (zieht durch das Foramen obturatum an den Oberschenkel). Dorsal bildet sich der **N. ischiadicus**, der sich an variabler Stelle des Oberschenkels in den **N. tibialis** und den **N. fibularis** aufteilt. Die Hautnerven spielen eine wichtige Rolle, z. B. bei der Diagnose von Bandscheibenvorfällen.

Hautnerven (▶ Abb. 10.21)

Die Hautnerven haben an der unteren Extremität unregelmäßige Innervationsgebiete und zeigen ausgeprägte interindividuelle Variationen. Häufig kommt es zu Überlappungen, sodass manche Hautareale von mehreren Nerven versorgt werden. Prinzipiell unterscheidet man zwischen den **anatomischen Hautfeldern**, die präparatorisch darstellbare Verbreitungsgebiete von peripheren Hautnerven in der Subcutis sind, und den **Segmentbezügen** zu den einzelnen Abschnitten des Rückenmarks (Dermatome).

Oberflächlich wird die Gesäßregion von den **Nn. clunium**[15, 20, 21] innerviert. Am Oberschenkel befinden sich über der Fascia lata größere Hautnervenäste. Am weitesten lateral liegt der **N. cuta-**

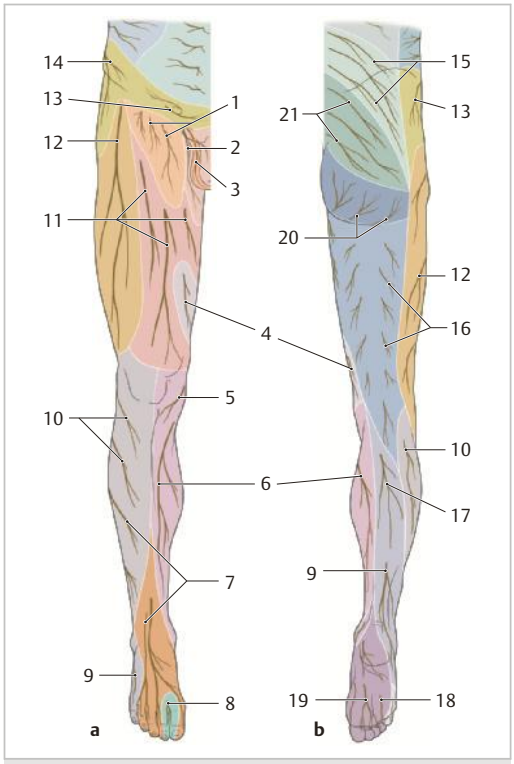


Abb. 10.21 Hautinnervation des rechten Beins von ventral (**a**) und dorsal (**b**).
1 N. genitofemoralis, R. femoralis
2 N. genitofemoralis, R. genitalis
3 N. ilioinguinalis
4 N. obturatorius, R. cutaneus
5 N. saphenus, R. infrapatellaris
6 N. saphenus
7 N. fibularis superficialis
8 N. fibularis profundus
9 N. suralis
10 N. fibularis communis
11 N. femoralis, Rr. cutanei femoris anteriores
12 N. cutaneus femoris lateralis
13 N. iliohypogastricus, R. cutaneus lateralis
14 N. iliohypogastricus, R. cutaneus anterior
15 Nn. clunium superiores (L 1–3)
16 N. cutaneus femoris posterior
17 N. tibialis, N. cutaneus surae medialis
18 N. plantaris lateralis, R. cutaneus
19 N. plantaris medialis, R. cutaneus
20 Nn. clunium inferiores
21 Nn. clunium medii (S 1–3)
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

neus femoris lateralis[12]. Er tritt durch die Lacuna musculorum unter dem Leistenband durch und durchbricht die Faszie zwischen proximalem und mittlerem Drittel des Oberschenkels. Durch enge Beinkleidung kann er durch Druckschädigung ausfallen. Nach medial folgen die Rr. cutanei anteriores des N. femoralis[11] und der R. cutaneus des N. obturatorius[4] (medial im distalen Drittel).

Von klinischer Bedeutung sind von den proximalen peripheren Nerven der unteren Extremität außerdem der **R. femoralis des N. genitofemoralis**[1], der durch die Lacuna vasorum unter dem Leistenband verläuft und über den der Cremasterreflex ausgelöst werden kann, sowie der **N. saphenus**[6], der bei unklaren Polyneuropathien biopsiert werden kann. Medial befindet sich der **N. ilioinguinalis**[3], der beim Mann entlang des Samenstrangs verläuft.

Bei **Bandscheibenvorfällen** sind besonders die Versorgungsmuster von L 4, L 5 und S 1 von klinischem Interesse. L 4 projiziert meist auf die laterale Oberschenkelseite und denmedialen Unterschenkel bis zum medialen Fußrand, L 5 projiziert auf den lateralen Unterschenkel und die ersten beiden Zehen, S 1 auf den dorsalen Ober- und Unterschenkel sowie auf die lateralen Zehen.

Am Fußrücken liegen oberhalb der Faszie die Hautnerven des Fußes: der **N. cutaneus dorsalis medialis** und **intermedius** aus dem N. fibularis superficialis[7], der N. cutaneus hallucis lateralis und digiti secundi medialis aus dem N. fibularis profundus[8], und medial Äste des N. saphenus.

Nerven der Hüftregion

Zum Übertritt aus dem Becken zum Oberschenkel nutzen die Gefäß-Nerven-Stränge 3 Wege: den Canalis obturatorius zum medialen Oberschenkel, das Foramen ischiadicum majus nach dorsal und den Raum unter dem Leistenband nach ventral.

Durch den **Canalis obturatorius** zieht neben der A. obturatoria, begleitenden Venen und Lymphgefäßen auch der **N. obturatorius**. Er versorgt zunächst den M. obturatorius externus und verzweigt sich dann im Canalis obturatorius in 2 Äste auf: den **R. anterior**, der neben den efferenten Fasern für die Mm. adductores brevis, longus, gracilis und pectineus auch afferente Fasern (**R. cutaneus**) für die Haut an der Innenseite des Oberschenkels enthält, und den **R. posterior**, der den M. adductor magnus versorgt.

Unter dem M. gluteus maximus und der Aponeurosis glutea verläuft die tiefe dorsale Gefäß-Nerven-Straße, die durch das **Foramen ischiadicum majus** zieht. Durch das **Foramen suprapiriforme** des Foramen ischiadicum majus zieht der **N. gluteus superior**, ein eigenständiger Nerv aus dem Plexus sacralis für die Versorgung der kleinen Gesäßmuskeln (M. gluteus medius und minimus, M. tensor fasciae latae).

Durch das **Foramen infrapiriforme** verlaufen 4 Nerven. Am weitesten medial befindet sich der **N. pudendus**, der wie auch die A. pudenda interna nach dem Durchtritt durch das Foramen infrapiriforme durch das Foramen ischiadicum minus wieder in die Fossa ischioanalis eintritt und die Genitoanalregion versorgt. Lateral des N. pudendus liegt der **N. gluteus inferior**, der den M. gluteus maximus versorgt. Lateral zieht aus dem Foramen infrapiriforme der **N. cutaneus femoris posterior**, von dem die Nn. clunium inferiores abgehen und der zur Dorsalseite des Oberschenkels zieht. Lateral zieht der **N. ischiadicus** (s. u.) durch das Foramen infrapiriforme.

Durch die Lacuna musculorum unter dem **Leistenband** treten neben dem M. iliopsoas der N. cutaneus femoris lateralis (s. o.) und der **N. femoralis** auf den Oberschenkel. Dieser hat neben zahlreichen Hautästen für den vorderen Oberschenkel Muskeläste für den M. quadriceps femoris, M. pectineus, M. sartorius und M. iliopsoas. Sein Endast ist sensibel (**N. saphenus**) und zieht zunächst in den Canalis adductorius, durchbohrt dann die Membrana vastoadductoria und zieht zur Medialseite des Knies. Von dort aus begleitet er die V. saphena magna nach distal bis zum medialen Fußrand.

N. ischiadicus und seine Äste

Am weitesten lateral im Foramen infrapiriforme befindet sich der **N. ischiadicus**, der größte Nerv des menschlichen Körpers, der auf dem M. triceps coxae und dem M. quadratus femoris zum Oberschenkel zieht.

Eine intramuskuläre Injektion in die Gesäßregion (**intragluteale Injektion**) wird immer nur in den oberen äußeren Quadranten der Gesäßregion,

also in den M. gluteus medius verabreicht (Von-Hochstetter-Dreieck). Bei falscher Injektionstechnik (z. B. in den M. gluteus maximus) sind der N. ischiadicus und der N. gluteus superior gefährdet.

Unter dem Caput longum des M. biceps femoris läuft der N. ischiadicus zur Kniekehle. Am distalen Oberschenkel lagern sich die Vasa poplitea aus dem Hiatus adductorius kommend dem Nerv an, der sich spätestens am Oberrand der Kniekehle in seine 2 Hauptäste (N. tibialis und N. fibularis communis) aufspaltet. Diese Aufteilung ist bereits beim Austritt durch das Foramen infrapiriforme angelegt, beide Nerven werden jedoch durch eine lockere bindegewebige Hülle verbunden, die sich bis in die Faszien der Muskeln fortsetzt. Es ist deshalb schwierig, eine genaue Höhe der Aufspaltung des Nervenbündels in die beiden Nerven anzugeben. Endgültig trennen sie sich erst in der Fossa poplitea. Der **N. fibularis communis** zieht lateral an der Fossa poplitea entlang über den lateralen Kopf des M. gastrocnemius (oberflächliche Lage direkt unter der Körperfaszie) und schlingt sich um den Fibulakopf, an dem er bindegewebig fixiert ist.

Aufgrund der oberflächlichen Lage kann der **N. fibularis communis** durch Druck und Stoß gegen das proximale Fibulaende leicht gequetscht werden. Klinisch kommt es dann zum Ausfall der Extensoren (Spitzfuß und Hahnentritt bzw. Steppergang).

Bereits am proximalen Rand der Fossa poplitea gibt der N. fibularis communis den **N. cutaneus surae lateralis** ab, der von dorsal auf dem lateralen M. gastrocnemius liegend die laterale Haut sensibel versorgt. Ein weiterer Ast (R. communicans fibularis) zieht etwas weiter medial zum N. cutaneus surae medialis und bildet mit diesem den N. suralis (s. u.).

Die Endäste des N. fibularis communis zweigen sich erst außerhalb der Kniekehle in der proximalen **Fibularisloge** des Unterschenkels auf. Diese liegt lateral am Unterschenkel und grenzt sich nach ventral durch das Septum intermusculare cruris anterius von der Extensorenloge und nach dorsal durch das Septum intermusculare cruris posterius von der oberflächlichen Flexorenloge ab. Nach medial wird der Raum von der Fibula begrenzt.

Durch die deutliche Septierung der Muskelgruppen kann es bei stumpfen Verletzungen durch Einblutung oder Schwellung zu einem erhöhten Gewebedruck (**Kompartmentsyndrom**) und damit zu Funktionsausfällen kommen – überwiegend in der Extensorenloge (**Tibialis-anterior-Syndrom**). Therapie der Wahl ist die rasche Spaltung der Faszien zur Druckentlastung.

Unter den Muskeln (M. fibularis longus und brevis) läuft der **N. fibularis superficialis** nach distal. Gleich zu Anfang gibt er seine motorischen Äste ab. Im unteren Drittel zieht der Nerv durch die äußere Körperfaszie und versorgt den Fußrücken sensibel.

In der Extensorenloge verläuft direkt an der Membrana interossea zwischen Tibia und Fibula zusammen mit A. und V. tibialis anterior der überwiegend motorische **N. fibularis profundus**. Sein Endast zieht mit den Vasa tibiales anteriores an den Fußrücken (A. dorsalis pedis) und versorgt sensibel die Haut zwischen 1. und 2. Zeh.

Der **N. tibialis** gibt am oberen Rand der Kniekehle den **N. cutaneus surae medialis** ab, der sich an die V. saphena parva anlegt und als **N. suralis** die Haut über der Achillessehne, am lateralen Knöchel und am lateralen Fußrand versorgt. Am unteren Rand der Kniekehle zweigt vom N. tibialis der **N. interosseus cruris** ab, der die A. tibialis anterior begleitet und die Knochenhaut versorgt. Der N. tibialis zieht unter dem Sehnenbogen des M. soleus weiter in die tiefe Flexorenloge des Unterschenkels. Am distalen Unterschenkel teilt er sich auf in den N. plantaris lateralis und medialis.

Der **N. plantaris lateralis** gibt im Fersenbereich Äste zum M. abductor digiti minimi und zum M. quadratus plantae ab. Der **R. superficialis** bildet den N. digitalis plantaris communis IV und den N. digitalis plantaris proprius V zur Versorgung der lateralen Fußsohlenhaut. Außerdem versorgt er motorisch den M. flexor digiti minimi brevis und den M. lumbricalis IV. Der **R. profundus** innerviert den M. flexor hallucis brevis, den M. adductor hallucis, die Mm. lumbricales I–III, Mm. interossei und den M. opponens digiti minimi.

Der **N. plantaris medialis** versorgt den M. abductor hallucis und den M. flexor hallucis brevis. Er bildet die **Nn. digitales plantares communes I–III** in der mittleren Fußloge und den N. digitalis plantaris proprius I, der meist separat mit der A. plantaris medialis verläuft.

10.4.4 Lymphgefäße der unteren Extremität

Der Lymphabfluss verläuft oberflächlich mit den epifaszialen Venen und tiefer mit den arteriellen Blutgefäßen. Erste Lymphknotenstation ist für den größten Bereich der unteren Extremität die Leistenregion.

Die **oberflächlichen Lymphbahnen** laufen überwiegend parallel zu den epifaszialen Venen. Einzelne Lymphknoten kommen in der Kniekehle vor (Nodi lymphoidei popliteales superficiales und profundi), überwiegend fließt die Lymphe jedoch zu den Lymphknoten der Leiste (Nodi lymphoidei inguinales superficiales und profundi). Die oberflächlichen Anteile liegen auf der Fascia lata beidseits der V. saphena magna. Darüber fließt die Lymphe auch von der Bauchwand, dem kaudalen Rücken, der Dammregion und dem äußeren Genitale ab. Der größte Lymphknoten der oberflächlichen Inguinalregion wird auch als Rosenmüller-Lymphknoten bezeichnet.

Tiefe Lymphgefäße verlaufen parallel zu den tiefen Blutgefäßen. Besonders zu erwähnen ist der Abfluss der Kniekehlenlymphknoten entlang der A. femoralis zu den tiefen Leistenlymphknoten.

10.5 Wichtige Regionen der unteren Extremität

10.5.1 Faszienverhältnisse der unteren Extremität

Die oberflächliche Faszie der Gesäßregion (**Fascia glutea**) ist sehr dünn, was eine gute Verschieblichkeit des M. gluteus maximus ermöglicht. Eine stabilere Bindegewebshülle (**Aponeurosis glutea**) findet sich unter dem Muskel über den kleineren Gesäßmuskeln. Am Sulcus glutealis geht die oberflächliche Faszie in die Fascia lata des Oberschenkels über. Ventral schiebt sich aus der Tiefe die **Fascia iliaca** zum Lig. inguinale und bildet dort den Arcus iliopectineus als Trennung der Lacuna musculorum und der Lacuna vasorum. Oberflächlich wird die Körperfaszie ab dem Lig. inguinale **Fascia lata** genannt. Diese ist besonders nach lateral sehr stark ausgeprägt und läuft als **Tractus iliotibialis** bis zur lateralen Tibia. Der Tractus iliotibialis dient als passive Zuggurtung gegen die laterale Ausbiegungstendenz des Femurs.

Da der passive und aktive Halteapparat die laterale Ausbiegung des Femurs auf Dauer nicht stabilisieren kann, kommt es im Alter zunehmend zu einem **Absinken des Femurhalses** (physiologische Verringerung des CCD-Winkels) und daurch zu einer stärkeren Frakturanfälligkeit.

Die beiden in die Tiefe ziehenden Bindegewebssepten (Septum intermusculare femoris laterale und mediale) trennen die ventrale Muskulatur von den dorsalen Beugern und der Adduktorengruppe. Distal befindet sich am medialen Septum in der Tiefe die **Membrana vastoadductoria**, die bei der Bildung des Adduktorenkanals beteiligt ist. Proximal ist die Fascia lata unterhalb des Leistenbandes locker (**Fascia cribrosa**) und überdeckt den **Hiatus saphenus**, eine Öffnung für die oberflächlichen Venen und Lymphstraßen, dessen lateraler Rand (Margo falciformis) scharf begrenzt ist und mit einem Cornu superius und einem Cornu inferius nach medial ausläuft.

Die Fascia lata des Oberschenkels setzt sich in der **Fascia poplitea** fort, die ventralmit dem Lig. patellae und medial mit dem Lig. collaterale tibiale eng verbunden ist.

Die **Fascia cruris** des Unterschenkels (▶ **Abb. 10.22**) ist mit dem Periost der ventralen Tibiafläche vollständig verschmolzen. Ventral bildet sich distal das Retinaculum extensorum superius als Verstärkung in der Faszie. Zur Fibula bilden sich kräftige Verbindungen in die Tiefe (Septum intermusculare cruris anterius[12] und posterius[9]), die die Fibularismuskeln von den übrigen Gruppen abtrennen (Fibularisloge). Dorsal bildet die oberflächliche Faszie mit der tiefen Fascia cruris profunda[8] die Ummantelung des M. triceps surae.

Zum Fußrücken hin bildet sich aus der Fascia cruris das kreuzförmig angeordnete **Retinaculum extensorum inferius** zur Stabilisierung der Stre-

Der **N. plantaris medialis** versorgt den M. abductor hallucis und den M. flexor hallucis brevis. Er bildet die **Nn. digitales plantares communes I–III** in der mittleren Fußloge und den N. digitalis plantaris proprius I, der meist separat mit der A. plantaris medialis verläuft.

10.4.4 Lymphgefäße der unteren Extremität

Der Lymphabfluss verläuft oberflächlich mit den epifaszialen Venen und tiefer mit den arteriellen Blutgefäßen. Erste Lymphknotenstation ist für den größten Bereich der unteren Extremität die Leistenregion.

Die **oberflächlichen Lymphbahnen** laufen überwiegend parallel zu den epifaszialen Venen. Einzelne Lymphknoten kommen in der Kniekehle vor (Nodi lymphoidei popliteales superficiales und profundi), überwiegend fließt die Lymphe jedoch zu den Lymphknoten der Leiste (Nodi lymphoidei inguinales superficiales und profundi). Die oberflächlichen Anteile liegen auf der Fascia lata beidseits der V. saphena magna. Darüber fließt die Lymphe auch von der Bauchwand, dem kaudalen Rücken, der Dammregion und dem äußeren Genitale ab. Der größte Lymphknoten der oberflächlichen Inguinalregion wird auch als Rosenmüller-Lymphknoten bezeichnet.

Tiefe Lymphgefäße verlaufen parallel zu den tiefen Blutgefäßen. Besonders zu erwähnen ist der Abfluss der Kniekehlenlymphknoten entlang der A. femoralis zu den tiefen Leistenlymphknoten.

10.5 Wichtige Regionen der unteren Extremität

10.5.1 Faszienverhältnisse der unteren Extremität

Die oberflächliche Faszie der Gesäßregion (**Fascia glutea**) ist sehr dünn, was eine gute Verschieblichkeit des M. gluteus maximus ermöglicht. Eine stabilere Bindegewebshülle (**Aponeurosis glutea**) findet sich unter dem Muskel über den kleineren Gesäßmuskeln. Am Sulcus glutealis geht die oberflächliche Faszie in die Fascia lata des Oberschenkels über. Ventral schiebt sich aus der Tiefe die **Fascia iliaca** zum Lig. inguinale und bildet dort den Arcus iliopectineus als Trennung der Lacuna musculorum und der Lacuna vasorum. Oberflächlich wird die Körperfaszie ab dem Lig. inguinale **Fascia lata** genannt. Diese ist besonders nach lateral sehr stark ausgeprägt und läuft als **Tractus iliotibialis** bis zur lateralen Tibia. Der Tractus iliotibialis dient als passive Zuggurtung gegen die laterale Ausbiegungstendenz des Femurs.

Da der passive und aktive Halteapparat die laterale Ausbiegung des Femurs auf Dauer nicht stabilisieren kann, kommt es im Alter zunehmend zu einem **Absinken des Femurhalses** (physiologische Verringerung des CCD-Winkels) und daurch zu einer stärkeren Frakturanfälligkeit.

Die beiden in die Tiefe ziehenden Bindegewebssepten (Septum intermusculare femoris laterale und mediale) trennen die ventrale Muskulatur von den dorsalen Beugern und der Adduktorengruppe. Distal befindet sich am medialen Septum in der Tiefe die **Membrana vastoadductoria**, die bei der Bildung des Adduktorenkanals beteiligt ist. Proximal ist die Fascia lata unterhalb des Leistenbandes locker (**Fascia cribrosa**) und überdeckt den **Hiatus saphenus**, eine Öffnung für die oberflächlichen Venen und Lymphstraßen, dessen lateraler Rand (Margo falciformis) scharf begrenzt ist und mit einem Cornu superius und einem Cornu inferius nach medial ausläuft.

Die Fascia lata des Oberschenkels setzt sich in der **Fascia poplitea** fort, die ventralmit dem Lig. patellae und medial mit dem Lig. collaterale tibiale eng verbunden ist.

Die **Fascia cruris** des Unterschenkels (▶ **Abb. 10.22**) ist mit dem Periost der ventralen Tibiafläche vollständig verschmolzen. Ventral bildet sich distal das Retinaculum extensorum superius als Verstärkung in der Faszie. Zur Fibula bilden sich kräftige Verbindungen in die Tiefe (Septum intermusculare cruris anterius[12] und posterius[9]), die die Fibularismuskeln von den übrigen Gruppen abtrennen (Fibularisloge). Dorsal bildet die oberflächliche Faszie mit der tiefen Fascia cruris profunda[8] die Ummantelung des M. triceps surae.

Zum Fußrücken hin bildet sich aus der Fascia cruris das kreuzförmig angeordnete **Retinaculum extensorum inferius** zur Stabilisierung der Stre-

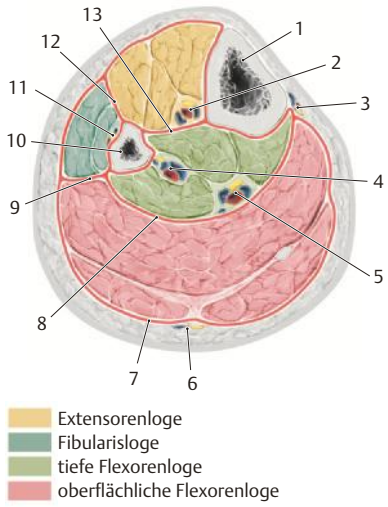


Abb. 10.22 Muskellogen und Leitungsbahnen des Unterschenkels im Querschnitt. Ansicht von distal.
1 Tibia
2 N. fibularis profundus, A. und V. tibialis anterior
3 N. saphenus, V. saphena magna
4 A. und V. fibularis
5 N. tibialis, A. und V. tibialis posterior
6 N. suralis, V. saphena parva
7 Fascia cruris, oberflächliches Blatt
8 Fascia cruris, tiefes Blatt
9 Septum intermusculare cruris posterius
10 Fibula
11 N. fibularis superficialis
12 Septum intermusculare cruris anterius
13 Membrana interossea cruris
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ckersehnen, dasfließend in die **Fascia dorsalis pedis** übergeht. Lateral bildet sich am Malleolus lateralis das **Retinaculum fibularium** superius und weiter distal das Retinaculum fibularium inferius, das eine kontinuierliche Fortsetzung der unteren Extensorenverstärkung ist. Vom Malleolus medialis aus zieht zum Tuber calcanei das **Retinaculum flexorum** als breite Verstärkung der medialen Körperfaszie.

Die Fußsohle weist eine breite, derbe Versteifung der oberflächlichen Körperfaszie auf (**Aponeurosis plantaris**), die sich vom Calcaneus über Längsfasern bis zu den Zehen erstreckt und distal über Fasciculi transversi aufgespannt wird. 2 kräftige Septen ziehen in die Tiefe (Septum plantare mediale und laterale) und trennen die mittleren kurzen Fußmuskeln von denen des Großzehen- und Kleinzehenbereichs. Über die Kammerung, die sich im Kleinen auch um Fettzellengruppen ausbildet, wird ein Druckpolster aufgebaut, das insbesondere die Leitungsbahnen in der Fußsohle schützt.

10.5.2 Leiste und Schenkeldreieck

Das Unterhautfettgewebe der Leistenregion wird vom Stratum membranosum (Fascia Scarpae) in 2 Schichten geteilt. In der oberflächlichen Schicht befindet sich überwiegend Fettgewebe, in der tiefen Schicht Lymphknoten und der „Venenstern“ (S. 155).

Das Leistenband (Lig. inguinale), das sich zwischen der Spina iliaca anterior superior und dem Tuberculum pubicum ausspannt, bildet den oberen Rand des Schenkeldreicks (Trigonum femorale, ▶ **Abb. 10.23**). Der Raum zwischen Leistenband und Beckenknochen wird vom Arcus iliopectineus in die mediale Lacuna vasorum und die laterale Lacuna musculorum geteilt. Lateral wird das Trigonum femorale von M. sartorius begrenzt, medial vom M. gracilis und dorsal vom M. iliopsoas und dem M. pectineus.

Durch die **Lacuna musculorum** verlaufen M. iliopsoas[1], N. cutaneus femoris lateralis (nahe der Spina iliaca anterior superior) und der N. femoralis[2] zum Oberschenkel. Die **Lacuna vasorum** (auch als Anulus femoralis bezeichnet) dient als Durchtrittsstelle der Vasa iliaca externa, die distal davon als A. femoralis und V. femoralis[3] bezeichnet werden. Außerdem verlaufen hier die tiefen Lymphgefäße der Leistenregion und der R. femoralis des N. genitofemoralis.

Für Punktionen ist es wichtig, die Lage der Bestandteile des **Gefäß-Nerven-Stammes in der Leiste** zu kennen: Ganz medial liegt die V. femoralis, nach lateral folgt die A. femoralis und ganz lateral liegt der N. femoralis. Die A. femoralis kann man aufgrund ihrer Pulsation gezielt aufsuchen und damit auch die Lage der anderen beiden Strukturen bestimmen.

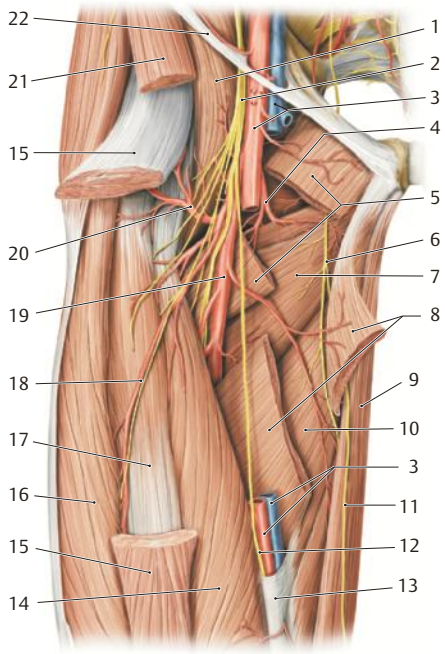


Abb. 10.23 Leitungsbahnen in Leiste und Trigonum femorale rechts.

1 M. iliopsoas
2 N. femoralis
3 A. und V. femoralis
4 A. circumflexa femoris medialis
5 M. pectineus
6 N. obturatorius
7 M. adductor brevis
8 M. adductor longus
9 M. gracilis
10 M. adductor magnus
11 N. obturatorius, R. cutaneus
12 N. saphenus
13 Membrana vastoadductoria
14 M. vastus medialis
15 M. rectus femoris
16 M. vastus lateralis
17 M. vastus intermedius
18 A. circumflexa femoris lateralis, R. descendens
19 A. profunda femoris
20 A. circumflexa femoris lateralis, R. ascendens
21 M. sartorius
22 Lig. inguinale

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

10.5.3 Adduktorenkanal

Der Adduktorenkanal (▶ **Abb. 10.23**) ist ein etwa 6 cm langer Schlitz mediodistal am Oberschenkel und verbindet den ventralen Oberschenkel mit der Kniekehle.

Begrenzt wird der Kanal dorsal vom Übergang des M. vastus medialis[14] zu den Adduktoren (insbesondere M. adductor longus[8]) und ventral von einer Bindegewebsplatte (Membrana vastoadductoria[13]), die sich zwischen M. vastus medialis und M. adductor magnus bildet. Überdeckt wird der Kanal ventral vom M. sartorius[21].

Durch den Adduktorenkanal ziehen die großen Gefäße (A. und V. femoralis[3]), die nach ihrem Durchtritt distal als Vasa poplitea bezeichnet werden. Auch der N. saphenus[12] zieht von proximal in den Adduktorenkanal, durchbohrt jedoch die Membrana vastoadductoria und lagert sich medioventral an die V. saphena magna an.

10.5.4 Kniekehle (▶ Abb. 10.24)

Die Kniekehle (Fossa poplitea) ist eine rautenförmige Grube dorsal des Kniegelenks. Sie wird proximal lateral vom M. biceps femoris[3,4] sowie medial vom M. semimembranosus[24] und M. semitendinosus[23] begrenzt; distal begrenzen die beiden Gastrocnemius-Köpfe[9,22] sowie lateral auch der M. plantaris die Vertiefung.

Ausgefüllt ist die Kniekehle mit einem verformbaren Fettkörper, in dem sich oberflächlich die Endäste des N. ischiadicus[2] (N. tibialis[16] in der Mitte und N. fibularis communis[5] am lateralen Rand), darunter die V. und A. poplitea[1] befinden.

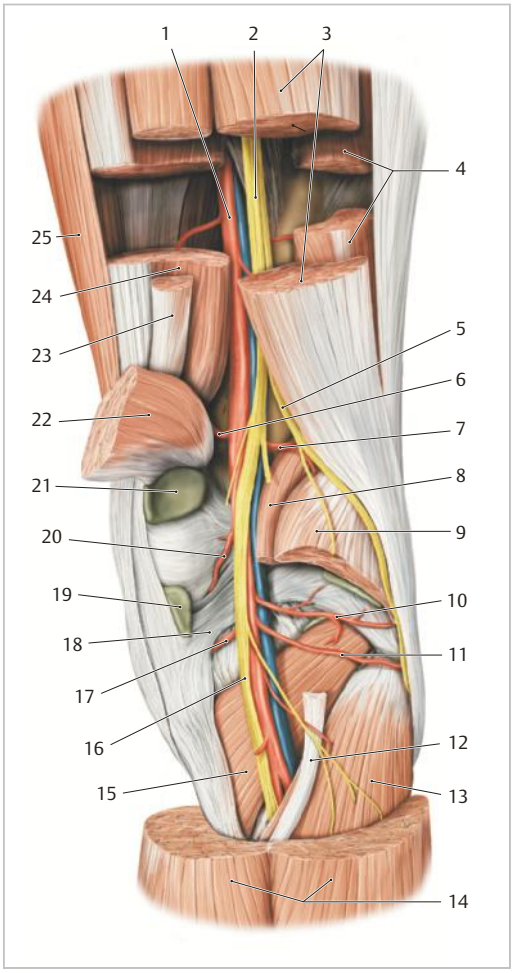


Abb. 10.24 Leitungsbahnen der rechten Kniekehle von dorsal.

1 A. und V. poplitea
2 N. ischiadicus
3 Caput longum des M. biceps femoris
4 Caput breve des M. biceps femoris
5 N. fibularis communis
6 A. superior medialis genus
7 A. superior lateralis genus
8 M. plantaris
9 Caput laterale des M. gastrocnemius
10 A. inferior lateralis genus
11 A. recurrens tibialis posterior
12 Sehne des M. plantaris
13 M. soleus
14 M. gastrocnemius
15 M. popliteus
16 N. tibialis
17 A. inferior medialis genus
18 Lig. popliteum obliquum
19 Bursa subtendinea m. semimembranei
20 A. media genus
21 Bursa subtendinea m. gastrocnemii medialis
22 Caput mediale des M. gastrocnemius
23 M. semitendinosus
24 M. semimembranosus
25 M. gracilis

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

11 Obere Extremität

Christian Albrecht May

11.1 Oberflächenanatomie

Die Form des Oberarms hängt stark vom Trainingszustand der Muskulatur ab. Das Aussehen des distalen Unterarms und der Hand bestimmen Sehnen und Knochen. Die oberflächlichen Venen sind insbesondere für die Punktion und Gewinnung von Venenblut interessant. Hautnerven können eine klinische Differenzierung neurologischer Erkrankungen erlauben, allerdings variieren die Versorgungsgebiete der Hautnerven etwas.

11.1.1 Oberflächenrelief

Das Oberflächenrelief des Armes (▶ **Abb. 11.1**) wird hauptsächlich bestimmt von der Ausprägung der Muskulatur und der subkutanen Fettpolster.

Die **Schulterregion** wird vom M. deltoideus[10] geformt, der zum Rumpf hin ventral durch eine kleine Grube (Fossa infraclavicularis, Mohrenheim-Grube) vom M. pectoralis major[1] getrennt ist. Dorsal hebt er sich von der Spina scapulae, dem M. teres major[17] und dem M. latissimus dorsi[16] ab.

Der **Oberarm** wird ventral vom M. biceps brachii[2] und dorsal vom M. triceps brachii[11] geformt.

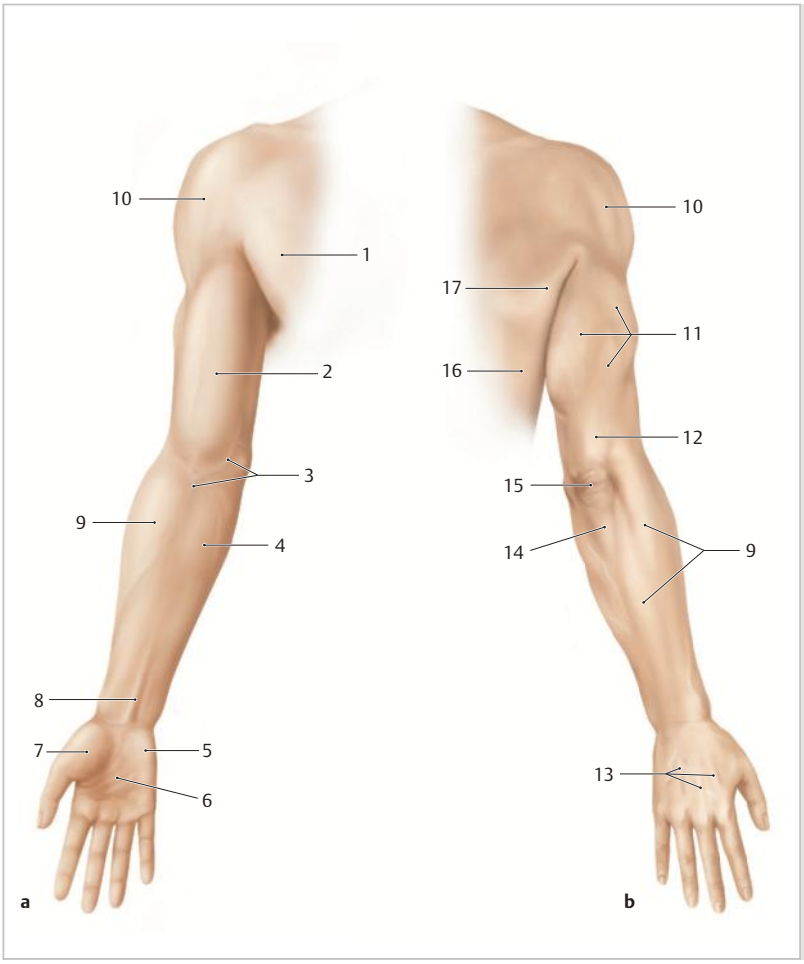


Abb. 11.1 Oberflächenrelief des rechten Arms von ventral (**a**) und dorsal (**b**).
1 M. pectoralis major
2 M. biceps brachii
3 epifasziale Venen
4 Unterarmflexoren
5 Hypothenar
6 Palma manus
7 Thenar
8 Sehne des M. palmaris longus
9 Unterarmextensoren
10 M. deltoideus
11 M. triceps brachii
12 Sehnenplatte des M. triceps brachii
13 Ansatzsehnen des M. extensor digitorum
14 Ulna
15 Olecranon
16 M. latissimus dorsi
17 M. teres major
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

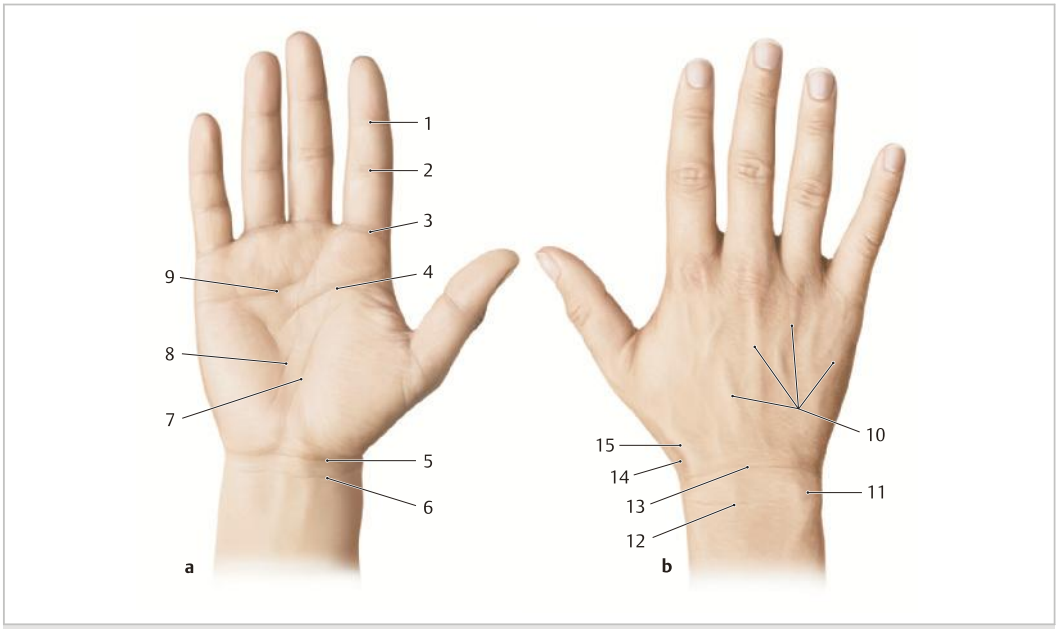


Abb. 11.2 Oberflächenrelief der rechten Hand von ventral (a) und dorsal (b).
1 Endgelenkbeugefurche
2 Mittelgelenkbeugefurche
3 Grundgelenkbeugefurche
4 proximale Hohlhandfurche
5 distale Handgelenkfurche
6 proximale Handgelenkfurche
7 Thenarfurche
8 Mittelfurche
9 distale Hohlhandfurche
10 Sehnen des M. extensor digitorum
11 Processus styloideus ulnae
12 proximale Stauchungsfurche
13 distale Stauchungsfurche
14 Fovea radialis
15 Sehne des M. extensor pollicis longus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Bei starker Ausprägung dieser Muskeln hat der Oberarm einen längsovalen Querschnitt, der medial stärker als lateral eine Einziehung zeigt (mediale und laterale Bizepsfurche).

In der **Ellenbeuge** zeigen sich ventral meist größere epifasziale Venen[3] und 2 Ellenbeugenfurchen. Dorsal bildet sich proximal die Sehnenplatte[12] des M. triceps brachii ab, die zum Olecranon[15] zieht. In gestreckter Armhaltung bildet sich eine ausgeprägte Hautfalte über dem Olecranon; seitlich davon kommt es zu deutlichen Gruben. Beides verstreicht bei Beugung.

In Supinationsstellung des **Unterarms** können die Extensoren laterodorsal, die Flexoren medioventral die Oberfläche neben weiteren epifaszialen Venensträngen prägen. Ventral kann man bei leichter Beugung des Handgelenks am distalen Unterarm die Sehne[8] des M. palmaris longus sehen. Dorsal tritt im proximalen Bereich die Ulna[14] an die Oberfläche.

2 Handgelenkfurchen (▶ **Abb. 11.2**[5,6]) leiten ventral zur **Hohlhand** über, die ulnar von der Hypothenarmuskulatur, radial vom Thenarballen eingefasst wird. Zahlreiche individuell ausgeprägte Furchen prägen das Hautrelief der Hohlhand. Dorsal bilden sich am Handgelenk eher diskrete Stauchungsfurchen[12,13]. Der **Handrücken** wird von großen Hautvenen und den Sehnen[10,15] der Fingerextensoren geformt. Radial am Daumen bildet sich – verstärkt bei Extension des Daumens – eine Grube (Fovea radialis, Tabatière[14]).

Die **Hohlhandfurchen** können bei Neugeborenen Hinweise auf genetische Erkrankungen geben. So kommt es bei Trisomie 21 häufig zu einer durchgehenden und tiefen Querfurche.

Die epifaszialen **Hautvenen** der oberen Extremität bilden ein variables Netz, das an Hand- und Fingerrücken sowie am Unterarm besonders dicht und bei wenig Unterhautfettgewebe deutlich durch die Haut erkennbar ist.

11.1.2 Tastbare Knochenpunkte (▶ Abb. 11.3)

Am **Schultergürtel** sind problemlos die Clavicula[17], das Acromion[16] und die Spina scapulae[18] tastbar. Der Processus coracoideus[15] ist besonders bei abduziertem Arm in der Fossa infraclavicularis palpabel.

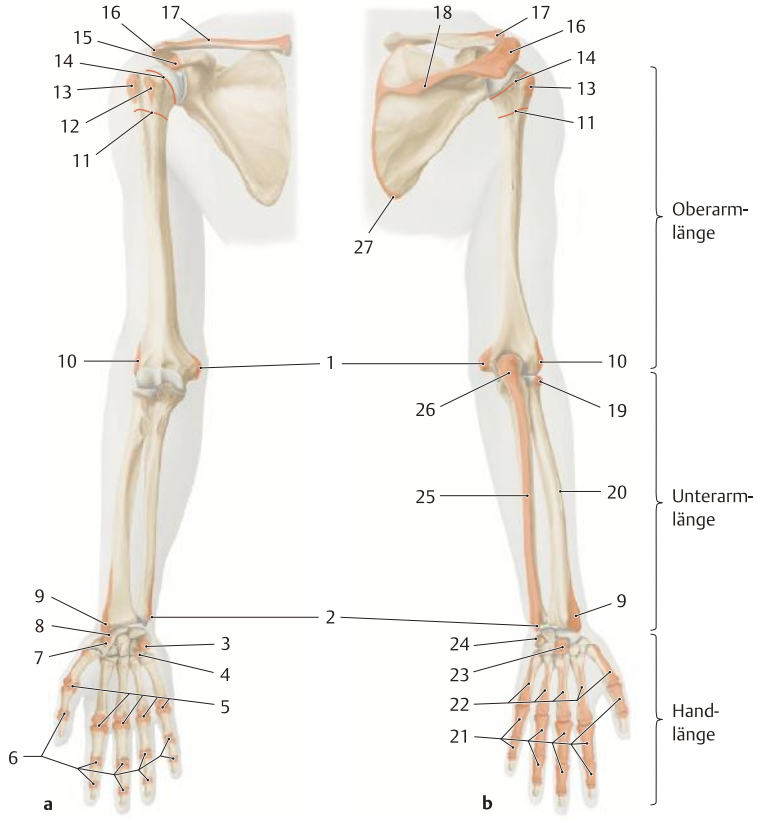


Abb. 11.3 Tastbare Knochenpunkte der oberen Extremität von ventral (**a**) und dorsal (**b**).

1 Epicondylus medialis
2 Processus styloideus ulnae
3 Os pisiforme
4 Hamulus ossis hamati
5 Articulationes metacarpophalageae
6 Articulationes interphalageae
7 Tuberculum ossis trapezii
8 Tuberculum ossis scaphoidei
9 Processus styloideus radii
10 Epicondylus lateralis
11 Collum chirurgicum
12 Tuberculum minus
13 Tuberculum majus
14 Collum anatomicum
15 Processus coracoideus
16 Acromion
17 Clavicula
18 Spina scapulae
19 Caput radii
20 Radius
21 Ossa digitorum
22 Ossa metacarpi
23 Os capitatum
24 Os triquetrum
25 Facies posterior der Ulna
26 Olecranon
27 Angulus inferior scapulae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Am **Oberarm** kann man proximal aufgrund der massiven Muskelüberdeckung Tuberculum majus[13] und minus[12] humeri nur unscharf tasten. Distal sind die beiden Epikondylen[1, 10] des Humerus leicht zu finden.

Am **Unterarm** liegt die Margo posterior ulnae vom Olecranon[26] aus direkt unter der Haut. Auf der radialen Seite ist das Radiusköpfchen[19] deutlich als Auftreibung des proximalen Radiusendes zu tasten. Distal sind die beiden Processi styloidei[2, 9] von Radius und Ulna zu finden.

Die **Handknochen** sind gewöhnlich alle tastbar. Besonders Os scaphoideum und Os lunatum sind von palmar leicht zu tasten. Das Os scaphoideum tritt bei Radialabduktion nach palmar hervor und ist dann deutlich als Erhebung sicht- und tastbar.

11.2 Knochen der oberen Extremität

11.2.1 Knochen des Schultergürtels

Die Knochen des Schultergürtels sind die **Scapula** (Schulterblatt) und die **Clavicula** (Schlüsselbein). Sie verbinden den Oberarm mit dem Rumpf. Die Scapula wird hauptsächlich von Muskelschlingen gehalten und gleitet auf der Thoraxrückseite auf dem M. subscapularis und einer lockeren Verschiebeschicht (subskapulare Gleitschicht). Nur über die Clavicula steht sie mit dem Rumpfskelett in direkter gelenkiger Verbindung.

Die **Scapula** (s. ▶ **Abb. 11.3**) besteht aus einer dünnen, dreieckigen Knochenplatte, die mit ihrer Facies costalis dem Brustkorb anliegt. Auf ihrer Dorsalfläche (Facies posterior) verläuft ein Knochenkamm (**Spina scapulae**[18]), der nach lateral leicht ansteigt und dessen laterales, breitbasig abgeflachtes Ende **Acromion**[16] genannt wird. Die Spina scapulae unterteilt die dorsale Knochenfläche in die **Fossa supraspinata** und **Fossa infraspinata**.

In seltenen Fällen verschmilzt der Knochenkern im Acromion nicht mit der Scapula und es entsteht ein eigenständiges **Os acromiale**.

In der Mitte des oberen Scapularandes gibt es eine Vertiefung (**Incisura scapulae**), die durch Bandverknöcherung auch zu einem Foramen scapulae verengt sein kann. Lateral der Incisura scapulae geht aus dem oberen Scapularand der hakenartig geformte, nach ventrolateral gerichtete **Processus coracoideus**[15] (Rabenschnabelfortsatz) hervor.

Der zur Wirbelkette gerichtete Rand (Margo medialis) der Scapula bildet mit der zur Seite weisenden Margo lateralis kaudal den Angulus inferior[27] und mit dem kranialen Rand (Margo superior) den Angulus superior. Am Angulus lateralis, der von Margo superior und Margo lateralis gebildet wird, befindet sich die kleine Gelenkpfanne des Schultergelenks (**Cavitas glenoidalis**).

Die beiden großen Fortsätze (Processus coracoideus und Acromion) überragen die Cavitas glenoidalis, die kranial und kaudal jeweils eine knöcherne Ausziehung an Rand aufweist (**Tuberculum supraglenoidale** und **infraglenoidale**).

Die einzelnen Knochenkerne der Scapula verschmelzen zwar zu einem einzigen Knochen, weisen aber untereinander noch Bandverbindungen auf. Dazu zählt das **Lig. coracoacromiale** zwischen Processus coracoideus und Acromion und das **Lig. transversum scapulae superius**, das über der Incisura scapulae liegt.

Die **Clavicula** ist ein leicht s-förmig gebogener Knochenstab von 12–15 cm Länge (▶ **Abb. 11.3**[17]). Sie bildet medial (Extremitas sternalis) eine Gelenkfläche mit dem Sternum (Facies articularis sternalis) und lateral (Extremitas acromialis) eine kleinere, nach dorsolateral weisende Gelenkfläche mit dem Akromion (Facies articularis acromialis). Der Corpus zeigt mediokaudal eine Rauigkeit (Impressio lig. costoclavicularis), die nach lateral in eine Rinne (Sulcus m. subclavii) übergeht und am Tuberculum conoideum endet. Während die medialen zwei Drittel der Clavicula nach dorsolateral verlaufen, zieht der abgeplattete laterale Anteil ab dem Tuberculum conoideum nach ventral.

Die Clavicula entsteht direkt aus Bindegewebe ohne knorpelige Anlage. Daher kann sie bei angeborenen Störungen fehlen (Dysostosis cleidocranialis).

Claviculafrakturen im mittleren Drittel gehören zu den häufigsten Knochenverletzungen.

Am **Oberarm** kann man proximal aufgrund der massiven Muskelüberdeckung Tuberculum majus[13] und minus[12] humeri nur unscharf tasten. Distal sind die beiden Epikondylen[1, 10] des Humerus leicht zu finden.

Am **Unterarm** liegt die Margo posterior ulnae vom Olecranon[26] aus direkt unter der Haut. Auf der radialen Seite ist das Radiusköpfchen[19] deutlich als Auftreibung des proximalen Radiusendes zu tasten. Distal sind die beiden Processi styloidei[2, 9] von Radius und Ulna zu finden.

Die **Handknochen** sind gewöhnlich alle tastbar. Besonders Os scaphoideum und Os lunatum sind von palmar leicht zu tasten. Das Os scaphoideum tritt bei Radialabduktion nach palmar hervor und ist dann deutlich als Erhebung sicht- und tastbar.

11.2 Knochen der oberen Extremität

11.2.1 Knochen des Schultergürtels

Die Knochen des Schultergürtels sind die **Scapula** (Schulterblatt) und die **Clavicula** (Schlüsselbein). Sie verbinden den Oberarm mit dem Rumpf. Die Scapula wird hauptsächlich von Muskelschlingen gehalten und gleitet auf der Thoraxrückseite auf dem M. subscapularis und einer lockeren Verschiebeschicht (subskapulare Gleitschicht). Nur über die Clavicula steht sie mit dem Rumpfskelett in direkter gelenkiger Verbindung.

Die **Scapula** (s. ▶ **Abb. 11.3**) besteht aus einer dünnen, dreieckigen Knochenplatte, die mit ihrer Facies costalis dem Brustkorb anliegt. Auf ihrer Dorsalfläche (Facies posterior) verläuft ein Knochenkamm (**Spina scapulae**[18]), der nach lateral leicht ansteigt und dessen laterales, breitbasig abgeflachtes Ende **Acromion**[16] genannt wird. Die Spina scapulae unterteilt die dorsale Knochenfläche in die **Fossa supraspinata** und **Fossa infraspinata**.

In seltenen Fällen verschmilzt der Knochenkern im Acromion nicht mit der Scapula und es entsteht ein eigenständiges **Os acromiale**.

In der Mitte des oberen Scapularandes gibt es eine Vertiefung (**Incisura scapulae**), die durch Bandverknöcherung auch zu einem Foramen scapulae verengt sein kann. Lateral der Incisura scapulae geht aus dem oberen Scapularand der hakenartig geformte, nach ventrolateral gerichtete **Processus coracoideus**[15] (Rabenschnabelfortsatz) hervor.

Der zur Wirbelkette gerichtete Rand (Margo medialis) der Scapula bildet mit der zur Seite weisenden Margo lateralis kaudal den Angulus inferior[27] und mit dem kranialen Rand (Margo superior) den Angulus superior. Am Angulus lateralis, der von Margo superior und Margo lateralis gebildet wird, befindet sich die kleine Gelenkpfanne des Schultergelenks (**Cavitas glenoidalis**).

Die beiden großen Fortsätze (Processus coracoideus und Acromion) überragen die Cavitas glenoidalis, die kranial und kaudal jeweils eine knöcherne Ausziehung an Rand aufweist (**Tuberculum supraglenoidale** und **infraglenoidale**).

Die einzelnen Knochenkerne der Scapula verschmelzen zwar zu einem einzigen Knochen, weisen aber untereinander noch Bandverbindungen auf. Dazu zählt das **Lig. coracoacromiale** zwischen Processus coracoideus und Acromion und das **Lig. transversum scapulae superius**, das über der Incisura scapulae liegt.

Die **Clavicula** ist ein leicht s-förmig gebogener Knochenstab von 12–15 cm Länge (▶ **Abb. 11.3**[17]). Sie bildet medial (Extremitas sternalis) eine Gelenkfläche mit dem Sternum (Facies articularis sternalis) und lateral (Extremitas acromialis) eine kleinere, nach dorsolateral weisende Gelenkfläche mit dem Akromion (Facies articularis acromialis). Der Corpus zeigt mediokaudal eine Rauigkeit (Impressio lig. costoclavicularis), die nach lateral in eine Rinne (Sulcus m. subclavii) übergeht und am Tuberculum conoideum endet. Während die medialen zwei Drittel der Clavicula nach dorsolateral verlaufen, zieht der abgeplattete laterale Anteil ab dem Tuberculum conoideum nach ventral.

Die Clavicula entsteht direkt aus Bindegewebe ohne knorpelige Anlage. Daher kann sie bei angeborenen Störungen fehlen (Dysostosis cleidocranialis).

Claviculafrakturen im mittleren Drittel gehören zu den häufigsten Knochenverletzungen.

11.2.2 Oberarmknochen

Der **Humerus** gliedert sich in einen Schaft (Diaphyse) sowie proximal und distal gelegene Epiphysen, an denen sich die Gelenkflächen befinden.

Humeruskopf und -hals (s. ▶ **Abb. 11.3**). Der proximal gelegene, große, halbkugelig von Knorpel überzogene Humeruskopf (**Caput humeri**) ist nach mediokranial gerichtet und bildet mit der Schaftachse einen Winkel von etwa 130°. Das kräftige **Tuberculum majus**[13] zeigt nach lateral. Nach ventral springt das **Tuberculum minus**[12] vor. Von den beiden Tubercula zieht jeweils eine Knochenleiste (Crista) nach distal auf das Corpus humeri. Zwischen den Tubercula bildet sich eine Rinne (Sulcus intertubercularis).

Die ringförmige Einschnürung des proximalen Humerusendes zwischen dem Kopf und den Tubercula (**Collum anatomicum**[14]) fällt schräg nach medial ab. Das **Collum chirurgicum**[11], eine leichte Einschnürung distal der Tubercula, liegt dagegen in einer waagrechten Ebene.

Das **Collum chirurgicum** ist eine Schwachstelle des proximalen Humerus, an der bevorzugt Frakturen auftreten.

Beim Fetus ist der Humeruskopf gegenüber der Bewegungsachse des Ellenbogengelenks nahezu rechtwinklig verdreht. Diese Torsion wird im Laufe der Entwicklung geringer und beträgt beim Erwachsenen schließlich noch etwa 16°. Diese Verkleinerung des Winkels ist funktionell wichtig, damit der Verkehrsraum der Hände im Blickfeld bleibt und die Arme nicht durch die Dorsalverlagerung der Scapula während des Wachstums zu weit nach lateral verschoben werden.

Humerusschaft. Der Humerusschaft ist dreikantig (**Corpus humeri** mit Facies anteromedialis, Facies anterolateralis und Facies posterior). In der Mitte des Humerusschafts befindet sich der **Sulcus n. radialis**, der sich von der Facies posterior um die Margo lateralis zur Facies anterolateralis schraubt. Knochennah und daher bei Frakturen gefährdet verläuft in dieser Rinne der N. radialis zusammen mit A. und V. profunda brachii.

Distaler Humerus (s. ▶ **Abb. 11.3**). Distal verbreitert sich der Humerus. Die Margo medialis läuft in den vorspringenden **Epicondylus medialis**[1], die Margo lateralis inden **Epicondylus lateralis**[10] aus. Auf der Dorsalfläche des Epicondylus medialis findet sich der **Sulcus n. ulnaris**, lateral davon der nach distal ragende **Condylus humeri**, welcher medial die **Trochlea humeri** und lateral das **Capitulum humeri** als knorpelüberzogene Gelenkfläche aufweist. Ventral bilden sich proximal der Trochlea die **Fossa coronoidea** und proximal des Capitulums die **Fossa radialis**, dorsal findet man proximal der Trochlea die **Fossa olecrani**.

Die Epicondylen des Humerus bilden mit dem Olecranon bei 90° Beugung im Ellenbogengelenk ein gleichschenkliges Dreieck (**Hueter-Dreieck**, ▶ **Abb. 11.4**), das tastbar und im Röntgenbild erkennbar ist. Es ist von besonderer diagnostischer Bedeutung, da es bei ellenbogennahen Frakturen unregelmäßig werden kann.

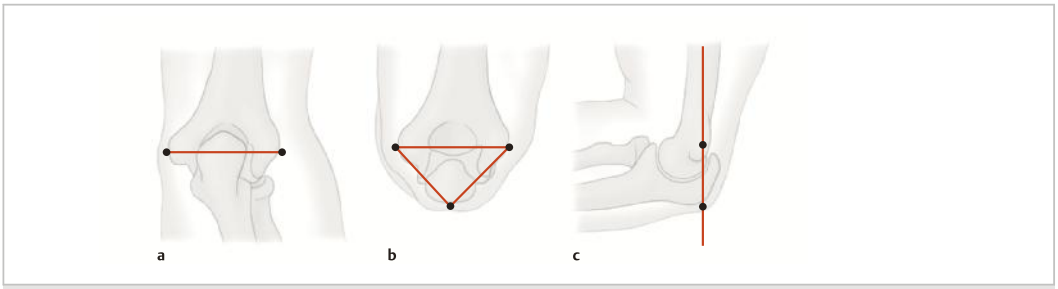


Abb. 11.4 Lagebeziehungen der Epikondylen des Humerus zum Olecranon. a Streckstellung des Unterarms, Ansicht von dorsal **b** rechtwinklige Beugung des Unterarms, Ansicht von dorsal (Hueter-Dreieck) **c** rechtwinklige Beugung des Unterarms, Ansicht von medial. (nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

11.2.3 Knochen des Unterarms

Die **Ulna** (Elle) und der **Radius** (Speiche) bilden den knöchernen Unterarm. Ihre Beweglichkeit beeinflusst den Aktionsraum der Hand wesentlich.

Die **Ulna** (s. ▶ **Abb. 11.3**[25]) ist proximal kräftig ausgebildet und umgreift zangenartig die Trochlea humeri. Der dorsale Ulnafortsatz (**Olecranon**[26]) ist auf der Innenseite überknorpelt und zeigt einen längsgerichteten Wulst (**Incisura trochlearis**), der nach ventral in den kleinen **Processus coronoideus** übergeht. Lateral schließt sich die ebenfalls überknorpelte **Incisura radialis ulnae** an, distal des Processus coronoideus liegt die **Tuberositas ulnae**.

Der dreikantige Ulnaschaft (**Corpus ulnae** mit Facies anterior, Facies medialis und Facies posterior) zeigt besonders dorsal (Margo posterior) und nach lateral (Margo interosseus) eine scharfe knöcherne Kante.

Distal läuft die Ulna in das schlanke **Caput ulnae** aus, das ventral eine knorpelige Gelenkfläche trägt und dorsal eine knöcherne Ausziehung hat (**Processus styloideus ulnae**).

Der **Radius** (s. ▶ **Abb. 11.3**[20]) bildet proximal das relativ kleine **Caput radii**[19] (Radiusköpfchen), dessen nach proximal zeigende Grube (Fovea articularis radii) und Außenfläche (Circumferentia articularis) knorpelig überzogen sind. An das Caput radii schließt sich nach distal das **Collum radii** an, welches im Bereich der **Tuberositas radii** in den kräftigen, dreikantigen **Corpus radii** übergeht (Facies anterior, Facies posterior und Facies lateralis mit Margo interosseus, Margo anterior und Margo posterior).

Das breite distale Radiusende trägt die überknorpelte Facies articularis carpalis, medial eine kleine Incisura ulnaris radii und lateral eine knöcherne Ausziehung (**Processus styloideus radii**[9]).

Das **Röntgenbild der distalen Epiphysenfugen** von Radius und Ulna wird häufig zur Beurteilung von Wachstumsstörungen (Rachitis) oder Bleivergiftungen herangezogen.

Die **distale Radiusfraktur** – verursacht durch einen Sturz auf die Hand – ist die häufigste Fraktur überhaupt. Häufig ist dabei zusätzlich der Processus styloideus radii gebrochen.

11.2.4 Knochen der Hand (▶ Abb. 11.5)

An der Hand unterscheidet man 3 Abschnitte: Handwurzel (**Carpus**), Mittelhand (**Metacarpus**) und Finger (**Digiti manus**). Die Hohlhand (**Palma manus**) bildet sich durch ein Quergewölbe.

Die **Handwurzelknochen** (Ossa carpi) sind in 2 Reihen angeordnet. Die **proximale Reihe** besteht aus 3 Knochen:

- radial das **Os scaphoideum**[12] (Kahnbein),
- in der Mitte das **Os lunatum**[15] (Mondbein),
- ulnar das **Os triquetrum**[16] (Dreiecksbein), auf das sich palmoulnar das **Os pisiforme**[17] (Erbsenbein) legt, das als Sesambein in der Sehne des M. flexor carpi ulnaris liegt.

Die **distale Reihe** besteht aus 4 Einzelknochen; von radial nach ulnar sind dies:

- das große **Os trapezium**[7] („trapezförmiger Knochen“, Vielecksbein) mit einem nach palmar zeigenden Knochenvorsprung (Tuberculum ossis trapezii[8]),
- das kleine **Os trapezoideum**[6] („trapezähnlicher Knochen“, Vielecksbein),
- das **Os capitatum**[9] (Kopfbein),
- das **Os hamatum**[18] (Hakenbein), das ebenfalls eine knöcherne Ausziehung nach palmar aufweist (Hamulus ossis hamati[19]).

Die häufigste Fraktur der Handwurzelknochen betrifft das Os scaphoideum (60–70 %). Typische Komplikation der **Scaphoidfraktur** ist eine Pseudarthrose. Gründe dafür sind ein zu später Behandlungsbeginn oder eine nicht ausreichend konsequente Ruhigstellung. Da das Os scaphoideum nur von distal mit Blut versorgt wird, kann es außerdem zu einer avaskulären Nekrose des proximalen Fragments kommen.

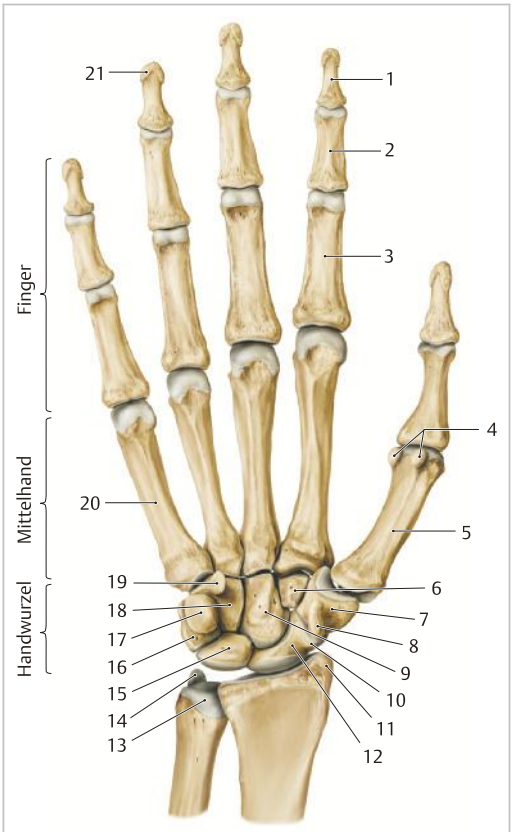


Abb. 11.5 Knochen der rechten Hand von palmar.
1 Phalanx distalis II
2 Phalanx media II
3 Phalanx proximalis II
4 Ossa sesamoidea
5 Os metacarpi I
6 Os trapezoideum
7 Os trapezium
8 Tuberculum ossis trapezii
9 Os capitatum
10 Tuberculum ossis scaphoidei
11 Processus styloideus
12 Os scaphoideum
13 Caput ulnae
14 Processus styloideus ulnae
15 Os lunatum
16 Os triquetrum
17 Os pisiforme
18 Os hamatum
19 Hamulus ossis hamati
20 Os metacarpi V
21 Tuberositas phalangis distalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)



Abb. 11.6 Röntgenbild der Handwurzelknochen. (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Handwurzelknochen liegen nicht plan in einer Ebene. Das Os trapezium ist um etwa 70° gegen die Palmarfläche abgewinkelt. Palmar entsteht so eine Längsrinne (**Sulcus carpi**). Die Dorsalfläche des Carpus ist konvex gekrümmt.

Dem **Röntgenbild der Handwurzelknochen** (▶ **Abb. 11.6**) kommt eine vielfältige diagnostische Bedeutung zu. Aus dem zeitlichen Auftreten der Knochenkerne lassen sich Schlüsse auf den altersgerechten Ablauf der Skelettentwicklung ziehen und Prognosen über das Körperwachstum ableiten.

Die 5 **Mittelhandknochen** (**Ossa metacarpi**) haben jeweils proximal eine Basis, dann ein Corpus und distal ein Caput. Wie die Handwurzel, so ist auch der Metacarpus quergewölbt und proximal schmaler als distal. Das Os metacarpi I ist der kürzeste und kräftigste, das Os metacarpi II der längste Mittelhandknochen.

Der 2.–5. **Finger** besteht aus je 3 Knochen (**Phalanx proximalis**, **Phalanx media** und **Phalanx distalis**), während der Daumen nur 2 Phalangen besitzt (**Phalanx proximalis** und **Phalanx distalis**).

Jeder dieser Knochen hat proximal eine Basis, dann einen Corpus und distal ein Caput. Das Caput wird bei den Endphalangen als Tuberositas phalangis distalis[21] bezeichnet.

11.3 Gelenke und Muskeln

11.3.1 Schultergürtel

Die knöcherne Verbindung zwischen Scapula und Achsenskelett wird über die Clavicula hergestellt. Lateral verbindet die **Articulatio acromioclavicularis** (laterales Claviculagelenk oder Schultereckgelenk) die Scapula mit der Clavicula, welche medial über die **Articulatio sternoclavicularis** (mediales Claviculagelenk) mit dem Sternum verbunden ist. Durch diese Anordung ist die Scapula sehr beweglich. Mit dem knöchernen Thorax ist sie nur über eine lockere Verschiebeschicht (**subskapulare Gleitschicht**) und Muskelschlingen verbunden, sodass ein großer Bewegungsradius des Arms entsteht, der den des eigentlichen Schultergelenks stark erweitert.

Aufbau des Sterno- und des Akromioklavikulargelenks

Die Scapula steht mit dem Achsenskelett nur über die Clavicula in direkter Verbindung. Hierzu bildet die Clavicula einerseits ein Gelenk mit der Scapula (Articulatio acromioclavicularis), andererseits mit dem Sternum (Articulatio sternoclavicularis).

Die **Articulatio acromioclavicularis** (laterales Claviculagelenk), auch als Schultereckgelenk oder AC-Gelenk bezeichnet, verbindet das distale Claviculaende mit dem Acromion. Die obere Kapselwand wird durch das **Lig. acromioclaviculare** (▶ **Abb. 11.9**[22]) verstärkt. Ein Band vom Processus coracoideus (**Lig. coracoclaviculare**[2]) stabilisiert die Position der Clavicula und entlastet das Gelenk. Es besteht aus 2 Anteilen: dem ventrolateralen Lig. trapezoideum und dem mediodorsalen Lig. conoideum.

Bei einem Riss der lateralen Claviculabänder entsteht das **Klaviertastenphänomen**: Das laterale Claviculaende steht dabei sicht- und tastbar nach oben ab und kann wie eine Klaviertaste federnd nach unten gedrückt werden.

Die **Articulatio sternoclavicularis** (mediales Claviculagelenk) verbindet die Clavicula mit dem Sternum. Das Gelenk ist von Faserknorpel überzogen. Die Gelenkhöhle wird von einem Discus articularis in 2 Kammern geteilt. Die schlaffe Gelenkkapsel wird ventral und dorsal durch das **Lig. sternoclaviculare anterius** und **posterius** verstärkt. Linke und rechte Clavicula sind über das **Lig. interclaviculare** verbunden, das zusätzlich am oberen Sternalrand fixiert ist. Nach lateral setzen sich die unmittelbaren Gelenkbänder in das **Lig. costoclaviculare** fort.

Muskuläre Stabilisierung. Die wenigen und kleinen Gelenke können den Schultergürtel kaum passiv stabilisieren. Er ist daher überwiegend auf eine muskuläre Stabilisierung angewiesen. Dieser Vorteil für die Beweglichkeit wird mit einer höheren Neigung zu Dysfunktion (Muskelverspannungen) bei Fehlhaltungen erkauft.

Mechanik des Sterno- und des Akromioklavikulargelenks

Der Schultergürtel ermöglicht über die Bewegungen der Scapula und damit der Gelenkpfanne des Schultergelenks den enormen Bewegungsradius des Armes. Die Scapula ist an allen Armbewegungen beteiligt. Sie kann einerseits auf dem Thorax in vertikaler und horizontaler Richtung „rutschen“ und andererseits rotieren. Der Drehpunkt der Rotationsbewegungen der Scapula ist das laterale Claviculagelenk. Allerdings ist auch dieser Punkt wiederum sehr beweglich, da er über die Clavicula nur indirekt und gelenkig mit dem Achsenskelett verbunden ist.

Der Bewegungsumfang des Schultergürtels hängt im Wesentlichen von der Beweglichkeit des Sternoclaviculargelenks ab:

- Von der Neutralstellung ausgehend kann die Schulter um etwa 40° gehoben undum 10° gesenkt werden. Gehemmt wird die Abwärtsbewegung durch die 1. Rippe.

Jeder dieser Knochen hat proximal eine Basis, dann einen Corpus und distal ein Caput. Das Caput wird bei den Endphalangen als Tuberositas phalangis distalis[21] bezeichnet.

11.3 Gelenke und Muskeln

11.3.1 Schultergürtel

Die knöcherne Verbindung zwischen Scapula und Achsenskelett wird über die Clavicula hergestellt. Lateral verbindet die **Articulatio acromioclavicularis** (laterales Claviculagelenk oder Schultereckgelenk) die Scapula mit der Clavicula, welche medial über die **Articulatio sternoclavicularis** (mediales Claviculagelenk) mit dem Sternum verbunden ist. Durch diese Anordung ist die Scapula sehr beweglich. Mit dem knöchernen Thorax ist sie nur über eine lockere Verschiebeschicht (**subskapulare Gleitschicht**) und Muskelschlingen verbunden, sodass ein großer Bewegungsradius des Arms entsteht, der den des eigentlichen Schultergelenks stark erweitert.

Aufbau des Sterno- und des Akromioklavikulargelenks

Die Scapula steht mit dem Achsenskelett nur über die Clavicula in direkter Verbindung. Hierzu bildet die Clavicula einerseits ein Gelenk mit der Scapula (Articulatio acromioclavicularis), andererseits mit dem Sternum (Articulatio sternoclavicularis).

Die **Articulatio acromioclavicularis** (laterales Claviculagelenk), auch als Schultereckgelenk oder AC-Gelenk bezeichnet, verbindet das distale Claviculaende mit dem Acromion. Die obere Kapselwand wird durch das **Lig. acromioclaviculare** (▶ **Abb. 11.9**[22]) verstärkt. Ein Band vom Processus coracoideus (**Lig. coracoclaviculare**[2]) stabilisiert die Position der Clavicula und entlastet das Gelenk. Es besteht aus 2 Anteilen: dem ventrolateralen Lig. trapezoideum und dem mediodorsalen Lig. conoideum.

Bei einem Riss der lateralen Claviculabänder entsteht das **Klaviertastenphänomen**: Das laterale Claviculaende steht dabei sicht- und tastbar nach oben ab und kann wie eine Klaviertaste federnd nach unten gedrückt werden.

Die **Articulatio sternoclavicularis** (mediales Claviculagelenk) verbindet die Clavicula mit dem Sternum. Das Gelenk ist von Faserknorpel überzogen. Die Gelenkhöhle wird von einem Discus articularis in 2 Kammern geteilt. Die schlaffe Gelenkkapsel wird ventral und dorsal durch das **Lig. sternoclaviculare anterius** und **posterius** verstärkt. Linke und rechte Clavicula sind über das **Lig. interclaviculare** verbunden, das zusätzlich am oberen Sternalrand fixiert ist. Nach lateral setzen sich die unmittelbaren Gelenkbänder in das **Lig. costoclaviculare** fort.

Muskuläre Stabilisierung. Die wenigen und kleinen Gelenke können den Schultergürtel kaum passiv stabilisieren. Er ist daher überwiegend auf eine muskuläre Stabilisierung angewiesen. Dieser Vorteil für die Beweglichkeit wird mit einer höheren Neigung zu Dysfunktion (Muskelverspannungen) bei Fehlhaltungen erkauft.

Mechanik des Sterno- und des Akromioklavikulargelenks

Der Schultergürtel ermöglicht über die Bewegungen der Scapula und damit der Gelenkpfanne des Schultergelenks den enormen Bewegungsradius des Armes. Die Scapula ist an allen Armbewegungen beteiligt. Sie kann einerseits auf dem Thorax in vertikaler und horizontaler Richtung „rutschen“ und andererseits rotieren. Der Drehpunkt der Rotationsbewegungen der Scapula ist das laterale Claviculagelenk. Allerdings ist auch dieser Punkt wiederum sehr beweglich, da er über die Clavicula nur indirekt und gelenkig mit dem Achsenskelett verbunden ist.

Der Bewegungsumfang des Schultergürtels hängt im Wesentlichen von der Beweglichkeit des Sternoclaviculargelenks ab:

- Von der Neutralstellung ausgehend kann die Schulter um etwa 40° gehoben undum 10° gesenkt werden. Gehemmt wird die Abwärtsbewegung durch die 1. Rippe.

- Nach ventral lässt sich die Schulter um 25–30°, nach dorsal um 20–25° auslenken.
- Zusätzlich erlaubt das Sternoklavikulargelenk eine Rotationsbewegung von bis zu 45° um die Längsachse der Clavicula.

Die Bänder der Clavicula sind besonders auf Zugbelastungen nach unten ausgerichtet, denn durch die Aufrichtung des Menschen entfällt eine kontinuierliche Druckbelastung und damit auch der entsprechende Bandapparat.

Muskulatur des Schultergürtels (▶ Abb. 11.7)

Die Muskulatur des Schultergürtels lässt sich in mehrere dorsale und 2 ventrale Muskeln einteilen.

Der zur **dorsalen Gruppe** (▶ **Abb. 11.17a**) zählende **M. levator scapulae**[4] zieht von den hinteren Seitenfortsätzen der ersten 4 Halswirbel (C 1–4) zum Angulus superior scapulae.

Der in einem etwas flacheren Winkel kaudal davon liegende **M. rhomboideus**[3] wird von einem Ast des R. profundus der A. transversa cervicis in einen größeren kaudalen (M. rhomboideus major) und einen kleinen kranialen (M. rhomboideus minor) Anteil geteilt. Beide Teile haben die gleiche In-

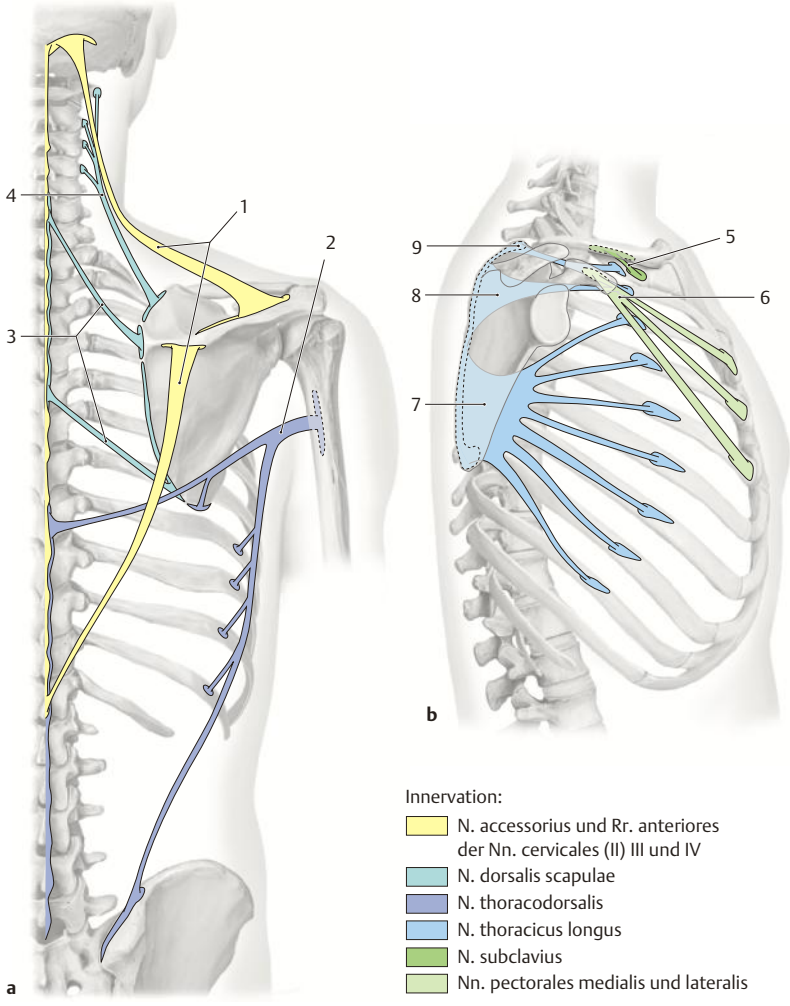


Abb. 11.7 Muskulatur des Schultergürtels.
a Dorsale Muskeln und M. latissimus dorsi.
b M. serratus anterior und ventrale Muskeln des Schultergürtels.
1 M. trapezius
2 M. latissimus dorsi
3 M. rhomboideus major und minor
4 M. levator scapulae
5 M. subclavius
6 M. pectoralis minor
7 M. serratus anterior, Pars inferior
8 M. serratus anterior, Pars media
9 M. serratus anterior, Pars superior
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

nervation (N. dorsalis scapulae) und Funktion. Der **M. rhomboideus minor** entspringt von den 2 unteren Halswirbeln (C 6, C 7) und setzt direkt neben dem M. levator scapulae an der Margo medialis scapulae, kranial der Spina scapulae an. Der **M. rhomboideus major** schließt sich direkt kaudal an den M. rhomboideus minor an und zieht von den oberen Brustwirbeln (Th 1–4) großflächig zur Margo medialis scapulae (von der Höhe der Spina scapulae bis zum Angulus inferior).

Der ebenfalls der dorsalen Gruppe zugeordnete **M. serratus anterior**[7–9] lässt sich in 3 Abschnitte unterteilen, die von den Rippen zum medioventralen Rand der Scapula ziehen:

- Pars superior[9]: entspringt von den ersten beiden Rippen und setzt am Angulus superior an.
- Pars media[8]: entspringt von der 2.–4. Rippe und verläuft zur Margo medialis.
- Pars inferior[7]: zieht von der 5.–9. Rippe zum Angulus inferior scapulae.

Bei Ausfall des N. thoracicus longus (M. serratus anterior) steht der mediale Scapularand vom Thorax ab (**Scapula alata**).

Am weitesten oberflächlich liegt der **M. trapezius**[1], der vom Os occipitale und vonden Dornfortsätzen ausstrahlt. Der obere Teil (**Pars descendens**) zieht zur Clavicula, der mittlere Teil (**Pars transversa**) zum Acromion und der untere Teil (**Pars ascendens**) zu beiden Seiten der Spina scapulae.

Bei einem **Funktionsausfall des M. trapezius** (Ausfall von N. accessorius und der oberen Spinalnerven) steht die Schulter auf der betroffenen Seite tiefer. Die Nacken-Schulter-Linie ist abgeknickt, die Cavitas glenoidalis zeigt nach vorne unten. Die Abduktion des Arms ist stark eingeschränkt.

Der **ventralen Gruppe** (▶ **Abb. 11.17b**) gehört der **M. pectoralis minor**[6] an. Er zieht von der 2.–5. Rippe (etwa auf Höhe des knorpelig-knöchernen Übergangs) von ventrokaudal an den Processus coracoideus.

Eine untergeordnete Rolle spielt der ebenfalls ventral gelegene **M. subclavius**[5], der sich kranial an den M. pectoralis minor anschließt und das Sternoklavikulargelenk stabilisiert, indem er die Clavicula in das Sternoklavikulargelenk drückt.

Tab. 11.1 Bewegungen der Scapula durch die Muskulatur des Schultergürtels.

	Verschiebung nach lateral	Verschiebung nach medial	Verschiebung nach kaudal	Verschiebung nach kranial	Rotation nach kaudal*	Rotation nach kranial*
dorsale Muskelguppe des Schultergürtels						
• M. trapezius, Pars ascendens			++			+
• M. trapezius, Pars transversa		++				
• M. trapezius, Pars descendens				+		+
• M. levator scapulae				++	+	
• M. rhomboideus		++			++	
• M. serratus anterior, Pars superior	++					
• M. serratus anterior, Pars intermedia	++					
• M. serratus anterior, Pars inferior			+			++
ventrale Muskelguppe des Schultergürtels						
• M. subclavius **						
• M. pectoralis minor			+		+	

* Die Rotationsrichtung bezieht sich jeweils auf den Angulus lateralis mit der Gelenkpfanne des Schultergelenks
** Der M. subclavius hat keinen Einfluss auf die Scapulabewegungen. Er stabilisiert die Clavicula im Sternoklavikulargelenk

Die **Gleitbewegungen der Scapula auf dem Thorax** (▶ **Abb. 11.8**) ermöglichen erstden großen Bewegungsumfang des Arms. Sie werden von 4 gegensätzlich wirkenden Anteilen der Schultergürtelmuskulatur vermittelt.

- vertikale Verschiebung (▶ **Abb. 11.8a**):
  - nach kranial: **Pars descendens des M. trapezius**
    nach kaudal: **M. pectoralis minor**
  - nach kranial: **M. levator scapulae**
    nach kaudal: **Pars ascendens des M. trapezius**
- horizontale Verschiebung (▶ **Abb. 11.8b**):
  - nach lateral: **Pars superior und intermedia des M. serratus anterior**
    nach medial: **Pars transversa des M. trapezius**
- Rotation des Angulus inferior scapulae (▶ **Abb. 11.8c**):
  - nach medial: **M. rhomboideus**
    nach lateral: **Pars inferior des M. serratus anterior**

Außer der motorischen haben alle beteiligten Muskeln auch eine stabilisierende Funktion.

Neben der Gleitbewegung kann die Scapula auch als **Flügelbewegung** medial vom Thorax abgehoben werden (**Scapula alata**). Klinisch auffällig wird sie bei Ausfall des M. serratus anterior (N. thoracicus longus), des M. trapezius (N. accessorius) oder des M. rhomboideus (N. dorsalis scapulae).

11.3.2 Schultergelenk

Scapula und Humerus sind verbunden über die **Articulatio humeri** (Schultergelenk), ein Kugelgelenk mit 3 Freiheitsgraden. Eine schlaffe Gelenkkapsel und ein inkomplettes Bandsystem schaffen einen großen Bewegungsradius. Das Gelenk wird zusätzlich von einer Muskelhülle (**Rotatorenmanschette**) stabilisiert.

Aufbau des Schultergelenks

Das Schultergelenk (**Articulatio humeri**) ist die Verbindung zwischen Scapula und Humerus. Die **Gelenkpfanne** der Scapula (**Cavitas glenoidalis**) ist flach und klein. Sie hat nur ein Drittel der Fläche des halbkugeligen **Gelenkkopfs** des Humerus. Vergrößert wird die Pfanne durch eine etwa 5 mm breite, faserknorpelige Pfannenlippe (**Labrum glenoidale**), in die oben die lange Bizepssehne und unten die lange Trizepssehne einstrahlt.

Die **Gelenkkapsel** ist aufgrund des großen Bewegungsumfangs des Schultergelenks weit und schlaff und legt sich in Falten. Sie zieht vom Labrum glenoidale bis zum Collum anatomicum des Humerus und umschließt die lange Bizepssehne, die somit intraartikulär verläuft.

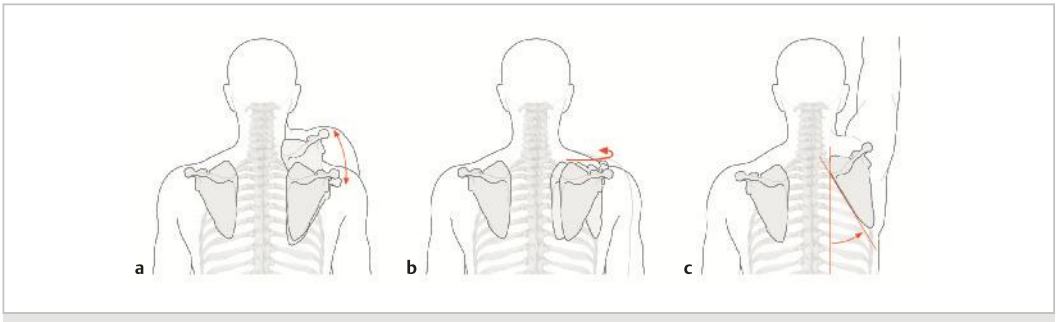


Abb. 11.8 Gleitbewegungen der Scapula auf dem Thorax. Über die mechanisch gekoppelten Claviculagelenke wird die Scapula bei allen Bewegungen der Clavicula mitgenommen. Hierbei gleitet die Scapula auf dem Thorax. Bewegung und Fixierung werden durch Muskelschlingen vermittelt. **a** Heben und Senken (Elevation und Depression): Verschiebung der Scapula in der Vertikalen. **b** Vor- und Rückführen (Protraktion und Retraktion): Verschiebung der Scapula in der Horizontalen. **c** Schwenken des Angulus inferior bei Abduktion bzw. Elevation des Arms: Rotation der Scapula um eine dorsoventrale Achse durch die Mitte der Scapula. Bei der maximalen Rotation um 60° wandert der Angulus inferior etwa 10 cm nach lateral, der Angulus superior 2–3 cm nach medial und kaudal. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Bei einer längeren **Ruhigstellung des Schultergelenks** (z. B. Frakturen und Entzündungen) schrumpft die untere Kapselfalte bereits innerhalb einer Woche mit gravierendem Funktionsverlust. Ist eine Ruhigstellung über mehr als einige Tage unumgänglich, muss diese daher in Abduktionsstellung vorgenommen werden.

Verstärkt wird die Gelenkkapsel von folgenden **Bändern** (▶ **Abb. 11.9**):

- oben vom **Lig. coracohumerale**[14], das überwiegend zum Tuberculum majus zieht (der laterale Rand reicht bis an das Tuberculum minus) und dem **Lig. glenohumerale superius**, das zum Tuberculum minus zieht.
- ventral vom **Lig. glenohumerale medium**[13], das zum Tuberculum minus zieht.
- unten zwischen der Sehne des M. subscapularis und der langen Trizepssehne vom **Lig. glenohumerale inferius**.
- Dorsal hat die Schultergelenkkapsel keine Verstärkung durch Bänder.

Die glenohumeralen Bänder strahlen vom Labrum glenoidale aus und sind nur an der Innenfläche der Kapsel zu erkennen.

Muskuläre Stabilisierung. Um seine Stabilität trotz der nur kleinen Gelenkfläche zu gewährleisten, wird das Schultergelenk von zahlreichen Muskeln umgeben, der Rotatorenmanschette (S. 178). Von den Sehnen dieser Muskeln strahlen Fasern in die Kapselwand ein und verhindern als Kapselspanner ein Einklemmen der Kapselfalten.

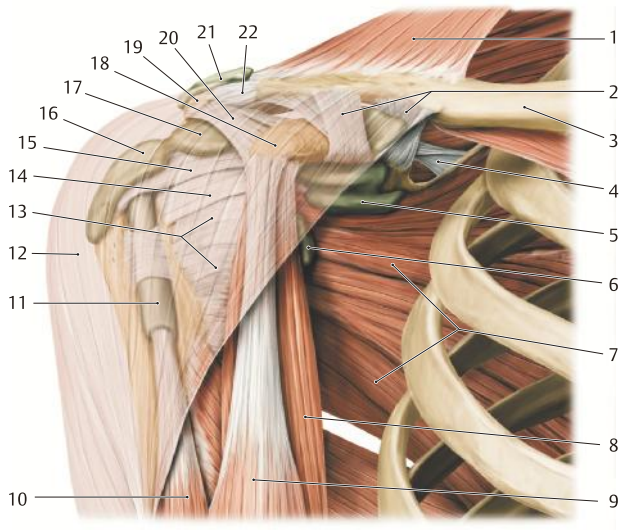


Abb. 11.9 Schleimbeutel am Schultergelenk.

1 M. trapezius
2 Lig. coracoclaviculare
3 Clavicula
4 Lig. transversum scapulae superius
5 Bursa subtendinea m. subscapularis
6 Bursa subcoracoidea
7 M. subscapularis
8 M. coracobrachialis
9 M. biceps brachii, Caput breve
10 M. biceps brachii, Caput longum
11 Sehnenscheide im Sulcus intertubercularis
12 M. deltoideus
13 Capsula articularis, Ligg. glenohumeralia
14 Lig. coracohumerale
15 Ansatzsehne des M. supraspinatus
16 Bursa subdeltoidea
17 Bursa subacromialis
18 Processus coracoideus
19 Acromion
20 Lig. coracoacromiale
21 Bursa subcutanea acromialis
22 Lig. acromioclaviculare
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Da das Schultergelenk eine nur geringe knöcherne Führung besitzt, ist es das am häufigsten von einer **Luxation** betroffene Gelenk. Meist luxiert der Humeruskopf nach vorne unten in die Fossa subscapularis (Luxatio subcoracoidea). Eine Luxation nach vorne oben wird begünstigt durch die Lücke in der Rotatorenmanschette an dieser Stelle.

Bei häufigem Auftreten einer Schulterluxation spricht man von **habitueller Luxation**, die meist Folge von Kapselrissen oder Abrissen des Labrum glenoidale ist.

Subacromialer Raum und **Schleimbeutel** (▶ **Abb. 11.9**). Das „Dach des Schultergelenks" (Fornix humeri) wird von Acromion[19], Processus coracoideus[18] und dem Lig. coracoacromiale[20] gebildet (subacromiales Nebengelenk). Bei einer Abduktion des Armes über 90° (Elevation) nähert sich das Tuberculum majus humeri diesem Dach an. Um einen direkten Kontakt zu verhindern, wird der Zwischenraum von 3 Schleimbeuteln abgepolstert:

- Bursa subacromialis[17]
- Bursa subdeltoidea[16]
- Bursa subcoracoidea[6]

Weitere Schleimbeutel am Schultergelenk sind:

- Bursa subtendinea m. subscapularis[5]
- Bursa subcutanea acromialis[21]

Die Bursa subacromialis und Bursa subdeltoidea stehen miteinander in Verbindung, sodass sich zwischen ihnen Entzündungen leicht ausbreiten können. Die Bursa subcoracoidea und die Bursa subtendinea m. subscapularis kommunizieren darüber hinaus mit der Gelenkhöhle.

Die Sehne[15] des M. supraspinatus zieht durch den subacromialen Raum. Im Alterober bei chronischer Überbeanspruchung zeigt sie häufig degenerative Veränderungen (zunächst Entzündung, später Verkalkung). Dies kann durch eine Einengung des subacromialen Raums zum **Impingementsyndrom** führen, bei dem das Heben des Arms zwischen 60 und 120° schmerzhaft ist („painful arc", ▶ **Abb. 11.10**).

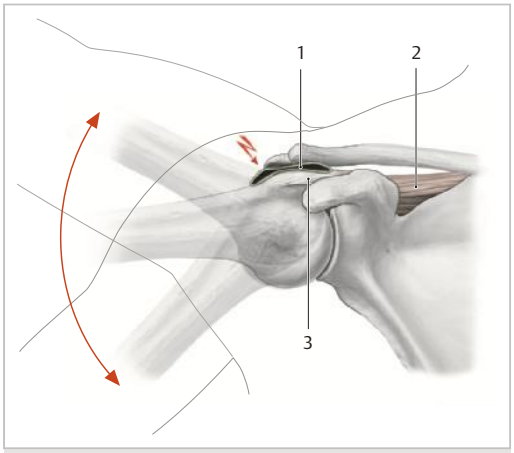


Abb. 11.10 Impingementsyndrom. Wenn durch degenerative Veränderungen der Supraspinatussehne oder des lateralen Claviculagelenks im subacromialen Raum eine Enge entsteht, ist die Abduktion des Arms zwischen 60 ° und 120° schmerzhaft („painful arc").
1 Bursa subacromialis
2 M. supraspinatus
3 Ansatzsehne des M. supraspinatus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Mechanik des Schultergelenks

Das Schultergelenk ist ein Kugelgelenk mit 3 Freiheitsgraden. Seine Beweglichkeit wird aus der Neutralstellung in die 3 Hauptebenen gemessen:

- **Transversalachse:** Die **Anteversion** des Arms ist im Schultergelenk nur bis 90° möglich, bei Drehung der Scapula und damit der Gelenkpfanne aber bis zu 170°. Die **Retroversion** wird von der dorsalen Rotatorenmanschette und dem ventralen Bandsystem auf 30–40° beschränkt.
- **Sagittalachse:** Die **Abduktion** im Schultergelenk wird vom Acromion begrenzt und beträgt 90°. Bei gleichzeitiger Drehung der Scapula kann der Arm bis zu 170° gehoben werden (**Elevation**). Eine vollständige Hebung des Oberarms senkrecht nach oben kann nur durch eine Mitbewegung der Wirbelkette vorgetäuscht werden. Die **Adduktion** wird vom Rumpf begrenzt und beträgt 30°, bei Einbeziehung des Schultergürtels 40°.
- **Längsachse:** Die **Innenrotation** beträgt 70°. Über eine Ausweichbewegung kannder Arm hinter den Rumpf gedreht werden, was einer Innenrotation von 100° entspricht. Die **Außenrotation**,

eingeschränkt durch die Ligg. glenoidohumeralia, beträgt 60°, erhöht sich jedoch durch die Scapulabewegung auf bis zu 90°.

Wird die Beweglichkeit des Schultergelenks bei 90° Abduktion bestimmt, ist die Anteversion bis 160° möglich, die Retroversion bis 50°, die Außenrotation bis 90°. Die Innenrotation bleibt dagegen bei 70°.

Die **Rotation im Schultergelenk** wird mit gebeugtem Ellenbogengelenk bestimmt; der Unterarm dient dabei als Messzeiger.

Muskulatur des Schultergelenks (▶ Abb. 11.11)

Die **oberflächliche Schicht** der Schultermuskulatur besteht aus einer ventralen und einer dorsalen Muskelgruppe. Bei den großen, flächigen Muskeln der oberflächlichen Schicht kann man jeweils mehrere Anteile unterscheiden.

Zur **ventralen Muskelgruppe** zählt der **M. pectoralis major**. Er bildet die vordere Achselfalte und breitet sich über die ventrale Brustwand aus. Er entspringt breit gefächert von Clavicula, Sternum, den oberen Rippenknorpeln und der anterioren Rektusscheide und setzt an der Crista tuberculi majoris im proximalen Humerusdrittel an.

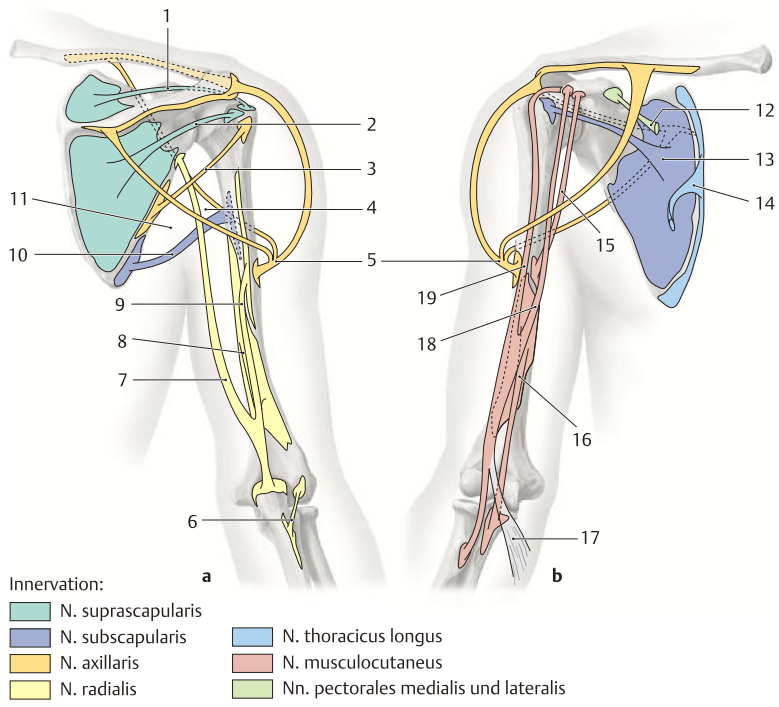


Abb. 11.11 Muskeln zur Bewegung des Schultergelenks. Ansicht von dorsal (**a**) und ventral (**b**).

1 M. supraspinatus
2 M. infraspinatus
3 M. teres minor
4 laterale Achsellücke
5 M. deltoideus
6 M. anconaeus
7 Caput longum des M. triceps brachii
8 Caput mediale des M. triceps brachii
9 Caput laterale des M. triceps brachii
10 M. teres major
11 mediale Achsellücke
12 M. pectoralis minor
13 M. subscapularis
14 M. serratus anterior
15 M. coracobrachialis
16 M. brachialis
17 Aponeurose des M. biceps brachii
18 Caput breve des M. biceps brachii
19 Caput longum des M. biceps brachii
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Aufgrund ihrer verschiedenen Ursprungsgebiete unterscheidet man 3 Anteile:
- Pars clavicularis
- Pars sternocostalis
- Pars abdominalis

Dabei setzen die Muskelfasern der Pars clavicularis distaler am Humerus an als diejenigen der Pars abdominalis. Dadurch überkreuzen sich die Faserzüge bei Ruhestellung des Arms, entfalten sich bei Anteversion des Arms und verlaufen erst bei erhobenem Arm parallel. Dies ist ein effektiver Schutzmechanismus gegen eine plötzliche Überdehnung, z. B. beim Übergang vom Stütz am Reck in eine am gestreckten Arm hängende Position.

Die Anteversion wird hauptsächlich von Pars sternocostalis und clavicularis ausgeführt, die Pars abdominalis unterstützt die Adduktion und Innenrotation. Der M. pectoralis spielt z. B. beim Brustschwimmen und bei allen Wurfdisziplinen eine große Rolle. Bei aufgestütztem Arm fungiert er als Atemhilfsmuskel, der die Rippen anhebt.

Der **M. coracobrachialis** (▶ **Abb. 11.11b**[15]) gehört ebenfalls zur ventralen Muskelgruppe und liegt ventral am Oberarm. Er entspringt vom Processus cocacoideus und inseriert etwa in der Mitte des Humerus. Da er den Humeruskopf in die Gelenkpfanne zieht, stabilisert er zusammen mit dem M. deltoideus das Schultergelenk bei einem Zug am Arm, z. B. beim Koffertragen. Außerdem unterstützt er Anteversion, Adduktion und Innenrotation.

Bei knapp 5 % der Europäer ist ein in Form und Ausdehnung variabler **M. sternalis** ausgebildet, der ein- oder beidseits des Sternalrandes auf der Fascia pectoralis liegt. Dieser Muskel ist ein Rudiment der Hautmuskulatur der Säugetiere. Innerviert wird er meist von Ästen der Nn. pectorales oder intercostales.

Bereits zur **dorsalen Muskelgruppe** (▶ **Abb. 11.11a**) zählt man den **M. deltoideus**[5]. Er bildet durch seine kappenförmige Anordnung einen oberflächlichen Muskelmantel um das Schultergelenk und ist an praktisch allen Bewegungen dieses Gelenks beteiligt. Außerdem bildet er die Schulterkontur. Er entspringt breit gefächert am distalen Drittel der Clavicula, am Acromion und an der Spina scapulae. Die dicken Muskelfaserbündel konvergieren gegen die auf der Innenfläche des Muskels gelegene Ansatzsehne, die sich an der Tuberositas deltoidea knapp proximal der Humerusmitte anheftet. Die 3 Anteile des M. deltoideus sind:
- Pars clavicularis
- Pars acromialis
- Pars spinalis

Die Muskelanteile wirken je nach Stellung des Oberarms teilweise synergistisch und teilweise antagonistisch:
- Die Pars acromialis abduziert den Arm, ab etwa 60° auch die beiden anderen Anteile.
- Bis zu einer Abduktionsstellung von 60° wirken die Pars clavicularis und Pars spinalis als Adduktoren.
- Die Pars clavicularis unterstützt die Anteversion, die Pars spinalis die Retroversion – dies wird insbesondere für die Pendelbewegungen des Arms (z. B. beim Gehen) verwendet.
- Der adduzierte, nach außen rotierte Arm wird von der Pars clavicularis nach innen gedreht.
- Der nach innen rotierte Arm wird von der Pars spinalis nach außen gedreht.

Der M. deltoideus ist der wichtigste Abduktor, er hebt den Arm z. B. beim Anziehen einer Jacke oder beim Kämmen. Außerdem verstärkt er mit allen 3 Anteilen den Gelenkschluss und verhindert so ein Abgleiten des Kopfs aus der Pfanne bei Zug am Arm, z. B. beim Tragen von Lasten.

Der **M. latissimus dorsi** (s. ▶ **Abb. 11.7**[2]) ist der flächenmäßig größte Muskel des Menschen und bildet die hintere Achselfalte. Er ist weit über die Rückenfläche ausgebreitet, liegt direkt unter der Rückenhaut und ist daher bei gut Trainierten deutlich erkennbar. Sein Ursprung bildet eine große, flächige Sehnenplatte, die sich von den unteren Rippen und Brustwirbeln bis zum Kreuzbein und zur Crista iliaca erstreckt. Der Muskel besteht aus 3 Anteilen:
- Pars vertebralis
- Pars iliaca
- Pars costalis

Häufig gibt es noch eine bindegewebige Anheftung an der Scapula, die als Pars scapularis bezeichnet wird. Die Muskelfasern verlaufen schräg aufwärts, konvergieren, und winden sich um den M. teres major. Die Endsehne setzt proximal des M. teres major am Humerus an, wobei die Muskelfasern der Pars vertebralis weiter distal, diejenigen der Pars costalis weiter proximal ansetzen. Dadurch entsteht ähnlich wie beim M. pectoralis major

(s. o.) bei herabhängendem Arm eine schraubenförmige Windung.

Wie auch der M. teres major bewirkt der M. latissimus dorsi eine Adduktion, Innenrotation und Retroversion („Schürzenbindemuskel"). Bei festgestelltem Arm unterstützt er die Exspiration, besonders beim Husten.

Da ein Ausfall des **M. latissimus dorsi** zu keinen gravierenden Funktionseinbußen führt, hat er große Bedeutung für die Wiederherstellungschirurgie (z. B. Mammarekonstruktion).

Der **M. teres major** (▶ **Abb. 11.11a**[10]) verläuft in Verlängerung des M. latissimus dorsi und kann mit diesem komplett verschmelzen, sodass er dann als eigenständiger Muskel fehlt. Er entspringt am Angulus inferior scapulae, schlingt sich um den langen Trizepskopf und setzt ventral am proximalen Humerus an. Er adduziert, retrovertiert und innenrotiert den Arm, z. B. beim Verschränken der Arme auf dem Rücken.

Die **tiefe Schicht** der Schultermuskulatur ist die **Rotatorenmanschette**. Sie umgibt die Gelenkfläche und stabilisiert dadurch das Schultergelenk (▶ **Abb. 11.11**). Der Name „Rotatorenmanschette" ist irreführend, denn die Muskeln sind nicht nur für Rotationsbewegungen zuständig, sondern unterstützen auch die Adduktion und Abduktion. Außerdem gleichen sie den Zug des M. deltoideus nach kranial aus und stabilisieren so das Schultergelenk bei Abduktion.

Tab. 11.2 Muskulatur des Schultergelenks und ihre Beteiligung an den Bewegungen.

	Anteversion	Retroversion	Abduktion	Adduktion	Innenrotation	Außenrotation
ventrale Muskelgruppe des Schultergelenks						
• M. pectoralis major, Pars clavicularis	+ +			+ +		
• M. pectoralis major, Pars sternocostalis	+ +			+ +		
• M. pectoralis major, Pars abdominalis					+ +	
• M. coracobrachialis	+			+	+	
dorsale Muskelgruppe des Schultergelenks						
• M. deltoideus, Pars acromialis	+ + +	+ +	+ + +			
• M. deltoideus, Pars clavicularis	+ + +		+ + (ab 60°)	+ + (bis 60°)	+	
• M. deltoideus, Pars spinalis		+ +	+ + (ab 60°)	+ + (bis 60°)		+
• M. latissimus dorsi		+ +		+ +	+	
• M. teres major		+		+	+	
Muskeln der Rotatorenmanschette						
• M. infraspinatus				+		+ +
• M. teres minor				+		+
• M. supraspinatus	+		+			
• M. subscapularis					+	
zweigelenkige Muskeln						
• M. biceps brachii	+ (Caput breve)		+ (Caput longum)		+ (Caput breve)	+ (Caput breve)
• M. triceps brachii		+ (Caput longum)		+ (Caput longum)		

Die Elevation des Arms überschreitet den Bewegungsumfang im Schultergelenk und ist nur durch eine zusätzliche Rotation der Scapula möglich.



Abb. 11.12 MRT-Aufnahme der Schultermuskulatur, koronale Schicht.
1 M. trapezius
2 M. supraspinatus
3 Lig. acromioclaviculare
4 Acromion
5 Bursa subacromialis
6 Humeruskopf
7 M. latissimus dorsi
8 M. subscapularis
(nach Gilroy, MacPherson, Ross, Atlas of Anatomy, Thieme; 2008)

Zur Rotatorenmanschette gehören:
- dorsal: M. infraspinatus und M. teres minor
- ventral: M. subscapularis und sein sehniges Ende sowie das Caput breve des M. biceps brachii
- kranial: die Sehne des M. supraspinatus

Der **M. infraspinatus**[2] entspringt in der Fossa infraspinata und zieht mit mehreren Sehnenbündeln an das Tuberculum majus humeri. Neben einer Außenrotation bewirkt er auch eine Adduktion und bei erhobenem Arm unterstützt er die Abduktion. Außerdem spannt er wie alle Muskeln der Rotatorenmanschette die Gelenkkapsel an.

Der **M. teres minor**[3] schließt kaudal an den M. infraspinatus an und ist häufig mit diesem verwachsen. Auch funktionell bildet er mit dem M. infraspinatus eine Einheit (Adduktion und Außenrotation). Trennen lassen sich die beiden Muskeln anhand ihrer eigenständigen Innervation aus Ästen des N. axillaris.

Der **M. supraspinatus**[1] entspringt in der Fossa supraspinata. Seine Sehne verläuft unter dem Acromion und über den Humeruskopf hinweg und ist mit der Gelenkkapsel verwachsen. Der Muskel übt Zug auf die Gelenkkapsel aus, spannt sie somit und stabilisiert gleichzeitig das Schultergelenk. Verkalkungen der Supraspinatussehne sind im Alter häufig.

Der **M. subscapularis**[13] liegt zwischen Scapula und Thorax. Er entspringt in der Fossa subscapularis und setzt am Tuberculum minus humeri an. Er ist ein kräftiger Innenrotator und unterstützt darüber hinaus die Adduktion sowie die Ante- und Retroversion. Außerdem spannt er wie die anderen Muskeln der Rotatorenmanschette die Gelenkkapsel.

M. supraspinatus und M. infraspinatus werden von N. suprascapularis innerviert. Bei einer Kompression des Nervs in der Incisura scapulae kommt es zum **Supraskapularis-Syndrom** mit chronischen Schulterschmerzen und einer Schwäche der Außenrotation und Abduktion.

Die beiden **zweigelenkigen Muskeln** am Oberam (M. biceps brachii[18, 19] und M. triceps brachii[7–9]) wirken zwar hauptsächlich auf das Ellenbogengelenk (S. 179), unterstützen aber auch Bewegungen im Schultergelenk.

11.3.3 Ellenbogengelenk

Aufbau des Ellenbogengelenks

Das Ellenbogengelenk (**Articulatio cubiti**) ist ein zusammengesetztes Gelenk mit 3 Anteilen, die von einer gemeinsamen Kapsel umgeben sind:
- Articulatio humeroulnaris (Scharniergelenk)
- Articulatio humeroradialis (Kugelgelenk)
- Articulatio radioulnaris proximalis (Radgelenk)

Radius und Ulna sind untereinander verbunden durch die **Articulatio radioulnaris proximalis** (proximales Radioulnargelenk) und die **Articulatio radioulnaris distalis** (distales Radioulnargelenk (S. 183)).

Zwischen Ulna und Radius spannt sich eine bindegewebige Membran (**Membrana interossea antebrachii**). Dadurch können sich die beiden Unterarmknochen so gegeneinander verdrehen, dass die Handfläche nach oben (**Supination**) oder nach unten (**Pronation**) zeigen kann. In der Supinationsstellung liegen die Knochen parallel zueinander. Bei der Pronation dreht sich der Radius um die Ulna nach ventral, sodass die beiden Knochen in der Pronationsstellung überkreuzt sind.

Die **Articulatio cubiti** (Ellenbogengelenk) ist die gelenkige Verbindung zwischen Ober- und Unterarm. Es setzt sich aus 3 Teilgelenken zusammen:

- **Articulatio humeroulnaris** zwischen der Trochlea humeri und der Incisura trochlearis der Ulna. Der Processus coronoideus gleitet dabei in der Hohlkehle der Trochlea.
- **Articulatio humeroradialis** zwischen Capitulum humeri und der Fovea articularis radii.
- **Articulatio radioulnaris proximalis** zwischen dem an der Ulna fixierten Lig. anulare radii und dem Radiusköpfchen (Caput radii).

Die dünne **Gelenkkapsel** des Ellenbogengelenks (▶ **Abb. 11.13**) umgreift alle 3 Gelenkanteile. Zwischen Membrana synovialis und Membrana fibrosa befindet sich ungewöhnlich viel Fettgewebe, das extreme Bewegungen abbremsen hilft. Distal des Lig. anulare radii befindet sich eine Aussackung der Gelenkkapsel (**Recessus sacciformis**), die torquiert werden kann, sodass die Drehung des Radiusköpfchens nicht behindert wird.

In den seitlichen Bereichen der Gelenkkapsel sind **Kollateralbänder** eingewebt, die eine Abduktion und Adduktion des Ellenbogengelenks verhindern:

- Das **Lig. collaterale ulnare**[3] zieht vom Epicondylus medialis humeri fächerförmig zum medialen Rand der Incisura trochlearis. Ein Teil der Fasern ist somit in jeder Gelenkstellung angespannt. An der Ulna verlaufen über die großflächige Ansatzstelle oberflächliche quere Fasern (Pars transversa).
- Das **Lig. collaterale radiale**[7] strahlt vom Epicondylus lateralis humeri in das Lig. anulare radii ein.

Zwischen Radius und Ulna spannt sich über die gesamte Länge des Unterarms die **Membrana interossea** aus. Sie verhindert eine Parallelverschiebung der beiden Knochen und ist in Neutral-Null-Stellung am stärksten gespannt. Proximal ist in dieser Membran für die Tuberositas radii und die Bizepssehne eine Lücke frei, die durch einen quer verlaufenden Faserzug (Chorda obliqua) abgegrenzt wird. Sonst verlaufen die Bindegewebszüge der Membrana interossea von radial proximal nach ulnar distal.

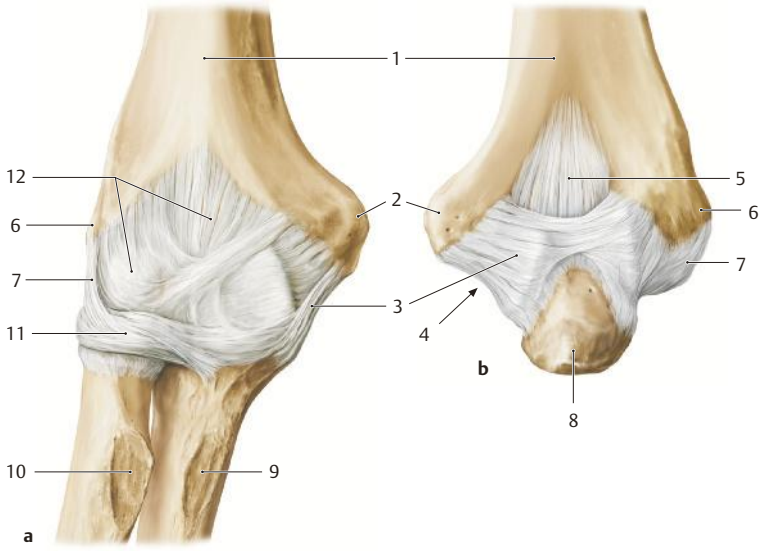


Abb. 11.13 Kapsel-Band-Apparat des rechten Ellenbogengelenkes von ventral (**a**) und dorsal (**b**).
1 Humerus
2 Epicondylus medialis
3 Lig. collaterale ulnare
4 Sulcus nervi ulnaris
5 Fossa olecrani
6 Epicondylus lateralis
7 Lig. collaterale radiale
8 Olecranon
9 Tuberositas ulnae
10 Tuberositas radii
11 Lig. anulare radii
12 Capsula articularis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Bei **Frakturen der Unterarmknochen** schient man in der Normal-Null-Stellung (Semipronation), um bei Kallusbildung ein Verwachsen der beiden Knochen zu vermeiden.

Die **Schleimbeutel** in der Nähe des Ellenbogengelenks stehen mit der Gelenkhöhlenicht in Verbindung. Sie führen die Sehnen der Oberarmmuskeln (Bursa bicipitoradialis und Bursa subtendinea m. tricipitis brachii bzw. Bursa intratendinea olecrani). Zwischen Olecranon und Haut findet sich eine **Bursa subcutanea olecrani**, die bei regelmäßiger Reizung häufig zu einer chronischen Entzündung führt („Studentenellenbogen").

Mechanik des Ellenbogengelenks

Die **Articulatio humeroulnaris** ist ein Scharniergelenk, dessen Achse durch Capitulum und Trochlea humeri verläuft. Bei der **Articulatio humeroradialis** handelt es sich morphologisch um ein Kugelgelenk. Die stramme Bandführung des Gelenks erlaubt jedoch nur 2 Freiheitsgrade, sodass es funktionell betrachtet ebenfalls ein Scharniergelenk ist. Denn über das Lig. anulare radii ist der Radius so eng an die Ulna gekoppelt, dass das Humeroradialgelenk die Scharnierbewegung des Humeroulnargelenks mitmachen muss.

Ausgehend von der Neutral-Null-Stellung (hängender Arm, Handfläche zum Rumpf zeigend) ist im Ellenbogengelenk eine **Beugung** von 130–150° möglich, die durch die Weichteile (Muskelmasse) des Oberarms begrenzt wird. Die **Streckung** wird bereits nach 10° vom Olecranon gestoppt.

Die **Articulatio radioulnaris proximalis** ist ein Radgelenk. Die Circumferentia articularis radii des Radiusköpfchens dreht sich in einem von der Incisura radialis ulnae und dem **Lig. anulare radii** gebildeten überknorpelten Ring. Das Radiusköpfchen wird von diesem Band fest fixiert und lässt sich nur bei grober Gewalteinwirkung luxieren.

Besonders bei Kleinkindern kann durch plötzlichen starken Zug am gestreckten Unterarm das Radiusköpfchen aus der Bandschlinge herausgleiten und das Band einklemmen (**Morbus Chassaignac**).

Muskulatur des Ellenbogengelenks und zur Drehung des Unterarms

Der Beugung und Streckung im Ellenbogengelenk dienen überwiegend Muskeln am Oberarm (s. ▶ **Abb. 11.11**). Die Muskeln für Supination und Pronation befinden sich dagegen hauptsächlich am Unterarm.

Streckung. Einziger Streckmuskel des Ellenbogengelenks ist der **M. triceps brachii** (▶ **Abb. 11.11**[7–9]), dessen Caput longum von der Scapula entspringt, das Caput laterale und mediale dagegen vom dorsalen Humerusschaft. Alle 3 Muskelköpfe vereinen sich und ziehen zum Olecranon. Für die einfache Streckung werden nur das Caput laterale[9] und mediale[8] eingesetzt. Das zweigelenkige Caput longum wird zur Stabilisierung bei Bewegung gegen einen Widerstand verwendet und kann außerdem die Retroversion des Humerus im Schultergelenk unterstützen.

Der **M. anconaeus**[6], der sich lateral zwischen Epicondylus lateralis und dem Übergangsbereich von Olecranon und proximalem Ulnakörper erstreckt, ist überwiegend bei der Spannung der Gelenkkapsel aktiv und als Strecker zu vernachlässigen.

Bei der **Beugung** des Ellenbogens übernehmen die beiden Beugemuskeln am Oberarm, nämlich M. biceps brachii und M. brachialis, die Hauptfunktion.

Der **M. biceps brachii**[18, 19] ist ein zweigelenkiger Muskel, der auf Schultergelenk und Ellenbogengelenk wirkt. Sein Caput longum[19] zieht vom Tuberculum supraglenoidale, sein Caput breve[18] vom Processus coracoideus an die Ventralseite des Oberarms. Die gemeinsame Sehne der beiden Muskelköpfe setzt überwiegend an der Tuberositas radii an; eine zweite, flächenhafte Sehne (Lacertus fibrosus) strahlt in die ulnare Unterarmfaszie ein.

Der M. biceps brachii ist der wichtigste Beuger des Ellenbogengelenks. Neben der Beugung kann er auch eine starke Supination im Ellenbogen bewirken. Diese beiden Bewegungen ergänzen sich synergistisch, d. h. in Supination ist die Beugekraft, in Beugung die Supinationskraft verstärkt. Zu seiner Wirkung auf das Schultergelenk (S. 173).

Von der Vorderfläche des Humerus zieht der **M. brachialis**[16] sehr nahe am Knochen zur Tuberositas ulnae. Durch seine Lage kann er unabhängig von der Stellung des Arms seiner Beugefunktion im Ellenbogen uneingeschränkt nachkommen.

Seinen Ursprung hat der **M. brachioradialis** am seitlichen distalen Humerusschaft. Von hier zieht er an der radialen Seite oberflächlich zum Processus styloideus radii. In Neutral-Null-Stellung wirkt er als Beuger im Ellenbogen, bei Pro- und Supination führt er die Hand in die Grundstellung (Semipronation) zurück.

Unterstützt wird die Beugung im Ellenbogengelenk vom M. extensor carpi radialis (S. 598), der zu den Muskeln des Handgelenks gehört, und vom M. pronator teres (S. 599).

Supination. Hauptmuskel für die Supination ist der **M. supinator** (s. ▶ **Abb. 11.16**[8]). Er entspringt breitflächig am Epicondylus lateralis humeri und dem proximalen Ulnaschaft und zieht zur Ventralseite des Radius zwischen der Tuberositas radii und dem Ansatz des M. pronator teres. Überdeckt wird er vom M. brachioradialis und den radialen Handwurzelextensoren. Seine Wirkung ist in jeder Ausgangsposition gewährleistet – im Gegensatz zu den anderen Supinatoren, die teilweise nur in bestimmten Haltungen eine Supination unterstützen können.

Der **M. biceps brachii** ist neben seiner beugenden Wirkung auf das Ellenbogengelenk (S. 179) auch ein starker – in Beugestellung der stärkste – Supinator. Die bei Pronation um den Radius gewundene Sehne kann durch Zug wieder abgewickelt werden.

Eine unterstützende Funktion bei der Supination haben M. abductor pollicis longus (S. 598), M. extensor pollicis longus (S. 598) und M. brachioradialis (S. 598).

Pronation. Im distalen Unterarm liegt der **M. pronator quadratus** (s. ▶ **Abb. 11.17**[10]), der auf der Ventralseite, verdeckt durch die Sehnen der Unterarmflexoren, von der Ulna zum Radius zieht. Proximal davon verläuft in einer oberflächlichen Schicht der **M. pronator teres** (s. ▶ **Abb. 11.17**[8]) vom Epicondylus medialis und dem Processus coronoideus ulnae zum radialen Rand des Radius unterhalb des M. supinator.

Eine unterstützende Funktion bei der Pronation haben M. flexor carpi radialis (S. 599), M. extensor carpi radialis (S. 598) und M. brachioradialis (S. 598).

Die **Bewegungsprüfung** von Pronation und Supination nimmt man am rechtwinklig gebeugten Unterarm vor, um die Messung nicht durch eine Drehung des Oberarms zu verfälschen. In beide Richtungen ist aus der Grundstellung („Daumen zeigt nach oben") eine 90°-Drehung möglich. Der Radius dreht sich dabei um die Ulna. Bei fixierter Hand (z. B. Geräteturnen) kann auch die Ulna um den Radius geführt werden (bei Mitbewegung des gesamten Körpers).

Tab. 11.3 Muskulatur des Ellenbogengelenks und zur Drehung des Unterarms.

	Streckung	Beugung	Supination	Pronation
• M. triceps brachii	+++			
• M. biceps brachii		+++	++ (bei gebeugtem Ellenbogengelenk +++)	
• M. brachialis		++		
• M. brachioradialis		++	+	+
• M. extensor carpi radialis longus		+		
• M. pronator teres		+		
• M. supinator			+++	
• M. abductor pollicis longus			+	
• M. extensor pollicis longus			+	
• M. flexor carpi radialis				+
• M. extensor carpi radialis				+
• M. pronator quadratus				+++
• M. pronator teres		+		++

11.3.4 Unterarm und Hand

Distales Radioulnargelenk

Die **Articulatio radioulnaris distalis** (distales Radioulnargelenk, ▶ Abb. 11.14[8]) zwischen der radialen Fläche des Caput ulnae und der Incisura ulnaris radii ist von einer eigenen schlaffen Kapsel umgeben. Die beiden stabilisierenden Bänder (**Lig. radioulnare palmare** und **dorsale**) sind so angeordnet, dass sie die Beweglichkeit nicht einschränken. Sie gleiten dabei auf dem knorpelig überzogenen Caput ulnae. In Supinationsendstellung ist das Lig. radioulnare dorsale schlaff und legt sich um die Sehne des M. extensor carpi ulnaris.

Gelenke der Handwurzel und der Mittelhand (▶ Abb. 11.14)

Die Handwurzelknochen werden durch straffe Bandzüge stabilisiert. Funktionell entstehen somit Gelenkgruppen. Die eingeschränkte Beweglichkeit der Einzelgelenke wird kompensiert durch die vielen kleinen Knochen der Hand und die damit zahlreichen gelenkigen Verbindungen.

Die zahlreichen gelenkigen Verbindungen des Abschnitts vom Unterarm bis zu den Fingern kann man funktionell in 5 Gruppen unterteilen (▶ Abb. 11.14):

- Articulatio radiocarpalis[7] (proximales Handgelenk) zwischen Unterarmknochen und Handwurzelknochen,
- Articulatio mediocarpalis[6] (distales Handgelenk) zwischen den Karpalknochenreihen,
- Articulationes intercarpales: Gelenke innerhalb der Handwurzelknochenreihen,
- Articulationes carpometacarpales[4, 11]: Gelenke zwischen Handwurzel und Mittelhand,
- Articulationes intermetacarpales[5]: Gelenke zwischen den Mittelhandknochen.

Ausgehend von der gerade gestreckten Hand (Neutral-Null-Stellung) kann durch die Handgelenke eine **Palmarflexion** von bis zu 70° (passiv bis 80°), eine **Dorsalextension** bis zu 70° (passiv bis 100°), eine **Radialabduktion** von etwa 20° und eine **Ulnarabduktion** von bis zu 40° erreicht werden.

Articulatio radiocarpalis. Die **Gelenkpfanne** des Radiokarpalgelenks (proximales Handgelenk) wird hauptsächlich von der Facies articularis car-

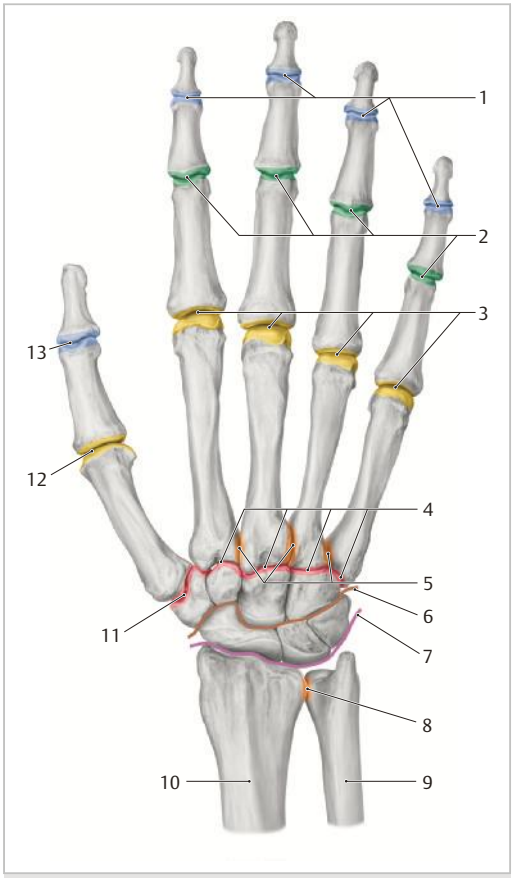


Abb. 11.14 Gelenke der Handwurzel und der Finger. Rechte Hand von dorsal.

1 Articulationes interphalangeales distales (Endgelenke der Finger, distale Interphalangealgelenke, DIP-Gelenke)
2 Articulationes interphalangeales proximales (Mittelgelenke der Finger, proximale Interphalangealgelenke, PIP-Gelenke)
3 Articulationes metacarpophalangeales II–V (Grundgelenke der Langfinger, MCP-Gelenke)
4 Articulationes carpometacarpales II–V
5 Articulationes intermetacarpales
6 Articulatio mediocarpalis (distales Handgelenk)
7 Articulatio radiocarpalis (proximales Handgelenk)
8 Articulatio radioulnaris distalis
9 Ulna
10 Radius
11 Articulatio carpometacarpalis pollicis (Daumensattelgelenk)
12 Articulatio metacarpophalangealis I (Daumengrundgelenk)
13 Articulatio interphalangealis I (Daumenendgelenk)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus Lern-Atlas, Thieme; 2014)

palis des Radius und in geringerem Ausmaß einem dem Ulnaköpfchen aufliegenden Discus articularis gebildet. Dieser Discus wird halbringförmig gehalten von der Capsula articularis und den um sie angeordneten Bändern sowie dem Processus styloideus ulnae. Die Gelenkfläche des Radius ist auf der Radialseite bogenförmig nach distal ausgezogen. Der erheblich größere, eiförmige **Gelenkkopf** wird von den 3 proximalen Handwurzelknochen (Os scaphoideum, Os lunatum, Os triquetrum) gemeinsam gebildet, wobei das Os triquetrum den kleinsten Anteil hat.

Die Gelenkfläche des Radius ist um 30° nach ulnar und um 10° nach palmar geneigt. Bei der **Reposition einer distalen Radiusfraktur** ist es wichtig, diese Winkelverhältnisse wiederherzustellen.

Bänder (▶ **Abb. 11.15**). Die Kollateralbänder (**Lig. collaterale carpi radiale**[8] vom Processus styloideus radii zum Os scaphoideum und **Lig. collaterale carpi ulnare**[4] vom Processus styloideus ulnae zu Os triquetrum und Os pisiforme) liegen seitlich am Gelenk und haben einen geraden und kurzen Verlauf. Demgegenüber sind die stabilisierenden Bänder auf der palmaren und der dorsalen Seite schräg angeordnet. Das **Lig. radiocarpale palmare**[16] verläuft fächerförmig vom Processus styloideus radii zum Os lunatum, triquetrum, capitatum und scaphoideum. Das schwächere **Lig. ulnocarpale palmare**[18] strahlt vom Processus styloideus ulnae zu den gleichen Handwurzelknochen aus. Die palmaren Bänder werden bei Supination angespannt. Das **Lig. radiocarpale dorsale**[5] zieht vom Radius hauptsächlich zum Os triquetrum.

Funktionell ist das Radiokarpalgelenk ein Eigelenk, das eine Palmar- und Dorsalflexion sowie eine Radial- und Ulnarabduktion erlaubt.

Articulatio mediocarpalis und Articulationes intercarpales. Das distale Handgelenk (**Articulatio mediocarpalis**) hat einen komplexen, wellenförmigen Gelenkspalt, der zwischen der proximalen und der distalen Reihe der Handwurzelknochen verläuft. Er kommuniziert gewöhnlich mit den senkrecht dazu verlaufenden anderen Gelenken zwischen den Handwurzelknochen (**Articulationes intercarpales**). Alle genannten Gelenke sind von einer gemeinsamen Kapsel überzogen, die palmar straff ist, dorsal aber nur schlaff anliegt.

Bänder (▶ **Abb. 11.15**): Die einzelnen Knochen sind durch kurze Bänder auf der palmaren[21] und dorsalen[9] Seite, teilweise auch zwischen den Knochen (**Ligg. intercarpalia interossea**) verbunden. Dorsal bildet sich häufig ein größeres **Bogenband** aus, palmar strahlt das **Lig. carpi radiatum** vom Os capitatum zu den benachbarten Knochen aus.

Das Os pisiforme hat nur eine gelenkige Verbindung zum Os triquetrum.

Oberflächlich sind das Os pisiforme und der Hamulus ossis hamati auf der Ulnarseite (**Eminentia carpi ulnaris**) mit dem Tuberculum ossis trapezii auf der Radialseite (**Eminentia carpi radialis**) durch einen kräftigen, straffen Bandzug (**Retinaculum musculorum flexorum** bzw. **Lig. carpi transversum**[13]) miteinander verbunden. Darunter bildet sich der Karpaltunnel (**Canalis carpi**), durch den die Sehnen der Fingerbeuger und der N. medianus ziehen. Einen eigenen Durchtritt erhält die Sehne des M. flexor carpi radialis. An der Ulnarseite bildet sich oberflächlich auf dem Lig. carpi transversum das Lig. carpi palmare, unter dem sich die **Guyon-Loge** (S. 203) mit dem N. und der A. ulnaris befindet.

Karpaltunnel und **Guyon-Loge** sind Prädilektionsstellen für kompressionsbedingte Schädigungen der darin verlaufenden Nerven und müssen dann operativ geöffnet werden.

Funktionell ist das distale Handgelenk ein Scharniergelenk, das hauptsächlich eine Palmarflexion und Dorsalextension ermöglicht. Durch die Beweglichkeit der Handwurzelknochen untereinander unterstützt das distale Handgelenk aber auch in geringem Umfang die Radial- und Ulnarabduktion.

Articulationes carpometacarpales und intermetacarpales. Die Metakarpalknochen II–V sind amphiarthrotisch mit den distalen Handwurzelknochen verbunden (**Articulationes carpometacarpales**), bilden einen gemeinsamen Gelenkspalt und sind kaum beweglich. An ihren Basen stehen sie auch untereinander in Verbindung (**Articulationes intermetacarpales**). Sie sind durch die **Ligg. carpometacarpalia palmaria**[12], **dorsalia**[10] und **interossea** sowie durch die **Ligg. metacarpalia palmaria**[11], **dorsalia**[1] und **interossea** verfestigt. Im Bereich der Köpfchen gibt es ein weiteres, die Metakarpalknochen II–V verbindendes Band (**Lig. me-**

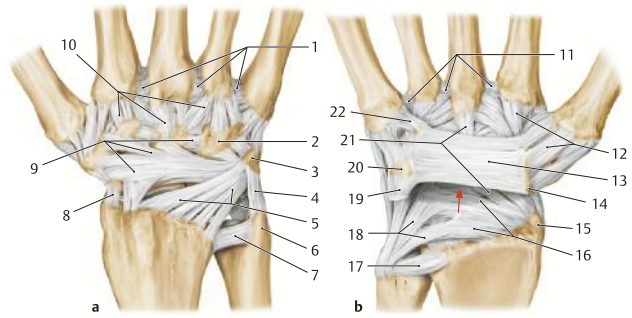


Abb. 11.15 Bandapparat des rechten Handgelenks von dorsal (**a**) und palmar (**b**). Pfeil: Eingang in den Karpalkanal.

1 Ligg. metacarpalia dorsalia
2 Os hamatum
3 Os triquetrum
4 Lig. collaterale carpi ulnare
5 Lig. radiocarpale dorsale
6 Proc. styloideus ulnae
7 Lig. radioulnare dorsale
8 Lig. collaterale carpi radiale
9 Ligg. intercarpalia dorsalia
10 Ligg. carpometacarpalia dorsalia
11 Ligg. metacarpalia palmaria
12 Ligg. carpometacarpalia palmaria
13 Retinaculum musculorum flexorum (Lig. carpi transversum)
14 Tuberculum ossis trapezii
15 Proc. styloideus radii
16 Lig. radiocarpale palmare
17 Lig. radioulnare palmare
18 Lig. ulnocarpale palmare
19 Ansatzsehne des M. flexor carpi ulnaris
20 Os pisiforme
21 Ligg. intercarpalia palmaria
22 Hamulus ossis hamati
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

tacarpale transversum profundum), das die Spreizung der Mittelhand verhindert.

Einzig die **Articulatio carpometacarpalis pollicis** (s. u.) zum Os trapezium ist ein Sattelgelenk, das durch eine schlaffe Kapsel und eine dicke Knorpelschicht kreisende Bewegungen passiv zulässt. Eine willkürliche Kreiselung ist aufgrund der fehlenden Muskeln aber nicht möglich.

Fingergelenke

Gelenke des Daumens

Verantwortlich für die große Beweglichkeit des Daumen ist insbesondere das **Daumensattelgelenk** (**Articulatio carpometacarpalis pollicis**, ▶ **Abb. 11.14**[11]), also die Verbindung zwischen dem 1. Mittelhandknochen und der Handwurzel. Dessen besondere Bewegungsachsen kommen durch die um 60° nach palmar gedrehte Gelenkfläche zustande. Die Adduktion zieht den Daumen an den Zeigefinger heran, die Abduktion führt den Daumen nach radiopalmar. Bei der Extension wird der Daumen nach radial abstehend in die Ebene der anderen Finger gestellt, bei der Flektion steht der Daumen von radial betrachtet in etwa rechtem Winkel zum Zeigefinger nach palmar. Besonders wichtig für die Greiffunktion ist eine zusätzliche Drehung im Daumensattelgelenk, mit der der Daumen vor die Hohlhand gebracht werden kann (Opposition).

Das **Daumengrundgelenk** (**Articulatio metacarpophalangealis I**, ▶ **Abb. 11.14**[12]) ist im Prinzip ein Scharniergelenk, erlaubt aber auch eine minimale Abduktion und Adduktion sowie eine geringe Rotation. Das **Daumenendgelenk** (**Articulatio interphalangealis I**, ▶ **Abb. 11.14**[13]) ist dagegen ein reines Scharniergelenk. Die Beugung reicht beim Daumengrundgelenk bis etwa 70°, im Endgelenk bis 80°. Die Extension wird in beiden Gelenken aktiv in der Regel bis zur Streckung durchgeführt. Gelegentlich kommt eine leichte Überstreckung bis 10° vor. Passiv ist die Extensionbewegung deutlich größer (bis zu 40°).

Die Bandstabilisierung der Daumengelenke entspricht der an den übrigen Fingern (s. u.).

Gelenke der Langfinger

Das **Grundgelenk** der Finger II–V (**Articulatio metacarpophalangealis**, abgekürzt als MCP-Gelenk bezeichnet) ist ein Kugelgelenk, das palmar bis zu 90° gebeut und dorsal bis zu 45° extendiert werden kann. Adduktion und Abduktion (Finger spreizen und zusammenziehen) beziehen sich auf den Mittelfinger. Der Zeigefinger kann etwa um 15° nach radial abgespreizt und um bis zu 45° über den Mittelfinger nach ulnar geführt werden. Der Mittelfinger selbst kann nach ulnar und radial jeweils um etwa 20° bewegt werden. Ring- und Kleinfinger lassen sich um bis zu 25° abduzieren; die Adduktion ermöglicht eine leichte Überkreuzung mit dem Nachbarfinger.

Passiv kann der gestreckte Finger um bis zu 50° um seine Längsachse gedreht werden, eine willkürliche isolierte Rotation ist jedoch nicht möglich. Allerdings sind bei Mischbewegungen rotierende Elemente enthalten.

Mittel- und Endgelenke der Finger (**proximales** und **distales Interphalangealgelenk**, abgekürzt PIP- bzw. DIP-Gelenk) sind reine Scharniergelenke. Die die Mittelgelenke können aus der Neutral-Null-Stellung um 100° palmar flektiert werden, während in den Endgelenken eine Palmarflexion um 90° und auch eine Dorsalextension um 10° möglich ist.

Gelenkkapseln und Bänder. An den Fingern findet sich auf der Flexorenseite ein differenziertes System von Bändern, die einerseits die Gelenkkapseln stabilisieren und andererseits die Sehnen der Fingerbeuger führen (s. ▶ **Abb. 11.19**). Die Kollateralbänder (**Ligg. collateralia**[15]) befinden sich seitlich an allen Gelenken und ziehen von proximal dorsal nach distal palmar. Sie spannen sich bei Beugung des Gelenks an. Daher ist die Abduktion und Adduktion der Finger eingeschränkt, wenn sie im Grundgelenk gebeugt sind. Quer dazu verlaufen oberflächlich die etwas dünneren **Ligg. phalangoglenoidalia**, welche von distal dorsal nach proximalventral in die Ringbänder einstrahlen. Diese Bandzüge begrenzen vor allem die Streckung. Auf der palmaren Seite liegt direkt am Gelenk jeweils ein **Lig. palmare**. Oberflächlich wechseln sich Ringbänder (**Ligg. anularia**[13]) und Kreuzbänder (**Ligg. obliqua**[14]) ab und halten so die Sehnen der Flexoren nahe am Knochen. Funktionell entscheidend sind dabei die Lücken zwischen den Bändern, die eine ungestörte Beugung erlauben.



Um zu verhindern, dass sich die **Kollateralbänder der Fingergrundgelenke** bei einer längeren Ruhigstellung verkürzen, muss darauf geachtet werden, sie unter leichter Spannung zu halten. Daher werden die Finger in Funktionsstellung ruhiggestellt (50–60° Beugung).

Muskulatur des Unterarms und der Hand

Muskulatur zur Bewegung der Handwurzel

Die Bewegung der Handwurzel wird im Wesentlichen von 4 Muskeln erreicht, die je nachdem, ob sie synergistisch oder antagonistisch wirken, eine feine Differenzierung ermöglichen:

- Dorsalextension: Extensoren (M. extensor carpi radialis longus und brevis, M. extensor carpi ulnaris, s. ▶ **Abb. 11.16**),
- Palmarflexion: Flexoren (M. flexor carpi radialis, M. flexor carpi ulnaris, M. palmaris longus, s. ▶ **Abb. 11.17**),
- Ulnarabduktion: ulnar gelegene Muskeln (M. flexor carpi ulnaris, M. extensor carpi ulnaris),

Tab. 11.4 Muskulatur des Handgelenks und ihre Beteiligung an den Bewegungen.

	Streckung	Beugung	Ulnarabduktion	Radialabduktion
• M. flexor carpi radialis		+++		++
• M. flexor carpi ulnaris		+++	+++	
• M. extensor carpi radialis longus	+++			+++
• M. extensor carpi radialis brevis	+++			+++
• M. extensor carpi ulnaris	++		++	
• M. palmaris longus		+		

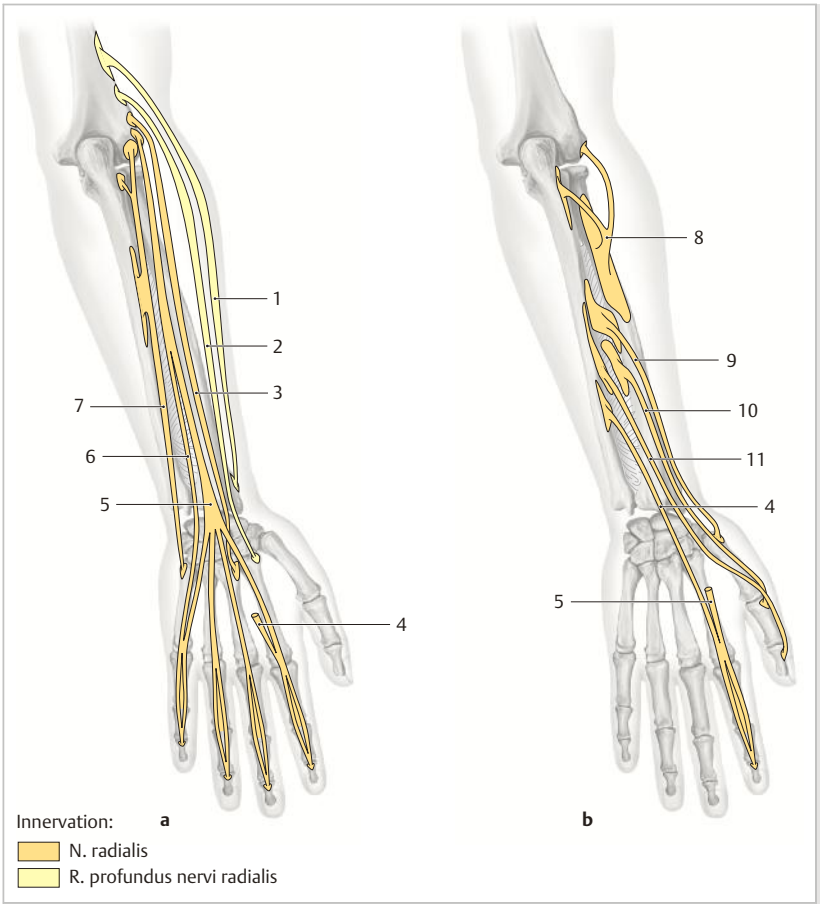


Abb. 11.16 Extensorengruppe der Unterarmmuskulatur von dorsal. **a** radiale Muskelgruppe (1–3) und oberflächliche Schicht (4–6) der Extensoren **b** tiefe Schicht der Extensoren (9–11).
1 M. brachioradialis
2 M. extensor carpi radialis longus
3 M. extensor carpi radialis brevis
4 M. extensor indicis
5 M. extensor digitorum
6 M. extensor digiti minimi
7 M. extensor carpi ulnaris
8 M. supinator
9 M. abductor pollicis longus
10 M. extensor pollicis brevis
11 M. extensor pollicis longus
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

- Radialabduktion: radial gelegene Muskeln (M. flexor carpi radialis, M. extensor carpi radialis longus und brevis).

Bei einer Überbeanspruchung der Handmuskulatur, deren Ursprung an den Epikondylen liegt, kommt es zu schmerzhaften Reizzuständen. Betrifft dieses Krankheitsbild die laterale Seite (Ursprung von M. extensor carpi radialis, M. extensor digitorum), bezeichnet man es als **Epikondylitis radialis** oder „Tennisellenbogen". Die **Epikondylitis ulnaris** (Ursprung von M. flexor carpi radialis und Caput humerale des M. flexor carpi ulnaris) wird auch Werfer- oder Golferellenbogen genannt.

Der **M. flexor carpi radialis** (▶ **Abb. 11.17**[6]) entspringt am Epicondylus medialis humeri und zieht oberflächlich ventral zur radialen Seite des Unterarms. Dort setzt er sehnig an der Basis des Os metacarpi II an.

Der **M. flexor carpi ulnaris** (▶ **Abb. 11.17**[2]) entspringt mit 2 Köpfen vom Epicondylus medialis humeri (Caput humerale) und vom Olecranon (Caput ulnare) und zieht oberflächlich ganz an der ulnaren Seite entlang zum Os pisiforme. Hier geht er in das Lig. pisohamatum über, welches zum Os hamatum zieht, und setzt sich als Lig. pisometacarpale zur Basis des Os metacarpi V fort.

Die beiden Muskeln **M. extensor carpi radialis longus** und **brevis** (▶ **Abb. 11.16**[2, 3]) entspringen am Epicondylus lateralis humeri und proximal davon (Crista supracondylaris lateralis). Sie ziehen, verdeckt vom M. brachioradialis, an der radiodorsalen Seite des Unterarms nach distal. Die Sehnen

verlaufen durch das zweite Sehnenfach des Retinaculum musculorum extensorum und setzen dann an der dorsalen Basis des Os metacarpi II (M. extensor carpi radialis longus) und Os metacarpi III (M. extensor carpi radialis brevis) an.

Der **M. extensor carpi ulnaris** (▶ Abb. 11.16[7]) hat seinen Ursprung am Epicondylus lateralis humeri und zieht am dorsalen Unterarm oberflächlich zur Ulnarseite. Die Sehne verläuft durch das 6. Sehnenfach des Retinaculum musculorum extensorum und endet an der dorsalen Basis des Os metacarpi V.

Der **M. palmaris longus** (▶ Abb. 11.17[1]) entspringt am Epicondylus medialis humeri. Da seine Sehne oberflächlich über das Retinaculum flexorum verläuft, ist sie bei Palmarflexion deutlich in der Mitte über dem Handgelenk zu erkennen. Die wesentliche Aufgabe des Muskels ist die Straffung der Palmaraponeurose. Er unterstützt aber auch in geringem Umfang die Palmarflexion.

Der M. palmaris longus ist für die Funktion des Handgelenks von untergeordneter Bedeutung. Daher kann die **Palmaris-longus-Sehne** für rekonstruktive Operationen als Sehnentransplantat verwendet werden.

11

Muskulatur zur Bewegung des Daumens

Die Muskulatur für die Daumenbewegung gliedert sich in lange und kurze Muskeln, die ihren Ursprung jeweils am Unterarm bzw. an der Hand (Thenarballen) haben. Die langen Muskeln liegen dabei radial der Muskelbäuche mit gleicher Funktion für die übrigen Finger.

Streckung. Der **M. extensor pollicis longus** (▶ Abb. 11.16[11]) entspringt an der dorsalen Fläche der Ulna. Seine Sehne zieht durch das 3. Sehnenfach zur Basis des Daumenendglieds. Der **M. extensor pollicis brevis** (▶ Abb. 11.16[10]) entspringt etwas radial an der Membrana interossea antebrachii. Seine Sehne verläuft durch das erste Sehnenfach zur dorsalen Basis des Daumengrundglieds, an dem sie teilweise mit der Sehne des M. extensor pollicis longus verschmilzt. Gemeinsam strecken sie den Daumen im Daumengrundgelenk und im Daumensattelgelenk. Am Daumensattelgelenk wirkt auch der **M. abductor pollicis longus** (▶ Abb. 11.16[9]) als Strecker.

M. extensor pollicis brevis und M. abductor pollicis longus bilden eine genetische und funktionelle Einheit. Häufig bilden die Muskelbäuche auch eine morphologische Einheit.

Die Sehne des M. extensor pollicis longus ragt bei gestrecktem und abgespreiztem Daumen deutlich sichtbar unter der Haut hervor. Sie ist die ulnare Begrenzung einer Grube (Tabatière), deren radialer Rand von den Sehnen des M. extensor pollicis brevis und des M. abductor pollicis longus gebildet wird.

Die **Tabatière** liegt über dem Processus styloideus radii und dem Os scaphoideum, weshalb man bei einer Fraktur dieser Strukturen hier häufig einen typischen Tabatière-Druckschmerz auslösen kann.

Am Boden der Tabatière ist die A. radialis zu tasten.

Der R. superficialis des N. radialis verläuft oberflächlich über die Sehne des M. extensorpollicis longus und kann als festerer Strang auf der gespannten Sehne palpiert werden.

Beugung. Der Muskelbauch des **M. flexor pollicis longus** (▶ Abb. 11.17[11]) liegt am Unterarm. Seine Sehne zieht in einer eigenen Sehnenscheide durch den Karpaltunnel und zwischen den Köpfen des M. flexor pollicis brevis zur Basis des Endphalanx I.

Der **M. flexor pollicis brevis** (▶ Abb. 11.18[2]) besitzt ein Caput superficiale (vom Retinaculum flexorum) und ein Caput profundum (von den radialen Handwurzelknochen). Er setzt am radialen Sesambein des Os metacarpi I an und zieht dann weiter zur Grundphalanx I.

Der M. flexor pollicis longus beugt den Daumen im Endgelenk und zusammen mit dem M. flexor pollicis brevis auch im Grundgelenk. Ergänzend kann die Beugung durch gleichzeitige Kontraktion des **M. abductor pollicis brevis** und **M. adductor pollicis** (s. u.) unterstützt werden. Alle genannten Muskeln beugen den Daumen außerdem auch im Daumensattelgelenk.

Abduktion. Der **M. abductor pollicis longus** (▶ Abb. 11.16[9]) entspringt proximal des M. extensor pollicis brevis. Seine Sehne zieht parallel zum M. extensor pollicis brevis bis zur Basis des Os

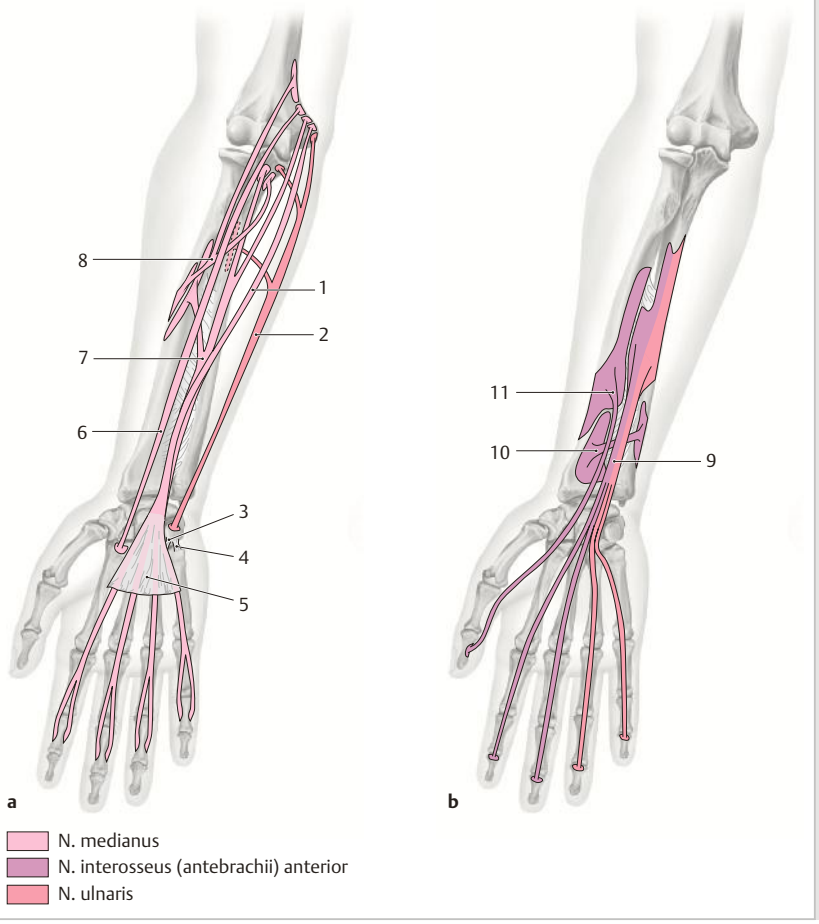


Abb. 11.17 Flexorengruppe der Unterarmmuskulatur.
a Oberflächliche Schicht, **b** tiefe Schicht. Ansicht von palmar.
1 M. palmaris longus
2 M. flexor carpi ulnaris
3 Lig. pisohamatum
4 Lig. pisometacarpale
5 Aponeurosis palmaris
6 M. flexor carpi radialis
7 M. flexor digitorum superficialis
8 M. pronator teres
9 M. flexor digitorum profundus
10 M. pronator quadratus
11 M. flexor pollicis longus
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

metacarpi I. Unterstützt wird er vom oberflächlich liegenden **M. abductor pollicis brevis** (▶ **Abb. 11.18**[4]), der vom Retinaculum flexorum und dem Os scaphoideum entspringt und zum radialen Sesambein des Os metacarpi I und der Basis der Grundphalanx zieht. Aufgrund des gemeinsamen Ansatzes kann auch der **M. flexor pollicis brevis** die Abduktion unterstützen.

Adduktion. Die Adduktion wird überwiegend vom **M. adductor pollicis** (▶ **Abb. 11.18**[1]) bewirkt, der in der Tiefe der Hohlhand mit 2 Muskelbäuchen (Caput obliquum vom Os capitatum und Caput transversum vom Os metacarpi III) entspringt und zum ulnaren Sesambein des Os metacarpi I sowie zur Basis der Daumengrundphalanx zieht. Dieser auf der Palmarseite liegende Muskel wird dorsal vom **M. interosseus dorsalis I** (s. ▶ **Abb. 11.19**) unterstützt, der zweiköpfig von den Ossa metacarpi I und II entspringt und von radial in die Dorsalaponeurose des Zeigefingers auf Höhe der Grundphalanx einstrahlt. Eine synergistische Wirkung haben auch der **M. opponens pollicis** und der **M. extensor pollicis longus**.

Opposition. Die Opposition des Daumens wird durch mehrere Muskeln erreicht. In erster Linie ist dies der **M. opponens pollicis** (▶ **Abb. 11.18**[3]), der unter dem M. abductor pollicis brevis vom Retinaculum flexorum zur Radialseite des Os metacarpi I zieht. Daneben wirken auch der **M. adductor pollicis** und die **Daumenbeuger** opponierend. Die Rückstellung (**Reposition**) erfolgt durch die Extensoren und den M. abductor pollicis longus.

Tab. 11.5 Muskulatur des Daumens und ihre Beteiligung an den Bewegungen.

	Streckung	Beugung	Abduktion	Adduktion	Opposition
• M. extensor pollicis longus	+++			+	
• M. extensor pollicis brevis	++				
• M. abductor pollicis longus	++ (im Daumensattelgelenk)				
• M. flexor pollicis longus	+++	+++			+
• M. flexor pollicis brevis	++	++	+		+
• M. abductor pollicis longus			+++		
• M. abductor pollicis brevis	+	+	+		
• M. adductor pollicis	+	+		+++	+
• M. interosseus dorsalis I				+	
• M. opponens pollicis				+	+++

Muskulatur zur Bewegung der Finger

Beuge- und Streckbewegungen können in den einzelnen Gelenken der Finger differenziert ausgeführt werden. Allerdings unterstützen in der Regel die weiter distal ansetzenden Sehnen auch die proximal liegenden Gelenke. Daher kommt es bei Bewegung der Endgelenke meist zu einer Mitbewegung der Mittelgelenke.

Die **Streckung** (▶ **Abb. 11.16**) der Grund-, Mittel- und Endgelenke wird vermittelt vom **M. extensor digitorum**[5] , der vom Epicondylus lateralis humeri entspringt und am dorsalen Unterarm liegt. Seine Sehnen ziehen durch das vierte Sehnenfach unter dem Retinaculum extensorum hindurch und in die Dorsalaponeurose der Finger II–V. Die Sehnen sind regelmäßig auf Höhe der Metakarpalknochen durch quere Bandzüge miteinander verbunden, was eine isolierte Streckung der Finger erschwert. Der Zeigefinger und der kleine Finger haben meist jeweils einen zusätzlichen eigenen Muskel (**M. extensor indicis**[4], **M. extensor digiti minimi**[6]), dessen Sehne ohne Querverbindungen in die Dorsalaponeurose dieser Finger einstrahlt. Die Sehne des M. extensor digiti minimi formt dabei ein eigenes Sehnenfach im Retinaculum extensorum (5. Sehnenfach). Die **Mm. lumbricales** und **Mm. interossei** unterstützen die Streckung im Mittel- und Endgelenk.

Beugung (▶ **Abb. 11.17**). Die Grund-, Mittel- und Endgelenke beugt der **M. flexor digitorum profundus**[9], der mit einem kräftigen Muskelbauch breitflächig am proximalen Unterarm entspringt. Seine Sehnen verlaufen durch den Karpaltunnel und inserieren als einzige Beugesehnen an der Basis der Endphalanx II–V. Daher ist der M. flexor digitorum profundus der einzige Beuger der Fingerendgelenke. Eine starke Palmarflexion vermindert seine Wirksamkeit.

Die Grund- und Mittelgelenke beugt der **M. flexor digitorum superficialis**[7], der proximal des M. flexor digitorum profundus vom Epicondylus medialis humeri und vom Radius entspringt. Seine Sehnen ziehen in einer gemeinsamen Sehnenscheide mit denen des M. flexor digitorum profundus durch den Karpaltunnel. Der M. flexor digitorum superficialis inseriert mit seinen Sehnen beidseitig an den Mittelphalangen II–V, sodass die Sehne des M. flexor digitorum profundus ungestört weiter nach distal ziehen kann.

Die Grundgelenke werden überwiegend von den **Mm. lumbricales** (▶ **Abb. 11.18**[9]) gebeugt, welche an der radialen Seite der Sehnen des M. flexor digitorum profundus entspringen und nach einem palmaren Verlauf radial in die Dorsalaponeurose einstrahlen. Neben der Beugung im Grundgelenk führen sie deshalb zu einer Streckung im Mittel- und Endgelenk. Die **Mm. interossei palmares** und **dorsales** (s. u.) können die Beugung im Grundgelenk unterstützen.

Für den kleinen Finger existiert ein eigener **M. flexor digiti minimi brevis** (▶ **Abb. 11.18**[7]), der vom Retinaculum flexorum zur Basis der Grundphalanx V zieht und neben dem **M. lumbricalis IV** die Beugung im Grundgelenk ermöglicht.

Der **Abduktion** dienen die **Mm. interossei dorsales** (▶ **Abb. 11.19**[3]), die ihren Ursprung an be-

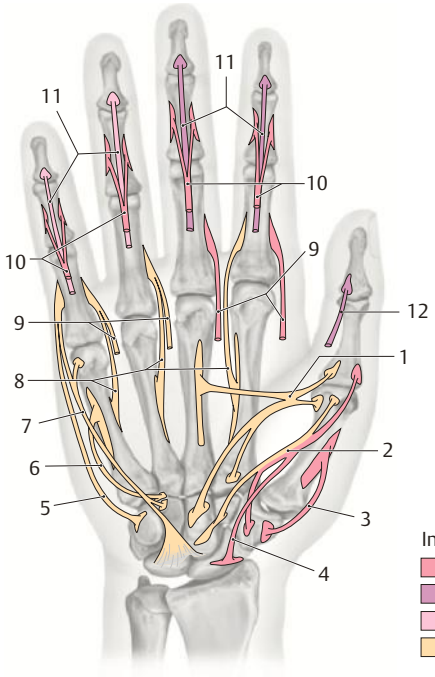


Abb. 11.18 Kurze Handmuskeln und Sehnen der langen Fingerflexoren. Ansicht von palmar.
1 M. adductor pollicis
2 M. flexor pollicis brevis
3 M. opponens pollicis
4 M. abductor pollicis brevis
5 M. abductor digiti minimi
6 M. opponens digiti minimi
7 M. flexor digiti minimi brevis
8 Mm. interossei palmares I–III
9 Mm. lumbricales I–IV
10 Sehne des M. flexor digitorum superficialis
11 Sehne des M. flexor digitorum profundus
12 Sehne des M. flexor pollicis longus
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

nachbarten Ossa metacarpi haben. Sie werden wie auch die Mm. interossei palmares vom N. ulnaris innerviert. Die 2 radial gelegenen Muskeln (Mm. interossei dorsales I, II) ziehen von radial zur Dorsalaponeurose des Zeige- und Mittelfingers, während die beiden ulnar gelegenen Muskeln (Mm. interossei dorsales III, IV) von der Ulnarseite zu Mittel- und Ringfinger ziehen. Der kleine Finger wird von einem eigenständigen **M. abductor digiti minimi** (▶ Abb. 11.19[4]) bewegt, der an der Ulnarseite des Os pisiforme zur Grundphalanx V zieht.

Die **Adduktion** der Finger zum Mittelfinger wird durch die **Mm. interossei palmares** (▶ Abb. 11.18[8]) ermöglicht. Sie befinden sich an der ulnaren Seite des Zeigefingers und an der radialen Seite des Ring- und Kleinfingers und ziehen vom Os metacarpi zur Grundphalanx des gleichen Fingers. Innerviert werden sie vom N. ulnaris.

Das **Opponieren** (Übereinanderlegen) der Finger untereinander wird im Wesentlichen von den kurzen Muskeln der Mittelhand bewerkstelligt (**Mm. interossei palmares** und **dorsales**). Auch hier hat der kleine Finger durch seine Randstellung einen eigenständigen **M. opponens digiti minimi** (▶ Abb. 11.18[6]), der mit dem kurzen Kleinfingerbeuger vom Retinaculum flexorum entspringt und zum ulnaren Rand des Os metacarpi V zieht.

Sehnenscheiden (▶ Abb. 11.19). Um die Reibung der Fingersehnen gegenüber dem umgebenden Gewebe zu vermindern, sind sie an Stellen, an denen sie von Bändern straff geführt werden, von Sehnenscheiden umgeben – und zwar sowohl am Handrücken wie in der Hohlhand. Die Ausbildung dieser Sehnenscheiden ist sehr variabel.

Klinisch von Bedeutung sind insbesondere die Sehnenscheiden der Hohlhand. Im Karpaltunnel verlaufen die Sehnen von M. flexor digitorum superficialis und profundus in einer gemeinsamen Scheide[10], die für die Finger II–IV meist etwas distal der Grundgelenke der Ossa metacarpi endet. Etwas proximal der Fingergrundgelenke II–IV beginnen 3 getrennte Sehnenscheiden[12], die jeweils etwas distal der Fingerendgelenke enden. Die Sehnenscheide des Kleinfingers[11] verläuft meist kontinuierlich vom Karpaltunnel bis kurz hinter das Fingerendgelenk. Die Sehnen von M. flexor carpi

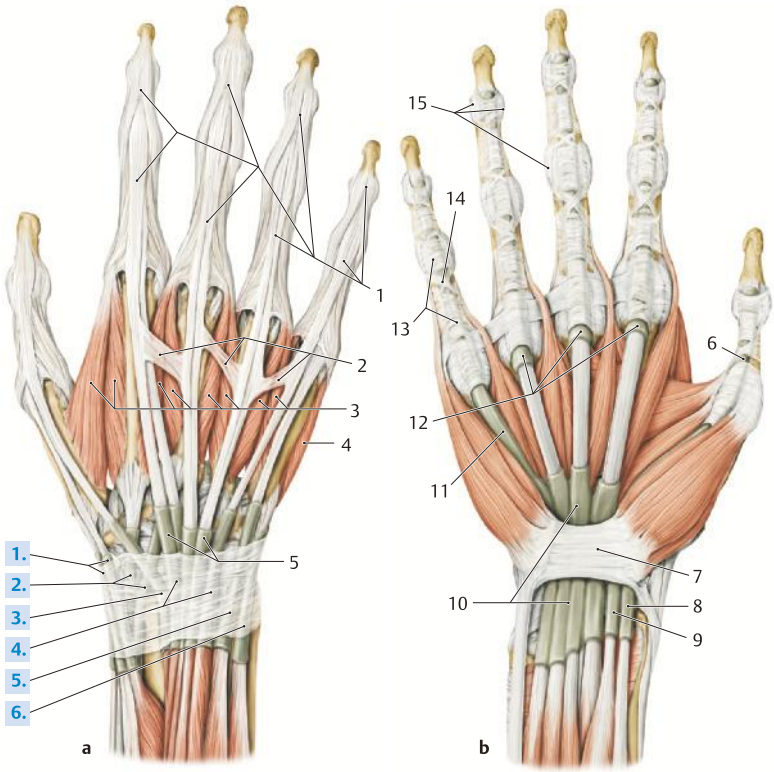


Abb. 11.19 Häufigste Anordnung der Sehnenscheiden der Hand von dorsal (**a**) und palmar (**b**).

1 Dorsalaponeurose
2 Connexus intertendineus
3 Mm. interossei dorsales
4 M. abductor digiti minimi
5 Vaginae tendinum carpales dorsales
6 Sehnenscheide des M. flexor pollicis longus
7 Retinaculum musculorum flexorum
8 Sehnenscheide des M. flexor carpi radialis
9 Sehnenscheide des M. flexor pollicis longus
10 Vagina communis tendinum musculorum flexorum
11 Sehnenscheide des M. flexor digiti minimi
12 Sehnenscheide der Finger II, III und IV
13 Ligg. anularia
14 Ligg. obliqua
15 Ligg. collateralia

1. Sehnenfach: M. abductor pollicis longus, M. extensor pollicis brevis
2. Sehnenfach: M. extensor carpi radialis longus und brevis
3. Sehnenfach: M. extensor pollicis longus
4. Sehnenfach: M. extensor digitorum, M. extensor indicis
5. Sehnenfach: M. extensor digiti minimi
6. Sehnenfach: M. extensor carpi ulnaris

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 11.6 Muskulatur der Langfinger und ihre Beteiligung an den Bewegungen. GG: im Grundgelenk, MG: im Mittelgelenk, EG: im Endgelenk, II: Zeigefinger, III: Mittelfinger, IV: Ringfinger, V: Kleinfinger

	Streckung	Beugung	Abduktion	Adduktion	Opposition
• M. extensor digitorum	II–V: GG, MG, EG + + +				
• M. extensor indicis	II: GG, MG, EG + + +				
• M. extensor digiti minimi	V: GG, MG, EG + + +				
• M. flexor digitorum profundus		II–V: GG, MG, EG + + +			
• M. flexor digitorum superficialis		II–V: MG, EG + + +			
• M. flexor digiti minimi brevis		V: GG + + +			
• Mm. interossei palmares	II–V: MG, EG +	II–V: GG + +		II, IV, V: + +	II–IV: + +
• Mm. interossei dorsales	II–V: MG, EG +	II–V: GG + +	II–IV: + +	III: + +	II–IV: + +
• Mm. lumbricales	II–V: MG, EG +	II–V: GG +			
• M. abductor digiti minimi			V: + +		
• M. opponens digiti minimi					V: + +

radialis[8] und M. flexor pollicis longus[9] verlaufen in eigenen Sehnenscheiden durch den Karpaltunnel. Die Sehne des M. flexor carpi ulnaris besitzt keine Sehnenscheide.

Über die Sehnenscheiden können sich Infektionen leicht ausbreiten, z. B. vom Kleinfinger in die Hohlhand (**Hohlhandphlegmone**) und über die hier enge Beziehung zur Sehnenscheide des M. flexor pollicis longus weiter bis zum Daumen (**V-Plegmone**). Natürlich ist auch der umgekehrte Weg möglich.

11.4 Leitungsbahnen der oberen Extremität

11.4.1 Arterien der oberen Extremität

Die A. subclavia gibt als A. axillaris 6 Äste an den Schultergürtel ab, bevor sie als **A. brachialis** in der medialen Bizepsfurche des Oberarms verläuft. In der Ellenbogenbeuge teilt sie sich in die **A. ulnaris** und die **A. radialis**, die sich in der Hand in ihre zahlreichen Endäste für die Finger aufzweigen.

Die **A. axillaris** geht aus der A. subclavia hervor und verläuft durch die Achselhöhle (S. 199). Hier entsendet sie in ihrem proximalen Abschnitt 2 größere Gefäße zum ventralen Rumpf (A. thoracica superior und A. thoracoacromialis) sowie weiter distal die A. thoracica lateralis und die A. subscapularis, deren Endäste als A. circumflexa scapulae und A. thoracodorsalis nach dorsal ziehen. Nach la-

Tab. 11.6 Muskulatur der Langfinger und ihre Beteiligung an den Bewegungen. GG: im Grundgelenk, MG: im Mittelgelenk, EG: im Endgelenk, II: Zeigefinger, III: Mittelfinger, IV: Ringfinger, V: Kleinfinger

	Streckung	Beugung	Abduktion	Adduktion	Opposition
• M. extensor digitorum	II–V: GG, MG, EG + + +				
• M. extensor indicis	II: GG, MG, EG + + +				
• M. extensor digiti minimi	V: GG, MG, EG + + +				
• M. flexor digitorum profundus		II–V: GG, MG, EG + + +			
• M. flexor digitorum superficialis		II–V: MG, EG + + +			
• M. flexor digiti minimi brevis		V: GG + + +			
• Mm. interossei palmares	II–V: MG, EG +	II–V: GG + +		II, IV, V: + +	II–IV: + +
• Mm. interossei dorsales	II–V: MG, EG +	II–V: GG + +	II–IV: + +	III: + +	II–IV: + +
• Mm. lumbricales	II–V: MG, EG +	II–V: GG +			
• M. abductor digiti minimi			V: + +		
• M. opponens digiti minimi					V: + +

radialis[8] und M. flexor pollicis longus[9] verlaufen in eigenen Sehnenscheiden durch den Karpaltunnel. Die Sehne des M. flexor carpi ulnaris besitzt keine Sehnenscheide.

Über die Sehnenscheiden können sich Infektionen leicht ausbreiten, z. B. vom Kleinfinger in die Hohlhand (**Hohlhandphlegmone**) und über die hier enge Beziehung zur Sehnenscheide des M. flexor pollicis longus weiter bis zum Daumen (**V-Plegmone**). Natürlich ist auch der umgekehrte Weg möglich.

11.4 Leitungsbahnen der oberen Extremität

11.4.1 Arterien der oberen Extremität

Die A. subclavia gibt als A. axillaris 6 Äste an den Schultergürtel ab, bevor sie als **A. brachialis** in der medialen Bizepsfurche des Oberarms verläuft. In der Ellenbogenbeuge teilt sie sich in die **A. ulnaris** und die **A. radialis**, die sich in der Hand in ihre zahlreichen Endäste für die Finger aufzweigen.

Die **A. axillaris** geht aus der A. subclavia hervor und verläuft durch die Achselhöhle (S. 199). Hier entsendet sie in ihrem proximalen Abschnitt 2 größere Gefäße zum ventralen Rumpf (A. thoracica superior und A. thoracoacromialis) sowie weiter distal die A. thoracica lateralis und die A. subscapularis, deren Endäste als A. circumflexa scapulae und A. thoracodorsalis nach dorsal ziehen. Nach la-

teral formieren sich die beiden den Humerus umgreifenden Gefäße (Aa. circumflexae humeri anterior und posterior). Alle Äste bilden in der Regel Anastomosen untereinander aus.

Beim Verlassen der Achselhöhle geht die A. axillaris in die **A. brachialis** über. Sie folgt der Haupt-Gefäß-Nerven-Straße des Oberarms im Sulcus bicipitalis medialis und verläuft ventral des Septum intermusculare brachii mediale.

Da zwischen den Ästen der A. axillaris und der A. brachialis meist keine **Anastomosen** bestehen, muss man eine Unterbindung zwischen der A. circumflexa humeri anterior und der A. profunda brachii vermeiden.

Die A. brachialis gabelt sich in der Ellenbeuge unter der Bizepsaponeurose in:

- die **A. radialis**, die oberhalb des M. pronator teres zwischen den M. brachioradialis und den M. flexor carpi radialis zieht,
- die **A. ulnaris**, die den M. pronator teres unterkreuzt und über dem M. flexor digitorum profundus zum M. flexor carpi ulnaris gelangt.

Da die A. brachialis bei starker Beugung im Ellenbogengelenk abgedrückt wird, existieren zahlreiche Kollateralkreisläufe (**Rete articulare cubiti**).

Die **A. radialis** verläuft radial am Unterarm mit ihren 2 Begleitvenen (Vv. radiales) und tiefen Lymphgefäßen zunächst über den M. pronator teres und dann unter dem Muskelbauch des M. brachioradialis (Leitmuskel), im distalen Radiusdrittel neben dessen Sehne.

Die A. radialis (▶ **Abb. 11.20**[5]) gelangt am distalen Rand der Fovea radialis von dorsal durch das Spatium interosseum metacarpi I zwischen den beiden Köpfen des M. interosseus dorsalis I zur Palmarseite. Dort gibt sie die **A. princeps pollicis** ab und bildet den **Arcus palmaris profundus**, der die **Aa. metacarpales palmares** bildet. Aus dem R. carpalis dorsalis der A. radialis (distal des Retinaculum extensorum unter den Streckersehnen gelegen) bilden sich zunächst die Aa. metacarpales dorsales, aus denen sich die dünnen **Aa. digitales dorsales** formieren, die über Rr. perforantes mit den Aa. digitales palmares propriae anastomosieren.

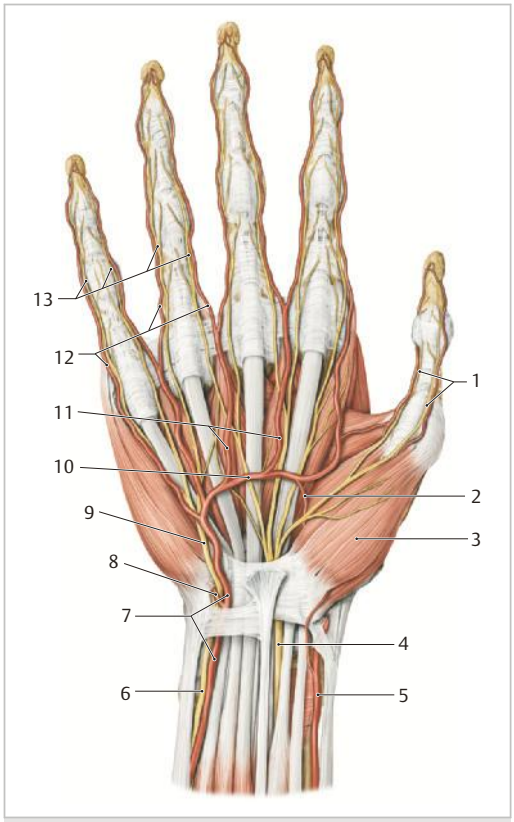


Abb. 11.20 Arterielle Versorgung der Hand. Rechte Hohlhand von palmar nach Entfernung der Aponeurose.
1 Nn. digitales palmares pollicis
2 A. radialis, R. palmaris superficialis
3 M. abduchtor pollicis brevis
4 N. medianus
5 A. radialis
6 N. ulnaris
7 A. ulnaris
8 A. ulnaris, R. profundus
9 N. ulnaris, R. superficialis
10 Arcus palmaris superficialis
11 Aa. digitales palmares communes
12 Aa. digitales palmares
13 Nn. digitales palmares
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **A. ulnaris** mit ihren 2 Begleitvenen (Vv. ulnares) liegt ulnar zwischen dem M. flexor digitorum superficialis und dem M. flexor carpi ulnaris (Leitmuskel). Um an die ulnare Seite zu gelangen, unterkreuzen die Gefäße proximal die oberflächli-

che Schicht der Muskeln (M. pronator teres, M. flexor digitorum superficialis) und den N. medianus.

Unterhalb der Palmaraponeurose tritt die A. ulnaris ulnar aus der Guyon-Loge und zieht radial an der Hypothenarmuskulatur entlang in die Hohlhand (▶ **Abb. 11.20**[7]). Hier bildet sie über den Beugersehnen als Endast den **Arcus palmaris superficialis**[10], der über Aa. digitales palmares communes zwischen den Fingern jeweils die ulnare und radiale Seite der Finger mit einer **A. digitalis palmaris propria**[12] versorgt. Ein R. palmaris profundus[8] versorgt die Hypothenarmuskulatur und die ulnare Seite des kleinen Fingers.

Die Variabilität der arteriellen Versorgung der Hand ist sehr groß. Die typische Beschreibung trifft nur in etwa 27 % der Fälle zu. Daumen und Zeigefinger können auch vollständig von der A. ulnaris versorgt werden, so wie es auch eine ausschließliche Versorgung der radialen Finger durch die A. radialis geben kann. Embryonal bildet sich zunächst eine am N. medianus liegende Arterie, die in 8 % als **A. comitans n. mediani** im Erwachsenenalter bestehen bleibt.

Bei **Gefäßveränderungen an der Hand** ist vor einer Therapie aufgrund der großen Variabilität der Blutversorgung ein Angiogramm unerlässlich.

11.4.2 Venen der oberen Extremität

Die Arterien der oberen Extremität werden von gleichnamigen tiefen Venen begleitet. Zusätzlich findet man ein oberflächliches Venensystem, das als Netz an der Hand beginnt (**Rete venosum dorsale manus**) und sich am Unterarm zu 2 größeren Gefäßen vereint (lateral **V. cephalica** und medial **V. basilica**). Die Verbindung vom oberflächlichen zum tiefen Venensystem wird am Unterarm von zahlreichen Vv. perforantes hergestellt.

Die **V. axillaris** bildet sich aus den Vv. brachiales und der V. basilica; im Verlauf münden in sie zahlreiche kleinere Gefäße aus dem oberen lateralen Rumpf und die V. cephalica.

Die **V. axillaris** ist durch Bindegewebszüge so ausgespannt, das ihr Lumen immer offen gehalten wird. Bei einer Verletzung kollabiert sie also nicht – daher besteht dann die Gefahr einer Luftembolie.

Oberhalb der Körperfaszie verlaufen am Oberarm 2 große Venen mit ihren variablen Nebenästen: Die **V. cephalica** verläuft in der lateralen Bizepsfurche über die gesamte Länge des Oberarms und weiter zur Fossa infraclavicularis, wo sie durch die Fascia clavipectoralis tritt und in die V. axillaris mündet. Die **V. basilica** folgt ebenfalls oberflächlich der medialen Bizepsfurche bis zum Hiatus basilicus, tritt hier in die Tiefe und mündet in die V. brachialis.

Am Unterarm befindet sich ein oberflächliches, verzweigtes Venennetz, das eine große Variabilität aufweist und sich zu mehreren größeren Venen vereinigt. Am distalen Unterarm verlaufen dorsal die **V. cephalica**, meist auch eine akzessorische V. cephalica und die **V. basilica**. Am proximalen Unterarm wenden sich diese beiden großen Venen auf die Ventralseite. Zwischen ihnen findet man auf der Ventralseite des Unterarms die **V. mediana antebrachii**, die jeweils einen Ast zu den großen Hauptvenen abgibt. In der Ellenbeuge stehen V. cephalica und V. basilica über die V. mediana cubiti miteinander in Verbindung, in die auch die V. mediana antebrachii mündet.

Das tiefe Venennetz des Unterarms besteht aus den paarig angelegten **Vv. radiales** und **Vv. ulnares**, die sich in die Hand bogenförmig als **Arcus venosus palmaris** fortsetzen.

Zur **Venenpunktion** wird der Blutrückfluss in der Regel am Oberarm gestaut, sodass die epifazialen Venen am Unterarm durch die Haut tastbar und meist auch sichtbar werden. Bei häufigeren Blutentnahmen und Infusionen sollte man die Venen zunächst möglichst distal punktieren. Beliebt ist dabei besonders die V. cephalica etwas proximal der Tabatière.

Verweilkanülen für Infusionen sollten nicht über Gelenken angebracht werden, da sonst bei Bewegungen leicht eine Venenreizung oder eine Dislokation der Kanüle möglich ist.

Besonders weitlumige Venen finden sich in der Ellenbeuge. Neben diesen liegen jedoch größere Hautnerven, die bei Punktion verletzt werden können.

11.4.3 Nerven der oberen Extremität

Aus dem **Plexus brachialis** formen sich mehrere periphere Nerven. Die Endäste der 3 Faszikel sind der N. axillaris, N. radialis, N. musculocutaneus, N. medianus, N. ulnaris sowie die Nn. cutanei brachii und die Nn. antebrachii mediales.

Die Primärstränge (Trunci) des Plexus brachialis ordnen sich bereits oberhalb der Clavicula im Hals zu den 3 Faszikeln, die in der Achselhöhle um die A. axillaris angeordnet sind, s. systematischer Teil (S. 376). Bereits sehr weit proximal gehen die **muskelversorgenden Äste** ab:

- Fasciculus posterior: Aus dem dorsal der A. axillaris liegenden Fasciculus posterior gehen der **N. subscapularis** für den M. subscapularis sowie der **N. thoracodorsalis** für den M. latissimus dorsi und den M. teres major hervor.
- Fasciculus medialis: Nach ventral zweigt der **N. pectoralis medialis** ab.
- Fasciculus lateralis: Ebenfalls nach ventral geht aus dem Fasciculus lateralis der **N. pectoralis lateralis** für M. pectoralis major und minor hervor.

Am distalen Ende der Achselhöhle bilden die Faszikel dann ihre **Endäste** aus:

- Fasciculus posterior: Endäste des Fasciculus posterior sind die beiden gemischten Nerven **N. axillaris** und **N. radialis**. Der N. axillaris verläuft oberhalb des M. teres major und um das Collum chirurgicum, versorgt den M. deltoideus und den M. teres minor und sendet einen Hautast (N. cutaneus brachii lateralis superior) in die seitliche Schulterregion.

Bei proximalen Humerusfrakturen und Schultergelenkluxationen kann es leicht zu einer **Schädigung des N. axillaris** kommen. Diese ist klinisch am einfachsten durch eine Sensibilitätsprüfung in der Regio deltoidea möglich. Nach länger bestehendem Axillarisschaden kommt es zur Atrophie des M. deltoideus.

- Fasciculus medialis: Bereits oberhalb der Abzweigung für den medialen Anteil des **N. medianus** entspringen die reinen Hautäste (**N. cutaneus brachii medialis** und **N. cutaneus antebrachii medialis**). Die beiden Medianuswurzeln des Fasciculus medialis verbinden sich ventral an der A. axillaris und ziehen mit dem **N. ulnaris**, der medial an der Arterie liegt, in die mediale Bizepsfurche des Oberarms.
- Fasciculus lateralis: Der Fasciculus lateralis zieht ventrolateral an der A. axillaris nach distal und zweigt sich in den **N. musculocutaneus**, der schon bald durch den M. coracobrachialis tritt, und den lateralen Anteil des **N. medianus** auf.

Der **N. cutaneus antebrachii lateralis**, Endast des N. musculocutaneus, verläuft radial außerhalb der Ellenbeuge auf dem M. brachioradialis und tritt an ihrem distalen Rand durch die Körperfaszie. Der **N. cutaneus antebrachii medialis** liegt medioulnar oberhalb der Körperfaszie.

Die Haupt-Gefäß-Nerven-Straße des Oberarms liegt im **Sulcus bicipitalis medialis**. Zunächst verlaufen alle Leitungsbahnen ventral des Septum intermusculare brachii mediale.

Der **N. radialis** versorgt am proximalen Oberarm mit den Rr. musculares den M. trizeps und über 2 sensible Äste (N. cutaneus brachii lateralis inferior und N. cutaneus brachii posterior) die dorsale und laterale Haut des Oberarms. Proximal des Ursprungs des M. brachioradialis zweigt sich der N. cutaneus antebrachii posterior ab. Der Hauptstamm des N. radialis gelangt im **„Radialistunnel“** zwischen M. brachioradialis und M. brachialis nach ventral in die Ellenbeuge.

Bei Humerusschaftfrakturen im Bereich des Sulcus n. radialis kommt es oft es zu einer **Schädigung des N. radialis**. Folge ist eine **Fallhand**: gebeugter Ellenbogen (Ausfall des M. triceps brachii), gebeugtes Handgelenk (Ausfall der karpalen Extensoren), gekrümmte Finger (Ausfall der Fingerstrecker). Da der M. triceps brachii, dessen Nervenäste bereits vorher abzweigen, nicht mitbetroffen ist, bleibt die Beweglichkeit im Ellenbogengelenk erhalten.

Eine Schädigung des N. radialis kann auch aufgrund chronischen Drucks in der Axilla entstehen (z. B. bei „amerikanischen Krücken"). In diesem Fall fällt auch der M. triceps brachii und damit die Extension im Ellenbogengelenk aus.

Am M. brachialis liegend teilt sich der N. radialis in seine 2 Endäste, den R. profundus und den R. superficialis.

Der **R. profundus n. radialis** zieht durch den M. supinator und gelangt so nach dorsal zwischen die oberflächliche und tiefe Schicht der Extensoren. Er versorgt alle Muskeln der Extensorenseite. Sein Endast zum M. extensor pollicis longus und M. extensor indicis ist der **N. interosseus posterior**. Er endet mit sensiblen Nervenfasern an den Gelenkkapseln der Handwurzelgelenke.

Der **R. superficialis n. radialis** gelangt auf dem M. supinator entlang des M. brachioradialis zur A. radialis.

Bei Ausfall des R. profundus n. radialis durch das **Supinatorsyndrom** (Kompression bei Durchtritt durch den M. supinator) kommt es zum Ausfall der Fingerstrecker ohne Sensibilitätsverluste.

Der **N. medianus** gibt am Oberarm keine Äste ab, kann jedoch mit dem N. ulnaris über Nervenfasern in Verbindung stehen. Er zieht zunächst mit den Blutgefäßen in die Ellenbeuge und dann eigenständig zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres, die er innerviert, nach distal.

Bei **Ausfall des N. medianus** durch ein Struthers'-Ligament, durch ein Pronator-teres-Syndrom (Kompression des Nervs durch den M. pronator teres) oder durch traumatische Ellenbogenverletzungen kommt es zur **Schwurhand**: Bei versuchtem Faustschluss können Daumen, Zeige- und Mittelfinger nicht gebeugt und opponiert werden.

Am Unterarm verläuft der N. medianus medial zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres und dann zwischen den oberflächlichen und tiefen Beugern. Der Nerv kann von einer A. mediana begleitet sein (meist nur ein sehr dünnes Gefäß). Der Nerv versorgt über Rr. musculares den M. pronator teres, M. flexor carpi radialis, M. palmaris longus und M. flexor digitorum superficialis. Dorsal der tiefen Beuger findet sich ein aus dem N. medianus abgehender **N. interosseus anterior**. Dieser versorgt über Rr. musculares den M. pronator quadratus, M. flexor pollicis longus und den radialen Teil des M. flexor digitorum profundus.

Der **N. ulnaris** gibt wie der N. medianus am Oberarm keine Fasern ab. Er zieht nicht in die Ellenbeuge, sondern liegt auf dem M. triceps brachii und verläuft dorsal des Epicondylus medialis im knöchernen Sulcus n. ulnaris, der durch die Haut tastbar ist. Unter dem M. flexor carpi ulnaris gelangt der Nerv zurück auf die Beugerseite und zu den Vasa ulnares.

Bei **Ausfall des N. ulnaris** durch Druckschäden im exponierten Sulcus (Aufstützen des Arms, traumatische Verletzungen, **Sulcus-ulnaris-Syndrom** als Folge chronischer Reizung) oder beim Durchtritt unter dem M. flexor carpi ulnaris (**Kubitaltunnelsyndrom**) kommt es zu einer **Krallenhand**: Streckung in den Fingergrundgelenken, Beugung in den Mittel- und Endgelenken.

Am Unterarm verläuft der N. ulnaris zusammen mit der A. ulnaris auf der ulnaren Seite. Er versorgt über Rr. musculares den M. flexor carpi ulnaris und die ulnaren Anteile des M. flexor digitorum profundus.

Die Innervationsgebiete der **Hautnerven** (▶ **Abb. 11.21**) sind an der oberen Extremität unre-

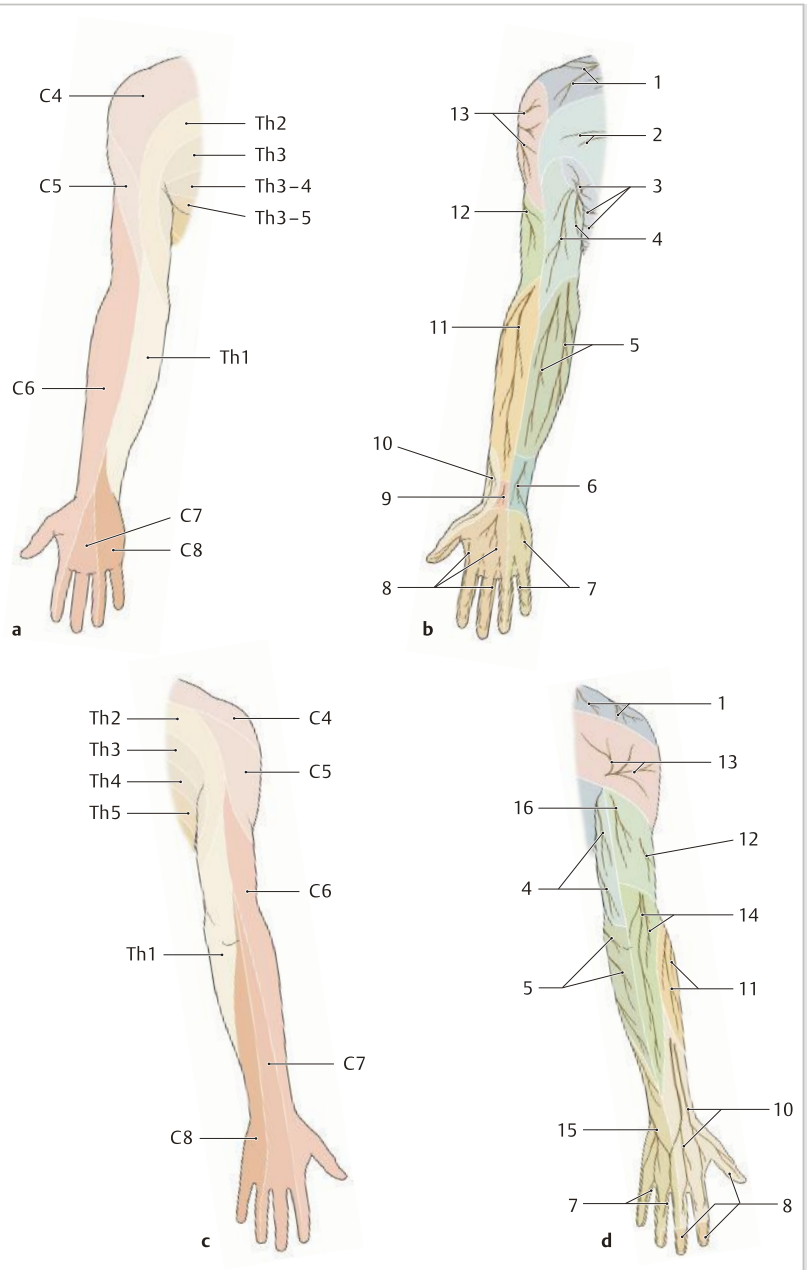


Abb. 11.21 Segmentale (Segmente C 4–Th 2) und periphere sensible Hautinnervation am rechten Arm von ventral (**a**, **b**) und dorsal (**c**, **d**). Anhand der Innervationsbereiche wird deutlich, dass der Sensibilitätsausfall bei der Schädigung eines peripheren Nervs ein völlig anderes Muster aufweist als bei Schädigung einer Nervenwurzel.

1 Nn. supraclaviculares
2 Nn. intercostales, Rr. cutanei anteriores
3 Nn. intercostales, Rr. cutanei laterales
4 N. cutaneus brachii medialis (evtl. mit N. intercostobrachialis)
5 N. cutaneus antebrachii medialis
6 N. ulnaris, R. palmaris
7 Nn. digitales palmares (N. ulnaris)
8 Nn. digitales palmares (N. medianus)
9 N. medianus, R. palmaris
10 N. radialis, R. superficialis
11 N. cutaneus antebrachii lateralis
12 N. cutaneus brachi lateralis inferior (N. radialis)
13 N. cutaneus brachii lateralis superior (N. axillaris)
14 N. cutaneus antebrachii posterior
15 N. ulnaris, R. dorsalis
16 N. cutaneus brachii posterior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

gelmäßig mit ausgeprägten interindividuellen Variationen. Häufig kommt es zu Überlappungen, sodass manche Hautareale von mehreren Nerven versorgt werden. Prinzipiell unterscheidet man zwischen den **anatomischen Hautfeldern**, die präparatorisch darstellbare Versorgungsgebiete peri-

pherer Hautnerven sind, und den **Segmentbezügen** zu den einzelnen Abschnitten des Rückenmarks (Dermatome).

Hautnerven des Unterarms. Der sensiblen Versorgung der Haut des dorsalen Unterarms dient proximal der **N. cutaneus antebrachii posterior**[14], ein Ast des N. radialis. Distal übernimmt ulnar der **R. dorsalis n. ulnaris**[15] und radial der **R. superficialis n. radialis**[10] die Hautinnervation.

Ventral gibt der N. musculocutaneus den **N. cutaneus antebrachii lateralis**[11] ab. Beide Nerven verlaufen zwischen M. brachialis und M. biceps brachii und queren knapp oberhalb der Ellenbeuge von medial nach lateral. An der medialen Seite liegt der eigenständige **N. cutaneus antebrachii medialis**[5] **.** Distal übernimmt kurz vor der Regio carpalis anterior der **R. palmaris n. ulnaris**[6] die ulnare, der **R. palmaris n. medianus**[9] die mittlere und der **R. superficialis n. radialis**[10] die radiale Versorgung der Haut.

Hautnerven der Hand. Auf der Dorsalseite der Hand verlaufen die Äste des **R. superficialis n. radialis**[10], die die radialen dreieinhalb Finger dorsal sensibel innervieren, sowie Äste des **R. dorsalis n. ulnaris**[15], welche den Kleinfinger und die ulnare Seite des Ringfingers versorgen. Palmar verlaufen jeweils ein **R. palmaris** des N. medianus[9] und des N. ulnaris[6] zur Handfläche. Die Finger werden auf der Palmarseite von tieferliegenden Ästen (Nn. digitales palmares proprii[7,8]) aus dem N. medianus (zweieinhalb Finger radial) und dem N. ulnaris (zweieinhalb Finger ulnar) innerviert.

11.4.4 Lymphgefäße der oberen Extremität

Die oberflächlichen Lymphbahnen verlaufen überwiegend parallel zu den epifaszialen Venen. Die tiefen Lymphgefäße ziehen entlang der tiefen Blutgefäße.

Die Lymphbahnen der Radialseite des Arms münden direkt in die Lymphknoten der Achselhöhle (Nodi lymphoidei axillares laterales). Auch die Lymphbahnen der Ulnarseite erreichen letztlich die axillären Lymphknoten, passieren jedoch größtenteils zuvor noch Lymphknoten in der Ellenbeuge (Nodi lymphoidei cubitales) und entlang der medialen Bizepsfurche (Nodi lymphoidei brachiales). Von den Nodi lymphoidei axillares laterales aus fließt die Lymphe in den Truncus subclavius ab, der links in den Ductus thoracicus, recht in den Ductus lymphaticus dexter drainiert.

Während der Abfluss in der Hand von palmar nach dorsal zieht, fließt die Lymphe am Arm eher von dorsodistal nach ventroproximal.

11.5 Wichtige Regionen der oberen Extremität

11.5.1 Achselhöhle (▶ Abb. 11.22)

Die Achselhöhle (Axilla) ist ein von Muskeln begrenzter, bindegewebiger Raum zwischen seitlicher Brustwand und Oberarm. Durch die Axilla verläuft der Gefäß-Nerven-Strang der oberen Extremität – und zwar so, dass er die Bewegung nicht beeinträchtigt und von Bewegungen nicht selbst beeinträchtigt wird. Zwischen den Bindegewebssträngen befinden sich zahlreiche Lymphknoten und Fettgewebe.

Begrenzungen der Achselhöhle sind:

- ventral: M. pectoralis major[3] (formt die Plica axillaris anterior), M. pectoralis minor[5],
- dorsal (von medial nach lateral): M. subscapularis[14], M. teres major[13], M. latissimus dorsi[12] (formt die Plica axillaris posterior),
- medial: M. serratus anterior[11],
- lateral: proximaler Humerusschaft, M. coracobrachialis[22], Caput breve des M. biceps brachii[21].

Die **Fascia axillaris** begrenzt die Achselhöhle bei abduziertem Arm nach lateral undkaudal. Durch den lockeren Aufbau der Achselhöhle steht die oberflächliche Faszie auch mit den tiefen Muskelfaszien und der **Fascia clavipectoralis** (tiefes Blatt der Fascia pectoralis, das auch den M. pectoralis minor und den M. subclavius umgibt) in Verbindung. Im Bereich der behaarten Achselhöhle ist die Fascia axillaris sehr dünn und durchbrochen (**Lamina cribrosa axillaris**), an den Rändern bindegewebig verstärkt.



Die **Fascia axillaris** ist bei abduziertem Arm straff gespannt. Diese Stellung wird zur Inspektion und bei Operationen verwendet. Bei adduziertem Arm ist die Faszie entspannt. Daher wird in dieser Stellung die Achselhöhle digital untersucht, z. B. auf vergrößerte Lymphknoten).

Durch das lockere Gewebe der Axilla können sich Entzündungen fast ungehindert in die umgebenden Gewebe (bis in das Mediastinum) ausbreiten.

pherer Hautnerven sind, und den **Segmentbezügen** zu den einzelnen Abschnitten des Rückenmarks (Dermatome).

Hautnerven des Unterarms. Der sensiblen Versorgung der Haut des dorsalen Unterarms dient proximal der **N. cutaneus antebrachii posterior**[14], ein Ast des N. radialis. Distal übernimmt ulnar der **R. dorsalis n. ulnaris**[15] und radial der **R. superficialis n. radialis**[10] die Hautinnervation.

Ventral gibt der N. musculocutaneus den **N. cutaneus antebrachii lateralis**[11] ab. Beide Nerven verlaufen zwischen M. brachialis und M. biceps brachii und queren knapp oberhalb der Ellenbeuge von medial nach lateral. An der medialen Seite liegt der eigenständige **N. cutaneus antebrachii medialis**[5] **.** Distal übernimmt kurz vor der Regio carpalis anterior der **R. palmaris n. ulnaris**[6] die ulnare, der **R. palmaris n. medianus**[9] die mittlere und der **R. superficialis n. radialis**[10] die radiale Versorgung der Haut.

Hautnerven der Hand. Auf der Dorsalseite der Hand verlaufen die Äste des **R. superficialis n. radialis**[10], die die radialen dreieinhalb Finger dorsal sensibel innervieren, sowie Äste des **R. dorsalis n. ulnaris**[15], welche den Kleinfinger und die ulnare Seite des Ringfingers versorgen. Palmar verlaufen jeweils ein **R. palmaris** des N. medianus[9] und des N. ulnaris[6] zur Handfläche. Die Finger werden auf der Palmarseite von tieferliegenden Ästen (Nn. digitales palmares proprii[7,8]) aus dem N. medianus (zweieinhalb Finger radial) und dem N. ulnaris (zweieinhalb Finger ulnar) innerviert.

11.4.4 Lymphgefäße der oberen Extremität

Die oberflächlichen Lymphbahnen verlaufen überwiegend parallel zu den epifaszialen Venen. Die tiefen Lymphgefäße ziehen entlang der tiefen Blutgefäße.

Die Lymphbahnen der Radialseite des Arms münden direkt in die Lymphknoten der Achselhöhle (Nodi lymphoidei axillares laterales). Auch die Lymphbahnen der Ulnarseite erreichen letztlich die axillären Lymphknoten, passieren jedoch größtenteils zuvor noch Lymphknoten in der Ellenbeuge (Nodi lymphoidei cubitales) und entlang der medialen Bizepsfurche (Nodi lymphoidei brachiales). Von den Nodi lymphoidei axillares laterales aus fließt die Lymphe in den Truncus subclavius ab, der links in den Ductus thoracicus, recht in den Ductus lymphaticus dexter drainiert.

Während der Abfluss in der Hand von palmar nach dorsal zieht, fließt die Lymphe am Arm eher von dorsodistal nach ventroproximal.

11.5 Wichtige Regionen der oberen Extremität

11.5.1 Achselhöhle (▶ Abb. 11.22)

Die Achselhöhle (Axilla) ist ein von Muskeln begrenzter, bindegewebiger Raum zwischen seitlicher Brustwand und Oberarm. Durch die Axilla verläuft der Gefäß-Nerven-Strang der oberen Extremität – und zwar so, dass er die Bewegung nicht beeinträchtigt und von Bewegungen nicht selbst beeinträchtigt wird. Zwischen den Bindegewebssträngen befinden sich zahlreiche Lymphknoten und Fettgewebe.

Begrenzungen der Achselhöhle sind:

- ventral: M. pectoralis major[3] (formt die Plica axillaris anterior), M. pectoralis minor[5],
- dorsal (von medial nach lateral): M. subscapularis[14], M. teres major[13], M. latissimus dorsi[12] (formt die Plica axillaris posterior),
- medial: M. serratus anterior[11],
- lateral: proximaler Humerusschaft, M. coracobrachialis[22], Caput breve des M. biceps brachii[21].

Die **Fascia axillaris** begrenzt die Achselhöhle bei abduziertem Arm nach lateral undkaudal. Durch den lockeren Aufbau der Achselhöhle steht die oberflächliche Faszie auch mit den tiefen Muskelfaszien und der **Fascia clavipectoralis** (tiefes Blatt der Fascia pectoralis, das auch den M. pectoralis minor und den M. subclavius umgibt) in Verbindung. Im Bereich der behaarten Achselhöhle ist die Fascia axillaris sehr dünn und durchbrochen (**Lamina cribrosa axillaris**), an den Rändern bindegewebig verstärkt.



Die **Fascia axillaris** ist bei abduziertem Arm straff gespannt. Diese Stellung wird zur Inspektion und bei Operationen verwendet. Bei adduziertem Arm ist die Faszie entspannt. Daher wird in dieser Stellung die Achselhöhle digital untersucht, z. B. auf vergrößerte Lymphknoten).

Durch das lockere Gewebe der Axilla können sich Entzündungen fast ungehindert in die umgebenden Gewebe (bis in das Mediastinum) ausbreiten.

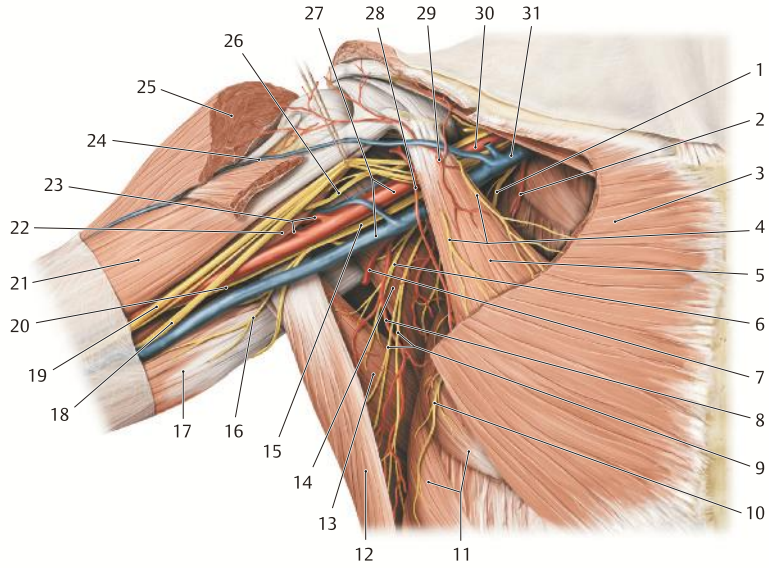


Abb. 11.22 Rechte Achselhöhle von ventral.

1 N. thoracicus longus
2 A. thoracica superior
3 M. pectoralis major
4 Nn. pectorales medialis und lateralis
5 M. pectoralis minor
6 N. subscapularis
7 A. circumflexa scapulae
8 A. thoracodorsalis
9 N. thoracodorsalis
10 N. thoracicus longus
11 M. serratus anterior
12 M. latissimus dorsi
13 M. teres maior
14 M. subscapularis
15 Fasciculus posterior
16 N. cutaneus brachii posterior
17 M. triceps brachii
18 N. ulnaris
19 N. medianus
20 N. radialis
21 M. biceps brachii
22 M. coracobrachialis
23 A. circumflexa humeri anterior und posterior
24 V. cephalica
25 M. deltoideus
26 N. musculocutaneus
27 A. und V. axillaris
28 A. thoracica lateralis
29 A. thoracoacromialis
30 A. subclavia
31 V. subclavia
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Im **Gefäß-Nerven-Strang** der Achselhöhle verlaufen die A. und V. axillaris[27], begleitende Lymphbahnen zu den tiefen axillären Lymphknoten und die Pars infraclavicularis des Plexus brachialis. Aus dem Plexus brachialis bilden sich in der mittleren Achselhöhle zunächst 3 Faszikel aus, die sich dann in ihre großen Endäste auflösen. Der N. medianus[19] entsteht dabei am weitesten distal.

11.5.2 Mediale und laterale Achsellücke (▶ Abb. 11.23)

Am Übergang von der Scapularegion zum Oberarm bilden sich die Achsellücken. Sie sind wichtige Durchtrittsstellen für Gefäße und Nerven aus der Axilla zum Oberarm:

- Die **mediale Achsellücke**[9] (Hiatus axillaris medialis) ist proximal vom M. teres minor, lateral

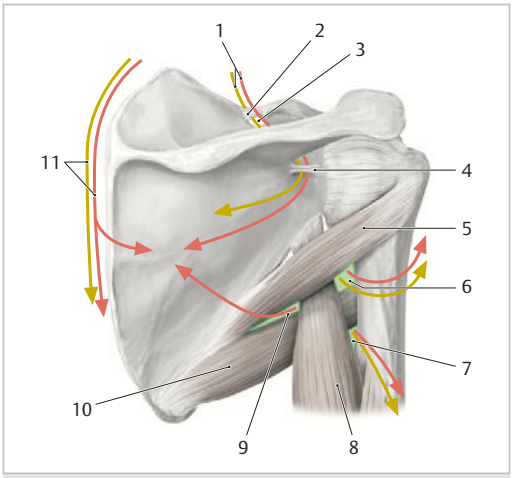


Abb. 11.23 Regio scapularis und Achsellücken der rechten Schulter.
1 A. suprascapularis, N. suprascapularis
2 Lig. transversum scapulae superius
3 Incisura scapulae
4 Lig. transversum scapulae inferius
5 M. teres minor
6 laterale Achsellücke: A. circumflexa humeri posterior, N. axillaris
7 Trizepsschlitz: A. profunda brachii, N. radialis
8 Caput longum des M. triceps brachii
9 mediale Achsellücke: A. circumflexa scapulae
10 M. teres major
11 A. dorsalis scapulae, N. dorsalis scapulae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

vom Caput longum des M. triceps brachii und kaudal vom M. teres major begrenzt. Durch sie zieht die **A. circumflexa scapulae**, die aus der A. subscapularis und damit letztlich aus der A. axillaris stammt, in die Fossa infraspinata an den Unterrand des M. infraspinatus. Begleitet wird die die Arterie von den Vv. circumflexae scapulae.

- Die **laterale Achsellücke**[6] (Hiatus axillaris lateralis) wird proximal vom M. teres minor, medial vom langen Kopf des M. triceps brachii, lateral vom Humerus, und distal vom M. teres major begrenzt. Der M. deltoideus überdeckt mit seiner Pars spinalis diese Lücke. Durch sie treten **A.** und **Vv. circumflexae humeri posteriores** und der **N. axillaris** zum Collum chirurgicum des Humerus.

11.5.3 Trizepsschlitz

Am proximalen Oberarm bildet sich zwischen dem M. teres major, dem Caput longum sowie dem Caput laterale und mediale des M. triceps brachii der **Trizepsschlitz** (▶ **Abb. 11.23**[7]). Hier ziehen die **A. profunda brachii** aus der A. brachialis und der **N. radialis** von ventral auf die dorsale Oberarmseite, um dann im **Sulcus n. radialis** direkt auf dem Humerus und unter dessen Caput laterale nach lateral und distal zu gelangen.

11.5.4 Ellenbeuge (▶ Abb. 11.24)

Begrenzungen der Ellenbeuge (Fossa cubitalis) sind:

- proximal: M. biceps brachii[2],
- ulnar: M. pronator teres[6] und die vom Epicondylus medialis humeri entspringenden Beuger,
- radial: M. brachioradialis[18] und die vom Epicondylus lateralis humeri entspringenden Strecker,
- distal: ulnar M. pronator teres, radial M. supinator[10];
- dorsal: M. brachialis[20].

Der große Gefäß-Nerven-Strang der Ellenbeuge besteht aus A. brachialis[3], Vv. brachiales, tiefen Lymphbahnen von den Lymphknoten des Ellenbogens zur Axilla und dem N. medianus[5]. Er zieht aus der medialen Oberarmfurche in die auf der Beugerseite liegende Ellenbeuge.

Am distalen Humerus kann sich selten (0,7 % der Menschen) ein **Processus supracondylaris** ausbilden. Dies ist das Rudiment eines Canalis supracondylaris bei einfacheren Vertebraten, der über einen bindegewebigen Faserzug (**„Struthers' ligament"**) mit dem Epicondylus medialis verbunden ist. Die A. brachialis und der N. medianus ziehen durch diesen osteofibrösen Kanal und können dabei komprimiert werden mit der Folge von Durchblutungsstörungen und Ausfällen des N. medianus.

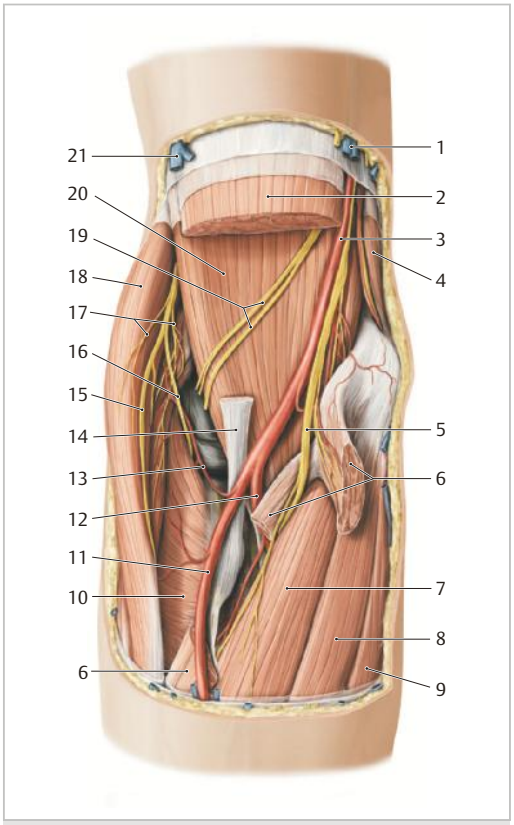


Abb. 11.24 Ellenbeuge des rechten Arms. Faszien, epifasziale Leitungsbahnen, der distale Bauch des M. biceps brachii und ein Teil des M. pronator teres sind entfernt. Ansicht von ventral.

1 V. basilica
2 M. biceps brachii
3 A. brachialis
4 M. triceps brachii
5 N. medianus
6 M. pronator teres
7 M. flexor carpi radialis
8 M. palmaris longus
9 M. flexor carpi ulnaris
10 M. supinator
11 A. radialis
12 A. ulnaris
13 A. recurrens radialis
14 Sehne des M. biceps brachii
15 R. superficialis des N. radialis
16 R. profundus des N. radialis
17 Rr. musculares des N. radialis
18 M. brachioradialis
19 N. musculocutaneus
20 M. brachialis
21 V. cephalica

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

11

11.5.5 Karpaltunnel

Palmar liegt an der Handwurzel das **Retinaculum flexorum**, das den Karpaltunnel (s. u. und ▶ **Abb. 11.15**) überdeckt. Oberhalb der straffen, bindegewebigen Platte liegt radial neben der Sehne des M. flexor carpi radialis die **A. radialis**, die dort einen R. palmaris superficialis als Verbindung zum Arcus palmaris superficialis abgibt.

Begrenzungen des **Karpaltunnels** sind:

- palmares Dach: Retinaculum flexorum,
- dorsaler Boden (von ulnar nach radial): Os hamatum, Os capitatum, Os trapezoideum und Ligamenta intercarpalia palmaria,
- ulnarer Rand: Os pisiforme, Os triquetrum,
- radialer Rand: Os scaphoideum, Os trapezium.

Durch den Karpaltunnel ziehen die von einer gemeinsamen Sehnenscheide umgebenen 8 Sehnen der Fingerbeuger (M. flexor digitorum superficialis et profundus, s. ▶ **Abb. 11.9b**) und die eigenständig eingescheidete Sehne des M. flexor pollicis longus sowie der **N. medianus**. Dieser hat einen variabel abgehenden Zweig für die Thenarmuskulatur (**R. muscularis thenaris**): Bei knapp der Hälfte aller Menschen zweigt er distal des Retinaculum flexorum ab, etwa 30 % haben die Abzweigung unter dem Band und bei knapp 25 % aller Menschen durchbohrt der Ast das Band. Der N. medianus ist distal dieses Nervenabgangs bis auf 2 kleine Äste für die Mm. lumbricales I und II (**Rr. musculares**) ein somatosensibler Nerv (**Nn. digitales palmares**).

Die Sehne des M. flexor carpi radialis zieht durch eine Rinne im Os trapezoideum unter dem Retinaculum flexorum durch, verläuft also nicht durch den Karpaltunnel. Auch die Sehne des M. flexor carpi ulnaris verläuft außerhalb des Karpaltunnels.

Karpaltunnelsyndrom: Bei Reizung oder Kompression des N. medianus kommt es zu typischen Sensibilitätsstörungen (Parästhesien und Dysästhesien), gelegentlich auch zu Ausfällen der Daumenmuskeln (Thenarathrophie). Hierbei sind besonders die Opposition und Abduktion des Daumens betroffen (positives Flaschenzeichen: eine Flasche kann nicht mehr gegriffen und angehoben werden).

Bei der Operation eines Karpaltunnelsyndroms (Spaltung des Retinaculum flexorum) muss besonders darauf geachtet werden, den **R. muscularis thenaris** nicht zu verletzen.

11.5.6 Guyon-Loge (▶ Abb. 11.25)

Ulnar findet sich am Handgelenk oberhalb des Retinaculum flexorum die **Guyon-Loge**, durch die A. und N. ulnaris ziehen.

Begrenzungen der Guyon-Loge sind:

- palmares Dach (von proximal nach distal): Lig. carpi palmare[4], subkutanes Fettgewebe, M. palmaris brevis[12],
- dorsaler Boden: Retinaculum flexorum[13], Lig. pisohamatum,
- ulnarer Rand: Os pisiforme[9],
- radialer Rand: Sehne des M. palmaris longus[5], Hamulus ossis hamati[11].

Auf Höhe des Os pisiforme geben **A.** und **N. ulnaris** jeweils einen **R. profundus**[3] ab. Der arterielle Ast anastomosiert mit dem Arcus palmaris profundus, der Nervenast versorgt einen Großteil der kurzen Handmuskeln (Hypothenarmuskulatur, Mm. interossei, Mm. lumbricales III und IV, M. adductor pollicis, Caput profundum des M. flexor pollicis brevis). Der weiter durch die Guyon-Loge ziehende Anteil des N. ulnaris (**R. superficialis**[10]) hat nur noch einen kleinen **R. muscularis** für den M. palmaris brevis und ist sonst ein somatosensibler Nerv (**Nn. digitales palmares**).

Guyon-Logen-Syndrom : Chronische Druckeinwirkung (z. B. unergonomische Computerbedienung) führt zu einer N.-ulnaris-Läsion in dessen mittlerem Verlauf mit Sensibilitätsstörungen und Ausfall der kurzen Handmuskeln (Krallenhand). Ohne Sensibilitätsstörungen muss man an eine distale Läsion denken (Kompression des R. profundus in der Hohlhand, z. B. bei Bedienung eines Presslufthammers).

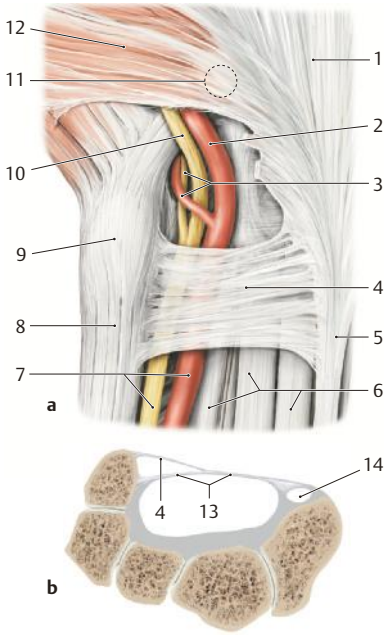


Abb. 11.25 Guyon-Loge rechte Hand **a** Ansicht von palmar. **b** Querschnitt durch den proximalen Anteil des Sculcus carpi.

1 Palmaraponeurose
2 R. superficialis der A. ulnaris
3 A. ulnaris und R. profundus des N. ulnaris
4 Lig. carpi palmare
5 M. palmaris longus
6 M. flexor digitorum superficialis
7 A. und N. ulnaris
8 M. flexor carpi ulnaris
9 Os pisiforme
10 R. superficialis des N. ulnaris
11 Hamulus ossis hamati
12 M. palmaris brevis
13 Retinaculum musculorum flexorum
14 Durchtrittsstelle M. flexor carpi radialis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Teil 3

Brust-, Bauch- und Beckeneingeweide

12 Embryonalentwicklung der serösen Höhlen *206*

13 Brusteingeweide *216*

14 Baucheingeweide *254*

15 Beckeneingeweide und äußere Geschlechtsorgane *313*

12 Embryonalentwicklung der serösen Höhlen

Joachim Kirsch

Die intraembryonale **Zölomhöhle** steht ursprünglich in kontinuierlicher Verbindung mit dem extraembryonalen Zölom (Chorionhöhle). Im Verlauf der kraniokaudalen **Krümmung** und lateralen **Abfaltung** des Embryos geht diese Verbindung jedoch verloren, sodass gegen Ende der 4. Entwicklungswoche eine in sich geschlossene, einheitliche **Zölomhöhle** entstanden ist, die vom Darmrohr durchzogen wird.

Durch die Ausbildung der Pleuroperikardialfalten wird der thorakale Anteil der Zölomhöhle in eine *Perikard-* und 2 nicht kommunizierende *Pleurahöhlen* unterteilt. Die Entwicklung des **Zwerchfells** aus dem **Septum transversum** und den **Pleuroperitonealfalten** trennt die *Abdominalhöhle* ab.

12.1 Unterteilung der Zölomhöhle

12.1.1 Entstehung der Perikard- und Pleurahöhlen (▶ Abb. 12.1)

Am Ende der 3. Entwicklungswoche gliedert sich das *intraembryonale Mesoderm* in das **paraxiale Mesoderm**, das **intermediäre** und das **Seitenplattenmesoderm** (S. 74). In Letzterem treten zahlreiche Spalten auf, die das Seitenplattenmesoderm in die dem Endodermrohr anliegende **Splanchnopleura** (viszerales Mesoderm) und die wandständige **Somatopleura** (parietales Mesoderm) aufspalten. Aus der Splanchnopleura entsteht die *Pleura visceralis*, während aus der Somatopleura die *Pleura parietalis* wird.

Diese Unterteilung in Splanchno- und Somatopleura unterbleibt im Seitenplattenmesoderm zwischen Herz- und Leberanlage. Hier wächst von ventral eine dicke Mesenchymplatte, das **Septum transversum**[7], in das Zölom ein. Die Unterteilung bleibt zunächst unvollständig, da die Anlagen von Pleura- und Peritonealhöhle durch die paarig angelegten **Canales pericardioperitoneales**[1] (Zölomkanäle) miteinander verbunden bleiben. In die Zölomkanäle wachsen von mediodorsal die Lungenknospen[10] vor, die sich rasch nach kaudal und lateral und schließlich nach dorsal, lateral und ventral ausdehnen. Die Ausdehnung der Lungen führt zugleich zu einer Verlagerung der Lungenwurzel nach medial und ventral. Beide Vorgänge führen zu einer Einengung der Zölomkanäle. Zugleich wachsen von lateral die paarig angelegten **Plicae pleuropericardiales**[17] (Pleuroperikardialfalten) vor. Die ursprünglich dünnen Leisten enthalten je eine **V. cardinalis**[16] und einen **N. phrenicus**[18]. Beide Falten begrenzen von lateral den *Hiatus pleuropericardialis*[15], eine offene Verbindung zwischen Pleura- und Perikardhöhle. Mit Erreichen der Mittellinie verschmelzen beide Falten zur **Pleuroperikardialmembran**[24], die im oberen Teil der Zölomhöhle, der zukünftigen Brusthöhle, die Perikard- von den Pleurahöhlen abgrenzt. Rechte und linke V. cardinalis verschmelzen dabei zur V. cava superior[23]. Beim Erwachsenen entspricht die Pleuroperikardialmembran dem **Pericardium fibrosum** (S. 244). Durch weiteres Wachstum der Lungen nach ventral wird die Perikardhöhle schließlich von der ventralen Rumpfwand abgedrängt und gelangt in das *mittlere Mediastinum*. Das Herz entwickelt sich zeitgleich mit den oben beschriebenen Vorgängen in der Perikardhöhle.

12.1.2 Entwicklung des Zwerchfells (▶ Abb. 12.2)

Auch nach der Abgrenzung der Perikard- von den Pleurahöhlen bleibt über die *Canales pericardioperitoneales* eine kontinuierliche Verbindung zwischen Pleura- und Peritonealhöhle erhalten. Diese wird jedoch durch das Vorwachsen des **Septum transversum**[9] sowie durch das Wachstum von Leber und Urniere immer weiter eingeengt. Aus der dorsolateralen Rumpfwand wachsen außerdem beidseits die sichelförmigen **Plicae pleuroperitoneales**[2] (Pleuroperitonealfalten) auf das Septum transversum und kaudal auf das dorsale Meso[3] des Oesophagus zu. Etwa in der 7., spätestens in der 8. Entwicklungswoche verschmelzen die *Pleuroperitonealfalten* mit dem *Meso des Oesophagus* und dem *Septum transversum*. Damit wird der thoraka-

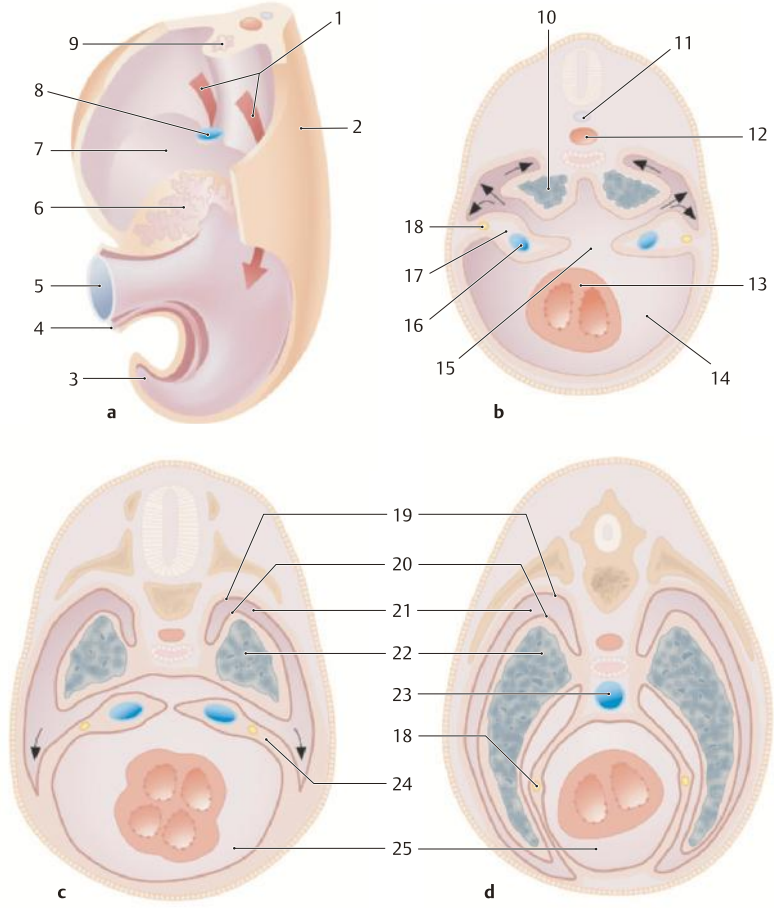


Abb. 12.1 Embryonalentwicklung der Perikard- und Pleurahöhlen. a Ansicht von links vorne auf einen 5 Wochen alten Embryo. Der kraniale Teil und die ventrale Rumpfwand sind entfernt. Pfeile in den Zölomkanälen. **b–d** Transversalschnitt durch einen 5 Wochen (b), 6 Wochen (c) bzw. 7–8 Wochen (d) alten Embryo auf Höhe der Perikardhöhle. Die Pfeile in b und c bezeichnen die Hauptwachstumsrichtungen der Lungen.

1 Perikardioperitonealkanäle (Zölomkanäle)
2 Rumpfwand
3 Kloake
4 Allantois
5 Ductus omphaloentericus
6 Leberbälkchen
7 Septum transversum
8 Sinus venosus
9 Vorderdarm
10 Lungenknospe
11 Chorda dorsalis
12 Aorta
13 Herz
14 primitive Perikardhöhle
15 Hiatus pleuropericardialis
16 Stamm der Kardinalvenen
17 Pleuroperikardialfalte
18 N. phrenicus
19 Pleura parietalis
20 Pleura visceralis
21 Pleurahöhle
22 Lunge
23 V. cava superior
24 Pleuroperikardialmembran
25 Perikardhöhle

(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2014)

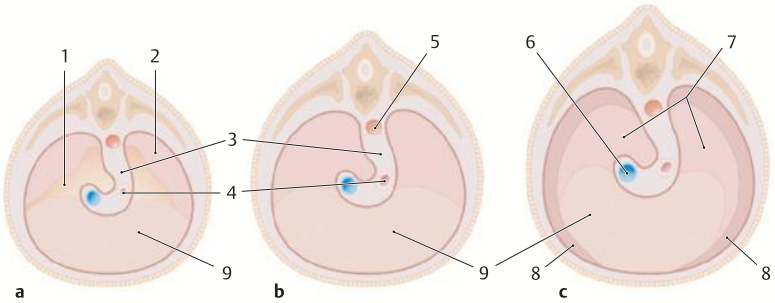


Abb. 12.2 Entstehung des Zwerchfells. Transversalschnitt durch einen 6 Wochen (**a**), 7 Wochen (**b**) und 4 Monate alten Embryo (**c**).

1 Perikardioperitonealkanal
2 Pleuroperitonealfalte
3 Meso des Oesophagus
4 Oesophagus
5 Aorta
6 V. cava inferior
7 Pleuroperitonealfalte
8 einwachsende Muskulatur aus der Rumpfwand
9 Septum transversum
(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2014)

le Anteil der Zölomhöhle gegen die Abdominalhöhle vollständig verschlossen. Infolge der Vergrößerung der Pleurahöhlen werden die Pleuroperitonealmembranen[7] in der Peripherie noch zusätzlich vergrößert. Ab diesem Zeitpunkt beginnt die Besiedlung mit myogenen Vorläuferzellen der lateralen und dorsalen Körperwand. Die Muskulatur im medialen Bereich des definitiven Zwerchfells (Crura medialia und lateralia) stammt vom Mesenchym der Oesophagusanlage bzw. dem perivaskulären Mesenchym ab. Das *Septum transversum* wird zum **Centrum tendineum.**

Das Septum transversum bildet sich in Höhe der *zervikalen Somiten*. Daher wachsen Fortsätze des 3.–5. Spinalnervs in das Septum ein. Sie schließen sich später zum **N. phrenicus** zusammen, der in den *Plicae pleuropericardiales* nach kaudal zieht. Die Anteile des Zwerchfells, die sich von der lateralen und dorsalen Rumpfwand herleiten, werden von den entsprechenden **Interkostalnerven** innerviert. Das stärkere Wachstum der dorsal gelegenen Achsenorgane (sich entwickelnde Wirbelsäule, Rückenmuskulatur) verursacht den **Deszensus des Zwerchfells**, dessen Vorläuferstruktur in der 4. Entwicklungswoche in Höhe der zervikalen Somiten liegt, aber bereits in der 6. Woche bis zu den thorakalen Somiten herabreicht. Zu Beginn des 3. Monats liegen die dorsalen Zwerchfellanteile in Höhe des 1. Lumbalwirbels.

Unterbleibt der vollständige Verschluss der Canales pleuroperitoneales durch die Pleuroperitonealfalten, entsteht ein angeborener Zwerchfelldefekt (85–90 % auf der linken Seite). Da in diesem Fall (linke) Pleura- und die Peritonealhöhle an der dorsalen Rumpfwand ineinander übergehen, können durch den höheren Druck im Bauchraum Bauchorgane in die Pleurahöhle gelangen (**Bochdalek-Hernie**). Diese komprimiert die (linke) meist hypoplastische Lunge und drängt das Herz nach ventral. Selbst nach operativer Rückverlagerung der Bauchorgane nach der Geburt erholt sich die Lunge davon meist nicht vollständig. Ein großer Zwerchfelldefekt geht mit einer hohen Mortalität einher. Die Reposition des physiologischen Nabelbruchs ist bei einem angeborenen Zwerchfelldefekt verzögert.

12.2 Bauchhöhle und Becken

12.2.1 Entwicklung der Peritonealverhältnisse

Die starke Längenausdehnung des Embryos lässt zusammen mit seiner *kraniokaudalen Krümmung* und *lateralen Abfaltung* einen intraembryonalen und zwei extraembryonale Teile des von *Endoderm* umschlossenen Raums entstehen. Die kranialen bzw. kaudalen blindsackartigen Ausstülpungen des intraembryonalen Anteils des Dottersacks werden **Vorder-** bzw. **Enddarm** genannt. Der Vorderdarm ist gegen die Amnionhöhle durch die **Buccopharyngealmembran** verschlossen, der Hinterdarm durch die **Kloakenmembran**. Der dazwischen liegende **Mitteldarm** kommuniziert zunächst über eine weitlumige Verbindung, den **Dottergang** (**Ductus vitellinus** oder **Ductus omphaloentericus**), mit dem extraembryonal gelegenen **Dottersack** (s. ▶ **Abb. 7.1**). Insbesondere durch die laterale Abfaltung wird dieser Verbindungskanal jedoch zunehmend eingeengt, sodass nur eine stielförmige Verbindung („**Dottersackstiel**") bleibt. Durch Abfaltung und Krümmung nähern sich der **Haftstiel** (mit den Vorläufern der Umbilikalgefäße) und Dottersackstiel auf der Ventralseite des Embryos einander an. Schließlich werden beide im **Nabelring** zusammengefasst.

Die regionale Spezifizierung des Mitteldarms ist zunächst unabhängig von Interaktionen mit der lokalen Splanchnopleura, muss aber durch lokale Interaktionen von Endo- und Mesoderm gefestigt werden. Hieran sind Gene beteiligt, welche die Identität von Körperabschnitten kodieren (z. B. Sonic hedgehog und Hox).

Innerhalb der Abdominalhöhle differenzieren sich die einzelnen Abschnitte des primitiven Gastrointestinaltrakts mit unterschiedlicher Wachstumsgeschwindigkeit. Da der Mitteldarm rasch wächst, werden zahlreiche Darmschlingen vorübergehend im extraembryonalen *Nabelzölom* gelagert. Diese Auslagerung beginnt in der 6. Entwicklungswoche und wird als **physiologischer Nabelbruch** bezeichnet. Die ausgelagerten Darmschlingen differenzieren sich im Nabelzölom und werden nach etwa 4 Wochen wieder in die Peritonealhöhle zurückverlagert.

An den oberen Abschnitten des Mitteldarms (unterer Oesophagus, Magen und oberes Duodenum), also *kaudal* des Septum transversum, entstehen ein primitives **Mesenterium dorsale** und **ventrale** (▶ **Abb. 12.3**). Sie verbinden das obere Darmrohr mit der Vorder- und Rückwand der primitiven Peritonealhöhle. Im Verlauf der Entwicklung verschmälern sich die Mesenterien zu dünnen, sagittal gestellten Mesenchymplatten. An den unteren Abschnitten entwickelt sich lediglich ein **Mesenterium dorsale**. Während die Mesenterien den kranialen Anteil der Peritonealhöhle in eine *rechte* und *linke Seite* unterteilen, entsteht kaudal eine *einheitliche* Körperhöhle, in die das am *Mesenterium dorsale* befestigte Darmrohr hinein ragt.

Wie die Thorakalhöhle wird auch die Abdominalhöhle von der wandständigen *Somatopleura* und medial über dem Endodermrohr von der *Splanchnopleura* ausgekleidet. Aus diesen entwickelt sich das **viszerale** und das primär **parietale Peritoneum**.

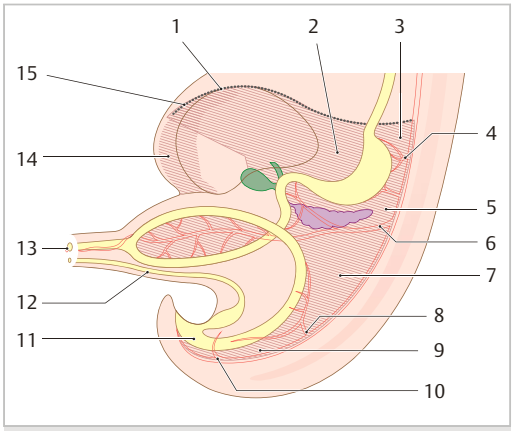


Abb. 12.3 Primitives ventrales und dorsales Mesenterium.
1 Area nuda der Leber
2 Omentum minus
3 dorsales Mesogastrium
4 Truncus coeliacus
5 dorsales Mesoduodenum
6 A. mesenterica superior
7 Mesenterium der Nabelschleife
8 A. mesenetrica inferior
9 dorsales Mesocolon
10 A. umbilicalis
11 Kloake
12 Allantois
13 Ductus vitellinus
14 Lig. falciforme hepatis
15 Zwerchfell

12.2.2 Entwicklung des Oberbauchsitus

Magendrehungen (▶ Abb. 12.4)

Im Bereich des Magens kommt es in dem ursprünglich in der Medianosagittalebene stehenden Endodermrohr zunächst zu einer *spindelförmigen Aussackung*. Seine endgültige Gestalt erhält der Magen durch 2 gleichzeitig ablaufende **Drehbewegungen**, die von dem Wachstum des Organs begleitet und unterstützt werden:

- Einerseits kommt es zu einer **90°-Drehung** im Uhrzeigersinn (von oben betrachtet) um die **Längsachse** des geweiteten Endodermrohrs. Hierdurch gelangt die ursprünglich *rechte Magenwand* nach *dorsal* und die ursprünglich *linke Magenwand* nach *ventral*. Das *dorsale* und *ventrale Mesogastrium* wird hierdurch in die Frontalebene verlagert.
- Bei der 2. Komponente handelt es sich ebenfalls um eine Drehung um **90°** im Uhrzeigersinn (von vorn betrachtet) diesmal aber um eine **Sagittalachse** (anteroposteriore Achse). Diese Drehung verlagert die *Kardia* auf die *linke*, den *Pylorus* auf die *rechte Körperseite*.

Peritonealverhältnisse (▶ Abb. 12.5)

Zwischen dem 22. und 24. Tag bilden sich in dem als **hepatopancreatischer Ring**[6] bezeichneten Darmabschnitt, aus dem das Duodenum hervorgehen wird, Endodermaussprossungen in das *Mesenterium ventrale* (Mesogastrium ventrale[13]) und in das Septum transversum. Aus diesen gehen nach ventral die **Leberanlage**[12] und die Anlage des Processus uncinatus des **Pancreaskopfes** (ventrale Pancreasanlage[7]) hervor. In den Aussprossungen in das *Mesenterium dorsale* (Mesogastrium dorsale[4]) entwickeln sich die Anlage für die **Milz** und dorsal davon die Anlage für **Caput** und **Cauda pancreatis**[5] (dorsale Pancreasanlage).

Die Teile der Leberanlage, die verstärkt in das Septum transversum einwachsen, werden zur **Area nuda**. Die Verbindung zur vorderen Bauchwand („Mesohepaticum ventrale“[11]) wird durch das enorme Wachstum der Leber stark reduziert. Aus diesem Teil des *Mesogastrium ventrale* entstehen die **Ligg. triangularia**, die sich nach ventral zum **Lig. falciforme hepatis**[22] vereinen. Im *Mesohepaticum ventrale* verläuft der **Ductus venosus Arantii**, der oxygeniertes Blut an der Leber vorbei in die V. cava inferior führt. Er obliteriert nach der Geburt zum **Lig. venosum**.

Der dorsal der sich entwickelnden Leber gelegene Teil des Mesogastrium ventrale („Mesohepaticum dorsale“[13]) wird durch das Wachstum der Leber und die Magendrehungen (s. o.) nach rechts verlagert. Dadurch gelangt dieses Meso aus der ursprünglich sagittalen Stellung nun in die Frontalebene und bildet später mit seinen Anteilen **Lig. hepatoduodenale** und **Lig. hepatogastricum** das **Omentum minus**[23] und damit die Vorderwand der Bursa omentalis (s. u.).

Die gleichen Vorgänge führen zu einer Verlagerung des **Mesogastrium dorsale**[4] nach links, wo es ebenfalls in die Frontalebene gelangt und zum Teil mit der dorsalen Bauchwand verwächst. Hierdurch entsteht einerseits „hinter“ dem Magen ein Hohlraum, die **Bursa omentalis**, andererseits gelangt die ursprünglich in der Medianlinie liegende, sagittal gestellte **dorsale Pancreasanlage**[5] auf der linken Körperseite ebenfalls in die Frontalebene. Da sich das Mesogastrium dorsale im Bereich der Milzanlage nach ventral wendet, bleibt die **Milz**[16] *intraperitoneal*, während das viszerale Peritoneum der Pancreashinterseite mit dem Peritoneum parietale der dorsalen Rumpfwand verwächst. Hier-

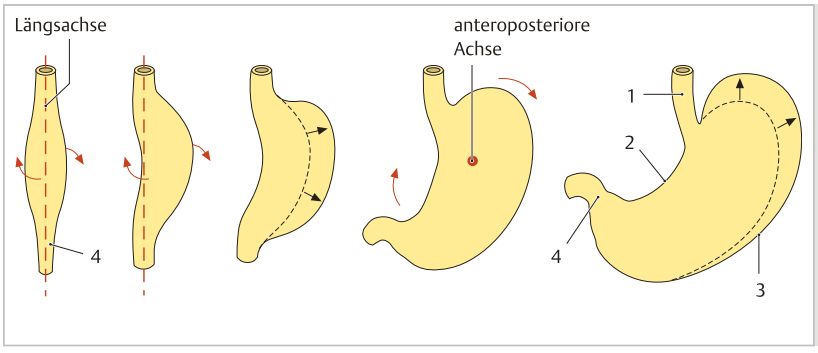


Abb. 12.4 Magendrehungen. Rote Pfeile bezeichnen die Drehrichtungen.
1 Oesophagus
2 kleine Kurvatur
3 große Kurvatur
4 Pylorus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

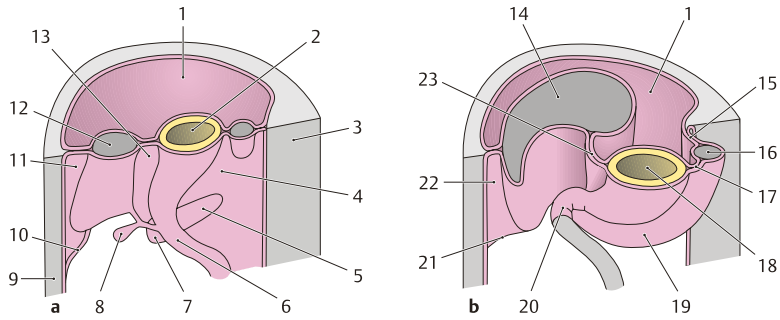


Abb. 12.5 Entwicklung der Peritonealverhältnisse im Oberbauch. Linke Rumpfwand entfernt. Ansicht von kranial und links. **a** 5., **b** 11. Entwicklungswoche.

1 Peritoneum parietale
2 Anlage des Magens
3 Spatium retroperitoneale
4 Mesogastrium dorsale
5 dorsale Pancreasanlage
6 Anlage des Duodenum
7 ventrale Anlage des Pancreas
8 Anlage der Gallenblase
9 ventrale Rumpfwand
10 Ductus venosus
11 Mesohepaticum ventrale (Lig. falciforme hepatis)
12 Leberanlage
13 Mesohepaticum dorsale
14 Leber
15 Lig. splenorenale
16 Milz
17 Lig. gastrosplenicum
18 Magen
19 Omentum majus
20 Duodenum
21 Lig. teres hepatis
22 Lig. falciforme hepatis
23 Lig. hepatogastrium und Lig. hepatoduodenale (werden zum Omentum minus)

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

durch gelangt das **Pancreas** in eine *sekundär retroperitoneale* Lage. Die nicht mit der Bauchwand verwachsenen Anteile des Mesogastrium dorsale werden zum **Lig. gastrosplenicum**[17], **Lig. gastrophrenicum** und **Lig. splenorenale**[15]. Der größte Teil jedoch weitet sich sackartig und legt sich schließlich als **Omentum majus**[19] über das Colon transversum und die Dünndarmschlingen. Der Teil des Mesogastrium dorsale zwischen großer Kurvatur und Taenia omentalis des Colon transversum wird **Lig. gastrocolicum** genannt. Meist verschmelzen die beiden Blätter des Omentum majus miteinander.

Während dieser Vorgänge gelangt das Duodenum[20] auf die rechte Körperseite. Als Achse für diese Drehbewegungen können die **A. vitellina superior** und die **V. vitellina** angesehen werden, aus denen die **A. und V. mesenterica superior** werden. Auch in diesem Bereich verschmilzt das Mesogastrium dorsale mit der hinteren Bauchwand, sodass das **Duodenum** ebenfalls in eine **sekundär retroperitoneale** Lage kommt.

12.2.3 Leber

Parenchym

Aus dem *hepatopankreatischen Ring* der Duodenalanlage sprossen ab einem Embryonalstadium mit 7 Somiten epitheliale Endodermzellen in das Mesogastrium ventrale und das Septum transversum aus („Leberdivertikel"). Aus dem unteren Abschnitt der Leberanlage gehen die **Gallenblase** und der **Ductus cysticus** hervor, während sich aus dem oberen Abschnitt das **Leberparenchym** und die **übrigen Gallenwege** entwickeln. Die Zellen der Leberanlage ordnen sich zu Bälkchen und Platten an, die weitläufige mit Blut gefüllte **Sinus** umgeben. Aus den Zellen der Sinuswände gehen Zellinseln von **hämatopoetisch aktivem Gewebe** hervor. Die Blutbildung in der Leber erreicht im 6.–7. Schwangerschaftsmonat ihren Höhepunkt. Sie wird bis zur Geburt fast vollständig zurückgebildet.

Gefäßsystem

Die Leberanlage umwächst die beiden Vv. vitellinae, die 2 Anastomosen vor und eine hinter dem Darmrohr bilden. Die mit Blut gefüllten Sinus der Leber werden an dieses venöse System angeschlossen. Links des Duodenums entsteht durch Obliteration aus diesen Anastomosen ein einheitlicher zuführender Venenstamm, die **V. mesenterica superior**, eines der Quellgefäße der späteren **V. portae**. Die intrahepatischen Blutgefäße, die das Blut zum Herzen führen, werden **Vv. efferentes hepatis** genannt. Aus ihnen entwickeln sich die **Vv. hepaticae**.

In den beiden **Vv. umbilicales**, die rechts und links der Leberanlage verlaufen, fließt Blut, das in der Plazenta mit *Sauerstoff* und *Nährstoffen* beladen wurde. Die linke V. umbilicalis erlangt Anschluss an das Sinussystem der Leber, während die rechte zurückgebildet wird. Dies würde dazu führen, dass das gesamte in der Plazenta arterialisierte Blut in die Leber geführt wird. Durch Umbau des intrahepatischen Gefäßsystems wird dieses Blut jedoch unmittelbar in die rechten *Vv. efferentes hepatis* und von dort über die V. cava inferior in das rechte Atrium des Herzens geführt. Dieser „Kurzschluss" wird **Ductus venosus Arantii** genannt. Nach der Geburt obliteriert die *V. umbilicalis* zum (auch beim Erwachsenen meist offenen) Lig. teres hepatis. Der Ductus venosus obliteriert postnatal zum **Lig. venosum** zwischen Leberpforte und V. cava inferior.

12

12.2.4 Pancreas

Parenchym

Auch das *Pancreas* entsteht aus einer Aussprossung des *hepatopankreatischen Rings*. Die größere **dorsale Anlage** wächst in das *Mesogastrium dorsale* hinein, während die kleinere **ventrale Anlage** in der Nähe des *Ductus choledochus* entsteht. Im weiteren Verlauf wandert die ventrale Anlage um das Endodermrohr nach dorsal und kommt etwas kaudal der dorsalen Anlage zu liegen. Aus der ventralen Anlage bildet sich der untere Teil des *Pancreaskopfes* und der *Processus uncinatus*. Aus der dorsalen Anlage entwickeln sich der obere Teil des *Pancreaskopfes* und die *Cauda pancreatis*. Die Ausführungsgänge beider Anlagen münden zunächst unabhängig voneinander in das Duodenum. Mit dem Verschmelzen der Anlagen bildet sich aus dem *Ausführungsgang* der *ventralen Anlage* und dem lateralen Teil des Ausführungsgangs der *dorsalen Anlage* ein einheitlicher Ausführungsgang, der spätere **Ductus pancreaticus major**. Der kleinere **Ductus pancreaticus minor** ist ein Überrest des Ausführungsgangs der *dorsalen Anlage*. Er kann fehlen.

Exo- und endokriner Teil

Das **Drüsenepithel** des Pancreas entsteht unmittelbar aus dem **Darmepithel**. Ab der 12. Woche kann man das **Epithel der Ausführungsgänge** unterscheiden. Von diesen leiten sich auch die unterschiedlichen Zellen der Langerhans-Inseln ab. Sie bilden zunächst Gewebezapfen, die sich zu Zellinseln zusammenschließen. Im embryonalen Pancreas sind endo- und exokrine Anteile etwa zu gleichen Teilen vertreten.

12.2.5 Entwicklung des Unterbauchsitus

Nabelschleife und Darmdrehung (▶ Abb. 12.6)

Aboral des Duodenums wird das Darmrohr ausschließlich vom dorsalen Mesenterium in einer medianen Sagittalstellung gehalten. Im Bereich der Abzweigung der *A. vitellina superior* (spätere A. mesenterica superior) von der Aorta kommt es zu einem starken *Längenwachstum des Darmrohrs* und des zugehörigen Mesenteriums. Es bildet sich eine Darmschlinge, die **Nabelschleife** genannt wird (▶ Abb. 12.6a). Diese wird für etwa 4 Wochen aus der Peritonealhöhle hinaus in das extraembryonale Nabelzölom verlagert. Die Auslagerung der Nabelschleife wird als **physiologischer Nabelbruch** bezeichnet. Der Nabelschleife folgen zahlreiche weitere, durch starkes Längenwachstum entstandene Darmschlingen. Der physiologische Nabelbruch bleibt bis zu einer Scheitel-Steiß-Länge des Embryos von 40 mm (10. Woche) bestehen. An ihrem Scheitelpunkt ist die Nabelschleife über den **Ductus omphaloentericus**[5] (Ductus vitellinus) mit dem Dottersack verbunden.

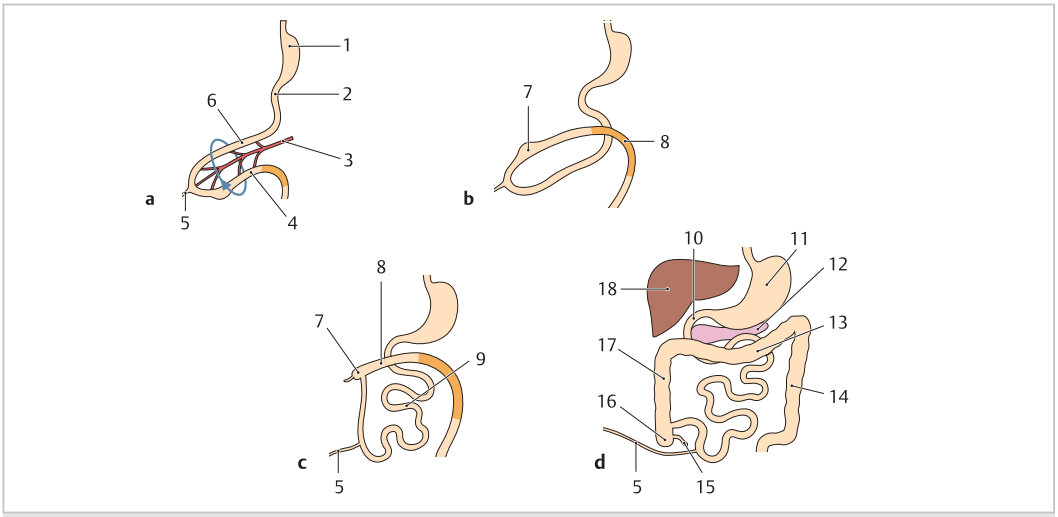


Abb. 12.6 Darmdrehung zwischen der 5. und 11. Entwicklungswoche. a und **b** Drehung der Nabelschleife, Ansicht von links ventral. **c** Das Zäkum liegt im rechten Oberbauch, der Dünndarm bildet zahlreiche Schlingen; Ansicht von ventral. **d** Situation nach Abschluss der Drehung, Ansicht von ventral. Primäre Colonflexur farbig markiert.

1 Anlage des Magens
2 Anlage des Duodenums
3 A. vitellina
4 aboraler Schenkel der Nabelschleife
5 Ductus omphaloentericus
6 oraler Schenkel der Nabelschleife
7 Zäkumanlage
8 Anlage des Colon transversum
9 Jejunum und Ileum
10 Duodenum
11 Magen
12 Pancreas
13 Colon transversum
14 Colon descendens
15 Appendix vermiformis
16 Caecum
17 Colon ascendens
18 Leber
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)



Bei unvollständiger Rückbildung des Ductus omphaloentericus kann als Relikt beim Erwachsenen im Ileum etwa 50–70 cm oral der *Valva ileocaecalis* ein **Meckel-Divertikel** vorkommen. Meist handelt es sich hierbei um eine Ausbuchtung der Ileumwand, die über einen fibrösen Strang mit dem Nabel verbunden ist. Gelegentlich persistiert auch ein blind endender Gang. Die Entzündung eines Meckel-Divertikels erzeugt meist ähnliche Symptome wie eine Appendizitis.

Bleibt die Rückverlagerung des physiologischen Nabelbruchs unvollständig, bildet sich eine **Omphalozele** (Nabelschnurbruch). Ihr Inhalt kann Teile des Dünn- und Dickdarms und mit ihnen verbundene Strukturen, also Äste der A. mesenterica superior und Mesenterium, enthalten.

Die Verlagerung von *Magen* und *Duodenum* nach links bzw. rechts führt dazu, dass der orale Schenkel der Nabelschleife (zwischen Duodenum und Ductus omphaloentericus) rechts der *A. vitellina* zu liegen kommt, während der aborale Schenkel auf der linken Körperseite liegt. Von dort geht das Darmrohr in einer als **primäre Colonflexur** bezeichneten Biegung in den unteren, in der Medianosagittalebene stehenden Colonabschnitt[8] über.

Mit der Rückverlagerung der Darmschlingen in die Peritonealhöhle (um die 10. Entwicklungswoche) kommt es zu einer **Drehung** des aboralen Schenkels der Nabelschleife um eine von der A. vitellina gebildete Achse entgegen dem Uhrzeigersinn (von vorne betrachtet). Hierdurch gelangt die *primäre Colonflexur* etwa in die Region der zukünftigen **Flexura coli sinistra**. Das Längenwachstum dieses Darmabschnitts verlagert die **Zäkumanlage**[7] („Blinddarmknospe") schließlich in den **rech-**

ten Unterbauch. Die Colonabschnitte aboral der *primären Colonflexur* gelangen unter zunehmendem Längenwachstum nach links. Der größte Teil des aboralen Schenkels der Nabelschleife entwickelt sich damit zu den unterschiedlichen Colonabschnitten, die sich wie ein Rahmen um die Dünndarmschlingen legen. *Colon ascendens*, *descendens* und *sigmoideum* lagern sich der dorsalen Bauchwand an, wo sie durch Verschmelzung von dorsalem, viszeralem Peritoneum einerseits und parietalem Peritoneum andererseits in eine *sekundär retroperitoneale* Lage kommen. Von diesem Verschmelzungsvorgang bleibt das Zäkum[16] mit der Appendix vermiformis[15] ausgeschlossen. Beide verbleiben wie der orale Anteil der Nabelschleife, der zum Dünndarm geworden ist, intraperitoneal, wobei die Appendix häufig retrozäkal zu liegen kommt. Das Mesenterium des Colon transversum heftet sich kaudal der großen Kurvatur des Magens und dem Boden der *Bursa omentalis* an.

Entwicklung der Kloake (▶ Abb. 12.7)

Aus dem Endabschnitt des Darmrohrs, der **Kloake**, gehen das Rectum und der obere Teil des Analkanals sowie Harnblase und Harnröhre (Urethra) hervor. Der untere Teil des Analkanals entwickelt sich aus der mit Ektoderm überzogenen **Kloaken-** oder **Analbucht**.

Die **Kloake**[1] ist kammerartig erweitert. Ventrokranial entspringt aus ihr die **Allantois**[3], die als epithelialisierter Gang in der Bauchwand zum Nabel aufsteigt. Kaudal davon steht das zur Kloakenbucht eingesenkte Oberflächenektoderm in direktem Kontakt mit dem endodermalen Epithel der Kloake. Beide zusammen bilden die **Kloakenmembran**[2]. Durch Einfaltung der lateralen Kloakenwände[12], die zum Septum urorectale verschmelzen (2. Entwicklungsmonat), wird die Kloake in einen ventral gelegenen **Sinus urogenitalis**[6] (Anlage von Harnblase und Urethra) und das dorsal gelegene embryonale **Rectum**[5] unterteilt. Das Verschmelzen des Septum urogenitale mit der Kloakenmembran führt zu einer Unterscheidung in eine ventrale **Urogenitalmembran**[11] und eine dorsale **Analmembran**[9]. Da die Urogenitalmembran alsbald einreißt, ist der Sinus urogenitalis über das **Ostium urogenitale** nach außen geöffnet. Durch Mesenchymproliferation werden die ektodermalen **Analfalten aufgeworfen**, die sich zur Analbucht, dem **Proktodeum**, vertiefen, an dessen Grund die Anal-

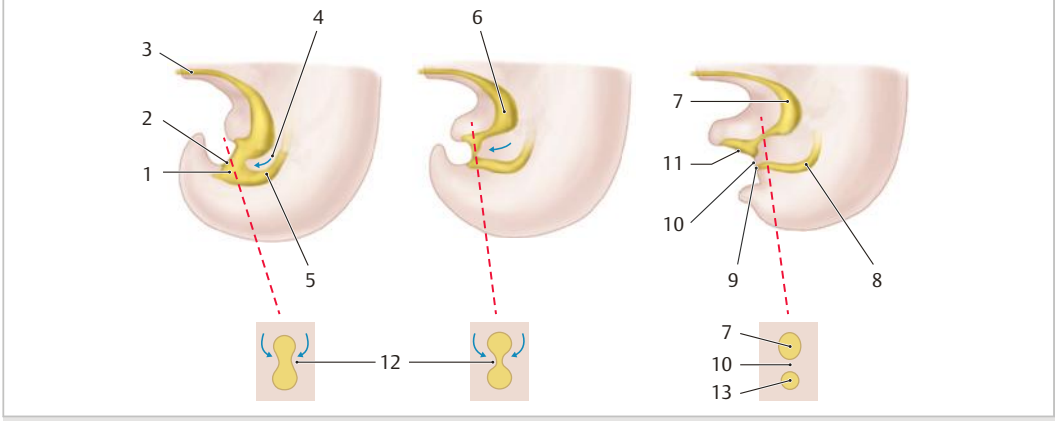


Abb. 12.7 Entwicklung der Kloake. Das Septum urogenitale senkt sich (Pfeil) und wird später zum Perineum, das Anal- und Urogenitalmembran voneinander trennt. Oben Längsschnitte, unten Querschnitte. Rot gestrichelt: Schnittebenen der Querschnitte in der unteren Reihe.

1 Kloake
2 Kloakenmembran
3 Allantois
4 Septum urorectale
5 Enddarm
6 Sinus urogenitalis
7 Harnblase
8 Anorektalkanal
9 Analmembran
10 Perineum
11 Urogenitalmembran
12 Einfaltung der Kloakenwand zum Septum urorectale
13 Rectum

membran liegt. Etwa um die 8. Entwicklungswoche reißt auch die Analmembran ein, sodass sich der distale Darmabschnitt in das Proktodeum hinein öffnet. Aus dem distalen Darmabschnitt endodermaler Herkunft entwickelt sich der obere Teil des Analkanals, der untere Teil entsteht aus dem Proktodeum, das ektodermaler Herkunft ist. Die Grenze zwischen beiden Abschnitten, dort wo sich die Analmembran befand, liegt beim Erwachsenen etwa auf Höhe der **Linea pectinata** und nicht am Anus selbst.

Durch die Verschmelzung von Kloakenmembran und Septum urogenitale entsteht zwischen Sinus urogenitals und Proktodeum der **primäre Damm** (**Perineum**). Hierdurch werden die Schließmuskeln in diesem Bereich in eine ventrale und dorsale Portion unterteilt, aus denen folgende vom **N. pudendus** innervierte Muskeln hervorgehen:

- ventral: M. bulbospongiosus, M. ischiocavernosus und M. transversus perinei superficialis (S. 610),
- dorsal: M. sphincter ani internus und M. sphincter ani externus (S. 611).

13 Brusteingeweide

Andreas Winkelmann

13.1 Gliederung der Brusthöhle

Die Brusteingeweide liegen gut geschützt im **knöchernen Brustkorb** (Thorax). Die Brusthöhle wird nach unten durch das **Zwerchfell** abgeschlossen, das nur einzelne Öffnungen für durchtretende Strukturen enthält. Nach oben besteht eine offene Verbindung zum Hals. Die Brusthöhle gliedert sich in die beiden **Pleurahöhlen** für die Lungen und in den dazwischen liegenden Raum, das **Mediastinum**. In diesem Raum liegen Herz, große Gefäße, Trachea, Oesophagus und der Thymus.

13.1.1 Brust- und Pleurahöhle (► Abb. 13.1)

Die **Brusthöhle** (Cavitas thoracis) wird gebildet vom **Brustkorb**, der aus dem knöchernen Thorax und der Interkostalmuskulatur besteht, und dem **Zwerchfell**, das an der unteren Thoraxapertur (Thoraxöffnung) befestigt ist. Die kleinere obere Thoraxapertur – die kraniale Grenze der Brusthöhle – ist im Gegensatz zur unteren nicht verschlossen, sondern stellt eine offene Verbindung zum Hals her. Da das Zwerchfell kuppelartig in den Thorax hineinragt, liegen auch Oberbauchorgane innerhalb des Brust*korbs*. Die eigentliche Brust*höhle* ist daher deutlich kleiner als der Innenraum des knöchernen Thorax.

Als größte Organe enthält die Brusthöhle die beiden **Lungen**. Sie liegen jede in einer eigenen **Pleurahöhle** (Cavitas pleuralis, Brustfellhöhle), in der sie verschieblich den Bewegungen von Brustwand und Zwerchfell folgen können.

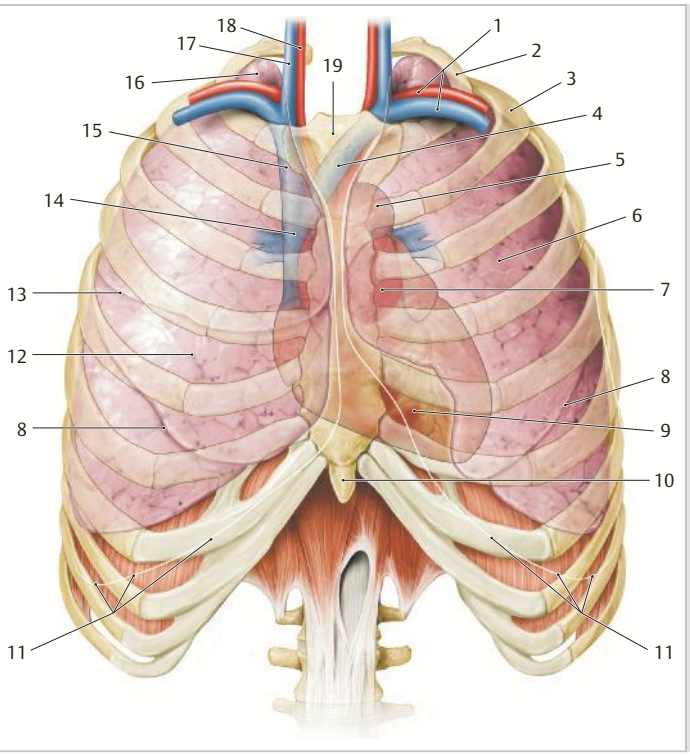


Abb. 13.1 Lage der Lungen im Thorax.
1 A. und V. subclavia
2 1. Rippe
3 2. Rippe
4 V. brachiocephalica sinistra
5 Arcus aortae
6 Linke Lunge
7 Truncus pulmonalis
8 Fissura obliqua
9 Herz
10 Processus xiphoideus sterni
11 Grenzverlauf der Pleura parietalis
12 Rechte Lunge
13 Fissura horizontalis
14 V. cava superior
15 V. brachiocephalica dextra
16 Lungenspitze (Apex pulmonis)
17 V. jugularis interna
18 A. carotis communis
19 Manubrium sterni
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der Begriff **„Pleurahöhle“** bezeichnet also den Raum, den die Lunge ausfüllt. Er wird allerdings gelegentlich auch für den spaltförmigen Raum um die Lunge herum verwendet, den man aber besser „Pleuraspalt“ nennen sollte (s. u.). In diesem Kapitel ist mit „Pleurahöhle“ immer der Raum gemeint, der entsteht, wenn eine Lunge aus dem Brustkorb entnommen wird.

13.1.2 Mediastinum (▶ Abb. 13.2)

Der Raum zwischen den beiden Pleurahöhlen, also auch zwischen den beiden Lungen, heißt Mediastinum („Mittelfellraum“). Es handelt sich um einen Bindegewebsraum, der – außer von den Lungen – dorsal von der Brustwirbelsäule und der angrenzenden Thoraxwand begrenzt wird, ventral vom Sternum und den Rippenansätzen sowie kaudal vom Centrum tendineum des Zwerchfells. Kranial geht das Mediastinum ohne scharfe Grenze in die Halsweichteile über.

Das Mediastinum enthält

- das **Herz** mit dem Herzbeutel (Perikard), das den größten unteren Teil des Mediastinums einnimmt,
- die großen **herznahen Gefäße** (Aorta, Hohlvenen und Lungengefäße) und die gesamte Brustaorta (**Aorta thoracica**),
- die Luftröhre (**Trachea**) und die Hauptbronchen,
- die Speiseröhre (**Oesophagus**),
- den **Thymus** bzw. beim Erwachsenen den Thymus-Restkörper,
- außerdem verschiedene weitere **Leitungsbahnen**.

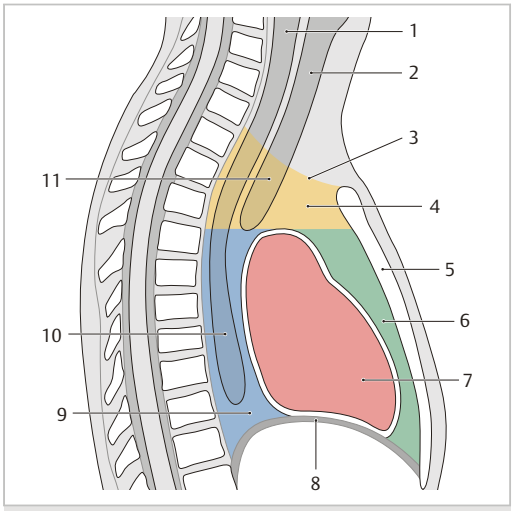


Abb. 13.2 Einteilung des Mediastinums. Schematischer Mediansagittalschnitt, Ansicht von rechts.
1 Oesophagus, Pars cervicalis
2 Trachea, Pars cervicalis
3 obere Thoraxapertur
4 oberes Mediastinum
5 Sternum
6 vorderes Mediastinum
7 mittleres Mediastinum, Herz
8 Diaphragma
9 hinteres Mediastinum
10 Oesophagus, Pars thoracica
11 Trachea, Pars thoracica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das Mediastinum wird am Oberrand des Herzens, auf der Höhe einer Verbindungslinie zwischen dem Angulus sterni und dem Unterrand des 4. Brustwirbelkörpers, in ein oberes und ein unteres Mediastinum (**Mediastinum superius** und **inferius**) unterteilt (▶ Abb. 13.2).

Im **oberen Mediastinum**[4] befinden sich neben Thymus, Oesophagus und Trachea der Aortenbogen, der Truncus brachiocephalicus, die V. cava superior und weitere Leitungsbahnen (A. und V. pericardiacophrenica, Ductus thoracicus, Truncus sympathicus, N. vagus, N. phrenicus).

Das **untere Mediastinum** wird zusätzlich in ein vorderes, mittleres und hinteres Mediastinum eingeteilt:

- Das vordere Mediastinum (**Mediastinum anterius**[6]) ist der schmale Raum zwischen Sternum und Perikard, der nur kleinere Gefäße, Lymphknoten und Fettgewebe sowie untere Anteile des Thymus enthält.
- Das mittlere Mediastinum (**Mediastinum medium**[7]) entspricht dem Herzen mit den herznahen Gefäßstämmen innerhalb des Herzbeutels (Beginn der Aorta, Endstrecke der V. cava superior und inferior, Vv. pulmonales). Außerdem verlaufen hier der N. phrenicus sowie A. und V. pericardiacophrenica.
- Das hintere Mediastinum (**Mediastinum posterius**[9]) ist der Raum zwischen Perikard und Wirbelsäule. Hier liegen Oesophagus, Aorta thoracica und weitere Leitungsbahnen (Ductus thoracicus, V. azygos und hemiazygos, N. vagus, N. splanchnicus major und minor, Truncus sympathicus).

Die Trachea teilt sich oberhalb des Herzens; sie liegt daher nicht hinter dem Herzen und auch nicht im (anatomischen) hinteren Mediastinum.

Die Aufteilung des Mediastinums im klinischen Sprachgebrauch stimmt nicht immer mit der hier gemachten Aufteilung überein und ist leider auch nicht einheitlich. Gelegentlich werden entsprechende Teile des oberen Mediastinums ebenfalls zum vorderen oder hinteren Mediastinum gerechnet. Befundbeschreibungen, die sich auf das vordere oder hintere Mediastinum beziehen, sollten daher eine zusätzliche Höhenbeschreibung enthalten, z. B. anhand der Wirbelkörper.

13.1.3 Zwerchfell (▶ Abb. 13.3)

Das Zwerchfell (**Diaphragma**) trennt die Brusthöhle von der Bauchhöhle und ist gleichzeitig der wichtigste Atemmuskel.

Entwicklung. Bei der sehr komplizierten Unterteilung der primitiven Leibeshöhle (Zölom) in die späteren Perikard-, Pleura- und Peritonealhöhlen entsteht das Zwerchfell durch Zusammenwachsen verschiedener Anteile (s. ▶ **Abb. 12.2**). Der größte Teil wird vom **Septum transversum** gebildet, das von ventral einwächst. Kleinere Anteile werden von allen seitlichen Rumpfwänden geliefert. Die am längsten bestehende Verbindung zwischen Brust- und Bauchraum im dorsalen Bereich wird schließlich beidseits des Oesophagus von der **Pleuroperitonealmembran** verschlossen. Verschließt sich der Hiatus pleuroperitonealis nicht vollständig, entsteht (meist links) eine angeborene **Zwerchfellhernie**, die zu einer beeinträchtigten Lungenentwicklung (S. 220) führt.

Das Zwerchfell besteht aus einem muskulären Anteil, der rundum von Sternum, Rippen und Wirbelsäule entspringt, und einem zentralen bindegewebigen Anteil (**Centrum tendineum**), an dem alle Muskelfasern ansetzen. Das Zwerchfell ragt in den Thorax hinein und bildet 2 Kuppeln. Die rechte Zwerchfellkuppel, die die Leber beherbergt, liegt etwa einen halben Zwischenrippenraum höher als die linke. Bei der Einatmung kontrahiert sich das Zwerchfell, und die beiden Kuppeln senken sich und flachen sich ab.

Am muskulären Anteil des Zwerchfells werden 3 Teile unterschieden:

- Die **Pars sternalis** entspringt von der Hinterfläche des Processus xiphoideus des Sternums.
- Die **Pars costalis** entspringt von den unteren 6 Rippen und ihren Rippenknorpeln.
- Die **Pars lumbalis** entspringt von der Wirbelsäule und den Ligg. arcuata. Das **Lig. arcuatum laterale**[10] zieht von der Unterkante der 12. Rippe zum Querfortsatz des 1. Lendenwirbels und überspannt bogenförmig den M. quadratus lum-

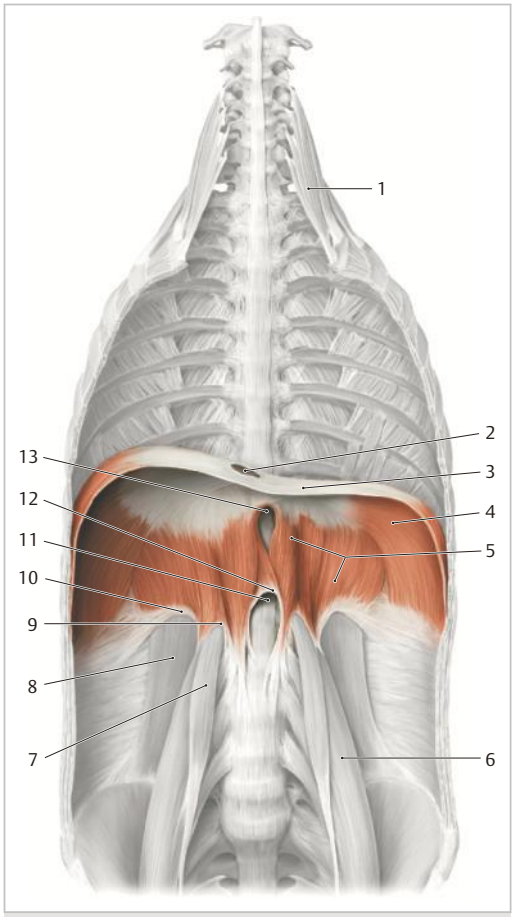


Abb. 13.3 Zwerchfell. Frontalschnitt durch Brust- und Bauchhöhle. Ansicht von vorn auf die dorsale Körperhälfte.
1 Mm. scaleni
2 Foramen v. cavae
3 Centrum tendineum
4 Pars costalis diaphragmatis
5 Pars lumbalis diaphragmatis, Crus sinistrum
6 M. psoas major
7 M. psoas minor
8 M. quadratus lumborum
9 Lig. arcuatum mediale (Psoasarkade)
10 Lig. arcuatum laterale (Quadratusarkade)
11 Hiatus aorticus
12 Lig. arcuatum medianum
13 Hiatus oesophageus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

borum (Quadratusarkade). Das **Lig. arcuatum mediale**[9] zieht vom Querfortsatz des 1. Lendenwirbels weiter zum 2. Lendenwirbelkörper und überspannt den M. psoas (Psoasarkade). Die Ursprünge der Pars lumbalis an der Wirbelsäule sind verdickt zu den Zwerchfellschenkeln (**Crus dextrum** und **sinistrum**[5]). Sie entspringen von den obersten 3 Lendenwirbeln, ziehen von dort nach oben und kommen vor der Aorta zusammen, wo sie durch das Lig. arcuatum medianum[12] verbunden sind und den Hiatus aorticus[11] bilden. Oberhalb dieser Durchtrittsstelle für die Aorta umgeben die Fasern der Crura außerdem schlingenförmig die Durchtrittsstelle für den Oesophagus (Hiatus oesophageus[13]).

Kranial liegen dem Zwerchfell Pleura und Perikard an. Das Perikard ist teilweise untrennbar mit dem Centrum tendineum verbunden. Kaudal wird das Zwerchfell größtenteils von Peritoneum bedeckt, das aber eine Verwachsungsstelle mit der Leber (Area nuda) ausspart (S. 285).

Die Leitungsbahnen, die Thorax und Abdomen verbinden, treten durch 3 größere und mehrere kleinere Durchtrittsstellen durch das Zwerchfell (▶ **Abb. 13.4** und ▶ Tab. 13.1).

Trigonum sternocostale[1] und **Trigonum lumbocostale**[10] sind kleine bindegewebige Dreiecke am Ursprung des Zwerchfells zwischen den 3 Muskelteilen. Durch das Trigonum lumbocostale treten keine Leitungsbahnen. Näheres zur besonderen Konstruktion des Hiatus oesophageus und den dort auftretenden Hernien (S. 248).

Das Zwerchfell erhält sein Blut von den **Aa. phrenicae superiores und inferiores** aus der Aorta, die sich von dorsal ober- und unterhalb des Zwerchfells verzweigen, von der A. pericardiacophrenica, die kranial aus der A. thoracica interna abzweigt und mit dem N. phrenicus zur Zwerchfellmitte zieht, und von der A. musculophrenica, die kurz oberhalb des Zwerchfells aus der A. thoracica interna abzweigt, dem Rippenbogen folgt und sich von ventral auf der Oberseite des Zwerchfells verzweigt. Miteinander kommunizierende Lymphgefäße finden sich auf der Ober- und Unterfläche des Zwerchfells. Sie drainieren überwiegend in mediastinale Lymphknoten.

Motorisch innerviert wird das Zwerchfell vom **N. phrenicus** (C 3–5, überwiegend C 4) aus dem Plexus cervicalis (S. 375). Die Beteiligung des Zwerchfells an der Atmung wird im Kapitel Atemmechanik (S. 231) besprochen.

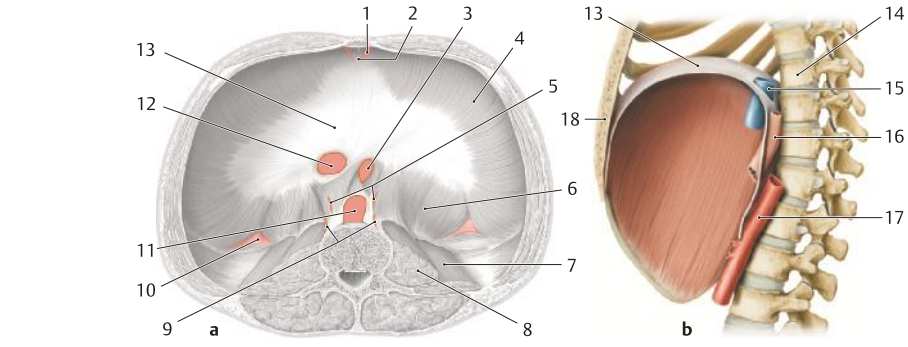


Abb. 13.4 Zwerchfelllücken.
a Ansicht des Zwerchfells von kaudal.
1 Trigonum sternocostale (Larrey)
2 Pars sternalis diaphragmatis
3 Hiatus oesophageus
4 Pars costalis diaphragmatis
5 Durchtrittsstellen für V. azygos und hemiazygos, Nn. splanchnici
6 Pars lumbalis diaphragmatis
7 M. quadratus lumborum
8 M. psoas
9 Durchtrittsstellen für Truncus sympathicus
10 Trigonum lumbocostale (Bochdalek)
11 Hiatus aorticus
12 Foramen v. cavae
b Ansicht des Zwerchfells von links nach Wegnahme des linken Brustkorbs und der linken Zwerchfellhälfte.
13 Centrum tendineum
14 BWK 8
15 V. cava inferior
16 Oesophagus
17 Aorta
18 Sternum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 13.1 Durchtrittsstellen des Zwerchfells und durchtretende Strukturen. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 13.4**.

Durchtrittsstelle	Durchtretende Struktur
Foramen v. cavae[12]	V. cava inferior R. phrenicoabdominalis des rechten N. phrenicus
Hiatus oesophageus[3]	Oesophagus Trunci vagales
Hiatus aorticus[11]	Aorta Ductus thoracicus
Trigonum sternocostale[1]	A. und V. thoracica interna
Spalten in den Crura[5]	V. azygos, V. hemiazygos N. splanchnicus major und minor
Spalten lateral der Crura[9]	Truncus sympathicus
direkt durch die Muskulatur	R. phrenicoabdominalis des linken N. phrenicus

13.2 Lunge und Pleura

Die **Lungen** sorgen für die Sauerstoffversorgung des Blutes und für die Elimination von Kohlendioxid. Dieser Gasaustausch findet auf mikroskopischer Ebene in den **Alveolen** (Lungenbläschen) statt. Hier treten die Luftwege und die Blutgefäße in intimen Kontakt. Die Lungen bestehen aus den parallelen baumartigen Verzweigungen der **Bronchen** und der **Lungenarterien** und **Lungenvenen**. Die **Bronchen** münden in die Alveolen, die Gefäße in die dazwischen liegenden Kapillarnetze. Entsprechend den ersten Aufzweigungen der Bronchen und Gefäße sind die Lungen in **Lappen** und **Segmente** organisiert.

Die Lungen sind durch die **Pleura** (Brustfell) so in den Brustkorb eingelagert, dass sie einerseits in den **Pleurahöhlen** verschieblich sind, andererseits auch ohne anatomische Befestigung den Bewegungen der Brustwand folgen müssen.

Während das Blut von den Arterien in die Venen zirkuliert, strömt die Luft im Rhythmus von **Inspiration** und **Exspiration** in den Luftwegen ein und aus. Bei der Inspiration folgt die Lunge passiv dem sich erweiternden **Brustkorb** und dem sich absenkenden **Zwerchfell** (Diaphragma). Die Exspiration wird vor allem durch die elastischen Rückstellkräfte der Lunge bewirkt.

13.2.1 Entwicklung

Die Luftröhre und die Luftwege der Lungen entstehen aus der **Lungenknospe**, die aus dem kranialen Teil des embryonalen Vorderdarms nach ventral aussprosst. Sie sind also endodermaler Herkunft. Aus dem umgebenden Mesoderm stammen Gefäße und Bindegewebe der Lunge.

Bleibt bei dieser Knospung eine Verbindung zwischen Lungenanlage und Vorderdarm bestehen, kann es zu **oesophagotrachealen Fisteln** kommen.

Entscheidend für die Lebensfähigkeit von Frühgeborenen ist die ausreichende Differenzierung der Lunge auf mikroskopischer Ebene. Etwa ab der 28. Entwicklungswoche – also der 30. Schwangerschaftswoche – ist ein ausreichender Kontakt zwischen Alveolen und Kapillaren vorhanden, um das Überleben auch ohne größere medizinische Intervention wahrscheinlich zu machen. Mit heutigen medizinischen Maßnahmen (u. a. Gabe von Glukokortikoiden an die Mutter zur **Beschleunigung der Lungenreifung**, postnatale Gabe von **Surfactant**) kann diese Grenze bis etwa an den Beginn der 23. Entwicklungswoche, d. h. der 25. Schwangerschaftswoche, verschoben werden.

Tab. 13.1 Durchtrittsstellen des Zwerchfells und durchtretende Strukturen. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 13.4**.

Durchtrittsstelle	Durchtretende Struktur
Foramen v. cavae[12]	V. cava inferior R. phrenicoabdominalis des rechten N. phrenicus
Hiatus oesophageus[3]	Oesophagus Trunci vagales
Hiatus aorticus[11]	Aorta Ductus thoracicus
Trigonum sternocostale[1]	A. und V. thoracica interna
Spalten in den Crura[5]	V. azygos, V. hemiazygos N. splanchnicus major und minor
Spalten lateral der Crura[9]	Truncus sympathicus
direkt durch die Muskulatur	R. phrenicoabdominalis des linken N. phrenicus

13.2 Lunge und Pleura

Die **Lungen** sorgen für die Sauerstoffversorgung des Blutes und für die Elimination von Kohlendioxid. Dieser Gasaustausch findet auf mikroskopischer Ebene in den **Alveolen** (Lungenbläschen) statt. Hier treten die Luftwege und die Blutgefäße in intimen Kontakt. Die Lungen bestehen aus den parallelen baumartigen Verzweigungen der **Bronchen** und der **Lungenarterien** und **Lungenvenen**. Die **Bronchen** münden in die Alveolen, die Gefäße in die dazwischen liegenden Kapillarnetze. Entsprechend den ersten Aufzweigungen der Bronchen und Gefäße sind die Lungen in **Lappen** und **Segmente** organisiert.

Die Lungen sind durch die **Pleura** (Brustfell) so in den Brustkorb eingelagert, dass sie einerseits in den **Pleurahöhlen** verschieblich sind, andererseits auch ohne anatomische Befestigung den Bewegungen der Brustwand folgen müssen.

Während das Blut von den Arterien in die Venen zirkuliert, strömt die Luft im Rhythmus von **Inspiration** und **Exspiration** in den Luftwegen ein und aus. Bei der Inspiration folgt die Lunge passiv dem sich erweiternden **Brustkorb** und dem sich absenkenden **Zwerchfell** (Diaphragma). Die Exspiration wird vor allem durch die elastischen Rückstellkräfte der Lunge bewirkt.

13.2.1 Entwicklung

Die Luftröhre und die Luftwege der Lungen entstehen aus der **Lungenknospe**, die aus dem kranialen Teil des embryonalen Vorderdarms nach ventral aussprosst. Sie sind also endodermaler Herkunft. Aus dem umgebenden Mesoderm stammen Gefäße und Bindegewebe der Lunge.

Bleibt bei dieser Knospung eine Verbindung zwischen Lungenanlage und Vorderdarm bestehen, kann es zu **oesophagotrachealen Fisteln** kommen.

Entscheidend für die Lebensfähigkeit von Frühgeborenen ist die ausreichende Differenzierung der Lunge auf mikroskopischer Ebene. Etwa ab der 28. Entwicklungswoche – also der 30. Schwangerschaftswoche – ist ein ausreichender Kontakt zwischen Alveolen und Kapillaren vorhanden, um das Überleben auch ohne größere medizinische Intervention wahrscheinlich zu machen. Mit heutigen medizinischen Maßnahmen (u. a. Gabe von Glukokortikoiden an die Mutter zur **Beschleunigung der Lungenreifung**, postnatale Gabe von **Surfactant**) kann diese Grenze bis etwa an den Beginn der 23. Entwicklungswoche, d. h. der 25. Schwangerschaftswoche, verschoben werden.

13.2.2 Lunge

Die **Lunge** (Pulmo) ist das Organ des Gasaustauschs. Nur hier kann das Blut in nennenswertem Umfang Sauerstoff aufnehmen und Kohlendioxid abgeben. Dieser **Gasaustausch** findet in den Lungenbläschen (**Alveolen**) statt, die über die gesamte Lunge verteilt sind. Sie haben einen Durchmesser von 150–500 µm, sind also mit der Lupe sichtbar. Ihre bindegewebigen Wände bilden ein stabiles elastisches Netz. Sie sind von Blutkapillaren eng umsponnen. Die Auskleidung der Alveolen mit Alveolar-Epithelzellen (Pneumozyten Typ I) ist dünn ausgezogen, und die Basalmembran dieser Epithelzellen verschmilzt zusätzlich mit der Basalmembran der Kapillar-Endothelzellen. Dadurch ist die **Blut-Luft-Schranke** – die Diffusionsstrecke, die Sauerstoff und Kohlendioxid überwinden müssen – nur 0,2–0,6 µm breit.

Jede der beiden Lungen hat etwa 150–200 Millionen Alveolen, was einer gesamten Austauschfläche von 70–140 m^2 entspricht. Die Lunge besteht aus einer baumartigen Verzweigung von 3 Elementen:

- **Luftwege**, die frische Atemluft in die Alveolen transportieren,
- **Lungenarterien**, die sauerstoffarmes Blut zum Ort des Gasaustauschs bringen,
- **Lungenvenen**, die das sauerstoffreiche Blut vom Ort des Gasaustauschs in Richtung Herz abtransportieren.

Bei jeder Einatmung (**Inspiration**) werden die Alveolen „belüftet". Dies wird durch eine Erweiterung des Brustkorbs und Absenkung des Zwerchfells erreicht. Die Lunge wird dadurch erweitert, in den Atemwegen entsteht ein Unterdruck im Vergleich zur Außenwelt, sodass Luft einströmt. Bei der Ausatmung (**Exspiration**) erschlafft die Brustwand- und Zwerchfellmuskulatur, und die elastischen Rückstellkräfte des Lungengewebes und des Thorax bewirken, dass die Lunge sich zusammenzieht. Dadurch steigt der Druck in den Atemwegen, die Luft strömt aus, s. Atemmechanik (S. 231).

Aufbau (▶ Abb. 13.5)

Die **Oberfläche** der Lunge ist wegen des Lungenfell-Überzugs (S. 228) spiegelnd glatt. Sie ist in jugendlichem Alter blassrosa gefärbt, nimmt aber im Laufe des Lebens Verunreinigungen der Atemluft auf und wird dadurch (auch bei Nichtrauchern) unregelmäßig schiefergrau eingefärbt.

Die Lunge hat im Grunde keine eigene **Form**, sondern passt sich der Form der **Pleurahöhle** an, in der sie liegt. Verliert sie die Haftung mit der Pleurahöhle, z. B. beim Pneumothorax (S. 229) oder wenn sie kurz nach dem Tod entnommen wird, so zieht sie sich durch ihren hohen Gehalt an elastischen Fasern zu einem Gebilde zusammen, das etwas mehr als faustgroß ist. Nur wenn das Gewebe fixiert wird, wie für den anatomischen Präparierkurs, behält die Lunge auch bei der Eröffnung des Brustkorbs ihre Form, die also eine Art „Ausguss" der Pleurahöhle darstellt. Diese Form der Pleurahöhle entspricht einem plumpen Kegel mit einer abgerundeten Spitze und einer konkaven Basis. Die Lungenspitze (**Apex pulmonis**[1]) überragt Clavicula und erste Rippe, die Lungenbasis (**Basis pulmonis**[11]) sitzt mit der *Facies diaphragmatica*[10] dem Zwerchfell auf. Im Vergleich zur runden, den Rippen zugewandten *Facies costalis*[6] ist die nach medial gerichtete *Facies mediastinalis*[7] abgeflacht.

Etwa in der Mitte dieser mediastinalen Fläche hat jede Lunge ein **Hilum pulmonis**[4] (oft auch **Hilus** genannt), den einzigen Ort, an dem Bronchen und Leitungsbahnen in die Lunge ein- und austreten. Da die Lunge über diese ein- und austretenden Strukturen am Mediastinum befestigt ist, spricht man hier auch vom Lungenstiel oder der Lungenwurzel (**Radix pulmonis**). Zur Befestigung dient auch das kaudal vom Hilum gelegene, frontal gestellte **Lig. pulmonale**[8], das ebenfalls zum Mediastinum zieht. Die fixierte Lunge zeigt auf der mediastinalen Fläche außerdem die Abdrücke der mediastinalen Strukturen. Am auffälligsten ist die Herzbucht (**Impressio cardiaca**[13]), die naturgemäß an der linken Lunge deutlich größer ausfällt als an der rechten. Durch diese Impressio cardiaca entsteht an der Vorderkante der linken Lunge ein Einschnitt, die Incisura cardiaca[19]. Am kaudalen Ende dieses Einschnitts befindet sich eine zipfelartige Ausziehung des Oberlappens, die **Lingula**[20], die sich zwischen Herzwölbung, Zwerchfell und Thoraxwand vorschiebt.

Außerdem finden sich an der linken Lunge Abdrücke des Aortenbogens und der Aorta descendens, an der rechten Lunge Abdrücke des Oesophagus, der V. cava superior und der V. azygos.

Die relative Position der großen Strukturen innerhalb des Hilums ist weitgehend von der Lage von Trachea, Truncus pulmonalis und linkem Vorhof im Mediastinum vorgegeben: die Bronchen liegen im Hilum oben hinten, die Arterien oben vorn, die Venen unten (und vorn). Wesentlicher

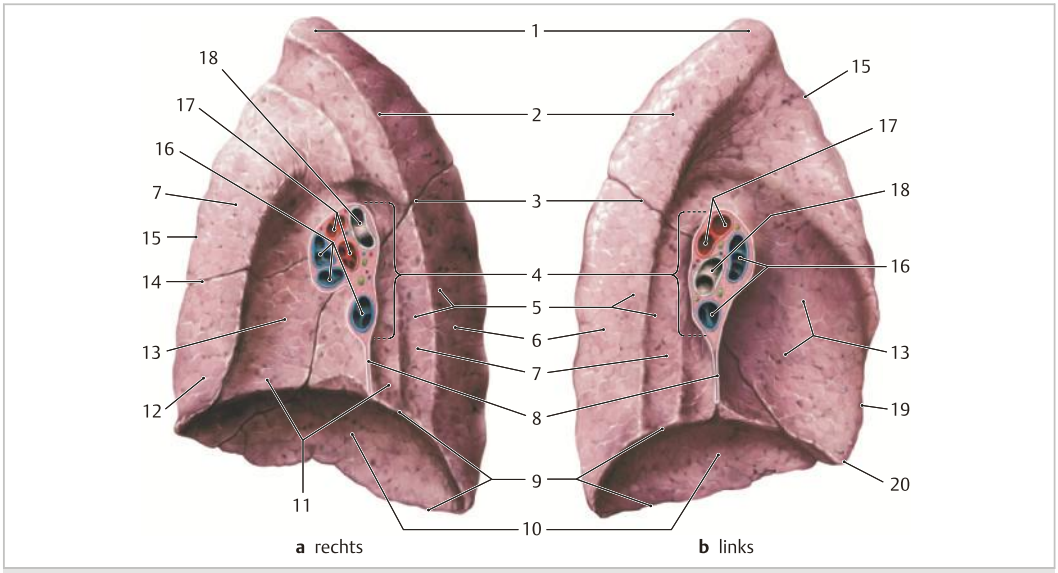


Abb. 13.5 Lungen in der Ansicht von medial. a Rechte Lunge. **b** Linke Lunge. Lobus medius (12) und Fissura horizontalis (14) kommen nur an der rechten Lunge vor, die Incisura cardiaca (19) und die Lingula (20) nur links. Alle anderen Strukturen sind beiden Lungen gemeinsam, zum Teil aber nur in **a** beschriftet.

1 Apex pulmonis
2 Lobus superior
3 Fissura obliqua
4 Hilum pulmonis
5 Lobus inferior
6 Facies costalis
7 Facies mediastinalis
8 Lig. pulmonale
9 Margo inferior
10 Facies diaphragmatica
11 Basis pulmonis
12 Lobus medius (nur rechts)
13 Impressio cardiaca
14 Fissura horizontalis (nur rechts)
15 Margo anterior
16 Vv. pulmonales mit Ästen
17 A. pulmonalis mit Ästen
18 Bronchus principalis mit Aufzweigungen
19 Incisura cardiaca (nur links)
20 Lingula (nur links)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Seitenunterschied ist, dass rechts ein Bronchus am weitesten kranial liegt, während es links die Arterie ist.

Die rechte Lunge ist in 3, die linke in 2 **Lappen** (**Lobi**) unterteilt, die von Lappenspalten (Fissurae) begrenzt werden. Diese Fissuren können variabel bis tief zum Hilum in das Lungengewebe einschneiden und sind ebenfalls von Lungenfell (Pleura visceralis) ausgekleidet. Sie liegen dort, wo im Atemzyklus die größten Scherkräfte innerhalb der Lungen auftreten, und erlauben eine gewisse Beweglichkeit der Lappen gegeneinander. Beide Lungen besitzen eine **Fissura obliqua**[3], die schräg von hinten oben nach vorn unten etwa auf Höhe der 5.–6. Rippe verläuft und den Ober- vom Unterlappen trennt. Die rechte Lunge besitzt zusätzlich eine **Fissura horizontalis**[14], die auf Höhe der 4. Rippe von der Fissura obliqua aus nach vorn läuft und damit aus dem ursprünglichen Oberlappen den Mittellappen herausschneidet. Die rechte Lunge besteht damit aus Lobus superior, Lobus medius und Lobus inferior, die linke Lunge nur aus Lobus superior und Lobus inferior.

Wegen der schrägen Lage der Fissura obliqua grenzt der Oberlappen überwiegend ventral, der Unterlappen überwiegend dorsal an den Brustkorb. Eine **Auskultation** der Lunge („Abhören“) nur von vorn nach flüchtigem Öffnen einiger Hemdknöpfe kann daher nicht als vollständig gelten, da sie den gesamten Unterlappen nicht erfasst, s. Oberflächenprojektion von Lunge und Pleura (S. 229).

Die weitere Gliederung der Lunge in **Segmente** ist von außen nicht sichtbar und wird beim Bronchialbaum besprochen (S. 224). Die oft sichtbare polygonale Felderung der Lungenoberfläche entspricht der nächsten Gliederungseinheit, den **Läppchen** (Lobuli), die ebenfalls dort besprochen werden.

Luftwege (▶ Abb. 13.6)

Die Atemwege beginnen mit Nase und Rachen (S. 379) sowie dem Kehlkopf (S. 387) und setzen sich über die Luftröhre (Trachea) in den Bronchialbaum fort.

Während in der Anatomie die „unteren Atemwege" mit dem Kehlkopf beginnen, ist es in der Klinik allgemein üblich, den Kehlkopf und meist auch Trachea und große Bronchen noch zu den „oberen Atemwegen" zu zählen, da deren Erkrankungen oft zusammenhängen („Husten, Schnupfen, Heiserkeit").

Aufgabe der Atemwege ist neben dem Austausch des alveolären Gasgemischs mit der Außenluft auch die Kontrolle, Anwärmung, Anfeuchtung und Reinigung der eingeatmeten Luft. Da die Atemwege selbst nicht am Gasaustausch mit dem Blut beteiligt sind, sind sie physiologisch der „Totraum" der Atmung.

Dieser anatomische Totraum beträgt beim Erwachsenen etwa 150 ml. Das bedeutet, dass bei einem normalen Atemzug von etwa 500 ml nur gut zwei Drittel der Luft in den Alveolen ankommen, bei flacher Atmung sogar noch weniger.

Die **Luftröhre** (**Trachea**) ist ein 10–12 cm langes und 13–22 mm weites, schlauchförmiges Gebilde. Sie beginnt am Kehlkopf unterhalb des Ringknorpels auf Höhe des 6.–7. Halswirbels und endet auf Höhe des 4.–5. Brustwirbels mit der Bifurcatio tracheae, der Aufteilung in die beiden Hauptbronchen (▶ Abb. 13.6). Sie verläuft im Hals in der Medianebene und wendet sich im Brustraum etwas nach rechts. In ihrem Verlauf folgt sie der Wirbelsäule und entfernt sich damit nach kaudal immer mehr von der ventralen Körperoberfläche.

Die Trachea ist ein bindegewebiger Schlauch, der vorn und seitlich von 16–20 hufeisenförmigen **Knorpelspangen** (**Cartilagines tracheales**) verstärkt wird (▶ Abb. 13.7). Die bindegewebigen Verbindungen zwischen den Knorpelspangen werden Ligg. anularia genannt. Die knorpelfreie Hinter-

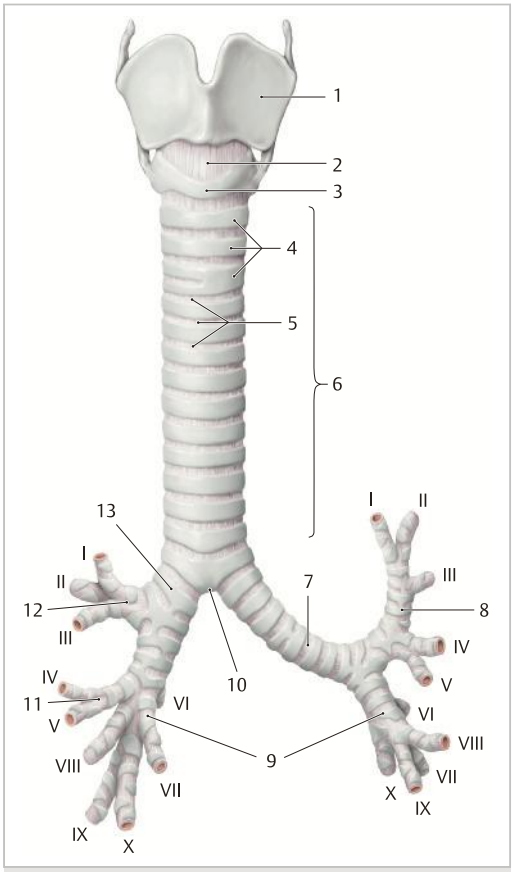


Abb. 13.6 Trachea und Bronchialbaum. Ansicht von ventral, Darstellung bis zu den Segmentbronchen. Römische Zahlen bezeichnen die Segmente (s. ▶ **Tab. 13.3**).
1 Cartilago thyroidea
2 Lig. cricothyroideum medianum
3 Cartilago cricoidea
4 Cartilagines tracheales
5 Ligg. anularia
6 Trachea
7 Bronchus principalis sinister
8 Bronchus lobaris superior sinister
9 Bronchus lobaris inferior dexter/sinister
10 Bifurcatio tracheae
11 Bronchus lobaris medius dexter
12 Bronchus lobaris superior dexter
13 Bronchus principalis dexter
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

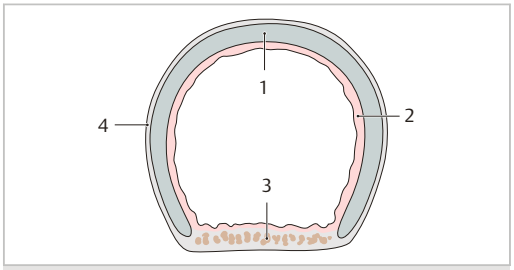


Abb. 13.7 Wandbau der Trachea. Schematischer Querschnitt.
1 Cartilago trachealis
2 Tunica mucosa
3 M. trachealis
4 Tunica adventitia
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

wand, **Paries membranaceus**, ist von horizontal verlaufenden Muskelfasern durchsetzt, die in ihrer Gesamtheit als M. trachealis bezeichnet werden. Sie erlauben eine gewisse Regulation der Weite der Trachea durch das vegetative Nervensystem.

Paries membranaceus und Ligg. anularia enthalten elastische Fasernetze, die eine konstante Spannung in Längsrichtung aufrechterhalten. Sie verhindern damit ein Einfalten der Wände bei Verkürzung der Trachea, wie sie bei starkem Neigen des Kopfes (Tiefertreten des Kehlkopfes) oder bei der Ausatmung (Höhertreten der Bifurcatio) auftritt. Die Knorpelspangen haben die Aufgabe, die Trachea offenzuhalten (eine rein bindegewebige Röhre würde bei jeder Inspiration durch den entstehenden Unterdruck kollabieren).

Bei einer Knorpelerweichung (**Tracheomalazie**) kommt es bei jeder Inspiration zur abnormen Einengung der Trachea. Die dabei entstehenden Geräusche nennt man inspiratorischen Stridor.

Histologisch wird der Wandanteil aus Knorpel, Bindegewebe und Muskulatur Tunica fibromusculocartilaginea genannt. Außen folgt eine Schicht lockeren Bindegewebes, die Adventitia, die die Trachea mit der Umgebung verbindet. Innen ist die Trachea mit einer Schleimhaut, Tunica mucosa, ausgekleidet. Sie besteht aus einem respiratorischen Epithel (Flimmerepithel) mit reichlich Becherzellen sowie unterhalb der Lamina propria liegenden seromukösen Drüsen (Glandulae tracheales). Diese produzieren einen das gesamte Epithel bedeckenden „Schleimteppich", der Mikroorganismen und Staubteilchen auffangen kann und der von den darunterliegenden Flimmerhärchen der Epithelzellen mit einer konstanten Geschwindigkeit von etwa 1 cm/min in Richtung Rachen befördert wird („mukoziliäre Clearance"). Von hier aus wird er entweder verschluckt oder ausgehustet.

Die **Bronchen** verbinden die Trachea mit den Alveolen. Es handelt sich um bindegewebige Röhren, deren Wand ebenfalls mit Knorpel verstärkt ist. Sie verzweigen sich in Äste mit immer kleiner werdendem Durchmesser (▶ Tab. 13.2). Die Aufzweigungen sind meist ungleiche Zweiteilungen, d. h. einer der beiden neuen Bronchen ist etwas größer als der andere und setzt die ursprüngliche Richtung fort, während der kleinere regelrecht abzweigt. Die Wanddicke und der knorpelige Anteil nehmen in Richtung Peripherie ab, während der Anteil glatter Muskulatur in der Bronchialwand in der Peripherie zunimmt.

Tab. 13.2 Aufzweigungen der Luftwege. Die Aufteilungszahl ist ab den kleineren Bronchen als ungefähre Angabe zu verstehen.

Aufteilungen	Luftweg	Innendurchmesser (mm)	Charakteristika im Wandbau
–	Trachea	16–18	dorsal offene Knorpelspangen
1.	Bronchus principalis	12,5–14	dorsal offene Knorpelspangen
2.	Bronchus lobaris	8–12	Knorpelspangen und -plättchen
3.	Bronchus segmentalis		Knorpelplättchen
4.–11.	kleinerer Bronchus	> 1	kleinere Knorpelplättchen
12.–15.	Bronchiolus	< 1	kein Knorpel, relativ starke Muskulatur, keine Drüsen mehr
16.	Bronchiolus terminalis	0,3–0,4	
17.–18.	Bronchiolus respiratorius	0,4	mit einzelnen Alveolen besetzt
19.–24.	Ductus alveolaris	0,25–0,4	praktisch keine eigene Wand mehr, offene Zugänge zu den Alveolen

Der Feinbau der Bronchialwände entspricht prinzipiell dem der Trachea (s. o.). Die Dicke des Epithels der **Schleimhaut** und die Zahl der darin vorkommenden Becherzellen nehmen bis in die Bronchioli respiratorii kontinuierlich ab. In den Bronchioli terminales gibt es spezielle sekretorische Zellen (Keulenzellen, früher „Clara-Zellen"), die Surfactantproteine bilden und u. a. immunmodulierende Funktion haben.

Die Flimmerhaare schlagen in allen Abschnitten in Richtung Kehlkopf und können damit Verunreinigungen aus der Lunge heraustransportieren. Seromuköse Drüsen (Glandulae bronchiales) gibt es nur in den größeren Bronchen und den Segmentbronchen – weiter peripher fehlen sie. Die Schleimhaut enthält außerdem auch Abwehrzellen (v. a. Lymphozyten, Mastzellen).

Die Trachea teilt sich in Höhe des 4.–5. Brustwirbels an der **Bifurcatio tracheae** in die beiden Hauptbronchen. An der Teilungsstelle ragt von kaudal ein knorpeliger Sporn in das Lumen vor, die **Carina**. Die beiden **Hauptbronchen** (**Bronchi principales**) sind genauso gebaut wie die Trachea, besitzen also hufeisenförmige, nach dorsal offene Knorpelspangen und eine fibromuskuläre Hinterwand.

Der **rechte Hauptbronchus** ist **weiter**, **steiler** und **kürzer** als der linke (▶ **Abb. 13.6**). Er setzt mit einer Abwinkelung von nur 20° nahezu die Verlaufsrichtung der Trachea fort, während der linke, der Lage des Herzens Rechnung tragend, stärker abknickt und weiter nach links hinüberläuft, bevor er sich weiter aufzweigt.

Über den rechten Hauptbronchus schlingt sich von hinten die V. azygos (man sagt, sie „reite" auf dem Bronchus), über den linken Hauptbronchus läuft von vorn der Aortenbogen.

Wegen der Asymmetrie der Hauptbronchen gelangen **aspirierte Fremdkörper** oder zu weit vorgeschobene Intubationstuben (Beatmungsschläuche) praktisch immer in den rechten Hauptbronchus und von hier meist weiter in den rechten Unterlappenbronchus.

Der linke Vorhof des Herzens liegt unterhalb der Bifurcatio tracheae. Wenn im Röntgenbild des Thorax der Winkel zwischen den Hauptbronchen vergößert ist, deutet dies auf einen vergrößerten linken Vorhof hin.

Im Lungenhilum teilt sich der rechte Hauptbronchus in 3, der linke in 2 **Lappenbronchen** (**Bronchi lobares**), die in die jeweiligen Lappen ziehen. Der rechte Oberlappenbronchus liegt als einziger oberhalb der zugehörigen Lappenarterie („eparteriell"), alle anderen liegen eher unter dem ihnen zugehörigen Ast der Lungenarterie. In der Wand der Lappenbronchen werden die Knorpelspangen unregelmäßiger und zunehmend durch Knorpelplättchen ersetzt.

Bei der nächsten Aufzweigung des Bronchialbaums teilen sich die Lappenbronchen in die **Segmentbronchen** (**Bronchi segmentales**). Die **Lungensegmente** (▶ Tab. 13.3, ▶ **Abb. 13.6**) sind keil- oder pyramidenförmige Untereinheiten der Lappen, deren Spitze zum Hilum weist. Sie werden von bindegewebigen Septen luftdicht getrennt und stellen unabhängige funktionelle Einheiten der Lunge dar. Sie sind außerdem durch eine charakteristische Gefäßanordnung gekennzeichnet: Die Segmentarterie verläuft zusammen mit dem Bronchus in der Segmentmitte, während die Venenäste

Tab. 13.3 Lappen und Segmente der beiden Lungen.

Rechte Lunge	Segmentum -	Linke Lunge	Segmentum -
Lobus superior	- apicale (I)	Lobus superior	- apicoposterius (I + II)
	- posterius (II)		
	- anterius (III)		- anterius (III)
Lobus medius	- laterale (IV)		- lingulare superius (IV)
	- mediale (V)		- lingulare inferius (V)
Lobus inferior	- superius (VI)	Lobus inferior	- superius (VI)
	- basale mediale (VII)		[- basale mediale (VII)]
	- basale anterius (VIII)		- basale anterius (VIII)
	- basale laterale (IX)		- basale laterale (IX)
	- basale posterius (X)		- basale posterius (X)

in den intersegmentalen Septen verlaufen. Die Zahl der Segmente ist variabel, meist finden sich in der rechten Lunge 10, in der linken 8–9 Segmente, weil links das 1. und 2. Segment oft zu einem einzigen verschmelzen und Segment 7 fehlen kann.

Der Segmentbronchus teilt sich in mehreren Teilungsschritten weiter in kleinere Bronchen (▶ Tab. 13.2). Wenn das Lumen unter 1 mm liegt und die Wand knorpelfrei ist, spricht man von **Bronchioli**. Das Lungenläppchen (**Lobulus**) ist eine unvollständig durch Bindegewebssepten abgegrenzte Untereinheit der Segmente, die durch die Aufzweigungen eines Bronchiolus versorgt wird. An der Lungenoberfläche sind die Lobuli als Felderung gut zu erkennen, weil Ruß- und Staubpartikel in den Läppchengrenzen abgelagert werden. Der **Azinus** ist eine makroskopisch nicht abgrenzbare Untereinheit des Lobulus und umfasst alle Lufträume, die von einem Bronchiolus terminalis abgehen.

Die **Alveolen** (Lungenbläschen) sind Honigwaben-artig angeordnete Räume von etwa 0,25 mm Durchmesser. Ihre Wände bestehen aus einem zarten Bindegewebsgerüst mit sehr vielen elastischen Fasern und einem dichten Kapillarnetz. Sie werden von flachen Alveolarepithelzellen (Pneumozyten Typ I) ausgekleidet. Außerdem finden sich im Alveolarepithel die größeren Pneumozyten Typ II, die den Surfactant bilden, und Alveolarmakrophagen. Die **Blut-Luft-Schranke**, also die Barriere, die der Sauerstoff auf dem Weg von der Alveole zum Erythrozyten in den Kapillaren überwinden muss, ist 0,2–0,6 µm breit und besteht aus dem Surfactant-Film, dem Zytoplasma des Pneumozyten Typ I, der verschmolzenen Basalmembran von Alveolarepithel und Kapillarendothel sowie dem Zytoplasma der Endothelzelle.



Beim **Asthma bronchiale** kommt es durch verschiedene Mechanismen zu einer Einengung der kleineren Luftwege (Bronchokonstriktion). Die daran beteiligte Kontraktion der glatten Muskulatur der Bronchialwände verengt vor allem die Bronchiolen, da diese eine stärkere Muskulatur besitzen und nicht von Knorpel stabilisiert werden.

Lungengefäße

Wie die Bronchen können auch die Lungengefäße nur am Hilum pulmonis ein- und austreten. Die Lunge hat 2 weitgehend getrennte Gefäßsysteme: Man unterscheidet die **Vasa publica** für den Gasaustausch von den **Vasa privata** für die Eigenversorgung der Lunge.

Vasa publica. Die großen Lungengefäße, Aa. und Vv. pulmonales (▶ **Abb. 13.8**), sind direkt mit dem Herzen verbunden und stehen im Dienste des Gesamtorganismus. Die **Aa. pulmonales** stammen aus dem Truncus pulmonalis, der das sauerstoffarme Blut aus der rechten Herzkammer in die Lungen leitet. Die Arterien verzweigen sich immer parallel mit den Bronchen. Auch die größeren Arterienäste haben eine deutlich dünnere Wand als vergleichbare Arterien im großen Kreislauf, da sie einem viel geringeren Druck standhalten müssen (ca. 20 mmHg).

Die **Vv. pulmonales** sammeln das mit Sauerstoff angereicherte Blut aus den Kapillaren im Alveolenbereich. Sie verlaufen unabhängig von Arterien und Bronchen in den Bindegewebssepten zwischen Lobuli und Segmenten und kommen am Hilum auf jeder Seite zu 2 Lungenvenen zusammen, die getrennt in den linken Vorhof münden.

Vasa privata. Während Zellen in den Wänden der Alveolen und Bronchioli den benötigten Sauerstoff auch direkt der Luft in den Luftwegen entnehmen können, sind viele Gewebeanteile in der Lunge, insbesondere in den Wänden der größeren Bronchen und im interstitiellen Bindegewebe, auf eine eigene Kapillarversorgung mit sauerstoffreichem Blut angewiesen.

Die hierzu erforderlichen Arterien heißen **Rr. bronchiales** (▶ **Abb. 13.9**) und stammen aus der Aorta thoracica (selten auch aus der A. thoracica interna). In den meisten Fällen kommen links 2 solche Äste direkt aus der Aorta, während rechts ein Ast aus der 3. und 4. Interkostalarterie in Richtung Hilum läuft. Sie verlaufen dann, wie ihr Name sagt, mit den größeren Bronchen und versorgen Hilumstrukturen und die größeren Bronchen und Gefäße. Teilweise anastomosieren sie mit den Aa. pulmonales.

Der größte Teil ihres Blutes gelangt jedoch in **Vv. bronchiales**. In der Lungenperipherie münden diese Venen oft direkt in Vv. pulmonales – also in Vasa publica. Es gibt daher über diese Anastomosen einen Blutfluss von den Vasa privata zu den Vasa publica. Auf diesem Weg gelangt also etwas

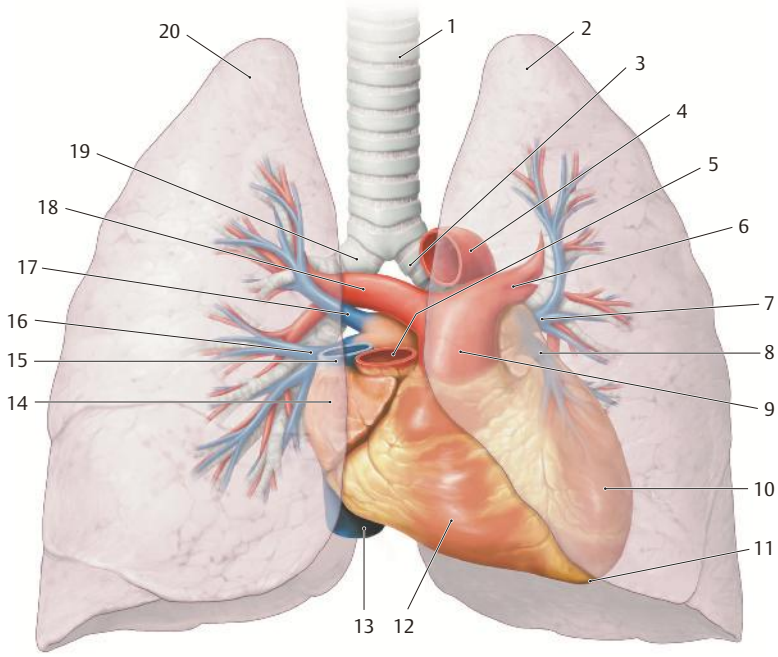


Abb. 13.8 Vasa publica der Lunge. Ansicht von vorn mit durchscheinend dargestellten Lungen.

1 Trachea
2 Pulmo sinister
3 Bronchus principalis sinister
4 Arcus aortae
5 Aorta ascendens
6 A. pulmonalis sinistra
7 V. pulmonalis sinistra superior
8 V. pulmonalis sinistra inferior
9 Truncus pulmonalis
10 Ventriculus sinister
11 Apex cordis
12 Ventriculus dexter
13 V. cava inferior
14 Atrium dextrum
15 V. cava superior
16 V. pulmonalis dextra inferior
17 V. pulmonalis dextra superior
18 A. pulmonalis dextra
19 Bronchus principalis dexter
20 Pulmo dexter
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

nicht oxygeniertes Blut in die Vv. pulmonales. Dieses „Kurzschlussblut“ oder „Shuntblut“ macht etwa 2 % des Herzzeitvolumens aus. Hilumnahe Vv. bronchiales münden hingegen in Körpervenen des Mediastinums: rechts in die V. azygos, links in die V. hemiazygos accessoria. Ihr Blut gelangt damit über die V. cava superior ins rechte Herz.

Bei lebensbedrohlicher **Lungenblutung** (massive Hämoptoe) stammt das Blut aus den Rr. bronchiales, in denen ein wesentlich höherer Druck herrscht als in allen anderen Lungengefäßen. Bei anhaltender Blutung können sie durch einen Katheter von der Aorta aus verödet werden.

Nerven und Lymphbahnen

Am Hilum treten auch Nerven und Lymphbahnen in die Lunge ein bzw. aus.

Die vegetativen **Nerven** bilden am Hilum ein Geflecht, den **Plexus pulmonalis**. Er hat parasympathische Zuflüsse vom N. vagus, die in der Lunge vor allem eine **Bronchokonstriktion** bewirken können, und sympathische Zuflüsse vom Truncus sympathicus. Außerdem enthält er afferente vegetative Fasern, die vor allem von Dehnungssensoren in den Bronchialwänden stammen und über den N. vagus verlaufen. Bei starker Dehnung hemmen sie das Inspirationszentrum im Hirnstamm (Hering-Breuer-Reflex).

Schließlich besitzt die Lunge Schmerzsensoren, die überwiegend in den Bronchialwänden sitzen.

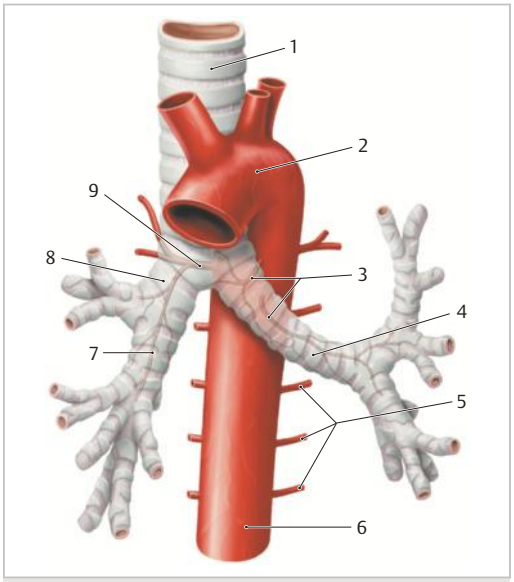


Abb. 13.9 Ursprung der Rr. bronchiales. Ansicht von vorn auf Trachea und große Bronchen, Aortenbogen und Aorta thoracica. Die Bronchen sind durchscheinend dargestellt, um die Rr. bronchiales sichtbar zu machen.
1 Trachea
2 Arcus aortae
3 Zwei Rr. bronchiales aus der Aorta thoracica
4 Bronchus principalis sinister
5 Aa. intercostales posteriores
6 Aorta thoracica
7 Rr. bronchialis aus A. intercostalis
8 Bronchus principalis dexter
9 A. intercostalis posterior III
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die zugehörigen Nervenfasern verlassen die Lunge ebenfalls am Hilum und laufen mit den parasympathischen Fasern im N. vagus in Richtung Zentralnervensystem.

Der **Lymphabfluss** aus der Lunge verläuft über ein oberflächliches und ein tiefes Lymphgefäßgeflecht. Die oberflächlichen (subpleuralen) Geflechte drainieren entlang der Lappenoberflächen direkt in die **Nodi lymphoidei bronchopulmonales** am Hilum. Die tiefen Geflechte lenken ihre Lymphe über Nodi lymphoidei intrapulmonales (= pulmonales) an den Ursprüngen der Segmentbronchen wiederum zu den Nodi lymphoidei bronchopulmonales am Hilum (gelegentlich noch „Hilusdrüsen" genannt). Von dort gelangt die Lymphe zu den **Nodi lymphoidei tracheobronchiales** superiores und inferiores, die die Bifurcatio tracheae umgeben, und dann über die **Nodi lymphoidei paratracheales** in die großen Lymphstämme (Trunci bronchomediastinales). Dabei gelangt vor allem Lymphe aus dem linken Unterlappen auch auf die Gegenseite. Aus den Unterlappen gelangt zusätzlich auch Lymphe über Lymphbahnen im Lig. pulmonale zu Lymphknoten ober- und unterhalb des Zwerchfells (Nodi lymphoidei phrenici superiores und inferiores).

Eine Vergrößerung der Nodi lymphoidei bronchopulmonales durch Entzündungen oder Tumoren kann im Röntgenbild des Thorax als **„Hilusvergrößerung"** sichtbar werden. Lymphknotenmetastasen in den linken Nodi lymphoidei tracheobronchiales superiores können den hier liegenden N. laryngeus recurrens schädigen, was zu Heiserkeit führt.

13.2.3 Pleura

Aufbau. Die **Pleura** (Brustfell) ist eine seröse Haut (S. 53), die sowohl die innere Wand der beiden Pleurahöhlen als auch die Oberfläche der Lungen bedeckt (S. 206). Dadurch, dass diese beiden Blätter der Pleura am Hilum ineinander übergehen, entsteht um jede Lunge ein in sich geschlossener Raum, der **Pleuraspalt**. Er enthält normalerweise nur wenige Milliliter Flüssigkeit, die wie ein Schmiermittel wirken. Die beiden Pleurahöhlen und damit auch die beiden Spalträume sind vollständig voneinander getrennt.

Die der Lunge direkt aufliegende Pleura ist die **Pleura visceralis** (Lungenfell). Sie ist fest mit dem Lungengewebe verwachsen und folgt der Lungenoberfläche auch in die Tiefe der Lappenspalten hinein. Am Hilum geht sie über auf die Strukturen des Lungenstiels und auf das Lig. pulmonale und verbindet sich dann mit der Pleura parietalis. Man nennt diese Verbindung die Umschlagfalte der Pleura.

Die den Wänden der Pleurahöhle von innen anliegende Pleura ist die **Pleura parietalis** (Rippenfell). Sie wird nach den von ihr bedeckten Wänden unterteilt in die **Pleura costalis**, die den Thorax innen auskleidet, die **Pleura mediastinalis**, die das Mediastinum lateral überzieht, und die **Pleura diaphragmatica**, die dem Zwerchfell aufliegt. Zwi-

schen Pleura costalis und der Thoraxwand liegt eine Schicht lockeren subpleuralen Bindegewebes. Diese Schicht wird *Fascia endothoracica* genannt – ein irreführender Name, da Faszien im Allgemeinen aus straffem Bindegewebe bestehen. Oberhalb der 1. Rippe verstärkt sich diese Bindegewebsschicht hingegen tatsächlich zu einer faszienartigen Struktur, der *Membrana suprapleuralis* (Sibson-Faszie). Die ihr innen anliegende Pleura bildet hier die **Pleurakuppel** (Cupula pleurae). In dieser Kuppel liegt die Lungenspitze, die kranial etwa 3 cm über die 1. Rippe hinausragt. Die Pleurakuppel reicht hier bis unter die A. und V. subclavia.

Recessus pleurales. Wenn die Lungen sich in Atemmittellage befinden, liegen Pleura costalis und diaphragmatica kaudal langstreckig aufeinander und bilden hier den **Recessus costodiaphragmaticus**. Dieser Spaltraum ist ein Reserveraum, der sich bei tiefer Einatmung entfaltet, sodass die Lunge nach kaudal hineingezogen wird. Ein kleinerer Reserveraum, der **Recessus costomediastinalis**, liegt an der Grenze von vorderer Brustwand und Mediastinum. Bei tiefer Inspiration schieben sich die Lungen von beiden Seiten in diese Recessus weiter vor das Herz. Dennoch bleibt auch bei maximaler Inspiration immer ein pleurafreies Dreieck vor dem Herzen bestehen, sog. absolute Herzdämpfung (S. 246). Der **Recessus phrenicomediastinalis** im Winkel zwischen Zwerchfell und Herzbeutel ist normalerweise kein nennenswerter Reserveraum.

Solange in den Pleuraspalt keine Luft eindringen kann, muss die Lunge bei einer Erweiterung der Brusthöhle der Bewegung von Brustwand und Zwerchfell folgen und sich ebenfalls erweitern (Einatmung). Gleichzeitig können Pleura visceralis und parietalis aber aneinander entlanggleiten, und auch die aneinander liegenden Pleuraschichten in den Lappenspalten können sich gegeneinander bewegen, sodass die Anpassung der Lunge an die Form der erweiterten Brusthöhle erleichtert wird. Durch den Pleuraüberzug wird insbesondere die Verschieblichkeit der Lunge in kraniokaudaler Richtung gewährleistet.

Im Pleuraspalt kann sich seröse Flüssigkeit (**Pleuraerguss**) oder Blut (**Hämatothorax**) ansammeln, was bei größeren Mengen die Entfaltung der Lunge bei der Einatmung beeinträchtigt. Die Flüssigkeit sammelt sich im Stehen im unteren Bereich, sodass durch Perkussion (Beklopfen) ein Oberrand des Flüssigkeitsspiegels gefunden werden kann. Punktiert wird solch ein Erguss unterhalb dieser zu perkutierenden Dämpfungsgrenze in der hinteren Axillarlinie am Oberrand der entsprechenden Rippe (am Unterrand der Rippe verlaufen Interkostalgefäße und -nerven).

Durch eine Verletzung der Brustwand (z. B. durch Messerstich) oder der Lungenoberfläche (mit Verletzung eines Luftweges) kann Luft in den Pleuraspalt eindringen. Dann geht der Zusammenhalt von Brusthöhle und Lunge verloren und die Lunge schnurrt, bedingt durch ihren Reichtum an elastischen Fasern, zu einem etwa faustgroßen Gebilde zusammen (**Pneumothorax**). Sie kann dann den Thoraxbewegungen nicht mehr folgen, sodass das Überleben von der anderen Lunge abhängt.

Die Pleura costalis wird von den ihr anliegenden **Leitungsbahnen**, den Aa. und Vv. intercostales und Nn. intercostales versorgt, die mediastinale Pleura von A. pericardiacophrenica und N. phrenicus. Die Pleura visceralis erhält Blut aus den Lungengefäßen. Sie ist nicht sensibel innerviert.

Der Schmerz bei einer **Pleuritis** (Brustfellentzündung) wird vor allem über die Nn. intercostales und auch über sensible Fasern des N. phrenicus vermittelt und ist daher ein somatischer Schmerz. Im Gegensatz zum durch vegetative Fasern vermittelten Schmerz ist er daher vom Charakter her stechend oder schneidend („wie Messerstiche") und kann vom Patienten gut lokalisiert werden.

13.2.4 Oberflächenanatomie

Für die direkte körperliche Untersuchung der Lungen ist es von großer Bedeutung, die Oberflächenprojektionen der **Lungen- und Pleuragrenzen** zu kennen (▶ **Abb. 13.10**). Die kaudalen Lungengrenzen sind während des Atemzyklus am stärksten verschieblich. Der untere Rand der rechten Lunge folgt in Atemmittellage vom Sternum aus zunächst der 6. Rippe bis etwa zur Medioklavikularlinie, schneidet in der mittleren Axillarlinie die 8. Rippe, in der Scapularlinie die 10. Rippe und endet dorsal medial auf Höhe der 11. Rippe. Wegen der Aussparung des Herzens folgt der Unterrand der linken

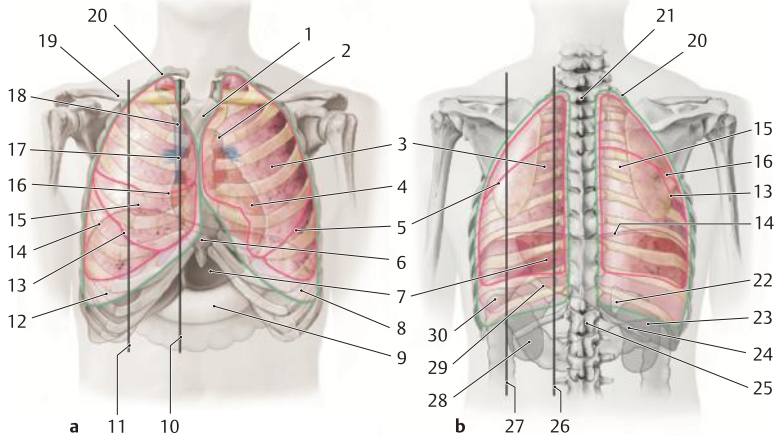


Abb. 13.10 Oberflächenprojektion von Lunge und Pleura. Ansicht von ventral (**a**) und dorsal (**b**).

1 V. brachiocephalica sinistra
2 Arcus aortae
3 Pulmo sinister
4 Cor
5 Fissura obliqua
6 Sternum
7 Hepar
8 Recessus costodiaphragmaticus
9 Gaster
10 Linea sternalis
11 Linea medioclavicularis
12 Recessus costodiaphragmaticus
13 Fissura obliqua
14 Diaphragma
15 Pulmo dexter
16 Fissura horizontalis
17 V. cava superior
18 V. brachiocephalica dextra
19 Clavicula
20 Costa I
21 Vertebra thoracica I
22 Glandula suprarenalis dextra
23 Ren dexter
24 Costa XII
25 Vertebra thoracica XII
26 Linea paravertebralis
27 Linea scapularis
28 Ren sinister
29 Glandula suprarenalis sinistra
30 Splen
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Lunge vom Sternum aus zunächst der 4. Rippe, erreicht in der Medioklavikularlinie aber auch die 6. Rippe und läuft dann genauso wie der Rand der rechten Lunge. Die kaudalen *Pleura*grenzen liegen jeweils etwa einen Zwischenrippenraum tiefer.

Die **Fissura obliqua**[5, 13], die Ober- und Unterlappen voneinander trennt, projiziert sich in ihrem schrägen Verlauf etwa auf die 5. Rippe. Sie verläuft allerdings etwas steiler als die Rippen, sodass sie dorsal die 4. Rippe erreicht, am Sternum hingegen den Ansatz der 6. Rippe. Die **Fissura horizontalis**[16] der rechten Lunge projiziert sich relativ genau auf die 4. Rippe und trifft in der mittleren Axillarlinie auf die Fissura obliqua.

Kranial sind Lungen- und Pleuragrenzen praktisch identisch. Die **Lungenspitze** ragt in der Pleurakuppel etwa 3 cm über den sternalen Ansatz der 1. Rippe hinaus, wodurch sie auch die Clavicula überragt und bis in das laterale Halsdreieck reicht.

Im **Standard-Röntgenbild des Thorax** stellt sich die lufthaltige Lunge, da sie strahlendurchlässiger ist, deutlich dunkler dar als das angrenzende Gewebe. Im Gegensatz zu anderen Organen können wegen des natürlichen Röntgenkontrasts zwischen lufthaltigem und anderem Gewebe innerhalb der Lunge auch Gefäße und Bronchen erkannt werden, insbesondere am Hilum.

Bei sagittaler Durchstrahlung („posterior-anteriorer Strahlengang") wird der **Recessus costodiaphragmaticus**[12] an der lateralen Brustwand tangential getroffen und ist daher gut einsehbar. Bei normalen Verhältnissen bilden Brustwand- und Zwerchfell-Projektion hier einen spitzen Winkel, der in der Radiologie „Sinus (phrenicocostalis)" genannt wird. Bei einem Pleuraerguss ist er verschattet.

Die Fissuren sind auf Standard-Röntgenaufnahmen nur zu sehen, wenn sie tangential getroffen werden. Das kann für die Fissura obliqua auf seitlichen Aufnahmen, für die Fissura horizontalis auf posterior-anterioren Aufnahmen der Fall sein.

13.2.5 Atemmechanik

Auch wenn wir bei tiefer Einatmung (Inspiration) das Gefühl haben können, unsere Lungen „aufzupumpen“, so vermittelt dies doch eine falsche Vorstellung. Der inspiratorische Luftstrom wird nicht durch Überdruck in den oberen, sondern durch Unterdruck in den unteren Luftwegen hervorgebracht. Der entscheidende Mechanismus der Einatmung ist die **Erweiterung der Pleurahöhlen**, der die Lungen passiv folgen müssen, wodurch Außenluft „angesogen“ wird. Diese Erweiterung der Pleurahöhlen wird durch 2 Mechanismen hervorgerufen:

- das Heben und Erweitern des Thorax,
- das Absenken des Zwerchfells.

Die nicht forcierte Ausatmung (Exspiration) erfolgt hingegen **passiv** durch die elastischen Rückstellkräfte von Lunge und Thorax und die Oberflächenspannung der Alveolen.

Man unterscheidet anhand der Beteiligung von Thorax und Zwerchfell zwei Typen von Atmung, die Brust- und die Bauchatmung. Bei der **Brustatmung** (**Rippenatmung**) werden durch die Kontraktion der inspiratorischen Muskeln, insbesondere der *Mm. intercostales externi* (S. 609), die Rippen angehoben. Zwei sich gegenüberliegende Rippen bilden mit ihrem zugehörigen Brustwirbel und dem Sternum eine Bewegungseinheit, die wie ein Henkel an einem Eimer angebracht ist. In Ruhestellung steht dieser „Henkel“ schräg nach unten und wird bei der Einatmung in die Horizontale gehoben. Dadurch vergrößert sich der sagittale Durchmesser des Thorax, bei den unteren Rippen auch zusätzlich der transversale Durchmesser.

Die **Bauchatmung** ist gleichbedeutend mit **Zwerchfellatmung**. Die Kontraktion des Zwerchfells führt zu einer Absenkung der Zwerchfellkuppeln, die nicht nur den Pleuraraum erweitet, sondern auch den Druck auf den Bauchinhalt erhöht. Bei jeder Inspiration wölbt sich daher der Bauch vor.

Die normale Ruheatmung im *Erwachsenenalter* ist eine kombinierte Brust-Bauch-Atmung, wobei allerdings das Zwerchfell überwiegt und der wichtigste Atemmuskel ist. Bei *Säuglingen* hingegen stehen die Rippen schon in Ruhelage fast horizontal. Deshalb ist keine Brustkorberweiterung durch Rippenbewegung möglich. Bis zum 3.–7. Lebensjahr überwiegt daher die Bauchatmung. Eine zunehmende Verknöcherung der Rippenknorpel im *Alter* reduziert später wieder die Beweglichkeit des Thorax, weshalb im hohen Alter ebenfalls die Bauchatmung überwiegt.

Bei den Muskeln, die für die Atmung eingesetzt werden, unterscheidet man Atemmuskeln und Atemhilfsmuskeln. **Atemmuskeln** sind bei jeder Inspiration der Ruheatmung beteiligt: das Zwerchfell und die Mm. intercostales externi sowie die Mm. scaleni. **Atemhilfsmuskeln** werden bei forcierter Atmung eingesetzt, sei es durch bewussten Entschluss oder als Reaktion auf körperliche Belastung oder krankheitsbedingte Atemnot. Atemhilfsmuskeln für die **Inspiration** sind der M. sternocleidomastoideus und angeblich auch M. pectoralis major und minor sowie der M. serratus anterior (bei aufgestützten Armen, s. u.). Atemhilfsmuskeln für die **Exspiration** sind die Mm. intercostales interni und die Bauchmuskeln, insbesondere die seitlichen schrägen Muskeln, sowie eventuell auch der M. latissimus dorsi, der bei Hustenstößen sichtbar kontrahiert.

Die Unterscheidung in Atem- und Atemhilfsmuskeln ist willkürlich, da bei zunehmender Atemtiefe fließende Übergänge in der Anzahl der eingesetzten Muskeln bestehen. So wird der M. sternocleidomastoideus schon bei etwas vertiefter Atmung mit aktiviert. Außerdem ist die Atemwirkung einzelner Muskeln, selbst wenn ihre Aktivität mit Elektromyografie gemessen wird, schwierig einzuschätzen, da bei jeder Muskelinnervation ja auch Antagonisten zur Bewegungssteuerung mit innerviert werden.

Die Mm. pectorales und serratus anterior sind bei aufgestützten Armen zwar potenzielle Rippenheber, ihr tatsächlicher Beitrag zur Inspiration ist aber bisher nicht bewiesen. Patienten mit Atemnot stützen wohl eher deshalb die Arme auf, weil sie damit den oberen Brustkorb von der Last des Schultergürtels befreien.



Bei einer **Querschnittlähmung** oberhalb von Th 1 fällt die Interkostalmuskulatur aus. Neben der Zwerchfellatmung (der N. phrenicus erhält seine Fasern aus C 3–5) ist dann trotzdem über die Mm. scaleni und den M. sternocleidomastoideus noch eine gewisse Brustatmung möglich. Selbst Patienten mit einer Querschnittläsion oberhalb von C 4, die im Allgemeinen beatmet werden müssen, können eventuell zeitweise mit dem M. sternocleidomastoideus, der vom XI. Hirnnerv innerviert wird, selbst atmen.

13.3 Herz und große Gefäße

Das **Herz** (Cor) ist das zentrale Kreislauforgan, das als Hohlmuskel nach Art einer Pumpe das Blut bewegt. Es liegt im **Herzbeutel** (Perikard), der das mittlere Mediastinum ausfüllt. Das Herz besteht aus 2 parallelgeschalteten Hälften, dem rechten und dem linken Herz, die jeweils aus einem **Vorhof** (Atrium) und einer **Kammer** (Ventriculus) bestehen. Das rechte Herz pumpt das Blut in den Lungenkreislauf, das linke in den Körperkreislauf. Die Richtung des Blutflusses wird durch die Klappen vorgegeben: die **Segelklappen** zwischen Vorhöfen und Kammern und die **Taschenklappen** zwischen Kammern und der Ausflussbahn (Aorta und Truncus pulmonalis). Die Muskelwände werden mit eigenen Gefäßen versorgt, den **Herzkranzgefäßen** (Vasa coronaria).

13.3.1 Entwicklung

Das Herz hat eine sehr komplizierte Entwicklung, deren Kenntnis vor allem für das Verständnis angeborener Herzfehler wichtig ist, während sie zum Erlernen der Herzanatomie selbst relativ wenig beiträgt. Es empfiehlt sich daher, zunächst die Anatomie des erwachsenen Herzens (S. 234) zu lernen.

Die folgenden Erklärungen zur **Entwicklung des Herzens** und zum **fetalen Kreislauf** sind stark vereinfacht, sollten aber zum Verständnis der häufigsten angeborenen Herzfehler ausreichen.

Zunächst wird das **Herz** als ungekammerter Schlauch (Cor commune) mit einer **Porta venosa** und einer **Porta arteriosa** angelegt. Anschließend faltet sich der Endokardschlauch S-förmig, dann trennt er sich in Vorhöfe und Kammern, schließlich bilden sich die Vorhof- und Kammerscheidewände und die Herzklappen.

Die Bildung der Scheidewand zur Unterteilung in linken und rechten Vorhof ist relativ kompliziert, weil bis zur Geburt eine Öffnung erhalten bleiben muss. Zunächst wächst das **Septum primum** von kranial in Richtung der Ventrikel vor, lässt aber an seinem unteren Rand zeitweise noch eine Öffnung frei, das **Ostium primum**. Bevor das Septum primum die Vorhöfe vollständig trennt und das Ostium primum verschließt, entsteht in seinem oberen Bereich erneut eine Öffnung, das **Ostium secundum**. Anschließend wächst rechts vom Septum primum sichelförmig das **Septum secundum** herunter, das das Ostium secundum bedeckt, aber an seinem unteren Rand das Foramen ovale freilässt. Durch Foramen ovale und Ostium secundum kann das Blut in der Fetalzeit weiterhin vom rechten in den linken Vorhof fließen.

Bei der Unterteilung der beiden Kammern durch das von der Herzspitze aus hochwachsende **Septum interventriculare** bleibt zunächst in der Nähe der Atrioventrikularebene (AV-Ebene) ein Foramen interventriculare bestehen.

Beim **Vorhofseptumdefekt** bleibt eines der beiden Ostien offen. Man unterscheidet daher Ostium-primum- und Ostium-secundum-Defekte. Die Ostium-primum-Defekte sitzen tiefer, d. h. näher an der AV-Ebene.

Ventrikelseptumdefekte sitzen praktisch immer im oberen Teil der Kammerscheidewand.

Die arterielle Ausstrombahn, die ja zunächst nur ein gemeinsamer Schlauch ist, muss abschließend durch ein **Septum aorticopulmonale** in Aorta und Truncus pulmonalis unterteilt werden. Die Trennwand zwischen beiden Gefäßen wird spiralig ausgebildet. Dies entspricht der Situation am definitiven Herzen, wo die Ausstrombahnen beider Kammern sich entsprechend spiralig umeinander drehen (s. ▶ **Abb. 13.11** und ▶ **Abb. 13.12a**).

Gelingt diese spiralige Trennung nicht und wächst das Septum aorticopulmonale mehr oder weniger gerade herunter, kommt es zu einer **Transposition der großen Gefäße**, bei der die Aorta aus dem rechten Herzen und der Truncus pulmonalis aus dem linken Herzen entspringt. Dadurch entstehen 2 völlig voneinander getrennte Kreisläufe. Dieser Herzfehler kann nur überlebt werden, wenn durch eine offen bleibende Rechts-links-Verbindung „Mischblut“ entsteht.

Ein wichtiger abschließender Schritt bei der Entwicklung des **Septum aorticopulmonale** ist sein Vorwachsen in Richtung des noch bestehenden Ventrikelseptumdefekts. Dieser wird am Ende verschlossen und die Kammern damit an die Ausflussbahn angeschlossen.

Gelingt dieser Schritt nicht und das Septum wächst zu weit auf die rechte Seite hinüber, dann wird der Truncus pulmonalis eingeengt (**Pulmonalstenose**), der **Ventrikelseptumdefekt** bleibt bestehen und die **Aortenwurzel „reitet“** auf diesem Defekt, steht also über beiden Kammern. Diese 3 Fehlbildungen bilden zusammen mit der daraus resultierenden **Rechtsherzhypertrophie** die **Fallot-Tetralogie**.

Fetaler Kreislauf (▶ **Abb. 13.11**). Der **Fetus** erhält sauerstoffreiches Blut aus der Plazenta[11]. Dieses Blut fließt über die **Nabelvene** (**V. umbilicalis**[13]) durch die Nabelschnur und den Nabel in Richtung Leberpforte. Allerdings erreicht nur ein geringer Teil dieses Bluts über die Reste der rechten Nabelvene die Pfortader (V. portae[14]). Der Hauptteil zieht über den **Ductus venosus**[16] (Arantii) an der Leber vorbei in die **V. cava inferior**[9], in der er sich mit deren sauerstoffarmem Blut aus dem fetalen Körperkreislauf mischt. Dieses Mischblut gelangt schließlich in den **rechten Vorhof**[20].

Die **Nabelvene** führt also sauerstoffreiches Blut. Sauerstoffarmes Blut fließt über die beiden **Nabelarterien**[10], Äste der A. iliaca interna, in die Plazenta zurück. Die Gefäße werden (wie auch im adulten Kreislauf!) nicht nach ihrem Sauerstoffgehalt benannt, sondern nach ihrer Beziehung zum Herzen: Die Nabelarterien führen Blut vom fetalen Herzen weg, die Nabelvenen führen Blut in Richtung Herz.

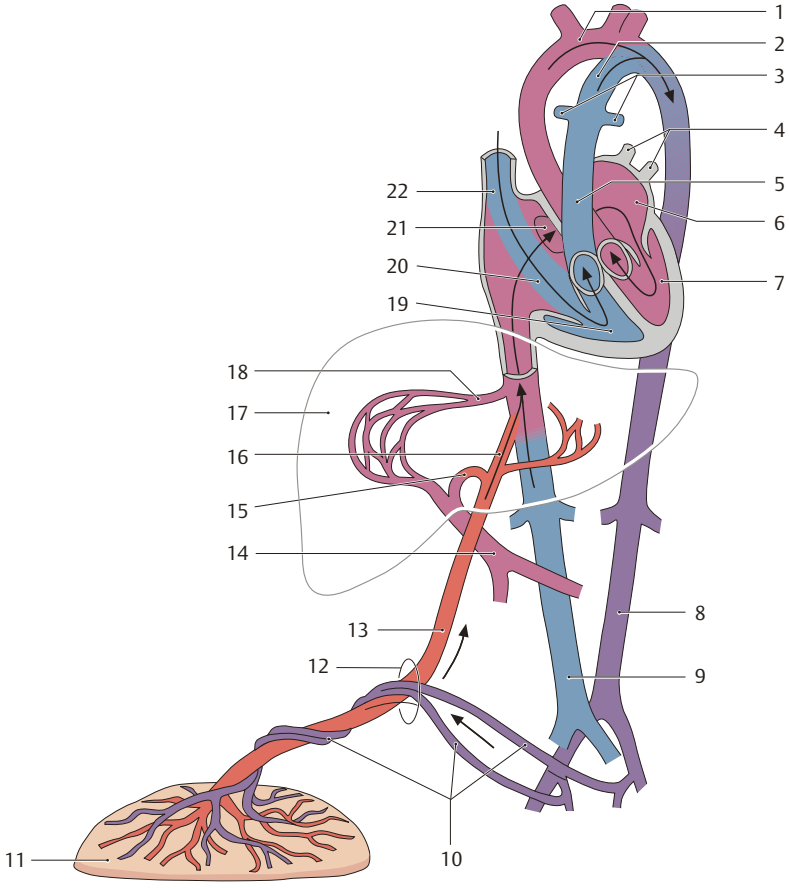


Abb. 13.11 Fetaler Kreislauf (nach Fritsch und Kühnel). Die Lungen sind noch nicht entfaltet und werden kaum durchblutet. rot: sauerstoffreiches Blut, blau: sauerstoffarmes Blut, violett: Mischblut.

1 Arcus aortae
2 Ductus arteriosus
3 Aa. pulmonales
4 Vv. pulmonales sinistrae
5 Truncus pulmonalis
6 Atrium sinistrum
7 Ventriculus sinister
8 Aorta abdominalis
9 V. cava inferior
10 Aa. umbilicales
11 Placenta
12 Umbilicus
13 V. umbilicalis
14 V. portae
15 Verbindung der V. umbilicalis zur V. portae
16 Ductus venosus
17 Hepar
18 Vv. hepaticae
19 Ventriculus dexter
20 Atrium dextrum
21 Foramen ovale
22 V. cava superior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Da die Lunge beim Fetus kaum durchblutet werden muss, bestehen 2 **Umgehungswege für den Lungenkreislauf**: Diese leiten das Blut aus dem rechten Herzen unter Umgehung der Lunge in das linke Herz und damit in den Körperkreislauf. Der erste dieser Umgehungswege ist das **Foramen ovale**[21] in der Vorhofscheidewand. Durch das Foramen ovale wird das Mischblut aus der V. cava inferior durch den rechten Vorhof hauptsächlich direkt in den linken Vorhof geleitet. Von dort gelangt es über den linken Ventrikel und die Aorta vor allem in den Kopf.

Das über die V. cava superior in den rechten Vorhof zurückströmende Blut fließt ebenfalls durch den rechten Vorhof und hauptsächlich weiter in den rechten Ventrikel. Es gibt also 2 tendenziell voneinander getrennte Blutströme durch den rechten Vorhof. Dieses sauerstoffärmere Blut gelangt in den Truncus pulmonalis, von dort aber nicht in die Lunge, sondern über den zweiten Umgehungsweg, den **Ductus arteriosus**[2] (Botalli) in die Aorta. Dies ist eine Verbindung des Truncus pulmonalis mit dem Aortenbogen knapp unterhalb des Abgangs der linken A. subclavia. Dort mischt sich also sauerstoffreiches Blut aus der Aorta und sauerstoffärmeres Blut aus dem Ductus arteriosus (Botalli). Dieses Mischblut reicht für die Versorgung der unteren Körperhälfte aus.

Da das sauerstoffärmere Blut aus der V. cava superior die Aorta über den Ductus Botalli erst nach dem Abgang von Truncus brachiocepahlicus, A. carotis communis sinistra und A. subclavia sinistra erreicht, werden Kopf und obere Extremität besser mit Sauerstoff versorgt als Köperstamm und untere Extremität.

Bei der **Geburt** des Kindes muss der fetale Kreislauf binnen kürzester Zeit umgestellt werden. Mit dem ersten Atemzug und der Entfaltung der Lungen sinkt der Druck im rechten Vorhof unter denjenigen im linken Vorhof. Dadurch klappt das Foramen ovale zunächst ventilartig zu. Seine Ränder verwachsen dann in den ersten Wochen (bei jedem 4. Mensch bleibt allerdings eine sondierbare, aber funktionell unbedeutende Öffnung im Foramen ovale bestehen). Außerdem kontrahiert sich die Muskelwand des Ductus arteriosus (Botalli), der sich dann in den ersten Lebenswochen ebenfalls endgültig bindegewebig verschließt und zum Lig. arteriosum wird. Genauso verschließt sich der Ductus venosus (Arantii), dessen bindegewebige Reste das Lig. venosum bilden. Die ebenfalls obliterierte V. umbilicalis wird zum Lig. teres hepatis.

Bleibt der Ductus arteriosus (Botalli) nach der Geburt offen (**persistierender Ductus arteriosus**), entsteht ein Links-rechts-Shunt. Es fließt Blut von der Aorta in den Truncus pulmonalis und belastet damit das rechte Herz und die Lunge.

Durch persistierendes Ductus-Gewebe kann auch die Aorta am „Aortenisthmus", also unterhalb des Abgangs der A. subclavia sinistra, pathologisch eingeengt werden (**Aortenisthmusstenose**). Bei starker Verengung erreicht das Blut dann über Umgehungskreisläufe die Aorta thoracica, insbesondere über die Aa. subclaviae und Aa. thoracicae internae rückläufig durch die Interkostalarterien. Die Vergrößerung der Aa. intercostales kann sogar zu Eindellungen der Rippen („Rippenusuren") führen.

13.3.2 Aufbau des Herzens

Das Herz ist die zentrale „Blutpumpe" des Organismus. Es schlägt etwa 100 000-mal am Tag, um den Druck aufzubauen, der das Blut durch den **kleinen Kreislauf** (Lungenkreislauf) und den **großen Kreislauf** (Körperkreislauf) treibt. Die beiden Herzhälften schlagen dabei zeitlich synchron, sind aber anatomisch vollständig durch Scheidewände voneinander getrennt. Nur im fetalen Kreislauf (s. o.) und bei pathologischen Zuständen (Septumdefekt) bestehen offene Verbindungen zwischen rechtem und linkem Herz. In beiden Herzhälften

Tab. 13.4 Übersicht über die Herzhöhlen in der Reihenfolge des Blutstroms

	Zufluss	Vorhof	Segelklappe	Kammer	Taschenklappe	Ausflussbahn
rechtes Herz	V. cava superior und inferior	Atrium dextrum	Trikuspidalklappe	Ventriculus dexter	Pulmonalklappe	Truncus pulmonalis
linkes Herz	Vv. pulmonales	Atrium sinistrum	Mitralklappe	Ventriculus sinister	Aortenklappe	Aorta

gelangt das Blut aus den Venen in den Vorhof (Atrium), von dort durch eine Segelklappe in die Kammer (Ventriculus) und von dort durch eine Taschenklappe in die Ausflussbahn, also die Aorta bzw. den Truncus pulmonalis (▶ Tab. 13.4, s. a. ▶ Abb. 3.1). Die linke Kammer ist deutlich kräftiger gebaut, da sie einen wesentlich höheren Druck erzeugen muss als die rechte Kammer.

Äußere Form (▶ Abb. 13.12)

Das normale Herz ist etwa faustgroß und wiegt blutleer ungefähr 300 g. Die Form des Herzens gleicht grob einem Kegel, der schräg im Brustkorb liegt. Die **Herzspitze** (**Apex cordis**) zeigt nach vorn unten links, die **Herzbasis** mit den großen Gefäßen zeigt nach hinten oben rechts. Die Herzachse ist damit um etwa 40° zur Sagittal- und Transversalachse geneigt. An der Basis ist das Herz über die großen Gefäße im Mediastinum verankert, während die Herzspitze im Herzbeutel eine begrenzte Beweglichkeit hat.

An einem isolierten Herzen, wie es im Präpariersaal nach der Entnahme aus dem Herzbeutel (Pericard) vorliegt, orientiert man sich am besten zunächst an den großen Gefäßen. Die **Hohlvenen** (V. cava superior[15] und inferior[11]) münden in einer vertikalen Linie von oben und von unten in den rechten Vorhof[13] ein, der am Herzen ganz rechts liegt. Die 2 **Lungenvenen** jeder Seite (Vv. pulmonales[4, 19]) münden horizontal in den linken Vorhof[22], der am Herz ganz hinten liegt. Hohlvenen und Lungenvenen bilden dadurch das sogenannte **Venenkreuz**, über das die Herzbasis weitgehend im Mediastinum befestigt ist. Direkt aus der Vorderwand des Herzens geht die mächtige Lungenschlagader (**Truncus pulmonalis**[5]) hervor, die sich geschwungen nach dorsal wendet und sich unter dem Aortenbogen in die beiden Aa. pulmonales[3, 17] teilt. Die mindestens genauso mächtige **Aorta**[1] beginnt etwas versteckt zwischen V. cava superior und Truncus pulmonalis und steigt dann steiler als der Truncus pulmonalis zum Aortenbogen auf. (Weitere Angaben zu den großen Gefäßen im Abschnitt „Leitungsbahnen“ (S. 250)).

Die Lage von Vorhöfen und Kammern lässt sich am Herzen von außen durch folgende Rinnen bestimmen: Zwischen Vorhöfen und Kammern liegt der **Sulcus coronarius**[12] (Kranzfurche), der – nur vom Truncus pulmonalis unterbrochen – einmal um das ganze Herz herumzieht. Diesem Sulcus verdanken die Kranzgefäße ihren Namen. Vorn trennt der **Sulcus interventricularis anterior**[7] rechte und linke Kammerwand. Er zieht vom Sulcus coronarius gerade herunter und endet etwas rechts von

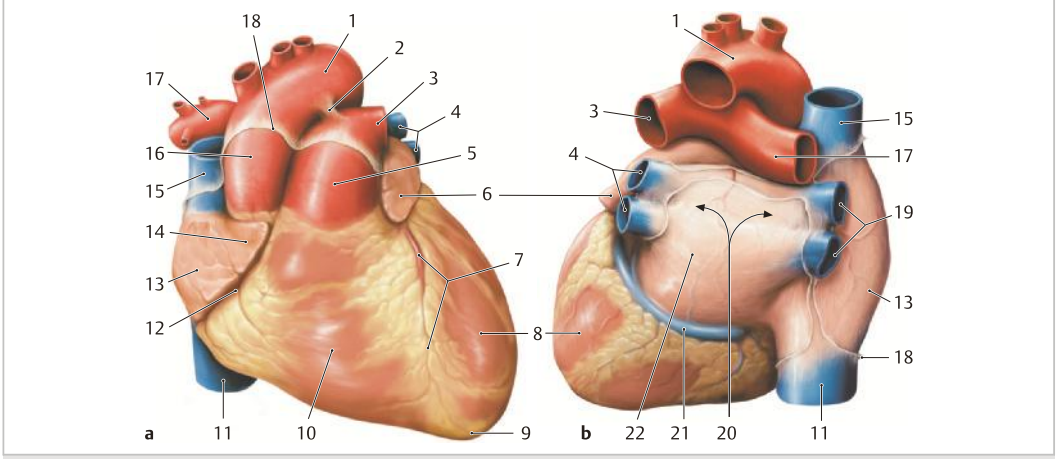


Abb. 13.12 Herz und große Gefäße ohne Pericard. Ansicht von ventral (**a**) und dorsal (**b**).

1 Arcus aortae
2 Lig. arteriosum
3 A. pulmonalis sinistra
4 Vv. pulmonales sinistrae
5 Truncus pulmonalis
6 Auricula sinistra
7 Sulcus interventricularis anterior
8 Ventriculus sinister
9 Apex cordis
10 Ventriculus dexter
11 V. cava inferior
12 Sulcus coronarius
13 Atrium dextrum
14 Auricula dextra
15 V. cava superior
16 Aorta, ascendens
17 A. pulmonalis dextra
18 Schnittrand des entfernten Pericards
19 Vv. pulmonales dextrae
20 Sinus obliquus pericardii
21 Sinus coronarius
22 Atrium sinistrum

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

der Herzspitze. Unten markiert der **Sulcus interventricularis posterior** ebenfalls die Grenze zwischen den beiden Kammern.

Man unterscheidet am Herzen von außen folgende Oberflächen:

- Die **Vorderfläche** (Facies sternocostalis) ist leicht gewölbt und der vorderen Brustwand zugewendet. Sie wird vor allem von der Vorderwand des rechten Ventrikels gebildet, aber auch von den beiden Herzohren (Anteilen der Vorhöfe, s. u.) und der schmaleren Vorderwand des linken Ventrikels.
- Die **Unterfläche** (Facies diaphragmatica) ist der dem Zwerchfell aufliegende Teil des Herzens. Sie wird zum größten Teil vom linken Ventrikel gebildet, dessen Wand in diesem Bereich „Hinterwand" genannt wird. Zu einem kleinen Teil ist auch der rechte Vorhof an der Unterfläche beteiligt.
- Die **Hinterfläche** (Basis cordis, manchmal auch Facies posterior genannt) wird überwiegend vom linken, aber auch von Teilen des rechten Vorhofs gebildet. Außerdem grenzt hier auch ein Teil des linken Ventrikels an, die „eigentliche Hinterwand", die, um Verwechslungen zu vermeiden, *posteriore* Wand genannt werden sollte.
- Die **Seitenflächen** werden Facies pulmonalis genannt. Die rechte wird primär vom rechten Vorhof gebildet, die linke von der Seitenwand des linken Ventrikels (s. a. die randbildenden Strukturen im Röntgenbild (S. 246)).

Herzhöhlen und Herzklappen

Wandaufbau. Alle Wände der Herzhöhlen bestehen aus 3 Schichten: Epikard, Myokard und Endokard. Das außen liegende **Epikard** besteht aus einem serösen Epithel (S. 53) und dem subserösen Binde- und Fettgewebe, das an einigen Stellen als Baufett zur Glättung der Herzoberfläche beiträgt, aber auch sehr verschieden stark ausgeprägt sein kann und allgemein im Alter zunimmt. Das innen liegende **Endokard** besteht wie bei allen Gefäßen aus einem einschichtigen Epithel (Endothel) und einer dünnen Bindegewebsschicht. Dazwischen liegt das **Myokard**, die Muskelschicht. Sie ist je nach Funktion verschieden stark, und sie bedingt die großen Unterschiede in der Wanddicke der einzelnen Herzhöhlen: linker Vorhof ca. 3 mm, rechter Ventrikel 3–5 mm, linker Ventrikel 8–12 mm. Die Wanddicke des linken Ventrikels entspricht dem etwa fünffach höheren Druck, den er im Vergleich zum rechten Ventrikel aufbauen muss.

Die Muskelfasernetze des Myokards zeigen insbesondere in den Kammern eine sehr komplexe Anordnung, die grob in 2 Längsmuskelschichten und eine dazwischenliegende Ringmuskelschicht aufgeteilt werden kann, die aber viele schräge und schraubenförmige Faserverläufe enthält.



Herzmuskelzellen können sich, ähnlich wie trainierte Skelettmuskelzellen, bei Belastung vergrößern (**Hypertrophie**, Sportlerherz). Sie können sich aber praktisch nicht mehr teilen, sodass keine Regeneration möglich ist. Abgestorbene Zellen (nach einem Myokardinfarkt) werden daher durch eine bindegewebige Narbe ersetzt.

Aufbau der Herzbinnenräume. Vor der Besprechung der einzelnen Vorhöfe und Kammern werden hier zunächst einige allgemeine Bemerkungen zu den Binnenräumen (▶ **Abb. 13.13** und ▶ **Abb. 13.14**) und Klappen gemacht. Alle 4 Herzhöhlen sind für ein durchschnittliches Schlagvolumen von 70–90 ml pro Schlag bei körperlicher Ruhe ausgelegt. Entsprechend haben die beiden Kammern beim gesunden Herzen trotz der sehr verschiedenen Wanddicken (s. o.) einen etwa gleich großen Binnenraum. Große Teile der Innenwände der Herzhöhlen haben durch vorspringende **Muskelbalken** ein charakteristisches Relief. In den Vorhöfen spricht man von Mm. pectinati („Kammmuskeln"), in den Kammern von Trabeculae carneae („Fleischbalken"). Spezialisierte Trabeculae carneae springen als Mm. papillares (Papillarmuskeln) ins Lumen vor und dienen der Befestigung und Steuerung der Segelklappen.

Zwischen Vorhöfen und Kammern finden sich die weitgehend gleich gebauten **Segelklappen** (**Valvae atrioventriculares**, **AV-Klappen**). Sie bestehen aus 2 oder 3 Segeln (Cuspes, Einzahl: Cuspis), die in die Kammer hineinragen, wo ihr freier Rand über Sehnenfäden (**Chordae tendineae**) an den **Papillarmuskeln** befestigt ist. Die Segel bilden ein Ventil, das das Blut aus dem Vorhof in die Kammer strömen lässt, bei steigendem Druck in der Kammer hingegen den Rückstrom verhindert. Dann legen sich die Segel aneinander und verschließen das *Ostium atrioventriculare*. Die Papillarmuskeln und Sehnenfäden verhindern, dass die

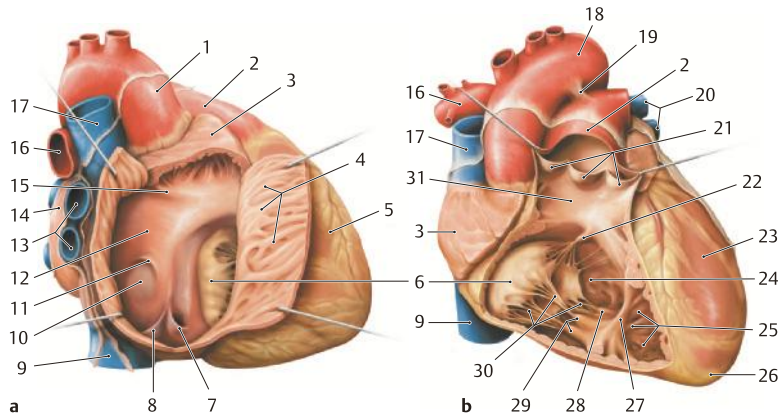


Abb. 13.13 Binnenräume des rechten Herzens.
a Einblick in den eröffneten rechten Vorhof, Ansicht von rechts. **b** Einblick in den rechten Ventrikel nach Entfernung seiner Vorderwand, Ansicht von ventral.

1 Aorta ascendens
2 Truncus pulmonalis
3 Auricula dextra
4 Mm. pectinati
5 Ventriculus dexter
6 Trikuspidalklappe
7 Ostium sinus coronarii mit Thebesischer Klappe
8 Valvula v. cavae inferioris (Eustachische Klappe)
9 V. cava inferior
10 Fossa ovalis
11 Limbus fossae ovalis
12 Vorhofscheidewand
13 Vv. pulmonales dextrae
14 Atrium sinistrum
15 Linea terminalis
16 A. pulmonalis dextra
17 V. cava superior
18 Arcus aortae
19 Lig. arteriosum
20 Vv. pulmonales sinistrae
21 Pulmonalklappe
22 M. papillaris septalis
23 Ventriculus sinister
24 Septum interventriculare
25 Trabeculae carneae
26 Apex cordis
27 Trabecula septomarginalis
28 M. papillaris posterior
29 M. papillaris anterior
30 Chordae tendineae
31 Conus arteriosus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Segel dabei in den Vorhof „durchschlagen". Sie sind hingegen nicht an der Öffnung der Segel beteiligt, die rein passiv durch den Blutstrom erfolgt.

In der Ausflussbahn, am Übergang der Kammern in die Aorta bzw. den Truncus pulmonalis, befinden sich **Taschenklappen**, die im Prinzip ähnlich wie Venenklappen gebaut sind (S. 40). Sie bestehen jeweils aus 3 Taschen, den **Valvulae semilunares**. Die Öffnung der einzelnen „Tasche" zeigt nach oben, also in Richtung Arterie. In der Auswurfphase des Ventrikels legen sich die Taschen an die Gefäßwand und geben den Blutstrom frei. In der Erschlaffungsphase verhindern sie den Rückstrom des Blutes in den Ventrikel, indem sich die freien Ränder der Taschen in der Mitte aneinanderlegen. Von oben gesehen entsteht dadurch das Bild eines dreigezackten Sterns. Knötchenartige Verdickungen in der Mitte des freien Randes jeder Tasche (Noduli valvularum semilunarium) sorgen dafür, dass sich dieser Stern auch in der Mitte vollständig schließt.

Sowohl die Segel der Segelklappen als auch die Taschen der Taschenklappen sind zarte Bindegewebsmembranen, die beidseits mit Endothel bedeckt sind und außer an ihrer Basis keine eigenen Blutgefäße enthalten. Sie sind so dünn gebaut, dass eine direkte Versorgung aus dem Blutstrom ausreicht.

Der **rechte Vorhof** (**Atrium dextrum, RA,** ▶ **Abb. 13.13a**) nimmt das venöse Blut aus dem Körperkreislauf auf. Er bildet den rechten Herzrand und wölbt die gedachte Verbindungslinie von V. cava superior und V. cava inferior etwas nach rechts vor.

Von außen ist das rechte Herzohr (**Auricula dextra**[3]) zu erkennen, das sich vorne zwischen Aortenwurzel und rechten Ventrikel schmiegt. Es ist damit eine Art Lückenfüller im Dienste einer glatten, in den Herzbeutel passenden Herz-

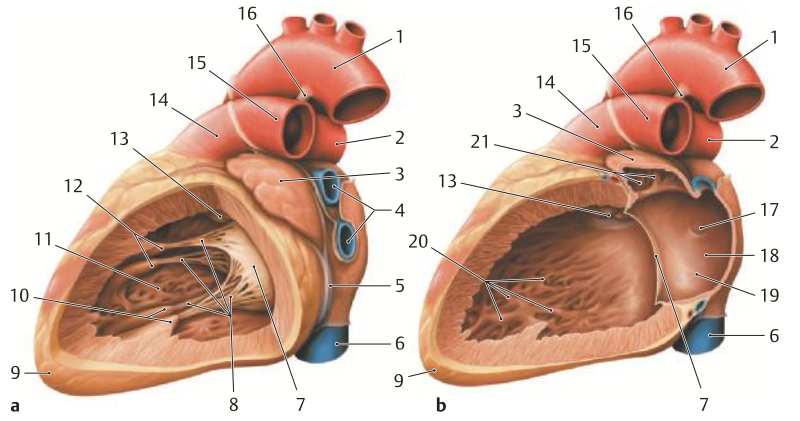


Abb. 13.14 Binnenräume des linken Herzens. Ansicht jeweils von links.
a Einblick in den linken Ventrikel nach Wegnahme seiner Seitenwand. **b** Einblick in linken Ventrikel und linken Vorhof nach Wegnahme von Teilen ihrer Seitenwand und der Mitralklappe.

1 Arcus aortae
2 A. pulmonalis dextra
3 Auricula sinistra
4 Vv. pulmonales sinistrae
5 Sinus coronarius
6 V. cava inferior
7 Mitralklappe, Cuspis posterior
8 Chordae tendineae
9 Apex cordis
10 M. papillaris posterior
11 Kammerscheidewand (Septum interventriculare)
12 M. papillaris anterior
13 Aortenklappe
14 Truncus pulmonalis
15 A. pulmonalis sinistra
16 Lig. arteriosum
17 Valvula foraminis ovalis
18 Atrium sinistrum
19 Vorhofscheidewand (Septum interatriale)
20 Trabeculae carneae
21 Mm. pectinati
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

oberfläche. Außerdem ist von außen dorsolateral, von einer V. cava zur anderen laufend, eine Rinne zu erkennen, der Sulcus terminalis. Er ist die entwicklungsgeschichtliche Grenze zwischen dem eigentlichen Vorhof und dem Teil, der von der Venenanlage (Sinus venosus) noch in den Vorhof integriert wurde. Die Innenwand des rechten Vorhofs ist im dorsalen Bereich (dem früheren Sinus venosus) glatt, im ventralen durch parallele Muskelbälkchen, die Mm. pectinati[4], zerklüftet. Die Grenze zwischen diesen beiden Anteilen entspricht außen dem Sulcus terminalis und wölbt sich innen als Crista terminalis vor.

Der zerklüftete Wandanteil erstreckt sich vorn oben in das Herzohr (Auricula dextra), eine Aussackung der Lichtung des Vorhofs. Dorsomedial im glatten Wandanteil liegt das **Septum interatriale**[12] (Vorhofscheidewand), hinter dem sich der linke Vorhof befindet. Das Septum zeigt in der Mitte eine leichte Vertiefung, die **Fossa ovalis**[10], die oben von einem Wulst, dem Limbus fossae ovalis[11], umfasst wird. Dies ist der Ort des im fetalen Kreislauf offenen Foramen ovale (S. 232). Das Foramen verschließt sich nach der Geburt, ist aber bei etwa 25 % der Erwachsenen noch sondendurchgängig.

In den rechten Vorhof münden die beiden *Hohlvenen* (Vv. cavae) und der *Sinus coronarius* (die Sammelvene für die Herzkranzvenen) sowie einige kleinere *Vv. cardiacae anteriores*. Die Mündung der V. cava superior ist klappenfrei, die jenige der V. cava inferior besitzt eine rudimentäre Klappe, die **Valvula v. cavae inferioris**[8] (Eustachische Klappe). Sie hat im fetalen Kreislauf die Aufgabe, den Blutstrom aus der V. cava inferior direkt in Richtung auf das Foramen ovale zu lenken. Beim Erwachsenen ist sie funktionslos und kann fehlen oder stark zurückgebildet sein. Ihr mediales Ende ist mit dem Ausläufer einer kleineren, ebenfalls rudimentären Klappe verbunden, der *Valvula sinus coronarii*[7] (Thebesische Klappe), hinter der die Öffnung des Sinus coronarius liegt. Links davon öffnet sich der rechte Vorhof in den rechten Ventrikel.

Vorhof-Muskelzellen können bei Überdehnung der Vorhofwand ein Hormon sezernieren, das **atriale natriuretische Peptid** (**ANP**). Die Wirkungen des ANP auf den Kreislauf (Wasserausscheidung, Gefäßerweiterung) führen dann zu einer Entlastung des Herzens.

Der **rechte Ventrikel** (**Ventriculus dexter, RV,** ▶ **Abb. 13.13b**) nimmt Blut aus dem rechten Vorhof auf und pumpt es über den Truncus pulmonalis in die Lunge. Er nimmt vor allem die Vorderfläche des Herzens ein und auch einen Teil der Unterfläche, ist aber nicht an der Herzspitze beteiligt. Im Vergleich mit dem rechten Ventrikel ist die muskuläre Wand des linken Ventrikels deutlich dicker. Das gilt auch für die gemeinsame Wand, das **Septum interventriculare**[24] (Kammerscheidewand), da das Septum funktionell zum linken Ventrikel gehört. Daher liegt der rechte Ventrikel dem linken wie eine Tasche an. Das Kammerseptum besteht zum größten Teil aus Muskulatur (Pars muscularis), ein kleiner Teil nahe der Vorhof-Kammer-Grenze ist hingegen bindegewebig (Pars membranacea).

Von rechts öffnet sich die *Trikuspidalklappe*[6] in den Ventrikel, deren Segel durch Papillarmuskeln[22, 28, 29] an der Kammerwand befestigt sind. Die übrige Wand ist durch Muskelbalken (Trabeculae carneae) zerklüftet. Einer dieser Balken, die Trabecula septomarginalis[27] („Moderator-Band"), zieht vom Septum zur Vorderwand frei durch die Kammerlichtung. In diesem „Band" liegt der rechte Kammerschenkel des Erregungsleitungssystems (S. 241). Die Ausflussbahn des rechten Ventrikels wendet sich nach oben in einen glattwandigen Teil, den Conus arteriosus[31]. Dieser geht an der Pulmonalklappe[21] in den Truncus pulmonalis über.

Der Name „Moderator-Band" geht auf die fehlerhafte Vorstellung zurück, der Muskelbalken, der von einer Ventrikelwand zur anderen zieht, diene als Schutz gegen Überdehnung des Ventrikels.

Die **Trikuspidalklappe** (**Valva atrioventricularis dextra**) ist eine Segelklappe mit 3 Segeln, Cuspis anterior, Cuspis posterior und Cuspis septalis (s. ▶ **Abb. 13.15**). Jedem Segel entspricht ein Papillarmuskel: M. papillaris anterior, posterior und septalis. Der anteriore Muskel ist normalerweise am größten und steht in Verbindung mit der Trabecula septomarginalis, der septale ist am kleinsten. Die Papillarmuskeln können geteilt sein und es können auch weitere kleinere vorkommen. Die Spitzen der Papillarmuskeln sind über mehrere Chordae tendineae mit den Segeln verbunden.

Die **Pulmonalklappe** (**Valva trunci pulmonalis**) ist eine Taschenklappe mit 3 Taschen, einer vorderen (Valvula semilunaris anterior) und 2 hinteren (Valvula semilunaris dextra und sinistra).

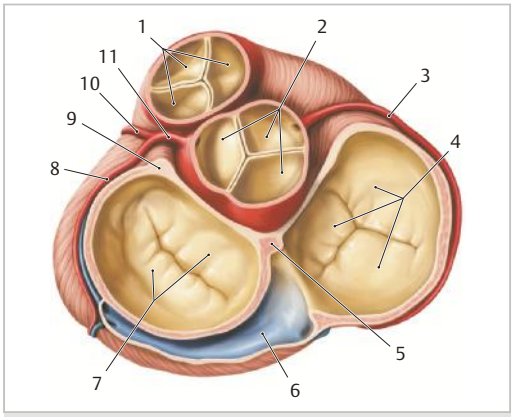


Abb. 13.15 Ventilebene des Herzens. Sicht von der Herzbasis aus nach Wegnahme der Vorhöfe und großen Gefäße. Die Blickrichtung liegt so, als würde man von rechts oben auf das eigene Herz schauen.
1 Valva trunci pulmonalis
2 Valva aortae
3 A. coronaria dextra
4 Valva tricuspidalis
5 Trigonum fibrosum dextrum
6 Sinus coronarius (eröffnet)
7 Valva mitralis
8 R. circumflexus
9 Trigonum fibrosum sinistrum
10 R. interventricularis anterior
11 A. coronaria sinistra
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **linke Vorhof** (**Atrium sinistrum, LA,** ▶ **Abb. 13.14b**) nimmt das venöse (sauerstoffreiche!) Blut aus den Lungen auf. Er bildet den größten Teil der Herzbasis, also der zum hinteren Mediastinum gerichteten Herzoberfläche. Nur sein Herzohr (**Auricula sinistra**) beteiligt sich an der vorderen und seitlichen Oberfläche. Die Innenfläche ist weitgehend glattwandig, lediglich im Herzohr finden sich Mm. pectinati. In der gemeinsamen Wand mit dem rechten Vorhof, dem **Septum interatriale**, findet sich als Entsprechung der Fossa ovalis eine Falte, die Valvula foraminis ovalis. Die Mündungen der *Vv. pulmonales* – im Normalfall 2 auf jeder Seite – sind klappenfrei.

Der **linke Ventrikel** (**Ventriculus sinister, LV,** ▶ **Abb. 13.14**) nimmt das Blut aus dem linken Vorhof auf und pumpt es in die Aorta und damit in den Körperkreislauf. Er bildet große Teile der linken Seiten- und der Unterfläche sowie einen etwas kleineren Teil der Vorderfläche des Herzens und

bildet auch allein die Herzspitze. Der linke Ventrikel ist die muskelstärkste Herzhöhle. Auch das **Septum interventriculare**[11] gehört von der Dicke und Funktion zum linken Ventrikel, weshalb die Ventrikelwand auf Schnitten quer zur Längsachse des Herzens rund erscheint. Genaue anatomische Abgrenzungen von Vorder-, Seiten- und Hinterwand des linken Ventrikels sind daher kaum möglich. Praktisch bedeutsam ist die Einteilung nach Versorgungsarealen der Herzkranzarterien, die wiederum der Benennung von Herzinfarkt-Arealen dient. In diesem Sinne werden am linken Ventrikel Vorderseitenwand, „Hinterwand" (die eigentliche Unterwand) und posterolaterale Wand unterschieden (S. 243).

Die Atrioventrikularklappe (Mitralklappe[7]) öffnet sich von hinten oben in den Ventrikel, dessen Oberfläche durch hervorspringende Muskelbalken (Trabeculae carneae[20]) gekennzeichnet ist. Nur ein Teil der Ausflussbahn ist glattwandig. Dieser wendet sich nach rechts oben in Richtung *Aortenklappe*[13], hinter der die Aorta beginnt. Die Ausflussbahnen von linkem und rechtem Ventrikel drehen sich spiralartig umeinander. Der am Herzen links liegende linke Ventrikel und die rechts liegende Aorta ascendens sind dadurch *hinter* dem Truncus pulmonalis miteinander verbunden und die Aortenklappe liegt hinter der Pulmonalklappe.

Die **Mitralklappe** (**Bikuspidalklappe, Valva atrioventricularis sinistra**) ist eine Segelklappe mit 2 Segeln, Cuspis anterior und posterior, die an eine Bischofsmütze (Mitra) erinnern soll. Wie bei der Trikuspidalklappe sind die beiden Segel über die *Chordae tendineae*[8] an den entsprechenden Papillarmuskeln (M. papillaris anterior[12] und posterior[10]) befestigt. Dadurch, dass die Ein- und die Ausflussbahn des linken Ventrikels fast parallel liegen, bildet das vordere Segel die Grenze zwischen diesen beiden.



Reißen die Chordae tendineae der Mitralklappe, kommt es zum **Mitralklappenprolaps**: Die Klappensegel schlagen während der Kammeranspannung in den Vorhof hinein. Dies hat ein Leck in der Klappe mit Rückfluss von Blut in den Vorhof zur Folge (**Mitralklappeninsuffizienz**).

Die **Aortenklappe** (**Valva aortae**) ist wie die Pulmonalklappe eine Taschenklappe mit 3 Klappen, die wegen ihrer anderen Ausrichtung aber in 2 vordere (Valvula semilunaris dextra und sinistra) und eine hintere (Valvula semilunaris posterior) aufgeteilt werden. Oberhalb der Taschen bildet die Aorta jeweils eine Ausbuchtung, den *Sinus aortae* (Sinus Valsalvae). Direkt oberhalb der Klappe in den vorderen beiden Sinus entspringen die Koronararterien (▶ **Abb. 13.15**).

Die 4 Klappen des Herzens liegen in einer Ebene, der **Ventilebene**. Entsprechend der Ausrichtung des Herzens liegt diese Ebene schräg zu allen 3 Körperebenen. Sie ist die Grenze zwischen den Kammern (unterhalb) sowie den Vorhöfen und großen Arterien (oberhalb) und wird deshalb auch *Atrioventrikular-Ebene* (AV-Ebene) genannt. Außen ist sie durch den *Sulcus coronarius* markiert. Die 4 Öffnungen dieser Ebene sind durch Bindegewebsringe verstärkt, die man in ihrer Gesamtheit als **Herzskelett** bezeichnet (bei einigen Tierarten kommt hier auch Knochen oder Knorpel vor, beim Menschen aber nicht). Das Herzskelett stellt eine vollständige (auch elektrische) Trennung von Vorhof- und Kammermuskulatur dar. Zwischen den Ringen entstehen 2 bindegewebige Dreiecke:

- **Trigonum fibrosum dextrum**[5] zwischen den beiden AV-Klappen und der Aortenklappe. Es enthält eine Durchtrittsöffnung für das His-Bündel (S. 242).
- **Trigonum fibrosum sinistrum**[9] zwischen Mitral- und Aortenklappe.

13.3.3 Herzzyklus, Erregungsbildung und -leitung, Innervation

Am schlagenden Herzen unterscheidet man 2 Funktionsphasen, die gemeinsam je einen **Herzzyklus** bilden: die Systole (genauer: Kammersystole) und die Diastole (Kammerdiastole). Grundsätzlich öffnen sich die Taschenklappen in der Systole, die AV-Klappen in der Diastole.

In der **Systole** kontrahiert sich die Muskulatur beider Kammern. Zu Beginn dieser Phase schließen sich die AV-Klappen, dann steigt bei noch geschlossenen Taschenklappen der Druck in den Kammern (*Anspannungsphase*). Wenn dieser Druck den diastolischen Druck in der Aorta (ca. 80 mmHg) bzw. des Truncus pulmonalis (ca. 10 mmHg) übersteigt, öffnen sich die Taschenklappen und von beiden Ventrikeln werden je 70–90 ml Blut ausgeworfen (*Austreibungsphase*). Dabei sinkt sukzessive der Druck in den Kammern selbst, bis er wieder unter dem der großen Arterien liegt

und sich die Taschenklappen am Ende der Systole schließen.

In der **Diastole** erschlafft die Kammermuskulatur. Zu Beginn der Diastole sinkt zunächst bei geschlossenen Klappen der Druck in den Kammern (*Entspannungsphase*). Wenn er unter das Druckniveau in den Vorhöfen gefallen ist, öffnen sich die AV-Klappen und Blut aus den Vorhöfen strömt ein (*Füllungsphase*). Gegen Ende der Diastole kommt es zur Kontraktion der Vorhofmuskulatur (*Vorhofsystole*), die den Blutstrom in Richtung Ventrikel unterstützt.

Auch bei Ausfall der Vorhofkontraktion, zum Beispiel beim **Vorhofflimmern**, fließt Blut passiv von den Vorhöfen in die Kammern. Allerdings verschlechtert sich die Herzleistung durch die geringere Füllung der Ventrikel um etwa 20 %.

Da die Eingänge der Venen in die Vorhöfe klappenlos sind, überträgt sich die Druckerhöhung bei der Vorhofkontraktion auch auf die großen herznahen Venen, wo sie als Venenpuls wahrnehmbar ist.

Ventilebenenmechanismus. Die Bewegungen der Ventilebene im Herzzyklus unterstützen die Funktion des Herzens. Da die Herzbasis am Venenkreuz befestigt ist und die Herzspitze durch die Lage im Herzbeutel nicht beliebig nach oben verlagert werden kann, zieht die Kontraktion der Kammermuskulatur die Ventilebene (AV-Ebene) in der Systole in Richtung Herzspitze nach unten. Dadurch werden die Vorhöfe gedehnt und saugen Blut aus den großen Venen an. In der Diastole bewegt sich die Ventilebene in Richtung Herzbasis und schiebt sich damit quasi ein Stück weit über das in den Vorhöfen liegende Blut.

Erregungsbildung und -leitung (▶ **Abb. 13.16**). Die Impulse für die rhythmische Kontraktion der Herzmuskulatur werden vom Herzen selbst erzeugt, das deshalb auch nach Trennung vom Organismus eine Zeit lang weiterschlagen kann. Das vegetative Nervensystem hat auf diesen autonomen Vorgang „nur" einen modulierenden Einfluss.

Die Erregungsbildung und ihre Weiterleitung in die verschiedenen Bereiche des Herzens geht von spezialisierten Muskelzellen aus, die untereinander und mit den anderen Muskelzellen durch Gap Junctions verbunden sind. Makroskopisch kann das Erregungsleitungsgewebe nicht von der übrigen Herzmuskulatur (die man in diesem Zusammenhang „Arbeitsmuskulatur" nennt) abgegrenzt werden.

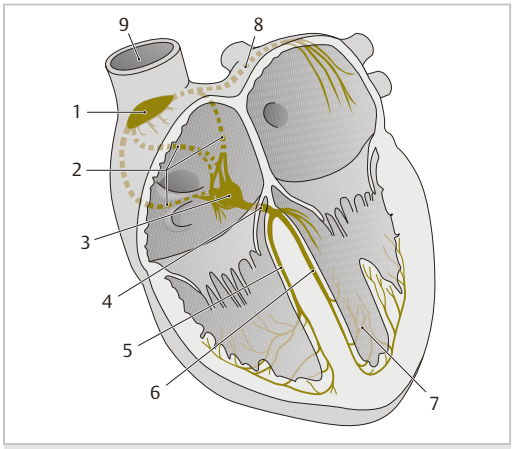


Abb. 13.16 Erregungsbildungs- und -leitungssystem des Herzens. Schematische Ansicht auf ein eröffnetes Herz von ventral.
1 Nodus sinuatrialis
2 Internodalbündel
3 Nodus atrioventricularis
4 Fasciculus atrioventricularis
5 Crus dextrum
6 Crus sinistrum
7 Purkinje-Fasern
8 interatriales Bündel
9 V. cava superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Erregung der Muskelzellen geht von einem „Schrittmacher" aus, dem **Sinusknoten**[1] (Nodus sinuatrialis), der im Ruhezustand einen Rhythmus von 70–80 Erregungen pro Minute erzeugt („Sinusrhythmus"). Der längliche Sinusknoten ist etwa 2 × 25 mm groß und sitzt an der Einmündung der V. cava superior unter dem Epikard des rechten Vorhofs, etwa zwischen dem oberen Ende des Sulcus terminalis und dem Ansatz des rechten Herzohrs. Von hier aus wird die Erregung in die gesamte Vorhofmuskulatur verbreitet, die sich kontrahiert und gleichzeitig die Erregung zum AV-Knoten weitergibt.

Spezialisiertes Erregungsleitungsgewebe wie in den Kammerschenkeln (s. u.) existiert im Vorhof nicht. In der Arbeitsmuskulatur des Vorhofs lassen sich aber elektrophysiologisch Muskelbündel bestimmen, die durch ihre Anordnung den schnellsten Weg der Erregung vom Sinus- zum

AV-Knoten darstellen und daher **Internodalbündel**[2] genannt werden.

Der **AV-Knoten**[3] (**Nodus atrioventricularis, Aschoff-Tawara-Knoten**) nimmt diese Erregung auf, um sie über das His-Bündel an die Kammern weiterzugeben. Man nennt diesen Vorgang *AV-Überleitung*. Der Knoten ist etwa 5 mm lang und liegt am unteren Ende der Vorhofscheidewand zwischen Vorhofmuskulatur und dem Trigonum fibrosum dextrum.

Der AV-Knoten kann, z. B. bei einer Herzoperation, im Koch-Dreieck aufgesucht werden. Dieses Dreieck wird gebildet von der Öffnung des Sinus coronarius, dem Ansatz des hinteren Segels der Trikuspidalklappe und der Todaro-Sehne. Diese feine subendokardiale Sehne zieht vom oberen Ausläufer der Eustachischen Klappe (Valvula v. cavae inferioris) nach kranial in Richtung des Trigonum fibrosum dextrum.

Bei Ausfall des Sinusrhythmus kann der AV-Knoten einen langsameren **Ersatzrhythmus** erzeugen (ca. 40–50/min). Bei zu hoher Erregungsfrequenz (Vorhoftachykardie) kann er hingegen die auf die Kammern übergeleitete Schlagfrequenz reduzieren.

Vom AV-Knoten geht das **His-Bündel**[4] (Fasciculus atrioventricularis) aus. Es durchbohrt das *Trigonum fibrosum dextrum* und ist die einzige elektrische Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammern (deren Muskulatur sonst vom Herzskelett vollständig getrennt wird). Das Bündel ist etwa 2 cm lang, läuft in die *Pars membranacea* des Kammerseptums hinein und verzweigt sich dort in die 2 **Kammerschenkel**[5,6] (Tawara-Schenkel, Crus dextrum und Crus sinistrum). Der linke Kammerschenkel teilt sich weiter in 2 größere **Faszikel**, einen vorderen und einen hinteren.

All diese Bündel laufen in Richtung Herzspitze und teilen sich dann in die feineren subendokardialen **Purkinje-Fasern**[7], die die Erregung an die Arbeitsmuskulatur weitergeben. Durch die Verteilung dieser Bahnen wird sichergestellt, dass die Erregung zuerst die Papillarmuskeln und die Herzspitze erreicht und sich von dort über die übrige Kammermuskulatur in Richtung Ventilebene ausbreitet. Dadurch werden die Kammern in der Systole quasi von der Spitze aus „ausgepresst". Außerdem erfolgt die Erregung der Kammerwände von innen nach außen, da sie von den subendokardialen Purkinje-Fasern ausgeht.

Wenn der AV-Knoten oder das His-Bündel geschädigt werden, verlangsamt sich die AV-Überleitung oder fällt komplett aus (**AV-Block**). Beim vollständigen AV-Block hängt das Überleben davon ab, dass in der Kammermuskulatur ein Ersatzrhythmus entsteht. Bei Ausfall eines Kammerschenkels (Schenkelblock) oder Faszikels (Hemiblock) werden weiterhin beide Kammern erregt, aber die Ausbreitung dieser Erregung ist abnorm und dauert länger, was im EKG diagnostiziert werden kann.

Innervation. Herzfrequenz und Schlagkraft können vom vegetativen Nervensystem moduliert werden, um die Herzleistung den wechselnden Erfordernissen des Organismus anzupassen:

- Der Sympathicus erhöht Herzfrequenz und Auswurfleistung in Phasen erhöhten Leistungsbedarfs.
- Der Parasympathicus senkt die Herzfrequenz in Phasen der Ruhe.

Der **Plexus cardiacus** ist ein vegetatives Nervengeflecht an der Herzbasis, das sich vor allem um den Aortenbogen herum außerhalb des Herzbeutels verteilt. Im Plexus verstreut liegen kleine parasympathische Ganglien (Ganglia cardiaca). Der Plexus erhält sympathische und parasympathische Zuflüsse, die wegen der ursprünglichen Entwicklung des Herzens überwiegend *aus dem Halsbereich* stammen.

Der Halsgrenzstrang gibt 3 sympathische Nerven ab (N. cardiacus cervicalis superior, medius und inferior), der Brustgrenzstrang die Rr. cardiaci thoracici. Sie enthalten postganglionäre Fasern, die bereits im Grenzstrang synaptisch verschaltet wurden.
Der N. vagus steuert die parasympathischen Rr. cardiaci cervicales und thoracici bei, deren präganglionäre Fasern erst in den Ganglia cardiaca verschaltet werden.

Vom Plexus aus ziehen Fasern zum Erregungsleitungssystem, zu den Kranzgefäßen und zur Arbeitsmuskulatur. Außerdem enthält der Plexus afferente Fasern, die über N. vagus und Grenzstrang zum ZNS laufen und die auch Schmerzfasern enthalten.

Sauerstoffmangel im Herzmuskelgewebe, z. B. beim **Herzinfarkt**, aktiviert diese Schmerzfasern. Die dadurch ausgelösten Schmerzen (**Angina pectoris**) werden meist als Engegefühl oder dumpfer Schmerz in der Brust beschrieben, der – charakteristisch für *vegetative* Schmerzen – nicht eindeutig lokalisierbar ist. Typischerweise strahlt dieser Schmerz in linke Brust und linken Arm aus, was durch Head-Zonen (S. 67) erklärbar ist, aber auch in Bauch und Kopf.

13.3.4 Herzkranzgefäße

Während die großen Gefäße des Herzens im Dienste des Kreislaufs, also des Gesamtorganismus stehen und daher **Vasa publica** sind, brauchen die Herzwände eine eigene Blutversorgung mit **Vasa privata**. Dies sind die *Herzkranzarterien* und die zugehörigen *Herzvenen*.

Die **Herzkranzarterien**, die **Aa. coronariae** (S. 621), entspringen als erste Äste der Aorta direkt oberhalb der vorderen Taschen der Aortenklappe im rechten und linken Sinus aortae. Sie unterliegen einer starken individuellen Variabilität. Hier wird zunächst der *ausgeglichene Versorgungstyp* beschrieben, der für etwa 70 % der Menschen zutrifft.

Die **rechte Herzkranzarterie** (**A. coronaria dextra**) verläuft im *Sulcus coronarius* zwischen rechtem Vorhof und rechter Kammer nach unten und folgt dann dem Sulcus auf die Unterwand des Herzens. Dort biegt sie mit ihrem Endast, dem *R. interventricularis posterior*, in den gleichnamigen Sulcus um und endet darin gewöhnlich kurz vor der Herzspitze. In etwa zwei Drittel der Fälle versorgt sie den Sinusknoten mit einem *R. nodi sinuatrialis*. An der Vorderwand gibt sie außerdem Äste zum rechten Vorhof (*Rr. atriales*) und zum rechten Ventrikel ab (*R. coni arteriosi, Rr. ventriculares*) sowie an der Grenze von der Vorder- zur Unterwand des rechten Ventrikels den *R. marginalis dexter*. Ventrikuläre Äste zur Unterwand des rechten Ventrikels gehen variabel vom Stamm der Arterie, vom R. marginalis dexter oder vom R. interventricularis posterior ab. Vom *R. interventricularis posterior* entspringen mehrere kleine Äste zur Unterwand des linken Ventrikels sowie mehrere *Rr. septales*, die das hintere Drittel der Kammerscheidewand versorgen. Außerdem entspringt in etwa 80 % der Fälle ein Ast für den AV-Knoten (*R. nodi atrioventricularis*) vom Beginn des R. interventricularis posterior.

Die **linke Herzkranzarterie** (**A. coronaria sinistra**) ist immer größer als die rechte. Sie entspringt versteckt hinter dem Truncus pulmonalis aus der Aortenwurzel. Ihr Stamm teilt sich nach kurzem Verlauf in den *R. interventricularis anterior* und den *R. circumflexus*. Der **R. interventricularis anterior** wendet sich nach vorn und zieht im gleichnamigen Sulcus nach unten in Richtung eines Punktes rechts von der Herzspitze. Hier biegt er meist noch ein kurzes Stück auf die Unterseite um. Äste des R. interventricularis anterior sind ein rechter *R. coni arteriosi*, *Rr. septales* für die vorderen zwei Drittel der Kammerscheidewand und einer oder mehrere Äste für die Vorderwand des linken Ventrikels, die *Rr. laterales*. Da diese in spitzem Winkel vom R. interventricularis anterior abgehen und schräg über die Vorderwand laufen, werden sie häufig auch *Rr. diagonales* genannt. Zum rechten Ventrikel werden nur sehr kleine Äste abgegeben.

Der **R. circumflexus** folgt dem Sulcus coronarius unter dem linken Herzohr zur Hinterfläche des Herzens. Er gibt an der Grenze von Vorder- und Seitenwand des linken Ventrikels den *R. marginalis sinister* ab (der allerdings auch aus dem R. interventricularis anterior abgehen kann) und endet in einem *R. posterior ventriculi*, der parallel zum Sulcus interventricularis posterior verläuft und die posterolaterale Wand des Ventrikels versorgt. Außerdem versorgt der R. circumflexus mit *Rr. atriales* den linken Vorhof sowie in etwa einem Drittel der Fälle mit einem *R. nodi sinuatrialis* den Sinusknoten. Seltener gibt er auch Äste zum AV-Knoten ab.

Während der *rechte Ventrikel* also im Normalfall überwiegend von der rechten Kranzarterie versorgt wird, so wird der *linke Ventrikel* nicht nur von der linken durchblutet, sondern in Teilen der Unterwand und des Septums auch von der rechten. Die wichtigsten Teile des *Erregungsleitungssystems* (Sinusknoten, AV-Knoten und His-Bündel) werden im Normalfall von der rechten Kranzarterie versorgt, der Sinusknoten aber immerhin bei einem Drittel der Menschen von der linken.

Der **Linksversorgertyp** (etwa 15 % der Menschen) weicht von dem beschriebenen Muster ab, indem die linke Kranzarterie deutlich stärker ist und ihr R. circumflexus weiter auf die Unterfläche zieht und dort den R. interventricularis posterior bzw. R. posterior ventriculi sinistri (R. posterolate-

ralis sinister) abgibt, während die Äste der rechten Kranzarterie auf der Unterfläche geringer ausgeprägt sind. Damit wird der linke Ventrikel bei diesen Menschen vollständig von der linken Kranzarterie versorgt. Beim **Rechtsversorgertyp** (ebenfalls etwa 15 % der Menschen) ist die rechte Kranzarterie stärker als gewöhnlich und versorgt mit einem zusätzlichen R. posterolateralis dexter Bereiche der Hinterwand des rechten und linken Ventrikels, die normalerweise vom R. circum flexus versorgt werden.

Die Koronararterien werden vor allem in der Kammerdiastole gefüllt, unter anderem weil ihre Muskeläste während der Systole von der Herzmuskulatur komprimiert werden. Ihre Durchblutung hängt also vom Druck ab, den der elastische „Windkessel" der Aortenwurzel nach Schluss der Aortenklappen aufrechterhält (S. 250). Auch wenn es anatomische Anastomosen zwischen den Kranzarterien gibt, sind diese doch bei einer Mangeldurchblutung eines Gebietes nicht ausreichend, um die Versorgung zu übernehmen. Die Koronararterien sind daher „funktionelle Endarterien".

Die Herzmuskulatur ist sehr gut mit Blutgefäßen versorgt. Auf histologischer Ebene kommt im Durchschnitt auf eine Muskelfaser (= Muskelzelle) eine Kapillare.



Eine Verengung (Stenose) in einer der Kranzarterien führt ab einem bestimmten Grad zu Sauerstoffmangel im Muskelgewebe (**koronare Herzkrankheit**). Dann kommt es meist zu typischen Schmerzen in Form der **Angina pectoris** (S. 243). Bei akutem vollständigem Verschluss eines Gefäßes stirbt das nicht mehr versorgte Muskelgewebe ab (**Myokardinfarkt**). Dies betrifft überwiegend den linken Ventrikel. Die Versorgungsgebiete der einzelnen Arterien bestimmen dabei das betroffene Infarktareal.

Insbesondere bei der Benennung von Infarktarealen nach ihrer Lokalisation am linken Ventrikel werden folgende Wandanteile unterschieden (▶ Tab. 13.5): septal, anterior, lateral, posterolateral, „Hinterwand" (inferior). Es gibt allerdings anatomisch keine scharfen Grenzen zwischen diesen Anteilen des linken Ventrikels. Außerdem sind die Versorgungsgebiete der Kranzarterien individuell sehr unterschiedlich – und somit auch das Infarktareal bei einem Gefäßverschluss.

Die **Herzvenen** (**Vv. cardiacae oder Vv. cordis**) sammeln sich im Sinus coronarius, der im Sulcus coronarius auf der Unterseite des Herzens liegt. Daher haben die Venenstämme einen etwas anderen Verlauf und eine andere Namensgebung als die Arterien, die ja vorn am Herzen entspringen.

Der Größe nach wird als erste die **V. cardiaca magna** benannt, die das Blut der V. interventricularis anterior und weiterer Äste des linken Ventrikels aufnimmt und im linken Sulcus coronarius um das Herz zieht, um dort in den Sinus coronarius überzugehen. Sie entspricht also in ihrem Versorgungsgebiet der gesamten linken Kranzarterie. Es folgt auf der Unterseite des Herzens die **V. cardiaca media**, die im Sulcus interventricularis posterior liegt und daher auch V. interventricularis posterior genannt werden kann. Schließlich folgt am rechten Herzrand die **V. cardiaca parva**, die rechtsventrikuläre Äste aufnimmt und parallel zur rechten Kranzarterie im Sulcus coronarius nach hinten umbiegt, um dort ebenfalls in den Sinus coronarius zu münden. Der Sinus coronarius, der außerdem noch direkte Vv. ventriculi sinistri aufnimmt, mündet nahe der Einmündung der V. cava inferior in den rechten Vorhof. Kleinere Venen (Vv. cardiacae minimae, Thebesische Venen) münden auch direkt in die Herzhöhlen. Einige wenige davon münden auch ins linke Herz, womit sie zum „Kurzschlussblut" beitragen (S. 227).

Die **Lymphgefäße** des Herzens verlaufen mit den Venen im Sinus coronarius. Sie münden überwiegend in die Nodi lymphoidei tracheobronchiales inferiores.

13.3.5 Perikard

Das Herz liegt im mittleren Mediastinum im Herzbeutel (Pericardium), einer serösen Höhle (S. 53), die die bei jedem Herzschlag entstehende Reibung mit der Umgebung herabsetzt. Das Perikard besteht aus 2 Schichten, dem Pericardium fibrosum und dem Pericardium serosum. Letzteres bildet die eigentliche seröse Höhle.

Das **Pericardium fibrosum** ist ein Beutel aus straffem, geflechtartigem Bindegewebe, das eine gewisse Dehnung erlaubt. Er ist an den oberen großen Gefäßen (V. cava superior, Aorta, Truncus pulmonalis) einige Zentimeter oberhalb des Herzens befestigt, sodass diese Gefäße eine kurze Strecke innerhalb des Perikards verlaufen (das Lig. arteriosum liegt außerhalb des Perikards). Das Pericardium fibrosum geht hier in die Adventitia der Gefäßwände über (schlägt also nicht auf die Herzwand um) und verbindet sich auch mit trachealen Faszien. Die Vv. pulmonales und die V. cava

Tab. 13.5 Herzkranzarterien und Versorgungsgebiete am linken Ventrikel (Normalversorgertyp). Die Ausdehnung eines Infarkts hängt von der Lage des Verschlusses in proximalen oder distalen Abschnitten des betroffenen Gefäßes ab. Wegen der hohen Variabilität der koronaren Gefäße sind individuelle Abweichungen nicht ungewöhnlich.

Gefäß	Klinische Bezeichnungen	Versorgungsgebiet (linker Ventrikel)	Infarkt bei Gefäßverschluss
A. coronaria dextra	RCA (right coronary artery)	Unterwand, hinteres Septum	„Hinterwandinfarkt“
A. coronaria sinistra (Stamm)	LCA (left coronary artery)	Vorder- und Seitenwand	„Rieseninfarkt“
• R. interventricularis anterior	RIVA, LAD (left anterior descending)	Vorderwand und Herzspitze	Vorderwandinfarkt (Anteroseptal-, Anterolateral-, Apikalinfarkt)
• R. lateralis • R. marginalis sinister	R. diagonalis, RD RMS	Seitenwand	Lateralinfarkt
• R. circumflexus	RCX, CX	Hinterwand	Posterolateralinfarkt

inferior sind näher am Herzen in das Perikard eingelassen, verlaufen also nur kurz innerhalb des Perikards. Kaudal liegt das Perikard dem Centrum tendineum des Zwerchfells auf und ist mit diesem zum Teil untrennbar verwachsen. Vorne ist es durch variable Bänder mit dem Sternum verbunden. Das Perikard legt damit die Lage des Herzens im Thorax fest.

Das **Pericardium serosum** bedeckt das Herz und die Innenfläche des Pericardium fibrosum und bildet so einen geschlossenen spaltförmigen Raum, der einige Milliliter seröse Flüssigkeit als „Schmiermittel“ enthält. Die innere Auskleidung des Pericardium fibrosum ist das parietale Blatt dieser serösen Auskleidung (Lamina parietalis pericardii serosi). Die oberflächliche Bedeckung des Herzens ist das viszerale Blatt (Lamina visceralis). Dieser seröse Überzug des Herzens wird auch Epikard genannt. Die beiden Blätter gehen an den großen Gefäßen ineinander über.

Die recht komplizierten Umschlagfalten von der Lamina parietalis auf die Lamina visceralis sind nur durch die Entwicklung des Herzens verständlich. Ursprünglich war das Perikard ein ringförmiger Hohlraum um das Herz, aus dem oben die Arterien herauskamen (Porta arteriosa) und unten die Venen (Porta venosa). Darum läuft eine gemeinsame Umschlagfalte des Perikards um Aorta und Truncus pulmonalis, die zweite um Pulmonal- und Hohlvenen. Diese zweite Umschlagfalte wurde durch das Auseinanderwandern dieser Venen zusätzlich kreuzförmig auseinandergezogen. Durch die zunehmende Verlagerung der Gefäße nach dorsal und ihre gegenseitige Annäherung wurde der Hohlraum des Perikards außerdem vorne immer größer und hinten immer kleiner (ähnlich wie ein Schwimmreifen, den man um den gebeugten Ellenbogen legen würde). Dorsal bleibt von diesem Hohlraum daher nur ein schmaler Spalt zwischen den Arterien und den Venen, der Sinus transversus pericardii. Vorn wird er hingegen so groß, dass das ganze Herz hineinpasst und man diesen Raum für die ganze Perikardhöhle halten könnte. Außerdem entsteht in dem Winkel der Umschlagfalten von unterer Hohlvene und Lungenvenen eine Art Sackgasse, der Sinus obliquus pericardii, der verhindert, dass man im Perikard dorsal ganz um das Herz herumgreifen kann.

Eine begriffliche Verwirrung kann dadurch entstehen, dass für das, was man landläufig als Herzbeutel oder Perikard bezeichnen würde (also das, was stehen bleibt, wenn man das Herz entnimmt), keine zusammenfassende anatomische Bezeichnung existiert. Es handelt sich um die Kombination aus dem Pericardium fibrosum und der Lamina parietalis des Pericardium serosum. Zum „Pericardium“ als Oberbegriff zählt aber eben auch die Lamina visceralis, also das dem Herz aufliegende Epikard.



Insbesondere bei Entzündungen kann sich im Herzbeutel Flüssigkeit ansammeln (**Perikarderguss**), der – je nach Geschwindigkeit des Entstehens – ab einer Größe von 300–400 ml die Herzaktion beeinträchtigt. Dringt, z. B. bei einem Herzinfarkt, durch eine Perforation der Herzwand plötzlich massiv Blut in den Herzbeutel ein, spricht man von einer **Herzbeuteltamponade**, die wegen der geringen Dehnbarkeit des Herzbeutels schnell zum Herzstillstand führen kann.

Die Blutversorgung des Perikards (mit Ausnahme des Epikards, das von den Vasa coronaria mitversorgt wird)

kommt aus den umliegenden Gefäßen, insbesondere aus der A. pericardiacophrenica. Venen fließen vor allem in die V. brachiocephalica sinistra. Sensible Nervenfasern laufen zum N. phrenicus.

13.3.6 Oberflächenanatomie

Das Herz liegt direkt der vorderen Brustwand an und ist hier den direkten Untersuchungsmethoden zugänglich. Es projiziert sich auf einen etwa dreieckigen Bereich zwischen rechtem Sternalrand (auf Höhe des Angulus sterni), dem kaudalen Ende des Sternums und einem Punkt im 5. Interkostalraum links medioklavikular (▶ **Abb. 13.17**). Bei normal großem Herz und nicht allzu dicker Subkutis ist an diesem Punkt der Herzspitzenstoß tastbar. Bei mageren Individuen ist er oft auch als Bewegung sichtbar.

Die Bestimmung von Herzform und -größe durch Perkussion (Beklopfen) spielt heute angesichts der technischen Möglichkeiten der Herzdarstellung eine relativ geringe Rolle. Man unterscheidet dabei die „absolute Herzdämpfung", die dem Bereich entspricht, in dem das Perikard ventral nicht von Pleura bedeckt ist, von der „relativen Herzdämpfung", dem Bereich, in dem sich bei maximaler Inspiration Lungengewebe vor das Herz schiebt und den Klopfschall verändert.

Die Ventilebene mit den Klappen projiziert sich bei Betrachtung von ventral auf ein kleineres dreieckiges Feld zwischen dem Ansatz der 5. rechten Rippe und der 3. linken Rippe am Sternum sowie dem 4. Interkostalraum parasternal (▶ **Abb. 13.17**). Geräuschphänomene, die durch pathologische Veränderungen an den Klappen entstehen, hört man bei der Auskultation des Herzens (Abhören mit dem Stethoskop) allerdings nicht am besten am Ort ihrer Projektion, sondern an den in ▶ Tab. 13.6 und ▶ **Abb. 13.17** angegebenen Stellen. Dies liegt daran, dass solche Geräuschphänomene mit dem Blutfluss durch die Klappen „mitgenommen" werden.

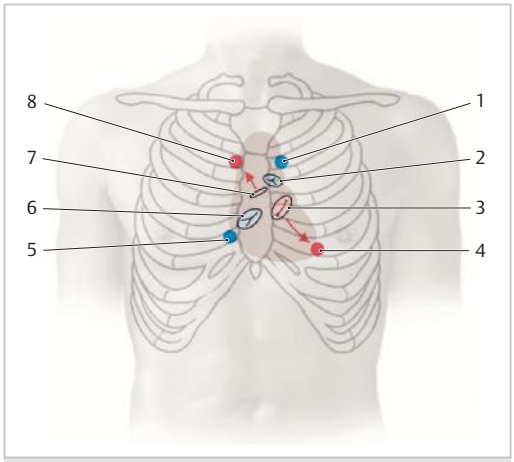


Abb. 13.17 Oberflächenprojektion und Auskultationsorte der Herzklappen. Schematische Ansicht auf den Brustkorb von ventral.
1 Auskultationsstelle der Pulmonalklappe
2 Pulmonalklappe
3 Mitralklappe
4 Auskultationsstelle der Mitralklappe
5 Auskultationsstelle der Trikuspidalklappe
6 Trikuspidalklappe
7 Aortenklappe
8 Auskultationsstelle der Aortenklappe
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Bei der **Standard-Röntgenaufnahme** des Thorax in 2 Ebenen entsteht durch die unterschiedliche Strahlendurchlässigkeit von Herz und Lunge ein „Herzschatten". Die Ränder dieser Herzsilhouette können regelhaft bestimmten Anteilen des Herzens zugeordnet werden (▶ **Abb. 13.18**). Im Röntgenbild mit sagittalem Strahlengang (posterior-anteriore oder p.-a. Aufnahme) ist der rechte Herzrand relativ gerade und wird von der V. cava superior und dem rechten Vorhof gebildet, kaudal auch ein sehr kleines Stück von der V. cava inferior. Der linke Herzrand ist bauchig und hat üblicherweise 4 aufeinanderfolgende Vorwölbungen, die von kra-

Tab. 13.6 Projektion und Auskultationsstellen der Herzklappen.

Herzklappe	Projektion	Auskultationsstelle
Mitralklappe	4./5. Rippenansatz links	5. ICR links medioclavicular
Trikuspidalklappe	Sternum, Höhe 4./5. Rippe	5. ICR rechts parasternal
Aortenklappe	linker Sternalrand, Höhe 3. ICR	2. ICR rechts parasternal
Pulmonalklappe	linker Sternalrand, Höhe 3. Rippe	2. ICR links parasternal

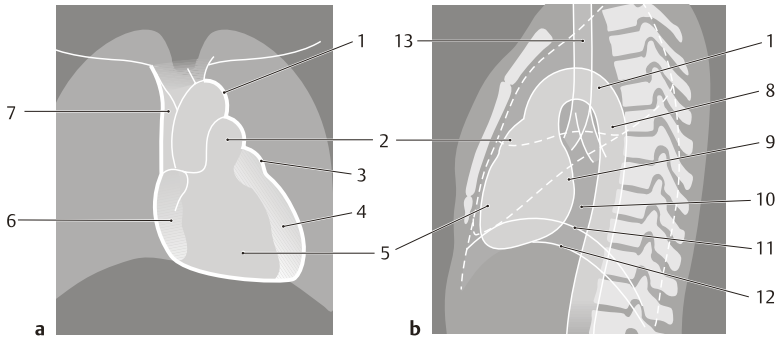


Abb. 13.18 Darstellung des Herzens im Röntgenbild. Posterior-anteriorer (sagittaler, **a**) und seitlicher (transversaler) Strahlengang (**b**).

1 Arcus aortae
2 Truncus pulmonalis
3 Atrium sinistrum (Auricula)
4 Ventriculus sinister
5 Ventriculus dexter
6 Atrium dextrum
7 V. cava superior
8 Aorta descendens
9 Atrium sinistrum
10 Holzknecht-Raum
11 rechte Zwerchfellkuppel
12 linke Zwerchfellkuppel
13 Trachea
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

nial nach kaudal dem Aortenbogen, dem Truncus pulmonalis, dem linken Herzohr und dem linken Ventrikel entsprechen. Auf Höhe des Truncus pulmonalis liegt auch die erkennbare Lungenwurzel (Hilum). Der rechte Ventrikel ist im sagittalen Strahlengang nicht randbildend.

Im transversalen Strahlengang (seitliche Aufnahme) wird der Herzvorderrand von rechtem Ventrikel und Truncus pulmonalis gebildet und geht kranial in den relativ gut abgrenzbaren Aortenbogen über. Der hintere Rand der Herzsilhouette wird vor allem vom linken Vorhof bestimmt. Ein Unterrand der Herzsilhouette ist auf den Standard-Thoraxaufnahmen nicht zu sehen, da zwischen Herzmuskel-, Zwerchfell- und Lebergewebe kein ausreichender Unterschied in der Strahlendurchlässigkeit besteht. Aus dem selben Grund endet auf der seitlichen Aufnahme die linke Zwerchfellkuppel am hinteren Herzrand, da sich die Kuppel nur dort darstellt, wo ihr kranial die Lunge anliegt, also strahlendurchlässigeres Gewebe.

Der Raum hinter dem Herz, der auf der seitlichen Thorax-Aufnahme zu sehen ist, wird in der Radiologie „Holzknecht-Raum“ genannt. Seine Einengung spricht für eine Erweiterung des linken Vorhofs.

13.4 Übrige Mediastinalorgane

Die Einteilung des Mediastinums wird im Kapitel „Gliederung der Brusthöhle“ (S. 217) besprochen. Die Trachea, die vom Hals in das Mediastinum zieht, wird im Kapitel „Luftwege“ (S. 223) behandelt.

13.4.1 Oesophagus

Die Speiseröhre (**Oesophagus**) zieht vom Hals durch den Thorax bis in den Bauchraum. Sie ist ein Muskelschlauch, der den im Mund erzeugten Speisebrei beim Schlucken vom Rachen in den Magen befördert. Sie hat einen ähnlichen Wandaufbau wie der übrige Verdauungskanal.

Anteile, Form und Lage

Der Oesophagus ist ein beim Erwachsenen 25–30 cm langer Muskelschlauch, der auf Höhe des 6./7. Halswirbels aus dem Rachen hervorgeht und auf Höhe des 10./11. Brustwirbels in den Magen mündet (► **Abb. 13.19**). Entsprechend seiner Lage gliedert er sich in 3 Anteile: Pars cervicalis, Pars thoracica und Pars abdominalis.

Der kurze Halsteil (**Pars cervicalis**[2]) beginnt auf Höhe des Ringknorpels als Fortsetzung der unte-

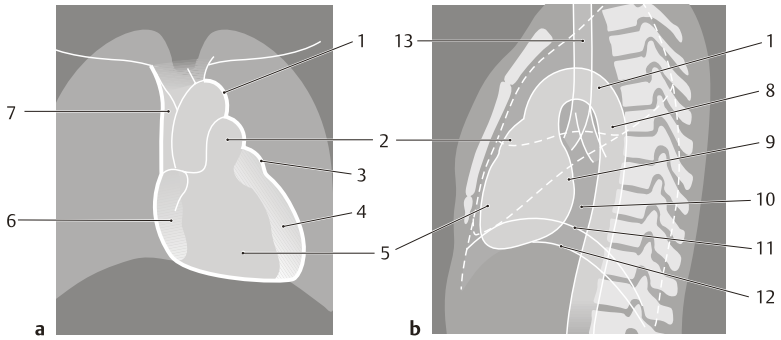


Abb. 13.18 Darstellung des Herzens im Röntgenbild. Posterior-anteriorer (sagittaler, **a**) und seitlicher (transversaler) Strahlengang (**b**).

1 Arcus aortae
2 Truncus pulmonalis
3 Atrium sinistrum (Auricula)
4 Ventriculus sinister
5 Ventriculus dexter
6 Atrium dextrum
7 V. cava superior
8 Aorta descendens
9 Atrium sinistrum
10 Holzknecht-Raum
11 rechte Zwerchfellkuppel
12 linke Zwerchfellkuppel
13 Trachea
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

nial nach kaudal dem Aortenbogen, dem Truncus pulmonalis, dem linken Herzohr und dem linken Ventrikel entsprechen. Auf Höhe des Truncus pulmonalis liegt auch die erkennbare Lungenwurzel (Hilum). Der rechte Ventrikel ist im sagittalen Strahlengang nicht randbildend.

Im transversalen Strahlengang (seitliche Aufnahme) wird der Herzvorderrand von rechtem Ventrikel und Truncus pulmonalis gebildet und geht kranial in den relativ gut abgrenzbaren Aortenbogen über. Der hintere Rand der Herzsilhouette wird vor allem vom linken Vorhof bestimmt. Ein Unterrand der Herzsilhouette ist auf den Standard-Thoraxaufnahmen nicht zu sehen, da zwischen Herzmuskel-, Zwerchfell- und Lebergewebe kein ausreichender Unterschied in der Strahlendurchlässigkeit besteht. Aus dem selben Grund endet auf der seitlichen Aufnahme die linke Zwerchfellkuppel am hinteren Herzrand, da sich die Kuppel nur dort darstellt, wo ihr kranial die Lunge anliegt, also strahlendurchlässigeres Gewebe.

Der Raum hinter dem Herz, der auf der seitlichen Thorax-Aufnahme zu sehen ist, wird in der Radiologie „Holzknecht-Raum“ genannt. Seine Einengung spricht für eine Erweiterung des linken Vorhofs.

13.4 Übrige Mediastinalorgane

Die Einteilung des Mediastinums wird im Kapitel „Gliederung der Brusthöhle“ (S. 217) besprochen. Die Trachea, die vom Hals in das Mediastinum zieht, wird im Kapitel „Luftwege“ (S. 223) behandelt.

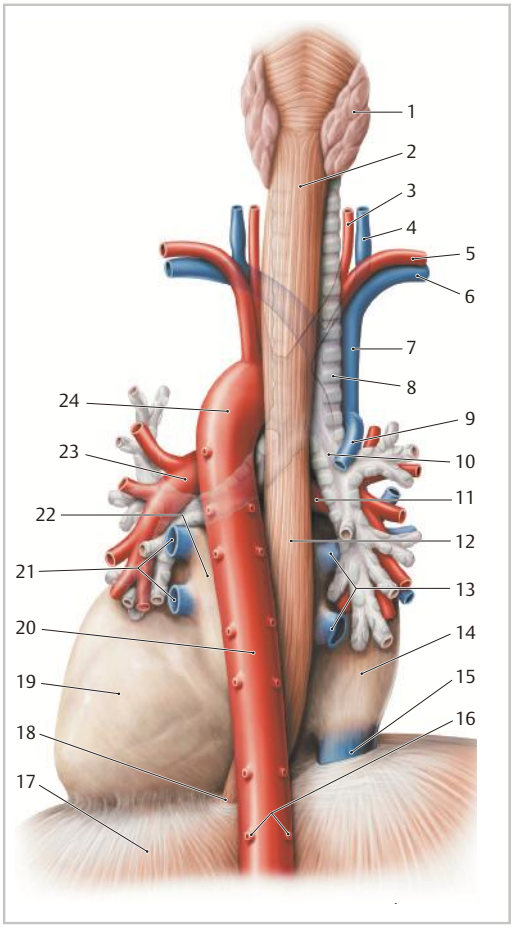
13.4.1 Oesophagus

Die Speiseröhre (**Oesophagus**) zieht vom Hals durch den Thorax bis in den Bauchraum. Sie ist ein Muskelschlauch, der den im Mund erzeugten Speisebrei beim Schlucken vom Rachen in den Magen befördert. Sie hat einen ähnlichen Wandaufbau wie der übrige Verdauungskanal.

Anteile, Form und Lage

Der Oesophagus ist ein beim Erwachsenen 25–30 cm langer Muskelschlauch, der auf Höhe des 6./7. Halswirbels aus dem Rachen hervorgeht und auf Höhe des 10./11. Brustwirbels in den Magen mündet (► **Abb. 13.19**). Entsprechend seiner Lage gliedert er sich in 3 Anteile: Pars cervicalis, Pars thoracica und Pars abdominalis.

Der kurze Halsteil (**Pars cervicalis**[2]) beginnt auf Höhe des Ringknorpels als Fortsetzung der unte-



◀ **Abb. 13.19 Oesophagus von dorsal.** Der Oesophagus ist halbtransparent gezeichnet, um die Bifurcatio tracheae und den Aortenbogen besser verdeutlichen zu können.

1 Glandula thyroidea
2 Oesophagus, Pars cervicalis
3 A. carotis communis
4 V. jugularis interna
5 A. subclavia
6 V. subclavia
7 V. cava superior
8 Trachea
9 V. azygos
10 Bronchus principalis dexter
11 A. pulmonalis dextra
12 Oesophagus, Pars thoracica
13 Vv. pulmonales dextrae
14 Pericardium fibrosum, Atrium dextrum
15 V. cava inferior
16 Aa. intercostales posteriores
17 Diaphragma
18 Hiatus oesophageus
19 Pericardium fibrosum, Ventriculus sinister
20 Aorta thoracica
21 Vv. pulmonales sinistrae
22 Pericardium fibrosum, Atrium sinistrum
23 A. pulmonalis sinistra
24 Arcus aortae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ren Rachenetage, des Hypopharynx. Dieser Eingang des Oesophagus wird *Oesophagusmund* genannt. Im Hals liegt der Oesophagus direkt zwischen der Trachea und der Wirbelsäule, wobei sich die Trachea eher leicht nach rechts wendet, der Oesophagus leicht nach links.

Ab dem 1. Brustwirbelkörper folgt übergangslos der lange Brustteil (**Pars thoracica**[12]), der das Mediastinum durchzieht. Der Oesophagus folgt hier zunächst weiterhin der *Wirbelsäule*, macht also einen Bogen nach dorsal. Unterhalb des Aortenbogens schiebt sich dann zunehmend die *Aorta descendens* von links hinter den Oesophagus, sodass er sich von der Wirbelsäule etwas entfernt. Ventral liegt ihm weiterhin die *Trachea* sowie der Anfangsteil des linken Hauptbronchus an, im unteren Mediastinum dann das Herz. Hier liegt er insbesondere dem *linken Vorhof* an, von dem er nur durch das dünne Perikard getrennt wird.

Eine Vergrößerung des linken Vorhofs kann wegen dieser Lagebeziehung Schluckbeschwerden verursachen. Andererseits kann das Herz mit einer Sonografiesonde vom Oesophagus aus besonders gut dargestellt werden (transoesophageale Echokardiografie).

Im kaudalen Mediastinum liegt der Oesophagus auch der *rechten Lunge* an. Dann tritt er im Hiatus oesophageus[18] durch das Zwerchfell.

Im schlitzförmigen Hiatus oesophageus ist der Oesophagus durch eine Bindegewebsmembran, die Membrana phrenico-oesophagea (Laimer-Membran), befestigt, die vom Rand des Hiatus in die äußeren Bindegewebsschichten des Oesophagus einstrahlt. Die Membran erlaubt eine gewisse Verschieblichkeit innerhalb des Schlitzes.

Wenn diese Verschieblichkeit sich pathologisch vergrößert, können der abdominale Teil des Oesophagus oder sogar Teile des Magens in die Brusthöhle treten (**Hiatushernie**).

Der Bauchteil des Oesophagus (**Pars abdominalis**) ist nur wenige Zentimeter lang und mündet nach einer Linkskurve in die Pars cardiaca des Magens. Dieser Teil des Oesophagus liegt *intraperitoneal*, ist also von Bauchfell überzogen.

Während die Wände des Oesophagus im Hals- und Bauchteil im Ruhezustand aneinander liegen, ist das Lumen im Brustteil durch den Unterdruck im Thorax im Ruhezustand offen, enthält also etwas Luft. An 3 Stellen hat der Oesophagus **physiologische Engstellen**. Die **obere Enge** auf Höhe des Oesophagusmundes ist gleichzeitig die engste Stelle des Oesophagus überhaupt. Hier liegt ein anatomischer und funktioneller Schließmuskel vor, der vor allem von der Pars cricopharyngea des *M. constrictor pharyngis inferior* gebildet wird, zu dem aber auch Ring muskelfasern des oberen Oesophagus beitragen. Die **mittlere Enge** liegt etwa 10 cm tiefer und wird durch den *Aortenbogen* hervorgerufen, der den Oesophagus von links pulsierend eindellt. Die **untere Enge** wird durch den *Hiatus oesophageus* des Zwerchfells hervorgerufen. Oberhalb dieser Enge kann das Lumen eine Erweiterung aufweisen, die man „epiphrenische Ampulle“ nennt.

Die genannte untere Enge ist nicht gleichbedeutend mit dem in der Physiologie durch Druckmessung definierten „unteren Oesophagussphinkter“. Diese Zone erhöhter Muskelspannung, die den Rückfluss (Reflux) von Mageninhalt in den Oesophagus verhindert, erstreckt sich mehr oder weniger über den gesamten abdominalen Oesophagus. Anatomisch lässt sich nur eine sehr geringe Verdickung der Ringmuskulatur in diesem Bereich nachweisen, sodass man nicht von einem Schließmuskel sprechen kann. Entscheidend ist daher die durch nervale und endokrine Signale aufrechterhaltene Muskelspannung, die nur beim Schluckakt herabgesetzt wird. Allerdings scheint auch die Spannung der Zwerchfellmuskulatur um den Hiatus oesophageus eine aktive Rolle bei der Verhinderung eines Reflux‘ zu spielen.

Feinbau und Funktion

Der Oesophagus hat grundsätzlich den gleichen Aufbau wie die übrigen Anteile des Darmrohrs (S. 209) mit folgenden Schichten:

- Schleimhaut (Tunica mucosa),
- Tela submucosa,
- Muskelschicht (Tunica muscularis),
- bindegewebige Außenschicht (Tunica adventitia).

Im abdominalen Teil wird die Adventitia durch den Bauchfellüberzug (Tunica serosa) ersetzt.

Während in den folgenden Abschnitten des Verdauungskanals sekretorische und resorptive Aufgaben im Vordergrund stehen, dient die Oesophagusschleimhaut primär dem mechanischen Schutz beim Schlucken. Die Schleimhaut trägt entsprechend ein *mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel*. Der Übergang von diesem Plattenepithel zum hochprismatischen Epithel des Magens ist bei der Oesophagogastroskopie („Magenspiegelung“) als scharfe Grenze sichtbar.

Die Muskelschicht enthält im Gegensatz zu den anderen Darmabschnitten im oberen Oesophagusdrittel ausschließlich quergestreifte Muskulatur. Im mittleren Drittel durchmischen sich glatte und quergestreifte Muskeln. Sie gliedern sich in eine innere Ring- und eine äußere Längsmuskelschicht.

13.4.2 Thymus

Der **Thymus** (deutsch: Bries) ist das zentrale Organ für die Reifung der T-Lymphozyten und damit das **primäre lymphatische Organ** des T-Zell-Systems (S. 48). Er besteht aus einer Markzone aus glatten Läppchen, die beim Kind von einer an Lymphozyten reichen Rindenzone umgeben ist. Beginnend etwa mit dem 15. Lebensjahr werden große Teile des lymphatischen Rindengewebes durch Fett ersetzt, auch wenn das Gesamtgewicht des Organs (ca. 20 g) gleich bleibt. Dieser Vorgang wird **Involution** genannt. Funktionell aktive Areale bleiben aber auch im *Thymusrestkörper* bis ins hohe Alter erhalten.

Der Thymus entwickelt sich beidseits aus dem Endoderm der 3. Schlundtasche. Da er vom Hals in den Thorax absteigt, kann er auch beim Erwachsenen noch in den Hals ragen oder es können Knoten ektopischen Thymusgewebes im Hals liegen bleiben.

Der Thymus bildet zwei in der Mitte verbundene längliche **Lappen** (Lobi) mit einer dünnen bindege-

webigen Kapsel. Er liegt im Fettgewebe hinter dem Sternum im oberen Mediastinum und reicht kaudal bis in das vordere untere Mediastinum (etwa bis zum Ansatz der 4. Rippe). Er liegt also vor V. brachiocephalica sinistra, Aortenbogen und Perikard.

Der Thymus erhält arterielle Rr. thymici aus der A. thoracica interna, seine Vv. thymici fließen in die V. brachiocephalica sinistra. Zusätzliche Verbindungen bestehen zu den unteren Schilddrüsenarterien und -venen. Der Thymus hat Lymphabflüsse, aber im Gegensatz zu den Lymphknoten keine Lymphzuflüsse. Er ist sympathisch und parasympathisch innerviert.

13.4.3 Leitungsbahnen im Mediastinum

Das Mediastinum enthält diverse Blut- und Lymphgefäße und Nerven, die zum Teil die hier liegenden Organe versorgen, zum großen Teil aber auch durch das Mediastinum in andere Regionen ziehen. Während die Details der organversorgenden Leitungsbahnen bei den jeweiligen Organen geschildert worden sind, werden hier alle mediastinalen Leitungsbahnen noch einmal im Zusammenhang dargestellt.

Blutgefäße

Das obere und das hintere Mediastinum sind unter anderem eine Art Verteilerstation für die großen, vom Herz kommenden oder zum Herz führenden Gefäße und für deren Verbindungen zur Lunge, zu Hals und Arm sowie zum Bauchraum.

Lungengefäße. Der **Truncus pulmonalis** steigt vom rechten Ventrikel auf, wendet sich im oberen Mediastinum nach dorsal und teilt sich direkt nach seinem Austritt aus dem Perikard unterhalb des Aortenbogens in die 2 Aa. pulmonales. Direkt von dieser Teilungsstelle (Bifurcatio trunci pulmonalis) zieht außerhalb des Perikards das *Lig. arteriosum* (*Botalli*) zum Aortenbogen. Es ist der bindegewebige Überrest des fetalen Ductus arteriosus (S. 234). Die rechte Lungenarterie (**A. pulmonalis dextra**) zieht unter dem Aortenbogen und zwischen V. cava superior und rechtem Hauptbronchus zum Lungenhilum. Die linke Lungenarterie (**A. pulmonalis sinistra**) zieht vor der Pars descendens der Aorta und oberhalb des linken Hauptbronchus in die linke Lunge.

Die weiter kaudal gelegenen Lungenvenen (**Vv. pulmonales**), im Allgemeinen 2 auf jeder Seite, ziehen auf kurzem Wege vom Lungenhilum in den linken Vorhof.

Arterien. Die **Aorta** wird innerhalb des Mediastinums in den aufsteigenden Teil, den Aortenbogen und den absteigenden Teil gegliedert. Der aufsteigende Teil, Pars ascendens aortae oder *Aorta ascendens*, beginnt am Herzen mit einer Erweiterung, dem Bulbus aortae, dem innen die Einbuchtungen (Sinus aortae) oberhalb der Taschenklappen entsprechen. Hier gehen die Herzkranzarterien ab. Die Aorta steigt von hier zwischen Truncus pulmonalis und V. cava superior zunächst nach rechts auf. Sie tritt dann aus dem Perikard aus und geht über in den *Aortenbogen* (Arcus aortae), der sich nach hinten links wendet. Er schlingt sich in einem großen Bogen über den Truncus pulmonalis und den linken Hauptbronchus und geht an der linken Seite des 4. Brustwirbelkörpers in den absteigenden Teil über. Vom Aortenbogen gehen 3 große Gefäße nach kranial ab (S. 621):

- Truncus brachiocephalicus,
- A. carotis communis sinistra,
- A. subclavia sinistra.

Diese 3 großen Arterien liegen daher in einer schrägen Reihe von rechts ventral nach links dorsal im oberen Mediastinum. Siehe Details der Äste (S. 622).

Insbesondere der Anfangsteil der Aorta hat eine **„Windkesselfunktion“**: Die starken elastischen Faseranteile in seiner Wand bewirken, dass ein Teil der Energie, die in der Systole in die Dehnung der Aortenwand gesteckt wird, in der Diastole durch die elastischen Rückstellkräfte wieder freigegeben werden kann. Dadurch hilft die Aorta, den Druck im arteriellen System nach dem Schluss der Aortenklappe aufrechtzuerhalten. Sie „schiebt nach“, während das Herz in der Diastole keinen Druck aufbauen kann.

Der Aortenbogen enthält auch Dehnungsrezeptoren, deren Afferenzen im Hirnstamm im Nucleus solitarius enden und die der Kreislaufregulation dienen.



Wird die Aorta durch Verkalkung ihrer Wände starr, fällt die Windkesselfunktion aus. Die fehlende Dehnung in der Systole führt zu einem höheren systolischen Druck, der vom Ventrikel direkt auf die peripheren Gefäße weitergeleitet wird. Die fehlende Energieabgabe in der Diastole führt zu einem niedrigeren diastolischen Druck. Diese höhere Druckdifferenz äußert sich im „Wasserhammerpuls“.

Der absteigende Teil, Pars descendens aortae oder *Aorta descendens*, ist im Mediastinum gleichbedeutend mit der Aorta thoracica. Sie läuft links der Wirbelsäule und schiebt sich nach kaudal immer mehr hinter den Oesophagus, bevor sie durch den Hiatus aorticus des Zwerchfells in den Bauchraum übertritt. Neben kleineren Ästen für die Umgebung gibt sie insbesondere die *Aa. intercostales posteriores* für den 3.–12. Interkostalraum ab. Die rechten Interkostalarterien haben, da die Aorta links liegt, einen längeren Weg zwischen Oesophagus und Wirbelsäule zu ihren jeweiligen Interkostalräumen.

Während dorsale Anteile des Mediastinums von direkten Ästen der Aorta thoracica oder aus den Interkostalarterien Blut erhalten, werden vordere Anteile (Thymus, Perikard, Teile des Zwerchfells) von der **A. thoracica interna** versorgt, einem Ast der A. subclavia, der hinter den Rippenknorpeln abwärts läuft, um im Trigonum sternocostale des Zwerchfells in die *A. epigastrica superior* überzugehen. Die A. thoracica interna gibt insbesondere die **A. pericardiacophrenica** ab, die gemeinsam mit dem *N. phrenicus* zwischen Perikard und Pleura mediastinalis verläuft, diese auch versorgt und ihre Endäste auf die Oberseite des Zwerchfells abgibt.

Da die A. thoracica interna auch wichtige Äste an die weibliche Brust abgibt, wird sie oft noch mit ihrem älteren Namen **A. mammaria interna** bezeichnet. Wegen ihrer Lage kann die Arterie bei einer **Bypass-Operation** zum Anschluss an ein proximal verengtes Kranzgefäß verwendet werden. Die arterielle Versorgung der Brustwand wird dann von Anastomosen über die Interkostalarterien und die A. epigastrica inferior gewährleistet. Alternativ wird häufig eine Vene aus dem Bein entnommen, die dann an Aorta und Kranzarterie angeschlossen wird.

Venen. Die untere Hohlvene (**V. cava inferior**) sammelt das Blut der unteren Körperhälfte. Sie hat nach dem Durchtritt durch das *Foramen v. cavae* des Zwerchfells, der gleichzeitig der Eintritt in das Perikard ist, nur eine sehr kurze Verlaufsstrecke von etwa 1 cm, bevor sie in den rechten Vorhof mündet, und hat daher im Mediastinum keine weiteren Zuflüsse.

Die obere Hohlvene (**V. cava superior**) sammelt das Blut der oberen Körperhälfte und damit auch das des Mediastinums. Sie entsteht durch den Zusammenfluss der beiden Vv. brachiocephalicae, die wiederum im „Venenwinkel" jeder Seite aus der V. jugularis interna und der V. subclavia hervorgehen. Da die V. cava superior rechts der Mittellinie liegt, ist die linke *V. brachiocephalica* deutlich länger und weniger steil als die rechte. Diese Vene liegt zwischen Aortenbogen und Manubrium sterni und oberhalb des Thymus. Sie nimmt kleinere Gefäße aus dem Thymus und größere aus der Schilddrüse auf (V. thyroidea inferior).

Da die Aorta thoracica nicht von einer der großen Hohlvenen begleitet wird, muss das venöse Blut aus den hinteren Anteilen des Mediastinums und der Brustwand über eigene Venen abfließen. Diese „Lücke" zwischen oberer und unterer Hohlvene wird von den Zuflüssen der **V. azygos** gefüllt. Der Hauptstamm der V. azygos (wörtlich „Nicht-Zwillings-Vene") steigt rechts oder mittig vor der Wirbelsäule auf und mündet dann in einem Bogen von dorsal über den rechten Hauptbronchus in die V. cava superior. Auf der linken Seite entspricht ihr die kleinere **V. hemiazygos**, die links der Wirbelsäule aufsteigt, diese auf Höhe des 7.–9. Brustwirbels überquert und in die V. azygos mündet. Von kranial nimmt sie die **V. hemiazygos accessoria** auf, die links neben der Wirbelsäule abwärts läuft. Die Vv. azygos und hemiazygos nehmen Blut aus dem gesamten Thoraxraum auf, insbesondere aus den Interkostalvenen, den Vv. oesophageales und den Vv. bronchiales.

Von oben mündet die **V. intercostalis superior dextra** in die V. azygos. Sie drainiert die oberen Interkostalräume auf der rechten Seite und entspricht damit der V. hemiazygos accessoria auf der linken. Die aufsteigenden Vv. azygos und hemiazygos sind Fortsetzungen der Vv. lumbales ascendentes, die im Retroperitonealraum die Vv. lumbales aufnehmen und dann durch das Zwerchfell treten. Die Venen des Azygos-System können insgesamt sehr variabel sein.

Da Blut aus dem unteren Oesophagus unterhalb des Zwerchfells in die Pfortader und oberhalb über die V. azygos in die V. cava superior abfließt, bilden die Vv. oesophageales in diesem Bereich eine **portokavale Anastomose** (S. 290).

Analog zu den Verhältnissen bei den Arterien fließt Blut aus den vorderen Anteilen des Mediastinums und der Brustwand über die V. thoracica interna in die V. subclavia.

Lymphgefäße

Der **Ductus thoracicus**, der Brustmilchgang (S. 662), führt die gesamte Lymphe der unteren Körperhälfte. Er tritt mit der Aorta durch den Hiatus aorticus des Zwerchfells und läuft als dünnes, weißliches Gefäß rechts hinter Aorta und Oesophagus auf der Wirbelsäule nach oben. Etwa auf Höhe des 5. Brustwirbels wendet er sich mehr nach links, kreuzt den Oesophagus und steigt hinter dem Aortenbogen auf, um dann am Übergang zum Hals zwischen linker A. carotis communis und A. subclavia von hinten in den linken Venenwinkel (Zusammenfluss von V. jugularis interna und V. subclavia) zu münden. An der Mündungsstelle verhindert eine Klappe, dass Blut in den Ductus thoracicus zurückfließt. Vor der Einmündung nimmt der Ductus thoracicus die großen Lymphstämme von Hals, Arm und Brustkorb der linken Seite auf: Truncus jugularis, subclavius und bronchomediastinalis.

Dieselben 3 Stämme der rechten Seite kommen ohne Zufluss aus der unteren Körperhälfte zusammen und bilden den kurzen **Ductus lymphaticus dexter**, der von hinten in den rechten Venenwinkel mündet. Einzelne der Lymphstämme können auch direkt in den Venenwinkel münden. Details zu den mediastinalen Lymphknoten werden in ▶ Tab. 20.3 und ▶ Tab. 20.4 dargestellt.

Nerven

Der **N. phrenicus**, der Zwerchfellnerv, ist – abgesehen von den Ursprüngen der Interkostalnerven – der einzige somatische Nerv im Mediastinum. Er entspringt im Hals aus dem Plexus cervicalis (aus C 3–5, überwiegend aus C 4), verläuft auf der Vorderfläche des *M. scalenus anterior* und tritt zwischen *A. und V. subclavia* in den Thorax ein. Hier liegt er rechts der V. cava superior an, links dem vorderen Teil des Aortenbogens. Er verläuft dann, begleitet von den *Vasa pericardiacophrenica*, deutlich vor dem Lungenhilum zwischen Perikard und Pleura mediastinalis bis zum Zwerchfell, das er motorisch innerviert. Er führt außerdem sensible Äste für Pleura mediastinalis und Perikard sowie für Anteile des Peritoneums.

Die Organe des Mediastinums werden jeweils über ein **vegetatives Nervengeflecht** innerviert, das sowohl parasympathische als auch sympathische Zuflüsse hat: Plexus pulmonalis, Plexus cardiacus, Plexus oesophageus. Der Plexus aorticus thoracicus in der Wand der Brustaorta besteht überwiegend aus sympathischen Fasern.

Die gesamte **parasympathische** Versorgung des Thorax geht vom **N. vagus** aus. Er tritt genauso wie der N. phrenicus zwischen den großen Arterien und Venen in den Thorax, allerdings deutlich weiter medial. Beide Nn. vagi wenden sich nach Eintritt in den Thorax nach dorsal, der rechte liegt dabei der Trachea an, der linke dem Aortenbogen. Nach Abgabe von *Rr. cardiaci thoracici* zum Herz, von *Rr. bronchiales* zu Trachea und Lunge sowie des *N. laryngeus recurrens* (s. u.) verläuft der Hauptstamm des N. vagus beidseits hinter dem jeweiligen Hauptbronchus und liegt damit im Gegensatz zum N. phrenicus hinter dem Lungenhilum. Beide Nn. vagi verlaufen dann in der Oesophaguswand, wo sie den Plexus oesophageus bilden.

Über diesen Plexus kommt es auch zu einem gewissen Austausch von Fasern der beiden Vagus-Äste vor Bildung der beiden Trunci vagales. Entsprechend der embryonalen Magendrehung (S. 210) wendet sich der linke N. vagus auf dem Oesophagus nach vorn und bildet kurz vor dem Durchtritt durch das Zwerchfell den Truncus vagalis anterior, während der rechte N. vagus als Truncus vagalis posterior durch das Zwerchfell tritt.

Der N. vagus gibt außerdem rechts direkt unterhalb der A. subclavia, links erst unterhalb des Aortenbogens den **N. laryngeus recurrens** ab, der sich um das jeweilige Gefäß nach hinten schlingt, um in der Rinne zwischen Oesophagus und Trachea wieder nach oben in Richtung Kehlkopf zu ziehen. Der linke N. laryngeus recurrens liegt dabei lateral des Lig. arteriosum und in unmittelbarer Nähe der linken Nodi lymphoidei tracheobronchiales (S. 228).



Der N. laryngeus recurrens kann durch ein Lungenkarzinom oder ein Aortenaneurysma komprimiert werden. Daher ist eine unklare Heiserkeit ein Warnsymptom, dessen Ursache abgeklärt werden muss.

Die **sympathischen** Zuflüsse zu den Plexus stammen aus dem Grenzstrang (**Truncus sympathicus**; ▶ Abb. 20.34). Er verläuft auf beiden Seiten direkt neben der Wirbelsäule und setzt sich nach kranial in den Hals und nach kaudal durch das Zwerchfell fort. An der Grenze zum Halsgrenzstrang verschmelzen in den meisten Fällen das oberste thorakale und das unterste zervikale Ganglion des Grenzstrangs zum Ganglion cervicothoracicum, das wegen seiner vielen sternförmigen Verbindungen auch **Ganglion stellatum** heißt. Es liegt hinter der A. subclavia der Pleurakuppel an.



Wegen dieser engen Nachbarschaft können **Lungenspitzentumoren** (Pancoast-Tumor) das Ganglion stellatum und den Grenzstrang schädigen und zum Horner-Syndrom führen (S. 399).

Der thorakale Grenzstrang liegt ventral der Interkostalnerven und -gefäße und hat kleine Verbindungsäste zu den Interkostalnerven (*Rr. communicantes*), die seine gesamten Afferenzen enthalten sowie seine rückläufigen Efferenzen zu den Interkostalnerven. Nach ventral gibt der Truncus sympathicus Äste in die einzelnen Organgeflechte ab. Etwa auf Höhe des 5. und des 10. Thorakalganglions gibt er außerdem 2 größere Nerven ab: **N. splanchnicus major** und **minor**. Sie verlaufen ventral vom Grenzstrang auf der Wirbelsäule, treten durch das Zwerchfell (s. ▶ Tab. 13.1) und gehen in die vegetativen Geflechte des Bauchraums ein.

14 Baucheingeweide

Joachim Kirsch

Die **Bauchhöhle** (Cavitas abdominalis) wird kranial vom Zwerchfell, ventral und lateral von der Bauchwand und dorsal von Wirbelsäule abgegrenzt. Sie setzt sich ohne markante Begrenzung nach kaudal in die **Beckenhöhle** (Cavitas pelvis) fort, die bis zum Beckenboden reicht.

Die Bauchhöhle ist von einer serösen Haut, dem **Peritoneum**, ausgekleidet, das als *Peritoneum parietale* ihre Wände und als *Peritoneum viscerale* die darin befindlichen Organe (Anteile des *Magen-Darm-Trakts*, *Leber* und *Milz*) überzieht. Die von Peritoneum ausgekleidete seröse Höhle wird auch als **Peritonealhöhle** (Cavitas peritonealis) bezeichnet. Sie ist keine Höhle im eigentlichen Sinn, sondern besteht aus kapillaren Spalten, die sich infolge der Darmmotilität dauernd verändern.

Der Bindegewebsraum außerhalb der Peritonealhöhle wird **Extraperitonealraum** (Spatium extraperitoneale) genannt. Er besteht aus dem dorsal gelegenen **Retroperitonealraum** (Spatium retroperitoneale) und den kaudal gelegenen **Spatia retropubicum** und **retroinguinale**, die beide zum kleinen Becken gerechnet werden. Im **Retroperitonealraum** setzt sich die große axiale *Gefäß-Nerven- Straße* des Körpers aus dem hinteren Mediastinum in das kleine Becken fort. Er enthält als primär eigenständige Organe die *Nieren* und die *Nebennieren*. In der Ontogenese werden einige ursprünglich intraperitoneal gelegene *Darmabschnitte* und die *Bauchspeicheldrüse* sekundär in den Retroperitonealraum verlagert.

14.1 Peritoneal- und Lageverhältnisse

Die **Bauchhöhle** (Cavitas abdominalis) geht an der *Linea terminalis* des Beckens fließend in die **Beckenhöhle** (Cavitas pelvis) über. Die Wände beider Höhlenabschnitte werden vom parietalen Blatt des **Bauchfells** (**Peritoneum parietale**) umschlossen. Der **Extraperitonealraum** (Spatium extraperitoneale) ist mit Bindegewebe ausgefüllt, das vorwiegend dorsal der serösen Höhlen im **Retroperitonealraum** (Spatium retroperitoneale) konzentriert ist. Kaudal geht der Retroperitonealraum in den **subperitonealen Bindegewebsraum** (Spatium retroinguinale und Spatium retropubicum) des kleinen Beckens über. Ventrolateral schiebt sich eine dünne Bindegewebsschicht zwischen das Peritoneum und die innere Bauchfaszie, also die hintere Rektusscheide (S. 106).

Die **intraperitoneal gelegenen Organe** (Anteile des *Magen-Darm-Trakts*, *Leber* und *Milz*) füllen die Peritonealhöhle völlig aus. Zwischen der Wand der Peritonealhöhle und den Organen liegt nur ein **kapillärer Spalt**. Dieser Spalt enthält wenige Milliliter einer serösen Flüssigkeit, die die Verschieblichkeit der intraperitonealen Organe gegeneinander und gegen die Wand der Peritonealhöhle erleichtert. Die zum Teil ausgedehnten Lage- und Volumenveränderungen (Atmung, Nahrungsaufnahme) der Eingeweide müssen durch gleichzeitige Umordnung bzw. Verformung benachbarter Organe und durch Änderung des **Tonus** vorwiegend der Bauchwand, aber auch des Beckenbodens ausgeglichen werden.

In der Klinik ist die Einteilung des Bauchraums in **Ober-** und **Unterbauch** üblich. Die Grenze zwischen Ober- und Unterbauch bildet die Radix des Mesocolon transversum. Das entspricht beim Erwachsenen in etwa einer Linie 7 cm kranial einer horizontalen Linie auf Nabelhöhe.

Eine Einteilung in **Quadranten** ergibt sich, indem man eine Senkrechte in der Mittellinie durch diese Linie zieht. Den **Unterbauch** (Pars infracolica) füllen Dünndarmschlingen (Jejunum und Ileum) und Dickdarm (Colon und Caecum) aus.

14.1.1 Oberbauchsitus (► Abb. 14.1)

Der **Oberbauch** (**Pars supracolica** der Peritonealhöhle) reicht vom 9. Brustwirbel bis zum 2. Lendenwirbel. Er wird weitgehend vom unteren Brustkorb umschlossen. In diesem Teil der Peritonealhöhle liegen **Magen**, **Leber**, **Gallenblase** und

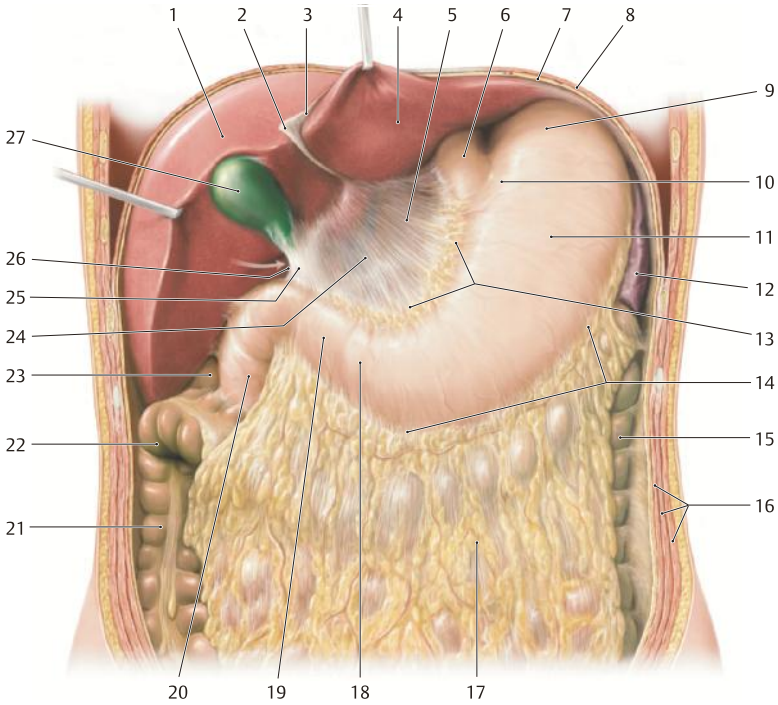


Abb. 14.1 Bauchsitus. Omentum majus in situ, Leber angehoben. Ansicht von ventral (vordere Rumpfwand entfernt;) Pfeil im Foramen omentale.

1 Lobus hepatis dexter
2 Lig. teres hepatis
3 Lig. falciforme hepatis
4 Lobus hepatis sinister
5 Lig. hepatooesophageale
6 Oesophagus
7 Peritoneum parietale
8 Diaphragma
9 Fundus gastricus
10 Pars cardiaca
11 Corpus gastricum
12 Splen
13 Curvatura minor
14 Curvatura major
15 Colon descendens
16 Bauchwand (M. transversus, Mm. obliquus internus und externus abdominis)
17 Omentum majus
18 Antrum pyloricum
19 Canalis pyloricus
20 Duodenum
21 Colon ascendens
22 Flexura coli dextra
23 Ren dexter
24 Omentum minus, Lig. hepatogastricum
25 Omentum minus, Lig. hepatoduodenale
26 Foramen omentale
27 Vesica biliaris

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Gallenwege, **Milz** sowie **Duodenum** und **Pancreas**. Die letzteren beiden werden im Laufe der Entwicklung nach retroperitoneal verlagert. Die Oberbauchorgane liegen in Nachbarschaft zum Zwerchfell, sie sind atemverschieblich und werden zum großen Teil durch den Lungenzug in ihrer Lage gehalten.

Die **Leber** (Hepar[1]) füllt in der rechten *Regio hypochondriaca* den Oberbauch aus. Sie liegt direkt unter der rechten Zwerchfellkuppel und berührt seitlich und vorn die Innenseite der Bauchwand. An der Leber unterscheidet man 2 Oberflächen: Die kuppelförmige Zwerchfellfläche der Leber (**Facies diaphragmatica**) grenzt dorsal mit einer scharfen Kante an die nach hinten ansteigende Eingeweidefläche (**Facies visceralis**), die schräg von rechts unten nach links oben durch die Regio epigastrica verläuft. An der Eingeweidefläche ist das kleine

Netz (Omentum minus) angeheftet, das zur kleinen Kurvatur des Magens und zum Anfangsteil des Zwölffingerdarms (Duodenum) zieht.



Bedingt durch die ausgeprägte Wölbung des Zwerchfells beherbergt der Oberbauch auch den Recessus costodiaphragmaticus der Pleurahöhle mit den unteren Lungenrändern (s. ▶ **Abb. 13.10**). Zur **Leberpunktion** in der rechten mittleren Axillarlinie muss daher der Recessus costodiaphragmaticus durchstochen werden.

Die Leber ist durch zahlreiche **Bänder** mit Strukturen in ihrer Umgebung verbunden (s. ▶ Tab. 14.4).

Die **Gallenblase** (**Vesica biliaris**[27] oder **Vesica fellea**) liegt in der **Fossa vesicae biliaris** der Facies visceralis der Leber wenige Zentimeter rechts des Lig. falciforme hepatis[3] und ist mit dieser durch feste Bindegewebszüge (Teile der Glisson-Kapsel) verbunden. Auf der dem Darm zugewandten Seite ist die Gallenblase mit Peritoneum überzogen.

Der **Magen** (Gaster oder Ventriculus) liegt größtenteils links der Medianebene in der Regio epigastrica und der Regio hypochondriaca sinistra. Seine Längsachse ist von links oben nach rechts unten gerichtet. Der Magenfundus[9], die sackartige Ausbuchtung links der Oesophagusmündung, reicht bis unter das Zwerchfell und liegt teils noch im Bereich des Centrum tendineum unter dem Herzen. Die Magenvorderwand wird im Bereich der kleinen (oberen) Kurvatur[13] etwa zu einem Drittel von der Leber bedeckt. Der linke Teil ruht im Bereich der großen (unteren) Kurvatur[14] unter der Pars costalis des Zwerchfells. Der untere Anteil berührt die vordere Bauchwand. Die Magenhinterwand ist Teil der Vorderwand der Bursa omentalis. Pancreaskörper, linke Niere und Nebenniere sowie die Milz berühren in variablem Umfang die Magenhinterwand.

Das **Omentum minus** (**kleines Netz**, s. auch ▶ Abb. 12.5) ist eine nahezu frontal stehende Peritonealduplikatur zwischen Leber und kleiner Magenkurvatur sowie dem Anfangsteil des Duodenums, die sich in das **Lig. hepatoduodenale**[25] (zwischen Leber und Duodenum) und das **Lig. hepatogastricum**[24] (zwischen Leber und Magen) gliedert. Es bildet die Vorderwand der Bursa omentalis (S. 264).

Am **Lig. hepatogastricum** unterscheidet man die kräftig ausgebildete **Pars densa** (kranial) und eine dünne **Pars flaccida** (kaudal). Nahe der kleinen Kurvatur des Magens verlaufen im Lig. hepatogastricum die *Aa. gastrica dextra* und *sinistra*. Im derben **Lig. hepatoduodenale** zieht ein starker Gefäßstrang von der Rückseite des Anfangsteils des Duodenum zur Leberpforte. In diesem führt die *V. portae* Blut zur Leber. Links und etwas oberflächlich von der V. portae zieht die *A. hepatica propria* zur Leberpforte. Nahe dem freien Rand des Lig. hepatoduodenale liegen rechts der V. portae die großen *Gallengänge*, nämlich das Ende des Ductus hepaticus communis, der Ductus cysticus und deren Fortsetzung, der Ductus choledochus. Der freie Unterrand des Lig. hepatoduodenale begrenzt das **Foramen omentale** (**epiploicum**).

Das **Omentum majus** (**großes Netz**[17]) ist eine mit Fettgewebe durchsetzte Serosaduplikatur, die ausgehend von der großen Magenkurvatur wie eine Schürze zwischen den Dünndarmschlingen und der vorderen Bauchwand liegt. Es geht mit seinem vorderen „Blatt" von der großen Kurvatur des Magens aus, zieht vor dem Colon transversum abwärts, schlägt in variabler Höhe in das hintere „Blatt" um und steigt auf dem gleichen Weg zur Hinterwand der Peritonealhöhle auf. Hierbei überquert es das Colon transversum und sein Meso, mit denen es verwachsen ist. Der Abschnitt des Omentum majus zwischen der großen Kurvatur des Magens und dem Colon transversum wird **Lig. gastrocolicum** genannt. Hier verlaufen die *Aa. gastroomentales dextra* und *sinistra*. Der Anteil zwischen Magenfundus und Zwerchfell heißt **Lig. gastrophrenicum**. Der Teil zwischen großer Kurvatur und Milzhilum wird **Lig. gastrosplenicum** genannt. Er enthält die Aa. gastricae breves . Vom Milzhilum aus setzt sich das Lig. gastrosplenicum Richtung Zwerchfell bzw. Hinterwand der Peritonealhöhle in Höhe der linken Niere in das **Lig. splenorenale** fort.

Da beide „Blätter" (im Regelfall) frühzeitig miteinander verkleben, bildet das Omentum majus eine einheitliche, beim Erwachsenen meist durchlöcherte Gekröseplatte. Häufig ist der frei bewegliche untere Teil dem Dünndarmkonvolut im Unterbauch vorgelagert, manchmal liegt dieser Teil aber auch stark gefaltet in einer Nische der Peritonealhöhle.

Das Omentum majus enthält ein kompliziertes Netzwerk von *Lymphgefäßen* und ist reich an *Fettgewebe* und *Zellen des Immunsystems*, die „Milchflecken" (Maculae lacteae) bilden.

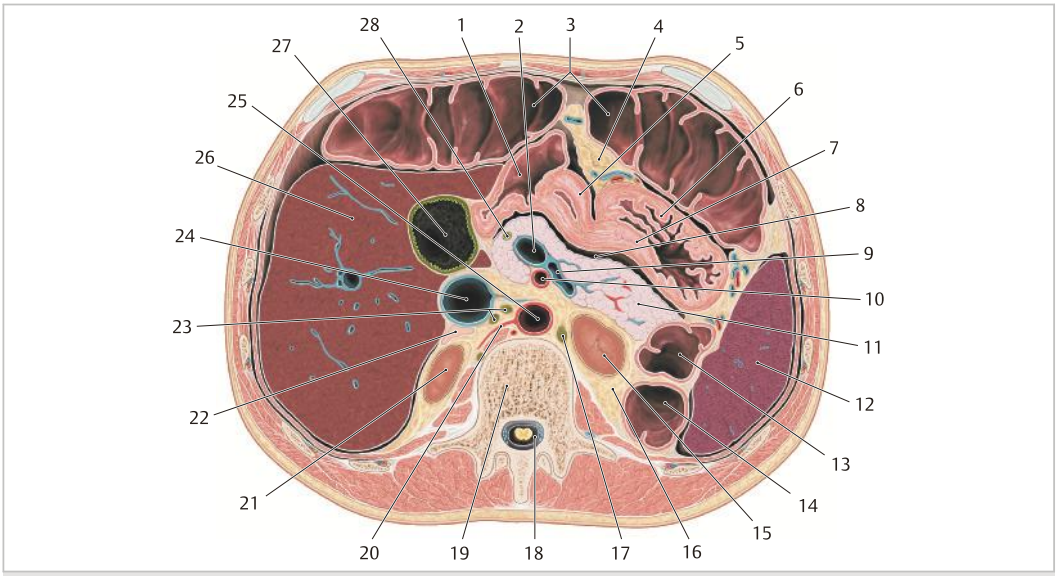


Abb. 14.2 Horizontalschnitt durch das Abdomen in Höhe von LWK 1. Ansicht von kaudal.

1 Duodenum
2 V. mesenterica superior
3 Colon transversum
4 Omentum majus
5 Gaster, Pars pylorica
6 Gaster, Paries anterior
7 Gaster, Paries posterior
8 Bursa omentalis
9 V. splenica
10 A. mesenterica superior
11 Pancreas, Cauda
12 Splen
13 Flexura coli sinistra, Colon transversum
14 Flexura coli sinistra, Colon descendens
15 Ren sinister
16 Capsula adiposa renis
17 Nodus lymphoideus lateralis
18 Canalis spinalis mit Medulla spinalis
19 Vertebra lumbalis I
20 A. renalis dextra
21 Ren dexter
22 Glandula suprarenalis dextra
23 Nodi lymphoidei lumbales intermedii
24 V. cava inferior
25 Aorta abdominalis
26 Hepar, Lobus dexter
27 Vesica biliaris
28 Ductus choledochu
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das Omentum majus ist aktiv an der Abkapselung **intraperitonealer Entzündungen** beteiligt. Meist kommt es dabei zu flächenhaften Verklebungen oder Verwachsungen (Briden) des Omentum majus mit dem Peritoneum viscerale oder parietale.

Lig. splenorenale und Lig. gastrosplenicum schließen den *Recessus splenicus* der Bursa omentalis ein. Vom Magenfundus zum Zwerchfell zieht das **Lig. gastrophrenicum**, das sich in das Lig. splenorenale fortsetzt.

Die **Milz** (**Splen**[12] oder **Lien**) liegt in der linken Regio hypochondriaca lateral des Magens und hat etwa die Form einer faustgroßen Kaffeebohne.

Der hintere Pol ist nur wenige Zentimeter von der Wirbelsäule entfernt, der vordere Pol zeigt seitlich abwärts. Die Längsachse der Milz senkt sich mit der 10. Rippe zur Seite. Man unterscheidet 2 Oberflächen: Die nach kranial und lateral weisende Fläche ist konvex (**Facies diaphragmatica**), die nach kaudal und medial weisende Fläche (**Facies visceralis**) hat Kontakt zu Magen, linker Niere und Dickdarm (Facies gastrica, renalis, colica). Über die ganze Länge der Facies visceralis dehnt sich das **Milzhilum** aus. Die Fortsetzung des Mesocolon transversum zwischen der linken Colonflexur und dem Zwerchfell nach lateral wird **Lig. phrenicocolicum** genannt. Es bildet den Boden der **Milznische**, die seitlich und dorsal vom Zwerchfell begrenzt wird.

Zwölffingerdarm (**Duodenum**, ▶ **Abb. 14.1**[20] und ▶ **Abb. 14.3**) und Bauchspeicheldrüse (Pancreas) liegen sekundär retroperitoneal und grenzen an das Peritoneum der Hinterwand des Ober- und Unterbauches.

Das Duodenum, das sich an den Magen anschließt, liegt C-förmig rechts der Wirbelsäule in der Höhe zwischen 1. und 3., mitunter auch dem 4. Lendenwirbel. Man unterscheidet den noch intraperitoneal beginnenden Anfangsteil (**Pars superior**) und die retroperitoneal gelegenen Teile **Pars descendens** und **Pars horizontalis** (unterhalb des Pancreaskopfes) sowie die nach links vor der Wirbelsäule ebenfalls retroperitoneal ansteigende **Pars ascendens**.

Die Pars superior läuft wenige Zentimeter an der Facies visceralis der Leber aufwärts und geht dann unter dem Gallenblasenhals in einer Biegung (**Flexura duodeni superior**) in die Pars descendens über.

Über die Mitte der Pars descendens zieht quer die Wurzel des Mesocolon transversum hinweg (s. ▶ **Abb. 14.5**[10]). Die untere Hälfte der Pars descendens, die Pars horizontalis und die Pars ascendens liegen daher im Unterbauch.

Die Pars descendens zieht vor dem Hilum der retroperitoneal gelegenen rechten Niere abwärts. Sie setzt sich in Höhe LWK 3–4 in flachem Bogen (*Flexura duodenalis inferior*) in die Pars horizontalis fort. Diese kreuzt vor der V. cava inferior zur linken Seite und geht ohne deutliche Biegung in die Pars ascendens über. Die Pars ascendens steigt vor der Bauchaorta zur *Flexura duodenojejunalis* auf.



Vor den oberen Anteil der Pars descendens kann sich der Gallenblasenfundus legen. **Gallenblasensteine** können daher nach entzündlicher Verwachsung von Gallenblase und Vorderwand der Pars descendens in das Duodenum perforieren.

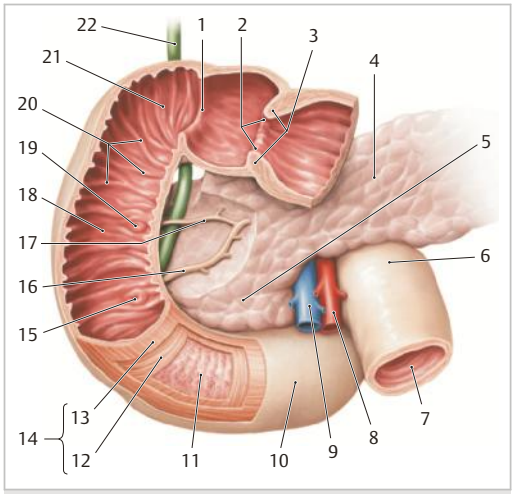


Abb. 14.3 Duodenum und Pancreas mit einmündenden Gangsystemen. Ansicht von ventral (Vorderwand des Duodenums entfernt, Wandschichten gefenstert).
1 Duodenum, Pars superior
2 Ostium pyloricum
3 M. sphincter pylori
4 Corpus pancreatis
5 Caput pancreatis
6 Flexura duodenojejunalis
7 Jejunum
8 A. mesenterica superior
9 V. mesenterica superior
10 Duodenum, Pars inferior
11 Tunica mucosa
12 Stratum circulare
13 Stratum longitudinale
14 Tunica muscularis
15 Papilla duodeni major
16 Ductus pancreaticus
17 Ductus pancreaticus accessorius
18 Duodenum, Pars descendens
19 Papilla duodeni minor
20 Plicae circulares (Kerckring-Falten)
21 Flexura duodeni superior
22 Ductus choledochus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Bauchspeicheldrüse** (**Pancreas**, ▶ **Abb. 14.3**), ein nach schräg links oben verlaufender Keil, füllt mit dem Pancreaskopf (**Caput pancreatis**[5]) die Duodenalschlinge aus und wird – wie diese – durch die Wurzel des Mesocolon transversum teils dem Oberbauch, teils dem Unterbauch zugeteilt. Der im Unterbauch liegende Teil des Pancreaskopfes umfasst hinten unten mit dem hakenförmigen **Processus uncinatus** die *Vasa mesenterica superiora*, die über die Pars ascendens des Duodenum hinweg in das Mesenterium des Dünndarms eintreten. Der schlankere Pancreaskörper (**Corpus pancreatis**[4]) erstreckt sich vor der Wirbelsäule (Höhe etwa LWK 2) nach links und ist an die Hinterwand der Peritonealhöhle angeheftet. Ein durch die Aorta hervorgerufener Buckel (**Tuber omentale**) ragt in die Bursa omentalis vor. Der folgende Pancreasschwanz (**Cauda pancreatis**) reicht nahe an das Milzhilum heran.

Die Wurzel des Mesocolon transversum verläuft nach Überquerung des Pancreaskopfes am Vorderrand von Pancreaskörper und -schwanz entlang (s. ▶ **Abb. 14.5**).

14.1.2 Unterbauchsitus (▶ Abb. 14.4)

Der Unterbauch (**Pars infracolica** der Peritonealhöhle) reicht von der Wurzel des Mesocolon transversum (Höhe LWK 2) bis zum Beckeneingang an der Linea terminalis. Er enthält **Dünndarm** (außer Duodenum) und **Dickdarm**. Der Dickdarm verläuft als Colonrahmen um den Dünndarm. Aus dem Oberbauch reichen die untere Hälfte des Duodenums und des Pancreaskopfes in den obersten Anteil des Unterbauches.

Der **Dünndarm** ist je nach Kontraktionszustand seiner Längsmuskelschicht 3–5 m lang und wird in **Duodenum** (Zwölffingerdarm), **Jejunum**[7] (Leerdarm) und **Ileum**[13] (Krummdarm) gegliedert. Jejunum und Ileum sind in zahlreiche, von Peritoneum bedeckte Schlingen gelegt, die in ihrer Gesamtheit als Dünndarmkonvolut bezeichnet werden.

Zum **Dickdarm** gehören **Caecum** (Blinddarm) mit der **Appendix vermifomis** (Wurmfortsatz) sowie das **Colon** (Grimmdarm) mit seinen 4 Abschnitten *Colon ascendens, transversum, descendens* und *sigmoideum*. Colon ascendens und descendens gelangen während der Entwicklung in eine sekundär retroperitoneale Lage. **Rectum** (Mastdarm) und *Canalis analis* (Analkanal) werden ebenfalls zum Dickdarm gerechnet, liegen aber außerhalb der Peritonealhöhle. Das Colon bildet einen Rahmen um das Dünndarmkonvolut.

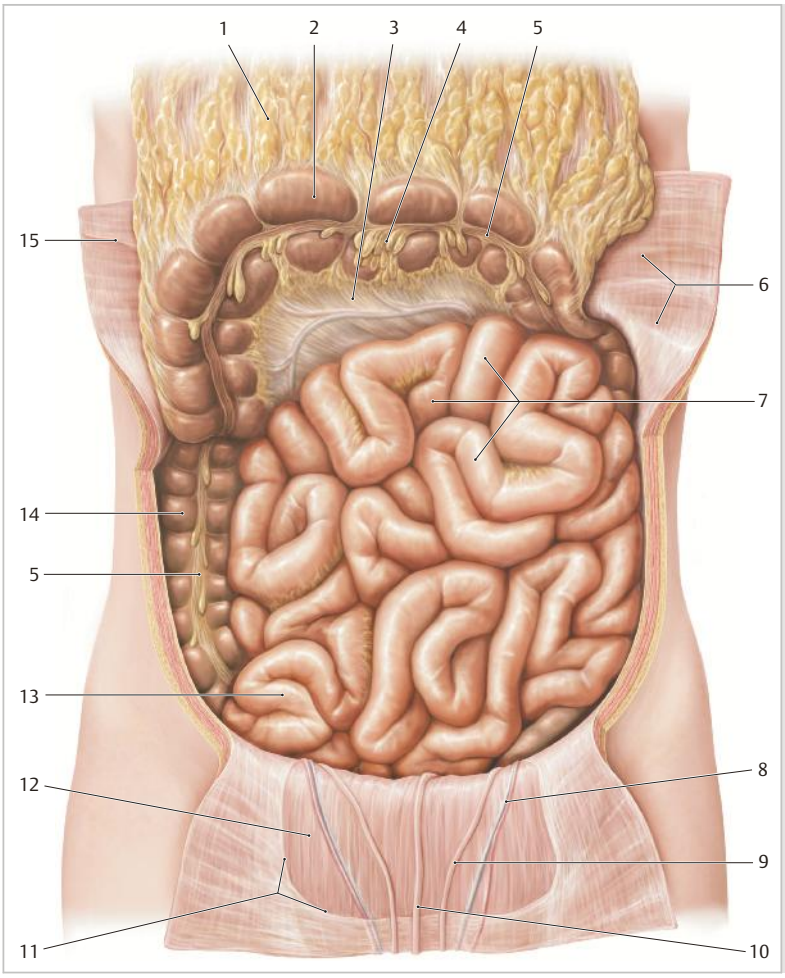


Abb. 14.4 Bauchsitus: Unterbauch. Ansicht von ventral (vordere Rumpfwand entfernt, Magen und Omentum majus hochgeschlagen).
1 Omentum majus (hochgeklappt)
2 Colon transversum
3 Mesocolon transversum mit A. und V. colica media)
4 Appendices epiploici
5 Taenia libera
6 Peritoneum parietale
7 Jejunum (bedeckt von Peritoneum viscerale)
8 Plica umbilicalis lateralis (A. und V. epigastrica inferior)
9 Plica umbilicalis medialis (mit obliterierter A. umbilicalis)
10 Plica umbilicalis mediana (mit obliteriertem Urachus)
11 Linea arcuata
12 M. rectus abdominis
13 Ileum
14 Colon ascendens
15 Lig. teres hepatis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

14.1.3 Peritonealhöhle im Bauchraum

Die Peritonealhöhle grenzt ventral an die Rückwand der *Rektusscheide* und die *Fossae inguinales*, nach lateral an die quer verlaufenden Bauchmuskeln. Nach dorsal schließt sich der *Retroperitonealraum* an. Die Wand der Abdominalhöhle (▶ **Abb. 14.5**) wird von den Wurzeln des *Mesocolon transversum* in Ober- und Unterbauch unterteilt. An der dorsalen Wand zeichen sich die *retroperitoneal gelegenen Organe*, die großen *axialen Gefäße* und die *Wirbelsäule* ab. Nach kaudal setzt sich die Peritonealhöhle des Bauchraums ohne scharfe Grenze an der *Linea terminalis* des Beckens in die Peritonealhöhle des Beckenraums fort.

Wände. Das Relief der **vorderen Wand** der Peritonealhöhle wird von den anterioren Teilen der schrägen Bauchmuskeln und der Rektusscheide sowie von den Fossae inguinales und den diese begrenzenden Plicae umbilicales geprägt (S. 110). Von der Bauchwand aus zieht das derbe Lig. falciforme hepatis zur Vorderfläche der Leber. Es ist mit der Bauchwand in einer annähernd medianen Linie verwachsen, die bis zum Nabel abwärts zieht.

Die **hintere Wand** der Peritonealhöhle (▶ **Abb. 14.5a**) wird von der Wurzel (Radix) des *Mesocolon transversum*[10] in Ober- und Unterbauch gegliedert. Diese verläuft von etwas unterhalb der Eintrittstelle des Duodenums unter das Peritoneum (rechtes Nierenhilum) über den Processus uncinatus hinweg am Unterrand des Pancreasschwanzes nach schräg oben links bis zum Hilum der linken Niere. Im **Oberbauch** ist die Hinterwand der Peritonealhöhle zu einem großen Teil zugleich Hinterwand der Bursa omentalis. Oberhalb dieses Areals begrenzen auf der Zwerchfellunterseite die *Ligg. triangularia* und das *Lig. hepatorenale* die Verwachsungsfläche mit der Area nuda der Leber. Unterhalb davon bilden sich die obere Hälfte der Pars descendens[29] des Duodenum sowie die obere Hälfte der rechten Niere[31] an der Hinterwand des Oberbauches ab. Die rechte Nebenniere[33] liegt dagegen an der V. cava inferior im Bereich der Area nuda der Leber.

Im **Unterbauch** wird die Hinterwand oben von der unteren Hälfte der Pars descendens duodeni[29] und von der Pars ascendens duodeni[26] vorgewölbt. In der Duodenalschleife zeichnet sich der untere Teil des Pancreaskopfes[28] ab. Zwischen Flexura duodenojejunalis und Colon descendens drängt der untere Pol der linken Niere die Hinterwand vor. Colon ascendens und Colon descendens liegen im Grenzbereich von Hinter- und Seitenwand des Peritonealraums. In der unteren Hälfte vor der Lendenwirbelsäule hebt sich der Wulst der großen axialen Gefäße (Aorta[25], V. cava inferior) ab. Sie teilen sich vor dem 4.–5. Lendenwirbel in die Vasa iliaca communia[23], die gemeinsam mit dem M. iliopsoas den Eingang in die Beckenhöhle begrenzen.

Das Peritoneum und damit die Bauchhöhle bildet zahlreiche Ausbuchtungen (**Recessus**, ▶ **Abb. 14.5b**). Zum einen entstehen sie an der **Hinterwand** der Peritonealhöhle durch den Übergang eines Darmabschnitts von retro- nach intraperitoneal (oder umgekehrt), wie z. B. Recessus duodenojejunalis superior[35] und inferior[36].

Zum anderen handelt es sich um **Drainageräume**, die als unvollständig gegeneinander abgegrenzte Räume zwischen den Anheftungsstellen der Organe und anderen Organen bzw. Organabschnitten anzusehen sind (z. B. Recessus hepatorenalis[42], Recessus intersigmoideus[37]). Sie werden ebenfalls als Recessus oder auch Sulci bezeichnet und sind mit Peritonealflüssigkeit gefüllt, die in diesen kapillaren Spalten frei zirkulieren kann.

Bei vermehrter Produktion von Peritonealflüssigkeit (**Aszites**) oder **intraabdominalen Blutungen** (z. B. nach stumpfem Bauchtrauma) sammeln sich diese Flüssigkeiten beim liegenden Patienten bevorzugt im **Recessus hepatorenalis**, der beim Liegenden der tiefste Punkt der Bauchhöhle ist. Flüssigkeitsansammlungen in der Peritonealhöhle werden sonografisch nachgewiesen.

Schließlich kommen noch weitgehend abgegrenzte **Nebenräume** der Peritonealhöhle vor wie z. B. die Bursa omentalis, die Excavatio rectouterina (Douglas-Raum bei der Frau) und die Excavatio rectovesicalis (beim Mann).

Die **Bursa omentalis** (▶ **Abb. 14.6**), der größte Recessus des Peritonealraums, liegt hinter dem kleinen Netz und hinter dem Magen, aber vor dem Pancreas (▶ Tab. 14.2). Den Boden bildet das Colon transversum. Der Eingang durch das Foramen omentale[22] führt – unter dem freien Unterrand des

Tab. 14.1 Recessus der Peritonealhöhle (s. a. ▶ **Abb. 14.5**)

Bezeichnung	Lage		
Recessus der Hinterwand der Peritonealhöhle			
Recessus duodenalis	superior	kranial	der Flexura duodeno-jejunalis
	inferior	kaudal	
Recessus iliocaecalis	superior	kranial	am ileozäkalen Übergang
	inferior	kaudal	
Recessus retrocaecalis	von kaudal hinter dem Zäkum		
Recessus als „Drainageräume“			
parietokolischer Spalt	links	links des Colon descendens	
	rechts	rechts von Caecum und Colon ascendens	
mesenterokolischer Spalt	links	zwischen Radix mesenterii und Colon descendens und sigmoideum	
	rechts	zwischen Radix mesenterii und Colon ascendens	
Recessus intersigmoideus		von kaudal hinter dem Mittelteil des Sigmoids	
Recessus hepatorenalis		zwischen Leber und rechter Niere/Nebenniere	
Recessus subhepaticus		zwischen Leber und Colon transversum	
Recessus subphrenici		paarig unter dem Zwerchfell	

Tab. 14.2 Lagebeziehungen der Bursa omentalis.

Seite	Organ, Bindegewebsstruktur, Gefäß
ventral	Hinterwand des Magens, Omentum minus, Lig. gastrocolicum
dorsal	Pancreas, oberer Pol der linken Niere, linke Nebenniere, Aorta abdominalis, Truncus coeliacus mit Hauptästen
kranial	Lobus caudatus hepatis
kaudal	Colon transversum, Mesocolon transversum
rechts	Leber, Duodenum
links	Milz, Lig. gastrosplenicum

Lig. hepatoduodenale[23] – zunächst in das **Vestibulum bursae omentalis**. Das Vestibulum wird hinten von der V. cava inferior[12] und der Aorta[13], oben vom Lobus caudatus der Leber begrenzt. Nach kranial schiebt sich zwischen V. cava inferior und Oesophagus der **Recessus superior bursae omentalis** vor. Die Verbindung des Vestibulum mit dem Hauptraum der Bursa omentalis wird von dorsal durch die *Plica gastropancreatica* eingeengt, in der die *A. gastrica sinistra* aufwärts, die *A. hepatica communis* abwärts verläuft. Eine untere Aussackung der Bursa omentalis (**Recessus inferior bursae omentalis**) erstreckt sich zwischen Magen und Colon transversum. Eine linke Aussackung (**Recessus splenicus bursae omentalis**) wird von den Ligg. splenorenale und gastrosplenicum begrenzt und reicht bis zum Milzhilum. An der Hinterwand der Bursa omentalis buckelt sich im unteren Anteil das Tuber omentale des Pancreaskörpers vor.

Da das Pancreas unmittelbar dorsal des Hauptraums der Bursa omentalis liegt, spielen die operativen Zugangswege zur Bursa bei der Pancreaschirurgie eine große Rolle (▶ Tab. 14.3).

Neben den intraperitoneal gelegenen Organen gliedern zahlreiche **Bänder** die Peritonealhöhle (▶ Tab. 14.4).

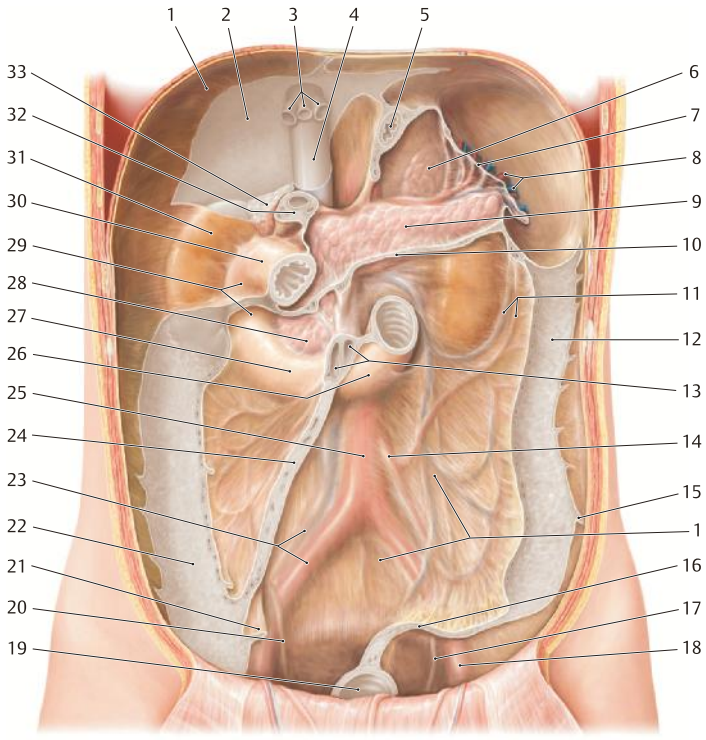


Abb. 14.5 Situs und Recessus der dorsalen Wand der Peritonealhöhle (s. auch ▶ Tab. 14.1). **a** Dorsale Wand der Peritonealhöhle nach Entfernung der intraperitonealen Organe.

1 Peritoneum parietale
2 Leberloge
3 Vv. hepaticae
4 V. cava inferior
5 Ostium cardiacum
6 Glandula suprarenalis sinistra
7 Lig. gastrosplenicum
8 A. und V. splenica
9 Pancreas (Corpus und Cauda)
10 Radix des Mesocolon transversum
11 A. und V. colica sinistra
12 Anheftungsstelle des Colon descendens
13 A. und V. mesenterica superior
14 A. mesenterica inferior
15 Sulci paracolici
16 Mesocolon sigmoideum
17 Ureter sinister
18 A. iliaca externa
19 Rectum
20 Ureter dexter
21 Mesoappendix
22 Anheftungsstelle des Colon ascendens
23 A. und V. iliaca communis dextra
24 Radix mesenterii
25 Aorta abdominalis
26 Duodenum, Pars ascendens
27 Duodenum, Pars horizontalis
28 Caput pancreatis
29 Duodenum, Pars descendens
30 Duodenum, Pars superior
31 Ren dexter
32 Lig. hepatoduodenale mit V. portae, A. hepatica propria und Ductus choledochus
33 Glandula suprarenalis dextra

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

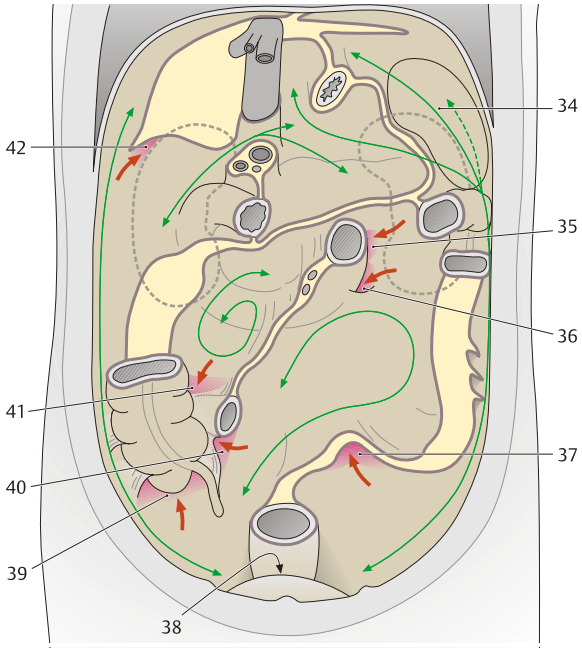


Abb. 14.5 b
Recessus der dorsalen Wand (rot). Die Recessus liegen entweder zwischen einem Organ und der Wand der Peritonealhöhle oder zwischen Organen. Zwischen den Drainageräumen kann intraperitoneale Flüssigkeit frei strömen (grüne Pfeile).

34 Splen
35 Recessus duodenalis superior
36 Recessus duodenalis inferior
37 Recessus intersigmoideus
38 Excavatio rectovesicalis
39 Recessus retrocaecalis
40 Recessus ileocaecalis inferior
41 Recessus ileocaecalis superior
42 Recessus hepatorenalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 14.3 Chirurgische Zugangswege zur Bursa omentalis.

Zugangsweg	Lage
von rechts lateral durch das Foramen omentale (einziger natürlicher Zugang)	zwischen rechtem Rand des Lig. hepatogastricum und der Pars superior duodeni
von ventral nach Durchtrennung des Omentum minus	zwischen kleiner Kurvatur des Magens und Leber
von ventral nach Durchtrennung des Lig. gastrocolicum	zwischen großer Kurvatur des Magens und Colon transversum
von kaudal nach Durchtrennung des Mesocolon transversum	zwischen Colon transversum und hinterer Bauchwand

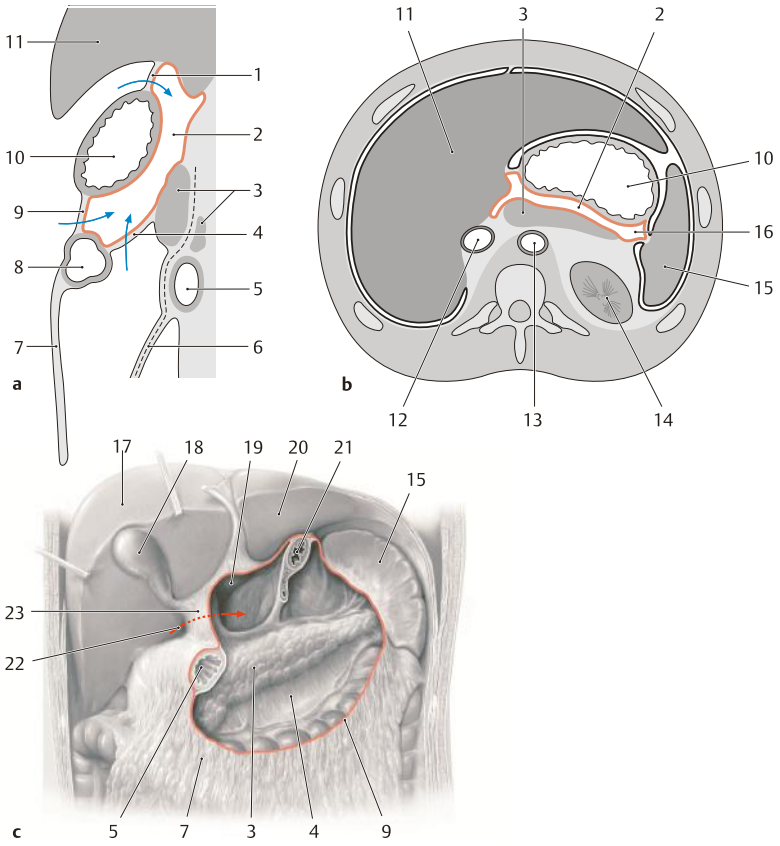


Abb. 14.6 Bursa omentalis.

a Sagittalschnitt durch die Bursa omentalis, Ansicht von links. Bursa omentalis rot umrandet, blaue Pfeile = chirurgische Zugangswege.

1 Omentum minus
2 Bursa omentalis
3 Pancreas
4 Mesocolon transversum
5 Duodenum
6 Mesenterium
7 Omentum majus
8 Colon transversum
9 Lig. gastrocolicum
10 Gaster
11 Hepar

b Horizontalschnitt in Höhe von BWK 12 durch die Bursa omentalis, Ansicht von kaudal.

12 V. cava inferior
13 Aorta abdominalis
14 Ren sinister
15 Splen
16 Recessus splenicus bursae omentalis

c Oberbauchsitus nach Entfernung von Magen und Lig. hepatogastricum, Leber angehoben. (Ansicht von ventral auf die Rückwand der Bursa omentalis, s. a. ▶ Tab. 14.3).

17 Hepar, Lobus dexter
18 Vesica biliaris
19 Hepar, Lobus caudatus
20 Hepar, Lobus sinister
21 Cardia
22 Pfeil durch das Foramen omentale
23 Lig. hepatoduodenale

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 14.4 Bänder der Bauchhöhle.

Ligament	topografische Beziehung	Verbindung
Lig. falciforme hepatis	trennt auf der Facies diaphragmatica hepatis den rechten und linken Leberlappen entspricht dem ehemaligen Mesogastrium ventrale	Facies diaphragmatica hepatis – ventrale Bauchwand
Lig. teres hepatis	trennt Lobus quadratus und Lobus sinister verläuft am Unterrand des Lig. falciforme hepatis enthält die weitgehend obliterierte V. umbilicalis, die während der Entwicklung sauerstoff- und nährstoffreiches Blut aus der Plazenta führt	Facies visceralis hepatis – Nabel
Lig. venosum	trennt Lobus caudatus und Lobus sinister hepatis auf der Facies visceralis; enthält den obliterierten Ductus venosus	V. umbilicalis – V. cava
Lig. triangulare sinistrum	begrenzt die Area nuda des Lobus sinister	freier Rand des Lig. coronarium links
Lig. triangulare dextrum	Gemeinsamer Rand des Lig. hepatophrenicum und Lig. hepatorenale	Zwerchfell
Lig. coronarium hepatis	Umschlagfalten der Ligg. triangularia an der Area nuda	Area nuda hepatis – Zwerchfell
Lig. hepatophrenicum	Teil des Omentum minus	rechter Leberlappen – Zwerchfell
Lig. hepatooesophageale	Teil des Omentum minus	Porta hepatis – magennaher Teil des Oesophagus
Lig. hepatogastricum	Teil des Omentum minus begrenzt die Bursa omentalis nach ventral enthält die Aa. gastrica dextra und sinistra	Porta hepatis – kleine Kurvatur des Magens
Lig. hepatoduodenale	Teil des Omentum minus enthält V. portae, A. hepatica propria und Ductus choledochus	Porta hepatis – Duodenum
Lig. hepatocolicum (unregelmäßig ausgebildet)	Teil des Omentum minus Fortsetzung des Lig. hepatoduodenale nach rechts	Porta hepatis – Flexura coli dextra
Lig. hepatorenale		rechter Leberlappen – rechte Niere
Lig. gastrosplenicum (= Lig. gastrolienale)	begrenzt den Recessus splenicus der Bursa omentalis nach links oberster Anteil des L. gastrosplenicum	große Kurvatur des Magens – Milzhilum
Lig. gastrophrenicum	oberster Teil des Lig. gastrosplenicum	große Kurvatur des Magens – Zwerchfell
Lig. gastrocolicum	Teil des Omentum majus enthält A. gastroomentalis dextra und sinistra	große Kurvatur des Magens – Taenia omentalis coli
Lig. phrenicosplenicum	hinterer Anteil des Mesosplenicums mit Ästen von A. u V. splenica	Milzhilum – Zwerchfell
Lig. splenorenale (= Lig. lienorenale)	begrenzt den Recessus splenicus der Bursa omentalis nach links, enthält am Unterrand die A. und V. splenica	Milzhilum und Peritoneum über dem oberen Pol der linken Niere
Lig. pancreaticosplenium	enthält die Aufzweigungen von A. und V. splenica	Cauda pancreatis – Milzhilum
Lig. pancreaticocolicum	Fortsetzung des Mesocolon transversum nach links	Cauda pancreatis – linke Colonflexur
Lig. splenocolicum		Milzhilum – linke Colonflexur
Lig. phrenicocolicum	Boden der Milznische	Zwerchfell – linke Colonflexur

14.2 Intra- und retroperitoneale Organe

14.2.1 Magen (▶ Abb. 14.7)

Der Magen gliedert sich in 4 große Regionen: **Pars cardiaca (Kardia), Fundus, Corpus** und **Pars pylorica** und liegt asymmetrisch im Oberbauch. Seine **Form** ist sehr variabel und hängt zusätzlich von seinem Füllungszustand, dem Volumen der übrigen Baucheingeweide und der Spannung der Bauchdecke ab.

Der Magen speichert die zerkleinerte Nahrung und bereitet sie chemisch (Einwirkung von Magensaft) und mechanisch (Magenperistaltik) auf die Verdauung im Darm vor. Durch Zusatz von Magensaft zur Nahrung entsteht der Speisebrei, *Chymus*, der portionsweise an den Dünndarm weitergegeben wird. Der Magensaft wird von der **Magenschleimhaut** produziert und enthält unter anderem bakterizid wirkende *Salzsäure*, Enzyme zur Aufspaltung von Proteinen (*Pepsin*) und Lipiden (*Magenlipase*) sowie das Mucoprotein *Intrinsic Factor*, das Vitamin B_{12} bindet. Außerdem werden von endokrin aktiven Zellen der Magenschleimhaut *Hormone* zur Steuerung von Magensekretion und -motorik sezerniert. Zum Schutz der Schleimhaut gegen Salzsäure und Enzyme des Magensafts bildet das einschichtige hochprismatische Epithel eine Schleim- und Bikarbonatbarriere. Die **Muskelwand** des Magens (Tunica muscularis) besteht aus glatten Muskelzellen, die in 3 Lagen angeordnet sind: zu der auch im übrigen Verdauungstrakt vorhandenen äußeren Längs- und inneren Ringmuskelschicht kommt im Magen eine innerste Schicht aus schräg verlaufenden Fasern (*Fibrae obliquae*).

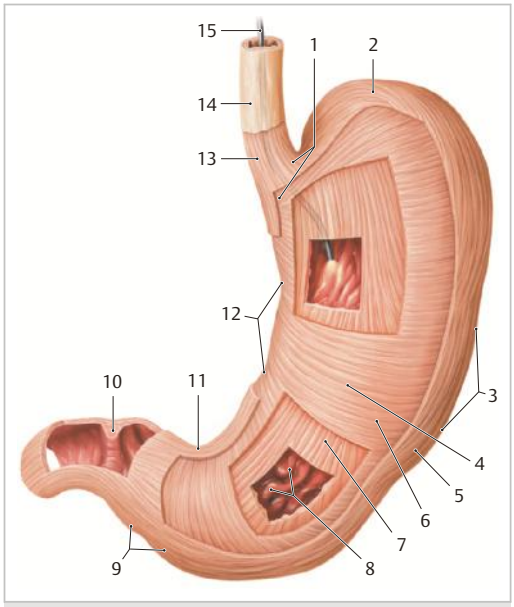


Abb. 14.7 Magen (Gaster). Ansicht von ventral auf die Vorderwand nach Entfernung der Tunica serosa. Muskelschicht an 3 Stellen gefenstert.
1 Pars cardiaca
2 Fundus gastricus
3 Curvatura major
4 Corpus gastricum
5 Tunica muscularis, Stratum longitudinale
6 Tunica muscularis, Stratum circulare
7 Tunica muscularis, Fibrae obliquae
8 Plicae gastricae
9 Pars pylorica
10 M. sphincter pylori
11 Incisura angularis
12 Curvatura minor
13 Tunica muscularis des Oesophagus, Stratum longitudinale
14 Tunica adventitia des Oesophagus
15 Endoskop
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Regionen, Form und Lage des Magens

Regionen. Der Magen liegt schräg nach rechts unten gerichtet im Oberbauch. Vorder- und Rückwand des Magens sind nahezu frontal gestellt und reichen jeweils vom Ansatz des kleinen Netzes an der kleinen Kurvatur (Curvatura gastrica minor) bis zum Abgang des großen Netzes an der großen Kurvatur (Curvatura gastrica major). Der rechte (obere) Magenrand verläuft in einem kleinen konkaven Bogen (kleine Kurvatur) von der Oesophagusmündung bis zum Anfang des Dünndarms. Der linke (untere) Magenrand (große Kurvatur) zieht in einem großen konvexen Bogen vom Fundus zum Antrum pyloricum. Der Magen gliedert sich in folgende Teile:

- Pars cardiaca[1],
- Fundus[2],
- Corpus[4],
- Pars pylorica[9].

Am **Ostium cardiacum** öffnet sich der Oesophagus in die **Pars cardiaca** des Magens, eine etwa 1 cm breite Zone zwischen Oesophagus und Fundus. Hier schneidet die **Incisura cardialis** ein, an der die große Kurvatur (Curvatura major) beginnt. Der **Magenfundus** (**Fundus gastricus**) ist nach links zum Zwerchfell gerichtet. Als Hauptteil folgt der **Magenkörper** (**Corpus gastricum**). Er geht in die **Pars pylorica** über, die wiederum unterteilt wird in das relativ weite *Antrum pyloricum* und den engen *Canalis pyloricus* mit dem *Ostium pyloricum*, das in das Duodenum mündet. Im Bereich des Canalis pyloricus ist die Ringmuskultaur, die den Magenpförtner (**Pylorus**) bildet, besonders stark ausgeprägt. An der Grenze von Corpus und Antrum weist die kleine Kurvatur (Curvatura minor) einen Knick, die *Incisura angularis* auf, die häufig die tiefste Stelle der kleinen Kurvatur darstellt. Gegenüber der Incisura angularis ist die große Kurvatur zum *Magenknie* ausgebuchtet. Anschließend steigt sie meist nach rechts zum Pylorus an.

Die **äußere Form** des Magens variiert je nach Körperlage, Magenfüllung, Konstitutionstyp, Muskeltonus, Lebensalter, Atemphase und dem Einfluss der benachbarten Organe. Durchschnittlich ist er 25–30 cm lang und hat beim Erwachsenen eine Füllungskapazität von 1200–1600 ml (bei Neugeborenen ca. 30–35 ml).

Die Form des Magens wird nach Gabe von Kontrastbrei im Röntgenbild sichtbar. Im Fundus unter dem Zwerchfell wird verschluckte Luft als „Magenblase“ sichtbar.

Mit der starken Variabilität der Magengestalt ändert sich auch die **Lage des Magens** relativ zum Skelett, zu benachbarten Organen und zur Rumpfwand. Die Pars cardiaca ist an ihrer medialen hinteren Fläche mit der Pars lumbalis des Zwerchfells verwachsen und geringfügig atemverschieblich. Das Ostium cardiacum liegt in Höhe der Grenze Th 11–12. Die Pars pylorica befindet sich auf der Höhe von LWK1– 3 und wird bei Änderungen der Körperhaltung und bei starker Atemexkursion um eine Wirbelhöhe verschoben.

Feinbau und Funktion des Magens

Aus der zerkleinerten Nahrung entsteht unter Zusatz von **Magensaft** der Speisebrei (Chymus). Er wird durch die Peristaltik des Magens homogenisiert, zwischengespeichert (**Reservoirfunktion**) und portionsweise in den Dünndarm befördert. Durch die Einwirkung der Protease **Pepsin** und der **Magenlipase** beginnt im Magen der Abbau von Proteinen und Lipiden. Es findet keine nennenswerte Resorption statt.

Die nur wenige Millimeter dicke **Magenwand** weist grundsätzlich den gleichen Aufbau wie der restliche Rumpfdarm auf:

- **Tunica mucosa:** Die Magenschleimhaut produziert den sauren Magensaft und bildet eine Schleim- und Bikarbonatbarriere zum Schutz vor Selbstverdauung.
- **Tela submucosa:** Die aus lockerem kollagenem Bindegewebe bestehende Tela submucosa liegt als Verschiebeschicht zwischen Schleimhaut und Muskelwand. Sie führt Gefäße und Nerven sowie Ganglienzellen des *Plexus submucosus*, deren Äste die Schleimhaut versorgen.
- **Tunica muscularis:** Retention, Durchmischung und dosierte Entleerung des Mageninhalts setzen koordinierte Kontraktions- und Verschlussmechanismen voraus (S. 269), die durch die Ganglienzellen des *Plexus myentericus* zwischen innerer Ring- und äußerer Längsmuskelschicht gesteuert werden. Neben Längs- und Ringmuskelschicht kommt eine schräg verlaufende, innerste Schicht aus glatter Muskulatur vor, die *Fibrae obliquae*.
- **Tela subserosa:** Das subperitoneale Bindegewebe enthält Systeme von Bindegewebszügen, die bevorzugt an kleiner und großer Kurvatur ausgebildet sind.
- **Tunica serosa:** Der Peritonealüberzug erlaubt Lageverschiebungen gegenüber den umgebenden Organen.

An der Kardia geht das mehrschichtige unverhornte Plattenepithel des Oesophagus abrupt in die etwa 1 mm dicke **Magenschleimhaut** (**Tunica mucosa**) über. Der Übergang zur Duodenalschleimhaut im Canalis pyloricus ist dagegen fließend. Die Schleimhautoberfläche des mäßig gefüllten Ma-

gens besitzt ein Hochrelief aus Magenfalten (**Plicae gastricae**, Reservefalten), die größtenteils längs verlaufen und von der *Lamina muscularis mucosae* und der *Tela submucosa* aufgeworfen werden. Kurze, quergestellte Falten ergänzen die Längsfalten zu Schleimhautkammern. An der kleinen Kurvatur bilden 2–3 Längsfalten die Magenstraße (**Canalis gastricus**). Die Falten sind anatomisch präformiert, verstreichen aber weitgehend bei Dehnung der Magenwand. Flüssigkeiten können ohne Entfaltung des Magens entlang der Magenstraße rasch in den Dünndarm gelangen.

Ein Flachrelief aus Magenfeldern (**Areae gastricae**) wird bei Lupenvergrößerung sichtbar. Auf den Magenfeldern münden punktförmig oder als kleine Schlitze die Magengrübchen (**Foveolae gastricae**), in die wiederum die Magendrüsen (**Glandulae gastricae propriae**) münden, die dicht gepackt in der *Lamina propria mucosae* (Schleimhautbindegewebe) liegen.

Magensaft. Die Magendrüsen von *Fundus* und *Corpus* enthalten 3 Zellarten: Hauptzellen, Belegzellen und Nebenzellen. Die *Hauptzellen* bilden Pepsinogen, das im sauren Milieu zu dem eiweißspaltenden Enzym Pepsin aktiviert wird, sowie die Magenlipase. Die *Belegzellen* sondern Protonen und Chlorid zur Bildung der Salzsäure ab. Diese tötet einen großen Teil der mit der Nahrung aufgenommenen Bakterien (bakterizide Wirkung). Das ebenfalls von den Belegzellen produzierte Mukoprotein Intrinsic-Faktor bindet Vitamin B_{12} und ermöglicht so dessen Resorption im unteren Ileum.

Magenschleim. Die *Nebenzellen* sind an der Bildung des schützenden Magenschleims beteiligt. Aus ihnen regenerieren sich die Oberflächen- und Drüsenepithelien. Die oberflächlichen Epithelzellen außerhalb der Foveolae sezernieren ebenfalls Schleim und Bikarbonat als Puffersubstanz und zusätzlich Phospholipide, die eine hydrophobe Barriere erzeugen. Die Drüsen der *Pars cardiaca* (Glandulae cardiacae) produzieren ausschließlich Schleim.

Hormone. Im Epithel der *Pylorusdrüsen* (Glandulae pyloricae) befinden sich zahlreiche enteroendokrine Zellen (S. 56), deren Hormone (vor allem Histamin, Serotonin, Gastrin und Somatostatin) Sekretion, Peristaltik und Sättigungsgefühl steuern.



Bei einer Schädigung der Schleimhautbarriere (durch Alkoholabusus oder die chronische Einnahme von Zyklooxigenasehemmern wie Azetylsalizylsäure) kann es zu einer Andauung des Epithels durch den Magensaft und zu einer Erosion des Oberflächenepithels kommen. Dies führt zu einer Entzündung (**erosive Gastritis**). Sie macht sich durch Appetitlosigkeit, Übelkeit, Erbrechen und Druckschmerz im Epigastrium sowie einen unangenehmen Geschmack im Mund bemerkbar. Aus einer Gastritis kann sich ein **Magengeschwür** (**Ulcus ventriculi**) entwickeln.

Die **Muskelwand des Magens** (**Tunica muscularis**, s. ▸ **Abb. 14.7**) ist aus Bündeln glatter Muskelzellen aufgebaut, die im Unterschied zur Tunica muscularis der übrigen Abschnitte des Verdauungskanals 3 Schichten bilden.

Die **äußere Längsmuskelschicht** (**Stratum longitudinale**[5]) ist hauptsächlich an den Kurvaturen ausgebildet und reguliert die Längsausdehnung des Magens. Die Muskelzüge an der großen Kurvatur ziehen vom Fundus bis zum Pylorus. Die Muskelbündel entlang der kleinen Kurvatur und an Vorder- und Hinterwand enden teilweise an der Incisura angularis. Jenseits der Incisura angularis beginnen neue Muskelzüge, die über die Pars pylorica hinaus bis in die Wand des Duodenums reichen.

Die **innere Ringmuskelschicht** (**Stratum circulare**[6]) bildet in der Wand des Corpus und der Pars pylorica eine annähernd geschlossene Muskellage. Gegen Ende der Pars pylorica wird sie allmählich dicker. Ringförmig um die Kuppel des Fundus verlaufende Muskelzüge scheren aus den Längsmuskelzügen des Oesophagus aus. Der **Plexus myentericus** zur Versorgung der Muskelwand liegt zwischen Längs- und Ringmuskelschicht, s. enterisches Nervensystem (S. 280).

Die nur im Magen vorhandene **innerste, schräge Muskelschicht** (**Fibrae obliquae**[7]) geht aus der Anlage der Ringmuskelschicht hervor. Die Fibrae obliquae sind in der Incisura cardiaca gebündelt, verlaufen dann aber divergierend in Vorder- und Hinterwand des Magens schräg abwärts zur großen Kurvatur und zur Grenze zwischen Corpus und Pars pylorica. Diese und die kleine Kurvatur bleiben frei von ihnen. Durch die Fibrae obliquae wird die Magenstraße an der kleinen Kurvatur, die mehr dem Transport von Flüssigkeiten dient, von dem „Magensack" an der großen Kurvatur abgeteilt.

Der **M. sphincter pylori**[10] besteht aus 2 hintereinanderliegenden Verstärkungen der Ringmuskelschicht, die auf der Seite der kleinen Kurvatur

durch Diagonalmuskelzüge zu einer Muskelplatte verbunden sind. In die Ringmuskelzüge strahlen Längsmuskelzüge ein, die durch ihren Zug den Sphinkter öffnen.

Magenmotorik. Bei der schichtweisen Füllung des Magens wird der Mageninhalt von der Magenwand umschlossen, ohne dass die Wandspannung zunimmt; der Druck im Magen gleicht dem im Peritonealraum. **Tonische Kontraktionen** im oberen Teil des Magens („Schrittmacherzentrum" zwischen Fundus und Corpus) verschieben schleimhautnahe Schichten des Speisebreis und bringen tiefere Schichten in Berührung mit der Magenschleimhaut (Mischbewegungen). **Peristaltische Wellen**, die über Fundus und Pars pylorica hinweglaufen, befördern den Mageninhalt zum in der Regel leicht geöffneten Pylorus. Wenn die peristaltische Welle den Pyloruskanal erreicht, kommt es zunächst zum Pylorusverschluss, danach zur Erschlaffung. Eine wesentliche Rolle bei der Magenentleerung spielt die Differenz des Binnendrucks zwischen Magen und Duodenum. Die durchschnittliche Verweildauer fester Speisen im Magen liegt bei ca. 1–3 h. Flüssigkeiten verlassen den Magen wesentlich schneller.

Gefäße und Nerven des Magens

Der **Truncus coeliacus** bildet zur arteriellen Versorgung des Magens mit seinen Ästen an der großen und kleinen Kurvatur jeweils einen Gefäßbogen (**Magenarkade**) aus insgesamt 4 Arterien. Die Gefäße jeder Arkade bilden untereinander Anastomosen aus.

Arterien (▶ **Abb. 14.8**). Die Arterien des Magens stammen in 82 % der Fälle ausschließlich aus dem Truncus coeliacus[2]. In 18 % der Fälle beteiligen sich auch Äste der A. mesenterica superior[14] an der Magenversorgung.

Der **Arterienbogen der kleinen Kurvatur** wird von der *A. gastrica sinistra*[3] aus dem Truncus coeliacus und der *A. gastrica dextra*[9] aus der A. hepatica propria gespeist.

Den **Arterienbogen der großen Kurvatur** bilden die *A. gastroomentalis dextra*[11] aus der A. gastroduodenalis und die *A. gastroomentalis sinistra*[5], die über das Lig. gastrosplenicum zur großen Kurvatur des Magens zieht und aus der A. splenica stammt.

Mehrere *Aa. gastricae breves* (aus der A. splenica) erreichen ebenfalls über das Lig. gastrosplenicum Vorder- und Hinterfläche des Magenfundus Die *A. gastrica posterior*, die in etwa 60 % der Fälle vorkommt, verlässt dagegen die A. splenica bereits früher, steigt schräg oder senkrecht in der Hinterwand der Bursa omentalis auf und gelangt über das Lig. gastrophrenicum zur Hinterfläche des kardianahen Fundusbereichs, der Kardia und des abdominalen Oesophagus.

Die Arterienbögen sind stark geschlängelt und können sich somit den Volumenschwankungen des Magens anpassen und bei starker Kontraktion des Magens in das kleine bzw. große Netz hineingleiten. Aus dem Arterienbogen der großen Kurvatur ziehen *Rr. omentales* in das Omentum majus.

Aus den beiden Arterienbögen entspringen annähernd rechtwinklig 8–15 Hauptäste zur Vorder- und zur Hinterwand des Magens. Sie bilden in den unterschiedlichen Schichten der Magenwand, „intramurale" Arteriengeflechte.

Die Tela submucosa ist längs beider Kurvaturen in einem jeweils 1–2 cm weit auf die Vorder- und Hinterwand reichenden Streifen deutlich stärker vaskularisiert als der Rest der Magenwand. Magengeschwüre, die in diesem Bereich auftreten (etwa 20 %), können daher stark bluten.

Venen. Die Venen des Magens leiten das Blut zur *V. portae*. Sie entsprechen in ihrem Verlauf den Arterien.

Der **Venenbogen der kleinen Kurvatur** wird von der *V. gastrica sinistra* und der *V. gastrica dextra* gebildet, die häufig die V. prepylorica von der Vorderseite der Pars pylorica aufnimmt. Die Venen an der kleinen Kurvatur bilden in der Wand der Oesophagusmündung und des Magenmundes (Kardia) ein starkes, in der Schleimhaut gelegenes Geflecht, das zum Verschluss des „funktionellen Kardiasphinkters" beiträgt und mit den Oesophagusvenen anastomosiert. Diese sind über die V. azygos und hemiazygos mit der V. cava superior verbunden. An dieser Stelle besteht somit ein venöser Kurzschluss zwischen dem Pfortadersystem und dem Kavasystem (**portokavale Anastomose**).

Den **Venenbogen der großen Kurvatur** bilden die *V. gastroomentalis dextra* (Abfluss zur V. mesenterica superior) und die *V. gastroomentalis sinistra* (Abfluss zur V. splenica, die auch Vv. gastricae breves vom Fundus aufnimmt).

Lymphgefäße. Die Lymphgefäße des Magens entspringen einem mukös-submukösen und einem muskulär-subserösen Netz. Die regionären Lymphknoten für die einzelnen Abschnitte liegen an verschiedenen Stellen der kleinen und der gro-

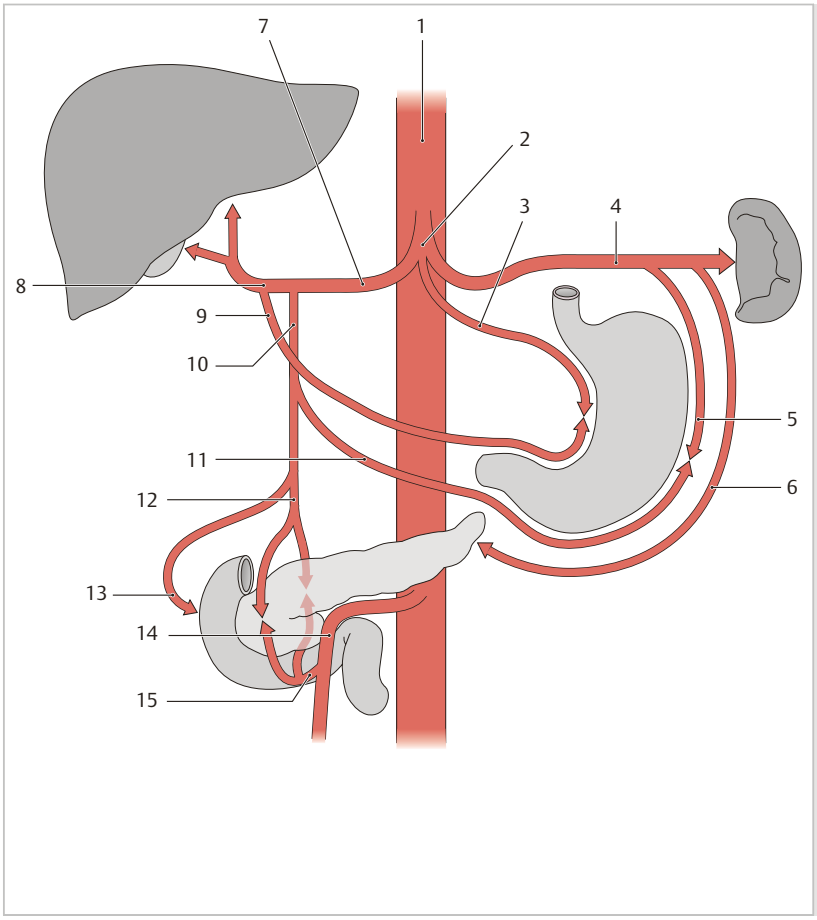


Abb. 14.8 Truncus coeliacus und Arterien zu Magen, Duodenum, Pancreas, Milz, Leber und Gallenblase. Ansicht von ventral.

1 Aorta abdominalis
2 Truncus coeliacus
3 A. gastrica sinistra
4 A. splenica
5 A. gastroomentalis sinistra
6 Rr. pancreatici
7 A. hepatica communis
8 A. hepatica propria
9 A. gastrica dextra
10 A. gastroduodenalis
11 A. gastroomentalis dextra
12 A. pancreaticoduodenalis superior anterior/posterior
13 Rr. duodenales
14 A. mesenterica superior
15 A. pancreaticoduodenalis inferior mit Ramus anterior und posterior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ßen Kurvatur. Auch die Sammellymphknoten sind an unterschiedlichen Stellen zu finden.

Die Pars cardiaca sowie große Bereiche der Vorder- und Hinterwand des Magens und der kleinen Kurvatur dränieren in die **Nodi lymphoidei gastrici dextri** und **sinistri**, die die Lymphe weiterleiten zu den Nodi lymphatici preaortici (coeliaci) und aorti laterales (vor und links der Bauchaorta), teils auch direkt zum Truncus intestinalis oder Truncus lumbaris.

Fundusanteile und milznahe Bereiche der großen Kurvatur dränieren in die **Nodi lymphoidei splenici**.

Die Lymphe der weiter aboralen Anteile der großen Kurvatur fließt ab zu den **Nodi lymphoidei gastroomentales dextri** und **sinistri** und dann rechts weiter zu den **Nodi lymphoidei hepatici** (im Lig. hepatoduodenale), links zu den **Nodi lymphoidei pancreatici**. Über die Leberlymphknoten kann Lymphe durch das Zwerchfell zu vorderen mediastinalen Lymphknoten fließen. Aus den linken Nodi lymphoidei gastroomentales und den am Milzhilum gelegenen Nodi lymphoidei splenici wird die Lymphe über Nodi lymphoidei pancreatici superiores am Oberrand des Pancreas zu den Nodi lymphoidei aortici laterales bzw. preaortici (coeliaci) und zum Truncus intestinalis geleitet.

Die Lymphe aus der Pars pylorica und dem Pylorus fließt in die **Nodi lymphoidei pylorici**.

Verbindungen bestehen mit *Nodi lymphoidei pancreatici* und *hepatici* sowie durch Lymphbahnen vor und hinter dem Pancreas mit *Nodi lymphoidei mesenterici superiores* am Ursprung der A. mesenterica superior. Lymphe aus kardianahen Lymphknoten kann durch das Zwerchfell zu vorderen mediastinalen Lymphknoten abfließen.

Nerven (▶ **Abb. 14.9**). Die autonome Aktivität des **enterischen Nervensystems** (S. 280) wird im Magen durch *parasympathische* Fasern aus den **Trunci vagales** und *sympathische* Fasern aus den **Trunci**

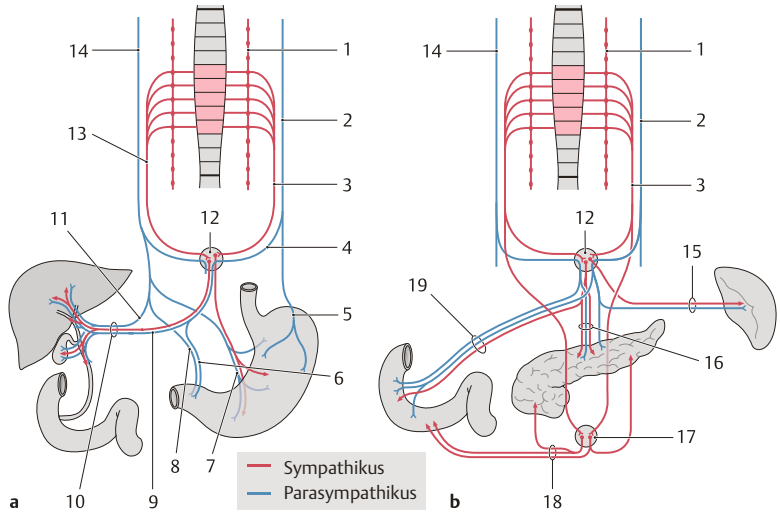


Abb. 14.9 Vegetative Innervation von Leber, Gallenblase und Magen (**a**) sowie von Duodenum, Pancreas und Milz (**b**).

1 Truncus sympathicus
2 Truncus vagalis anterior
3 N. splanchnicus major sinister
4 Truncus vagalis anterior, R. coeliacus
5 Plexus gastricus anterior
6 Truncus vagalis anterior, R. pyloricus
7 Plexus gastricus posterior
8 Truncus vagalis posterior, R. pyloricus
9 Truncus vagalis anterior, R. hepaticus
10 Plexus hepaticus
11 Truncus vagalis posterior, R. hepaticus
12 Ganglia coeliaca
13 N. splanchnicus major dexter
14 Truncus vagalis posterior
15 Plexus splenicus
16 Plexus pancreaticus
17 Ganglion mesentericum superius
18 Äste des Plexus mesentericus superior zu Pancreas und Duodenum
19 Äste des Plexus coeliacus zum Duodenum

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

sympathici moduliert. Die Fasern der Trunci vagales treten als *Rr. gastrici anteriores* bzw. *posteriores* in die Magenwand ein und werden dort auf das 2. Neuron umgeschaltet.

Die präganglionären Sympathicusfasern kommen vor allem vom *N. splanchnicus major*, die im *Ganglion coeliacum* auf das 2. Neuron umgeschaltet werden. Die postganglionären sympathischen Fasern verlaufen mit den Arterien zum Magen.

Die vegetativen Nervenfasern beeinflussen antagonistisch Peristaltik, Vasomotorik und Sekretion. Die Aktivierung des Parasympathicus führt zu einer Steigerung der **Magenmotorik** und **-sekretion** sowie zu einer **Erweiterung der Gefäße,** während der Sympathicus diese Vorgänge hemmt.

14.2.2 Dünndarm

Im **Dünndarm** (**Intestinum tenue**), bestehend aus *Duodenum*, *Jejunum* und *Ileum*, findet der größte Teil des enzymatischen Nahrungsaufschlusses und der Resorption von Nährstoffen statt. Der Dünndarm repräsentiert außerdem das größte *Wasserreservoir* des menschlichen Körpers. Enzymatische Verdauung und Resorption werden durch *Mischbewegungen* des Darmes gefördert. Der Inhalt des Dünndarmes wird schließlich durch *Transportbewegungen* dem Dickdarm zugeführt und portionsweise in diesen abgegeben.

Abhängig vom Kontraktionszustand seiner Längsmuskelschicht ist der Dünndarm 3–5 m lang, örtliche Unterschiede seines Durchmessers gehen auf eine unterschiedliche Kontraktion der Ringmuskelschicht zurück.

Form und Lage des Dünndarms

Das mit Ausnahme des Anfangs- und Endteils retroperitoneal gelegene **Duodenum** (s. ▶ **Abb. 14.1** und ▶ **Abb. 14.3**) ist 25–30 cm lang und hat (meist) die Gestalt eines frontal gestellten C, das mit seiner Konkavität den Pancreaskopf umgreift. Es ist im retroperitonealen Bindegewebe verschieblich und tritt bei Inspiration und im Stehen etwa um eine Wirbelhöhe tiefer.

Die **Pars superior** liegt intraperitoneal, ist beweglich und setzt mit einer Anschwellung (Ampulla duodeni, klin.: *Bulbus duodeni*) etwa vor dem 1. LWK die Pars pylorica des Magens fort. Auch die Ampulla duodeni liegt noch intraperitoneal. Hinter der Pars superior unterkreuzt der große Gallengang (Ductus choledochus), der aus dem Lig. hepatoduodenale kommt, am Pancreaskopf entlang abwärts zur medialen Seite der Hinterwand der Pars descendens.

An der **Flexura duodenalis superior** geht die Pars superior in die **Pars descendens** über, welche retroperitoneal liegt. Sie wird vom **Ductus choledochus** unterkreuzt, der etwa in der Mitte ihres linken hinteren Umfangs von oben schräg in ihre Wand eintritt. Der Ductus choledochus wirft dabei eine etwa 2 cm lange, längs gerichtete Schleimhautfalte auf (*Plica longitudinalis duodeni*) und mündet am unteren Ende dieser Falte auf einer kleinen Erhebung, der **Papilla duodeni major** (**Vateri**) – meist gemeinsam mit dem Hauptausführungsgang des Pancreas, dem *Ductus pancreaticus* (*Wirsungi*), der von links aus dem Pancreaskopf zur Duodenalwand tritt. Ein zusätzlicher Ausführungsgang des Pancreas (*Ductus pancreaticus accessorius*) kann im kranialen Abschnitt der Pars descendens duodeni auf einer meist nicht sonderlich hervortretenden **Papilla duodeni minor** (**Santorini**) münden.

An der **Flexura duodenalis inferior** beginnt die kurze **Pars horizontalis** (syn.: Pars inferior), die sich von unten dem Pancreaskopf anlagert. Sie geht in die vom 3. Lendenwirbel schräg nach links aufsteigende, die Medianebene kreuzende **Pars ascendens** über, die sich an der linken Seite des 1.–2. Lendenwirbels in die **Flexura duodenojejunalis** fortsetzt.

Ist die Flexura duodeni inferior mehr oder weniger spitzwinklig, so entsteht eine einheitliche Pars inferior, die sich nicht in Pars horizontalis und Pars ascendens gliedern lässt.

Ein fibröser Strang (**Lig. suspensorium duodeni**) zieht aus dem Bindegewebe in der Umgebung des Hiatus aorticus des Zwerchfells und der hier aus der Aorta hervorgehenden Eingeweidearterien (Truncus coeliacus und A. mesenterica superior) zur Flexura duodenojejunalis. Er schließt häufig Bündel glatter Muskelzellen (M. suspensorius duodeni, Treitz-Muskel) ein, die in die Längsmuskelschicht des Darms einstrahlen und die Flexura duodenojeiunalis fixieren sollen.

Jejunum und **Ileum** (s. ▶ **Abb. 14.4**) setzen an der Flexura duodenojejunalis das Duodenum fort. Beide Darmabschnitte liegen **intraperitoneal** und sind in zahlreiche Schlingen gelegt. Diese Schlingen sind am Mesenterium befestigt, dessen darmseitiger Rand deutlich länger ist als seine Wurzel (**Radix mesenterii**) an der dorsalen Rumpfwand in Höhe von LWK 3–4. Diese Anordnung ermöglicht eine gute Beweglichkeit der Dünndarmschlingen. An der Flexura duodenojejunalis endet der **obere Gastrointestinaltrakt** und beginnt das Jejunum, das etwa die oberen 40 % des Dünndarmkonvoluts ausmacht. Jejunum und Ileum gehen ohne scharfe Grenze ineinander über. Das Ileum nimmt die unteren 60 % des Dünndarmkonvoluts ein und reicht bis zum **Ostium ileale** (**Bauhin-Klappe**) mit der Einmündung in das Colon. Ausbildung und Lage der Jejunumschlingen links oben und der Ileumschlingen rechts unten im Unterbauch variieren stark. Dünndarmschlingen mit langem „Meso" können bis zur ventralen Bauchwand reichen.



Als **Meckel-Divertikel** bezeichnet man eine blind endende, fingerförmige Ausstülpung der Wand des Ileums 60–90 cm oral vom Ende des Dünndarms. Eine Entzündung des Divertikels kann Symptome hervorrufen, die denen einer Appendizitis sehr ähnlich sind. Das Divertikel, ein nicht rückgebildeter Rest des Ductus omphaloentericus (S. 75), syn. Ductus vitellinus (S. 209), kommt bei etwa 2 % der Bevölkerung vor und kann frei im Bauchraum enden oder durch einen Bindegewebsstrang mit dem Nabel verbunden sein. Besitzt es durch den Nabel eine Öffnung zur äußeren Oberfläche der Bauchwand, wird es als „Dottergangfistel" bezeichnet.

Feinbau und Funktion des Dünndarms

Der grundsätzliche Aufbau der verschiedenen Schichten der Dünndarmwand gleicht dem der anderen Abschnitte des Rumpfdarms (S. 267). Allerdings kommen in der Tela submucosa des Duodenums die **Glandulae submucosae** (**Brunner-Drüsen**) vor, die in den anderen Dünndarmabschnitten nicht zu finden sind. Es handelt sich dabei um vielfach verzweigte tubuloalveoläre Drüsenpakete, die Bikarbonat, Muzine und den „epidermal growth factor" sezernieren, der proliferativ auf Darmpithelzellen wirkt und damit die Regeneration der Darmschleimhaut fördert.

Die **Dünndarmschleimhaut** (▶ **Abb. 14.10**) arbeitet als chemisch wirksamer Teil des Dünndarms wechselseitig eng mit den beiden großen Drüsen des Verdauungssystems, Leber und Pancreas, zusammen.

Die Dünndarmschleimhaut stellt selbst nur einen kleinen Teil der im Dünndarm wirkenden Verdauungsenzyme her. Diese stammen zum größten Teil aus dem Pancreas. Die Enzyme zerlegen die Nährstoffe in chemische Bestandteile, die von der Schleimhaut resorbiert werden können. Zur Fettverdauung müssen die Fette durch die in der Leber produzierte Galle emulgiert werden.

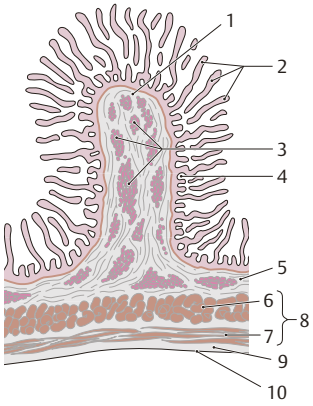


Abb. 14.10 Längsschnitt durch die Duodenalwand.
1 Plica circularis (Falte)
2 Villi intestinales (Zotten)
3 Glandulae duodenales (Brunner-Drüsen)
4 Glandula intestinalis (Krypte)
5 Tela submucosa
6 Stratum circulare
7 Stratum longitudinale
8 Tunica muscularis
9 Tela subserosa
10 Tunica serosa
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Durch unterschiedliche Bauprinzipien wird die Oberfläche des Dünndarms auf ca. 60 m² vergrößert. Hierdurch wird die Resorption von Nährstoffen verbessert. Man unterscheidet ein Grobrelief, ein Feinrelief und ein Submikrorelief, die in den 3 Darmabschnitten unterschiedlich stark ausgebildet sind.

Das **Grobrelief** wird von den **Plicae circulares** (**Kerckring-Falten** [1]) gebildet, die von der Tela submucosa[8] aufgeworfen werden. Diesen sitzen blatt- oder zungenförmige **Zotten** (**Villi intestinales**[2]) auf, die das **Feinrelief** ausmachen. Die Zotten vergrößern die Oberfläche für die Resorption von Nährstoffen aus dem Darmlumen. Sie sind 0,2–1 mm hoch und 0,15 mm dick. Das Gerüst einer Zotte besteht aus dem Bindegewebe der Lamina propria mucosae, in der sich einzelne glatte Muskelzellen (Zottenpumpe), eine oder mehrere Arteriolen, eine zentrale Venole sowie Lymphkapillaren befinden. In diesen Lymphkapillaren werden vorwiegend die während der Fettverdauung gebildeten Chylomikronen transportiert. An der Basis der Zotten münden kurze, schlauchförmige Darmdrüsen, die **Glandulae intestinales** (Cryptae, Krypten, **Lieberkühn-Krypten**[4]), deren Durchmesser etwas geringer ist, als der der Zotten. Die Krypten dienen vorwiegend der *Sekretion*, der Abwehr (*Paneth-Zellen*) und der Regeneration des Darmepithels, also der Zellerneuerung. Die luminale Oberfläche der Darmepithelzellen (Enterozyten) besteht aus einem Mikrovillisaum (Bürstensaum), der das **Submikrorelief** bildet.

Die Höhe der **Plicae circulares** nimmt im Dünndarm nach aboral kontinuierlich ab. Auch stehen die Plicae circulares zunehmend weiter auseinander bis sie im Ileum schließlich nur noch vereinzelt zu finden sind. Die Abnahme der Plicae circulares geht mit einer Zunahme lymphatischer Solitärfollikel einher. Während diese in den oberen Abschnitten nur vereinzelt liegen, finden sich im Ileum an der dem Mesenterium gegenüberliegenden Seite dicht gepackte Ansammlungen lymphatischen Gewebes, die **Folliculi lymphatici aggregati** (**Peyer-Plaques**). Makroskopisch sind sie als 2 cm große und 0,8 cm breite Vorwölbungen der Darmwand sichtbar und beginnen meist dort, wo die Plicae circulares enden.

Die **Zellen** des Dünndarmepithels sind sehr teilungsaktiv. Das Epithel wird in 24–72 Stunden vollständig erneuert. Die Lamina epithelialis mucosae wird von einem hochprismatischen Epithel gebildet, in dem verschiedene **Zelltypen** (in abstei-

gender Häufigkeit: Enterozyten, Becherzellen, Paneth-Zellen, Bürsten- und Napfzellen), deren prozentuale Verteilung in den unterschiedlichen Darmabschnitten variiert. Außerdem kommen unterschiedliche enteroendokrine Zellen zur hormonellen Regulation der Darmmotilität und der Sekretion vor.

Motorisch wirksam ist die **Muskelwand** des Dünndarms. In der **Tunica muscularis**[8] ist die innere Ringmuskelschicht (*Stratum circulare*[6]) stärker ausgeprägt als die äußere Längsmuskelschicht (*Stratum longitudinale*[7]). Zwischen diesen Schichten liegen die oft zu Paketen zusammengefassten Ganglienzellen des **Plexus myentericus**, der an der Steuerung der Darmmotorik beteiligt ist. Beide Muskelschichten zusammen bedingen die peristaltische Bewegung des Darmes (Misch- und Transportbewegungen), dessen Kontraktionswellen den Darminhalt mit einer Geschwindigkeit von 2–15 cm/s nach aboral transportieren.

Gefäße und Nerven des Dünndarms

Duodenum

Arterien. Im Bereich des **Duodenums** anastomosieren die Stromgebiete des **Truncus coeliacus** (s. ▶ **Abb. 14.8**) und der **A. mesenterica superior**.

Die aus der A. hepatica communis des Truncus coeliacus stammende A. gastroduodenalis steuert die **Aa. pancreaticoduodenalis superior posterior** und **anterior** bei, deren Rr. duodenales die Pars superior und descendens versorgen. Die **Aa. retroduodenales** der A. gastroduodenalis ziehen zu den dorsalen Anteilen des Duodenums.

Die aus der *A. mesenterica superior* stammende **A. pancreaticoduodenalis inferior** verzweigt sich in einen *R. anterior* und einen *R. posterior*, deren Rr. duodenales die unteren Abschnitte des Duodenums versorgen. Aa. pancreaticoduodenalis superior posterior und anterior anastomosieren im Bereich des Pancreaskopfes mit dem R. anterior bzw. posterior der A. pancreaticoduodenalis inferior und bilden so eine **doppelte Gefäßschlinge** aus.

Venen. Der venöse Abfluss verläuft über gleichnamige Venen in die V. portae.

Lymphgefäße. Die Lymphdrainage verläuft über die Nodi lymphoidei pancreaticoduodenales superiores und inferiores in die Nodi lymphoidei coeliaci und von dort weiter in die Trunci intestinales zur Cisterna chyli.

Nerven. Die präganglionären **parasympathischen** Nervenfasern stammen aus dem **N. vagus**. Die Umschaltung auf das 2. Neuron findet in der Darmwand statt.

Die *präganglionären* **sympathischen** Nervenfasern kommen überwiegend aus dem *N. splanchnicus major*. Sie werden im **Ganglion coeliacum superius** (S. 700) und im **Ganglion mesentericum superius** (S. 271) auf das 2. Neuron umgeschaltet. Die *post*ganglionären sympathischen Nervenfasern gelangen über periarterielle Geflechte zum Duodenum.

Jejunum und Ileum

Arterien. Beide Dünndarmabschnitte werden aus der **A. mesenterica superior** versorgt, die in der Radix mesenterii verläuft und die **Aa. jejunales** und **ileales** abgibt. Im Mesenterium bilden diese 3 übereinanderliegende **Gefäßarkaden** aus. Von den tertiären Arkaden entspringen die **Aa. rectae**, die ohne weitere Anastomosenbildung (Endarterien!) in geradem Verlauf zur Darmwand ziehen.

Venen. Der venöse Abfluss verläuft über die **V. mesenterica superior**, die dem Verlauf der gleichnamigen Arterie folgt und sich hinter dem Pancreas mit der V. lienalis zur V. portae vereinigt.

Lymphgefäße. Die aus den Zotten kommenden Lymphkapillaren vereinigen sich zu Lymphgefäßen, die mit den Blutgefäßen durch das Mesenterium ziehen und in Höhe der primären Gefäßarkaden 100–200 **Nodi lymphoidei juxtaintestinales** speisen. Von dort gelangt die Lymphe über die **Nodi lymphoidei mesenterici superiores** und den **Truncus intestinalis** in die **Cisterna chyli**.

Nerven. Die Innervation von Jejunum und Ileum entspricht derjenigen des Duodenums (s. o.).

14.2.3 Dickdarm (▶ Abb. 14.11)

Zum **Dickdarm** (**Intestinum crasse**) gehören das *Caecum* (*Blinddarm*) mit der *Appendix vermiformis* (*Wurmfortsatz*), das *Colon* (*Grimmdarm*) mit seinen 4 Anteilen (Colon ascendens, transversum, descendens und sigmoideum), *Rectum* (*Mastdarm*) und *Canalis analis* (*Analkanal*). Im Dickdarm wird der aus dem Ileum übertretende dünnflüssige Chymus durch **Resorption von Wasser** eingedickt. Treibende Kraft dabei ist die Rückresorption von Natrium über einen Na^+-K^+-Austausch, bei dem gleichzeitig Kalium in das Lumen abgegeben wird. Im Gegensatz zum Dünndarm, dessen Inhalt

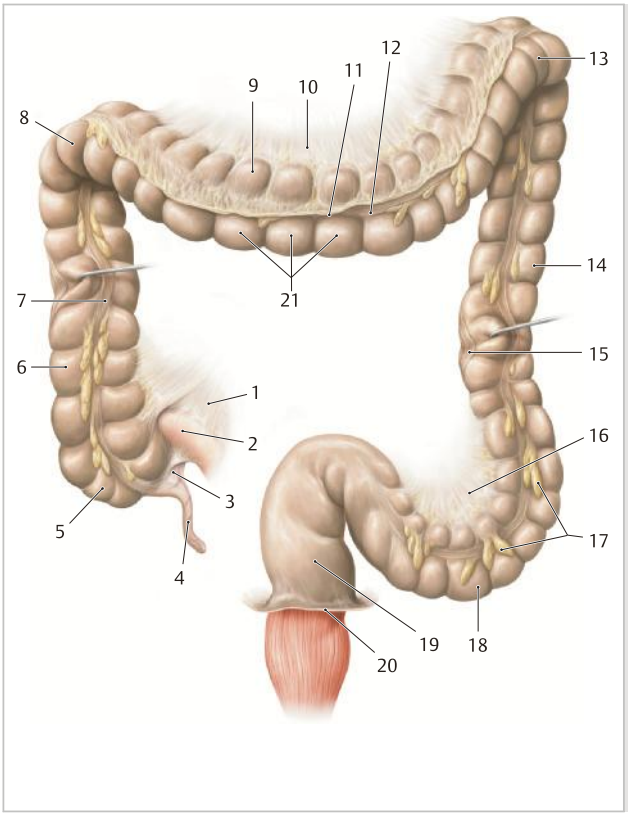


Abb. 14.11 Abschnitte, Form und morphologische Besonderheiten des Dickdarms. Ansicht von ventral auf den Dickdarm. Terminales Ileum, Mesocolon transversum und sigmoideum sind ansatzweise dargestellt. Zur Demonstration der Taenia mesocolica wurden Colon ascendens und descendens nach links gezogen.

1 Mesenterium
2 Ileum, Pars terminalis
3 Mesoappendix vermiformis
4 Appendix vermiformis
5 Caecum
6 Colon ascendens
7 Taenia libera
8 Flexura coli dextra
9 Colon transversum
10 Mesocolon transversum
11 Schnittrand des Omentum majus
12 Taenia omentalis
13 Flexura coli sinistra
14 Colon descendens
15 Taenia mesocolica
16 Mesocolon sigmoideum
17 Appendices omentales (epiploicae)
18 Colon sigmoideum
19 Rectum
20 Umschlagrand des Peritoneum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

weitgehend steril ist, wird der Dickdarm vorwiegend von anaeroben **Bakterien** (Bacteriodes, Lactobazillen, Clostridien) besiedelt. Sie produzieren u. a. **Vitamin K**, das zur Bildung von Faktoren für die Blutgerinnung wichtig ist. Rectum und Analkanal dienen gemeinsam der Stuhlausscheidung, weisen jedoch einen unterschiedlichen Bau auf und sind verschiedener embryologischer Herkunft.

Äußerlich ist der Dickdarm charakterisiert durch die zu 3 Streifen gebündelte Längsmuskulatur, die **Taenien**. Typisch sind außerdem Aussackungen der Dickdarmwand (Haustren), die von halbmondförmigen Einschnürungen (**Plicae semilunares**) unterbrochen werden. Nach ihrer Lage unterscheidet man die **Taenia libera**[7] als freiliegende und dadurch unmittelbar sichtbare Taenie, die **Taenia mesocolica**[15], die dem Mesocolon zugewandt ist, sowie die **Taenia omentalis**[12] am Ansatz des Omentum majus. Bei den Haustren (**Haustrae coli**[21]) handelt es sich um scheinbare Aussackungen der Colonwand, die durch lokale Einschnürungen der Ringmuskulatur entstehen. Auf der Schleimhautseite des Dickdarms entsprechen diese Einschnürungen den sichelförmigen **Plicae semilunares**. Diese sind im Gegensatz zu den ortsständigen Plicae circulares des Dünndarms beweglich. Die **Appendices epiploicae**[17] (syn.: Appendices omentales) sind Aussackungen des subserösen Bindegewebes entlang der Taenia libera, in das reichlich Fettgewebe eingelagert ist. Taenien, Haustren und Appendices epipoicae sind jedoch im Rectum nicht vorhanden.

Form und Lage des Dickdarms

Der Dickdarm ist inklusive Zäkum, Rectum und Analkanal etwa 1,5 m lang. An der hinteren Wand der Peritonealhöhle, mit der er teilweise verwachsen ist, bildet er einen „Rahmen“ für das Dünndarmkonvolut („Colonrahmen“). Entwicklungs-

bedingt liegen einige seiner Abschnitte intra- (Colon transversum und sigmoideum), andere sekundär retroperitoneal (Colon ascendens und descendens). Individuelle Lagevariationen sind häufig. Rectum und Analkanal liegen sub- bzw. extraperitoneal.

Das etwa 7 cm lange **Zäkum** (**Caecum**, Blinddarm, ▸ **Abb. 14.12**) folgt aboral auf das Ileum. Am Übergang von Ileum und Zäkum entsteht aus 2 mit Schleimhaut bedeckten Verstärkungen der Ringmuskulatur (*Labrum ileocolicum superius*[12] bzw. *inferius*[10]) ein Ventil (**Bauhin-Klappe**), das den Rückfluss des Zäkuminhalts in den Dünndarm verhindert. Die Lippen des Ventils umschließen das schlitzförmige **Ostium ileale**[3].

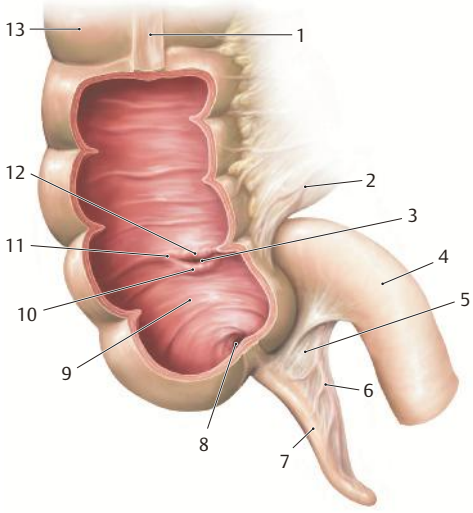


Abb. 14.12 Caecum und terminales Ileum. Ansicht von ventral. Das Caecum und der Beginn des Colon ascendens sind gefenstert.
1 Taenia libera
2 A. caecalis anterior
3 Ostium ileale
4 Ileum, Pars terminalis
5 Mesoappendix vermiformis
6 A. appendicularis
7 Appendix vermiformis
8 Ostium appendicis vermiformis
9 Caecum
10 Labrum ileocaecale (Labrum inferius)
11 Papilla ilealis, Frenulum
12 Labrum ileocolicum (Labrum superius)
13 Colon ascendens
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das weite Lumen des Zäkums verengt sich nach kaudal zum etwa 0,5 cm weiten Lumen des Wurmfortsatzes (**Appendix vermiformis**[7]). Er ist eine Ausstülpung des Zäkums mit wichtigen lokalen immunologischen Funktionen. Über der Appendix vereinigt sich die zu 3 Taenien gebündelte Längsmuskulatur von Colon und Caecum zu einer einheitlichen Muskelschicht. Das Zäkum liegt intraperitoneal in der rechten Fossa iliaca. Die Appendix ist an einem eigenen Meso (Mesoappendix = Mesenteriolum) befestigt. Sie liegt oft retrozäkal oder kann bis in das kleine Becken hinabreichen (aber dennoch immer intraperitoneal).

Infolge von Unterschieden während der Darmdrehung um die Nabelschleife in der Embryonalzeit ist die Lage von Zäkum und Appendix sehr variabel. Daher können das lokale Schmerzmaximum bei einer Appendizitis und die Lage der Schmerzpunkte individuell sehr stark variieren.

Eine akute Entzündung der Appendix (**Appendizitis** – umgangssprachlich als **Blinddarmentzündung** bezeichnet) kann sich entwickeln, wenn ihre Entleerung behindert wird. Dies geschieht meist durch Kotsteine, in selteneren Fällen auch durch Fremdkörper (z. B. Obstkerne), Parasiten (Band- oder Spulwürmer) oder durch eine akute Beeinträchtigung der Blutversorgung z. B. durch eine Lageveränderung der Appendix.

Eine Appendizitis tritt meist vor Beginn des Erwachsenenalters auf und weist in diesen Fällen eine typische Symptomatik auf, die sich meist innerhalb von 12–24 Stunden entwickelt: Zunächst werden Schmerzen im Nabelbereich oder Epigastrium angegeben, die sich innerhalb weniger Stunden in den rechten Unterbauch verlagern und oft durch Anheben des rechten Beines gelindert werden können.

Es gibt zahlreiche diagnostische Zeichen und Schmerzpunkte, welche die klinische Diagnose einer Appendizitis erleichtern sollen. So werden bei Druck auf den **Lanz-Punkt** (am Übergang vom rechten zum mittleren Drittel einer Verbindungslinie zwischen beiden Spinae iliacae anteriores superiores) oder **McBurney-Punkt** (am Übergang vom unteren zum mittleren Drittel der Verbindungslinie zwischen rechter Spina iliaca anterior superior und Nabel) die Schmerzen verstärkt.

Charakteristisch ist auch der „Loslassschmerz“ der im rechten Unterbauch nach abruptem Los-

lassen des eingedrückten linken Unterbauches gefühlt wird (**Blumberg-Zeichen** = Zeichen für eine lokal begrenzte Peritonitis).

Bei einer Appendizitis kommt es häufig zu Übelkeit und Erbrechen und zur Erhöhung der Körpertemperatur (Fieber). Charakteristischerweise liegt die anal gemessene Temperatur um mindestens 0,8 °C über dem oral oder axillar gemessenen Wert. Bei Kleinkindern und alten Menschen ist die Symptomatik oft nicht so klar, weshalb das Risiko eines Durchbruchs (Entleerung eitrigen Sekrets in die Peritonealhöhle) größer ist.

Auf das Zäkum folgt aboral das **Colon** mit seinen 4 Abschnitten, die in unterschiedlicher Beziehung zur Peritonealhöhle stehen. Das **Colon ascendens** beginnt oberhalb des Ostium ileale und zieht **sekundär retroperitoneal** auf der rechten Seite der Abdominalhöhle von kaudal ventral nach kranial dorsal. An der **Flexura coli dextra** unterhalb des rechten Leberlappens, an dem sie die Impressio colica hervorruft, ist der Übergang zum Colon transversum.

Das **Colon transversum** liegt **intraperitoneal** und zieht zunächst nach ventral und dann im Oberbauch von rechts, wo es die Gallenblase berührt, nach links und kranial. Die Lage des mittleren Teils des Colon transversum hängt von der Länge seines Mesos und vom Füllungszustand des Magens ab. Er kann von der Nabelhöhe bis zur Symphyse reichen. Die **Flexura coli sinistra** steht stets höher als die rechte Flexur. Am Zwerchfell ist die linke Flexur über das **Lig. phrenicocolicum** befestigt – daher bildet sie den Boden der **Milznische**.

An der linken Flexur beginnt das **Colon descendens**, das wiederum **sekundär retroperitoneal** liegt und lateral der linken Niere auf linken Seite der Abdominalhöhle nach kaudal zieht. In der linken Fossa iliaca geht das Colon descendens in das **Colon sigmoideum** über. Dieser S-förmige Abschnitt des Dickdarms liegt **intraperitoneal**. Er ist am **Mesocolon sigmoideum** in der linken Fossa iliaca befestigt. Die Ansatzlinie des Mesocolon sigmoideum überkreuzt den Ureter und die Vasa iliaca und endet am 2.–3. Sakralwirbel. Hier geht das Colon sigmoideum in das außerhalb der Peritonelhöhle liegende Rectum über.

Das **Rectum** (s. ▶ **Abb. 14.15**) ist 12–15 cm lang und weist bis zum Analkanal 2 Krümmungen in der Sagittalebene auf:

- Die **Flexura sacralis** ist eine nach vorne konkave Krümmung, die der Krümmung des Os sacrum folgt.
- Die **Flexura perinealis** (anorectalis) ist eine Krümmung nach dorsal und kaudal, an deren Ende das Rectum in den Anakanal übergeht.

In der Frontalebene weist das Rectum 3 Flexurae laterales (Biegungen) auf, denen auf der Innenseite 3 halbmondförmige Querfalten (**Plicae transversae recti**) entsprechen. Am stärksten ist die **Plica transversa media** ausgebildet, die in der Klinik **Kohlrausch-Falte** genannt wird. Sie befindet sich 6–7 cm oberhalb des Anus und ragt von rechts und dorsal in das Rectumlumen. Die obere und untere Falte kommen dagegen von links. Aboral der Plica transversa media ist die Rectumwand stark dehnbar. Dieser als **Ampulla recti** bezeichnete Abschnitt des Rectums hat Reservoirfunktion.



Die **Kohlrausch-Falte** ist bei der rektalen Untersuchung mit dem tastenden Finger gerade noch erreichbar. Rectumtumoren (meist Karzinome) unterhalb der Kohlrausch-Falte sind bei einer rektalen Untersuchung als Wandverhärtung tastbar.

Feinbau und Funktion des Dickdarms

Das Grobrelief der Innenseite der Dickdarmwand wird von den **Plicae semilunares coli** gebildet. Die Schleimhaut ist mit Ausnahme der Appendix in allen Dickdarmabschnitten gleichartig gebaut. Plicae circulares und Zotten fehlen. Die zahlreichen **Krypten** der Schleimhaut sind regelmäßig angeordnet (**„Reagenzglasdrüsen“**) und haben eine Länge von 0,4–0,5 mm. In der *Lamina epithelialis mucosae* finden sich *Enterozyten* (S. 273), zahlreiche schleimproduzierende *Becherzellen*, *enteroendokrine Zellen* und vereinzelte *Paneth-Zellen*.

Zahlreiche kleine Austülpungen (Divertikel) der Darmschleimhaut durch die angrenzenden Wandschichten hindurch nennt man **Divertikulose**. Da diese Ausstülpungen bei normaler Darmperistaltik nicht ausreichend entleert werden, kann sich dort Stuhl anstauen, was zu einer massiven Vermehrung von Darmbakterien und schließlich zu einer Entzündung der Darmwand um das Divertikel führen kann. Es entwickelt sich eine **Divertikulitis**. Während es sich bei der Divertikulose um eine schmerzlose Erkrankung vorwiegend des höheren Alters handelt, ist eine Divertikulitis eine rasch progrediente, sehr schmerzhafte Erkrankung, in deren Verlauf es unter dem Bild eines akuten Abdomens zu einer Darmperforation und damit zu einer lebensbedrohlichen Situation kommen kann.

Die Krypten in der Schleimhaut der *Appendix vermiformis* sind kurz und unregelmäßig. Ihre gesamte Wand ist durchsetzt von massiven Ansammlungen von Lymphozyten (S. 47), die die Lamina muscularis mucosae durchbrechen und die gesamte Tela submucosa durchdringen können. Der Aufbau der übrigen Schichten der Dickdarmwand entspricht dem allgemeinen Muster des Rumpfdarms. Die Längsmuskulatur ist zu Tänien zusammengefasst.

Bei der **Colitis ulcerosa** sind vorwiegend die oberflächlichen Schleimhautschichten betroffen. Die Erkrankung breitet sich meist vom Rectum auf das Colon aus. Dabei bilden sich Schleimhautulzerationen aus („Kragenknopfulzera"), die leicht bluten. Typische Symptome dieser chronisch entzündlichen Darmerkrankung sind Durchfälle mit Schleim- und Blutbeimengungen sowie Bauchschmerzen.

Gefäße und Nerven des Dickdarms

Arterien (▶ **Abb. 14.13**). Der **„ileokolische Winkel"** (Übergang von Ileum und Colon) wird von der **A. ileocolica**[7], einem Ast der *A. mesenterica superior*[2] mit Blut versorgt. Sie gibt die *A. appendicularis*[6] ab, die im Mesoappendix zur Appendix zieht. Die Zweige der A. appendicularis bilden keine Arkaden aus. Daher handelt es sich um eine *Endarterie*. Weitere Äste sind die *Aa. caecales anterior et posterior* zur Vorder- bzw. Rückseite des Zäkums und die *Aa. ileales* zum terminalen Ileum.

Colon ascendens und **Colon transversum** werden aus der **A. colica dextra**[8] versorgt, die in der Regel ein Ast der A. mesenterica superior ist, aber auch als Ast der *A. colica media* vorkommen kann. An der Versorgung beteiligt sich außerdem die **A. colica media**[4], die aus der A. mesenterica superior entspringt und im Mesocolon transversum verläuft.

Colon descendens und **Colon sigmoideum** werden aus der **A. mesenterica inferior**[9] versorgt, die hierzu folgende Äste abgibt:

- A. colica sinistra[10],
- 2 oder mehrere Aa. sigmoideae[11],
- als Endast die A. rectalis superior[12] für den unteren Abschnitt des Sigmoids und den oberen Teil des Rectums.

Der Teil des **Rectums** oberhalb des Beckenbodens wird von der A. rectalis media aus der A. iliaca versorgt, der Teil unterhalb des Beckenbodens aus der A. rectalis inferior aus der A. pudenda interna.

Anastomosen (▶ **Abb. 14.13c**). Die **A. colica media** bildet nach rechts eine Anastomose mit der *A. colica dextra* und nach links mit der *A. ascendens* der A. colica sinistra. Die Anastomose zwischen *A. colica media* und *A. ascendens* wird in der Klinik **Riolan-Anastomose**[14] genannt. Wenn sie nahe am Colon liegt oder von ihr Gefäße direkt zum Colon abgehen, bezeichnet man sie auch Drummond-Anastomose[13]. Sie verbindet die Stromgebiete von Aa. mesenterica superior und inferior.

Die **A. colica sinistra** anastomosiert in der Regel mit einer *A. sigmoidea*. Die A. rectalis superior anastomosiert normalerweise mit der untersten A. sigmoidea (A. sigmoidea ima), sodass bei einer Unterbindung der A. rectalis superior proximal dieser Anasotomose die Versorgung des Rectums nicht gefährdet ist. Hinter dem Rectum verbindet sich die **A. rectalis superior** mit der *A. rectalis inferior* aus der *A. pudenda* und hat somit auch Verbindung zum Stromgebiet der *A. iliaca interna*. Diese Anastomosen reichen bei Gefäßverschlüssen meist aus, um eine Versorgung sicherzustellen.

Venen. Die Venen verlaufen mit Ausnahme der V. mesenterica inferior mit den gleichnamigen Arterien. Die **V. mesenterica inferior** zieht unabhängig von der gleichnamigen Arterie in der Plica duo-

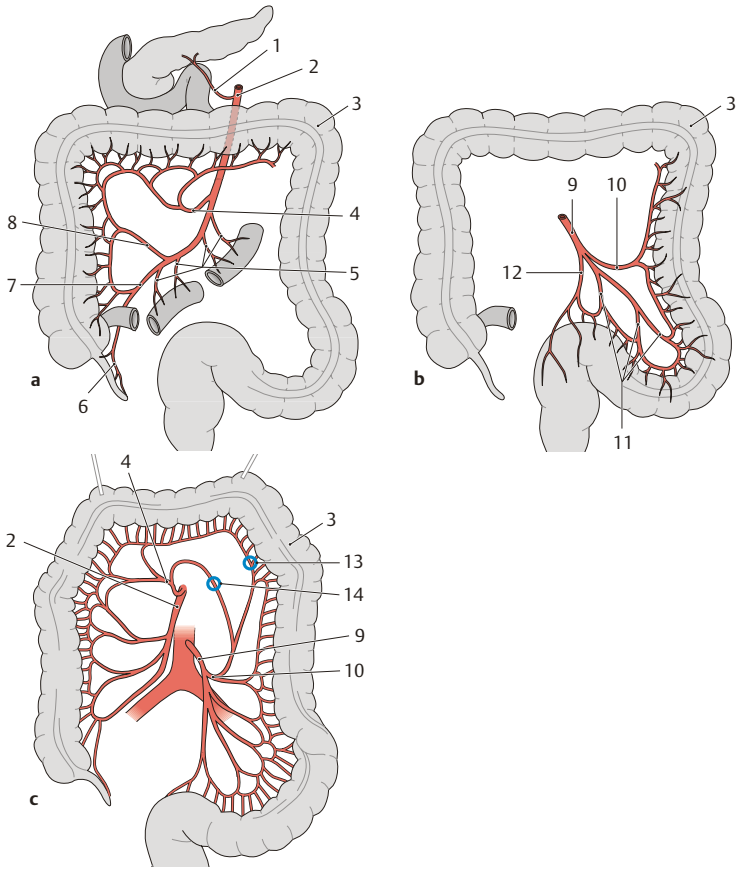


Abb. 14.13 Arterielle Versorgung des Darms. Schematische Ansicht von ventral.

a Astfolge der A. mesenterica superior
1 A. pancreaticoduodenalis inferior
2 A. mesenterica superior
3 Flexura coli sinistra
4 A. colica media
5 Aa. jejunales et ileales
6 A. appendicularis
7 A. ileocolica
8 A. colica dextra

b Astfolge der A. mesenterica inferior
9 A. mesenterica inferior
10 A. colica sinistra
11 Aa. sigmoideae
12 A. rectalis superior

c arterielle Kurzschlüsse zwischen A. colica media (4) und sinistra (10)
13 Drummond-Anastomose
14 Riolan-Anastomose
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

denalis superior hinter das Corpus pancreatis und vereinigt sich dort mit der V. splenica oder V. mesenterica superior zur **V. portae**. Es kann aber auch vorkommen, dass sich zunächst die beiden Mesenterialvenen zu einem gemeinsamen Mesenterialvenenstamm zusammenschließen, der sich erst dann mit der V. splenica vereinigt. Die *Vv. rectales mediae* führen das Blut aus der Rectumwand der V. iliaca interna zu. Die *Vv. rectales inferiores* entspringen in der Analgegend und münden in die V. pudenda. Die oberen, mittleren und unteren Rektalvenen sind über den **Plexus venosus recti** („Plexus haemorrhoidalis“) miteinander verbunden.

In Form von **Suppositorien** (Zäpfchen) verabreichte Medikamente werden im Versorgungsbereich der unteren Rektalvenen resorbiert und gelangen daher ohne Leberpassage in den Blutkreislauf.

Bei einer **Abflussstauung in der V. portae** (z. B. bei Leberzirrhose) erweitern sich die Venengeflechte des Plexus venosus recti, und es kann zu einer **Stromumkehr** kommen. In diesem Fall fließt venöses Blut aus dem Gastrointestinaltrakt unter Umgehung der Leber in die V. iliaca interna in die V. cava ab. Der Plexus venosus recti ist daher eine portokavale Anastomose.

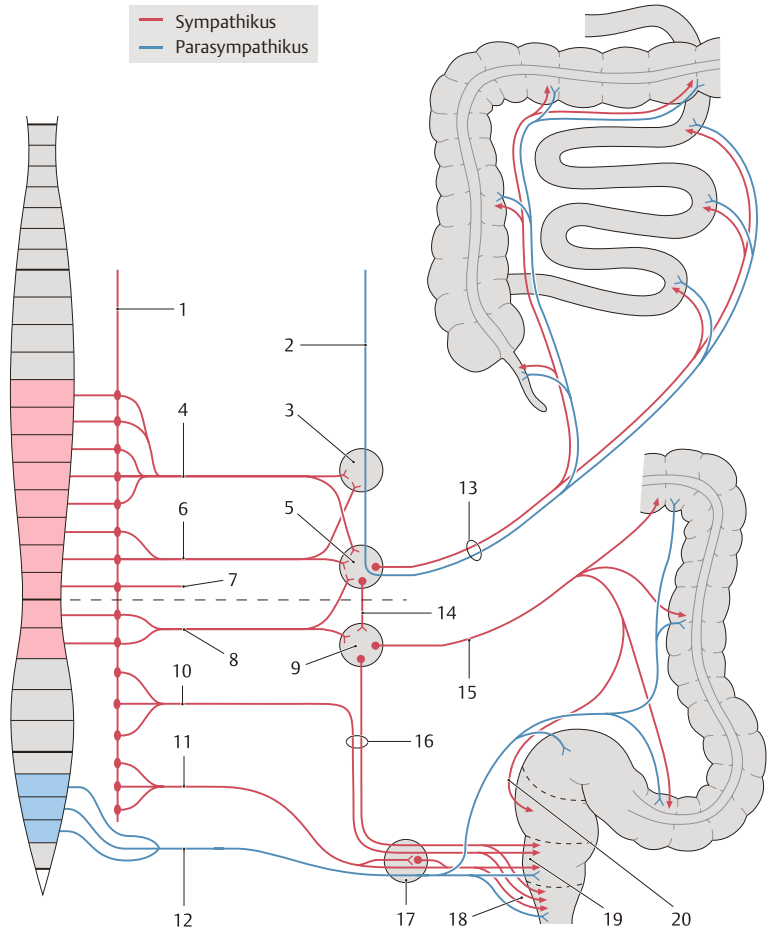


Abb. 14.14 Vegetative Innervation von Jejunum, Ileum und Colon.

1 Truncus sympathicus
2 Truncus vagalis posterior
3 Ganglia coeliaca
4 N. splanchnicus major (Th 5–9)
5 Ganglion mesentericum superius
6 N. splanchnicus minor (Th 10–11)
7 N. splanchnicus imus (Th 12)
8 Nn. splanchnici lumbales (L 1–2)
9 Ganglion mesentericum inferius
10 Nn. splanchnici lumbales (Ganglia lumbalia 3–5)
11 Nn. splanchnici sacrales (Ganglia sacralia 1–3)
12 Nn. splanchnici pelvici (S 2–S 4)
13 Plexus mesentericus superior
14 Plexus intermesentericus
15 Plexus mesentericus inferior
16 Plexus hypogastricus superior
17 Plexus hypogastricus inferior und Ganglia pelvica
18 Plexus rectalis inferior
19 Plexus rectalis medius
20 Plexus rectalis superior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Lymphgefäße. Der Lymphabfluss aus dem Colon ascendens und transversum erfolgt über **Nodi lymphoidei mesocolici** entlang der A. colica dextra und media. Die Lymphgefäße laufen im **Truncus intestinalis zusammen**. Die Lymphbahnen der linken Seite (**Nodi lymphoidei mesenterici inferiores**), sind schwächer ausgebildet. Sie folgen dem Verlauf der A. mesenterica inferior zu den prä- und paraaortalen Lymphknoten.

Die Lymphe aus der oberen Hälfte des Rectums fließt über die **Nodi lymphoidei pararectales** und **rectales superiores** entlang der A. rectalis superior in die Mesenteriallymphknoten. Die Lymphe aus dem unteren Rectumabschnitt gelangt über Lymphknoten entlang der versorgenden Gefäße (**Nodi lymphoidei iliaci interni** bzw. **sacrales**) zum Truncus lumbalis dexter bzw. sinister.

Nerven (▶ **Abb. 14.14**). Die präganglionären **sympathischen** Fasern zur vegetativen Versorgung von Zäkum und Colon ascendens verlaufen in den *Nn. splanchnici thoracales* und werden im Ganglion mesentericum superius auf das 2. Neuron umgeschaltet. Die präganglionären Fasern zur sympathischen Versorgung des Colon descendens verlaufen in den *Nn. splanchnici lumbales*. Sie werden im Ganglion mesentericum superius auf das 2. Neuron umgeschaltet. Die Fasern verlaufen dann in der Wand der jeweiligen Blutgefäße zur Darmwand.

Die **parasympathischen** Fasern für Zäkum, Colon ascendens und die ersten zwei Drittel des Colon transversum entstammen den Trunci vagales und verlaufen im **Plexus mesentericus superior**.

Etwas oral der Flexura coli sinistra (**Cannon-Böhm-Punkt**) übernehmen die **Nn. splanchnici pelvici** die parasympathische Innervation. Deren Ursprung liegt in den Segmenten S 2–5. Die Umschaltung auf das 2. Neuron erfolgt intramural.

Form und Lage des Analkanals (▶ Abb. 14.15)

Rectum (Mastdarm) und Analkanal dienen gemeinsam der Stuhlausscheidung. Beide Darmabschnitte weisen einen unterschiedlichen Bau auf und sind verschiedener embryologischer Herkunft. Als Reservoir dient hauptsächlich das Rectum. Die kontrollierte Ausscheidung der Faeces (**Defäkation**) übernimmt überwiegend der Analkanal. Rectum und Analkanal sind von einem Sphinktersystem (**Kontinenzorgan**) umgeben.

Da der Enddarm von besonderer klinischer Bedeutung ist, hat sich für diesen Darmabschnitt eine eigene klinische Terminologie herausgebildet. Deren Begriffe klingen irreführend ähnlich wie die korrekten anatomischen, bezeichnen aber dennoch einen anderen Abschnitt. Der 3–4 cm lange **Analkanal** geht an der Flexura perinealis aus dem Rectum hervor. Am Übergang befindet sich die **Junctio anorectalis**. Man unterscheidet beim Analkanal **3 Stockwerke** (▶ Tab. 14.5):

Tab. 14.5 Feinbau der Stockwerke des Analkanals.

Anatomisch	Klinisch	Erläuterung	Epithel
Junctio anorectalis (Levatorschlinge des M. puborectalis)			
I. Columnae anales, Zona columnalis	Analsäule, Morgagni-Säule, Zona haemorrhoidalis	6-10 Längsfalten, dazwischen Sinus anales. Begrenzung nach unten: Valvulae anales (Querfalten), Corpus cavernosum recti	abwechselnd dickdarmtypisches Zylinderepithel und mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel
Linea dentata = Linea pectinata (untere Begrenzung der Columnae anales)			
II. Pecten analis, Zona alba	Anoderm	helles Band, dichte sensorische Innervation	mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel
Linea anocutanea (Unterkante des M. sphincter ani internus)			
III. Zona cutanea	Analhaut	Beginn der äußeren Haut	mehrschichtig verhorntes Plattenepithel mit Talgdrüsen

- Die **Zona columnalis** folgt unmittelbar aboral auf die Junctio anorectalis und hat 6–10 längsstehende Schleimhautfalten (**Columnae anales**[10]).
- Das **Pecten analis** wird auch **Zona alba** (klinisch: Anoderm) genannt. Es liegt zwischen der *Linea pectinata*[15] (*dentata*) und der *Linea anocutanea*[14] (klinisch: *Linea dentata*), ist sehr dehnbar und infolge der guten sensiblen Innervation berührungs- und schmerzempfindlich.
- Die äußerste Etage ist die **Zona cutanea**, die in die pigmentierte, z. T. behaarte **Perianalhaut**[13] mit apokrinen Drüsen übergeht.

Feinbau und Funktion des Analkanals

Im Bereich der Columnae anales befindet sich ein arteriell versorgter Schwellkörper, das **Corpus cavernosum recti**[16]. Am unteren Ende sind die Columnae anales, die durch die gebündelte Längsmuskulatur aufgeworfen werden, durch Querfalten (**Valvulae anales**[11]) miteinander verbunden. Hierdurch entstehen in der Wand Krypten (**Morgani-Taschen, Sinus anales**[6]), an deren Boden sich die mukösen Proktodealdrüsen (**Glandulae anales**) befinden.

Entzündungen der Proktodealdrüsen können zu **Analabszessen** führen. Diese Abszesse (mit Eiter gefüllte Hohlräume) können sich entlang der Ausführungsgänge dammwärts ausdehnen und schließlich eine Verbindung zur perianalen Haut herstellen. Man spricht dann von **Analfisteln**. Sie äußern sich durch perianalen Juckreiz und die periodische Entleerung von Eiter und/oder schleimigem Sekret. Analfisteln treten häufig in Zusammenhang mit einem Morbus Crohn, einer chronisch entzündlichen Darmerkrankung, auf und können die Fähigkeit, den Stuhl zu halten (Kontinenz) beeinträchtigen.

Sphinktersystem (Kontinenzorgan) (▶ Abb. 14.15)

Das Sphinktersystem von Rectum und Analkanal besteht aus 3 muskulären Komponenten:

- Der aus glatter Muskulatur bestehende **M. sphincter ani internus**[20] ist eine Verstärkung der Ringmuskulatur in den oberen zwei Dritteln

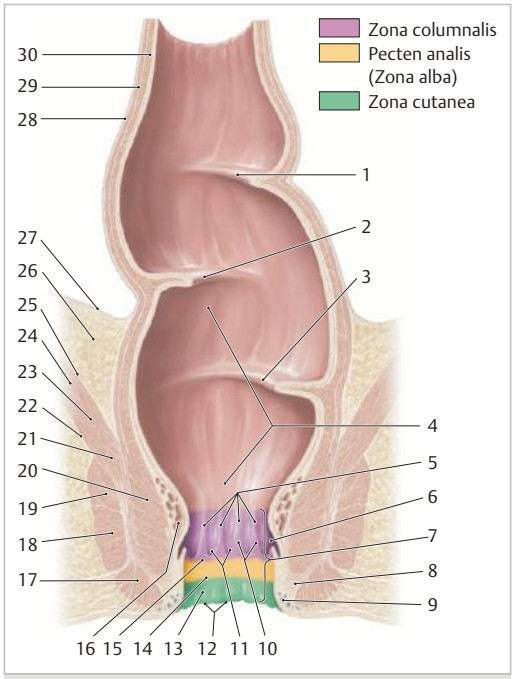


Abb. 14.15 Rectum und Canalis analis (Analkanal) mit Kontinenzorgan. Ansicht von ventral, Rectumvorderwand frontal entfernt.

1 Plica transversa recti superior
2 Plica transversa recti media (klinisch: Kohlrausch-Falte)
3 Plica transversa recti inferior
4 Ampulla recti
5 Junctio anorectalis
7 Canalis analis
6 Sinus anales
8 „M. corrugator ani“ (klinisch)
9 Plexus venosus subcutaneus
10 Columnae anales
11 Valvulae anales
12 Anus
13 Cutis (perianale Haut)
14 Linea anocutanea
15 Linea pectinata
16 Corpus cavernosum recti
17 M. sphincter ani externus, Pars subcutanea
18 M. sphincter ani externus, Pars superficialis
19 M. sphincter ani externus, Pars profunda
20 M. sphincter ani internus
21 anorektaler Ring
22 Fascia inferior diaphragmatis pelvis
23 M. levator ani, M. puborectalis
24 M. levator ani, M. iliococcygeus
25 Fascia superior diaphragmatis pelvis
26 Spatium extraperitoneale pelvis
27 Peritoneum parietale
28 Peritonealüberzug des Rectums
29 Tunica muscularis, Stratum longitudinale
30 Tunica muscularis, Stratum circulare
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus

des Analkanals. Dieser Muskel ist tonisch kontrahiert und erschlafft nur während der Defäkation.

- Der quergestreifte **M. puborectalis**[23] ist ein dem Beckenboden anliegender Teil des M. levator ani. Er entspringt vom Os pubis und umschlingt den Analkanal von dorsal („**puborektale Schleife**"). Seine Kontraktion zieht den Analkanal nach ventral und verstärkt damit die Biegung im Bereich der Flexura perinealis. Das Lumen des Rectums hat bei einer Kontraktion des M. puborectalis die Form eines quergestellten Schlitzes.
- Der quergestreifte **M. sphincter ani externus** umgibt den Analkanal klemmenförmig von beiden Seiten. Sein Tonus ist zwar dauerhaft hoch und sinkt nur bei der Defäkation, aber er kann auch willkürlich kontrahiert werden. Der Analkanal hat in diesem Bereich den Querschnitt eines längs gestellten Schlitzes. Man unterscheidet 3 Teile des M. sphincter ani externus: Pars profunda[19], Pars superficialis[18] und Pars cutanea[17].

Die beiden quergestreiften Muskeln des Sphinktersystems werden vom **N. pudendus** innerviert.

Für die Erhaltung der Kontinenz und die kontrollierte Defäkation spielen neben dem Spinktersystem insbesondere das arterielle Corpus cavernosum recti (Abdichtfunktion), die sensibel innervierte Schleimhaut der Zona alba (Anoderm) und der Analhaut eine entscheidende Rolle.

Die verschiedenen Komponenten des Kontinenzorgans arbeiten synergistisch. In der Regel können unvollständige Schädigungen sogar mehrerer Komponenten in Kauf genommen werden, ohne dass die Kontinenz dadurch gefährdet wird. Allerdings führt der vollständige Ausfall auch nur einer Komponente bereits zu einer schwerwiegenden Beeinträchtigung bzw. zur Inkontinenz. Dies ist insbesondere bei der operativen Entfernung von Hämorrhoidalknoten zu beachten, bei der sowohl das Sphinktersystem als auch die Analhaut gefährdet sind.

Gefäße und Nerven des Analkanals (▶ Abb. 14.16)

Arterien (▶ **Abb. 14.16a**). Schleimhautäste der **A. rectalis superior**[1] verlaufen analwärts in die Versorgungsgebiete der A. rectalis media und inferior und bilden in den Columnae anales stark geschlängelte Gefäßknäuel, die an knötchenförmigen Verdickungen arteriovenöse Anastomosen mit den Rektalvenen eingehen. So entsteht ein Schwellkörper, das **Corpus cavernosum recti**, das Teil des Kontinenzorgans ist.

Hämorrhoiden sind knotige Erweiterungen des Corpus cavernosum recti. Durch starkes Pressen bei der Defäkation infolge chronischer Obstipation oder durch venöse Abflussbehinderungen (z. B. bei Schwangerschaft, sitzender Tätigkeit) kommt es zu Symptomen wie Juckreiz, Schmerzen oder (arteriellen!) Blutungen. Klinisch werden 3 Stadien unterschieden, wobei es im fortgeschrittenen Stadien (III–IV) zu einem vorübergehenden oder permanenten Hämorrhoidalprolaps kommen kann.

Venen. Der venöse Abfluss des Analkanals wurde bereits beim Rectum besprochen (S. 278).

Lymphgefäße. In den oberen Abschnitten entspricht der Lymphabfluss dem des Rectums (S. 281). Im unteren Abschnitt fließt die Lymphe über die **Nodi lymphoidei inguinales superficiales** zu den Nodi lymphoidei iliaci.

Bösartige Tumoren im Anorektum können über den Blutweg oder die Lymphbahnen metastasieren, also Tochtergeschwülste bilden. Im oberen Rectum breiten sie sich über das Einzugsgebiet der V. portae in die Leber aus, im unteren Bereich über die V. cava inferior in die Lunge. Analnahe Tumoren können Metastasen in den oberflächlichen inguinalen Lymphknoten bilden, die bei einer klinischen Untersuchung getastet werden können.

Nerven (▶ **Abb. 14.16b, c**). Die präganglionäre **parasympathische** Innervation für den *M. sphincter ani internus* gelangt über die **Nn. splancnici pelvici**[22] zum **Plexus hypogastricus inferior**[21], wo sie auf das 2. Neuron umgeschaltet wird. Die postganglionären Fasern erreichen den Muskel mit den Gefäßen.

Die präganglionären **sympathischen** Fasern verlaufen mit den **Nn. splanchnici lumbales**[18] und **sacrales**[20] und durchlaufen ohne Umschaltung den **Plexus hypogastricus superior**[19] und **inferior**[21]. Sie werden in den Ganglia pelvica oder in den **Plexus rectales**[23] umgeschaltet und gelangen zusam-

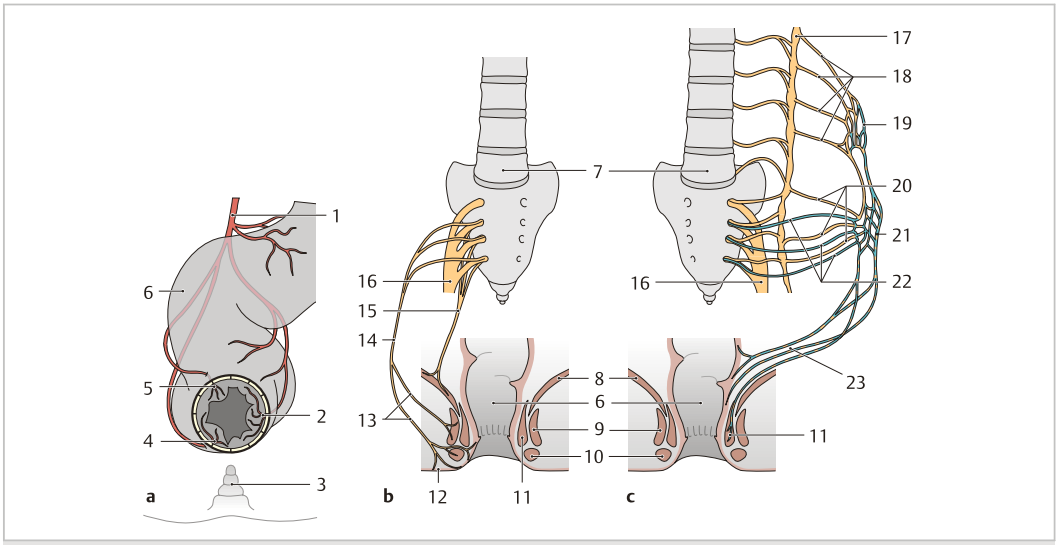


Abb. 14.16 Arterielle Versorgung und Innervation des Kontinenzorgans (nach Stelzner).

a Arterielle Versorgung der vaskulären Verschlussmechanismen. Ansicht von kaudal in „Steinschnittlage" (d. h. dorsal ist am unteren Bildrand).

1 A. rectalis superior
2 Zufluss zum Corpus cavernosum recti bei „3 Uhr"
3 Os coccygis
4 Zufluss zum Corpus cavernosum recti bei „7 Uhr"
5 Zufluss zum Corpus cavernosum recti bei „11 Uhr"
6 Rectum

b Somatomotorische und somatosensible Innervation (Rectum von ventral eröffnet).

7 Vertebra lumbalis V
8 M. levator ani
9 M. sphincter ani externus, Pars superficialis und profunda
10 M. sphincter ani externus, Pars subcutanea
11 M. sphincter ani internus
12 Zona cutanea
13 Nn. rectales inferiores
14 N. pudendus
15 Äste aus S 2–4
16 Plexus sacralis

c Viszeromotorische und viszerosensible Innervation (Rectum von ventral eröffnet).

17 Truncus sympathicus
18 Nn. splanchnici lumbales
19 Plexus hypogastricus superior
20 Nn. splanchnici sacrales
21 Plexus hypogastricus inferior
22 Nn. splanchnici pelvici
23 Plexus rectales

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

men mit den parasympathischen Fasern in den Gefäßwänden direkt zum M. sphincter ani internus.

Der *M. sphincter ani externus* wird von den *Nn. rectales inferiores* aus dem **N. pudendus**[14] (Plexus sacralis) versorgt, während der *M. puborectalis* direkt aus Ästen des Plexus sacralis versorgt wird. Die Nn. rectales inferiores[13] führen auch sensible Fasern für die Analhaut.

14.2.4 Hepatobiliäres System und Pancreas

Leber, **Gallenblase** und die ableitenden **Gallenwege** sind ein funktionelles System, das in der Klinik als hepatobiliäres System bezeichnet wird. Zusammen mit dem **Pancreas** ist die Leber die wichtigste Drüse des Verdauungssystems. Da beide Drüsen nicht unmittelbar an oder in der Darmwand liegen, ist jeweils ein System von Ausführungsgängen erforderlich, deren gemeinsame Endstrecke im Duodenum mündet. Die Sekre-

tionsprodukte von Leber und Pancreas, Galle bzw. Bauchspeichel, ermöglichen den Aufschluss der Nahrung in ihre Bestandteile.

Die **Leber** spielt wegen ihrer Synthese- und Metabolisierungsfunktion eine zentrale Rolle im Kohlenhydrat-, Protein- und Lipidstoffwechsel. Mit Ausnahme der Immunglobuline werden alle Plasmaproteine (z. B. Albumin und Gerinnungsfaktoren) in der Leber synthetisiert und in die Blutbahn abgegeben. Körpereigene (Ammoniak) und körperfremde (z. B. Medikamente) Substanzen werden in der Leber entgiftet. Als exokrine Drüse produziert die Leber 600–800 ml Galle pro Tag, mit der Cholesterin, Gallenfarbstoffe und -säuren in den Darm abgegeben werden, wobei die **Gallenblase** zur Konzentration und als Reservoir dient. Während der **Fetalperiode** wird in der Leber auch **Blut** gebildet.

Das **Pancreas** produziert mit seinem **exokrinen Anteil** 1,5–2 l Bauchspeichel, der Bikarbonat (pH 8) sowie Proenzyme zur Aufspaltung von Nukleinsäuren, Proteinen, Kohlenhydraten und Lipiden (Triglyceriden) enthält. Die Proenzyme werden normalerweise erst im Duodenum aktiviert. Die Langerhans-Inseln, die in ihrer Gesamtheit als Inselorgan bezeichnet werden, sind der **endokrine Anteil** des Pancreas. Die Hormone des Pancreas regulieren den Glukosestoffwechsel.

Form und Lage der Leber (▶ Abb. 14.17)

Die Leber ist mit einem Gewicht von 1,4–1,8 kg die größte Drüse des menschlichen Körpers. Beim Lebenden hat sie eine dunkel-rotbraune Farbe und ist anders als bei der fixierten Leiche von weicher Konsistenz. Sie passt sich daher den Formen der Nachbarorgane an, die sich als Impressionen auf der Leberoberfläche abzeichnen. Stabilisiert wird das Organ durch eine bindegewebige Kapsel (**Glisson-Kapsel**) und durch den Tonus der Gefäße.

Bei Unfällen mit stumpfem Bauchtrauma kann die Leber wegen ihrer weichen Konsistenz leicht einreißen. Eine solche **Leberruptur** kann zu lebensbedrohlichen intraabdominalen Blutungen führen.

Die Leber liegt im rechten Oberbauch und hat etwa die Form einer dreiseitigen Pyramide, deren Basis der Pars costalis des Zwerchfells anliegt und deren Spitze nach medial weist. Die obere Seite ist zur Zwerchfellkuppel und die Vorderseite zur ventralen Rumpfwand hin orientiert (**Facies diaphragmatica**). An ihrem Unterrand, der *Margo inferior*[9], geht die Facies diaphragmatica in spitzem Winkel in die **Facies visceralis** über, die den Baucheingeweiden zugewandt ist. Sie ist nach schräg dorsal und kranial orientiert.

In einem dorsokranialen, dreieckigen Bereich um die V. cava inferior ist die Facies diaphragmatica mit dem Zwerchfell verwachsen und daher nicht vom Peritoneum überzogen. Diese **Area nuda**[3] („nackte Fläche“) wird begrenzt vom Lig. triangulare dextrum[1] und sinistrum[4], deren Umschlagfalten an der Area nuda in ihrer Gesamtheit als **Lig. coronarium hepatis**[2] bezeichnet werden. Das Lig. triangulare sinistrum läuft in einer *Appendix fibrosa hepatis*[5] aus.

Da die Leber an der Area nuda mit dem Zwerchfell verwachsen ist, folgt sie den Bewegungen des Zwerchfells und tritt bei Inspiration weiter nach kaudal. Daher kann man bei der **Palpation der Leber** die Margo inferior in der rechten Medioklavikularlinie bei tiefer Inspiration unter dem Rippenbogen gerade eben durch die Bauchdecken tasten.

Auf der Vorderseite der Facies diaphragmatica trennt das **Lig. falciforme hepatis**[7] den rechten und linken Leberlappen (**Lobus hepatis dexter** und **sinister**, ▶ Tab. 14.6) und geht kranial V-förmig in das Lig. coronarium über.

An der Facies visceralis sind beim Blick von dorsokaudal auch die beiden kleinen Leberlappen, der **Lobus caudatus**[12] und der **Lobus quadratus**[25] sichtbar. Diese beiden kleinen Leberlappen werden von 2 nahezu sagittal verlaufenden Einschnitten eingerahmt, die durch die quer dazu stehende **Leberpforte** (**Porta hepatis**) zu einem „H“ ergänzt werden:

- Der rechte Schenkel des „H“ wird in seinem unteren (in situ: ventral) Anteil von einer Impression gebildet, welche die Gallenblase auf der Leber verursacht und *Fossa vesicae biliaris*, genannt wird. Den oberen (in situ: dorsalen) Anteil bildet

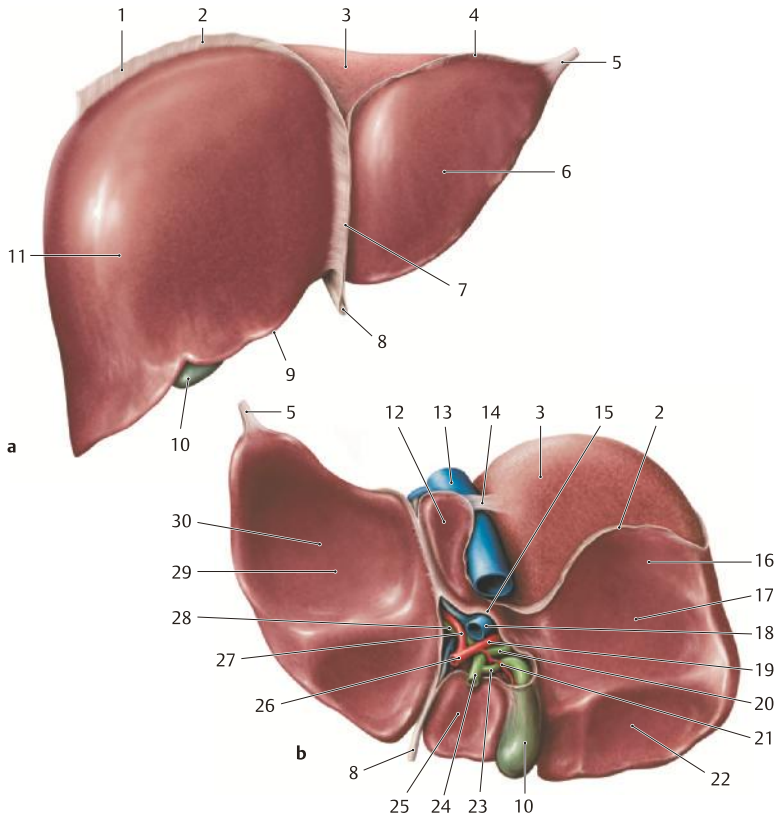


Abb. 14.17 Leber (Hepar). a Facies diaphragmatica. Ansicht von ventral. **b** Facies visceralis. Ansicht von kaudal.

1 Lig. triangulare dextrum
2 Lig. coronarium hepatis
3 Area nuda (faciei diaphragmaticae hepatis)
4 Lig. triangulare sinistrum
5 Appendix fibrosa hepatis
6 Lobus hepatis sinister, Facies diaphragmatica
7 Lig. falciforme hepatis
8 Lig. teres hepatis (enthält die verödete V. umbilicalis)
9 Margo inferior hepatis
10 Vesica biliaris (fellea)
11 Lobus hepatis dexter, Facies diaphragmatica
12 Lobus caudatus
13 V. cava inferior
14 Lig. venae cavae
15 Processus caudatus
16 Lobus hepatis dexter, Facies visceralis
17 Impressio renalis
18 V. portae
19 A. hepatica propria, R. dexter
20 Ductus hepaticus dexter
21 A. cystica
22 Impressio colica
23 Ductus cysticus
24 Ductus choledochus
25 Lobus quadratus
26 A. hepatica propria
27 A. hepatica propria, R. sinister
28 Ductus hepaticus sinister
29 Lobus hepatis sinister, Facies visceralis
30 Impressio gastrica

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 14.6 Nachbarschaftsbeziehungen der Leber.

Leberlappen	Impression auf der Leberoberfläche	benachbartes Organ bzw. Organabschnitt
Lobus hepatis dexter	Impressio colica	Colon: Flexura coli dextra, Colon transversum
	Impressio duodenalis	Duodenum: Pars superior
	Impressio renalis	oberer Pol der rechten Niere
	Impressio suprarenalis	rechte Nebenniere
Lobus hepatis sinister	Impressio gastrica	Magen (Antrum)
	Impressio oesophagea	Oesophagus (Vestibulum cardiacum)

der *Sulcus v. cavae inferioris*, der die gleichnamige Vene aufnimmt.

- Der linke Schenkel des „H“ wird von 2 tiefen Einschnitten gebildet, die nach den Bändern benannt werden, die darin verlaufen: in seinem unteren (in situ: ventral) Anteil die *Fissura lig. teretis*, und in seinem oberen (in situ: dorsalen) Anteil die *Fissura lig. venosi*. Diese Strukturen trennen auf der Facies visceralis den linken Leberlappen vom Lobus quadratus und caudatus.

Durch die Leberpforte treten Pfortader[18] und Leberarterien in die Leber ein und die Lebergallengänge aus. Die drei Lebervenen (**V. hepatica sinistra, intermedia und dextra**) dagegen verlassen die Leber nicht über die Leberpforte, sondern münden auf der Rückseite der Leber direkt in die V. cava inferior[13].

Im Bereich der Porta hepatis sind die beiden Anteile des **Omentum minus** (Lig. hepatoduodenale und hepatogastricum) an der Leber befestigt.

Feinbau und Funktion der Leber

Die **Leber** kann als exokrine Drüse aufgefasst werden, die 600–800 ml Gallenflüssigkeit pro Tag produziert, mit der Phospholipide, Cholesterin, Gallenfarbstoffe (Bilirubin) und -säuren in den Darm abgegeben werden. Ihre vielfältigen Synthese- und Metabolisierungsfunktionen, durch die Stoffe aus dem Blut geklärt oder in das Blut abgegeben werden, machen die Leber zum zentralen Stoffwechselorgan des Kohlenhydrat-, Protein- und Lipidstoffwechsels. Während der **Fetalperiode** wird in der Leber auch **Blut** gebildet.

Die Leber ist außer an der Area nuda von einer bindegewebigen Organkapsel umgeben (**Tunica fibrosa**, **Glisson-Kapsel**), die über eine Tela subserosa mit dem ihr aufliegenen Peritoneum verbunden ist. Von ihr gehen Bindegewebssepten aus, welche die Leber in die makroskopisch sichtbaren 4 Lappen untergliedern. Ausgehend von der Anordnung der intrahepatischen Blutgefäße (Äste der V. portae und A. hepatica propria) und der Gallengänge ist eine Gliederung der Leber in **8 Segmente** sowohl für das Verständnis des Organaufbaus als auch im Hinblick auf die klinische Relevanz sinnvoller, denn die Segmente können einzeln reseziert werden.

Lebersegmente (▶ Abb. 14.18)

Im Leberparenchym nehmen die *Gallengänge*, die *Äste der V. portae* und die *Äste der A. hepatica propria* einen gemeinsamen Verlauf (**„portale Trias“**). Von dieser Gefäß-Trias unabhängig verlaufen die

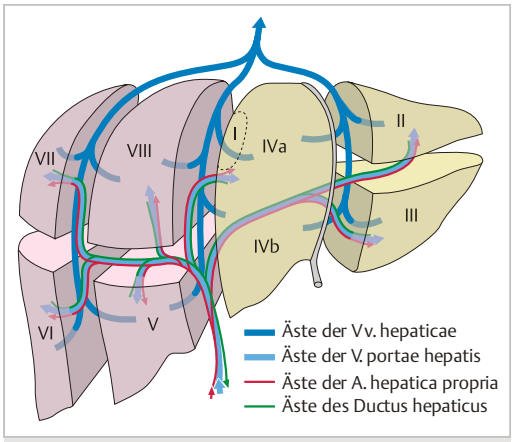


Abb. 14.18 Unterteilung der Leber in Segmente. (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Vv. hepaticae als abführende Blutgefäße. Sie sind die Sammelgefäße für die Vv. centrales (s. u.).

Die erste Aufzweigung von Ductus hepaticus, V. portae und A. hepatica propria in 2 große Äste teilt die Leber in eine **Pars dextra** und **sinistra**. Zwischen diesen beiden Teilen liegen keine äußerlich sichtbaren Grenzen, und sie entsprechen nicht dem rechten und dem linken Leberlappen. Durch weitere Aufzweigungen der Trias-Gefäße entstehen auf jeder Seite 4 sich nicht überlagernde Versorgungsbereiche, die als **Lebersegmente** bezeichnet werden (links Segmente I–IV, rechts Segmente V–VIII). Diese segmentale Gliederung ist aber nicht an der Organoberfläche sichtbar, sondern leitet sich von der Anordnung der Blutgefäße (Äste der V. portae und A. hepatica propria) und der Gallengänge her. Jedes Lebersegment ist hinsichtlich seiner Blutversorgung eine Einheit, die bei Bedarf isoliert reseziert werden kann.

Leberläppchen und -azinus

Das Leberparenchym besteht aus Leberzellbalken und -platten, die sich radspeichenartig um zentrale Venen (**Vv. centrales**) gruppieren. Im Gegensatz zu den Trias-Gefäßen sind die V. centrales nicht von Bindegewebe umgeben. Das Leberparenchym wird durch beim Menschen spärlich vorhandenes Bindegewebe in polyedrische *Leberläppchen* (**Lobuli hepatis**) unterteilt. Die menschliche Leber besteht aus ca. 1–1,5 Millionen solcher Leberläppchen mit einem Volumen von je ca. 2 mm^3.

Die bindegewebigen Zwickel, an denen mehrere Leberläppchen aneinander stoßen, werden als **periportale Felder** oder *Glisson-Dreieck* bezeichnet. In ihnen verlaufen folgende 3 Gefäße, die die **Glisson-Trias** bilden:

- als zuführende Gefäße die *Vv. interlobulares* (Äste der V. portae),
- als ebenfalls zuführende Gefäße die *Aa. interlobulares* (Äste der A. hepatica propria),
- als ableitende Gallenwege die *Ductuli interlobulares*.

Je nach Betrachtungsweise unterscheidet man 3 verschiedene Parenchymgliederungen:

Bei einem **Zentralvenenläppchen** (▶ **Abb. 14.19**) bildet die V. centralis den Mittelpunkt eines „klassischen" Leberläppchens. Um die Zentralvene sind radspeichenartig die Leberzellbälkchen und -platten angeordnet. Zwischen diesen verlaufen die **Lebersinusoide**, erweiterte Kapillaren, in denen Mischblut aus den Ästen von V. portae und A. hepatica propria fließt. Der kapillare Spalt zwischen den Leberzellbälkchen und den Sinusendothelien wird **Disse-Raum** genannt. In der Umgebung der Aa. interlobulares ist die Sauerstoffkonzentration am höchsten und nimmt in Richtung auf die Zentralvene kontinuierlich ab.

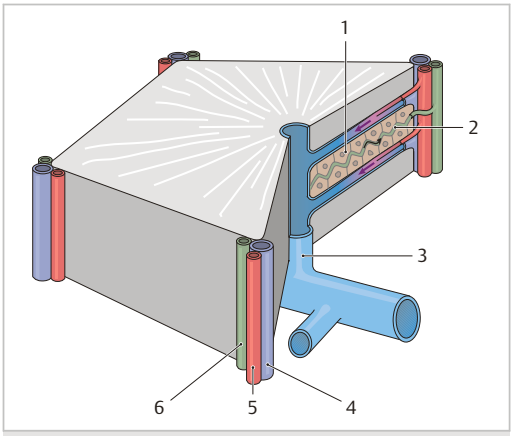


Abb. 14.19 Parenchymgliederung der Leber. Strukturmodell eines Zentralvenenläppchens.
1 Hepatozyt
2 Canaliculus bilifer
3 V. centralis
4 Ast der V. portae
5 Ast der A. hepatica propria
6 Ast des Ductus hepaticus (Gallengang)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Beim **Portalvenenläppchen** steht die sekretorische Funktion der Leber im Vordergrund. Im Mittelpunkt steht nun das periportale Feld, während die Zentralvenen die Ecken eines polygonalen Portalvenenläppchens bilden. Die Galle fließt in speziellen Kanälen (**Canaliculi biliferi**) zwischen den einzelnen Leberzellen auf den im Periportalfeld gelegenen Ausführungsgang zu.

Im Gegensatz zu den Läppchen ist ein **Leberazinus** rhombisch mit jeweils gegenüberliegenden Vv. centrales bzw. Aa. und Vv. interlobulares in den periportalen Feldern. Damit kann ein Azinus als das Versorgungsgebiet von 2 Aa. und Vv. interlobulares aufgefasst werden. Ein Azinus ist somit ein „Baustein" eines Portalvenenläppchens. Das Konzept eines Leberazinus ist überwiegend pathophysiologisch begründet und geht davon aus, dass innerhalb eines Leberläppchens 3 unterschiedliche

Stoffwechselzonen vorkommen, die sich senkrecht zum Verlauf der versorgenden Blutgefäße ausbilden.

Zelltypen

In der Leber gibt es 4 verschiedene Typen von Zellen mit unterschiedlichen Funktionen:

Hepatozyten. Die eigentlichen Parenchymzellen bilden ein-, gelegentlich auch mehrschichtige Zellplatten aus, die radiär auf die Zentralvene zu laufen. Es handelt sich um polyedrische Zellen von 20–30 µm Durchmesser, von denen etwa 20–25 % 2 große, euchromatische Zellkerne mit deutlichem Nukleolus besitzen. Ihr Zytoplasma ist außerordentlich reich an Organellen. Die Hepatozyten sind polarisiert:

- Der **apikale** oder **peribiliäre Zellpol** bildet die Wand der **Canaliculi biliferi** (Gallenkapillaren).
- Bei der großen **basolateralen Oberfläche** unterscheidet man wiederum die den anderen Hepatozyten zugewandte Zelloberfläche und eine dem Disse-Raum zugewandte **perisinusoidale Oberfläche**, die mit unregelmäßigen Mikrovilli besetzt ist.

Anders als bei den meisten Epithelzellen befinden sich die Mikrovilli der Hepatozyten **nicht** am apikalen Zellpol, sondern auf der basolateralen Seite, genauer gesagt auf der perisinusoidalen Oberfläche. Die apikale Membran zweier gegenüberliegender Hepatozyten begrenzt das Lumen der Gallenkapillaren und ist mit einem ausgeprägten Schlussleistenkomplex gegen die basolaterale Seite abgegrenzt.

Kupffer-Zellen. Bei diesen Zellen handelt es sich um antigenpräsentierende Makrophagen, die im Verband mit den **Sinusendothelzellen** stehen und deren Zellkörper sich in das Sinusoidlumen vorwölben. Kupffer-Zellen sind zur **Phagozytose** befähigt und können Zelltrümmer, Bakterien und andere Fremdkörper aufnehmen und speichern. Wie auch die Makrophagen der Milz sind die Kupffer-Zellen an der Phagozytose überalterter Erythrozyten beteiligt.

Ito-Zellen. Im Disse-Raum befinden sich fettspeichernde **Sternzellen**, in deren Zytoplasma sich Vitamin A anreichert. Sie sind oft von **retikulären Bindegewebsfasern** umgeben und werden für die erhöhte Kollagenproduktion bei Leberzirrhose verantwortlich gemacht. Nach gesteigerter Vitamin-A-Zufuhr können diese Zellen proliferieren.

Pit-Zellen. Diese leberspezifischen Lymphozyten sind „natural killer cells“, die an den Endothelzellen der Sinusoide haften.

Gefäße und Nerven der Leber

Über die Pfortader (V. portae hepatis, meist verkürzt nur als V. portae bezeichnet) erhält die Leber das gesamte Blut der Versorgungsgebiete von Truncus coeliacus sowie A. mesenterica superior und inferior, also aus den unpaaren Bauchorganen. Von diesen gelangt das Blut über die V. splenica sowie die V. mesenterica superior und inferior in die V. portae. Im Kapillarbett (korrekt „Sinusoidalbett“) der Leber fließt also sowohl nährstoffreiches aber sauerstoffarmes Blut aus der V. portae als auch sauerstoffreiches Blut aus der A. hepatica propria. Damit unterscheidet sie sich von anderen Organen mit einem „gewöhnlichen“ arteriovenösen Kapillarbett.

Die Leber erhält nährstoffreiches Blut aus der **V. portae** (Vas publicum) (▶ **Abb. 14.20**), die ihrerseits aus der V. splenica[5] sowie der V. mesenterica superior[19] und inferior[9] gespeist wird. Sauerstoffreiches Blut wird der Leber aus der **A. hepatica propria** (Vas privatum) zugeführt, die aus der A. hepatica communis stammt, einem der 3 Hauptäste des Truncus coeliacus. Beide Blutgefäße treten durch die Leberpforte ein und zweigen sich weiter auf in die Vv. bzw. Aa. interlobulares.

Die **V. portae** entsteht hinter dem Pancreaskopf aus der Vereinigung von **V. splenica** und **V. mesenterica superior**. Meist mündet die **V. mesenterica inferior** bereits zuvor in die V. splenica. Der 5–8 cm lange Stamm der V. portae zieht dann im **Lig. hepatoduodenale** links und dorsal des Ductus choledochus (s. u.) zur Leberpforte. Auf diesem Weg nimmt die V. portae die Vv. gastricae dextra und sinistrae und kurz vor ihrer Aufteilung in einen R. dexter und sinister auch die *V. cystica* und die *Vv. paraumbilicales* auf. Letztere sind meist obliteriert, können aber bei Wiedereröffnung infolge Pfortaderhochdrucks (s. u.) eine Verbindung zu den Venen der Bauchwand herstellen.

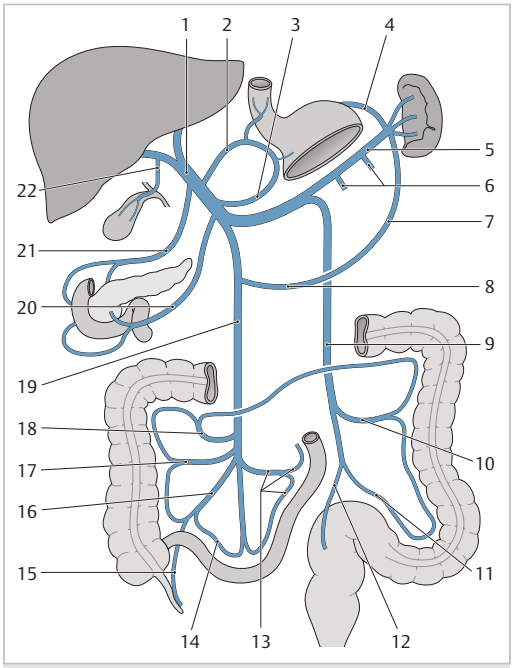


Abb. 14.20 Zuflussgebiet der V. portae.
1 V. portae
2 V. gastrica sinistra mit Vv. oesophageales
3 V. gastrica dextra
4 Vv. gastricae breves
5 V. splenica
6 Vv. pancreaticae
7 V. gastroomentalis sinistra
8 V. gastroomentalis dextra
9 V. mesenterica inferior
10 V. colica sinistra
11 Vv. sigmoideae
12 V. rectalis superior
13 Vv. jejunales
14 Vv. ileales
15 V. appendicularis
16 V. ileocolica
17 V. colica dextra
18 V. colica media
19 V. mesenterica superior
20 V. pancreaticoduodenalis
21 V. pancreaticoduodenalis superior posterior
22 V. cystica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Ein erhöhter portaler Blutfluss und/oder eine Erhöhung des Strömungswiderstandes (meist in Folge einer pathologischen Vermehrung des hepatischen Bindegewebes bei Leberzirrhose) führt zu einer Erhöhung (normal: 3–6 mmHg) des Blutdrucks in der V. portae (**Pfortaderhochdruck**, portale Hypertonie > 12 mmHg). Besteht dieser Zustand über einen längeren Zeitraum, bilden sich Kollateralkreisläufe (portokavale Anastomosen) aus. Klinisch wichtig sind:

* Anastomosen zwischen den Venen der kleinen Kurvatur des Magens und den unteren Oesophagusvenen („**Oesophagusvarizen**"),
* Anastomosen zwischen den oberen und mittleren bzw. unteren Rectumvenen über den Plexus venosus rectalis („**Hämorrhoiden**"),
* den Hautvenen um den Nabel über die Vv. paraumbilicales („**Caput Medusae**").

Die Ausbildung eines Caput Medusae wird auch Cruveilhier-Baumgarten-Syndrom genannt. Eine Erweiterung der Paraumbilikalvenen lässt sich sonografisch bei 22 % der Patienten mit Leberzirrhose nachweisen.

Arterien. Die **A. hepatica propria** ist ein Endast der **A. hepatica communis**, der oberhalb des Pylorus zur Leberpforte zieht. Auch sie verläuft im **Lig. hepatoduodenale** links und ventral der V. portae. Sie gibt die A. gastrica dextra ab und teilt sich vor der Leberpforte in einen *R. dexter* und *sinister*. Der R. dexter hinterkreuzt den Ductus choledochus und gibt die *A. cystica* zur arteriellen Versorgung der Gallenblase ab. Er versorgt die rechten Lebersegmente V–VIII. Der R. sinister versorgt die linken Lebersegmente I–IV.

Venen. Das Blut der ableitenden **Vv. hepaticae** stammt aus den Vv. sublobulares, den Sammelgefäßen der Vv. centrales der Leberläppchen (s. o.). Man unterscheidet die V. hepatica dextra, sinistra und intermedia. Sie münden knapp kaudal des Zwerchfells in die V. cava inferior, treten also nicht durch die Leberpforte aus.

Die **Lymphsysteme** (subperitoneales und intraparenchymatöses Lymphsystem; ▸ **Abb. 14.21**) der Leber haben Anschluss an mediastinale Lymphknoten sowie an die **Nodi lymphoidei hepatici** um die Leberpforte.

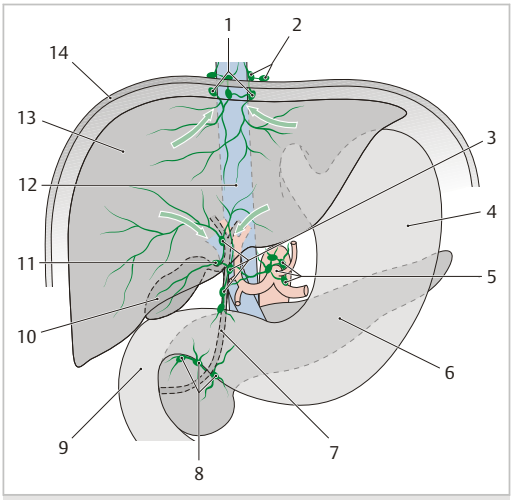


Abb. 14.21 Lymphabflussbahnen von Leber und Gallenwegen. Ansicht von ventral.
1 Nodi lymphoidei phrenici inferiores
2 Nodi lymphoidei phrenici superiores
3 Nodi lymphoidei hepatici
4 Magen (Gaster)
5 Truncus coeliacus mit Nodi lymphoidei coeliaci
6 Pancreas
7 Ductus choledochus
8 Nodi lymphoidei pylorici
9 Duodenum
10 Vesica fellea (biliaris)
11 Nodus lymphoideus cysticus
12 V. cava inferior
13 Leber (Hepar)
14 Zwerchfell (Diaphragma)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Nerven. Die **sympathischen Fasern** stammen aus dem **Ganglion coeliacum** und hemmen die Gallesekretion. Sie gelangen als **Plexus hepaticus**, der die A. hepatica propria umgibt, zur Leberpforte. Eine Steigerung der sympathischen Innervation führt außerdem zum Abbau von Glykogen in der Leber, welches zu Glukose umgewandelt ins Blut abgegeben wird.

Die **parasympathischen** Fasern stammen aus dem **N. vagus**, der einen R. hepaticus entlang der A. hepatica propria zur Leber entsendet. Die parasympathische Innervation führt zu einem gesteigerten Gallenfluss.

Anders als bei anderen intraperitonealen Organen, bei denen die **sensible Innervation** des Peritoneum viscerale fehlt, innervieren sensible Fasern des **rechten N. phrenicus** den Peritonealüberzug und die Glisson-Kapsel der Leber.

Der Leber zugeordnet sind die Dermatome Th 6–9 rechts. Daher können **Lebererkrankungen** sich in der entsprechenden **Head-Zone** unterhalb des rechten Rippenbogens bemerkbar machen.

Intra- und extrahepatische Gallenwege

Die Gallenflüssigkeit wird von den Hepatozyten gebildet und über ein **intrahepatisches** System von Gängen zur Leberpforte geleitet. Dort bildet sich durch den Zusammenschluss des **Ductus hepaticus dexter** und **sinister** der **Ductus choledochus**, der bis zur Mündung in das Duodenum eine **extrahepatische** Strecke zurücklegt. Im Nebenschluss der extrahepatischen Gallenwege zieht der **Ductus cysticus** zur Gallenblase, wo die Gallenflüssigkeit eingedickt wird.

Intrahepatischer Anteil. Das erste Teilstück der **intrahepatischen** Gallengänge sind die epithellosen **Canaliculi biliferi**, die von den apikalen (biliären) Zellpolen gegenüberliegender Hepatozyten gebildet werden. Am Rand der Lobuli gehen sie in kurze **Schalt- oder Zwischenstücke** (**Hering-Kanälchen**) von 10–15 µm Durchmesser über, die ein einschichtiges flaches Epithel säumt. Nach starken toxischen Schädigungen oder Hemihepatektomien tauchen im Epithel dieser Hering-Kanäle vermehrt **Ovalzellen** auf, durch deren Proliferation sich das Leberparenchym und die intrahepatischen Gallenwege regenerieren können. Die eigentlichen, für die kontinuierliche Selbsterneuerung der Leber verantwortlichen Stammzellen liegen in einer umschriebenen Region um die Zentralvene.

In den Periportalfeldern münden die Hering-Kanälchen in die **Ductuli biliferi interlobulares** (Durchmesser 30–40 µm), deren Wand von einem einschichtigen isoprismatischen Epithel gebildet wird. Im Austausch gegen Chlorid sezerniert dieses Epithel Bikarbonat in die Gallenflüssigkeit. Der hieraus resultierende (passive) Nachstrom von

Wasser und Natrium erhöht das Volumen der Gallenflüssigkeit um 30 %. Die interlobulären Gallenkanäle folgen in ihrem Verlauf den anderen beiden Gefäßen der Glisson-Trias (Vv. und Aa. interlobulares) und vereinigen sich schließlich zu den **Ductus hepaticus dexter** und **sinister**.

Extrahepatischer Anteil (▶ **Abb. 14.22**). Ductus hepaticus dexter und sinister vereinigen sich im Bereich der Leberpforte zum **Ductus hepaticus communis**[3], der im **Lig. hepatoduodenale** verläuft und daher zu den **extrahepatischen** Gallenwegen gerechnet wird. Er ist etwa 4 cm lang und führt die Gallenflüssigkeit über den **Ductus cysticus**[14] der Gallenblase zu, wo die Gallenflüssigkeit gespeichert und eingedickt wird.

Während der Ductus hepaticus und der Ductus choledochus (s. u.) ein glatt begrenztes Lumen aufweisen, ist die aus Schleimhaut bestehende Innenwand des Ductus cysticus schraubenförmig angeordnet, sodass eine spiralige Verschlussfalte entsteht. Diese **Heister-Klappe** verhindert wahrscheinlich ein Auspressen der Gallenblase bei einem Anstieg des intrabdominalen Drucks (z. B. bei Defäkation).

Nach dem Abgang des Ductus cysticus setzt der Ductus hepaticus seinen Weg als **Ductus choledochus**[4], etwa 6 cm lang, 0,4–0,9 cm Durchmesser) unter dem freien Rand des Lig. hepatoduodenale auf die Rückseite des Duodenums fort, wo er die **Plica longitudinalis duodeni** aufwirft. Nach seinem Eintritt in den Pancreaskopf vereinigt er sich mit dem Ductus pancreaticus[6]. Kurz vor der Vereinigung ist ein eigener Verschlussapparat aus verstärkter Ringmuskulatur (**M. sphincter ductus choledochi**) ausgebildet. Der gemeinsame Ausführungsgang ist zu einer Ampulle (Ampulla hepatopancreatica) erweitert und kann durch den **M. sphincter ampullae hepatopancreaticae** (**Oddii**) verschlossen werden. Der gemeinsame Ausführungsgang von Leber und Pancreas mündet auf der **Papilla duodeni major** (**Vateri**)[8].

Unter normalen Bedingungen fließt die in der Leber gebildete Galle über den Ductus hepaticus communis zunächst über den Ductus cysticus in die Gallenblase. Dort wird die Gallenflüssigkeit durch Wasserentzug konzentriert. Setzt nun ein Verdauungsvorgang ein (oft reicht auch der Anblick oder Geruch von Speisen), kontrahiert sich die glatte Gallenblasenmuskulatur und der M. sphincter ductus choledochi erschlafft als Folge des gleichzeitig im Dünndarm freigesetzten Hormons Cholezystokinin. Die Kontraktion der Gallenblase drückt die Gallenflüssigkeit zurück in den Ductus cyticus. Da der Abflusswiderstand im Ductus choledochus wesentlich geringer ist als im Ductus hepaticus communis, fließt die Galle in das Duodenum ab.

Als **Ikterus** bezeichnet man eine erhöhte Konzentration von Bilirubin im Blut. Sie ist als Gelbfärbung am besten gegen den weißen Hintergrund der Skleren des Auges und später auch der Haut sichtbar („Gelbsucht"). Zu einem Ikterus kommt es, wenn im Körper mehr Bilirubin entsteht, als die Leber konjugieren und/oder mit der Gallenflüssigkeit ausscheiden kann. Je nach Ursache unterscheidet man einen prä-, intra- und posthepatischen Ikterus. Ein **prähepatischer Ikterus** entsteht z. B. durch vermehrten Abbau von Erythrozyten bei einer hämolytischen Anämie, wodurch mehr Bilirubin anfällt. Ursache eines **intrahepatischen Ikterus** kann eine eingeschränkte Konjugationsleistung infolge schwerer Leberfunktionsstörungen sein. Ein **posthepatischer Ikterus** entsteht meist durch eine Abflussbehinderung in den Gallenwegen (z. B. bei Gallensteinen oder Tumor).

Die **Leitungsbahnen** der extrahepatischen Gallenwege entsprechen weitgehend denen der Gallenblase (s. u.).

Gallenblase

Die Funktion der Gallenblase besteht in der Resorption von Natrium und Wasser aus der Gallenflüssigkeit, die hierdurch konzentriert wird. Die Gallenblase dient somit als **Reservoir** für Gallenflüssigkeit. Die Blasengalle kann 5- bis 10-mal konzentrierter sein als die Lebergalle. Eine weitere Funktion der Gallenblase besteht in der **hormongesteuerten Abgabe** von Gallenflüssigkeit in das Duodenum.

Die Gallenblase (s. ▶ **Abb. 14.22**) ist ein 8–12 cm langes und 4–5 cm breites, etwa birnenförmiges Hohlorgan, dessen Volumen unter Ruhebedingungen 40–50 ml beträgt. Die Wand der Gallenblase ist zwar nur 0,3–0,4 mm dick, aber außerordentlich dehnbar. Bei steigendem Füllungsdruck kann das Volumen der Gallenblase daher bis zu 200 ml betragen. Sie liegt im vorderen Bereich der rechten

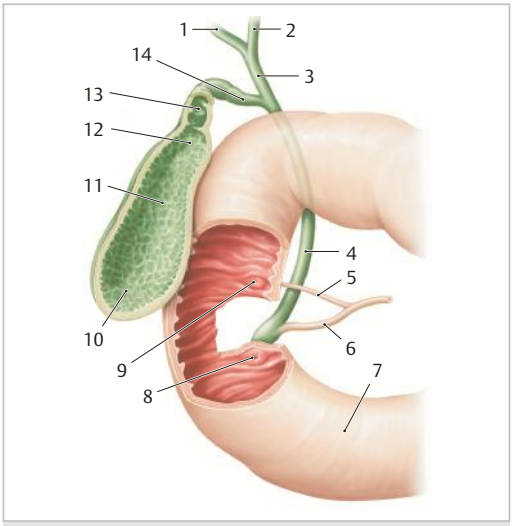


Abb. 14.22 Gallenblase und extrahepatische Gallenwege. Ansicht von ventral, Gallenblase und Duodenum eröffnet.

1 Ductus hepaticus dexter
2 Ductus hepaticus sinister
3 Ductus hepaticus communis
4 Ductus choledochus
5 Ductus pancreaticus accessorius
6 Ductus pancreaticus
7 Duodenum
8 Papilla duodeni major
9 Papilla duodeni minor
10 Vesica biliaris, Fundus
11 Vesica biliaris, Corpus
12 Vesica biliaris, Infundibulum
13 Vesica biliaris, Collum
14 Ductus cysticus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

sagittalen Furche auf der **Facies visceralis** der Leber und ist über den **Ductus cysticus** mit dem Ductus choledochus verbunden. Man unterscheidet den Hals (**Collum**), in den der Ductus cysticus mündet, den Körper (**Corpus**) und den Grund (**Fundus**) der Gallenblase.

Der **Fundus** der Gallenblase ist allseitig von Peritoneum umhüllt und weist nach kaudal und ventral. Bei praller Füllung (z. B. bei Choledochusstein, s. u.) überragt er den unteren Leberrand um 1–1,5 cm und liegt der vorderen Bauchwand unmittelbar an.

Einen klinischen Hinweis auf eine Entzündung der Gallenblase (**Cholezystitis**) kann folgende Untersuchung geben: Bei sitzendem Patienten drückt man etwas medial der Medioklavikularlinie knapp unterhalb des Rippenbogens die Bauchdecke mit mehreren Fingern etwas ein und bittet gleichzeitig den Patienten tief einzuatmen. Gibt dieser bei der Inspiration einen plötzlichen, umschriebenen **Druckschmerz** an, spricht man vom **Murphy-Zeichen**, das charakteristisch für eine Cholezystitis ist.

Beim **Courvoisier-Zeichen** tastet der Untersucher die prall-elastisch gefüllte, aber **schmerzlose** Gallenblase unterhalb des Rippenbogens. Liegt zusätzlich ein Ikterus vor, weist das Courvoisier-Zeichen auf einen Verschluss der extrahepatischen Gallenwege durch ein Pancreaskopf- oder Gallengangkarzinom, seltener durch einen Gallenstein hin.

Das **Corpus** ist in der **Fossa vesicae biliaris** an die Unterfläche der Leber angeheftet und ganz oder teilweise mit ihr verwachsen – es liegt der Leber also ohne trennende Serosa an. Die freie Oberfläche des Corpus ist von Peritoneum bedeckt und liegt der **Flexura coli dextra** auf. Das Corpus verjüngt sich zum **Collum**, das zur Leberpforte gerichtet ist, liegt unmittelbar ventral der **Pars superior duodeni** und geht ohne scharfe Grenze in den **Ductus cysticus** über.

Der Bau der Gallenblasenwand folgt dem Grundbauplan muskulärer Hohlorgane. Die **Lamina epithelialis** der Tunica mucosa besteht aus einem **einschichtigen Epithel**, das wie auch in den anderen extrahepatischen Gallenwegen von **hochprismatischen Zellen** mit apikalem Mikrovillisaum gebildet wird. Netzartige Bindegewebsleisten der **Lamina propria mucosae** werfen hohe, **unregelmäßige Falten** auf, deren Höhe vom Füllungszustand der Gallenblase bestimmt wird. An manchen Stellen kommen tiefe Krypten (**Rokitansky-Aschoff-Krypten**) vor, in die sich Bakterien festsetzen, die Entzündungen hervorrufen können. Die Epithelzellen sezernieren **Muzine**, die dem Schutz des Epithels vor der aggresiven Galle dienen. Im **Collum** kommen **Becherzellen** und **muköse Drüsen** vor.

Bei der dünnen Schicht glatter Muskulatur, die vorwiegend scherengitterartig angeordnet ist, handelt es sich um eine modifizierte **Lamina muscularis mucosae**. Sie besteht nicht aus einer äußeren Längs- und einer inneren Ringmuskelschicht,

sondern aus nur einer einzigen, gitterartigen Muskelschicht.

Cholezystokinin, ein Hormon der Dünndarmschleimhaut, löst die Kontraktion der glatten Muskulatur aus, wodurch die Gallenflüssigkeit in die extrahepatischen Gallenwege gedrückt wird. Eine bindegewebige **Lamina subserosa** bildet den Übergang zur Capsula fibrosa (Glisson-Kapsel) der Leber. Die Gallenblase liegt also außerhalb der Glisson-Kapsel.

Da der Gallenflüssigkeit in der Gallenblase Wasser entzogen wird, kann es zum Auskristallisieren von Substanzen kommen. Weil Cholesterin in der Gallenflüssigkeit nur wenig löslich ist und (zusammen mit Gallensäuren und Phospholipiden) vorwiegend in Form von Micellen vorliegt, können bereits geringe Veränderungen der Gallenzusammensetzung zur Übersättigung und damit zum Ausfallen von Cholesterin führen. Das präzipitierte Cholesterin wirkt oft als Kristallisationskern für andere Substanzen. So entstehen Gallengries oder -steine (**Cholelithiasis**). Diese **Gallensteine** sind meist asymptomatisch, können aber ab einer bestimmten Größe den Ductus cysticus oder den Ductus choledochus verschließen (**Cholangiolithiasis**). Wird die Gallenblasenwand über längere Zeit durch Gallensteine gereizt, kann eine Entzündung (**Cholezystitis**) entstehen, die dann in weiterem Verlauf mitunter von Bakterien besiedelt wird, was durch den speziellen Bau der Gallenblasenschleimhaut (**Rokitansky-Aschoff-Krypten**) unterstützt wird.

Gefäße. Die **A. cystica** stammt aus dem R. dexter der **A. hepatica propria** aus dem Truncus coeliacus.

Die **Vv. cysticae** münden im Lig. hepatoduodenale in die **V. portae**.

Die **Lymphgefäße** der Gallenblase ziehen zu den **Nodi lymphoidei hepatici** an der Leberpforte und zu den Lymphknoten um den Truncus coeliacus (**Nodi lymphoidei coeliaci**).

Nerven. Die **sympathische Innervation** der Gallengänge und der Gallenblase entstammt dem **Ganglion coeliacum** (s. ▶ **Abb. 14.9**), die postganglionären Fasern verlaufen im **Plexus hepaticus**, in dem zusätzlich noch **afferente Schmerzfasern** verlaufen. Die **parasympathische Innervation** übernimmt der R. hepaticus des **N. vagus**, dessen Äste zur Gallenblase ebenfalls im **Plexus hepaticus** verlaufen. Die parasympathische Stimulation der Gallenblase bzw. der Gallenwege verstärkt die hormonell induzierte Kontraktion der Gallenblasenmuskulatur und die Erschlaffung des Verschlussapparats.

Zusätzliche **Schmerzafferenzen** aus der Gallenblasenwand verlaufen im **rechten N. phrenicus** aus dem Plexus cervicalis. Schmerzen der Gallenblase werden daher in die rechte Schulter (Dermatom C 4) projiziert. Dies erklärt die in die rechte Schulter ausstrahlenden Schmerzen bei Entzündungen der Gallenblase.

Form und Lage der Bauchspeicheldrüse

Die Bauchspeicheldrüse (**Pancreas**) spielt eine zentrale Rolle für die Verdauung. Sie hat sowohl einen exokrinen als auch einen endokrinen Anteil. Der **exokrine Anteil** des Pancreas produziert ein **Verdauungssekret** (1,5–2 l/d), das **Bikarbonat** (ca. pH 8) und **Enzyme** für die Aufspaltung der Nahrungsbestandteile enthält. Die meisten der Enzyme werden als inaktive Vorläuferproteine sezerniert und erst im Duodenum aktiviert. Die Enterokinase des Bürstensaums der Enterozyten bzw. der Brunner-Drüsen spaltet Trypsinogen. Das dadurch entstehende Trypsin aktiviert die übrigen Vorläuferenzyme. Der **endokrine Anteil** des Pancreas besteht aus den **Langerhans-Inseln,** die zusammen als **Inselorgan** bezeichnet werden. Ihre Hauptfunktion besteht in der endokrinen Regulation des Glukosestoffwechsels durch **Insulin** und **Glukagon.**

Das Pancreas ist von bräunlich-gelber Farbe, 13–18 cm lang und wiegt 70–80 g. Das leicht S-förmige Organ verjüngt sich keilförmig während seines **sekundär retroperitonealen** Verlaufs an der hinteren Bauchwand. Es zieht von der konkaven Seite des Duodenums nach links aufsteigend bis zur Milz.

Der Pancreaskopf (**Caput pancreatis**; s. ▶ **Abb. 14.3**) schmiegt sich in die konkave Seite des Duodenalschleife. In seinem oberen Anteil verläuft der Ductus choledochus. Ein hakenförmiger Fortsatz (**Processus uncinatus**) umgreift die Vasa mesenterica superiora, die durch die **Incisura pancreatis** von dorsal auf die Ventralseite des Pancreas gelangen.

Der Pancreaskörper (**Corpus pancreatis**) liegt auf Höhe von LWK 1–2. Sein vor der Aorta abdominalis liegender Teil wölbt sich in die Bursa omentalis vor und wird **Tuber omentale** genannt.

Der Pancreasschwanz (**Cauda pancreatis**) verjüngt sich in seinem Verlauf nach kranial-links bis zum **Lig. splenorenale**. Die Rückseite des Pancreas ist mit der dorsalen Bauchwand verwachsen, während die Vorderseite von Peritoneum überzogen ist und die **dorsale Wand** der **Bursa omentalis** bildet.

Die vom Peritoneum bedeckte Vorderseite des Pancreas wird durch eine vordere, nahezu horizontal verlaufende Kante (**Margo anterior**) in eine vordere obere Fläche (**Facies anterior**) und eine vordere untere Fläche (**Facies inferior**) unterteilt. Die Facies anterior ist gegen die **Bursa omentalis**, die Facies inferior gegen den **Unterbauch** gerichtet. Ober- und Unterrand (**Margo superior** bzw. **inferior**) begrenzen auf der Rückseite die **Facies posterior**, die dem prävertebralen Bindegewebe der hinteren Bauchwand aufliegt.

Der **Ductus pancreaticus major** (**Wirsungi**) hat einen Durchmesser von ca. 2 mm. Er durchzieht das gesamte Organ der Länge nach, wobei er etwas näher an der dorsalen Oberfläche bleibt. Er mündet zusammen mit dem von dorsal in das Caput eintretenden Ductus choledochus auf der **Papilla duodeni major** (**Vateri**) in der Pars descendens duodeni. Der gemeinsame Ausführungsgang erweitert sich kurz vor seiner Mündung zur Ampulla hepatopancreatica. In etwa 40 % gibt es einen zusätzlichen Pancreasgang (**Ductus pancreaticus minor**), der auf der **Papilla duodeni minor** (**Santorini**) wenige Zentimeter oral der großen Duodenalpapille in das Duodenum mündet.

Feinbau und Funktion der Bauchspeicheldrüse

Das Pancreas ist von einer dünnen Bindegewebskapsel (**Capsula fibrosa**) umgeben, von der feine **Septen**, die Blut- und Lymphgefäße sowie Nerven mit sich führen, in das Parenchym eintreten und zahlreiche polyedrische **Drüsenläppchen** von 1–3 mm Durchmesser gegeneinander abgrenzen. Diese Lobuli sind makroskopisch sichtbar.

Der **exokrine Anteil** des Pancreas ist eine **rein seröse** Drüse und ähnelt in seinem histologischen Aufbau sehr der Ohrspeicheldrüse. Das exokrine Pancreas produziert den Bauchspeichel, eine seröse Flüssigkeit, die Enzyme zur Spaltung von Nahrungsbestandteilen enthält. Die Lipase dient der Verdauung von Fett, α-Amylase spaltet Kohlenhydrate und Trypsin die Proteine der Nahrung. Aktiviert werden die Enzyme erst außerhalb des Pancreas. Die Reaktionskaskade beginnt mit der Aktivierung von Trypsin durch die Wirkung der Enteropeptidase (früher: Enterokinase) (aus den Brunner-Drüsen oder dem Bürstensaum des Duodenums), das dann weitere Enzyme durch proteolytische Spaltung aktiviert.

Jedes Drüsenläppchen besteht aus mehreren hundert kugelförmigen Drüsenendstücken (**Azini**), die jeweils aus etwa 70 pyramidenförmigen Zellen aufgebaut sind. Diese **Azinuszellen** sitzen breitbasig einer Basallamina auf und sind 10–20 µm hoch. Ihr apikaler Zellpol ragt in ein Lumen und trägt Mikrovilli, basal liegt der große runde, euchromatische Zellkern. Im apikalen Zytoplasma finden sich zahlreiche sekretorische Granula, welche die inaktiven Vorstufen zahlreicher Enzyme enthalten. Über **Schaltstücke**, die von einem einschichtigen, platten bis isoprimatischen Epithel ausgekleidet werden, sind jeweils 2–4 Azini an ein gemeinsames Ausführungssystem angeschlossen. Das azinäre Ende der Schaltstücke wölbt sich in das Lumen eines Azinus vor, sodass im histologischen Präparat der Eindruck **zentroazinärer Schaltstückzellen** entsteht.

Innerhalb eines Läppchens vereinigen sich mehrere Schaltstücke zu **intralobulären Ausführungsgängen**, die in den bindegewebigen Septen zu **interlobulären** Ausführungsgängen mit einem hochprismatischen Epithel sowie vereinzelten Becherzellen und enterochromaffinen Zellen zusammengeführt werden. Die interlobulären Gänge vereinigen sich zu größeren Gängen, die rechtwinklig in den **Ductus pancreaticus major** oder **minor** eintreten.



Die Epithelzellen der Schaltstücke und die intralobulären Ausführungsgänge sezernieren im Austausch gegen Chlorid **Bikarbonat** in den Bauchspeichel. Zum osmotischen Ausgleich werden Natriumionen und Wasser in das Lumen abgegeben. Mutationen in dem CFTR-kodierenden Gen, wie sie bei Patienten mit zystischer Fibrose (**Mukoviszidose**) vorkommen, führen dazu, dass wesentlich weniger Chlorid in die Schaltstücke gelangt, das folglich für den Austausch gegen Bikarbonat nicht mehr zur Verfügung steht. Folglich fehlt dem Pancreassekret Bikarbonat, das aber für eine Neutralisierung des Duodenalinhalts notwendig wäre. Da insbesondere die Pancreaslipase bei einem pH-Wert von unter 5 inaktiv ist, können Neutralfette nicht mehr gespalten werden. Bei den betroffe-

nen Patienten tritt eine **Steatorrhoe** (übelriechende Fettstühle) auf. Da dem Pancreassekret auch Wasser fehlt, kommt es zu einer fortschreitenden **Verstopfung der Ausführungsgänge** mit zystischer Erweiterung und schließlich zu chronischen Entzündungen und Vernarbungen. Analoge Veränderungen finden sich auch in anderen Organen (insbesondere in der **Lunge**), bei denen der CFTR-abhängige apikale Chloridtransport gestört ist. Mukoviszidose ist eine der häufigsten autosomal rezessiv vererbten Erkrankungen.

Der **endokrine Anteil** des Pancreas entwickelt sich ab der 7. Woche aus dem Epithel des Gangsystems des exokrinen Pancreas. Einzelne Zellen wandern aus den Gängen aus und sammeln sich zu inselförmigen Zellaggregaten mit einem Durchmesser von 0,1–0,4 mm. Diese Aggregate werden **Langerhans-Inseln** (Insulae pancreaticae) genannt. Im Pancreas eines Erwachsenen gibt es etwa 1 Million Langerhans-Inseln, von denen die meisten im Pancreaskörper und -schwanz verteilt sind.

Im histologischen Präparat fallen die Inseln als schwach eosinophile, ellipsoide Bezirke auf, die sich sehr deutlich von der Färbung der Azini abheben. Die verschiedenen endokrinen Zelltypen, die unterschiedliche Hormone in die Blutbahn abgeben, können durch immunhistochemische Methoden unterschieden werden. Das von den **B-Zellen** sezernierte **Insulin** fördert in der Leber die Glykogensynthese und führt zu einer **Senkung des Glukosespiegels** im Blut. Das von den **A-Zellen** sezernierte **Glukagon** erhöht dagegen den Blutzuckerspiegel, indem die **Glukoneogenese** stimuliert wird. **Somatostatin** aus den **D-Zellen** hemmt die Insulinabgabe.

14

Gefäße und Nerven der Bauchspeicheldrüse

Arterien (▶ **Abb. 14.23**). Der Pancreaskopf und Teile des Korpus werden versorgt aus den **Aa. pancreaticoduodenalis superior anterior**[12] und **posterior**[13] aus der A. gastroduodenalis und der **A. pancreaticoduodenalis inferior**[10, 11] aus der A. mesenterica superior.

Die **A. pancreaticoduodenalis inferior** teilt sich in einen *R. anterior* und *posterior*, die im Bereich des Caput pancreatis mit beiden Aa. pancreaticoduodenales superiores anastomosieren. Sie bilden so eine **doppelte Gefäßschlinge** vor und hinter dem Pancreaskopf.

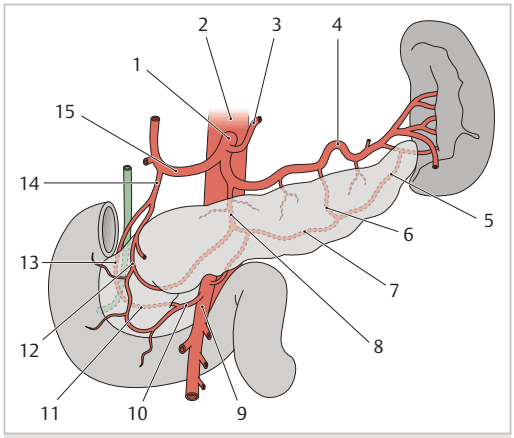


Abb. 14.23 Arterielle Versorgung des Pancreas.
Ansicht von ventral.
1 Truncus coeliacus
2 Aorta abdominalis
3 A. gastrica sinistra
4 A. splenica mit Rr. pancreatici
5 A. caudae pancreatis
6 A. pancreatica magna
7 A. pancreatica inferior
8 A. pancreatica dorsalis
9 A. mesenterica superior
10 A. pancreaticoduodenalis inferior, R. anterior
11 A. pancreaticoduodenalis inferior, R. posterior
12 A. pancreaticoduodenalis superior anterior
13 A. pancreaticoduodenalis superior posterior
14 A. gastroduodenalis
15 A. hepatica communis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **A. splenica**[4] entsendet im Bereich des Pancreasschwanzes die **A. pancreatica magna**[6] und im Bereich des Pancreaskörpers die **A. pancreatica dorsalis**[8] zur Incisura pancreatis, wo deren Endast eine Anastomose mit der A. pancreaticoduodenalis superior anterior ausbilden kann. A. pancreatica magna und A. pancreatica dorsalis vereinigen sich am Unterrand des Pancreas zur **A. pancreatica inferior**[7].

Außerdem gibt die A. splenica in ihrem Verlauf mehrere **Rr. pancreatici** ab. Wie jedes endokrin aktive Gewebe sind auch die **Langerhans-Inseln** von **dichten Kapillarnetzen** umgeben. Innerhalb der Langerhans-Inseln erweitern sich diese Kapillaren zu **Sinusoiden**, die nahe an die endokrinen Zellen herantreten. Über die V. portae gelangen die Hormone zunächst in die Leber und von dort in den Kreislauf.

Venen. Das venöse Blut aus dem Pancreaskörper fließt über die kleinen **Vv. pancreatici** in die **V. splenica** und von dort zur V. portae. Das venöse Blut des Pancresakopfes gelangt über die **Vv. pancreaticoduodenales** in die **V. mesenterica superior** und somit ebenfalls in die V. portae.

Lymphgefäße. Aus dem Pancreaskörper und -schwanz wird die Lymphe über **Nodi lymphoidei pancreatici superiores** (entlang der A. splenica) und **inferiores** (entlang der A. pancreatica inferior) zu den *Nodi lymphoidei coeliaci* geführt. Aus dem Pancreaskopf gelangt die Lymphe über die **Nodi lymphoidei pancreaticoduodenales superiores** und **inferiores** zu den *Nodi lymphoidei hepatici* und den *Nodi lymphoidei mesenteriales*.

Nerven. Die **sympathischen Fasern** stammen aus dem **Ganglion coeliacum** (s. ▶ **Abb. 14.9**) und treten über die Gefäßwände an das Pancreas heran. Der Neurotransmitter Noradrenalin hemmt die Insulinsekretion der endokrinen Zellen.

Die **parasympathischen Fasern** stammen aus dem **Truncus vagalis posterior** des **N. vagus** (s. ▶ **Abb. 14.9**). Sie verlaufen mit den Gefäßen und stimulieren über den Transmitter Azetylcholin die Insulinsekretion.

Die autonome Innervation beeinflusst auch die sekretorische Leistung des *exokrinen* Pancreas. Zwischen den Mahlzeiten (**interdigestive Periode**) wird die Enzym- und Bikarbonatsekretion des Pancreas weitgehend gedrosselt. In der postprandialen Periode sorgt der N. vagus für eine Steigerung der Sekretionsrate.

Alkoholabusus (häufigste Ursache) oder die Verlegung des gemeinsamen Ausführungsgangs von Leber und Pancreas durch einen Gallenstein kann zu einer **akuten Pankreatitis** führen. Die bereits im Organ aktivierten Pancreasenzyme greifen das Pancreasparenchym an, was dann wegen der sich entwickelnden Schocksymptomatik zu einer lebensbedrohlichen Situation führen kann. Charakteristisch für die akute Pankreatitis sind starke („bohrende") **„gürtelförmige"** Schmerzen. Außerdem treten Übelkeit, Erbrechen und Meteorismus (übermäßige Ansammlung von Gasen im Verdauungstrakt) auf. Die Konzentration der α-Amylase im Serum ist erhöht. Die Behandlung ist symptomatisch (Schock, Schmerzen) mit vorsichtigem Kostaufbau in Abhängigkeit von der Schmerzentwicklung.

14.2.5 Milz

Die Milz gehört zu den **sekundären lymphatischen Organen**. Während der vorgeburtlichen Entwicklungsphase ist die Milz an der Blutbildung (vorwiegend Erythropoese beteiligt). Nach der Geburt fungiert sie als **Filterstation für Blut**. Hierzu zählen die **immunologische Überwachung des Blutes** und der **Abbau überalterter Erythrozyten** (Erythrozytensequestrierung, „Blutmauserung"). Im Gegensatz zu anderen Spezies (Hund, Katze, Pferd) verfügt die menschliche Milz über keine nennenswerte Blutspeicherkapazität.

Die Anordnung der Blutgefäße in der Milz bildet die Grundlage zum Verständnis der Organfunktion. Diese Blutgefäße sind zugleich Vasa privata zur Versorgung des Milzparenchyms und Vasa publica zur immunologischen Überwachung des Blutes und „Blutmauserung".

Die Milz kann Stoffwechselendprodukte, die bei erblichen Speicherkrankheiten anfallen (z. B. bei Lipidosen, Mucopolysaccharidosen oder Glykogenosen), in großen Mengen speichern. Sie nimmt dabei erheblich an Größe zu (**Splenomegalie**).

Form und Lage der Milz (▶ Abb. 14.24)

Das kaffeebohnenförmige Organ ist etwa 12 cm lang, 8 cm breit, 3–4 cm dick und wiegt nach Ausspülen des Blutes etwa 160 g. Das dunkel-rotbraune Organ liegt dorsal in der linken Regio hypochondriaca unmittelbar unter dem Zwerchfell.

Eine **normal große Milz** kann selbst bei tiefer Inspiration unter dem Rippenbogen nicht getastet werden. Eine vergrößerte Milz (Splenomegalie) kann bei Infektionskrankheiten, hereditären Speichererkrankungen und Neoplasien des lymphatischen Systems (z. B. Leukämien) auftreten.

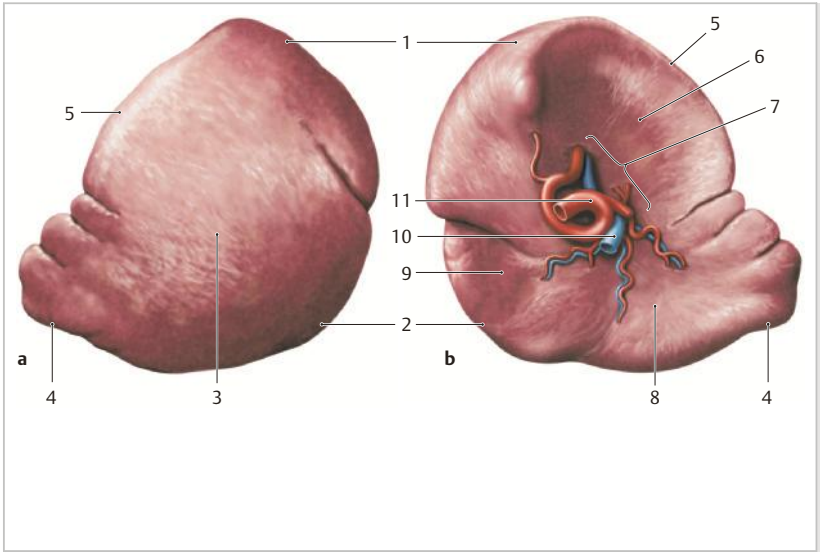


Abb. 14.24 Form und Oberfläche der Milz.
a Facies costalis,
b Facies visceralis.
1 Extremitas posterior
2 Margo inferior
3 Facies diaphragmatica
4 Extremitas anterior
5 Margo superior
6 Facies gastrica
7 Hilum splenicum
8 Facies colica
9 Facies renalis
10 V. splenica
11 A. splenica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Man unterscheidet die konvexe, dem Zwerchfell anliegende, gleichmäßig gerundete **Facies diaphragmatica** und die gegliederte, den Eingeweiden zugewandte **Facies visceralis**, auf der sich auch das **Hilum**[7] befindet. Das bandartige *Hilum splenicum* unterteilt die Facies visceralis in ein oberes und unteres Feld. Auf beiden Feldern finden sich die Abdrücke benachbarter Organe (oberes Feld: *Facies gastrica*[6] und *Facies colica*[8]; unteres Feld: *Facies renalis*[9]). Parallel zum Hilum inseriert ventral das **Lig. gastrosplenicum**, das zum Magen zieht. Dorsal verläuft das **Lig. splenorenale**, an dem die Milz aufgehängt ist, zum oberen Pol der linken Niere. Der dorsale Anteil dieses Bandes setzt sich als **Lig. phrenicosplenicum** zum Zwerchfell fort. Mit Ausnahme des Hilum ist die Milz vollständig von Peritoneum überzogen und liegt somit **intraperitoneal**.

Facies diaphragmatica und visceralis stoßen am scharfen Oberrand (*Margo superior*[5]) und dem eher stumpfen Unterrand (*Margo inferior*[2]) zusammen. Der hintere Organpol (*Extremitas posterior*[1]) weist Richtung Wirbelsäule nach hinten und oben, während der vordere Organpol (*Extremitas anterior*[4]) nach vorne und unten weist.

Bei etwa 20 % aller Menschen entstehen aus versprengten Milzanlagen in der Nähe der Milz (Lig. gastrosplenicum, Omentum majus, entlang der A. splenica) akzessorische oder **„Nebenmilzen“**.

Feinbau und Funktion der Milz (▶ Abb. 14.25)

Unter der mesothelialen Tunica serosa befindet sich eine bindegewebige Organkapsel (Capsula fibrosa[1]), von der insbesondere am Hilum zahlreiche derbe, bindegewebige **Trabekel** (Trabeculae splenicae[13]) ausgehen. In den Trabekeln gelangen die Äste von A. und V. splenica als Balken- oder Trabekelarterien bzw. -venen in bzw. aus dem Milzparenchym. Zwischen den Trabekeln spannt sich ein Netz aus retikulären Fasern. Das Milzparenchym gliedert sich in **weiße** und **rote Pulpa**.

Der Anteil der **weißen Pulpa** am Parenchym beträgt etwa 15 % des Volumens. Sie ist in die rote Pulpa eingestreut und besteht aus lymphatischem Gewebe, in dem im Blut zirkulierende Antigene Immunreaktionen auslösen. Die weiße Pulpa ist manschettenartig um **Zentralarterien**[11] angeordnet, die aus den Trabekelarterien[10] hervorgehen.

Die weiße Pulpa besteht aus 3 Anteilen: der periarteriolären Lymphozytenscheide (**PALS**[4]), die vorwiegend T-Lymphozyten enthält, außerdem aus **Lymphfollikeln**[3] und der **Marginalzone**[5], die beide überwiegend aus B-Lymphozyten bestehen. Die PALS ist eine dünne Manschette von T-Lymphozyten, die eingelagert in ein Gerüst von fibroblastischen Retikulumzellen eine Zentralerterie umgibt. An die PALS sind zahlreiche Lymphfollikel angelagert, die überwiegend aus B-Lymphozyten bestehen. Die Follikel umgibt eine Marginalzone aus B- und T-Lymphozyten, in der die Zellen weniger dicht gelagert sind als in den Follikeln.

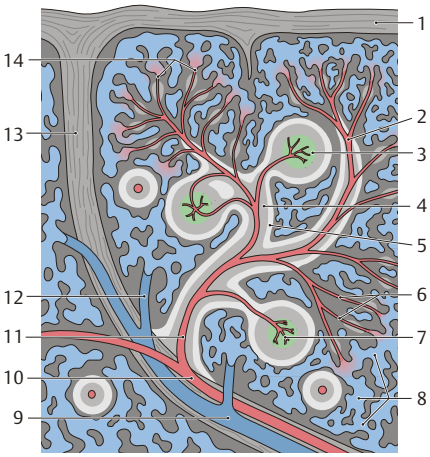


Abb. 14.25 Histologischer Aufbau der Milz.
1 Milzkapsel
2 Pinselarteriole
3 Lymphfollikel
4 periarterioläre Lymphozytenscheide (PALS)
5 Marginalzone
6 Hülsenkapillaren
7 Follikelkapillaren
8 Milzsinus
9 Trabekelvene
10 Trabekelarterien
11 Zentralarterie
12 Pulpavene
13 Bindegewebstrabekel
14 arterielle Endkapillaren
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die umgebende perifollikuläre Zone gehört als blutgefüllter Extravasalraum bereits zur **roten Pulpa**. Das Blut gelangt über offen endende Arteriolen in diesen Raum. Außerdem besteht die rote Pulpa aus Pulpasträngen und dazwischen liegenden venösen Sinus[8]. Bei diesen Sinus handelt es sich um **erweiterte Blutgefäße**, die mit einem **geschlitzem Endothel** ausgekleidet sind, das seinerseits auf einer **durchbrochenen Basalmembran** ruht. Die Pulpastränge bestehen aus einem weitmaschigen Netz aus Retikulumzellen mit zahlreichen angelagerten Makrophagen und Plasmazellen.

Milzpassage. Die Funktion der Milz als Ort der „Blutmauserung" erschließt sich am besten durch eine Betrachtung der Wege, die das Blut durch dieses Organ nimmt. Jede **Balkenarterie** zweigt sich mit dem Eintritt in die Pulpa in **Pulpaarterien** auf. Diese werden bald von einer PALS umgeben und dann „**Zentralarterie**" genannt, obwohl sie im histologischen Präparat meist leicht exzentrisch liegen.

Im weiteren Verlauf teilt sich die inzwischen nicht mehr von Lymphozyten umgebene Zentralarterie in ca. 50 kleine **Pinselarteriolen** (Penicilli), die in Kapillaren übergehen, welche teilweise von Makrophagen umgeben sind und daher **Hülsenkapillaren** genannt werden. Die Hülsenkapillaren münden entweder in die weiten venösen Sinus (geschlossener Kreislauf), oder in den Extravasalraum (Pulpastränge, perifollikuläre Zone) **zwischen den venösen Milzsinus** (offener Kreislauf).

Druckgradienten bedingen einen kontinuierlichen Flüssigkeitsstrom aus diesem Raum in die Sinus hinein, der insbesondere die nicht eigenbeweglichen Erythro- und Thrombozyten mitträgt. Allerdings können diese Blutbestandteile nur dann in das Lumen eines venösen Sinus gelangen, wenn sie die reifenartig durchbrochene Basalmembran und Endothelschlitze der Milzsinus passieren können. Dies führt zu einer längeren Verweildauer unflexibler oder deformierter Erytrozyten in den Pulpasträngen, welche die Wahrscheinlichkeit einer Phagozytose „überalterter" Erythrozyten durch Makrophagen erhöht (**Erythrozytensequestrierung**). Ebenso werden in der Milz überalterte Thrombozyten abgebaut, für die die Milz auch eine gewisse Reservoirfunktion hat. Etwa ein Drittel der Thrombozyten des Körpers befinden sich normalerweise in der Milz.

Von den venösen Milzsinus gelangt das Blut über **Pulpa-** und **Trabekelvenen** zur **V. splenica**.

Ein erblich bedingtes **Abweichen der Form von Erythrozyten** (Sichelzellen, Kugelzellen) führt zu ihrem gesteigerten Abbau in der Milz. Bei diesen Patienten entwickelt sich eine hämolytische Anämie, der man mit der chirurgischen Entfernung der Milz (**Splenektomie**) begegnet. Da nach einer Splenektomie der Abbau der Thrombozyten vermindert ist, können sich Probleme mit einer gesteigerten Blutgerinnung ergeben.

Gefäße und Nerven der Milz

Arterien. Die **A. splenica**, der stärkste Ast des *Truncus coeliacus* verläuft geschlängelt am Oberrand des Pancreas und gelangt über das Lig. spleno-

renale zum Milzhilum. Der geschlängelte Verlauf erlaubt relative Lageveränderungen zwischen Truncus coeliacus und Milz. Meist teilt sich die A. splenica unmittelbar vor dem Eintritt in das Organ in 6 oder mehr terminale Rr. splenici, die sich innerhalb der Milz in etwa 20 Segmentarterien aufspalten.

Venen. Aus den Segment und Terminalvenen geht am Milzhilum die **V. splenica** hervor. Sie verläuft auf der Rückseite des Pancreas und nimmt zuerst die V. mesenterica inferior auf, bevor sie sich mit der V. mesenterica superior zur *V. portae* vereinigt.

Lymphgefäße. Die Lymphgefäße der Milz nehmen ihren Ursprung vorwiegend im subserösen Bindegewebe und ziehen zu den **Nodi lymphoidei splenici** am Milzhilum.

Innervation. Sympathische Efferenzen aus dem linken **Ganglion coeliacum** bilden zusammen mit parasympathischen Fasern des **N. vagus** den **Plexus splenicus** und erreichen in der Wand der A. splenica die Milz. Die Immunantwort wird nicht nur durch die klassischen Neurotransmitter Azetylcholin und Noradrenalin moduliert, sondern auch durch Peptidtransmitter wie Substanz P.

14.3 Organe im Retroperitonealraum

Der Bindegewebsraum zwischen dorsaler Rumpfwand und dem ventral angrenzenden Peritoneum parietale der Peritonealhöhle wird **Retroperitonealraum** (**Spatium retroperitoneale**) genannt. Da sich in der Medianlinie von dorsal die lordotisch gekrümmte Lendenwirbelsäule hineinwölbt, ist in dieser Raum hier nur sehr flach. Lateral des M. psoas major ist er jedoch zu einer Mulde, dem **Nierenlager**, erweitert, die **Niere** und **Nebenniere** aufnimmt. Median verlaufen auch die großen **axialen Leitungsbahnen** Aorta abdominalis, V. cava inferior, V. lumbalis ascendens, die Pars lumbalis des Truncus sympathicus sowie der erweiterte Anfangsteil des Ductus thoracicus, die Cisterna chyli. In den hinteren lateralen Teilen des Retroperitonealraums verlaufen **segmentale Blut- und Lymphgefäße**, der **N. subcostalis** sowie Äste des **Plexus lumbalis**.

14.3.1 Niere

Die **paarig** angelegten Nieren dienen der **Harnbereitung** und regulieren damit den **Wasser-, Säure-, Basen- und Salzhaushalt** des Organismus. Außerdem scheiden sie wasserlösliche Stoffwechselprodukte (z. B. Harnstoff aus dem Proteinstoffwechsel) aus.

Die Nieren sind durch die Sekretion des blutdrucksteigernden Hormons **Renin** wesentlich an der Regulation des **Blutdrucks** beteiligt. Sie produzieren außerdem das Hormon **Erythropoetin**, das die Bildung von Erythrozyten im Knochenmark anregt. Außerdem greifen die Nieren durch die Metabolisierung von **Vitamin D** auch entscheidend in den **Kalziumhaushalt** ein. In den ableitenden Organen Nierenbecken und Harnleiter wird der Urin der Harnblase zugeführt, von wo er über die Harnröhre ausgeschieden wird.

Das Verständnis der **Gefäßarchitektur** der Niere ist eine wesentliche Grundlage zum Verständnis der Nierenfunktion. Wie auch bei der Milz sind die intrarenalen Blutgefäße zugleich Vasa privata zur Versorgung des Nierenparenchyms und Vasa publica, die der Harnbereitung und -konzentrierung dienen.

Form und Lage der Niere (► Abb. 14.26)

Die Form der Nieren ist sprichwörtlich. Sie sind jeweils von einer bindegewebigen Kapsel (**Capsula fibrosa renis**) umgeben.

Die **Capsula fibrosa** der Niere ist **schmerzempfindlich**. Da die **bindegewebige Nierenkapsel** kaum dehnbar ist, verursachen Entzündungen, die zu einer Schwellung des Nierenparenchyms (Nephritis) führen, starke Schmerzen.

Eine Niere wiegt 120–180 g und ist vom oberen Pol (*Extremitas superior*) zum unteren Pol (*Extremitas inferior*) etwa 12 cm lang, vom medialen zum lateralen Rand (*Margo medialis* bzw. *lateralis*) 6 cm breit und zwischen Vorder- und Rückseite (*Facies anterior* bzw. *posterior*) 3 cm dick. Das **Hilum renale**[14], durch das die Leitungsbahnen in das

renale zum Milzhilum. Der geschlängelte Verlauf erlaubt relative Lageveränderungen zwischen Truncus coeliacus und Milz. Meist teilt sich die A. splenica unmittelbar vor dem Eintritt in das Organ in 6 oder mehr terminale Rr. splenici, die sich innerhalb der Milz in etwa 20 Segmentarterien aufspalten.

Venen. Aus den Segment und Terminalvenen geht am Milzhilum die **V. splenica** hervor. Sie verläuft auf der Rückseite des Pancreas und nimmt zuerst die V. mesenterica inferior auf, bevor sie sich mit der V. mesenterica superior zur *V. portae* vereinigt.

Lymphgefäße. Die Lymphgefäße der Milz nehmen ihren Ursprung vorwiegend im subserösen Bindegewebe und ziehen zu den **Nodi lymphoidei splenici** am Milzhilum.

Innervation. Sympathische Efferenzen aus dem linken **Ganglion coeliacum** bilden zusammen mit parasympathischen Fasern des **N. vagus** den **Plexus splenicus** und erreichen in der Wand der A. splenica die Milz. Die Immunantwort wird nicht nur durch die klassischen Neurotransmitter Azetylcholin und Noradrenalin moduliert, sondern auch durch Peptidtransmitter wie Substanz P.

14.3 Organe im Retroperitonealraum

Der Bindegewebsraum zwischen dorsaler Rumpfwand und dem ventral angrenzenden Peritoneum parietale der Peritonealhöhle wird **Retroperitonealraum** (**Spatium retroperitoneale**) genannt. Da sich in der Medianlinie von dorsal die lordotisch gekrümmte Lendenwirbelsäule hineinwölbt, ist in dieser Raum hier nur sehr flach. Lateral des M. psoas major ist er jedoch zu einer Mulde, dem **Nierenlager**, erweitert, die **Niere** und **Nebenniere** aufnimmt. Median verlaufen auch die großen **axialen Leitungsbahnen** Aorta abdominalis, V. cava inferior, V. lumbalis ascendens, die Pars lumbalis des Truncus sympathicus sowie der erweiterte Anfangsteil des Ductus thoracicus, die Cisterna chyli. In den hinteren lateralen Teilen des Retroperitonealraums verlaufen **segmentale Blut- und Lymphgefäße**, der **N. subcostalis** sowie Äste des **Plexus lumbalis**.

14.3.1 Niere

Die **paarig** angelegten Nieren dienen der **Harnbereitung** und regulieren damit den **Wasser-, Säure-, Basen- und Salzhaushalt** des Organismus. Außerdem scheiden sie wasserlösliche Stoffwechselprodukte (z. B. Harnstoff aus dem Proteinstoffwechsel) aus.

Die Nieren sind durch die Sekretion des blutdrucksteigernden Hormons **Renin** wesentlich an der Regulation des **Blutdrucks** beteiligt. Sie produzieren außerdem das Hormon **Erythropoetin**, das die Bildung von Erythrozyten im Knochenmark anregt. Außerdem greifen die Nieren durch die Metabolisierung von **Vitamin D** auch entscheidend in den **Kalziumhaushalt** ein. In den ableitenden Organen Nierenbecken und Harnleiter wird der Urin der Harnblase zugeführt, von wo er über die Harnröhre ausgeschieden wird.

Das Verständnis der **Gefäßarchitektur** der Niere ist eine wesentliche Grundlage zum Verständnis der Nierenfunktion. Wie auch bei der Milz sind die intrarenalen Blutgefäße zugleich Vasa privata zur Versorgung des Nierenparenchyms und Vasa publica, die der Harnbereitung und -konzentrierung dienen.

Form und Lage der Niere (► Abb. 14.26)

Die Form der Nieren ist sprichwörtlich. Sie sind jeweils von einer bindegewebigen Kapsel (**Capsula fibrosa renis**) umgeben.

Die **Capsula fibrosa** der Niere ist **schmerzempfindlich**. Da die **bindegewebige Nierenkapsel** kaum dehnbar ist, verursachen Entzündungen, die zu einer Schwellung des Nierenparenchyms (Nephritis) führen, starke Schmerzen.

Eine Niere wiegt 120–180 g und ist vom oberen Pol (*Extremitas superior*) zum unteren Pol (*Extremitas inferior*) etwa 12 cm lang, vom medialen zum lateralen Rand (*Margo medialis* bzw. *lateralis*) 6 cm breit und zwischen Vorder- und Rückseite (*Facies anterior* bzw. *posterior*) 3 cm dick. Das **Hilum renale**[14], durch das die Leitungsbahnen in das

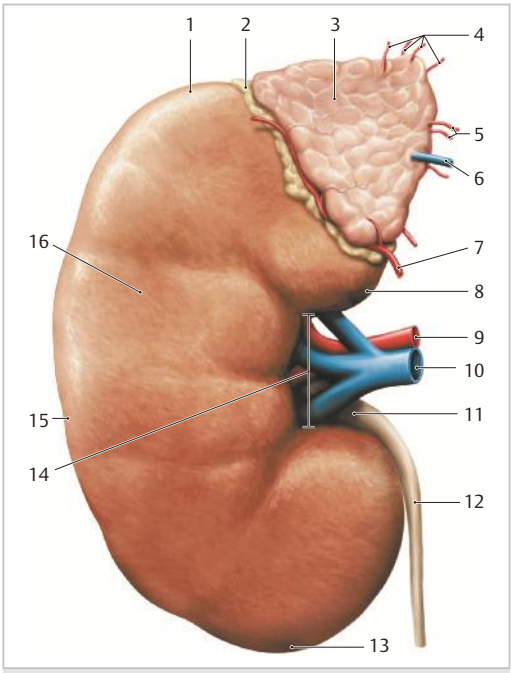


Abb. 14.26 Rechte Niere und Nebenniere. Ansicht von ventral.
1 Extremitas (Polus) superior
2 Capsula adiposa
3 Glandula suprarenalis dextra
4 Aa. suprarenales superiores
5 A. suprarenalis media
6 V. suprarenalis dextra
7 A. suprarenalis inferior
8 Margo medialis
9 A. renalis dextra
10 V. renalis dextra
11 Pelvis renalis
12 Ureter dexter
13 Extremitas (Polus) inferior
14 Hilum renale
15 Margo lateralis
16 Facies anterior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Organ ein- bzw. austreten, liegt an der **Margo medialis**[8]. Es führt in eine Einziehung des Parenchyms, den **Sinus renalis**, der das in Baufett gelagerte Nierenbecken (**Pelvis renalis**[11]) aufnimmt.

Anomalien der Nierenform und -lage, die die Funktionsfähigkeit der Niere nicht einschränken, sind nicht selten. Es kommen sowohl runde **„Kuchennieren“** als auch **„Hufeisennieren“** vor, bei denen die unteren Pole von rechter und linker Niere miteinander verwachsen sind. Bei einer **„Beckenniere“** (pelvine Nierendystopie) ist der entwicklungsgeschichlich bedingte Ascensus (Aufstieg) einer Niere ausgeblieben. Dagegen sind bei einer **„Senk-“** oder **„Wanderniere“** (Nephroptose) eine oder beide Nieren abnorm beweglich und können beim stehenden Patienten zum Beckeneingang sinken.

Die von einer Fettkapsel (**Capsula adiposa**[2]) und einer Faszie (**Fascia renalis**) umgebenen Nieren liegen so in einer Nische zwischen *M. psoas major* und *M. quadratus lumborum*, dass ihre Längsachsen nach oben und medial leicht konvergieren. Dies führt dazu, dass die Vorderflächen leicht nach lateral und kranial orientiert sind. Damit liegt die Margo medialis weiter ventral als die Margo lateralis und die Extremitas inferior weiter ventral als die Extremitas superior. Dem **oberen Nierenpol** sitzt eine **Nebenniere**[3] auf, die ebenfalls von der Capsula adiposa eingeschlossen wird.

Der **obere Nierenpol** mit der Nebenniere liegt kaudal des **Trigonum lumbocostale** des Zwerchfells (Bochdalek-Dreieck). Die Nieren sind **atemverschieblich**. Bei mittlerer Inspiration liegt der obere Nierenpol etwa auf Höhe des Oberrandes des 12. BWK, der untere Nierenpol etwa auf Höhe des 3. LWK. Das Nierenhilum projiziert dabei auf den 1. LWK. Die rechte Niere liegt meist eine halbe Wirbelhöhe tiefer, da sie von der Leber etwas nach unten gedrängt wird. Sie steht in enger topografischer Nachbarschaft zur Leber, dem Duodenum und der rechten Colonflexur. Die linke Niere weist topographische Beziehungen zu Magen, Cauda pancreatis, Milz und Colon descendens auf. Dem oberen Pol beider Nieren sitzen die Nebennieren unmittelbar auf.

Die 12. Rippe kreuzt die linke Niere zwischen deren mittlerem und oberem Drittel und die rechte Niere am oberen Nierenpol. Die linke 11. Rippe verläuft in Höhe des oberen Nierenpols. Zwischen Facies posterior und dorsaler Rumpfwand verlaufen **Nn. subcostalis, iliohypogastricus** und **ilio-**

inguinalis nach schräg kaudal. Der **N. genitofemoralis** zieht dagegen medial der Nieren nach kaudal.

Eine pathologisch **vergrößerte Niere kann diese Nerven reizen**, insbesondere N. iliohypogastricus und ilioinguinalis. Die hierdurch verursachten Schmerzen strahlen in die sensiblen Innervationsgebiete dieser Nerven in der Leistenregion aus.

Feinbau und Funktion der Niere (▶ Abb. 14.27)

Auf der Oberfläche der Niere eines Erwachsenen sind einzelne Vorwölbungen zu sehen, die auf die deutlich erkennbare Gliederung in Lappen (**Lobi renales**) beim Neugeborenen zurückgeführt werden können. Jeder Lappen besteht aus Anteilen von Nierenrinde und -mark.

Den Versorgungsgebieten der 5 Segmentarterien jeder Niere (s. u.) werden dagegen entsprechende Nierensegmente (Segmenta renalia) zugeordnet. Da die Äste dieser Arterien jedoch benachbarte Nierenlappen jeweils zur Hälfte versorgen, sind Nierenlappen und -segmente nicht identisch.

Im Zentrum der Niere liegt der **Sinus renalis**. Dieser ist umgeben von Nierenparenchym und beinhaltet das Nierenbecken sowie Gefäße, Nerven und Fettgewebe. Der Eingang zum Sinus renalis am Hilum wird von einer vorderen und einer hinteren Parenchymlippe schlitzförmig eingeengt. Das Nierenbecken (Pelvis renalis[10]) sammelt den Harn und leitet ihn in den Harnleiter (s. u.) weiter.

Das Nierenparenchym wird in Mark (**Medulla renalis**[2]) und Rinde (**Cortex renalis**[1]) untergliedert. Die Rinde liegt als 6–10 mm breiter, dunkelroter Parenchymstreifen unmittelbar unter der **Capsula fibrosa renis**[7]. Außerdem senkt sich das Rindengewebe in Form von Nierensäulen (**Columnae renales**)[6] zwischen den Markanteilen in die Tiefe (s. u.).

In der Rinde unterscheidet man Rindenlabyrinthe (Labyrinthus corticis), die Nierenkörperchen und die gewundenen Anteile der Nierenkanälchen (s. u.) enthalten, sowie Markstrahlen (**Radii medullares**). Ein Markstrahl gehört topographisch zur Rinde. Da er jedoch aus den gerade verlaufenden Nierenkanälchen und 4–8 Sammelrohren besteht, die in einem Bündel bis zur Basis einer Pyramide des Nierenmarks reichen, entspricht seine Zusammensetzung eher dem Mark. Die einen Markstrahl umgebenden Rindenbezirke bezeichnet man als Nierenläppchen oder Lobuli renalis (syn.: Lobuli corticales).

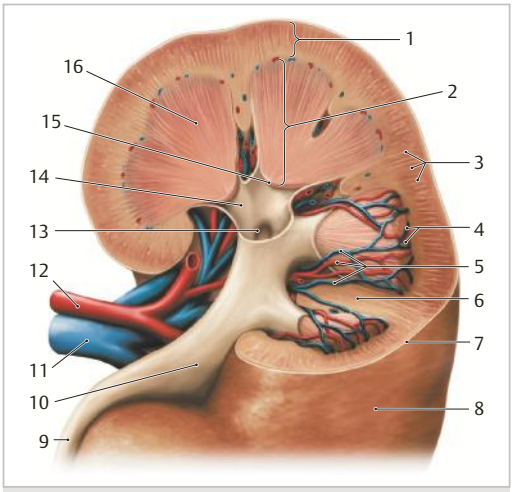


Abb. 14.27 Makroskopischer Aufbau des Nierenparenchyms. Rechte Niere von dorsal, obere Nierenhälfte teilweise entfernt.
1 Cortex renalis
2 Medulla renalis
3 Radii medullares (Markstrahlen)
4 A. und V. arcuata
5 A. und V. interlobaris
6 Columna renalis
7 Capsula fibrosa
8 Facies posterior
9 Ureter
10 Pelvis renalis
11 V. renalis
12 A. renalis
13 Calix renalis major (Calix superior)
14 Calix renalis minor
15 Papilla renalis
16 Pyramis renalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Unter der äußeren Rindenschicht liegt das Nierenmark. Dieses besteht aus ca. 15 Pyramiden (**Pyramides renales**[16]), deren konvexe Basis auf der Rinde ruht und deren Spitzen (**Papilla renalis**[15]) in die Kelche des **Nierenbeckens** ragen. Ein Nierenkelch (**Calix renalis**[13, 14]) ist jeweils eine Ausbuchtung des Nierenbeckens, in welche eine Nierenpyramide mit ihrer Papille mündet. Makroskopisch kann man bei den Pyramiden eine hellere **Innenzone** von einer dunkleren **Außenzone** unterscheiden. Die Außenzone wird nochmals in einen In-

Tab. 14.7 Aufbau einer Pyramis renalis.

Außenzone	Außenstreifen	Pars recta der **proximalen** und **distalen** Tubuli
	Innenstreifen	Pars recta der **distalen** Tubuli, (kurze) **Intermediärtubuli** der oberflächlichen Nephrone
Innenzone		(lange) **Intermediärtubuli** der juxtamedullären Nephrone

nen- und Außenstreifen unterteilt. Diese Gliederung reflektiert die unterschiedliche Morphologie des Tubulussystems in diesen Zonen bzw. Streifen (▶ Tab. 14.7). Der Übergang von Außen- und Innenstreifen wird durch den abrupten Übergang der Pars recta der proximalen Tubuli in die Intermediärtubuli verursacht. Die Bereiche zwischen den Pyramiden heißen **Columnae renales**[6] (Nierensäulen). Hierbei handelt es sich um Rindenanteile, die ebenfalls bis an die Nierenkelche heranreichen.

Auf den kegelförmigen Papillen münden kleine Gänge (**Ductus papillares**), durch die der Harn in das Nierenbecken abgegeben wird. Aufgrund dieser zahlreichen Öffnungen (Foramina papillaria), werden die Papillen auch *Area cribrosa* genannt.

Folgende strukturellen Komponenten gewährleisten die Hauptfunktionen der Niere:

- Ein System aus spezifisch angeordneten **Kanälchen** (Tubuli), deren Gesamtheit als **Nephron** bezeichnet wird. Ein Nephron bildet die **kleinste Funktionseinheit** der Niere. Ihre Aufgabe ist die Harnproduktion und -konzentration.
- An diesem Vorgang sind die **intrarenalen Blutgefäße** maßgeblich beteiligt. Erst ihre spezifische Anordnung ermöglicht die Funktion eines Nephrons.
- Der juxtaglomeruläre Apparat dient der renalen Autoregulation.

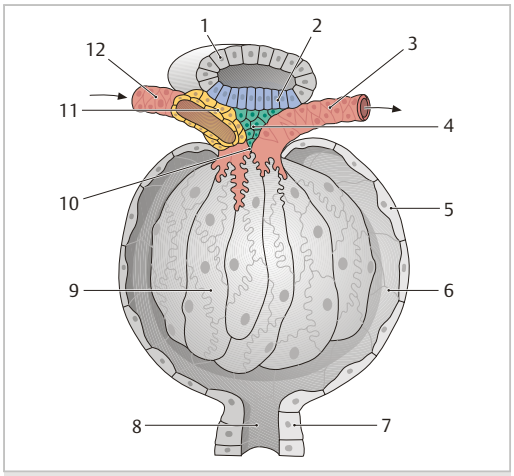


Abb. 14.28 Nierenkörperchen (Corpusculum renalis). Kapsel auf der Vorderseite entfernt.
1 distaler Tubulus, Pars recta
2 Macula densa
3 Arteriola glomerularis efferens
4 extraglomeruläre Mesangiumzellen
5 Capsula glomerularis (Bowman-Kapsel), Paries externus
6 Kapselraum
7 Anfang des proximalen Tubulus, Pars convoluta
8 Harnpol des Glomerulus
9 Kapillarschlingen mit Podozyten
10 Gefäßpol des Glomerulus
11 Polkissen
12 Arteriola glomerularis afferens
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Nephron. In jeder Niere gibt es 1–1,4 Millionen Nephrone. Ein Nephron besteht aus den Nierenkörperchen (**Corpuscula renalia**, ▶ **Abb. 14.28**) und den Nierenkanälchen (**Tubuli renales**), die nach Gestalt und Lage wiederum unterteilt werden (s. u.). Als **juxtamedulläre Nephrone** bezeichnet man die Nephrone in den Columae renales, also in den Bereichen zwischen den Pyramiden.

Ein Nierenkörperchen (**Corpusculum renalis**) besteht aus einem Kapillarknäuel (**Glomerulus**) und einer zellulären Kapsel (**Bowman-Kapsel** = Capsula glomerularis), welche die Gefäßschlingen umgibt. Das zu einem Glomerulus führende Blutgefäß, die Arteriola (glomerularis) afferens (s. u.) bildet innerhalb der Bowman-Kapsel 30–40 komplexe Gefäßschlingen. Die Wand dieser Gefäßschlingen besteht aus einem **fenestrierten Endothel**, das einer dicken **Basalmembran** aufliegt, die als **größenselektiver Filter** den Durchtritt von Plasmabestandteilen mit einer Molekülmasse > 70 kDa verhindert.

Das Blut, das bei der Passage durch die Gefäßschlingen kaum Sauerstoff abgegeben hat, wird über eine Arteriola (glomerularis) efferens wieder abgeführt, die das Nierenkörperchen in der Nähe

des zuführenden Gefäßes, dem **Gefäßpol**, verlässt. Zwischen beiden Gefäßen befinden sich extraglomeruläre **Mesangiumzellen**, bei den Zellen zwischen den Gefäßschlingen innerhalb eines Nierenkörperchens spricht man von intraglomerulären **Mesangiumzellen**. Letztere sind zur Phagozytose befähigt und sorgen zusammen mit den Podozyten (s. u.) für die Erneuerung der endothelialen Basalmembran.

Die **Capsula glomerularis** (Bowman-Kapsel) umgibt die Gefäßknäuel des Glomerulus mit einem inneren, **vizeralen Blatt** aus **Podozyten**[9], die dem Gefäßendothel außen aufliegen und kontinuierlich Material für die endotheliale Basalmembran synthetisieren. Sie bilden mit zahlreichen Fortsätzen einen unvollständigen Überzug der Basalmembran. Die Schlitze zwischen den Podozyten-Fortsätzen werden von einer **Schlitzmembran** verschlossen. Demnach besteht das **Harnfiltersystem** der Niere aus dem fenestrierten Endothel der Kapillarschlingen, der endothelialen Basalmembran und den daraufsitzenden Podozyten mit der Schlitzmembran.

Das äußere, **parietale Blatt**[5] der Bowman-Kapsel wird von **platten Epithelzellen** gebildet, die das Nierenkörperchen gegen das umgebende Nierenparenchym abgrenzen. Zwischen beiden Blättern liegt der **Kapselraum**[6], in den aus dem Blutplasma der Primärharn filtriert wird. Dem Gefäßpol gegenüber liegt der **Harnpol**[8], über den der Primärharn in ein **Nierenkanälchen** abgeführt wird.

Im komplexen **Röhrensystem der Nierenkanälchen** (▶ **Abb. 14.29**) wird der Primärharn durch Wasserentzug auf 1 % des ursprünglichen Volumens konzentriert und in seiner chemischen Zusammensetzung verändert. Hierzu sind die Kanälchen mit einem einschichtigen Epithel ausgestattet, das zu zahlreichen Transport- und Austauschprozessen befähigt ist. Ein Nierenkanälchen wird in folgende Abschnitte unterteilt, deren Anordnung und Lage sich zwischen juxtamedullären und rindennahen Nephronen unterscheidet (s. a. ▶ Tab. 14.8):

- proximaler Tubulus (Hauptstück),
- Intermediärtubulus (Verbindungsstück),
- distaler Tubulus,
- Verbindungstubulus (Tubulus reuniens).

Der **proximale Tubulus** (Hauptstück) beginnt am Harnpol der Nierenkörperchen und besteht aus einem gewunden (Pars convoluta proximalis) und einem gestreckten Teil (Pars recta proximalis). Außer bei den rindennahen Nephronen besteht der **Intermediärtubulus** (Verbindungsstück) aus einer Pars descendens und einer Pars ascendens. Er geht über in den **distalen Tubulus**, der wiederum aus einem gewunden (Pars convoluta distalis) und

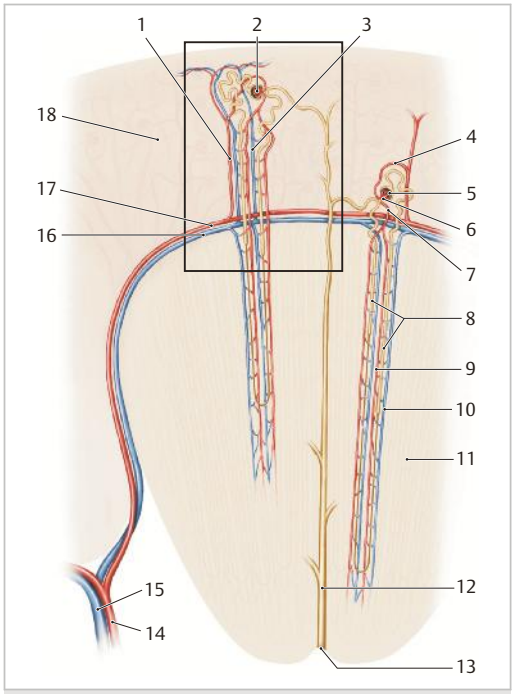


Abb. 14.29 Architektur der intrarenalen Gefäße und des Harnableitungssystems. Anschnitt einer Markpyramide.

1 A. corticalis radiata
2 subkapsuläres Nephron
3 V. corticalis radiata
4 Arteriola glomerularis afferens
5 juxtamedulläres Nephron
6 Glomerulus
7 Arteriola glomerularis efferens
8 Tubulussystem
9 Arteriola recta
10 Venula recta
11 Pyramis renalis
12 Sammelrohr
13 Papilla renalis
14 A. interlobaris
15 V. interlobaris
16 V. arcuata
17 A. arcuata
18 Cortex renalis

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 14.8 Morphologische und funktionellen Charakteristika der einzelnen Abschnitte des Tubulussystems.

Tubulusabschnitt	Bau und Funktion
proximaler Tubulus	• azidophiles, isoprismatisches Epithel mit apikalem Bürstensaum (PAS-positive Glykokalyx) und basalem Labyrinth (Mitochondrien), Zellen durch Tight Junctions verbunden • Rückresorption von u. a. Glukose, Aminosäuren, Harnsäure, Wasser (70 % des Primärharnvolumens), Natrium, Kalium, Chlorid, Phosphat
Intermediärtubulus	• flaches Epithel ohne Bürstensaum, dünner Teil der Henle-Schleife (s.u)
distaler Tubulus	• Wie proximaler Tubulus, aber ohne Bürstensaum, Natrium- und Kaliumresorption in der Pars convoluta, Furosemid sensibler Na^+-K^+-$2Cl^-$-Kotransporter in der apikalen Membran der Zellen der Pars recta.
Verbindungstubulus	• Endabschnitt des Nephrons, Epithel wie Sammelrohr
Sammelrohr	• einschichtiges Epithel aus dunklen Haupt- und hellen Schaltzellen. • Hauptzellen: Wasserrückresorption unter Kontrolle des antidiuretischen Hypothalamushormons (ADH, auch als Vasopressin oder Antidiuretin bezeichnet) durch Einbau von Wasserkanälen (Aquaporinen) in die apikale Membran • Schaltzellen: Transport von Protonen • sammelt den Urin von ca. 10 Nephronen und mündet an der Papilla renalis in das Nierenbecken

einem gestreckten Teil (Pars recta distalis) besteht. Er mündet in den **Tubulus reuniens** (Verbindungstubulus). Mehrere Verbindungstubuli münden in ein **Sammelrohr**, das dann an der Papilla renalis ins Nierenbecken mündet.

Alle gewundenen Teile des Tubulussystems liegen im Rindenlabyrinth, während die geraden Anteile einschließlich der Verbindungsstücke und Sammelrohre im Mark liegen.

Die **Henle-Schleife** ist ein gestreckter, **haarnadelförmiger** Abschnitt des **Tubulussystems**, der aus einem **zum Mark absteigenden** und **zur Rinde aufsteigenden Schenkel** besteht. Die Henle-Schleife besteht aus einem dicken und einem dünnen Teil, wobei der **dicke Teil** jeweils zur **Pars recta** des **proximalen** bzw. **distalen Tubulussystems** gehört und der **dünne Teil** identisch ist mit dem **Intermediärtubulus**. Durch die **parallele Anordnung** der beiden Schenkel wird ein **osmotischer Gradient** aufgebaut („**Gegenstromprinzip**"), der von entscheidender Bedeutung für die Wasserrückresorption und damit für die Konzentrierung des Harns ist.

Ein **Diabetes insipidus** (Wasserdurchfluss „ohne Geschmack" im Gegensatz zum „honigsüßen" Wasserdurchfluss bei Diabetes „mellitus") entsteht in Folge einer unzureichenden Wasserrückresorption im Sammelrohr. Die Patienten leiden unter einer stark erhöhten Urinausscheidung (**Polyurie**) und gesteigertem Durstgefühl. Wird der Wasserverlust nicht durch Trinken kompensiert, kommt es zu einer Akkumulation von Na^+ (hypertone Dehydratation). Bei der **zentralen Form** sezerniert der Hypothalamus nicht ausreichend Vasopressin aus dem Hypophysenhinterlappen (Ursachen: Schädel-Hirn-Trauma mit Abriss des Hypophysenstiels, Zyste, Operation, Entzündung, infiltrative Erkrankung, Blutung, Infarkt oder Tumor). Bei der seltenen **renalen Form** sind die Hauptzellen des Sammelrohrs gegenüber dem Hormon unempfindlich (z. B. durch Mutation der Gene des ADH-Rezeptors oder eines Aquaporins).

Juxtaglomerulärer Apparat. Die Niere kann systemische **Blutdruckschwankungen** autonom durch ein Zusammenwirken der 3 Komponenten des juxtaglomerulären Apparats kompensieren. Dies sind **Polkissen**, **Macula densa** und **extraglomeruläre Mesangiumzellen** (s. ▶ **Abb. 14.28**):

- **Polkissen**: Dicht vor der Aufzweigung der Arteriola afferens in die Glomerulusschlingen ersetzen **juxtaglomeruläre Myoepithelzellen** (große basophile Zellen) die glatten Muskelzellen der Tunica media. Die Myoepithelzellen können das Hormon **Renin** sezernieren, das über den **Renin-Angiotensin-Aldosteron-Mechanismus** den

Blutdruck und den **Natriumhaushalt** der Niere beeinflusst.

- **Macula densa**: Zwischen Arteriola afferens und efferens legt sich die **Pars recta** des **distalen Tubulus** dem Nierenkörperchen an. An der Kontaktstelle, der Macula densa, sind die Epithelzellen des Tubulus dünner, die Kerne scheinen dichter zusammenzuliegen. Die Macula densa misst die **Na^+-Konzentration im Tubulus**.
- **extraglomeruläre Mesangiumzellen**: Zwischen Macula densa und den zu- bzw. abführenden Blutgefäßen liegen modifizierte glatte Muskelzellen in direktem Kontakt zur **Arteriola afferens**. Diese extraglomerulären Mesangiumzellen (**Goormaghtigh-Zellen**) dienen der Regulation der **Nierendurchblutung**.

Gefäße und Nerven der Niere

Arterien. Die beiden **Aa. renales** entspringen in Höhe des 2. LWK (die rechte A. renalis in der Regel etwas tiefer) direkt aus der Bauchaorta (▶ **Abb. 14.30**). Mit einer Länge von 1–3 cm ist die linke A. renalis deutlich kürzer als die rechte (3–5 cm), die *dorsal der V. cava inferior* zur rechten Niere zieht. Am Hilum renale teilt sich die A. renalis in 5 **Segmentarterien**. Diese verzweigen sich in die **Aa. interlobares** (▶ **Abb. 14.29**[14]), die im Bereich der Columnae renales in das Nierenparenchym eintreten. Aus einer A. interlobaris gehen je 2 **Aa. arcuatae**[17] hervor, die an der Mark-Rinden-Grenze zur Mitte der Basen der jeweils benachbarten Pyramiden ziehen und mit den Aa. arcuatae der Gegenseite anastomosieren. Auf ihrem Weg dorthin geben sie die **Aa. interlobulares** (**Arteriolae corticales radiatae**[1]) ab, die zwischen 2 Markstrahlen radiär zur Rinde ziehen. Aus den Aa. corticales arcuatae entspringen die **Arteriolae glomerularis afferentiae**[4], die das Blut dem Gefäßpol der Nierenkörperchen zuführen.

Im Glomerulus bildet das Vas afferens etwa 30 Kapillarschlingen, bevor es den Glomerulus über ein etwas engeres Gefäß, die **Arteriola glomerularis efferens**[7], wieder verlässt. Da dieses Blut noch reich an Sauerstoff ist, dient es der Versorgung des Nierengewebes. Dazu bildet sich ein zweites Kapillarnetz:

- Aus den Glomeruli der Rinde gelangt das Blut aus der Arteriola glomerularis efferens direkt in ein **Kapillarsystem** zur Versorgung der Rinde,
- Aus den marknahen (juxtamedullären) Glomeruli geht die Arteriola glomerularis efferens zunächst in eine **Arteriola recta**[9] über, die senkrecht in das Nierenmark zieht und hier in ein Ka-

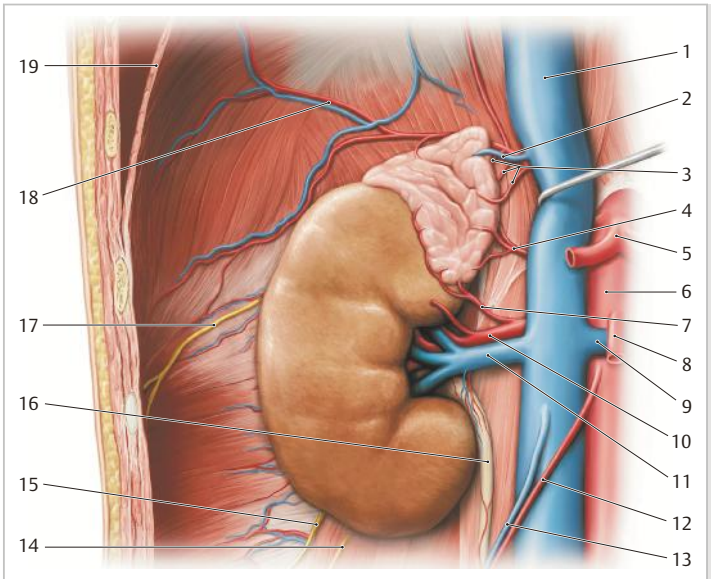


Abb. 14.30 Blutgefäße der rechten Niere und Nebenniere. Ansicht von ventral.

1 V. cava inferior
2 V. suprarenalis
3 Aa. suprarenales superiores
4 A. suprarenalis media
5 Truncus coeliacus
6 Aorta abdominalis
7 A. suprarenalis inferior
8 A. mesenterica superior
9 V. renalis sinistra
10 A. renalis dextra
11 V. renalis dextra
12 A. testicularis/ovarica dextra
13 V. testicularis/ovarica dextra
14 N. ilioinguinalis
15 N. iliohypogastricus
16 Ureter dexter
17 N. subcostalis
18 A. und V. phrenica inferior
19 Diaphragma

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

pillarsystem zur Versorgung des Nierenmarks übergeht.

Venen. Aus dem **zweiten Kapillarsystem** gelangt das Blut über 2 Wege in das venöse System:

- Das Kapillarsystem der Nierenrinde sammelt Blut in den **Vv. interlobulares** (**Vv. corticales radiatae**[3]), die ihrerseits in die **Vv. arcuatae**[16] münden.
- Das Kapillarsystem des Nierenmarks geht über in die **Venulae rectae**[10]. Diese führen das Blut zurück zur Mark-Rinden-Grenze, wo sie in eine **V. arcuata** münden.

Arteriolae und venulae rectae verlaufen im Mark also gemeinsam mit den geraden Anteilen von proximalem und distalem Tubulus. Diese spezielle Anordnung ermöglicht den Aufbau eines Gradienten für diffusible Substanzen (Gegenstromprinzip) zur Harnkonzentrierung (siehe Lehrbücher der Physiologie).

Die Vv. arcuatae, die im Gegensatz zu den gleichnamigen Arterien über die gesamte Pyramidenbasis verlaufen, münden dann in die **Vv. interlobares**. Diese nehmen auch **Vv. stellatae** – kleine sternförmige Venen unter der Capsula fibrosa – auf und vereinigen sich schließlich zu **Segmentvenen**, die wiederum durch Zusammenfluss die **V. renalis** bilden. Die V. renalis tritt am Hilum aus und mündet in die **V. cava inferior**.

Wie bei den Nierenarterien gibt es auch bei den Venen Seitenunterschiede: Die **linke V. renalis** zieht **vor** der **Aorta** und unmittelbar **unterhalb** des Abgangs der **A. mesenterica superior** zur V. cava inferior. Die linke V. renalis wird also von beiden Arterien „eingeklemmt" (sonographisch „Nussknacker"). Die rechte V. renalis ist nur 1–2 cm lang und verläuft etwas ventral und kaudal der A. renalis dextra.

Die **Lymphgefäße** entstammen der Nierenkapsel und dem Sinus renalis. Sie ziehen zu den **Nodi lymphoidei lumbales** entlang der V. cava inferior bzw. der Aorta abdominalis, die mit den **Trunci lumbales** verbunden sind.

Innervation (▶ **Abb. 14.31**). Die **sympathischen** postsynaptischen Fasern stammen aus den **Ganglia aorticorenalia**[4] und den **Ganglia renalia**[7]. Sie ziehen zusammen im **Plexus renalis**[8], einem Teil des Plexus coeliacus, in der Wand der A. renalis zum Nierenhilum und wirken **vasokonstriktorisch**. Ob die Niere **parasympathisch** innerviert wird, ist umstritten.

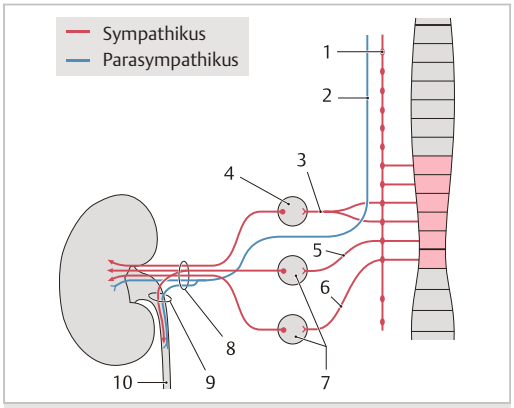


Abb. 14.31 Vegetative Innervation der Niere und des nierennahen Abschnitts des Ureters.
1 Truncus sympathicus
2 Truncus vagalis posterior
3 N. splanchnicus minor (Th 10–11)
4 Ganglion aorticorenale
5 N. splanchnicus imus (Th 12)
6 N. splanchnicus lumbalis 1
7 Ganglia renalia
8 Plexus renalis
9 Plexus uretericus
10 Ureter (Pars abdominalis, nierennaher Abschnitt)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

14.3.2 Ableitende Harnwege

Zu den ableitenden Harnwegen werden **Nierenbecken**, **Harnleiter**, **Harnblase** und **Harnröhre** gezählt. In diesen Hohlorganen wird der Endharn transportiert bzw. bis zur Ausscheidung zwischengelagert, ohne dass sich seine Zusammensetzung ändert. Von den Papillenspitzen des Nierenparenchyms gelangt der Harn in das Nierenbecken (**Pelvis renalis**). Auf der Dorsalseite des Hilums tritt das Nierenbecken aus dem Sinus renalis aus und setzt sich in den Harnleiter (**Ureter**) fort. Dieses leicht abgeplattete muskuläre Röhrchen verläuft an der rückseitigen Bauchwand **retroperitoneal** zur subperitoneal gelegenen **Harnblase**. Charakteristisch für die ableitenden Harnwege ist die Auskleidung mit Übergangsepithel, einen spezialisierten Epithel, das die darunterliegenden Schichten vor den Wirkungen des Harns schützt.

Form und Lage von Nierenbecken und Ureter

Das **Nierenbecken** (s. ▶ **Abb. 14.27**) hat ein Volumen von 3–8 ml. Es liegt eingebettet in Fett- und Bindegewebe mit glatten Muskelzügen im **Sinus renalis** und hat die Form eines trichterförmigen Schlauches. Ihm sitzen in Richtung der Nierenpapillen 7–12 ebenfalls trichterförmige **Nierenkelche** (**Calices renales**) auf, die mit den Papillae renales verwachsen sind und den Endharn auffangen. Wie das Nierenbecken individuell gestaltet ist, ist genetisch festgelegt – man unterscheidet 2 verschiedene Formen:

- beim **dendritischen Typ** ist das eigentliche Nierenbecken eng, die Nierenkelche sind lang und verzweigt,
- beim **ampullären Typ** ist das Nierenbecken weit mit kurzen, unverzweigten Kelchen.

Der Harn gelangt zunächst in kleinen Portionen in die **Nierenkelche**. Die Kontraktion der **glatten Muskulatur** transportiert den Urin von den Kelchen in den unverzweigten Teil des **Nierenbeckens**. Von dort wird der Urin schubweise in den proximalen Teil des **Harnleiters** gepresst. Nierenkelche und unverzweigter Teil des Nierenbeckens sind also **wechselweise** geleert bzw. gefüllt.

Der Harnleiter (**Ureter**, s. ▶ **Abb. 14.27**) ist eine abgeplattete Röhre von 4–7 mm Durchmesser und einer Länge von 24–31 cm. Über den gesamten Verlauf liegt der Ureter **primär retroperitoneal** an der hinteren Bauchwand. Man unterscheidet die kraniale, lange *Pars abdominalis* und die kaudal im kleinen Becken liegende kurze *Pars pelvica*.

Die **Pars abdominalis**, die am Nierenbecken beginnt, verläuft etwa parallel zu den Processus costales der Lendenwirbel schräg über die Psoasfaszie hinweg nach kaudal. An der **Linea terminalis** des Beckens beginnt die **Pars pelvica**. Der Ureterverlauf folgt der Wand des kleinen Beckens. Er biegt nach medial und gelangt von oben, dorsal zum **Fundus** der **Harnblase**. Auf diesem Weg **kreuzt** der Ureter 3 Gefäße. Er verläuft:

- dorsal der Vasa testicularia /ovarica,
- ventral der A. iliaca rechts bzw. der A. und V. iliaca communis an deren Teilungsstelle links,
- dorsal des Ductus deferens beim Mann bzw. der A. uterina bei der Frau.

Da der Ureter bei der Frau lateral und etwas ventral am Scheidengewölbe vorbei zur Harnblase gelangt, können **Uretersteine** mitunter durch die vordere Scheidenwand getastet werden.

Am **Fundus** der **Harnblase** durchbohren die Ureteren im Abstand von etwa 4–5 cm schräg von lateral, oben und dorsal nach medial unten und vorne (wie die Hände in den Hosentaschen) die Wand der Harnblase. Die **intramurale Strecke** von etwa 2 cm ist besonders eng. Sie münden schlitzförmig am **Ostium ureteris**, das von glatter Muskulatur umschlossen ist, um einen Reflux von Harn in den Ureter zur verhindern.

Bei einem **unzureichenden Verschluss der Uretermündung** kann es zu einem **Rückfluss** von Harn mit einer aufsteigenden bakteriellen Infektion des Nierenbeckens (**Pyelitis**) kommen. Greift diese Infektion auch auf das Nierenparenchym über, spricht man von **Pyelonephritis**.

Man unterscheidet **3 physiologische Engstellen** des Ureters:

- Die 1. Engstelle befindet sich am **Übergang** des Nierenbeckens zum Ureter.
- Die 2. Engstelle entsteht durch die **Überkreuzung** der A. iliaca externa bzw. communis.
- Der Durchtritt durch die **Wand der Harnblase** bildet die 3. Engstelle.

Gelegentlich wird auch die Unterkreuzung der A. testicularis/ovarica als 4. Engstelle genannt.

In den Nierenkelchen und im Nierenbecken können durch **Auskristallisation** von im Harn gelösten Substanzen **Steine** entstehen. Diese Steine gelangen mit dem Harnfluss in den Ureter (**Uretersteine**). Können diese Steine die Engstellen des Harnleiters nicht passieren, kommt es zu einer lokalen Reizung der Ureterwand. Dies führt zu **Kontraktionen** der **glatten Muskulatur**, die den Stein Richtung Harnblase austreiben sollen. Für den betroffenen Patienten ist dies sehr schmerzhaft („**Nierenkolik**"). Man versucht den Schmerz zu

lindern (Schmerzmittel, Medikamente zur Entspannung der glatten Muskulatur) und den Stein „auszuspülen“, mechanisch mit einer Schlinge zu entfernen oder durch Stoßwellen zu zertrümmern. Wenn ein Stein den gesamten Urinabfluss einer Niere blockiert, kommt es zu einem Rückstau des Urins in das Nierenbecken und das Sammelrohrsystem (**Harnstau**). Um eine Schädigung des Nierenparenchyms zu vermeiden, muss ein Harnstau sofort behandelt werden.

Feinbau und Funktion des Nierenbeckens und des Ureters

Nierenbecken und Ureter sind mit einem charakteristischen Übergangsepithel (**Urothel**) ausgekleidet, welches das darunterliegende Gewebe vor dem Einfluss des Harns schützt.

Das **Urothel** (Übergangsepithel) wird von etwa 6 Zellreihen gebildet, die je nach Wandspannung an Höhe und Anzahl abnehmen können. Zum Schutz vor den osmotischen und chemischen Einflüssen des Harns ist die **Glykokalyx** der Zellen der obersten Schicht stark ausgebildet. Außerdem haben diese Zellen in ihrem luminalen Zytoplasma dichte Filamentbündel, die zusammen mit der Plasmamembran lichtmikroskopisch als **Crusta** erscheinen. Zahlreiche **Tight Junctions** sorgen für einen dichten Verschluss des Extrazellularraums gegen den Harn.

Das **Nierenbecken** ist von einem charakteristischen Übergangsepithel (**Urothel**) ausgkleidet, das die darunterliegende **Lamina propria** und eine Schicht spiralig angeordneter glatter Muskelzellen vor einer Schädigung durch den Harn schützt. An den Papillen ist das Epithel hochprismatisch. Die Züge glatter Muskulatur sind an den Übergangsstellen zwischen Nierenkelchen und Nierenbecken und am Abgang des Ureters **sphinkterartig** verstärkt. Die koordinierte Kontraktion dieser „Sphinkteren“ bewirkt den portionsweisen Transport des Harns in den Ureter.

Die Wand des **Ureters** ist dreischichtig. Die hohe **Tunica mucosa** besteht aus **Übergangsepithel**, gefolgt von einer aus lockerem Bindegewebe bestehenden, kapillarisierten **Lamina propria**. Längs verlaufende **Schleimhautfalten** der Tunica mucosa – insbesondere der Lamina propria – verursachen den sternförmigen Querschnitt des Ureterlumens.

Auf die Tunica mucosa folgt eine kräftige **Tunica muscularis** aus spiralig angeordneten **glatten Muskelzellen**. Die Verlaufsrichtung der Muskelzellen ist variabel, ebenso der Steigungswinkel. Im Verlauf entsteht so eine in unterschiedlichen Höhen wechselnd ausgeprägte **innere** und **äußere Längsmuskelschicht**, die eine kräftige **mittlere Ringmuskelschicht** einschließt. Nach außen folgt eine eine bindegewebige **Tunica adventitia**, die der Verankerung in das Bindegewebe des Retroperitonealraums dient.

Gefäße und Nerven des Nierenbeckens und des Ureters

Arterien. Das **Nierenbecken** wird von Ästen der **A. renalis** versorgt. Der Versorgung des **Ureters** dienen aufgrund seiner Länge unterschiedliche Gefäße. Die obere Etage wird ebenso wie das Nierenbecken aus **Rr. ureterici** der **A. renalis** durchblutet, der mittlere Bereich aus der **A. testicularis** bzw. **ovarica** und die untere Etage aus der **A. ductus deferentis** bzw. **uterina** und der **A. vesicalis inferior**.

Venen. Der venöse Abfluss verläuft über die gleichnamigen Venen.

Lymphgefäße. Die Lymphe fließt über Gefäße ab, die mit den benachbarten Blutgefäßen ziehen. Die Lymphe der **Pars abdominalis** wird über die **Nodi lymphoidei lumbales** an die Nodi lymphoidei cavales und aortici laterales weitergeleitet. Die Lymphe der **Pars pelvica** wird in die **Nodi lymphoidei iliaci communes** und **externi** drainiert.

Innervation (s. ▶ **Abb. 14.31**, ▶ **Abb. 14.32**). Postganglionäre **sympathische** Fasern stammen aus den Ganglia aortorenalia und dem Plexus hypogastricus superior. Sie hemmen die Ureterperistaltik.

Die **parasympathische** Innervation erfolgt aus den Nn. splanchnici pelvici (S 2–4) und im oberen Teil aus Fasern des N. vagus. Der Parasympathicus fördert die Peristaltik der Uretermuskulatur.

Sensible Fasern verlaufen mit den Nn. splanchnici pelvici ins Rückenmark.

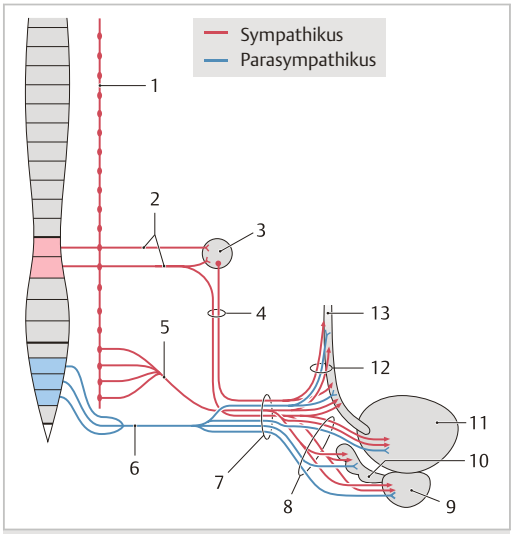


Abb. 14.32 Vegetative Innervation der Harnblase und des unteren Abschnitts des Ureters.
1 Truncus sympathicus
2 Nn. splanchnici lumbales (L 1–2)
3 Ganglion mesentericum inferius
4 Plexus hypogastricus superior
5 Nn. splanchnici sacrales
6 Nn. splanchnici pelvici (S 2–4)
7 Plexus hypogastricus inferior
8 Plexus vesicalis
9 Prostata
10 Glandula vesiculosa
11 Vesica urinaria
12 Plexus uretericus
13 Ureter (Pars abdominalis und Pars pelvica)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

14.3.3 Nebenniere

Die **Nebennieren** (Glandula suprarenalis) sitzen jeweils dem **oberen Nierenpol** auf. Es handelt sich um ein zusammengesetztes, **endokrines Organ**, bei dem 2 entwicklungsgeschichtlich verschiedene Anteile verschmolzen sind. Man unterscheidet die **Nebennierenrinde**, die sich vom embryonalen Zölomepithel herleitet, und das **Nebennierenmark**, das von der Neuralleiste abstammt. Die Nebenniere gibt **Steroidhormone** sowie die Hormone **Adrenalin** und **Noradrenalin** ins Blut ab.

Die **Nebennierenrinde** macht etwa 80–90 % des Organs aus. Sie sezerniert **Glukokortikoide** (u. a. Kortison und Kortisol), die auf den Glukose-, Protein-, und Lipidstoffwechsel wirken, **Mineralokortikoide** (v. a. Aldosteron) zur Regulation des Wasser- und Na^+/K^+-Haushalts sowie **Androgene** (männliche Geschlechtshormone), die die Sexualfunktionen beeinflussen.

Das **Nebennierenmark** (Medulla) sezerniert die Katecholamine **Adrenalin** und **Noradrenalin** ins Blut, die in ihrer Wirkung einer systemischen Aktivierung des sympathischen Nervensystems entsprechen.

Form und Lage der Nebenniere

Die Nebenniere wiegt zwischen 5–15 g. Länge und Breite betragen 4–6 cm bei einer Dicke von nur 1–2 cm. Die flache, von einer zarten **bindegewebigen Kapsel** umgebene Nebenniere sitzt dem **oberen Nierenpol** (▶ **Abb. 14.30**) medial wie eine Kappe auf und ist von der **Capsula adiposa** der Niere umgeben. Damit befindet sie sich also innerhalb der Faszienumhüllung der Niere.

Die **rechte Nebenniere** ist annähernd **dreieckig**. Sie passt sich in den Winkel zwischen Niere, V. cava inferior und Area nuda der Leber ein. Direkt medial der rechten Nebenniere zieht also die V. cava inferior vorbei.

Die **linke Nebenniere** hat die Form eines **Halbmondes**. Sie reicht bis zum medialen Nierenrand. Ihre Vorderfläche (**Facies anterior**) liegt unmittelbar dorsal der **Bursa omentalis**.

Die Hinterseite (**Facies posterior**) liegt der **Pars lumbalis** des **Zwerchfells** an. Hier befindet sich ein **Hilum**, durch das **Venen** und **Lymphgefäße** aus dem Organ austreten. **Arterien** und **Nerven** treten über die **gesamte Oberfläche** in das Organ ein. Die der Niere aufliegende Seite wird **Facies renalis** genannt.

Die Nebenniere projiziert sich etwa auf den Hals der 11. Rippe, wobei die rechte Nebenniere (wie die rechte Niere) etwas weiter kaudal liegt, also auf Höhe des 12. BWK.

Feinbau und Funktion der Nebenniere

An einem Schnitt durch ein nicht fixiertes Präparat erscheint die Rinde gelblich. Sie macht etwa 80–90 % des Organs aus und umgibt das rote Mark von allen Seiten. Aufgrund der unterschiedlichen Her-

kunft unterscheidet sich der Aufbau beider Teile stark voneinander.

Die **Nebennierenrinde** besteht aus Strängen und Nestern von **Epithelzellen**, die von der Oberfläche ausgehen und von Bindegewebe, Blutgefäßen und Nerven begleitet werden. Die Zellstränge ziehen annähernd radiär ins Innere des Organs. Beim Erwachsenen unterscheidet man je nach bevorzugter Anordnung der Epithelzellen von außen nach innen 3 Zonen: **Zona glomerulosa, Zona fasciculata, Zona reticularis**.

In der schmalen **Zona glomerulosa** liegen die Zellen vorwiegend in **Nestern** angeordnet. Man vermutet, dass sich die Nebennierenrinde aus diesen Zellen erneuern kann. In der Zona glomerulosa werden unter dem Einfluss des Renin-Angiotensin-Systems vorwiegend **Mineralokortikoide** sezerniert.

In der breiten **Zona fasciculata** sind die Epithelzellen zu **Strängen** angeordnet. In den Zellen sind Lipidtropfen sichtbar, die der Rinde die gelbe Farbe verleihen und das Ausgangsmaterial für die Synthese von **Steroidhormonen** darstellen.

In der **Zona reticularis** sind die Zellen **netzartig** angeordnet. Sie enthalten mit dem Alter zunehmend **Pigmentgranula** (Lipofuszin).

Zona fasciculata und **reticularis** produzieren unter der Kontrolle des adrenokortikotropen Hormons (**ACTH**) des Hypophysenvorderlappens vorwiegend **Glukokortikoide** und die **anabolen Androgene** Dehydroepiandrosteron und Androstendion. ACTH fördert die Sekretion dieser Nebennierenrindenhormone, die ihrerseits im Sinne einer **negativen Rückkopplung** über den Hypothalamus die ACTH-Sekretion hemmen.

Eine Überfunktion der Nebennierenrinde, die mit einer Erhöhung der Kortikoidsekretion einhergeht, führt zu einem **Cushing-Syndrom**. Bei den betroffenen Patienten beobachtet man eine Umverteilung des Körperfetts (Stammfettsucht, Vollmondgesicht, Stiernacken), einen erhöhten Blutzucker (Steroid-Diabetes), Osteoporose und Bluthochdruck. Das Syndrom tritt auch bei **ACTH-produzierenden Adenomen** des Hypophysenvorderlappens und als Folge einer hochdosierten **Steroidtherapie** auf.

Eine Unterfunktion bzw. Insuffizienz der Nebennierenrinde wird **Morbus Addison** genannt. Die Erkrankung geht mit **Blutdruckabfall**, **Hypoglykämie** und lebensbedrohlichen **Elektrolytstörungen** einher. Die **Haut** der betroffenen Patienten verfärbt sich **bräunlich**, lebenslang müssen Steroidhormone substituiert werden.

Das **Nebennierenmark** besteht aus **spezifischen Markzellen**, polygonalen Zellen, die in Nestern angeordnet sind. Ungefärbt erscheinen die spezifischen Markzellen grau, weshalb sie auch **phäochrome Zellen** genannt werden. Gebräuchlicher ist jedoch der Name **chromaffine Zellen**, da der Inhalt der Vesikel mit Chromsalzen gut anfärbbar ist. Man unterscheidet **A-Zellen** (80 %), die Adrenalin produzieren, von **N-Zellen** (20 %), die Noradrenalin bilden. Außerdem kommen **multipolare Ganglienzellen** vor. An diesen – wie auch an den spezifischen Markzellen – enden **präganglionäre Fasern** aus dem **N. splanchnicus major** und **minor**.

Ein **Tumor des Nebennierenmarks**, der von chromaffinen Zellen ausgeht, wird **Phäochromozytom** genannt. Bei dieser seltenen Erkrankung kommt es zu ausgeprägten **hypertensiven Krisen**, die auf eine erhöhte Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin zurückzuführen sind. Der Tumor kann sonografisch und durch die **erhöhte Konzentration** von **Vanillinmandelsäure**, einem Metaboliten von Adrenalin und Noradrenalin, im Harn nachgewiesen werden.

Gefäße und Nerven der Nebenniere

Arterien (s. ▶ **Abb. 14.30**). Die Nebenniere wird versorgt von:

- **A. suprarenalis superior** aus der A. phrenica inferior,
- **A. suprarenalis media** aus der Aorta abdominalis,
- **A. suprarenalis inferior** aus der A. renalis.

Venen. Zu Sinus erweiterte Venen mit starken Muskelpolstern (**Drosselvenen**) vereinigen sich zur **V. suprarenalis**, die am Hilum auf der Dorsalseite durch die Organkapsel tritt. Die **V. suprarenalis dextra** mündet direkt in die **V. cava inferior**, während die **V. suprarenalis sinistra** in die **V. renalis sinistra** eintritt.

Lymphgefäße. Die Lymphe aus den Nebennieren fließt über die **Nodi lymphoidei aortici laterales** (links) bzw. **cavales laterales** (rechts) ab.

Innervation (s. ▶ **Abb. 14.31**). Die präganglionären **sympathischen** Fasern entstammen den **Nn. splanchnicus major** und **minor**. Sie durchlaufen ohne Umschaltung das **Ganglion coeliacum** und erreichen die Nebennieren über die **Plexus renalis** und **suprarenalis**. Der Sympathicus wirkt durch seine cholinerge Innervation **vasokonstriktorisch** auf die Gefäße der Nebenniere und **stimuliert** die Freisetzung von **Adrenalin** und **Noradrenalin** ins Blut.

Parasympathische Fasern stammen aus dem **Truncus vagalis posterior**. Die Wirkung der nur schwach ausgebildeten parasympathischen Innervation ist nicht geklärt.

15 Beckeneingeweide und äußere Geschlechtsorgane

Andreas Winkelmann

15.1 Räume des kleinen Beckens

Das kleine Becken beherbergt die **Harnblase**, das **Rectum** und die **inneren Geschlechtsorgane** (mit Ausnahme der Hoden) sowie die zugehörigen Leitungsbahnen. Hinzu kommen durchziehende Leitungsbahnen für die untere Extremität. Vom Bauchraum aus setzen sich sowohl die **Peritonealhöhle** als auch der **Retroperitonealraum** in das kleine Becken fort. Durch den trichterförmigen Einbau desfibromuskulären **Beckenbodens** entsteht ein zusätzlicher Raum, der noch innerhalb des knöchernen kleinen Beckens liegt, aber schon unterhalb des Beckenbodens: die **Fossa ischioanalis**. So entsteht eine für das Verständnis der Beckenorgane wichtige **Etagengliederung**. Kaudal schließen sich außerhalb des Beckenkanals die **Dammregion** und das **äußere Genitale** an.

15.1.1 Gliederung von Beckenraum und Dammregion

Das knöcherne kleine Becken und der davon begrenzte „Beckenkanal" werden im Kapitel Becken (S. 125) beschrieben. Zur inneren Wandauskleidung dieses Kanals tragen zwei Muskeln bei:

- Der **M. piriformis** (S. 139) bedeckt die Innenfläche des Kreuzbeins und zieht nach lateral durch das Foramen ischiadicum majus aus dem Becken hinaus, um am Trochanter major anzusetzen.
- Der **M. obturatorius internus** entspringt von der Innenseite von Scham- und Sitzbein und der Membrana obturatoria und läuft durch das Foramen ischiadicum minus, wo er rechtwinklig abbiegt, um zur Fossa trochanterica des Femur zu ziehen. Der Muskel bedeckt damit große Teile der Vorderseitenwand des kleinen Beckens.

Beide genannten Muskeln werden jeweils von Faszien bedeckt.

Der Innenraum dieses von Muskeln und Faszien ausgekleideten Kanals wird durch das Peritoneum (S. 53) und den trichterförmigen Beckenboden in 3

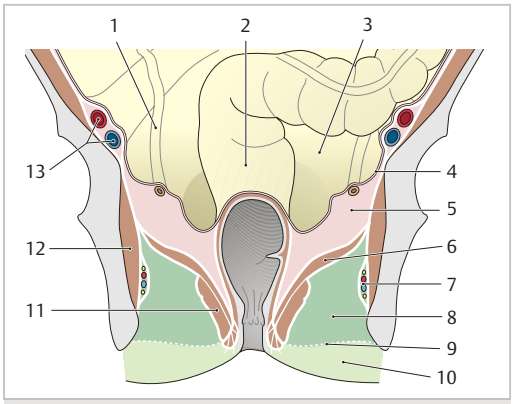


Abb. 15.1 Etagengliederung des kleinen Beckens.
Schematischer Frontalschnitt auf Höhe des Rectums.
1 Ureter
2 Rectum
3 Peritonealhöhle
4 Peritoneum
5 subperitonealer Bindegewebsraum
6 Beckenboden (Diaphragma pelvis)
7 Canalis pudendalis mit A. und V. pudenda interna und N. pudendus
8 Fossa ischioanalis
9 Körperfaszie (in diesem Bereich schwach ausgebildet)
10 Subkutis der Dammregion
11 M. sphincter ani externus
12 M. obturatorius internus
13 A. und V. iliaca externa
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus Lern-Atlas, Thieme; 2014)

Stockwerke oder **Etagen** gegliedert (▶ **Abb. 15.1**): **Peritonealhöhle**[3], **subperitonealer Bindegewebsraum**[5] (die Fortsetzung des Retroperitonealraums) und **Fossa ischioanalis**[8]. Die Beckenorgane (Rectum, Harnblase, innere Geschlechtsorgane) liegen zum Teil intraperitoneal, zum Teil extraperitoneal („subperitoneal").

An diese 3 Stockwerke schließt sich kaudal die **Dammregion** (**Regio perinealis**) an. Dieser Bereich der Rumpfwand unterhalb des Beckenausgangs wird von Symphyse, Steißbein und den beiden Sitzbeinhöckern (Tubera ischiadica) begrenzt. Die Region muss begrifflich vom Damm im engeren Sinne (**Perineum**) abgegrenzt werden, der Gewe-

bebrücke zwischen Anus und Vagina bzw. Anus und Scrotum. Die Dammregion wird sinnvollerweise durch eine quer durch diesen eigentlichen Damm gelegte Linie in zwei Bereiche geteilt, die ventral gelegene **Regio urogenitalis** mit dem äußeren Genitale und die dorsal gelegene **Regio analis** mit dem Ausgang des Rectums.

Vor der Besprechung der einzelnen Beckenorgane muss diese Etagengliederung und die Konstruktion des Beckenbodens genauer erläutert werden. Details zum Rectum (Mastdarm) finden sich bei der Beschreibung des Colons (S. 281).

15.1.2 Peritonealhöhle des Beckens

Das **Bauchfell** (**Peritoneum**) bekleidet neben den Bauchorganen auch große Teile der Wände des kleinen Beckens und der dort liegenden Organe (▶ **Abb. 15.2**). Dieser Überzug ermöglicht eine gute Verschieblichkeit der Organe gegeneinander, wie sie durch den wechselnden Füllungszustand und die Darmbewegungen erforderlich ist. Einerseits können dadurch sowohl der Uterus in der Schwangerschaft als auch die stark gefüllte Harnblase in den Bauchraum aufsteigen, ohne die Darmbewegungen zu behindern. Andererseits kann bei geringerem Füllungszustand von Harnblase und Rectum der Platz im kleinen Becken durch herunterreichende Dünndarmschlingen oder einen Teil des Colon sigmoideum eingenommen werden.

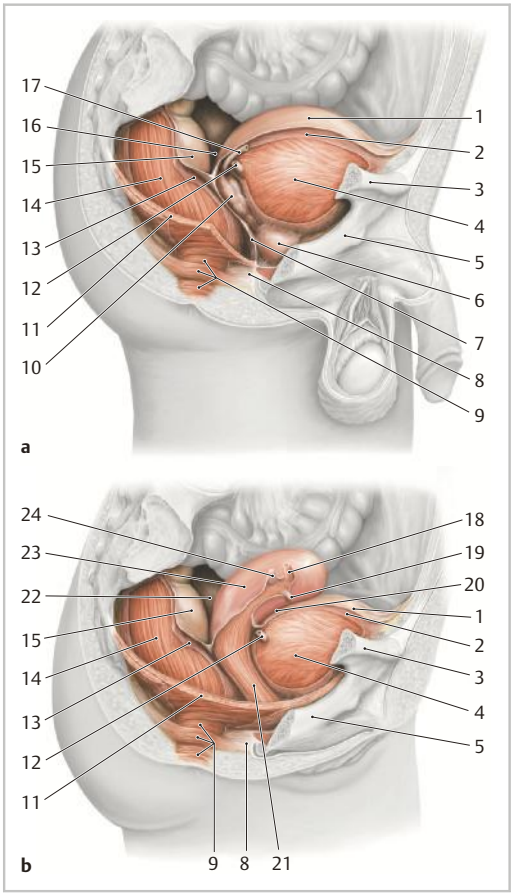


Abb. 15.2 Übersicht über die Organe des Beckens.
Anblick des eröffneten Beckens von rechts nach Wegnahme von Darm- und Sitzbein.
a Männliches, **b** weibliches Becken.
1 Peritonealüberzug der Harnblase
2 Organfaszie der Harnblase
3 R. superior ossis pubis
4 Harnblase
5 R. inferior ossis pubis
6 Prostata (beim Mann)
7 Septum rectovesicale (beim Mann)
8 Centrum perinei
9 M. sphincter ani externus
10 Glandula vesiculosa (beim Mann)
11 M. levator ani
12 Ureter dexter
13 Organfaszie des Rectums
14 Rectum
15 Peritonealüberzug des oberen Rectums
16 Excavatio rectovesicalis (beim Mann)
17 Ductus deferens (beim Mann)
18 Tuba uterina (bei der Frau)
19 Lig. teres (= rotundum) uteri (bei der Frau)
20 Excavatio vesicouterina (bei der Frau)
21 Vagina (bei der Frau)
22 Excavatio rectouterina (bei der Frau)
23 Uterus (bei der Frau)
24 Lig. ovarii proprium (bei der Frau)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das Peritoneum bedeckt im kleinen Becken bei beiden Geschlechtern das Dach der Harnblase und das Colon sigmoideum bis zum Übergang ins Rectum. Beim Mann (▶ **Abb. 15.2a**) senkt sich die Peritonealhöhle damit an ihrer tiefsten Stelle zwischen Harnblase und Rectum ein und bildet dort die **Excavatio rectovesicalis**[16]. Diese reicht an der Hinterwand der Blase ein Stück weit hinunter, erreicht aber normalerweise nicht den Blasengrund und die Prostata.

Bei der Frau (▶ **Abb. 15.2b**) überzieht das Peritoneum außerdem Eierstöcke, Eileiter und den größten Teil des Uterus. Seitlich vom Uterus entsteht so eine annähernd frontal stehende Peritonealfalte, die kranial den Eileiter enthält. Die Falte ähnelt damit in ihrer Anordnung einem Bettlaken, das über einer Wäscheleine hängt. In ihrer Gesamtheit heißt diese Peritonealfalte **Lig. latum uteri**. Ventral von Uterus und Lig. latum senkt sich die Peritonealhöhle zwischen Harnblase und Uterus ein und bildet hier die **Excavatio vesicouterina**[20], die normalerweise nicht den Gebärmutterhals (Cervix uteri) erreicht. Dorsal senkt sich die Peritonealhöhle deutlich tiefer zwischen Uterus und Rectum und bildet die **Excavatio rectouterina** (**Douglas-Raum**)[22]. Diese „Aushöhlung" bedeckt auch die Cervix uteri und reicht kaudal bis zum obersten Teil der Scheide, dem hinteren Scheidengewölbe (**Fornix vaginae**). Die Excavatio rectouterina ist bei der Frau sowohl im Stehen als auch im Liegen der tiefste Punkt der Peritonealhöhle.



Pathologische Flüssigkeiten in der Peritonealhöhle (Blut, Aszites, entzündliches Sekret) sammeln sich daher zunächst im Douglas-Raum an. Dort können auch kleine Mengen sonografisch nachgewiesen werden. Durch die Nähe von hinterem Scheidengewölbe und Douglas-Raum besteht ein möglicher transvaginaler Zugangsweg zur Bauchhöhle für chirurgische Eingriffe an den Bauchorganen (NOS = Natural Orifice Surgery).

15.1.3 Subperitonealer Bindegewebsraum

Zwischen Peritonealraum und Beckenboden liegt ein Bindegewebsraum, der die Fortsetzung des Retroperitonealraums der Bauchhöhle darstellt. Da er im Becken größtenteils kaudal der Peritonealhöhle liegt, wird er **subperitonealer Raum** genannt (▶ **Abb. 15.1**[5]). In diesem Raum liegen in der Mitte hintereinander aufgereiht die Organe des kleinen Beckens, soweit sie nicht in die Peritonealhöhle hineinragen, also ventral die Harnblase und die Harnröhre, dann beim Mann die Prostata und die Bläschendrüsen, bei der Frau die Vagina und die Cervix uteri, und schließlich dorsal das Rectum (s. ▶ **Abb. 15.2**).

Lateral der Organe befinden sich auf beiden Seiten Abschnitte des subperitonealen Bindegewebsraums, die je nach dem anliegenden Organ benannt werden: **Parazystium** neben der Harnblase (und der Prostata), **Parakolpium** neben der Vagina, **Parametrium** neben dem Uterus, **Paraproktium** neben dem Rectum. Sie enthalten lockeres Bindegewebe, durch das die Leitungsbahnen ziehen, um von lateral an die Organe heranzutreten. In Fortsetzung des Retroperitonealraums läuft hier außerdem der Harnleiter in Richtung Harnblase. Die Äste der A. und V. iliaca interna verzweigen sich durch diese Bindegewebsräume im gesamten kleinen Becken. Seitlich der Beckenorgane finden sich ausgedehnte Venengeflechte, die offenbar eine gewisse Polsterfunktion haben. Außerdem beherbergt der subperitoneale Bindegewebsraum ausgeprägte vegetative Nervengeflechte. Schließlich finden sich insbesondere kaudal in diesen Räumen Bindegewebsverdichtungen und Muskelzüge, die der Befestigung der Organe dienen. Diese werden bei den einzelnen Organen, insbesondere beim Halteapparat des Uterus (S. 333), ausführlicher beschrieben.

Über spezielle Durchtrittsstellen bestehen Verbindungen des Subperitonealraums zu benachbarten Regionen: über den **Canalis obturatorius** zum Oberschenkel, über das **Foramen ischiadicum majus** zur Gesäßregion und in die Fossa ischioanalis. Außerdem besteht eine kleine Lücke unterhalb der Symphyse, die einer Vene vom äußeren Genitale Durchschlupf ins Beckeninnere gewährt (V. dorsalis profunda clitoridis bzw. penis). Einige vegetative Nerven ziehen auch direkt durch die Beckenbodenmuskulatur zum äußeren Genitale.

Fossa ischioanalis. Die Etagengliederung des kleinen Beckens setzt sich unterhalb des Beckenbodens auf beiden Seiten mit der **Fossa ischioanalis** fort. Die genauere Topografie der Fossa ischioanalis (S. 319) wird erst nach der Besprechung des Beckenbodens verständlich.

15.1.4 Beckenboden und Dammregion

Der Beckenboden ist der Verschluss des Beckenausgangs und damit auch der untere Abschluss der Bauch- und Beckenhöhle. Er besteht aus Muskel- und Bindegewebsschichten, die das knöcherne kleine Becken nicht einfach als Platte kaudal verschließen, sondern die trichterförmig in den Beckenkanal eingehängt sind (▶ **Abb. 15.1**[6]). Der Beckenboden spielt eine entscheidende Rolle bei der **Lagesicherung der Beckeneingeweide** und bei den **Verschlussmechanismen** von Harnblase und Rectum. Gleichzeitig ist der weibliche Beckenboden aber auch so gebaut, dass er unter der Geburt das Kind hindurchtreten lassen kann.

Durch die Kippung des Beckens und die Krümmung des Beckenkanals in sagittaler Richtung liegt die Hauptlast der Baucheingeweide nicht direkt auf dem Beckenboden, sondern neben den Darmbeinschaufeln vor allem auf der Symphyse. Trotzdem haben die Beckeneingeweide bei aufrechter Körperhaltung den Drang, aus dem Becken nach unten auszutreten, und müssen „gehalten" werden. Um diesem Druck standzuhalten, steht die Muskulatur des Beckenbodens unter einer **Daueranspannung**, die z. B. bei einem Hustenstoß, aber auch bei jeder Einatmung noch verstärkt wird. Auch bei einer Erhöhung des intraabdominalen Drucks aus anderen Gründen, z. B. beim Heben schwerer Lasten, wird die Spannung im Beckenboden reflektorisch erhöht. Nur bei der Entleerung von Harnblase und Rectum sowie unter der Geburt entspannt sich die Beckenbodenmuskulatur.

Übersicht über die Schichten. Der Aufbau des Beckenbodens und der kaudal davon liegenden Dammregion lässt sich am besten durch eine Gliederung in vier Schichten verstehen. Von kranial nach kaudal ist die erste Schicht das muskuläre **Diaphragma pelvis**. Es folgt die **Membrana perinei** (Diaphragma urogenitale) mit den tiefen Dammmuskeln. In der kaudal (also oberflächlicher) folgenden dritten Schicht, die nicht mehr zum eigentlichen Beckenboden gehört, liegen die **oberflächlichen Dammmuskeln** und der äußere Schließmuskel des Anus. Oberflächlich folgen als vierte Schicht die **Subkutis** und die Haut der Dammregion (Regio perinealis).

Diaphragma pelvis (▶ Abb. 15.3)

Der funktionell wichtigste Teil des Beckenbodens, die erste (kraniale) Schicht, ist das **Diaphragma pelvis**. Es wird in der Hauptmasse vom **M. levator ani**[2, 4, 5] gebildet und dorsal vom kleineren **M. ischiococcygeus**[7] ergänzt. Der M. levator ani entspricht einem breiten „V", dessen Schenkel vorn vom Schambein entspringen und dessen Spitze zum Steißbein weist. Der Muskel lässt dadurch ventral hinter der Symphyse einen schmalen, annähernd dreieckigen Durchgang frei, der *Levatorspalt* oder *Levatortor*[20] genannt wird. Dieser Spalt teilt sich in den vorderen *Hiatus urogenitalis* für den Durchtritt von Urethra und Vagina und den hinteren *Hiatus analis* für den Durchtritt des Rectums.



Bei der **vaginalen Untersuchung** sind die medialen Muskelränder des M. levator ani als „Levatorschenkel" tastbar.

Die Fasern des **M. levator ani** entspringen von der dorsalen Fläche des Os pubis und von der Faszie des M. obturatorius internus, und zwar von einer Linie, die von der Mitte der Symphyse zur Spina ischiadica verläuft. Der Ursprung des Muskels an der Faszie des M. obturatorius internus bildet einen Sehnenbogen, den *Arcus tendineus m. levatoris ani*[15]. Die Muskelfasern ziehen von hier nach dorsal und setzen in der Mittellinie entweder an den durchtretenden Organen, am *Centrum perinei*[3] oder am Lig. anococcygeum und am Steißbein an. Außerdem strahlen Teile des M. levator ani auch in den M. sphincter ani externus ein. Das *Centrum perinei*[3] (auch: Corpus perineale) ist ein fibromuskuläres Areal zwischen Anus und Vagina bei der Frau bzw. Anus und Urethra beim Mann, das durch die Verwebung mehrerer Muskelansätze entsteht. Dorsal folgt dem *M. levator ani* der **M. ischiococcygeus** (= **M. coccygeus**[7]), der parallel zum Lig. sacrospinale von der Spina ischiadica zum Steißbein verläuft und das Diaphragma pelvis vervollständigt.

Der häufig verwendete Begriff „Centrum *tendineum* perinei" ist irreführend, da es sich nicht (wie beim Centrum tendineum des Zwerchfells) um eine echte Sehnenplatte handelt.

Am **M. levator ani** können 3 Anteile unterschieden werden:

- M. puborectalis[2]
- M. pubococcygeus[4]
- M. iliococcygeus[5]

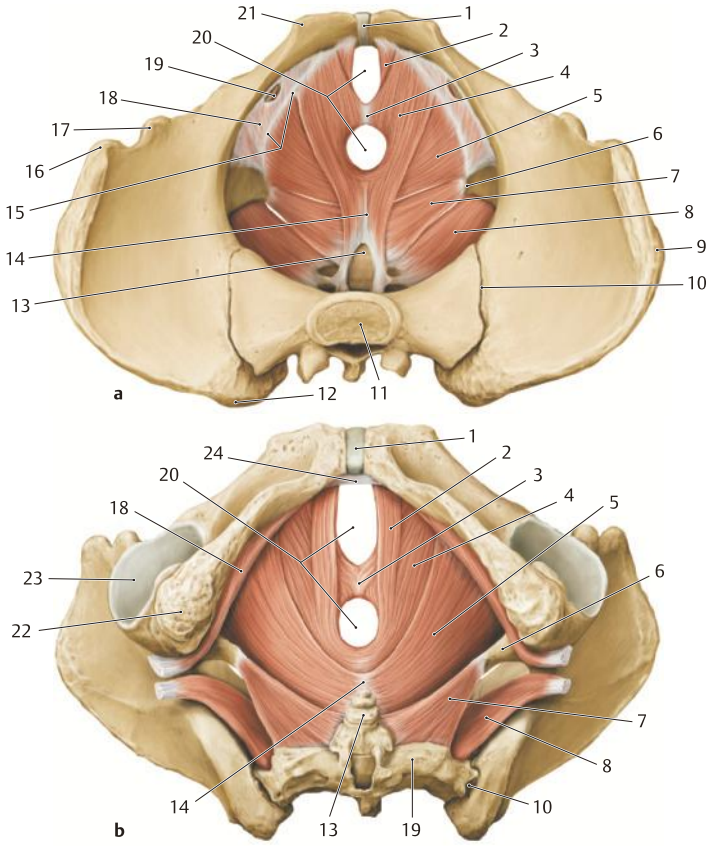


Abb. 15.3 Becken und Beckenboden der Frau. a Anblick von kranial, **b** Anblick von kaudal. Vgl. ▶ **Abb. 15.2** und ▶ **Abb. 15.12**, in denen die Trichterform des Beckenbodens deutlicher wird als in diesen Ansichten.

1 Symphysis pubica
2 M. puborectalis (des M. levator ani)
3 Centrum perinei mit einstrahlendem M. puboperinealis (Teil des M. pubococcygeus)
4 M. pubococcygeus (des M. levator ani)
5 M. iliococcygeus (des M. levator ani)
6 Spina ischiadica
7 M. (ischio-)coccygeus
8 M. piriformis
9 Crista iliaca
10 Articulatio sacroiliaca
11 Os sacrum
12 Spina iliaca post. sup.
13 Os coccygis
14 Raphe anococcygea
15 Arcus tendineus m. levatoris ani
16 Spina iliaca ant. sup.
17 Spina iliaca ant. inf.
18 M. obturatorius internus (kranial mit Fascia obturatoria)
19 Canalis obturatorius
20 Levatortor (Hiatus urogenitalis und Hiatus analis)
21 Tuberculum pubicum
22 Tuber ischiadicum
23 Acetabulum
24 Lig. arcuatum pubis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Medial und kaudal liegt der **M. puborectalis**, der vom Schambein lateral der Symphyse entspringt und mit dem gleichen Muskel der Gegenseite eine Schlinge dorsal um den Anus bildet.

Kranial davon liegt der breitere **M. pubococcygeus**. Seine kürzeren, medial liegenden Fasern überkreuzen den M. puborectalis kranial und ziehen zum Centrum perinei (M. puboperinealis) und

zum Anus (M. puboanalis). Die medialen Fasern liegen bei der Frau der Vagina eng an, scheinen aber an den Wänden von Vagina und Urethra nicht direkt anzusetzen. Beim Mann bestehen direkte Verbindungen zur Prostata (M. puboprostaticus). Die Gesamtheit der Fasern, die vom Os pubis zu den Organen in der Mittellinie ziehen (inklusive M. puborectalis), wird auch **M. puboviscerali**s genannt. Längere Fasern des M. pubococcygeus ziehen kranial und lateral von den anderen Anteilen zum Steißbein. Weiter lateral folgt schließlich der dünne **M. iliococcygeus**, der am Steißbein und am Lig. anococcygeum ansetzt.

Bei Vierbeinern dienen diese Beckenbodenmuskeln zum Bewegen des Schwanzes, dessen entwicklungsgeschichtliche Entsprechung beim Menschen das Steißbein ist. Durch den aufrechten Gang haben diese Muskeln eine andere sinnvolle Aufgabe erhalten, nämlich den enormen Druck der Eingeweide aufzufangen, der durch den aufrechten Stand auf dem Beckenausgang lastet.

Der **M. levator ani** wird von kurzen Nervenästen aus S 2–5 innerviert. Der **N. pudendus** ist nach neueren Erkenntnissen ebenfalls, allerdings mit weniger Fasern, an der Innervation des Muskels beteiligt. Die Kontraktion des Muskels hebt die durchtretenden Strukturen an und zieht sie nach ventral. Dies hält u. a. die Flexura anorectalis, den Knick zwischen Rectum und Canalis analis, aufrecht. Der Muskeltonus des M. levator ani verschließt den Hiatus urogenitalis und verhindert, dass Harnblase und Uterus durch den abdominalen Druck aus dem Becken hinausgedrängt werden. Er trägt außerdem zur Kontinenz von Harnblase und Rectum bei (S. 323).



Schädigungen des muskulären Beckenbodens (z. B. durch chronischen Husten oder während einer Geburt) können zu Störungen der Kontinenz führen. Außerdem können bei Verlust des Muskeltonus die passiven bindegewebigen Befestigungen der Organe allein dem Druck auf Dauer nicht standhalten, sodass Teile von Harnblase oder Uterus sich absenken und in den Levatorspalt „vorfallen“ können (**Prolaps**). Als willkürlich aktivierbarer Muskel kann der Beckenboden aber auch trainiert werden.

Membrana perinei

Kaudal schließt sich an das Diaphragma pelvis im ventralen Bereich, d. h. zwischen Symphyse und Centrum perinei, als zweite Schicht die **Membrana perinei** an (die Schicht wird auch als **Diaphragma urogenitale** bezeichnet, s. u.). Sie ist dreieckig zwischen den beiden unteren Schambeinästen aufgespannt und setzt median an Urethra, Vagina und Centrum perinei an (s. ▶ **Abb. 15.12**). An ihrem hinteren freien Rand liegt der **M. transversus perinei superficialis**, ein sehr dünner, gelegentlich auch fehlender Muskel. Oberhalb der Membrana perinei findet sich eine Bindegewebsschicht, in der beim Mann quer verlaufende Muskelfasern liegen (M. transversus perinei profundus, quergestreifte Muskulatur), während bei der Frau hier glatte Muskelfasern der urethralen Schließmuskeln einstrahlen (S. 323).

Der Begriff **„Diaphragma urogenitale“** wurde 1873 von dem Anatomen Henle unter der unzutreffenden Vorstellung eingeführt, es handele sich um eine Muskelplatte mit je einer oben und unten abschließenden Faszie, wie es für das Diaphragma pelvis (und auch für das Zwerchfell) gilt. Fast alle folgenden Lehrbücher haben diese Vorstellung übernommen. Erstens fehlt aber bei der Frau dieser angenommene M. transversus perinei profundus. Und zweitens gibt es zwar wohl eine (dünne) obere Faszie, die aber bei beiden Geschlechtern am Levatorschenkel umschlägt und sich mit den Beckenfaszien oberhalb des M. levator ani verbindet. Dadurch steht der Raum oberhalb der Membrana perinei, das Spatium perinei profundum, durch den Levatorspalt mit den Bindegewebsräumen des Subperitonealraums in offener Verbindung. Einige Autoren sprechen deshalb inzwischen statt vom Diaphragma urogenitale nur noch von der Membrana perinei.

Da die traditionelle Vorstellung vom Diaphragma urogenitale in vielen alten Physikumsfragen abgefragt wird (und vielleicht auch noch in einigen zukünftigen), wird sie hier noch einmal kurz zusammengefasst: Nach dieser Vorstellung war das Diaphragma urogenitale eine relativ kräftige, dreieckige Muskelplatte, die zwischen den beiden Schambeinästen aufgespannt ist und aus dem M. transversus perinei profundus gebildet wird (der Name leitet sich vom transversalen Verlauf seiner Muskelfasern ab). Am dorsalen Rand des Dreiecks wird diese Platte vom schmaleren M. transversus perinei superficialis abgeschlossen, der medial am Centrum (tendineum) perinei befestigt ist. Diese Muskelplatte wird kranial und kaudal von einer Faszie bedeckt, der Fascia diaphragmatis urogenitalis superior bzw. inferior. In dieser traditionellen Auffassung ist der M. sphincter urethrae externus (S. 323) eine Abspaltung des M. transversus perinei profundus.

Oberflächliche Dammmuskeln

Kaudal der Membrana perinei, also oberflächlicher, liegen die **oberflächlichen Dammmuskeln**, **M. bulbospongiosus** und **M. ischiocavernosus**, die jeweils einen Schwellkörper (S. 340) bedecken (▶ **Abb. 15.12**). Dorsal liegt in derselben Schicht der **M. sphincter ani externus** (S. 282). Diese Schicht wird gegen die Subkutis von der dreieckigen **Fascia perinei** (auch: Fascia perinei superficialis) abgegrenzt. Da die Fascia perinei mit dem Hinterrand der Membrana perinei und den seitlichen Knochenästen verbunden ist, stellt diese Schicht einen schmalen, vollständig geschlossenen Raum dar, der die genannten Muskeln und Schwellkörper enthält und *Spatium perinei superficialis* genannt wird. Die hier genannten Strukturen finden sich nur ventral, im Bereich der Regio urogenitalis. Dorsal davon, in der Regio analis, gibt es keine Membrana perinei und keine Fascia perinei (s. u.).

Unter der Geburt wird bei drohender Zerreißung der stark gedehnten Anteile des Damms oft ein **Dammschnitt** (Episiotomie) durchgeführt. Bei der in Europa üblichen mediolateralen Episiotomie geht dieser Schnitt von der hinteren Vaginalwand nach seitlich in die Tiefe, um eine Verletzung des M. sphincter ani externus zu vermeiden, und durchschneidet den M. bulbospongiosus und hintere Anteile der Membrana perinei mit dem M. transversus perinei superficialis.

Subkutis der Dammregion

Die kaudal folgende Schicht, die **Subkutis der Dammregion**, kann durch eine weitere bindegewebige Schicht (Stratum membranosum) unterteilt sein, die eine Fortsetzung der Camper-Faszie der Subkutis am Unterbauch darstellt.

Die offizielle anatomische Terminologie bezeichnet den Raum zwischen der Fascia perinei (superficialis) und diesem Stratum membranosum der perinealen Subkutis als *Saccus subcutaneus perinei*. Im englischen Sprachraum wird die Fascia perinei Buck-Faszie, das Stratum membranosum Colles-Faszie genannt.

15.1.5 Fossa ischioanalis

Dadurch, dass das Diaphragma pelvis nicht am Beckenausgang befestigt, sondern trichterförmig in die Mitte des Beckenkanals eingehängt ist, entsteht beidseits ein Raum, der unterhalb des Diaphragma pelvis, aber noch innerhalb des knöchernen Beckens liegt: die **Fossa ischioanalis** (früher: ischiorectalis). Diese Fossa ist im Frontalschnitt dreieckig (s. ▶ **Abb. 15.1[8]**). Ihre Wände sind medial der *M. levator ani* (mit der Fascia inferior diaphragmatis pelvis) und der *M. sphincter ani externus*, lateral der *M. obturatorius internus* (Fascia obturatoria) und der untere Sitz- und Schambeinast. Im ventralen Bereich (Regio urogenitalis), wo die Fossa kurz unterhalb der Symphyse blind endet, bildet die *Membrana perinei* („Diaphragma urogenitale“) die kaudale Begrenzung (s. ▶ **Abb. 15.12**). Dorsal, im Bereich der Regio analis, wird die Fossa ischioanalis immer breiter und hat keine klare kaudale Begrenzung mehr. Sie reicht bis zum Lig. sacrotuberale und geht in das Fettgewebe unter dem M. gluteus maximus über.

Die Fossa ischioanalis ist primär mit Fettgewebe gefüllt (Corpus adiposum fossae ischioanalis), dient aber auch den pudendalen Leitungsbahnen als Verteilerraum. Diese umgehen das Diaphragma pelvis, indem sie aus dem Foramen ischiadicum majus austreten und durch das Foramen ischiadicum minus von dorsal in die Fossa ischioanalis eintreten. Hier liegen sie in einer Fasziendoppelung, dem **Canalis pudendalis** (**Alcock-Kanal**), auf dem *M. obturatorius internus*. Sie laufen in der sich nach ventral verjüngenden Fossa zu Anus, Damm und äußerem Genitale und geben ihre Endäste unterhalb der Symphyse an Penis oder Clitoris ab.

15.2 Harnblase und Harnröhre

Die Harnblase (**Vesica urinaria**) liegt im kleinen Becken direkt hinter der Symphyse. Sie sammelt den von den Nieren produzierten Harn. Sie ist ein Hohlorgan, dessen Schleimhaut auf den Kontakt mit dem potenziell schädlichen Harn spezialisiert ist und dessen Muskelschicht den Inhalt reflektorisch über die Harnröhre (**Urethra**) entleeren kann.

Oberflächliche Dammmuskeln

Kaudal der Membrana perinei, also oberflächlicher, liegen die **oberflächlichen Dammmuskeln**, **M. bulbospongiosus** und **M. ischiocavernosus**, die jeweils einen Schwellkörper (S. 340) bedecken (▶ **Abb. 15.12**). Dorsal liegt in derselben Schicht der **M. sphincter ani externus** (S. 282). Diese Schicht wird gegen die Subkutis von der dreieckigen **Fascia perinei** (auch: Fascia perinei superficialis) abgegrenzt. Da die Fascia perinei mit dem Hinterrand der Membrana perinei und den seitlichen Knochenästen verbunden ist, stellt diese Schicht einen schmalen, vollständig geschlossenen Raum dar, der die genannten Muskeln und Schwellkörper enthält und *Spatium perinei superficialis* genannt wird. Die hier genannten Strukturen finden sich nur ventral, im Bereich der Regio urogenitalis. Dorsal davon, in der Regio analis, gibt es keine Membrana perinei und keine Fascia perinei (s. u.).

Unter der Geburt wird bei drohender Zerreißung der stark gedehnten Anteile des Damms oft ein **Dammschnitt** (Episiotomie) durchgeführt. Bei der in Europa üblichen mediolateralen Episiotomie geht dieser Schnitt von der hinteren Vaginalwand nach seitlich in die Tiefe, um eine Verletzung des M. sphincter ani externus zu vermeiden, und durchschneidet den M. bulbospongiosus und hintere Anteile der Membrana perinei mit dem M. transversus perinei superficialis.

Subkutis der Dammregion

Die kaudal folgende Schicht, die **Subkutis der Dammregion**, kann durch eine weitere bindegewebige Schicht (Stratum membranosum) unterteilt sein, die eine Fortsetzung der Camper-Faszie der Subkutis am Unterbauch darstellt.

Die offizielle anatomische Terminologie bezeichnet den Raum zwischen der Fascia perinei (superficialis) und diesem Stratum membranosum der perinealen Subkutis als *Saccus subcutaneus perinei*. Im englischen Sprachraum wird die Fascia perinei Buck-Faszie, das Stratum membranosum Colles-Faszie genannt.

15.1.5 Fossa ischioanalis

Dadurch, dass das Diaphragma pelvis nicht am Beckenausgang befestigt, sondern trichterförmig in die Mitte des Beckenkanals eingehängt ist, entsteht beidseits ein Raum, der unterhalb des Diaphragma pelvis, aber noch innerhalb des knöchernen Beckens liegt: die **Fossa ischioanalis** (früher: ischiorectalis). Diese Fossa ist im Frontalschnitt dreieckig (s. ▶ **Abb. 15.1[8]**). Ihre Wände sind medial der *M. levator ani* (mit der Fascia inferior diaphragmatis pelvis) und der *M. sphincter ani externus*, lateral der *M. obturatorius internus* (Fascia obturatoria) und der untere Sitz- und Schambeinast. Im ventralen Bereich (Regio urogenitalis), wo die Fossa kurz unterhalb der Symphyse blind endet, bildet die *Membrana perinei* („Diaphragma urogenitale“) die kaudale Begrenzung (s. ▶ **Abb. 15.12**). Dorsal, im Bereich der Regio analis, wird die Fossa ischioanalis immer breiter und hat keine klare kaudale Begrenzung mehr. Sie reicht bis zum Lig. sacrotuberale und geht in das Fettgewebe unter dem M. gluteus maximus über.

Die Fossa ischioanalis ist primär mit Fettgewebe gefüllt (Corpus adiposum fossae ischioanalis), dient aber auch den pudendalen Leitungsbahnen als Verteilerraum. Diese umgehen das Diaphragma pelvis, indem sie aus dem Foramen ischiadicum majus austreten und durch das Foramen ischiadicum minus von dorsal in die Fossa ischioanalis eintreten. Hier liegen sie in einer Fasziendoppelung, dem **Canalis pudendalis** (**Alcock-Kanal**), auf dem *M. obturatorius internus*. Sie laufen in der sich nach ventral verjüngenden Fossa zu Anus, Damm und äußerem Genitale und geben ihre Endäste unterhalb der Symphyse an Penis oder Clitoris ab.

15.2 Harnblase und Harnröhre

Die Harnblase (**Vesica urinaria**) liegt im kleinen Becken direkt hinter der Symphyse. Sie sammelt den von den Nieren produzierten Harn. Sie ist ein Hohlorgan, dessen Schleimhaut auf den Kontakt mit dem potenziell schädlichen Harn spezialisiert ist und dessen Muskelschicht den Inhalt reflektorisch über die Harnröhre (**Urethra**) entleeren kann.

Entwicklung. In der 5. Entwicklungswoche wird von der Kloake, dem gemeinsamen Ausgang von Urogenital- und Verdauungstrakt, durch das Septum urorectale ein ventraler Raum abgegliedert, der **Sinus urogenitalis**. Aus diesem Sinus entstehen Harnblase und proximale Harnröhre. Über die Allantois besteht zunächst noch eine Verbindung zum Haftstiel (der späteren Nabelschnur). Diese Verbindung wird nach der Bildung der eigentlichen Harnblase **Urachus** (Harnblasengang) genannt. Der Urachus verschließt sich, es bleibt aber zeitlebens eine rudimentäre bindegewebige Verbindung der Harnblase zum Nabel erhalten, die Plica umbilicalis mediana.

Bleibt der Urachus offen, entsteht eine **Urachusfistel**, eine offene Verbindung zwischen Harnblase und Nabel. Diese fällt beim Neugeborenen durch einen nässenden Nabel auf.

In den Sinus urogenitalis mündet beidseits der **Wolff-Gang**, der spätere Samenleiter. Oberhalb der Harnblase wächst aus dem Wolff-Gang die **Ureterknospe** aus. Durch Integration von Anteilen des Wolff-Gangs in die Harnblasenwand wird die Uretermündung an ihren definitiven Ort in der Harnblasenwand verlagert, während die Mündung des späteren Samenleiters nach kaudal in Richtung Harnröhre wandert.

Kommt es in der frühen Entwicklung zu einer Spaltbildung der vorderen Rumpfwand, die die dünne vordere Blasenwand mit erfasst, entsteht eine **Blasenekstrophie** . Bei dieser schweren Fehlbildung ist die Blasenschleimhaut nach außen gestülpt und in die untere Bauchhaut integriert, sodass die Ureteröffnungen sichtbar freiliegen. Damit vergesellschaftet sind Fehlbildungen des äußeren Genitales.

15.2.1 Harnblase

Die Harnblase (**Vesica urinaria**) ist ein muskuläres Hohlorgan, das im kleinen Becken direkt hinter der Symphyse liegt (▶ **Abb. 15.2**, ▶ **Abb. 15.5**) und den von den Nieren gebildeten Harn sammelt und zu passenden Zeiten entleert. Damit hat die Blase eine auch für das Sozialleben äußerst wichtige Funktion. Sie kann etwa 500 ml Flüssigkeit fassen, bevor sie sich reflektorisch entleert. Frauen sollen im Durchschnitt eine etwas größere Harnblase haben als Männer. Ab einer Füllung von 150–300 ml tritt Harndrang auf. Das Fassungsvermögen und die Menge, ab der Harndrang entsteht, sind aber individuell sehr unterschiedlich.

An der Harnblase unterscheidet man den kaudal gelegenen Blasengrund (**Fundus vesicae**) vom übrigen Blasenkörper (**Corpus vesicae**). Der Blasengrund geht mit dem Blasenhals (**Cervix vesicae**) in die Harnröhre (**Urethra**) über. Der Blasenkörper läuft vorn oben in den Blasenscheitel (**Apex vesicae**) aus, der in die *Plica umbilicalis mediana* an der Innenseite der vorderen Rumpfwand übergeht. Die Plica enthält die Rudimente des *Urachus* (s. o.). Die Harnleiter (**Ureteren**) münden beidseits dorsolateral in den Fundus.

Die **Form** der Harnblase ist vom Füllungszustand abhängig. Während der Fundus fest in der Umgebung verankert ist und durch die Füllung nicht beeinflusst wird, ist das Dach der Harnblase bei entleertem Zustand leicht eingedellt, wölbt sich aber mit zunehmender Füllung in den Bauchraum vor. Der Apex schiebt sich dabei an der vorderen Rumpfwand entlang nach oben.

Einbau in die Umgebung. Die Harnblase liegt im subperitonealen Bindegewebsraum und ist auf ihrer kranialen Oberfläche von Peritoneum bedeckt. Nur dorsal steigt die Peritonealbedeckung noch nennenswert an der Blase herab, um dann auf die Vorderseite des Uterus bzw. beim Mann auf die Vorderseite des Rectums umzuschlagen (**Excavatio vesicouterina** bzw. **rectovesicalis**). Die Seitenwände und die der Symphyse zugewendete Vorderseite der Blase bleiben frei von Peritoneum. Der mit lockerem Bindegewebe ausgefüllte Raum zwischen Harnblase und Symphyse heißt **Spatium retropubicum** (Retzius-Raum). Mit zunehmender Füllung schiebt sich die Blasenvorderfläche in diesem Raum nach oben und hebt dann auch die Peritonealbedeckung von der vorderen Rumpfwand.

Daher kann bei gefüllter Harnblase relativ gefahrlos oberhalb der Symphyse eingestochen werden, um eine künstliche Harnausleitung zu schaffen (**suprapubische Blasenpunktion**). Bei leerer Blase würde eine solche Punktion mit großer Wahrscheinlichkeit das Peritoneum verletzen.

Während das Corpus vesicae den verschiedenen Füllungszuständen folgend beweglich sein muss, ist der Fundus vesicae fest mit seiner Umgebung verwachsen. Bei beiden Geschlechtern ziehen bandartige Strukturen vom Schambein zum Blasengrund (**Lig. pubovesicale**), beim Mann auch zur Prostata (**Lig. puboprostaticum**). Diese Bänder enthalten auch glatte Muskelfasern (M. pubovesicalis, M. puboprostaticus). Dorsal besteht beim Mann eine enge Verbindung mit der Prostata, bei der Frau eine weniger kräftige Verbindung mit der vorderen Scheidenwand. Beim Mann findet sich hier eine frontal gestellte Bindegewebsplatte, das **Septum rectovesicale** (gleichbedeutend mit Fascia rectoprostatica oder Denonvilliers-Faszie). Die entsprechende Bindegewebsschicht bei der Frau ist das **Septum vesicovaginale**.

Innenrelief und Wandaufbau. Die Innenwand der Harnblase wird von einer Schleimhaut bedeckt, die gegenüber der Muskulatur verschieblich ist und sich in entleertem Zustand in viele Falten legt. Von dieser Fältelung ausgenommen ist nur ein dreieckiger Schleimhautbezirk am Blasengrund, das **Trigonum vesicae** (▶ **Abb. 15.4**). Dieses Dreieck erstreckt sich zwischen der Harnröhrenöffnung, **Ostium urethrae internum**[7], und den beiden dorsokranial davon gelegenen Harnleiteröffnungen (Einzahl: **Ostium ureteris**[2, 8]). Die kraniale Begrenzung des Trigonum vesicae ist die *Plica interureterica*[1], eine konstante Falte zwischen den beiden Harnleiter-Ostien. Am kaudalen Ende des Dreiecks, oberhalb der Harnröhrenöffnung, entsteht insbesondere beim Mann eine Schleimhautvorwölbung, die *Uvula vesicae* („Blasenzäpfchen"). Sie soll die Harnröhre wie eine Art Korken verschließen helfen.

Die **Schleimhaut der Harnblase** besteht aus einem mehrschichtigen Epithel, dem Urothel (Übergangsepithel), und einer Schicht lockeren Bindegewebes, Lamina propria bzw. Tela submucosa, die die Verschieblichkeit der Schleimhaut gewährleistet. Die oberflächlichen Zellen des Urothels (Deckzellen oder „umbrella cells") haben 2 besondere Eigenschaften: Erstens sind sie entsprechend dem Füllungszustand in der Lage, ihre Oberfläche stark zu vergrößern oder zu verkleinern, zweitens besitzen sie in ihrer apikalen Zellmembran spezielle Membranproteine (Uroplakine), die sie gegenüber dem ständigen Kontakt mit dem Harn widerstandsfähig machen.

Die Wand der Harnblase besteht aus kräftiger glatter Muskulatur, die in ihrer Gesamtheit **M. detrusor vesicae** („Blasenentleerer") oder kurz Detrusor genannt wird. Dieser Muskel ist meistenteils dreischichtig. Die innere und äußere Schicht bestehen primär aus Längsmuskeln, die vom Apex in Richtung Fundus verlaufen. Die mittlere Schicht besteht in erster Linie aus Ringmuskeln. Nicht zum Detrusor gehört die Muskulatur des **Trigonum vesicae**, die zweischichtig ist. Die tiefe Trigonum-Muskulatur setzt sich aus der äußeren Längsmuskelschicht des Ureters fort, die oberflächliche aus seiner inneren Längsmuskelschicht. Die Kontraktion der Trigonum-Muskulatur führt insbesondere zum Verschluss der Harnleiteröffnungen (s. u.). Die beiden Ureteren durchsetzen die Blasenwand schräg von oben lateral nach unten medial und laufen damit etwa 1 cm innerhalb der Blasenwand (Pars intramuralis des Ureters). Dadurch werden sie bei steigendem Blaseninnendruck passiv komprimiert. Dies stellt insbesondere während der Blasenentleerung einen Schutz gegen den Rückfluss (**Reflux**) von Harn in den Harnleiter dar.

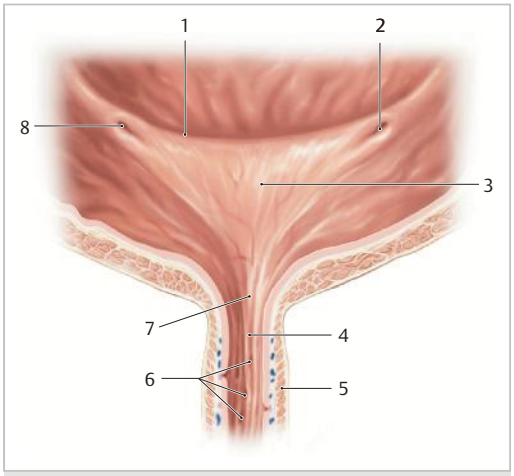


Abb. 15.4 Trigonum vesicae. Eröffnete Harnblase, Ansicht von ventral auf den Blasengrund und die proximale Urethra.
1 Plica interureterica
2 Ostium ureteris sinistrum
3 Trigonum vesicae
4 Urethra, Schleimhaut mit Längsfalten
5 Urethra, Tunica muscularis
6 Mündungsöffnungen der Glandulae urethrales
7 Ostium urethrae internum
8 Ostium ureteris dextrum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Leitungsbahnen. Arterielles Blut erhält die Blase überwiegend aus den Aa. vesicales superior und

inferior. Die **A. vesicalis superior** stammt aus dem nicht obliterierten Teil der A. umbilicalis und tritt lateral an die Blase heran. Die **A. vesicalis inferior** ist ein direkter Ast der A. iliaca interna und verzweigt sich vom Fundus aus auf der Harnblasenwand.

Das venöse Blut fließt auf beiden Seiten in den **Plexus venosus vesicalis**, ein mächtiges Venengeflecht, das der Blase lateral anliegt. Es hat enge Verbindungen zu den Venengeflechten der Prostata bzw. der Vagina und fließt in die **V. iliaca interna** ab.

Lymphgefäße der Blase münden überwiegend in iliakale Lymphknoten, vor allem Nodi lymphoidei iliaci externi entlang der V. iliaca externa.

Die Blase wird überwiegend **parasympathisch** durch Äste der **Nn. splanchnici pelvici** innerviert. Sympathische Fasern aus dem Bauchraum erreichen die Blase sowohl über den Grenzstrang im kleinen Becken als auch über den Plexus hypogastricus. Viszeroafferente Fasern, die den Harndrang vermitteln, laufen überwiegend mit den Nn. splanchnici pelvici. Die Steuerung von Blasenentleerung und -verschluss wird in Kap. 15.2.3 erläutert.

15.2.2 Weibliche Harnröhre

Die Harnröhre (**Urethra**) leitet den Harn bei der Blasenentleerung nach außen. Die männliche Harnröhre dient außerdem der Ausleitung des Ejakulats beim Orgasmus und kann daher auch als Harn-Samen-Röhre bezeichnet werden. Details der männlichen Urethra werden beim Penis besprochen (S. 354).

Die weibliche Harnröhre (**Urethra feminina**, ▶ **Abb. 15.5**[16]) ist 3–5 cm lang und reicht vom **Ostium urethrae internum** am Blasenhals bis zum **Ostium urethrae externum** im Scheidenvorhof (*Vestibulum vaginae*), dem Raum zwischen den beiden kleinen Schamlippen. Die äußere Mündung liegt oberhalb des Scheidenausgangs und etwa 2 cm unterhalb der Clitoris (s. ▶ **Abb. 15.11**). Die Harnröhre nimmt zwischen Symphyse und Vagina einen relativ geraden Verlauf. Distal nähert sie sich zunehmend der Vagina an. Kurz vor ihrem Austritt

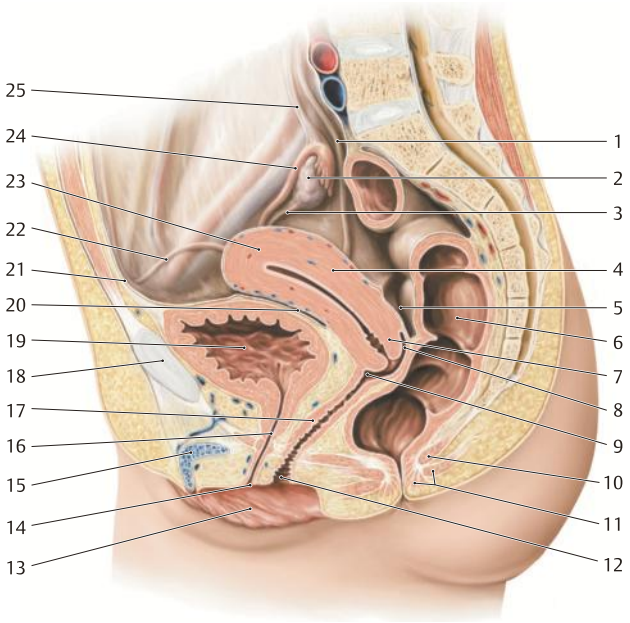


Abb. 15.5 Medianschnitt durch das weibliche Becken.
1 Ureter dexter
2 Ovar
3 Lig. ovarii proprium
4 Corpus uteri
5 Excavatio rectouterina (Douglas-Raum)
6 Rectum
7 Cervix uteri
8 Fornix vaginae, Pars posterior
9 Fornix vaginae, Pars anterior
10 M. levator ani
11 M. sphincter ani externus
12 Ostium vaginae
13 Vestibulum vaginae
14 Ostium urethrae externum
15 Corpus clitoridis
16 Urethra
17 Vagina
18 Symphyse
19 Harnblase
20 Excavatio vesicouterina
21 Peritoneum parietale
22 Lig. teres uteri
23 Fundus uteri
24 Tuba uterina
25 Lig. suspensorium ovarii mit A. und V. ovarica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ist die Harnröhre so eng mit der vorderen Scheidenwand verbunden, dass sie eine Vorwölbung in das Scheidenlumen hinein verursacht, die *Carina urethralis vaginae*.

Die **Wand der Harnröhre** besteht überwiegend aus einer Schicht glatter Muskelfasern (Tunica muscularis, s. u.). Die Schleimhaut wird anfangs wie in der Harnblase von Urothel bedeckt, das im Verlauf durch mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel ersetzt wird. In der Schleimhaut finden sich viele kleine Drüsen (Glandulae urethrales). Distal finden sich außerdem beidseits im Bindegewebe neben der Urethra größere Drüsenansammlungen, die **Glandulae paraurethrales**. Die größten dieser Drüsen münden mit 2 eigenen Ausführungsgängen, den *Ductus paraurethrales* (*Skene-Gänge*) auf beiden Seiten direkt neben dem Ostium externum der Urethra. Diese Drüsen entsprechen entwicklungsgeschichtlich der Prostata des Mannes und werden als der Ursprungsort des weiblichen Ejakulats angesehen (S. 342).

Funktionell wichtig sind Muskelfasern, die sich der Urethra anlagern und zum Verschlussapparat gehören. Kranial der Membrana perinei wird die weibliche Harnröhre langstreckig von quergestreiften Muskelfasern umfasst, die den **M. sphincter urethrae externus** (Rhabdosphincter) darstellen. Diese Muskelfasern sind nicht vollkommen zirkulär, sondern lassen dorsal eine Lücke, die von Bindegewebe oder glatter Muskulatur geschlossen wird. Kaudal werden diese Muskelfasern länger und umfassen hufeisenförmig auch die Vagina (M. sphincter urethrovaginalis). Im kaudalen Bereich bestehen auch bindegewebige Verbindungen zu den medialen Fasern des M. levator ani. Der quergestreifte M. sphincter urethrae externus wird vom *N. pudendus* innerviert.

Nach innen folgt dieser Muskelschicht eine ähnlich ausgedehnte Schicht glatter Muskulatur, die der *Tunica muscularis* der Urethra entspricht und in ihrer Gesamtheit **M. sphincter urethrae internus** (Lissosphincter) genannt werden kann. Sie ist in den oberen Abschnitten vollständig zirkulär, reicht aber nicht so weit nach kaudal wie die quergestreifte Muskulatur.

Die Darstellung der Schließmuskeln der Harnröhre ist erstaunlich uneinheitlich und umstritten. Der häufig beschriebene M. sphincter vesicae aus zirkulärer glatter Muskulatur am Beginn der Harnröhre existiert nach neueren Erkenntnissen zumindest bei der Frau in dieser Form nicht. Die in den Lehrbüchern noch verbreitete Vorstellung vom M. sphincter externus als „Abspaltung" der Beckenbodenmuskeln ist ebenfalls falsch. Es gibt keine Muskelfasern, die vom M. levator ani direkt zur Urethra ziehen. Traditionell wird in den meisten Lehrbüchern (und alten Physikumsfragen) noch von einem isolierten ringförmigen Schließmuskel ausgegangen, der im „Diaphragma urogenitale" liegt. Im Gegensatz dazu handelt es sich aber um einen langstreckigen Verschlussapparat aus glatten und quergestreiften Muskeln, die sich teils sogar durchflechten. Die beste Vorstellung vom äußeren und inneren Sphinkter ist wohl, wie oben beschrieben, die von zwei ineinander steckenden Röhren, die die Harnröhre umgeben, die innere aus glatter, die äußere aus quergestreifter Muskulatur.



Dies entspricht der chirurgischen Erfahrung, dass bei Entfernung von Teilen der Harnröhre der Verschlussmechanismus umso besser funktioniert, je mehr Harnröhrenlänge erhalten werden kann.

15.2.3 Blasenentleerung und Blasenverschluss

Der Vorgang der Blasenentleerung wird **Miktion** genannt. Die Miktion erfolgt reflektorisch bei einem gewissen Füllungsgrad der Blase, steht aber unter willkürlicher Kontrolle. Die Fähigkeit, in den Zeiten außerhalb der Miktion den Harn zu halten, nennt man **Kontinenz**.

Entscheidend für die Blasenfunktion ist das koordinierte Zusammenspiel von Entleerungs- und Verschlussmechanismen, also das Zusammenspiel von Detrusor und Sphincter. Der Verschluss der Blase ermöglicht die Kontinenz. Der **Kontinenzmechanismus** ist allerdings noch nicht endgültig geklärt. Mehrere Faktoren tragen dazu bei: die Spannung der Schließmuskeln, der Blasenhalsmuskulatur und des Beckenbodens, die sich aneinanderlegende Schleimhaut, die Lage von Urethra und Blasenhals (die durch Bänder, Beckenboden und Vaginalwand mitbestimmt wird) sowie die Innervation und Durchblutung aller beteiligten Gewebe. Erst wenn mehrere dieser Faktoren ausfallen, versagt der Mechanismus und es kommt zur Inkontinenz.

Nur beim Mann ist die Blasenhalsmuskulatur nennenswert sympathisch innerviert. Dies spielt eine Rolle bei der sympathisch ausgelösten Ejakulation, denn die Aktivierung der Blasenhalsmuskulatur muss in dieser Situation das Eindringen des Ejakulats in die Blase verhindern. Für die normale Kontinenz scheint diese sympathische Innervation aber nur eine geringe Rolle zu spielen. Während die Blasenentleerung parasympathisch gesteuert wird, ist der Verschluss nicht einfach gegenläufig sympathisch bestimmt.

Ist die Blasenhalsmuskulatur geschädigt, z. B. nach einer transurethralen Prostata-Operation, kann es zur retrograden Ejakulation kommen, bei der die Spermien statt an ihrem Bestimmungsort in der Harnblase landen.

Die **Blasenentleerung** (**Miktion**) ist ein reflektorischer Vorgang, der von einem Zentrum im Hirnstamm (pontines Miktionszentrum) über vegetative Nervenfasern gesteuert wird. Der Reflex kann offensichtlich durch bewusste Steuerung beeinflusst werden. Für die Blasenentleerung wird grundsätzlich als erster Schritt die Beckenbodenmuskulatur entspannt (diese Entspannung ist bekanntlich nicht immer „auf Kommando" herstellbar). Durch die Entspannung des Beckenbodens sinkt der Blasenhals ab und die innere Harnröhrenmündung öffnet sich. Außerdem wird reflektorisch der M. sphincter urethrae externus entspannt (über seine Anspannung kann der Harnfluss aber willkürlich unterbrochen werden). Dann wird der M. detrusor über parasympathische Fasern aktiviert und die Harnblase entleert. Kontraktionen der Trigonum-Muskulatur verschließen dabei aktiv die Harnleiter-Ostien, um bei hohem Druck in der Harnblase einen Rückfluss (Reflux) von Harn in die Harnleiter zu verhindern.

Es leuchtet daher ein, dass eine Schwächung des Beckenbodens mit Absinken der Beckenorgane zur Harninkontinenz, also dem unwillkürlichen Abgang von Harn, führen kann.

Bei Unterbrechung der Verbindung von Gehirn und sakralem Rückenmark bei einer Querschnittlähmung bleibt die Kontinenz erhalten, während die willkürliche Kontrolle der Miktion verloren geht. Durch erhaltene Reflexe wird die Blase dann ab einem bestimmten Füllungsgrad automatisch entleert (Reflexblase). Diese Entleerung kann eventuell auch durch Beklopfen der Bauchwand ausgelöst werden. Alternativ kann ein Blasenschrittmacher eingesetzt werden, der über elektrische Reizung der Vorderwurzeln S 2–4 eine Blasenentleerung auslöst.

15.3 Geschlechtsorgane

Die **Geschlechtsorgane** entwickeln sich aus einer **gemeinsamen Anlage**. Daher haben die meisten Anteile der Geschlechtsorgane beim jeweils anderen Geschlecht eine entwicklungsgeschichtliche Entsprechung (Homologie). Während sich die **inneren Geschlechtsorgane** im kleinen Becken entwickeln, entstehen die **äußeren Geschlechtsorgane** als Teil der Dammregion der äußeren Rumpfwand.

Die Geschlechtsorgane sind die **primären Geschlechtsmerkmale** (S. 21) des Menschen. Sie dienen der Fortpflanzung der Individuen und damit auch der Spezies. Allerdings hat die Natur die Mühen der Fortpflanzung mit so positiven Anreizen für das Individuum versehen, dass die Nutzung der Geschlechtsorgane auch außerhalb dieses engen biologischen Ziels erstrebenswert erscheint und im Leben daher eine wichtige Rolle spielt.

Man unterscheidet die **inneren Geschlechtsorgane**, die sich im kleinen Becken entwickeln und mit Ausnahme des Hodens dort auch verbleiben, und die **äußeren Geschlechtsorgane**, die in der Regio urogenitalis, dem vorderen Teil der Dammregion, liegen und damit topografisch eher der äußeren Rumpfwand zuzurechnen sind. Eine Verbindung der beiden besteht nur durch den Levatorspalt des Beckenbodens. Entscheidend ist bei beiden Geschlechtern die Entstehung einer spezifischen **Keimdrüse** (*Eierstock* bzw. *Hoden*), die die Keimzellen produziert (Eizellen bzw. Spermien) und die mit ihren Hormonen die Entwicklung und Funktion der anderen Geschlechtsorgane steuert.

15.3.1 Entwicklung der Geschlechtsorgane

Die Geschlechtsorgane entwickeln sich aus einer **gemeinsamen Anlage**, die bis zur 7. Woche morphologisch keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern aufweist und daher „indifferent" genannt wird. Bei allen Unterschieden in der folgenden Entwicklung gibt es daher Entsprechungen (**Homologien**) bestimmter Anteile der ausgereiften männlichen und weiblichen Organe oder entwicklungsgeschichtlicher Rudimente. Darum wird hier zunächst die Entwicklung der Geschlechtsorgane für beide Geschlechter gemeinsam besprochen.

Ist die Blasenhalsmuskulatur geschädigt, z. B. nach einer transurethralen Prostata-Operation, kann es zur retrograden Ejakulation kommen, bei der die Spermien statt an ihrem Bestimmungsort in der Harnblase landen.

Die **Blasenentleerung** (**Miktion**) ist ein reflektorischer Vorgang, der von einem Zentrum im Hirnstamm (pontines Miktionszentrum) über vegetative Nervenfasern gesteuert wird. Der Reflex kann offensichtlich durch bewusste Steuerung beeinflusst werden. Für die Blasenentleerung wird grundsätzlich als erster Schritt die Beckenbodenmuskulatur entspannt (diese Entspannung ist bekanntlich nicht immer „auf Kommando" herstellbar). Durch die Entspannung des Beckenbodens sinkt der Blasenhals ab und die innere Harnröhrenmündung öffnet sich. Außerdem wird reflektorisch der M. sphincter urethrae externus entspannt (über seine Anspannung kann der Harnfluss aber willkürlich unterbrochen werden). Dann wird der M. detrusor über parasympathische Fasern aktiviert und die Harnblase entleert. Kontraktionen der Trigonum-Muskulatur verschließen dabei aktiv die Harnleiter-Ostien, um bei hohem Druck in der Harnblase einen Rückfluss (Reflux) von Harn in die Harnleiter zu verhindern.

Es leuchtet daher ein, dass eine Schwächung des Beckenbodens mit Absinken der Beckenorgane zur Harninkontinenz, also dem unwillkürlichen Abgang von Harn, führen kann.

Bei Unterbrechung der Verbindung von Gehirn und sakralem Rückenmark bei einer Querschnittlähmung bleibt die Kontinenz erhalten, während die willkürliche Kontrolle der Miktion verloren geht. Durch erhaltene Reflexe wird die Blase dann ab einem bestimmten Füllungsgrad automatisch entleert (Reflexblase). Diese Entleerung kann eventuell auch durch Beklopfen der Bauchwand ausgelöst werden. Alternativ kann ein Blasenschrittmacher eingesetzt werden, der über elektrische Reizung der Vorderwurzeln S 2–4 eine Blasenentleerung auslöst.

15.3 Geschlechtsorgane

Die **Geschlechtsorgane** entwickeln sich aus einer **gemeinsamen Anlage**. Daher haben die meisten Anteile der Geschlechtsorgane beim jeweils anderen Geschlecht eine entwicklungsgeschichtliche Entsprechung (Homologie). Während sich die **inneren Geschlechtsorgane** im kleinen Becken entwickeln, entstehen die **äußeren Geschlechtsorgane** als Teil der Dammregion der äußeren Rumpfwand.

Die Geschlechtsorgane sind die **primären Geschlechtsmerkmale** (S. 21) des Menschen. Sie dienen der Fortpflanzung der Individuen und damit auch der Spezies. Allerdings hat die Natur die Mühen der Fortpflanzung mit so positiven Anreizen für das Individuum versehen, dass die Nutzung der Geschlechtsorgane auch außerhalb dieses engen biologischen Ziels erstrebenswert erscheint und im Leben daher eine wichtige Rolle spielt.

Man unterscheidet die **inneren Geschlechtsorgane**, die sich im kleinen Becken entwickeln und mit Ausnahme des Hodens dort auch verbleiben, und die **äußeren Geschlechtsorgane**, die in der Regio urogenitalis, dem vorderen Teil der Dammregion, liegen und damit topografisch eher der äußeren Rumpfwand zuzurechnen sind. Eine Verbindung der beiden besteht nur durch den Levatorspalt des Beckenbodens. Entscheidend ist bei beiden Geschlechtern die Entstehung einer spezifischen **Keimdrüse** (*Eierstock* bzw. *Hoden*), die die Keimzellen produziert (Eizellen bzw. Spermien) und die mit ihren Hormonen die Entwicklung und Funktion der anderen Geschlechtsorgane steuert.

15.3.1 Entwicklung der Geschlechtsorgane

Die Geschlechtsorgane entwickeln sich aus einer **gemeinsamen Anlage**, die bis zur 7. Woche morphologisch keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern aufweist und daher „indifferent" genannt wird. Bei allen Unterschieden in der folgenden Entwicklung gibt es daher Entsprechungen (**Homologien**) bestimmter Anteile der ausgereiften männlichen und weiblichen Organe oder entwicklungsgeschichtlicher Rudimente. Darum wird hier zunächst die Entwicklung der Geschlechtsorgane für beide Geschlechter gemeinsam besprochen.

Größter anatomischer Unterschied zwischen den Geschlechtern ist wohl, dass nur die Frau mit der Gebärmutter einen Ort für Entwicklung und Heranwachsen eines Keimlings besitzt. Ein weiterer (und offensichtlicherer) Unterschied besteht darin, dass die Frau 3 separate Strukturen für Harnausleitung (Urethra), Kohabitation (Vagina) und sexuelle Stimulation (Clitoris) besitzt, während diese 3 Funktionen beim Mann in einer Struktur, dem Penis, vereinigt sind.

In den meisten anatomischen Lehrbüchern wird, insbesondere bei der Darstellung des äußeren Genitales, zunächst das männliche beschrieben, um dann das weibliche quasi als Abwandlung des männlichen zu behandeln. Die Homologie legt zwar eine solche vergleichende Darstellung nahe, die *Reihenfolge* der Darstellung ist aber eine soziokulturelle Interpretation, die „die Natur" so nicht vorgibt. Man könnte sogar argumentieren, dass die Grundform des Genitales, die in Abwesenheit von hormonproduzierenden Keimdrüsen entsteht, die weibliche ist, und dass „nur" in Anwesenheit männlicher Hormone diese Grundform abgewandelt wird. Auch daraus sollte man aber keine Schlüsse für den alltäglichen Umgang der Geschlechter miteinander ziehen.

Entwicklung der inneren Geschlechtsorgane

Die inneren Geschlechtsorgane entwickeln sich aus einer indifferenten Anlage, die sich bis zur 7. Woche morphologisch nicht nach Geschlecht unterscheidet. Sie besteht aus der **Genitalleiste** und den **Genitalgängen**. Die Genitalleiste liegt an der hinteren Rumpfwand medial der Nierenanlage (intermediäres Mesoderm). Ende der 5. Woche wandern die **Urkeimzellen** aus der Dottersackwand in die Genitalleiste ein. So entsteht die **indifferente Gonade**, die sich ab der 7. Woche zum Eierstock (Ovar) oder zum Hoden (Testis) entwickelt. Bei beiden Geschlechtern wandern die Gonaden dann nach kaudal (Descensus).

Während der Abstieg des Ovars am Eingang in das kleine Becken endet, wandert der Hoden kurz vor der Geburt durch den Leistenkanal in den Hodensack (Descensus testis). Dieser Weg wird durch das untere Keimdrüsenband (Gubernaculum testis, entspricht bei der Frau dem Lig. teres uteri) gebahnt, das vom unteren Hodenpol durch die Bauchwand zieht und in der Symphysengegend in der Subcutis verankert ist. Die genauen Mechanismen dieses Descensus sind noch unklar. Ein Anschwellen des Gubernaculum im 5. Monat dehnt jedenfalls den Leistenkanal ausreichend vor. Die nur einige Tage dauernde Wanderung des Hodens durch den Leistenkanal scheint eher durch einen erhöhten intraabdominalen Druck als durch einen Zug des sich verkürzenden Gubernaculums zustande zu kommen.



Befindet sich der Hoden nach der Geburt nicht im Hodensack, spricht man von **Kryptorchismus**. Meist liegt der Hoden dann im Leistenkanal und verlagert sich während des 1. Lebensjahrs noch in das Scrotum. Der Kryptorchismus ist mit der Gefahr der Unfruchtbarkeit und einem erhöhten Risiko für Hodentumoren verbunden.

Im indifferenten Stadium werden außerdem in der hinteren Rumpfwand beidseits lateral 2 Genitalgänge angelegt, der **Wolff-Gang** (Urnierengang, Ductus mesonephricus) und der **Müller-Gang** (Ductus paramesonephricus). Beide münden kaudal in den Sinus urogenitalis. **Beim weiblichen Fetus** entwickelt sich aus dem kranialen Müller-Gang der *Eileiter*, aus den kaudalen Abschnitten beider Seiten, die in der Mittellinie verschmelzen, der *Uterovaginalkanal*. Dieser bildet den Uterus und den kranialen Anteil der Vagina. Der Wolff-Gang wird bis auf einige Rudimente zurückgebildet, s. *Epoophoron* und *Paroophoron* (S. 327).



Lateral der Vagina kann ein Rest des Wolff-Gangs als **Gartner-Gang** bestehen bleiben. Von diesem Gang können gelegentlich Zysten ausgehen, die sich in die Vagina vorwölben.

Beim männlichen Fetus wird der Müller-Gang bis auf ein kleines Rudiment, die *Appendix testis* (S. 343), zurückgebildet. Dies geschieht unter dem Einfluss eines auf dem Y-Chromosom kodierten Anti-Müller-Hormons, das von den Sertoli-Zellen gebildet wird. Der Wolff-Gang hingegen erlangt über die Urnierenkanälchen Anschluss an den Hoden und wird zum ableitenden Samenweg (*Ductus epididymidis* und *Ductus deferens*).

Entwicklung der äußeren Geschlechtsorgane

Bis zur 8. Woche hat sich im Bereich des Damms (Perineum), ventral des Anus, eine indifferente, d. h. bei beiden Geschlechtern gleiche Anlage der äußeren Geschlechtsorgane gebildet. Sie schließt die **Urethralrinne** ein, die nach innen mit dem **Sinus urogenitalis**, dem gemeinsamen Ausgang von Harn- und Genitaltrakt, in Verbindung steht. Die Urethralrinne wird von zwei **Genitalfalten** umgeben, die nach ventral in den **Genitalhöcker** auslaufen, der sich später zum **Phallus** verlängert. Die Genitalfalten werden wiederum lateral von den beiden **Genitalwülsten** umschlossen.

Beim **weiblichen Fetus** entwickeln sich aus den Genitalfalten die *kleinen Schamlippen*, die dazwischenliegende Öffnung des Sinus urogenitalis differenziert sich zu den Öffnungen von Harnröhre und Scheide. Aus dem Phallus entwickelt sich die *Clitoris*. Die Genitalwülste vergrößern sich beidseits zu den *großen Schamlippen*.

Beim **männlichen Fetus** erfährt der Phallus ein deutlich stärkeres Wachstum und wird zum Penis. Der komplizierteste Schritt der Entwicklung ist die Verlegung der Urethralöffnung auf die Penisspitze. Dazu schließen sich die Genitalfalten auf der Unterseite des Phallus fortlaufend über der Urethralrinne und bilden so die Urethra. Die Genitalwülste vergrößern sich beidseits zum Hodensack (Scrotum), in den um den Zeitpunkt der Geburt herum die Hoden einwandern (s. o.).

Wegen der Entwicklung aus einer indifferenten Anlage und der Homologie der männlichen und weiblichen Geschlechtsorgane können durch chromosomale oder hormonelle Störungen beliebige Zwischenstufen zwischen der männlichen und der weiblichen Endform entstehen.

Häufigste Fehlbildung des männlichen Genitales ist die **Hypospadie**, bei der der Verschluss der Urethralrinne gestört ist. Die Urethra mündet bei dieser Hemmungsfehlbildung nicht auf der Penisspitze, sondern auf der Unterseite des Penis oder auf dem Damm.

15.3.2 Innere weibliche Geschlechtsorgane (▶ Abb. 15.5)

Zu den inneren weiblichen Geschlechtsorganen zählen der **Eierstock** (**Ovar**), der **Eileiter** (**Tuba uterina**), die **Gebärmutter** (**Uterus**) und die **Scheide** (**Vagina**). Das Ovar ist die Keimdrüse (Gonade) der Frau und produziert die Geschlechtshormone, insbesondere Östrogen und Progesteron. Eine wichtige Besonderheit der weiblichen Geschlechtsorgane sind die zeitlichen Veränderungen ihrer Morphologie und Funktion. Dies betrifft erstens Veränderungen in den verschiedenen **Lebensphasen**, zweitens die periodischen Veränderungen im **Monatszyklus** und drittens die besondere Situation der **Schwangerschaft**.

Die erste und die letzte Regelblutung (Menarche und Menopause) teilen das biologische Leben der Frau in verschiedene **Lebensabschnitte**, die insbesondere von der Hormonproduktion im Eierstock abhängen. Die *postnatale Entwicklung* bis zur Kindheit ist dadurch charakterisiert, dass sich die Hormonsituation zwischen Jungen und Mädchen kaum unterscheidet. Die angelegten Geschlechtsorgane wachsen nur mäßig mit dem übrigen Organismus. Mit Beginn der **Pubertät** beginnen Nebennieren und Eierstöcke mit der Bildung von Geschlechtshormonen, die die geschlechtsspezifische Entwicklung hervorrufen: Beginn des Brustwachstums und der Schambehaarung und schließlich die erste Menstruationsblutung (**Menarche**) mit 11–14 Jahren. Es folgt die *geschlechtsreife Phase*, die mit einem regelmäßigen hormonellen Zyklus und monatlichen Eisprüngen (Ovulationen) einhergeht, also auch die Phase der Fruchtbarkeit ist. Um das 50. Lebensjahr herum (mit großer Schwankungsbreite) beginnen die Wechseljahre (**Klimakterium**), die durch die abfallende Hormonproduktion im Eierstock eingeleitet werden. Die Menstruationsblutungen werden unregelmäßiger (Prämenopause) und setzen dann aus. Die letzte Blutung, die natürlich nur im Nachhinein festgestellt werden kann, wird **Menopause** genannt. Im höheren Alter (*Senium*) kommt es neben der generellen Atrophie der Organe zu einer stärkeren Atrophie der Geschlechtsorgane.

Eine wichtige Folge der hormonellen Umstellungen ist die bei postmenopausalen Frauen deutlich häufigere **Osteoporose**, ein Knochensubstanzverlust, der mit erhöhter Gefahr von Knochenfrakturen einhergeht (S. 25).

In der Zeit der Geschlechtsreife unterliegen Morphologie und Funktion der weiblichen Geschlechtsorgane periodischen Veränderungen im monatlichen Rhythmus (**ovulatorischer Zyklus**). Unter dem steuernden Einfluss von Hypophysenhormonen kommt es im Eierstock zu einem monatlichen **Eisprung** (**Ovulation**), und im zyklischen Rhythmus werden die Geschlechtshormone gebildet, insbesondere Östrogen und Progesteron. Diese Hormone entfalten in den 2 Phasen des Zyklus, der **östrogenen** und der **gestagenen Phase**, ihre Wirkungen an den anderen Geschlechtsorganen, aber auch im übrigen Organismus. Details dieses hormonellen Zyklus und der daraus folgenden zyklischen Veränderungen der Geschlechtsorgane werden bei den einzelnen Organen besprochen, insbesondere bei Ovar und Uterus.

Die Veränderungen bei **Schwangerschaft** und **Geburt** werden in einem eigenen Kapitel behandelt (S. 337).

Eierstock (Ovar)

Form und Lage. Der Eierstock (lateinisch **Ovarium**, griechisch Oophoron; ▶ **Abb. 15.5**[2]) ist die *primäre Keimdrüse* der Frau. Das Ovar bildet befruchtungsfähige Eizellen, die im monatlichen Rhythmus an die Eileiter abgegeben werden, und produziert Geschlechtshormone, die über das Blut ihre Wirkungen auf die übrigen Geschlechtsorgane und auf den Gesamtorganismus ausüben. Gemeinsam mit dem ihn umgreifenden Eileiter bildet der Eierstock im klinischen Sprachgebrauch die **Adnexe** (die „Anhängsel des Uterus"). Dies sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass in funktioneller Hinsicht eher der Uterus ein „Anhängsel" des Ovars ist.

Das Ovar wird häufig als *mandelförmig* beschrieben, da es ähnlich wie eine Mandel längsoval und abgeflacht ist, also 2 Enden, 2 Flächen und 2 Ränder hat (s. a. ▶ **Abb. 15.8**[2]). Allerdings läuft es im Gegensatz zu einer Mandel nicht an einem Ende spitz aus und ist auch deutlich größer: ein normales Ovar ist 3–5 cm lang, 1,5–3 cm breit und etwa 1 cm dick, sein Volumen beträgt durchschnittlich 6–7 cm^3. In der Pubertät und nach der Menopause ist das Ovar etwas kleiner. Es hat eine unregelmäßige Oberfläche durch sich vorwölbende Follikel und Gelbkörper (s. u.).

Die beiden Ovarien liegen im Regelfall an der seitlichen Beckenwand etwas unterhalb der Eingangsebene des kleinen Beckens. Sie liegen hier in der *Fossa ovarica*, einer Einsenkung in der Gabel der Iliakalarterien, also zwischen den Aa. iliacae externa und interna. In der Nähe verläuft hier dorsal der Ureter (▶ **Abb. 15.5**[1]), am Boden der Fossa ovarica außerdem der N. obturatorius. Da die Lage des Ovars das Ergebnis eines entwicklungsgeschichtlichen Abstiegs (*Descensus*) aus dem Retroperitonealraum ist, kann das Ovar auch deutlich höher oder tiefer liegen.

Das Ovar liegt der Platte des *Lig. latum uteri* dorsal auf (▶ **Abb. 15.8a**[8]). Das Lig. latum (S. 315) ist eine seitlich vom Uterus ausgehende Bauchfellduplikatur, die an ihrem kranialen Ende den Eileiter einschließt. Das dorsale Blatt des Lig. latum schlägt unterhalb des Eileiters auch auf das Ovar um und hüllt es vollständig ein. Dadurch entsteht das **Mesovar**, eine kurze, von 2 Schichten Peritoneum bedeckte Verbindung des Ovars zum Lig. latum. Das Ovar ist also vollständig von Peritoneum umhüllt und hat daher makroskopisch eine spiegelnd glatte Oberfläche. An seinen beiden Enden ist das Ovar mit Bändern fixiert: nach kraniodorsal zieht das **Lig. suspensorium ovarii** (▶ **Abb. 15.5**[25]) zur lateralen Rumpfwand. Dieses enthält die *A.* und *V. ovarica*, Lymphgefäße und Nerven. Nach ventrokaudal zieht das **Lig. ovarii proprium** (▶ **Abb. 15.5**[3]), das am Tubenwinkel des Uterus befestigt ist. Es enthält den *R. ovaricus* der *A. uterina*, der im Bereich des Ovars mit Ästen der A. ovarica anastomosiert.

Die Längsachse des Ovars ist meist schräg nach vorn unten gerichtet, etwa parallel zum Verlauf der A. iliaca externa. Damit ergibt sich ein lateral-oberer Pol (Extremitas tubaria) mit dem Ansatz des Lig. suspensorium und ein medial-unterer Pol (Extremitas uterina) mit dem Lig. proprium, außerdem eine mediale und laterale Fläche sowie ein oberer schmaler Rand, der mit dem Mesovar am Lig. latum befestigt ist (Margo mesovaricus), und ein nach kaudal zeigender freier Rand (Margo liber).

Oberhalb des Ovars liegen im Lig. latum rudimentäre Gangstrukturen, die Überreste des Urnierengangs und der Urnierenkanälchen sind. Sie werden

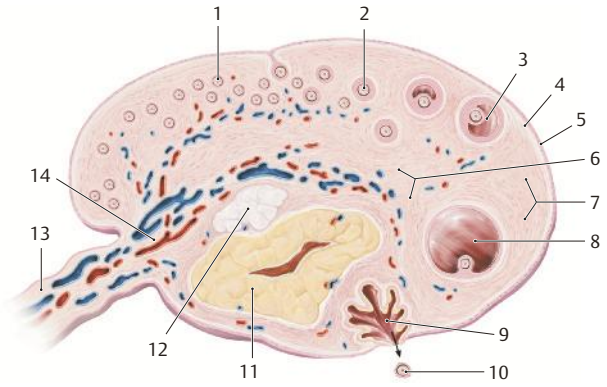


Abb. 15.6 Längsschnitt durch das Ovar mit schematischer Darstellung der Follikelentwicklung. Die Follikel sind nicht maßstabsgetreu und nicht in ihrer natürlichen Verteilung eingezeichnet.
1 Primordialfollikel
2 Sekundärfollikel
3 Tertiärfollikel
4 Tunica albuginea
5 Peritonealüberzug des Ovars („Keimepithel")
6 Markzone
7 Rindenzone
8 Graaf-Follikel
9 eröffneter Follikel nach Ovulation
10 Eizelle mit Corona radiata nach Ovulation
11 Gelbkörper
12 Corpus albicans
13 Mesovar
14 Hilum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Epoophoron genannt. Einzelne dieser Gänge können im Mesovar bis in das Hilum ovarii vordringen. Als **Paroophoron** werden ähnliche Strukturen im Lig. latum medial vom Ovar bezeichnet, die von kaudaleren Urnierenkanälchen abstammen.

Innerer Aufbau und Funktion (▶ **Abb. 15.6**). Das Ovar wird von einer bindegewebigen Kapsel umhüllt, der **Tunica albuginea**[4]. Diese ist außen vom Peritoneum bedeckt, das nur den Bereich der Aufhängung am Mesovar ausspart. Der dem Mesovar anliegende Teil des Ovars wird *Hilum ovarii*[14] genannt. Hier treten Leitungsbahnen ein und aus.

Das Peritonealepithel auf der Oberfläche des Ovars ist ausnahmsweise nicht platt, sondern besteht aus kubischen Zellen. Dieses besondere Epithel wird auch (fälschlich) Keimdrüsenepithel oder *Keimepithel* genannt. Diese Bezeichnung entstand aus der irrigen Vorstellung, die Keimzellen im Ovar stammten von diesem Epithel ab.



Von diesem „Keimepithel" gehen alle epithelialen Tumoren des Ovars aus, von denen das häufigste das **Ovarialkarzinom** ist. Wegen der intraperitonealen Lage können diese Tumoren lange wachsen, ohne Symptome zu verursachen, weshalb das Ovarialkarzinom im Vergleich zu anderen Tumoren zum Zeitpunkt der Diagnosestellung oft bereits eine sehr schlechte Prognose hat.

Im Aufbau des Ovars unterscheidet man die äußere Rinde (**Cortex ovarii**[7]) vom inneren Mark (**Medulla ovarii**[6]). Die Rinde enthält die heranreifenden Follikel, das Mark dagegen Gefäße und Nerven. Diese Strukturen sind eingebettet in das **Stroma ovarii**, das aus einem speziellen Bindegewebe besteht (spinozelluläres Bindegewebe). Die Abgrenzung zwischen Rinde und Mark ist unscharf, die „Ordnung" wird durchbrochen von den je nach Funktionszustand vorhandenen großen Bläschenfollikeln oder Gelbkörpern, die makroskopisch sichtbar sind und einen Großteil des Organvolumens einnehmen.

Die Rinde enthält bei der Geburt mehrere hunderttausend **Follikel** , die jeweils aus einer **Eizelle** bestehen, die von einem **Follikelepithel** umgeben ist. Je nach Größe unterscheidet man Primär-, Sekundär- und Tertiärfollikel. Im zufälligen Wechsel zwischen rechtem und linkem Ovar reift pro Zyklus ein Follikel zum sprungreifen Follikel heran, der mit Flüssigkeit gefüllt ist (Liquor folliculi) und an einer Seite den Eihügel (Cumulus oophorus) enthält. In diesem wartet die von Follikelepithelzellen umgebene Eizelle auf den **Eisprung** (**Ovulation**). Die Eizelle, die in den Follikeln seit der Geburt in der Prophase der 1. Reifeteilung verharrt, beendet kurz vor der Ovulation die erste Reifeteilung, wobei sie ein Polkörperchen abschnürt, und tritt in die 2. Reifeteilung ein, die erst nach der Befruchtung durch ein Spermium vollendet wird.

Der **sprungreife Follikel**[8] (auch **Graaf-Follikel** genannt) wölbt die Oberfläche des Ovars vor. Zu einem durch die Hypophysenhormone bestimmten Zeitpunkt platzt der Follikel nach außen und die Eizelle „springt" mitsamt einem Kranz aus Follikelepithelzellen (Corona radiata) in die Öffnung des Eileiters. Das Zerreißen der Eierstockoberfläche kann als Schmerz wahrgenommen werden („Mittelschmerz" genannt, weil er in der Mitte des Menstruationszyklus auftritt).

Nach dem Eisprung verwandeln sich die verbliebenen Follikelepithelzellen und die umgebenden Stromazellen (Theca-Zellen) des gesprungenen Follikels in einen **Gelbkörper** (**Corpus luteum**[11]), der eine temporäre Hormondrüse darstellt. Wenn keine Schwangerschaft eintritt, wird das Corpus luteum nach 14 Tagen abgebaut und hinterlässt für einige Wochen eine weißliche Narbe (Corpus albicans[12]). Wird die Eizelle befruchtet, bleibt der Gelbkörper erhalten.

Leitungsbahnen. Die **A. ovarica** entspringt unterhalb der Nieren direkt aus der Aorta und verläuft entsprechend dem entwicklungsgeschichtlichen Abstieg (Descensus) der Ovarien im Retroperitonealraum abwärts. Sie tritt über das Lig. suspensorium ovarii von hinten oben in das Ovar ein. Sie kann sehr dünn sein. Vom anderen Ende erhält das Ovar Blut aus dem **R. ovaricus der A. uterina**, der über das Lig. ovarii proprium an das Ovar herantritt. Beide Gefäße anastomosieren im Mesovar miteinander.

Die Venen des Ovars bilden ein **Venengeflecht**, das sowohl in die **V. ovarica** als auch in die **Vv. uterinae** abfließt. Die V. ovarica verläuft parallel zur gleichnamigen Arterie und mündet rechts direkt in die V. cava inferior, links in die V. renalis.

Der **Lymphabfluss** vom Ovar folgt dem Verlauf der Blutgefäße sowohl in Lymphknoten des kleinen Beckens als auch in lumbale (klinisch: paraaortale) Lymphknoten.

Auch vegetative Nerven erreichen das Ovar. Sie haben aber keinen bedeutenden Einfluss auf die Organfunktion, die primär hormonell gesteuert wird. „Nervöse" Einflüsse auf die Ovarfunktion, die jeder Frau bekannt sind, werden nicht über diese vegetativen Nerven vermittelt, sondern über Einflüsse auf die Hormonausschüttung in Hypothalamus und Hypophyse (S. 56).

Ovar als endokrine Drüse. Die Hormonproduktion des Ovars verläuft in zwei Phasen, nämlich der **Follikelphase** (die rund 2 Wochen bis zur Ovulation) und der **Gelbkörperphase** (die 2 Wochen nach der Ovulation).

Unter dem Einfluss des follikelstimulierenden Hormons (FSH) aus der Hypophyse wird zu Beginn der Follikelphase eine Kohorte von 10–20 Follikeln zum Wachstum angeregt. Die so entstehenden Tertiärfollikel (ca. 8 mm Durchmesser) bestehen aus einem mehrschichtigen Follikelepithel (dessen Zellen jetzt auch **Granulosazellen** genannt werden) und sind umhüllt von der **Theca**, deren Zellen aus dem Stroma des Ovars rekrutiert werden. Mit zunehmender Größe kann man in der Theca eine *Theca interna* aus Epitheloidzellen und eine *Theca externa* aus Myofibroblasten unterscheiden. Die Zellen der vaskularisierten Theca interna sind in der Lage, Androgene zu bilden, die von den Granulosazellen in Östrogene umgewandelt werden. Damit sind die **Östrogene** (Hauptvertreter: Östradiol) die vorherrschenden Geschlechtshormone der Follikelphase. Gegen Ende dieser Phase reift einer der Follikel zum sprungreifen Follikel heran, während die übrigen der Kohorte zugrunde gehen (Follikelatresie) und damit die Hormonproduktion einstellen.

Unter dem Einfluss des luteinisierenden Hormons (LH) aus der Hypophyse kommt es zunächst zur Ovulation und dann zur Umwandlung des „leeren" Follikels in den Gelbkörper (Corpus luteum). In das bisher gefäßfreie Follikelepithel sprossen Gefäße ein, die Granulosazellen wandeln sich zu **Granulosaluteinzellen** um, die nun Gestagene produzieren und ans Blut abgeben. Damit sind die **Gestagene** (Hauptvertreter: Progesteron) die vorherrschenden Geschlechtshormone der Gelbkörperphase und – im Falle einer Befruchtung der Eizelle – auch der Schwangerschaft (Gestation heißt Schwangerschaft). Sinkende LH- und steigende FSH-Spiegel bewirken nach 2 Wochen ein Versiegen der Hormonproduktion des Gelbkörpers und ein erneutes Follikelwachstum.

Diese Abläufe werden als **ovarieller Zyklus** bezeichnet. Die Ausschüttung von Hormonen, die diesem Zyklus-Schema folgt, bewirkt Veränderungen in den übrigen Geschlechtsorganen. Insbesondere bewirkt sie die zyklischen Veränderungen der Uterus-Schleimhaut, also den **Menstruationszyklus**. Ohne den ovariellen Zyklus gibt es also keinen Menstruationszyklus. Das Nachlassen der Östrogenproduktion der Ovarien während der Prämenopause bedingt das Aufhören der Menstruationsblutungen.

Eileiter (Tuba uterina)

Der **Eileiter** (lateinisch **Tuba uterina**, griechisch *Salpinx*, englisch *Fallopian tube*) ist der Ort der Befruchtung der gesprungenen Eizelle und hat, wie sein Name sagt, die Aufgabe, dieses „Ei" nach der

Befruchtung zum Uterus zu transportieren. Er wird im klinischen Sprachgebrauch zusammen mit dem Ovar zu den *Adnexen* gezählt.

Die **Adnexitis** ist eine Entzündung der Adnexe. Es handelt sich primär um eine Entzündung des Eileiters (**Salpingitis**) durch aufsteigende Infektionen (meist durch sexuell übertragbare Erreger wie Chlamydien). Die Entzündung kann aber das umliegende Gewebe inklusive Eierstock miterfassen und auch eine Bauchfellentzündung (Peritonitis) verursachen. Eine mögliche Spätfolge ist Unfruchtbarkeit durch Verlegung des Eileiterlumens.

Der Eileiter ist ein 10–14 cm langer muskulärer Schlauch, der vom „Tubenwinkel" des Uterus bis zum lateral-oberen Pol des Eierstocks verläuft (s. ▶ **Abb. 15.5**, ▶ **Abb. 15.8**). Zwischen der medialen Öffnung (*Ostium uterinum*) und der lateralen Öffnung (*Ostium abdominale*) unterscheidet man 4 Abschnitte :

- **Pars uterina** (oder **Pars intramuralis**): Der kürzeste und engste Abschnitt verläuft durch die Muskelwand des Uterus.
- **Isthmus tubae uterinae**: Der enge, eher gestreckte mediale Teil der Tube ist 3–6 cm lang.
- **Ampulla tubae uterinae**: Der übrige, eher geschlängelte Teil der Tube ist deutlich weiter als der Isthmus. Die Ampulle ist der physiologische Ort der Befruchtung der Eizelle durch ein Spermium.
- **Infundibulum**: Die Ampulle endet im weiten Tubentrichter, der 1–2 cm lang ist und einen Rand aus langen Fransen, den **Fimbrien**, besitzt. Eine besonders lange Fimbrie, die *Fimbria ovarica*, steht praktisch immer im Kontakt mit der Oberfläche des Ovars. Das Infundibulum kann sich aktiv bewegen. Zum Zeitpunkt der Ovulation befindet es sich über dem platzenden Follikel und kann offenbar einen Flüssigkeitssog aufbauen, der die Eizelle in die Tube hineinlenkt.

Die Tuba uterina liegt oberhalb des Mesovars in der Oberkante des **Lig. latum uteri**, ist also allseitig von Peritoneum eingeschlagen (▶ **Abb. 15.7**). Der Teil des Lig. latum oberhalb von Mesovar und Lig. ovarii proprium wird als **Mesosalpinx** bezeichnet. Über diese Mesosalpinx treten von kaudal auch Gefäße an die Tube heran.

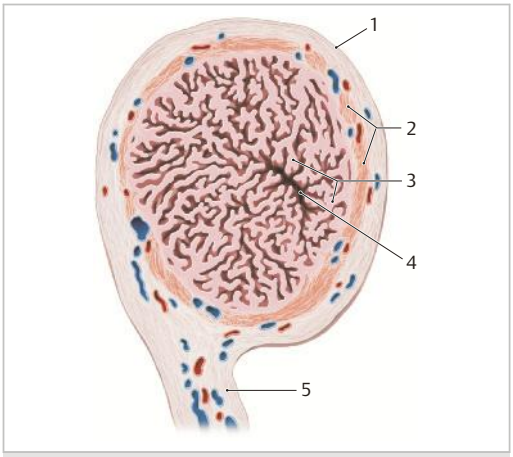


Abb. 15.7 Querschnitt durch die Tuba uterina.
1 Peritonealüberzug
2 Tunica muscularis
3 Tunica mucosa
4 Lumen
5 Mesosalpinx
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der Peritonealüberzug bildet also die äußerste Schicht der Tuba uterina, die **Tunica serosa**, mit einer dünnen bindegewebigen Tela subserosa. Darunter liegt die Muskelschicht, **Tunica muscularis**. Diese ist grob dreischichtig gegliedert, wobei die innere Schicht für die Peristaltik (Richtung Uterus ablaufende Kontraktionswellen) zuständig ist, während die äußeren Schichten den Eileiter als Ganzes bewegen können. Das Lumen des Muskelschlauchs wird von einer stark zerklüfteten Schleimhaut, **Tunica mucosa**, ausgefüllt, deren Faltenlabyrinth auf den ersten Blick wenig durchgängig aussieht. Das prismatische Epithel besteht aus Flimmerzellen und Drüsenzellen.

Beim Eisprung (Ovulation) wird die Eizelle vom Infundibulum „aufgegriffen". Die **Befruchtung** durch ein Spermium findet normalerweise in der Ampulle statt. Eine nicht befruchtete Eizelle und erfolglose Spermien werden vom Tubenepithel abgebaut. Eine befruchtete Eizelle braucht 6 Tage für die **Tubenwanderung** bis in den Uterus. Treibende Kräfte für diese Wanderung sind der Zilienschlag der Flimmerzellen des Epithels und peristaltische Kontraktionswellen der Tubenmuskulatur, die beide einen uteruswärts gerichteten Flüssigkeitsstrom bewirken.

Bei Störungen des Eileitertransports, z. B. nach früheren Entzündungen, kann es zur Einnistung der befruchteten Eizelle im Eileiter kommen (**Tubenschwangerschaft**). Eine solche extrauterine Schwangerschaft ist gefährlich, weil die wachsende Frucht zum Platzen des Eileiters (Tubenruptur) mit massiver Blutung in die Bauchhöhle führen kann.

Sehr selten kann eine befruchtete Eizelle auch in die Bauchhöhle gelangen. Der aggressive Trophoblast sucht sich dann an einer beliebigen Stelle der Bauchwand Gefäße zur Plazentabildung und es kommt zu einer **Bauchhöhlenschwangerschaft**. Essind Fälle bekannt geworden, in denen aus einer solchen Schwangerschaft ein lebensfähiges Kind hervorgegangen ist, das natürlich operativ geboren werden musste. Wegen des sehr hohen Blutungsrisikos muss eine diagnostizierte Bauchhöhlenschwangerschaft aber operativ beendet werden.

Leitungsbahnen. Der Eileiter wird vom **R. tubarius der A. uterina** und über **Äste der A. ovarica** arteriell versorgt. **Venen** und **Lymphgefäße** verlaufen entsprechend den Arterien. Der Eileiter ist auch sympathisch und parasympathisch innerviert.

Gebärmutter (Uterus)

Die **Gebärmutter** (lateinisch **Uterus**, griechisch *Metra* oder *Hystera*) ist ein muskuläres Hohlorgan, das darauf eingerichtet ist, einen Keimling aufzunehmen und ihm eine optimale Umgebung für seine neunmonatige Entwicklung bereitzustellen. Der Uterus ist durch seinen Bau und aufgrund seiner Lage (s. ▶ **Abb. 15.5**) zu einer beeindruckenden Größenzunahme während der Schwangerschaft fähig. Außerdem hat er die Aufgabe, seinen Inhalt bei der Geburt durch den engen Geburtskanal auszutreiben und nach der Plazentaablösung einen größeren Blutverlust zu verhindern. Schließlich hat der Uterus die Fähigkeit, über einen noch nicht geklärten Mechanismus die durch ihn hindurchwandernden Spermien in Richtung desjenigen Eileiters zu lenken, auf dessen Seite der Eisprung stattgefunden hat.

Form und Unterteilung (▶ **Abb. 15.8**). Der nicht schwangere Uterus ist 6–8 cm lang und gleicht einer auf dem Kopf stehenden, abgeplatteten Birne. Sein kaudales, schmales Ende öffnet sich in die Vagina, sein breites kraniales Ende ist seitlich ausgezogen und öffnet sich in die beiden Eileiter. Man unterscheidet den kaudalen **Gebärmutterhals** (**Cervix uteri**) vom übrigen **Gebärmutterkörper** (**Corpus uteri**). Der etwa 0,5–1 cm lange Übergangsteil zwischen Corpus und Cervix wird **Isthmus uteri** (S. 338) genannt, ist aber am nicht schwangeren Uterus von außen nicht abgrenzbar (in der Schwangerschaft entspricht er dem „unteren Uterinsegment"). Der kuppenartige Teil des Corpus oberhalb der Eileitermündung wird als **Fundus uteri** bezeichnet, die Ecken, an denen die Eileiter eintreten, als „**Tubenwinkel**" .

Aus nicht bekannten Gründen liegt damit der Fundus des *Uterus* kranialwärts, wohingegen der Fundus der *Harnblase* kaudalwärts liegt. Wo der „Grund" eines Organs liegt, ist eine Frage der Perspektive, die bei der Benennung der Uterusanteile vielleicht diejenige der Geburtshilfe war, also diejenige von unten in den Uterus hinein, während man vor der Erfindung der Blasenspiegelung anatomisch und chirurgisch eher von oben in die Blase geschaut haben mag.

Die Vorder- und Hinterwand des Uterus schließen die **Cavitas uteri** (Gebärmutterhöhle) ein, die von Schleimhaut (*Endometrium*) ausgekleidet ist. Diese „Höhle" ist in der Seitenansicht ein schmaler Spalt, in der Ventralansicht ein dreieckiger Hohlraum (▶ **Abb. 15.8b**). Die oberen seitlichen Ecken dieses Dreiecks sind die Öffnungen in die Eileiter. Die untere Ecke ist der „**innere Muttermund**"[20], eine Engstelle der Cavitas uteri im Bereich des Isthmus. Von hier verläuft der **Zervikalkanal** (Canalis cervicis) bis zum „**äußeren Muttermund**"[22] (Ostium uteri), der sich in die Vagina öffnet.

Die **Zervix** allein ist etwa 3 cm lang. Da die Vaginalwand etwas unterhalb der Mitte der Zervix zirkulär an der Außenseite ansetzt, ragt ein Teil der Zervix in die Vagina vor. Dieser Teil heißt **Portio vaginalis** (in der Klinik kurz „die **Portio**" genannt), während der Teil oberhalb die **Portio supravaginalis** ist. Die Öffnung der Zervix zur Vagina hin, der äußere Muttermund, ist bei Frauen, die nicht geboren haben, rund oder leicht queroval, nach einer vaginalen Geburt eher ein querer Spalt. Entsprechend dem Vergleich mit einem Mund wird die vordere Hälfte der „Portio" *Labium anterius*, die hintere Hälfte *Labium posterius* genannt. Wegen des nach vorn offenen Winkels zwischen Vagi-

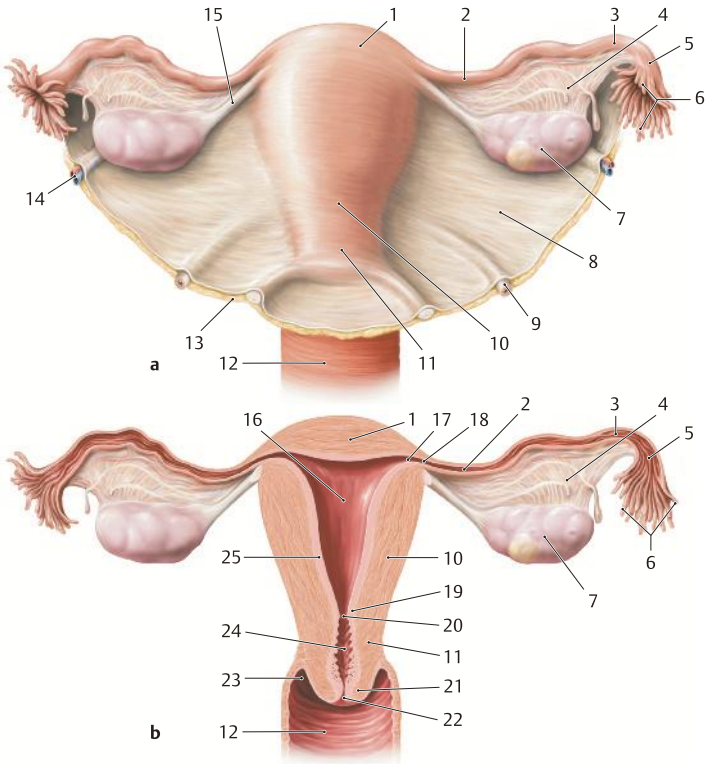


Abb. 15.8 Uterus, Tubae uterinae und Ovarien. a Ansicht von dorsal mit Peritonealüberzug. **b** Ansicht von dorsal nach Eröffnung der Lichtungen von Tuba uterina, Uterus und Vagina.

1 Corpus uteri, Fundus
2 Isthmus tubae uterinae
3 Ampulla tubae uterinae
4 Epoophoron
5 Infundibulum
6 Fimbriae
7 Ovar
8 Lig. latum uteri
9 Ureter
10 Corpus uteri
11 Cervix uteri, Portio supravaginalis
12 Vagina
13 Lig. sacrouterinum
14 A. und V. ovarica im Lig. suspensorium ovarii
15 Lig. ovarii proprium
16 Cavitas uteri
17 Ostium uterinum tubae uterinae
18 Pars uterina tubae uterinae
19 Isthmus uteri
20 Ostium anatomicum uteri internum
21 Cervix uteri, Portio vaginalis
22 Ostium uteri externum
23 Fornix vaginae, Pars lateralis
24 Canalis cervicis
25 Endometrium
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

na und Zervix (Anteversio, s. u.) zeigtder Muttermund nicht in Richtung Vaginaleingang, sondern auf die hintere Vaginalwand.

Der äußere Muttermund und die „Portio“ (Portio vaginalis cervicis) sind bei der **vaginalen Untersuchung mit Spekula** vollständig einsehbar. Bei der Untersuchung können zur Krebsvorsorge zytologische Abstriche und ggf. Schleimhautbiopsien durchgeführt werden.

Lage. Der Gebärmutterhals liegt in der Mittellinie des kleinen Beckens zwischen Harnblase und Rectum. Die Portio liegt dabei etwa auf Höhe der Spinae ischiadicae (s. a. ▶ **Abb. 15.5**). Die Längsachse der Zervix steht normalerweise fast senkrecht zur Längsachse der Vagina. Diese Lage mit einem nach vorn offenen Winkel zwischen Uterus und Vagina wird **Anteversio** genannt. Der Korpus der Gebärmutter ragt nach oben in die Höhle des kleinen Beckens hinein. Seine Längsachse ist gegenüber der Achse der Zervix normalerweise erneut nach vorn abgeknickt. Dieser Winkel wird **Anteflexio** genannt. Damit liegt der Korpus von oben hinten der Harnblase auf. Daraus folgt aber auch, dass die Lage des Korpus und der Anteflexionswinkel unter anderem vom Füllungsgrad der Blase abhängen.

Etwa 10 % der Frauen haben einen **retrovertierten** oder **retroflektierten Uterus**, was meist keinen Krankheitswert hat. Sofern eine Korrektur erforderlich ist, strafft man operativ beidseits das Lig. teres uteri. Von klinisch größerer Bedeutung sind Lageveränderungen des gesamten Uterus im Sinne einer Senkung oder eines Vorfalls (S. 318).

In der Schwangerschaft steigt das Corpus uteri in die Bauchhöhle auf und wird zu einem regelrechten *intraabdominalen Organ* (S. 337). Dies macht plausibel, warum fast das gesamte Corpus uteri von Peritoneum überzogen ist. Das Peritoneum bildet über dem Uterus eine Art frontal gestellten „Überwurf", der seitlich an seinem kranialen Ende auch die Eileiter einfasst und darunter rechts und links vom Uterus eine Bauchfellduplikatur bildet, das **Lig. latum uteri** (S. 315). Damit sind Vorder- und Hinterfläche des Korpus mit Peritoneum überzogen, während seitlich eine schmale Zone freibleibt. Das Bindegewebe, das hier seitlich des Uterus liegt, wird *Parametrium* genannt.

Dieser Peritonealüberzug reicht vorn und hinten allerdings unterschiedlich weit auf der Uteruswand herunter (▶ **Abb. 15.2a**, ▶ **Abb. 15.5**). Ventral schlägt er noch oberhalb der Zervix auf die Harnblase um und bildet so eine Einsenkung, die **Excavatio vesicouterina**. Dorsal geht das Peritoneum auf dem Uterus bis hinunter zur Zervix und bedeckt kaudal auch noch einen Teil der Vagina, den *Fornix vaginae*, bevor es auf die Vorderwand des Rectums umschlägt. Dadurch entsteht eine tiefer gelegene Tasche, die **Excavatio rectouterina** (**Douglas-Raum**). Sie ist bei der Frau der tiefste Punkt der freien Bauchhöhle (S. 315). Im Gegensatz zur Excavatio vesicouterina wird sie auch lateral von 2 Peritonealfalten deutlich begrenzt, den *Plicae rectouterinae*, welche Bandzüge von der Zervix zur hinteren Beckenwand enthalten (Lig. sacrouterinum, s. u.).

Halteapparat. Das Bindegewebe seitlich des Uterus im subperitonealen Bindegewebsraum wird in seiner Gesamtheit **Parametrium** genannt. Entsprechend der beweglichen intraperitonealen Lage des Korpus und der fixierten, weitgehend extraperitonealen Lage der Zervix ist dieses Bindegewebe auf Höhe der Zervix ausgeprägter vorhanden und wird hier auch *Paracervix* genannt. Innerhalb dieses Bindegewebsraums, der oberhalb des Beckenbodens liegt und sich bis zur seitlichen Beckenwand erstreckt, kann man die im Folgenden genannten Bindegewebszüge isolieren, die in der Klinik auch „Pfeiler" genannt werden (▶ Tab. 15.1).

Nach kaudal verbreitert sich das Lig. latum und beherbergt das **Lig. cardinale** (Mackenrodt-Band, Zervixpfeiler), eine Bindegewebsverdichtung im Parametrium, die Gefäße und Nerven an den Uterus heranführt und auch eine Verbindung zur seitlichen Beckenwand herstellt. Nach vorn ziehen Bänder an der Harnblase vorbei zum Schambein (**Lig. pubocervicale**, Blasenpfeiler). Nach hinten ziehen Bänder zum Rectum und zum Kreuzbein (**Lig. sacrouterinum** oder Lig. rectouterinum, Rectumpfeiler). Diese Bandzüge begrenzen rechts und links die Excavatio rectouterina (Douglas-Raum). Am Tubenwinkel entspringt nach vorn und seitlich das **Lig. teres uteri** (= Lig. rotundum, rundes Mutterband) zur Bauchwand und zieht durch den Leistenkanal in die Labia majora.

Die tatsächliche klinische Bedeutung der klassischerweise so beschriebenen „Bänder" ist allerdings noch umstritten. Sie bestehen nicht aus straffem Bindegewebe wie die Bänder des Bewegungsapparats, sondern sind Bindegewebsverdichtungen, die aber auch bedeutende Mengen glatter Muskulatur enthalten, was auf eine aktive und steuerbare Haltefunktion hinweist.

Über das Lig. teres uteri können Metastasen eines Uteruskarzinoms (Gebärmutterkrebs) in die inguinalen Lymphknoten gelangen.

Tab. 15.1 Klassische Beschreibung der Bänder im weiblichen Becken.

„Band“	klinische Bezeichnung	Ausgangspunkt	Endpunkt	Beziehung zum Peritoneum	enthaltene Strukturen
Lig. latum		(Uterus)	(seitliches Peritoneum)	Das Lig. latum ist selbst eine Peritonealfalte	Tuba uterina, Ovar, Parametrium
Lig. teres uteri	Lig. rotundum	Tubenwinkel des Corpus uteri	große Labien (über den Leistenkanal)	„Plica vesicouterina“ im Lig. l atum	(Lymphgefäße)
Lig. cardinale	Zervixpfeiler, Mackenrodt-Band	Cervix uteri	seitl. Beckenwand	an der Basis des Lig. latum	A. und V. uterina, vegetative Nerven
Lig. pubocervicale	Blasenpfeiler	Cervix uteri	Os pubis	–	–
Lig. sacrouterinum (= rectouterinum)	Rectumpfeiler	Cervix uteri	Os sacrum	Plica rectouterina	M. rectouterinus
Lig. ovarii proprium		Tubenwinkel des Corpus uteri	Ovar	im Lig. latum	R. ovaricus der A. uterina

Feinbau und Funktion. Hier wird zunächst das **Corpus uteri** beschrieben, da die Zervix sich funktionell deutlich vom Korpus unterscheidet. Die Uteruswand ist aus 3 Schichten gebaut:

- **Perimetrium** (*Tunica serosa*): außen gelegener Peritonealüberzug auf Vorder- und Rückseite, lateral findet sich stattdessen eine *Tunica adventitia*, die ins parametrane Bindegewebe übergeht,
- **Myometrium** (*Tunica muscularis*): kräftige Schicht glatter Muskelfasern, die in der Schwangerschaft durch Hypertrophie (Vergrößerung und Verlängerung der Muskelfasern) und Hyperplasie (Vermehrung der Muskelzellen) erheblich zunimmt,
- **Endometrium** (*Tunica mucosa*): Schleimhaut, die die Cavitas uteri auskleidet. Ihre Hauptaufgabe ist es, für die Einnistung (Implantation) des Keimlings am 6. Tag nach der Befruchtung optimale Bedingungen zu schaffen (die nach 6 Tagen Tubenwanderung im Uterus ankommende Blastozyste nistet sich meist an der Hinterwand der Cavitas ein).

Das **Endometrium** besteht aus einem zylindrischen Epithel und einer darunterliegenden, relativ breiten Lamina propria, dem *Stroma*, das Arterien und Drüsenschläuche enthält. Unter dem Einfluss der ovariellen Hormone durchläuft das Endometrium starke zyklische Veränderungen. In der 1. Hälfte des Zyklus kommt es unter östrogener Wirkung zur **Proliferationsphase**, in der 2. Hälfte unter gestagener Wirkung zur **Sekretionsphase**, an deren Ende die Menstruationsblutung steht (**Desquamationsphase**). Ein Teil des Stromas, das schmale *Stratum basale*, bleibt während dieses Zyklus konstant erhalten, während das breitere *Stratum functionale* mit dem Epithel an den zyklischen Veränderungen teilnimmt und mit der Menstruationsblutung abgestoßen wird, um dann erneut aufgebaut zu werden.

Proliferationsphase (bis zur Ovulation, Tag 4–14 des Zyklus): Die durch die Menstruation entstandene Wundfläche wird aus dem Drüsenepithel des Stratum basale wieder mit Epithel bedeckt. Durch Proliferation von Drüsen- und Stromazellen wird das Endometrium rasch höher.

Sekretionsphase (Tag 15–28): Das Endometrium wächst nicht mehr weiter, sondern differenziert sich und bereitet sich auf die Implantation vor. Die *Stromazellen* lagern Glykogen, Lipide und Proteine ein, die der Ernährung des implantierten Keims dienen können, und werden damit zu *Prädeziduazellen*. Die *Drüsen* nehmen in der späten Sekretionsphase eine typische Sägeblattform an und enthalten Sekret. Die Arterien im Stroma werden zu *Spiralarterien*, die potenziell Blut für die Plazenta liefern können.

Die spezifische Fähigkeit des *Epithels* besteht darin, das „Timing“ der Einnistung zu bestimmen, indem es die Anheftung und Einnistung der Blastozyste nur in einem bestimmten Zeitfenster zulässt. Diese „rezeptive Phase“ des Endometriums dauert etwa vom 5.–7. Tag nach der Ovulation, liegt also um den 21. Zyklustag.

Desquamationsphase (Tag 1–3): Wenn es zu keiner Einnistung kommt, verengen sich am Ende der Sekretionsphase die Spiralarterien und unterbrechen die Durchblutung der

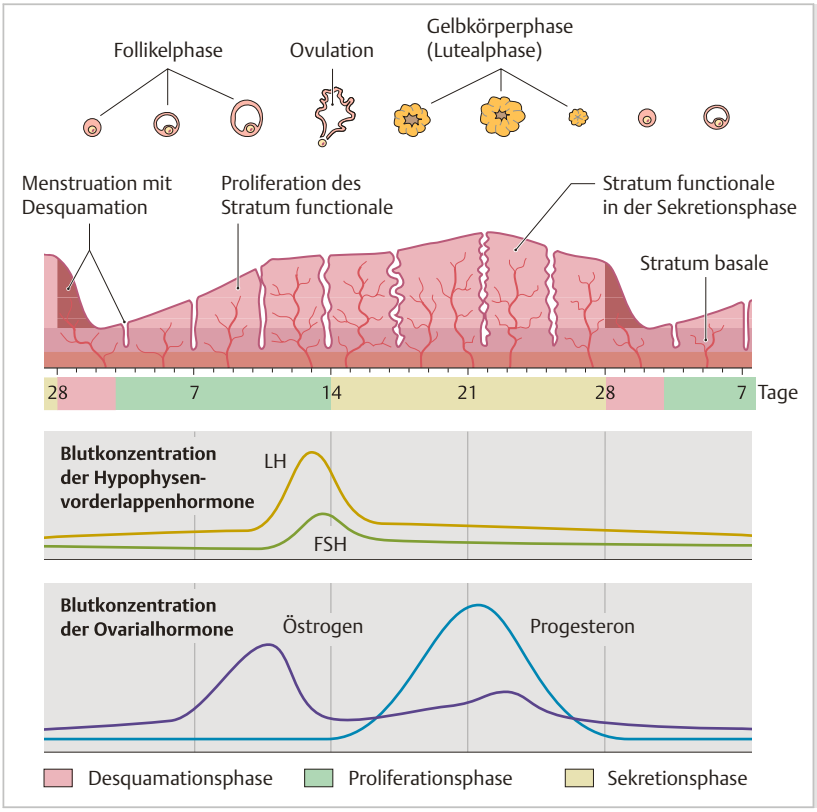


Abb. 15.9 Menstruationszyklus. (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Lamina functionalis, deren Zellen dadurch absterben (Ischämie). Anschließend öffnen sich die Arterien wieder und es kommt zur Menstruationsblutung, mit der die Lamina functionalis abgestoßen wird.

In der Desquamationsphase kommt es zu Kontraktionen des Myometriums, die je nach Stärke bei bis zu zwei Dritteln aller Frauen zu krampfartigen oder ziehenden Unterbauchschmerzen führen (Dysmenorrhoe).

Die Wand der **Cervix uteri** besteht ebenfalls aus glatten Muskeln und Bindegewebe. Nur dorsal ist sie außen von Peritoneum bekleidet (▶ **Abb. 15.5**). Die Schleimhaut des Zervikalkanals (▶ **Abb. 15.8b**) weist deutliche Querfalten auf, die *Plicae palmatae*. Sie produziert einen alkalischen *Schleimpfropf*, der den Zervikalkanal ausfüllt und den Uterus vor aufsteigenden Infektionen schützt sowie in der Schwangerschaft die Fruchthöhle abschließt. Im Unterschied zum Corpus uteri nimmt die Schleimhaut der Zervix morphologisch fast gar nicht an den zyklischen Veränderungen teil. Der Schleimpfropf ändert aber zyklisch seine Durchlässigkeit für Spermien.

Die Schleimhaut der Zervix ist histologisch eindeutig von derjenigen des Isthmus und des Corpus uteri abgrenzbar („Ostium histologicum", histologisch definierter innerer Muttermund). Ihr Epithel ist ebenfalls zylindrisch und sie enthält schleimproduzierende Drüsen. Am äußeren Muttermund geht sie scharf in das Plattenepithel der Vaginalschleimhaut über, die auch die Portio vaginalis überzieht.

Der Übergang von Zylinder- auf Plattenepithel ist auch makroskopisch sichtbar: das mehrschichtige Plattenepithel lässt das durchblutete Stroma weniger durchscheinen und ist dadurch blasser. Dringt diese Epithelgrenze aus dem Muttermund auf die Portio vor (Ektropion), ist bei der vagina-

len Untersuchung die dunklere Zervixschleimhaut erkennbar. Besonders in dieser „Umwandlungszone" kann das Plattenepithel maligne entarten, was über Frühstadien zu einem **Zervixkarzinom** führt. Die Frühstadien sind durch die zytologische Untersuchung von Zervixabstrichen diagnostizierbar (Früherkennung).

Leitungsbahnen. Der Uterus wird von der **A. uterina** versorgt, die aus der A. iliaca interna entspringt. Sie verläuft in der Basis des Lig. latum uteri und tritt am Korpus-Zervix-Übergang an den Uterus heran. Sie muss dadurch bei der Vergrößerung des Corpus uteri in der Schwangerschaft ihre Lage nicht wesentlich ändern. In ihrem Verlauf durch das Beckenbindegewebe wird die A. uterina vom Harnleiter (Ureter) unterkreuzt. An der Zervixwand gibt sie Rr. vaginales ab und verläuft dann stark geschlängelt auf dem Corpus uteri bis zum Tubenwinkel. Hier gibt die A. uterina einen R. ovaricus und einen R. tubarius ab, die beide mit Ästen der A. ovarica anastomosieren.

Das venöse Blut des Uterus sammelt sich im **Plexus venosus uterinus**, der vor allem im Zervix-Bereich im Parametrium ausgebildet ist. Er drainiert gemeinsam mit dem Plexus venosus vaginalis in die **Vv. uterinae**, die dann in die V. iliaca interna münden.

Lymphgefäße aus der Zervix und Teilen des Korpus folgen diesen Venen und münden in die **Nodi lymphoidei iliaci interni**. Aus dem Korpus gelangt aber auch Lymphe über die ovariellen Leitungsbahnen direkt in Nodi lymphoidei lumbales sowie über Lymphgefäße entlang des Lig. teres uteri in die **Nodi lymphoidei inguinales superficiales**.

Lateral und dorsal der Zervix breitet sich im Parametrium ein vegetatives Nervengeflecht aus, der **Plexus uterovaginalis** (Frankenhäuser-Plexus). Er stellt eine Verlängerung des Plexus hypogastricus inferior dar und besteht aus sympathischen Nervenfasern aus diesem Plexus und dem sakralen Grenzstrang sowie parasympathischen Fasern aus den Nn. splanchnici pelvici. Der Plexus enthält auch viszeroafferente Fasern, die überwiegend auf Höhe von Th 11–12 ins Rückenmark eintreten, sowie gemischte vegetative Ganglien.

Bei der operativen Entfernung des Uterus (Hysterektomie), bei der die Aa. uterinae beidseits unterbunden werden, besteht die Gefahr einer Verletzung des Ureters.

Metastasen in den Leistenlymphknoten können aufgrund der Lymphwege entlang des Lig. teres uteri auch von einem Gebärmutterkrebs stammen.

Da die Cervix uteri nur von vegetativen, nicht aber von somatischen Nerven innerviert wird, ist sie relativ unempfindlich für die Stichverletzung bei der Zervixbiopsie (die man daher ohne Anästhesie durchführt), während sie gegenüber Dehnungsreizen (Dehnung des Muttermunds) sehr schmerzempfindlich ist.

Scheide (Vagina)

Die **Scheide** (lateinisch **Vagina**, griechisch *Kolpos*) ist das Kohabitationsorgan der Frau. Sie ist anatomisch auf die Aufnahme des Penis beim Geschlechtsverkehr eingerichtet. Außerdem wird sie bei der Geburt zu einem Teil des Geburtskanals und muss sich entsprechend weiten können. Durch ihr Milieu schützt sie außerdem den Uterus vor aufsteigenden Infektionen.

Die Vagina ist ein etwa 8–10 cm langer fibromuskulärer Schlauch, dessen Vorder- und Hinterwand einander anliegen, sodass ein spaltförmiges Lumen entsteht (▶ **Abb. 15.5**). Sie beginnt am **Ostium vaginae** (auch Introitus vaginae genannt, ▶ **Abb. 15.11**) und wird vom *Vestibulum vaginae* durch das *Hymen* oder den *Hymenalsaum* abgegrenzt (S. 339). Von dort steigt sie schräg nach dorsal auf und durchtritt nach etwa 2 cm den *Hiatus urogenitalis* des Beckenbodens, das „Levatortor" (S. 316). Oberhalb des Beckenbodens liegt sie zwischen Harnblase und Rectum. Sie endet an der **Cervix uteri**, deren Portio vaginalis in die Scheide hineinragt. Da die Zervix von vorn in die Scheide hineinragt, ist die Scheidenhinterwand deutlich länger als die Vorderwand. Der Bereich des Scheidenlumens um die Zervix herum, also der Raum zwischen Portio und Scheidenwand, wird **Scheidengewölbe** (**Fornix vaginae**) genannt. Es handelt sich um einen zirkulären Raum, an dem man vordere, hintere und seitliche Teile unterscheidet. Über das Ostium uteri, den äußeren Muttermund,

besteht die Verbindung des Scheidenlumens mit der Cavitas uteri.

Umgebung. Oberhalb des Beckenbodens liegt die Scheide im subperitonealen Bindegewebe. Nur das hintere Scheidengewölbe (Fornix posterior) hat Kontakt mit dem Peritoneum der **Excavatio rectouterina** (**Douglas-Raum**). Der Bindegewebsraum lateral der Vagina heißt **Parakolpium**. Er dient dem Heranführen von Gefäßen und geht kranial in das Parametrium über. Hier liegen auch die Ureteren relativ nah am Fornix vaginae. Zwischen Vagina und Rectum befindet sich eine Bindegewebsplatte, das *Septum rectovaginale* (auch Fascia rectovaginalis genannt). Vorne zwischen Vagina und Harnblase findet sich ein entsprechendes Septum vesicovaginale. Ventral besteht außerdem ober- und unterhalb des Levatortors eine sehr feste bindegewebige Verbindung mit der Urethra, die in der vorderen Scheidenwand kaudal die *Carina urethralis* vorwölbt.

Im Bereich des Beckenbodens ist die *Membrana perinei*, sog. „Diaphragma urogenitale“ (S. 318), an den seitlichen Scheidenwänden befestigt. Direkt oberhalb, im Levatortor, wird die Vagina lateral vom *M. urethrovaginalis* umfasst. Kaudal der Membrana perinei schließt sich der *Bulbus vestibuli* an, ein Schwellkörper (S. 340), der die kaudale Vagina und das Vestibulum vaginae auf beiden Seiten umfasst.

Feinbau. Die Wand der Vagina ist 2–4 mm dick. Sie besteht vor allem aus der Muskelschicht (Tunica muscularis). Die teils scherengitterartige Anordnung der Muskelfasern und der hohe Gehalt an elastischen Fasern ermöglichen die große Dehnbarkeit der Vaginalwand. Außen liegt der Tunica muscularis die bindegewebige Tunica adventitia auf, innen die Schleimhaut (Tunica mucosa), die ein unverhorntes Plattenepithel trägt. Die Schleimhaut ist drüsenfrei. Ihre Feuchtigkeit, die bei sexueller Erregung stark zunimmt, ist ein Transsudat der Gefäße ihrer Lamina propria.

Abschilfernde Epithelzellen bilden mit ihrem starken Glykogengehalt den Nährboden für die physiologische Besiedelung der Scheide mit Milchsäurebakterien (Lactobacillus acidophilus, Döderlein-Stäbchen). Sie sorgen für ein saures Scheidenmilieu (pH 4–5), das die Besiedelung mit anderen Keimen und aufsteigende Infektionen verhindern hilft. Das Epithel der Vagina unterliegt zyklischen Veränderungen, die die Zusammensetzung und die Zahl der Zelllagen betreffen.

Leitungsbahnen. Die Vagina wird von der **A. vaginalis** aus der *A. iliaca interna* versorgt sowie aus **Rr. vaginales** aus der *A. uterina*, der *A. vesicalis inferior* und der *A. rectalis media*. Sie treten vor allem seitlich an die Vagina heran.

Die Venen bilden einen ausgeprägten **Plexus venosus vaginalis**, der mit dem Plexus venosus vesicalis anastomosiert und in die V. iliaca interna drainiert.

Die Lymphe von der Vagina läuft überwiegend in die *Nodi lymphoidei iliaci interni* ab, in der Nähe des Ostium vaginae auch in die oberflächlichen Leistenlymphknoten.

Die vegetative Innervation verläuft über den beidseits von Uterus und Vagina liegenden **Plexus uterovaginalis** (Frankenhäuser-Plexus), der Fasern aus dem Plexus hypogastricus inferior erhält.

Schwangerschaft und Geburt

Nach der erfolgreichen Einnistung eines Keimlings in das Endometrium produziert dieser das Hormon **hCG** (humanes Choriongonadotropin), um dem mütterlichen Organismus seine Anwesenheit mitzuteilen. Die Anwesenheit von hCG führt im Ovar zur Unterdrückung des Heranreifens neuer Follikel und zur Erhaltung des Gelbkörpers und seiner Umwandlung in einen **Schwangerschaftsgelbkörper** (Corpus luteum graviditatis). Dieser bleibt bestehen, bis im 4. Schwangerschaftsmonat die **Plazenta** ausreichend Gestagene produzieren kann.

Mit dem Wachstum des Fetus vergrößert sich auch das Corpus uteri, dessen Muskelschicht durch Zellvermehrung und -vergrößerung „mitwächst“ (allein der Uterus selbst nimmt in der Schwangerschaft um etwa 1000 g an Gewicht zu). Der **Fundus uteri** steigt damit in die Bauchhöhle, der mit Peritoneum bekleidete Uterus wird zu einem intraabdominellen Organ. Am Ende des 3. Monats ist der Fundus oberhalb der Symphyse tastbar, im 6. Monat erreicht er den Nabel, im 9. den Rippenbogen. Die übrigen intraperitonealen Organe werden entsprechend in ihrer Lage verändert und beengt.



Es kommt dadurch auch zu einer Lageveränderung der Appendix vermiformis nach kranial. Dies hat Einfluss auf die Schmerzlokalisation bei akuter Appendizitis in der Schwangerschaft.

Die Cervix uteri bleibt hingegen unverändert, wenn man von der verstärkten Durchblutung aller inneren und äußeren Geschlechtsorgane in der

Schwangerschaft absieht. Der **Isthmus uteri** verlängert sich, sein Lumen wird ab dem 4. Schwangerschaftsmonat in die Fruchthöhle einbezogen, sodass sich der innere Muttermund nun am kranialen Ende des Zervixkanals befindet. Ab diesem Zeitraum wird der Isthmus als „unteres Uterinsegment" bezeichnet, das im Gegensatz zum übrigen Uterus (dem „oberen Uterinsegment") nicht an den Wehenkontraktionen teilnimmt.

Durchschnittlich 267 Tage nach der Konzeption bzw. 281 Tage nach der letzten Menstruationsblutung kommt es zur **Geburt** (Partus). Sie beginnt mit regelmäßigen Uteruskontraktionen, den **Wehen**. Die spontane vaginale Geburt wird in 3 Phasen eingeteilt:

- Die **Eröffnungsperiode** bis zur vollständigen Eröffnung des Muttermundes ist die längste Phase (Erstgebärende 6–9, Mehrgebärende 3–7 Stunden).
- **Austreibungsperiode** bis zur vollständigen Geburt des Kindes (Erstgebärende ca. 1 Stunde, Mehrgebärende 5–20 Minuten).
- **Nachgeburtsperiode** mit der Ausstoßung von Plazenta und Eihäuten (10–20 Minuten).

In der Austreibungsperiode wird der Fetus durch die Kraft der Wehen durch den **Geburtskanal** nach außen „gepresst". Der **vorangehende Kindsteil** ist dabei fast immer das Hinterhaupt. Der Geburtskanal besteht aus dem knöchernen kleinen Becken und dem „Weichteilkanal". Er ist mit einem gekrümmten Rohr vergleichbar, dessen kurze Vorderwand sich um die Symphyse legt und dessen längere Hinterwand dem Kreuz- und Steißbein folgt. Unter der Geburt werden unteres Uterinsegment (Isthmus uteri), Zervix, Vagina und Beckenboden zum Weichteilkanal. Vor allem die Hinterwand des Geburtskanals wird durch das Weichteilrohr aus Vagina und Beckenboden deutlich verlängert. Dabei wird insbesondere der **Damm**, die Gewebebrücke zwischen der hinteren Kommissur der Vulva und dem Anus, beim Durchtreten des Kindskopfes stark belastet.

Es kann zum **Dammriss** kommen, der im schlimmsten Fall auch den M. sphincter ani externus schädigt. Bei drohendem Dammriss oder zur Geburtsbeschleunigung kann ein **Dammschnitt** (Episiotomie) durchgeführt werden (S. 319).

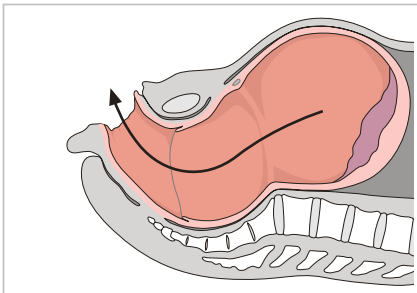


Abb. 15.10 Geburtskanal in der Austreibungsphase. Schematischer Mediansagittalschnitt. Eingezeichnet ist die Führungslinie, der der vorangehende Kindsteil während der Geburt folgt. (aus Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die geburtshilflich bedeutsamen Innenmaße des knöchernen Beckenkanals sind in der ▶ **Abb. 10.5** aufgeführt. Der kindliche Kopf tritt unter der Geburt nacheinander durch Beckeneingangsebene, Beckenhöhle und Beckenausgangsebene und folgt dabei einer gekrümmten Linie (▶ **Abb. 15.10**).

Die Beckeneingangsebene ist queroval, die Beckenhöhle annähernd rund, die Ausgangsebene (nach Ausweichen des Steißbeins nach dorsal) eher längsoval. Weil der sagittale Durchmesser des kindlichen Kopfes länger ist als der transversale, tritt der Kopf daher „quer" von oben in das mütterliche Becken ein (Gesicht nach rechts oder links) und muss sich dann zum Austritt durch die Ausgangsebene um 90° drehen (Gesicht zum mütterlichen Steißbein). Beim Austreten des Kopfes treten gleichzeitig die Schultern von oben in das Becken ein. Für den Austritt der Schultern durch die längsovale Ausgangsebene dreht sich das Kind dann noch einmal um 90° (Gesicht zum Oberschenkel der Mutter). Der übrige Körper folgt dann ohne Probleme nach, da der Kopf den größten Durchmesser hat.

Die Rückbildungsphase nach der Geburt (Puerperium, Wochenbett) dauert insgesamt 6–8 Wochen. In dieser Zeit entwickelt sich u. a. auch der Uterus zu seiner ursprünglichen Größe zurück.

15.3.3 Äußere weibliche Geschlechtsorgane (▶ Abb. 15.11)

Das äußere weibliche Genitale besteht aus der **Clitoris** mit mehreren Schwellkörpern, der Harnröhrenöffnung und dem **Scheidenvorhof** (Vestibulum vaginae), die gemeinsam von den großen und kleinen **Labien** (Schamlippen) umgeben werden. Es wird in seiner Gesamtheit als **Vulva** bezeichnet.

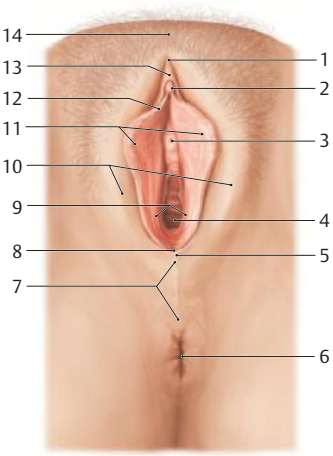


Abb. 15.11 Äußeres weibliches Genitale.
1 vordere Kommissur
2 Glans clitoridis
3 Ostium urethrae externum
4 Vestibulum vaginae
5 hintere Kommissur
6 Anus
7 Perineum
8 Frenulum labiorum pudendi
9 Mündungen der Bartholin-Drüsen
10 Labia majora pudendi
11 Labia minora pudendi
12 Frenulum clitoridis
13 Preputium clitoridis
14 Mons pubis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Labien und Scheidenvorhof

Man unterscheidet große und kleine Labien (Schamlippen), die das Genitale schützend bedecken. Die beiden **großen Schamlippen** (**Labia majora pudendi**[10]) bedecken bei geschlossenen Beinen das übrige Genitale meist vollständig und bilden in ihrer Mitte die *Rima pudendi* (Schamspalte). Die Stellen, an denen die beiden sagittal gestellten Labien ventral und dorsal zusammenlaufen, werden Kommissuren genannt. Die *vordere Kommissur* (Commissura labiorum anterior[1]) liegt unterhalb des *Mons pubis*[14] (Schamhügel, Venushügel), einer behaarten Vorwölbung der Bauchhaut im Bereich der Symphyse, die durch eine geschlechtsspezifische subkutane Fetteinlagerung hervorgerufen wird. Die *hintere Kommissur* (Commissura labiorum posterior[5]) liegt 2–3 cm vor dem Anus, geht also in den Damm (Perineum) über. An der hinteren Kommissur liegen die beiden großen Labien weiter auseinander als vorn und werden hier von einer sichelförmig nach vorn gerichteten Hautfalte verbunden.

Die großen Labien sind Hautwülste, die außen aus behaarter, innen aus unbehaarter pigmentierter Haut bestehen. Sie enthalten Fett und auch glatte Muskelzellen (dies entspricht entwicklungsgeschichtlich der Tunica dartos des Scrotums, das allerdings fettfrei ist). An der Basis der großen Labien liegen die Schwellkörper des Bulbus vestibuli (s. u.).

Medial der großen Labien liegen die beiden **kleinen Schamlippen** (**Labia minora pudendi**[11]). Sie werden meist von den großen Schamlippen vollständig bedeckt, können aber auch so lang sein, dass sie die großen Labien überragen. Sie umschließen den Scheidenvorhof (Vestibulum vaginae) mit den Öffnungen von Harnröhre und Vagina. Die kleinen Labien sind dünne Hautfalten, die außen schwach verhorntes, innen unverhorntes Plattenepithel tragen. Sie sind unbehaart und fettfrei und enthalten relativ viele elastische Fasern.

Dorsal laufen die kleinen Labien in 2 „Zügel" aus (Frenulum labiorum pudendi), die in der Nähe der hinteren Kommissur in der Mittellinie zusammenkommen (auch „Fourchette" genannt). Hinter diesen Frenula entsteht dadurch variabel eine kleine Tasche, die Fossa vestibuli (oder Fossa navicularis). Nach ventral teilen sich die kleinen Labien auf jeder Seite in 2 Falten. Die medialen Falten setzen als Frenulum clitoridis[12] an der Unterseite der Clitoris[2] an. Die lateralen Falten umziehen die Glans clitoridis kranial und bilden so das Preputium clitoridis (Kitzlervorhaut).

Der **Scheidenvorhof** (**Vestibulum vaginae**[4]) ist der Raum, der von den beiden kleinen Schamlippen

begrenzt wird. Er enthält im vorderen Bereich, etwa 2 cm dorsal der Glans clitoridis, die Öffnung der Harnröhre (Ostium urethrae externum), die punkt- oder spaltförmig ist und sich etwas in den Scheidenvorhof vorwölbt. Rechts und links von ihr finden sich die sehr kleinen Öffnungen der Ductus paraurethrales (Skene-Gänge) (S. 323). Der übrige hintere Bereich wird vom Scheideneingang (Ostium vaginae) eingenommen, der unvollständig vom **Hymen** (Jungfernhäutchen) verschlossen wird. Diese dünne Membran ist, insbesondere in ihren vorderen Anteilen, sehr variabel ausgebildet mit einer oder mehreren Öffnungen. Ihr Einreißen kann beim ersten Geschlechtsverkehr zu Blutungen führen (allerdings in weniger als der Hälfte der Fälle). Vor allem bei Frauen, die geboren haben, ist das Hymen auf kleinere randständige Reste reduziert, die Caruncula hymenales (Hymenalsaum). Das Hymen ist die Grenze zwischen innerem und äußerem Genitale.

Ganz korrekt müsste es „der Hymen" heißen, da sich die Bezeichnung von Hymenaios, dem (männlichen) Gott der Ehe ableitet. In Analogie zum „Häutchen" hat sich aber im klinischen Sprachgebrauch „das Hymen" durchgesetzt.

Wenn das Hymen durch eine (sehr seltene) Fehlbildung vollständig verschlossen ist (Hymen imperforatus), kommt es bei einsetzender Menstruation zum Blutstau. Dann muss das Hymen operativ eröffnet werden. Andererseits kann ein eingerissenes Hymen auf Wunsch operativ rekonstruiert werden.

In das Vestibulum vaginae münden die Ausführungsgänge der beiden **Glandulae vestibulares majores** (**Bartholin-Drüsen**[9]). Dies sind etwa erbsgroße Drüsen, die sich im hinteren Viertel der großen Schamlippen befinden, wo sie dem dorsalen Ende des Bulbus vestibuli (s. u.) direkt anliegen. Sie münden in das hintere Drittel des Scheidenvorhofs und befeuchten diesen bei sexueller Erregung mit ihrem alkalischen, schleimhaltigen Sekret. Dieselbe Aufgabe haben mehrere kleinere Glandulae vestibulares minores, die vor allem in vorderen Bereichen zwischen Hymenalsaum und kleinen Labien liegen und ihr Sekret ebenfalls in den Scheidenvorhof abgeben.

Bei der Entzündung einer Glandula vestibularis major (**Bartholinitis**) kommt es zu einer einseitigen schmerzhaften Schwellung im hinteren Labiendrittel.

Clitoris und Bulbus vestibuli (► Abb. 15.12)

Die **Clitoris** (Kitzler) ist das Lustorgan der Frau. Ihre direkte oder indirekte Stimulation spielt meist die entscheidende Rolle bei der Entstehung eines Orgasmus (S. 342).

Die Clitoris besteht aus 2 länglichen Schwellkörpern, die als rechtes und linkes **Crus clitoridis**[4] an den unteren Schambeinästen befestigt sind. Die Crura sind in diesem Bereich vom *M. ischiocavernosus* bedeckt. Unterhalb der Symphyse wenden sich die beiden Crura in einem Bogen nach vorn und kaudal und vereinigen sich in der Mittellinie zum **Corpus clitoridis**[2], das ca. 2 cm lang ist und in Richtung Scheidenvorhof weist. Beide Crura sind von einer kräftigen, bindegewebigen Kapsel (*Tunica albuginea*) umgeben. Im Corpus trennt ein medianes Septum die beiden Schwellkörper nur unvollständig. An der Spitze sitzt dem Corpus die **Glans clitoridis**[3] (Kitzlereichel) auf, die oberflächlich liegt und in den Scheidenvorhof hineinragt. Sie besteht aus Bindegewebe, das einer dicken Dermis ähnelt, die von einer dünnen, haarlosen Epidermis überzogen ist. Dieses Bindegewebe der Glans ist gefäßreich und besitzt eine sehr starke und dichte sensible Innervation.

Innen bestehen die Schwellkörper der Clitoris aus kommunizierenden Hohlräumen, den Kavernen, die venenartig mit Endothel ausgekleidet sind. Der vaskuläre Mechanismus der Schwellkörper (S. 352) wird beim ähnlich gebauten Penis besprochen (S. 354). Bei der Frau sind diese Mechanismen erstaunlich wenig erforscht. So ist noch umstritten, inwieweit das Bindegewebe der Glans clitoridis erektil ist. Vermutlich ist der Übergang vom Corpus zur Glans in dieser Hinsicht fließend.

Neben der Befestigung der Crura an den Schambeinästen wird die Clitoris auch durch das Lig. suspensorium clitoridis an der Symphyse befestigt. Vom Scheidenvorhof her wird das Corpus clitoridis von den Frenula clitoridis gehalten, Abzweigungen der kleinen Labien, die an der Unterseite des Cor-

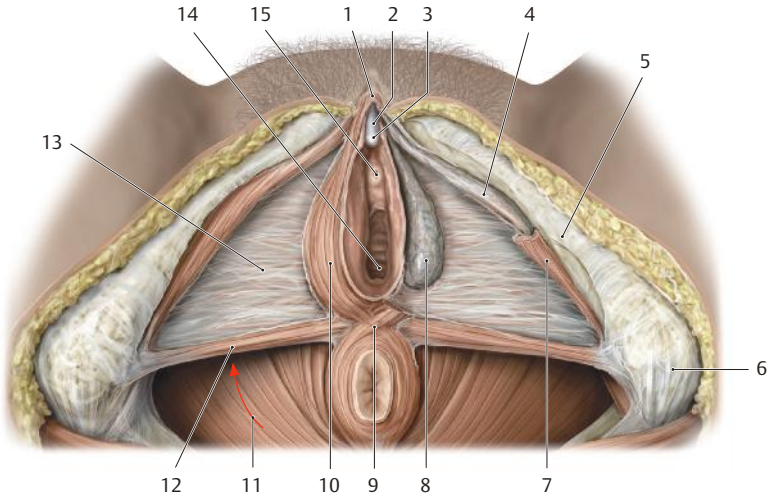


Abb. 15.12 Weibliche Dammregion mit Dammmuskeln und Schwellkörpern. Die Ansicht von kaudal entspricht der Steinschnittlage, also der Lage einer Patientin im gynäkologischen Untersuchungsstuhl.

1 Preputium clitoridis
2 Corpus clitoridis
3 Glans clitoridis
4 Crus clitoridis
5 R. inferior ossis pubis
6 Tuber ischiadicum
7 M. ischiocavernosus
8 Bulbus vestibuli
9 Centrum perinei
10 M. bulbospongiosus
11 Pfeil weist in die Fossa ischioanalis
12 M. transversus perinei superficialis
13 Membrana perinei
14 Vestibulum vaginae
15 Ostium urethrae externum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

pus clitoridis ansetzen. Kranial ist die Glans clitoridis kapuzenartig vom Preputium clitoridis (Kitzlervorhaut) bedeckt, das ebenfalls von den kleinen Labien ausgeht (s. o.). Die Frenula verhindern, dass sich die Clitoris beim Druckanstieg in den Schwellkörpern stärker aufrichtet.

In der Basis der großen Labien, direkt rechts und links neben den kleinen Labien, liegt ein weiterer paariger Schwellkörper, der **Bulbus vestibuli**[8]. Die Bulbi verdanken ihren Namen der Tatsache, dass sie das Vestibulum vaginae fast vollständig umschließen. Kranial liegen sie der Membrana perinei (Diaphragma urogenitale) an und sind mit ihr fest verbunden. Ihre kaudale Oberfläche wird vollständig vom M. bulbospongiosus[10] bedeckt. Beide Bulbi sind nach dorsal keulenförmig erweitert, werden nach ventral aber immer schmaler und laufen schließlich in dünne Venengeflechte aus, die mit der Glans clitoridis in loser Verbindung stehen. An ihrem breiten, dorsalen Ende liegt ihnen die **Glandula vestibularis major** an (s. o.).

Es ist vorgeschlagen worden, auch die beiden Bulbi vestibuli zum Clitoris-Komplex zu rechnen und „Bulbus clitoridis" zu nennen. Dies würde der Tatsache Rechnung tragen, dass sie eine Verbindung zur Glans clitoridis haben, sowie auch die entwicklungsgeschichtliche Entsprechung (Homologie) zum Corpus spongiosum des Penis berücksichtigen und die Schwellkörper um den Scheideneingang zu einem Organ zusammenfassen. Diese Sichtweise hat sich aber bisher nicht allgemein durchgesetzt.

Leitungsbahnen

Arteriell versorgt wird das äußere Genitale oberflächlich über die **A. pudenda externa** aus der A. femoralis, die **Rr. labiales anteriores** an die vorderen Anteile der großen Schamlippen abgibt. Die übrige Versorgung übernimmt die **A. pudenda interna** mit ihren Ästen. Sie zieht durch die Fossa ischioanalis nach ventral und gibt **Rr. labiales posteriores** für die Schamlippen ab, eine **A. bulbi vestibuli** für die Bulbusschwellkörper und versorgt mit ihren Endästen, **A. profunda clitoridis** und **A. dorsalis clitoridis** die Clitoris.

Die Venen heißen entsprechend und fließen in die V. pudenda interna oder externa ab. Nur die V. dorsalis profunda clitoridis hat einen eigenen Abfluss durch eine Lücke unterhalb der Symphyse, wo sie oberhalb des Beckenbodens Anschluss an die Venengeflechte der Harnblase gewinnt.

Lymphgefäße vom äußeren Genitale drainieren in die oberflächlichen inguinalen Lymphknoten, von Glans und Corpus clitoridis auch in die tiefen.

Die Nerven stammen hauptsächlich aus dem **N. pudendus**, dessen Endast – nach Abgabe der Nn. labiales posteriores – der N. dorsalis clitoridis ist. An der sensiblen Versorgung der großen Labien sind aber auch Äste des N. genitofemoralis und des N. ilioinguinalis beteiligt, die Nn. labiales anteriores abgeben. Es ist erwähnenswert, dass Glans clitoridis und Glans penis etwa gleich viele Nervenendigungen besitzen, was bei der verschiedenen Größe zu einer im Vergleich deutlich höheren Nervendichte in der Glans clitoridis führt.

Sexuelle Reaktion der Frau

Verschiedenste Reize, psychische wie körperliche, können eine sexuelle Reaktion auslösen. Sie äußert sich zunächst in verstärkter Durchblutung aller Geschlechtsorgane. Diese führt zu einer Vergrößerung der Schwellkörper, aber auch der kleinen Labien. Außerdem kommt es zu einer vermehrten Befeuchtung der Vaginalschleimhaut durch Transsudation, im weiteren Verlauf auch zur Sekretion der Bartholin-Drüsen. Die erhöhte Blutfülle in den Venengeflechten der kaudalen Vagina verengt diesen Abschnitt, der dann „orgastische Manschette" genannt wird, während der kraniale Abschnitt der Vagina sich eher weitet. Bei stärkster Erregung, die überwiegend über eine Stimulation der Glans clitoridis ausgelöst wird, kommt es zum Orgasmus, der sich neben allgemeinen Reaktionen und Empfindungen in rhythmischen Kontraktionen der Beckenbodenmuskulatur und der kaudalen Vaginalmuskulatur äußert.

Bei vielen Frauen kommt es auch zu einem Sekretausstoß der urethralen und paraurethralen Drüsen („weibliche Ejakulation") (S. 323). Eine meist geringere Rolle für die Auslösung eines Orgasmus spielt die (von Sigmund Freud überschätzte) vaginale Stimulation. Diese soll vor allem über den „G-Punkt" vermittelt werden, ein Areal in der kaudalen vorderen Scheidenwand im Bereich der paraurethralen Drüsen. Anatomisch lässt sich eine erhöhte Sensibilität in diesem Areal bisher nicht begründen (was das Erleben dieser Sensibilität aber nicht ausschließt). Bei allen verallgemeinernden Aussagen ist aber zu berücksichtigen, dass die sexuelle Reaktion der Frau natürlicherweise individuell und sehr variabel ist.

15.3.4 Innere männliche Geschlechtsorgane

Hoden, Nebenhoden, Samenleiter und akzessorische Geschlechtsdrüsen bilden die inneren Geschlechtsorgane des Mannes. Der **Hoden** (**Testis**) ist die primäre Keimdrüse, die sowohl die Spermien als auch die männlichen Geschlechtshormone produziert. Der Hoden wandert kurz vor der Geburt in den Hodensack (Scrotum). Der **Nebenhoden** (**Epididymis**) dient der Reifung und Speicherung der vom Hoden produzierten Spermien. Beim Samenerguss (Ejakulation) werden die Spermien über den **Samenleiter** (**Ductus deferens**) in die Harnröhre abgegeben. Der Samenleiter passiert im Samenstrang den Leistenkanal und mündet als Ductus ejaculatorius innerhalb der Prostata in die Harnröhre.

Die **akzessorischen Geschlechtsdrüsen** bilden mit ihren Sekreten den größeren Flüssigkeitsanteil des Ejakulats und ermöglichen unter anderem die Bewegungsfähigkeit der Spermien. Zu den akzessorischen Geschlechtsdrüsen zählen die unpaare **Prostata** (**Vorsteherdrüse**), die die Harnröhre unterhalb der Harnblase umgibt, sowie die **Bläschendrüsen** (**Glandulae vesiculosae**) und die **Cowper-Drüsen** (**Glandulae bulbourethrales**).

Die männlichen Geschlechtsorgane (▶ **Abb. 15.13**) werden in innere und äußere unterteilt. Zu den inneren Geschlechtsorganen zählt auch der Hoden, die primäre Keimdrüse des Mannes, obwohl er kurz vor oder nach der Geburt nach außen in den Hodensack verlagert wird. Zu den inneren Geschlechtsorganen zählen außerdem der Nebenhoden und der Samenleiter sowie die akzessorischen Geschlechtsdrüsen (Bläschendrüsen, Prostata und Cowper-Drüsen). Die männliche Harnröhre, die als Teil der ableitenden Samenwege inneres und äußeres Genitale miteinander verbindet, wird beim äußeren Genitale besprochen (S. 353).

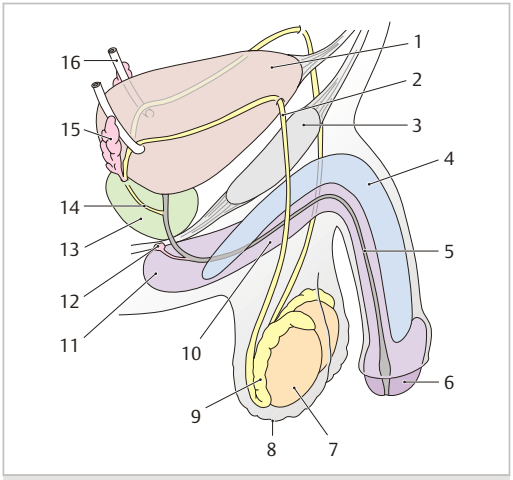


Abb. 15.13 Übersicht über die männlichen Geschlechtsorgane. Schematische Ansicht von rechts oben.

1 Vesica urinaria
2 Ductus deferens
3 Symphysis pubica
4 Corpus cavernosum
5 Urethra
6 Glans penis
7 Testis
8 Scrotum
9 Epididymis
10 Corpus spongiosum
11 Bulbus penis
12 Glandula bulbourethralis
13 Prostata
14 Ductus ejaculatorius
15 Glandula vesiculosa
16 Ureter

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Hoden, Nebenhoden und Samenleiter (▶ Abb. 15.14)

Hoden (Testis)

Der **Hoden** (**Testis**, **Orchis**) ist die Keimdrüse des Mannes. Er ist der Ort der Spermienproduktion, aber auch der Hauptproduktionsort der männlichen Geschlechtshormone – die Produktion in der Nebennierenrinde spielt nur eine untergeordnete Rolle. In der Entwicklung entstehen die übrigen männlichen Geschlechtsorgane nur in Anwesenheit eines hormonproduzierenden Hodens.

Form und Größe. Der Hoden wird traditionell als eiförmig beschrieben, ist aber deutlich kleiner als ein Hühnerei und hat auch nicht dessen typische Asymmetrie, sondern ist annähernd in 2 Ebenen symmetrisch wie ein Ellipsoid. Der Vergleich mit einer Pflaume ist daher angemessener. Der Hoden des erwachsenen Mannes hat einen Längsdurchmesser von etwa 4–4,5 cm und einen Querdurchmesser von etwa 3 cm. Der linke Hoden ist meist etwas größer als der rechte. Man benennt am Hoden einen oberen und einen unteren Pol. Dorsal treten im Bereich des Mesorchiums die Gefäße an den Hoden heran. Lateral davon liegt dem dorsalen Umfang des Hodens in ganzer Länge der Nebenhoden auf.

Am oberen Pol des Hodens findet sich neben dem Nebenhodenkopf meist ein 3–4 mm langes Anhängsel des Hodens, die Appendix testis. Sie ist ein Überbleibsel des beim Mann sonst zurückgebildeten Müller-Gangs (S. 325).

Lage. Der Hoden liegt im **Scrotum**, dem Hodensack (S. 355). Diese für ein „inneres Organ" ungewöhnliche Lage nimmt er im Laufe der Entwicklung ein (Descensus testis (S. 325)), weil die Produktion von Samenzellen nur bei einer Temperatur unterhalb der Körperkerntemperatur regelrecht funktioniert. Im Scrotum beträgt die Temperatur etwa 34–35 °C, wird allerdings z. B. durch enge Kleidung erhöht.

Der Hoden ist im Scrotum in vollem Umfang tastbar. Der meist etwas größere linke Hoden steht auch meist etwas tiefer als der kleinere rechte. Im aufrechten Stand ist die Längsachse des Hodens um etwa 45° gegen die Körperachse geneigt, wobei der obere Pol nach vorn weist.

Fast der gesamte Hoden und Nebenhoden sind von einer serösen Haut bedeckt, dem **Epiorchium** (Lamina visceralis der Tunica vaginalis testis, ▶ Abb. 15.14b[14]). Das Epiorchium wird von einer außen aufliegenden 2. Schicht, dem **Periorchium**[6] (Lamina parietalis), zu einer geschlossenen Höhle (Tunica vaginalis testis) vervollständigt. Die Tunica vaginalis ist eine Abspaltung der Peritonealhöhle und enthält wenig seröse Flüssigkeit.

Eine pathologische Flüssigkeitsansammlung in diesem Hohlraum führt zur **Hydrozele** („Wasserbruch"). Sie kann meist nur durch operative Entfernung der gesamten serösen Höhle behandelt werden.

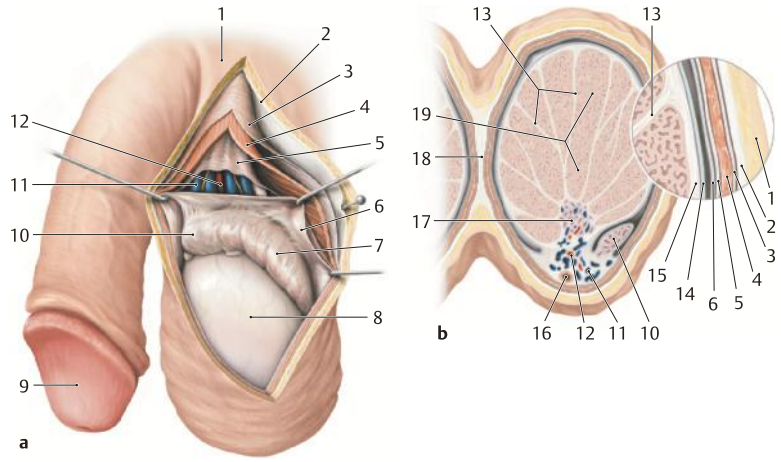


Abb. 15.14 Hoden und Hodenhüllen. a Linker Hoden im eröffneten Scrotum. **b** Horizontalschnitt durch den linken Hoden, Ansicht von kaudal.

1 Haut
2 Tunica dartos
3 Fascia spermatica externa
4 M. cremaster mit Fascia cremasterica
5 Fascia spermatica interna
6 Periorchium (Lamina parietalis tunicae vaginalis testis)
7 Epididymis, Corpus
8 Testis
9 Glans penis
10 Epididymis, Caput
11 Plexus pampiniformis
12 A. testicularis
13 Septula testis
14 Epiorchium (Lamina visceralis tunicae vaginalis testis)
15 Tunica albuginea
16 Ductus deferens
17 Mediastinum testis mit Rete testis
18 Septum scroti
19 Lobulus testis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der schmale dorsale Bereich, der frei von Serosa bleibt und über den Leitungsbahnen an Hoden und Nebenhoden herantreten können, wird **Mesorchium** („Meso" des Hodens) genannt. Nur in diesem Bereich ist der Hoden also bindegewebig im Scrotum fixiert. Die weiteren Hodenhüllen werden beim Scrotum besprochen (S. 355).

15

Wenn die Befestigung über das Mesorchium außergewöhnlich schmal ist, kann es zu einer Stieldrehung des Hodens im Scrotum kommen (**Hodentorsion**), die wegen der Abdrehung der Blutzufuhr schmerzhaft ist und das Überleben des Hodengewebes gefährdet.

Aufbau des Hodens. Der Hoden wird von einer derben, weißlichen Kapsel umgeben, der **Tunica albuginea**[15]. Sie enthält neben Bindegewebsfasern auch glatte Muskelzellen, die die Kapsel unter Spannung setzen. Zusammen mit seinem eher „weichen" Inhalt gibt dies dem Hoden seine prallelastische Konsistenz.

Der dorsale bindegewebige Bereich innerhalb des Hodens, über den die Gefäße eintreten und die Samenkanälchen durch das Rete testis austreten, wird **Mediastinum testis**[17] genannt. Der übrige Innenraum wird von sehr dünnen Bindegewebswänden (*Septula testis*[13]) in etwa 370 Läppchen (**Lobuli testis**) unterteilt, die alle konzentrisch auf das Mediastinum zulaufen. In den Läppchen liegen die stark aufgeknäuelten **Samenkanälchen**, **Tubuli seminiferi** (Einzahl: Tubulus seminifer). Sie enthalten das spermienbildende Keimepithel.

Der Wand der Tubuli seminiferi liegen innen die Spermatogonien Typ A an, die Stammzellen der Keimbildung. Sie treten in eine differenzielle Zellteilung ein, bei der eine Toch-

terzelle als Stammzelle liegen bleibt, während die andere Tochterzelle als Spermatogonie Typ B die Keimzellbildung beginnt. Die Spermatogonie Typ B wird durch mitotische Teilung zum Spermatozyten I, der dann in die **meiotische Reifeteilung** eintritt. Dabei entstehen aus einem Spermatozyten I zwei Spermatozyten II und schließlich vier Spermatiden mit haploidem Chromosomensatz. Bei der folgenden **Differenzierung** wird die Spermatide u. a. mit einer Geißel versehen und schließlich als Spermium (Spermatozoon) in das Lumen des Samenkanälchens entlassen. Von der basalen zur luminalen Seite des Keimepithels lassen sich histologisch alle diese Stufen nachweisen, allerdings sind die Spermatozyten II wegen ihrer kurzen Existenz nur selten im Präparat zu sehen. Die Dauer von einer Spermatogonienteilung bis zu den fertigen Spermatiden beträgt konstant 74 Tage.

Der gesamte Vorgang wird von den Stützzellen des Keimepithels, den Sertoli-Zellen, reguliert. Diese Zellen bilden oberhalb der Spermatogonien durch feste Zellkontakte eine Schranke, die den Tubulus seminifer in eine *basale* und eine *adluminale* Abteilung unterteilt (morphologisches Korrelat der **„Blut-Hoden-Schranke“**). Diese Schranke ist eine Stoffwechselbarriere, die nicht nur ein spezielles Milieu für die Keimzellbildung schafft, sondern auch eine Immunreaktion des Organismus auf die genetisch „neuen“ Spermatiden verhindert. Das Innere der Tubuli seminiferi ist daher eine „immunprivilegierte“ Region.

In den Räumen außerhalb der Tubuli liegen Gruppen von Leydig-Zellen, die die männlichen Geschlechtshormone bilden, insbesondere das **Testosteron**. Dieses Testosteron hat direkte Wirkungen auf das Keimepithel in den benachbarten Tubuli sowie über das Blut diverse Wirkungen auf den Organismus. Die Hormonproduktion der Leydig-Zellen wird vom luteinisierenden Hormon (LH) des Hypophysenvorderlappens gesteuert.

Alle Samenkanälchen münden dorsal in das **Rete testis**, ein System von epithelbekleideten Spalträumen im Mediastinum testis. Diese Spalträume gehen über in die **Ductuli efferentes**, die die Tunica albuginea durchqueren und in den Nebenhoden führen (▶ **Abb. 15.15**). Über einen konstanten Flüssigkeitsstrom werden auf diesem Weg Spermien von den Samenkanälchen in den Nebenhoden transportiert.

Das Rete testis liegt im Mediastinum in einem spezialisierten Bindegewebskörper, dem Corpus Highmori, das auch von glatten Muskelzellen durchsetzt ist. Das Rete testis kann mit einem Schwamm verglichen werden, der die Flüssigkeit der Samenkanälchen aufnimmt und der durch die Muskelzellen des Corpus Highmori den Flüssigkeitsstrom vom Hoden in den Nebenhoden steuert.

Veränderungen im Laufe des Lebens. Die Testosteronproduktion der Leydig-Zellen, die in der Fetalzeit einsetzt und die Entwicklung zu einem männlichen Organismus veranlasst, wird nach der Geburt zunächst wieder vollständig eingestellt und erst in der Pubertät erneut aufgenommen. Dann induziert sie die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale und die Aufnahme der Spermienproduktion. Die aus den Urkeimzellen entstandenen Spermatogonien vermehren sich bis zur Pubertät entsprechend der Größenzunahme des Hodens. Die vollständige Spermienproduktion setzt aber erst zu Beginn der Pubertät ein.

Im Alter lässt im statistischen Durchschnitt sowohl die Spermien- als auch die Testosteronproduktion nach. Ab dem 65. Lebensjahr können sich in den Hoden degenerative Veränderungen finden. Die Zahl der Spermatozoen im Ejakulat wird dadurch geringer. Allerdings ist die individuelle Variabilität dieser Prozesse sehr groß, viele Männer bleiben bis ins hohe Alter fruchtbar. Einen plötzlichen Abbruch der Hodenfunktion gibt es jedenfalls normalerweise nicht und die „männlichen Wechseljahre“ sind daher selten, auch wenn die pharmazeutische Industrie versucht, dieses „Krankheitsbild“ im Bewusstsein breiter Kreise der männlichen Bevölkerung zu verankern.

Nebenhoden (Epididymis) und Samenleiter (Ductus deferens) (▶ Abb. 15.15)

Der **Epididymis** (**Nebenhoden**) ist ein längliches Gebilde, das dem Hoden dorsal aufliegt und sich von kranial nach kaudal verjüngt. Der Nebenhoden wird unterteilt in **Caput**[2], **Corpus**[3] und **Cauda**[4] (Kopf, Körper und Schweif). Das Caput ist am größten und liegt dem oberen Hodenpol an. Die Cauda geht am unteren Hodenpol in den **Samenleiter** (**Ductus deferens**[5]) über.

Oben an seinem Kopf hat auch der Nebenhoden ein kleines Anhängsel, die Appendix epididymidis, einen gestielten Fortsatz mit einem kleinen darin enthaltenen Bläschen. Es handelt sich um einen Überrest des kranialen Wolff-Gangs.

Der Nebenhoden hat wie der Hoden eine – wenn auch dünnere – Tunica albuginea. Diese Kapsel beherbergt im Grunde nichts als einen 5–6 m langen, gewundenen Gang, den **Ductus epididymidis** (Nebenhodengang). Außerdem nimmt der Neben-

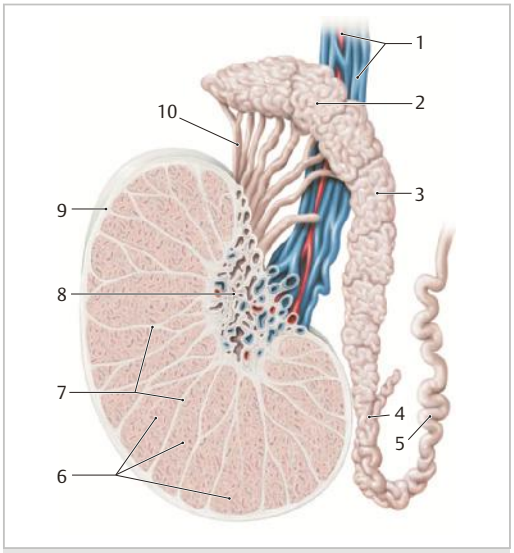


Abb. 15.15 Hoden und Nebenhoden. Linker Hoden, Aufsicht von links. Der Hoden ist annähernd sagittal aufgeschnitten, der Nebenhoden ist ohne Tunica albuginea dargestellt, der Nebenhodenkopf vom Hoden abgehoben, um die Ductuli efferentes zu demonstrieren.

1 A. testicularis und Plexus pampiniformis
2 Caput epididymidis
3 Corpus epididymidis
4 Cauda epididymidis
5 Ductus deferens
6 Lobuli testis
7 Septula testis
8 Mediastinum testis
9 Tunica albuginea
10 Ductuli efferentes

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

hodenkopf noch die Ductuli efferentes vom Hoden auf. Hierbei handelt es sich um 8–12 Gänge, die am oberen Hodenpol aus dem Hoden herausführen. Sie sind jeweils etwa 12 cm lang, aber auf eine Länge von 1 cm aufgeknäuelt, und verbinden das Rete testis mit dem Nebenhodengang.

Die Ductuli efferentes werden von einem unregelmäßigen ein- bis zweireihigen Epithel ausgekleidet, dessen Zellen teilweise Mikrovilli, teilweise Kinozilien tragen. Der Ductus epididymidis besitzt ein gleichmäßiges zweireihiges Zylinderepithel mit Stereozilien. Unter dem Epithel finden sich Myofibroblasten, in der Cauda auch glatte Muskelzellen, deren Zahl nach distal zunimmt.

Auch durch Ductuli efferentes und Nebenhodengang werden die Spermien mit einem konstanten Flüssigkeitsstrom transportiert. Für die gesamte Passage des Nebenhodens brauchen sie 8–14 Tage. In Caput und Corpus des Nebenhodens wird von den Gangepithelien Flüssigkeit resorbiert, sodass die Spermienkonzentration im Lumen zunimmt. Außerdem sezernieren die Epithelzellen des Ductus epididymidis Substanzen, die für die funktionelle **Ausreifung** der Spermatozoen von Bedeutung sind. Durch eine Kombination von zeitlich vorprogrammierten Abläufen innerhalb des Spermatozoons und von außen durch Nebenhodenfaktoren hervorgerufene Veränderungen sind die Spermien erst am Ende dieser Passage durch Caput und Corpus befruchtungsfähig.

Der Nebenhodengang in der Cauda epididymidis dient gemeinsam mit dem Anfangsteil des Samenleiters als **Speicherort** für befruchtungsfähige Spermien, die dann bei der Ejakulation ausgestoßen werden (s. u.). Außerdem können die Epithelien die Überreste gealterter Spermien, die nicht ausgestoßen wurden, resorbieren und abbauen.

Häufigste Erkrankung des Nebenhodens ist die akute, sehr schmerzhafte Entzündung (**Epididymitis**). Ursache sind meist sexuell übertragbare Erreger, die über den Samenleiter in den Nebenhoden gelangen.

Der **Ductus deferens** (**Samenleiter**, Vas deferens, ▶ **Abb. 15.13**, ▶ **Abb. 15.15**, ▶ **Abb. 15.16**) ist ein 35–40 cm langer und 3 mm dicker Muskelschlauch, der den Nebenhoden mit der Harnröhre verbindet. Er geht am unteren Pol des Hodens aus dem Ductus epididymidis des Nebenhodenschweifs hervor, steigt entlang des Nebenhodens auf und läuft dann im **Samenstrang** (**Funiculus spermaticus**) in Richtung Leistenkanal. Durch den Leistenkanal tritt er in das kleine Becken ein, läuft dort am Rande der Harnblase nach dorsal und liegt oberhalb der Uretereinmündung zwischen distalem Ureter und Harnblasenwand. Dann wendet er sich auf der dorsalen Harnblasenwand nach medial und kaudal, nimmt den Ausführungsgang der Bläschendrüse auf und tritt als **Ductus ejaculatorius** in die Prostata ein. Im Zentrum der Prostata mündet er in die Harnröhre (S. 350). Vor Eintritt des Ausführungsgangs der Bläschendrüse, also an

der Blasenhinterwand, ist er zur **Ampulla ductus deferentis** erweitert.

Auf histologischen Schnitten fällt der Samenleiter durch eine erstaunlich kräftige, dreigeschichtete Muskulatur und ein relativ kleines, sternförmiges Lumen auf. Das Lumen wird von einem mehrreihigen Zylinderepithel mit Stereozilien begrenzt. Die glatte Muskulatur ist in komplexen Spiralen angeordnet, die von einer Schicht in die andere übergehen.

Aufgrund seiner kräftigen Muskulatur ist der Samenleiter innerhalb des Samenstrangs als sehr feste Struktur beim Tasten gut abgrenzbar.

Für die dauerhafte Sterilisation des Mannes kann der Samenleiter unterhalb des Eintritts in den Leistenkanal operativ durchtrennt werden (**Vasektomie**).

Der Anfangsteil des Samenleiters (Pars epididymica) besitzt ein noch deutlich weiteres Lumen als der übrige Samenleiter. Dieser Teil dient gemeinsam mit dem Nebenhodengang der Cauda epididymidis als **Hauptspeicherort** für die befruchtungsfähigen Spermien. Die Muskelwände dieser Gangabschnitte sind reich sympathisch innerviert. Zu Beginn eines **Samenergusses** (**Ejakulation**) werden diese Abschnitte durch Kontraktionen der Längsmuskulatur verkürzt und das Lumen dadurch erweitert. Dann folgen schnelle peristaltische Kontraktionswellen entlang des Samenleiters, die die gespeicherten Spermien durch den Samenleiter transportieren und in die Harnröhre ausstoßen. Dieser erste Teil der Ejakulation wird **Emission** genannt. Bei der anschließenden eigentlichen Ejakulation (S. 355) werden diese Spermien gemeinsam mit den Sekreten von Prostata und Bläschendrüsen aus der Harnröhre ausgestoßen.

Bei sexueller Abstinenz oder nach einer Vasektomie (s. o.) werden die weiterhin gebildeten Spermatozoen von den Epithelzellen des distalen Nebenhodens oder von Makrophagen abgebaut.

Leitungsbahnen von Hoden und Nebenhoden.

Beim Abstieg aus der Bauchhöhle nimmt der Hoden seine Leitungsbahnen mit. Daher stammen diese aus dem Bauchraum und erreichen den Hoden nur durch den Leistenkanal. Innerhalb des Leistenkanals und auf dem Weg von dort zum Hoden sind die Leitungsbahnen zum Samenstrang zusammengefasst.

Die arterielle Versorgung für den Hoden stammt aus der **A. testicularis**, die beidseits direkt aus der Bauchaorta unterhalb der Nierenarterien abgeht. Der Verlauf der Arterie lässt den entwicklungsgeschichtlichen Abstieg des Hodens nachvollziehen. Sie liegt im Retroperitonealraum auf dem M. psoas, überkreuzt auf diesem den Ureter, an den sie kleine Äste abgibt, und läuft dann zum Leistenkanal. Den Leistenkanal durchquert sie als Teil des Samenstrangs, mit dem sie dann zum Hoden hinabzieht und Äste an den Nebenhoden abgibt. Sie anastomosiert oberhalb des Hodens mit der kleinen A. ductus deferentis, einem Ast der A. umbilicalis, der den Samenleiter durch den Samenstrang begleitet, und der ebenfalls kleinen A. cremasterica aus der A. epigastrica inferior.

Die Venen des Hodens bilden ein Venengeflecht, den **Plexus pampiniformis**, der im Samenstrang durch den Leistenkanal zieht, um dann, auf 2 oder 3 Venen reduziert, parallel zur A. testicularis nach kranial durch den Retroperitonealraum zu ziehen. Schließlich vereinigen sich die Venenäste zu jeweils einer V. testicularis, die rechts direkt in die V. cava inferior, links rechtwinklig in die V. renalis mündet.

Krampfaderartige Erweiterungen des Plexus pampiniformis (**Varikozele**) bereiten Schmerzen und können durch Temperaturerhöhung im Hoden auch zur Verminderung der Spermienproduktion führen. Wegen der schlechteren Abflussverhältnisse an der rechtwinkligen Einmündung der linken V. testicularis in die V. renalis tritt die Varikozele häufiger links auf.

Die **Lymphgefäße** von Hoden und Nebenhoden folgen den Venen und ziehen mit diesen durch den Leistenkanal ins Retroperitoneum. Die erste Lymphknotenstation für die Hodenlymphe liegt daher rechts und links der Aorta in den **Nodi lymphoidei lumbales** (klinisch: **paraaortale Lymphknoten**). Im Gegensatz dazu gelangt die Lymphe der Hodenhüllen und des Scrotums in die Leistenlymphknoten (Nodi lymphoidei inguinales).

Lymphknotenmetastasen bösartiger Hodentumoren entstehen daher zuerst in den paraaortalen Lymphknoten. Eine Verbindung zu den inguinalen Lymphknoten besteht normalerweise nicht. Daher wird der Hoden bei Tumorverdacht nicht durch die Skrotalhaut hindurch punktiert, weil dies einen zusätzlichen Metastasenweg schaffen könnte.

Hoden, Nebenhoden und Samenleiter erhalten über den Samenstrang **sympathische Nervenfasern** aus den vegetativen Geflechten des Bauch- und Beckenraums. Parasympathische Fasern spielen keine nennenswerte Rolle. Afferente Fasern (Schmerzfasern) werden ebenfalls über den Samenstrang geleitet und enden im unteren Thorakalmark.

Die Leitungsbahnen für Hoden und Nebenhoden und der Samenleiter bilden innerhalb des Leistenkanals und im Scrotum ein von Bindegewebshüllen umgebenes Bündel, den **Funiculus spermaticus** (**Samenstrang**). Er enthält:

- den **Samenleiter** (**Ductus deferens**) mit A. und V. ductus deferentis,
- die **A. testicularis**,
- den **Plexus pampiniformis**,
- Lymphgefäße,
- vegetative Nerven (**Plexus testicularis**) und den **R. genitalis n. genitofemoralis**,
- mitunter einen bindegewebigen Strang als Überrest des Processus vaginalis peritonei (S. 109). Bleibt der Processus vaginalis offen, so liegt auch diese Verbindung von Peritonealhöhle und Cavum serosum scroti innerhalb des Samenstrangs.

Der Samenstrang wird außerhalb des Leistenkanals umhüllt von (von innen nach außen):

- Fascia spermatica interna,
- M. cremaster (mit Fascia cremasterica sowie A. und V. cremasterica),
- Fascia spermatica externa.

Diese Hüllen entsprechen den Hodenhüllen, die eingehender besprochen werden (S. 355).

Innerhalb des Leistenkanals ist der Samenstrang nur von der Fascia spermatica interna umgeben, die am inneren Leistenring in die Fascia transversalis der inneren Rumpfwand übergeht. An dieser Stelle trennen sich die Wege der Leitungsbahnen des Samenstrangs: Der Samenleiter wendet sich nach medial ins kleine Becken, die Vasa testicularia ziehen nach kranial.

Der **N. ilioinguinalis** zieht mit durch den Leistenkanal und liegt dort dem Samenstrang ventral auf, um dann die Haut um den äußeren Leistenring sensibel zu innervieren, aber auch Äste zum Scrotum abzugeben.

Akzessorische Geschlechtsdrüsen

Glandula vesiculosa (Bläschendrüse)

Die **Glandula vesiculosa** (Bläschendrüse, ▸ **Abb. 15.16**[4]) ist eine längliche, paarig angelegte Drüse, die ihr Sekret dem Ejakulat beimischt. Der ebenfalls verwendete Begriff „Samenbläschen" (Glandula oder Vesicula seminalis) ist missverständlich, da in der Bläschendrüse kein „Samen" produziert oder gespeichert wird.

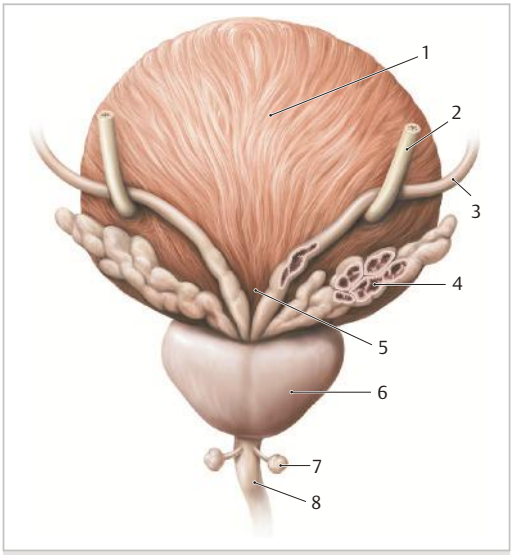


Abb. 15.16 Akzessorische Geschlechtsdrüsen. Dorsalansicht der Harnblase mit Prostata, Glandula vesiculosa und Ductus deferens.
1 Corpus vesicae
2 Ureter
3 Ductus deferens
4 Glandula vesiculosa
5 Fundus vesicae
6 Prostata
7 Glandula bulbourethralis
8 Urethra
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Drüse misst etwa 5 cm in der Länge und 1 cm im Durchmesser. Sie hat eine Oberfläche aus vielen kleinen Vorwölbungen, die die Namensgeber offensichtlich an Bläschen erinnerten. Sie liegt lateral der absteigenden Samenleiter auf der Harnblasenhinterwand. Dorsal liegt ihr das Rectum an. Ihr Ausführungsgang mündet in den Samenleiter (Ductus deferens[3]), kurz bevor dieser in die Prostata[6] eintaucht.

Bei der rektalen Untersuchung erreicht der tastende Finger auch die Gegend der Bläschendrüsen. Die normalen Drüsen sind aber wegen ihrer weichen Konsistenz nicht abgrenzbar.

Innerhalb einer bindegewebigen Kapsel besteht die Bläschendrüse aus einem einzelnen gewundenen Gang aus glatter Muskulatur. Die stark gefaltete Schleimhaut trägt ein zweireihiges prismatisches Drüsenepithel.

Die Bläschendrüse trägt mit ihrem Sekret zu über 50 % zum Volumen des Ejakulats bei. Sie produziert ein visköses, leicht alkalisches Sekret, das außer Proteinen viel Fruktose enthält. Die Fruktose wird von den Spermien als Energiequelle genutzt und ist daher für deren Beweglichkeit unabdingbar. Morphologie und Funktion der Bläschendrüse sind vom Testosteronspiegel des Blutes abhängig.

Prostata (Vorsteherdrüse)

Die **Prostata** (Vorsteherdrüse, ▶ **Abb. 15.17**) umgibt direkt unterhalb der Harnblase die Harnröhre. Die Drüse ist kastaniengroß: etwa 3 cm hoch, 4 cm breit und im sagittalen Durchmesser 2 cm dick; sie wiegt etwa 20 g. Kranial ist die Prostata etwas breiter und verjüngt sich nach kaudal. Der kaudale Teil wird daher Apex (Spitze) genannt, während kranial die Basis liegt. Die dorsale Fläche der Prostata weist median einen seichten Sulcus auf, der den falschen Eindruck entstehen lässt, die Prostata bestehe aus 2 Lappen. Die Harnröhre liegt exzentrisch im vorderen Teil der Prostata, sodass etwa drei Viertel des Organs hinter der Harnröhre liegen.

Lagebeziehungen. Kranial der Prostata liegt die Harnblase , mit deren Fundus die Drüse verwachsen ist. Ventral liegen das Spatium retropubicum und die Symphyse. Am Schambein ist die Drüse mit dem Lig. puboprostaticum befestigt. Kaudal und lateral liegt die Prostata auf dem M. levator ani und erreicht im Levatortor das „Diaphragma urogenitale". Dorsal liegt ihr das Rectum an, von dem sie nur durch das Septum rectovesicale getrennt ist. Sie hat also keinen Peritonealüberzug. In dieser Bindegewebsplatte liegen ihr auch vegetative Nervengeflechte an (Plexus hypogastricus inferior).

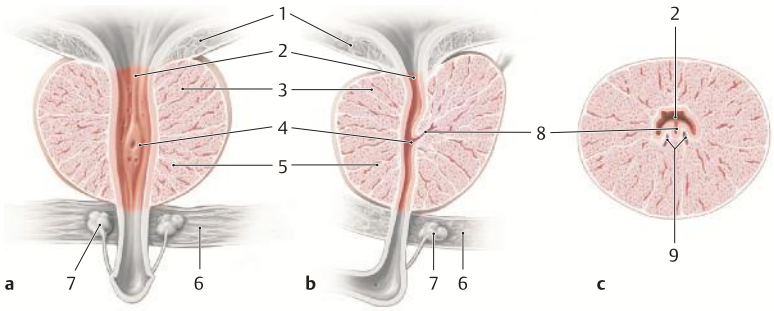


Abb. 15.17 Prostata. a Frontalschnitt, **b** Mediansagittalschnitt und **c** Horizontalschnitt.
1 Cervix vesicae
2 Urethra
3 Prostata, Basis
4 Colliculus seminalis
5 Prostata, Apex
6 Beckenboden
7 Glandula bulbourethralis
8 Utriculus
9 Ductus ejaculatorius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Hinterfläche der Prostata kann gut vom Rectum aus getastet werden (rektale digitale Untersuchung). Dabei kann ihre Größe und Konsistenz beurteilt werden.

Bei der operativen Entfernung der Prostata (Prostatektomie) wegen eines bösartigen Tumors kann es durch Schädigung des Plexus hypogastricus zur Erektionsstörung kommen.

Die **Urethra** (Harnröhre) durchzieht die Prostata in kraniokaudaler Richtung, wobei sie in der Mitte einen leichten Knick nach vorn macht. Sie ist im Zentrum der Prostata spindelförmig erweitert. Diese Erweiterung wird durch eine dorsale Erhebung der Harnröhrenwand, den **Colliculus seminalis**[4], eingeengt. Dadurch hat die Urethra hier im Horizontalschnitt ein hufeisenförmiges Lumen. Der Colliculus seminalis weist 3 Öffnungen auf: Zentral mündet der **Utriculus**[8], ein etwa 5 mm langer blinder Schlauch, der ein Überrest des Müller-Gangs (S. 325) ist, also eine entwicklungsgeschichtliche Entsprechung des Uterovaginalkanals. Darunter befinden sich die beiden Öffnungen der **Ductus ejaculatorii**[9] (Spritzkanälchen). Diese stellen den Endabschnitt des Samenleiters (Ductus deferens) nach der Einmündung der Bläschendrüse dar. Die Ductus ejaculatorii durchziehen die Prostata von hinten oben bis zum Colliculus seminalis.

Die Prostata wird von einer kräftigen bindegewebigen **Kapsel** umgeben. Das bindegewebige Stroma der Drüse enthält auffällig viel glatte Muskulatur. In dieses **fibromuskuläre Stroma** sind 30–50 verzweigte Einzeldrüsen eingebettet, die mit 15–30 Ausführungsgängen individuell in die Urethra münden. Das Drüsenepithel ist zweireihig kubisch oder zylindrisch. Im histologischen Präparat findet man im Drüsenlumen häufig bis zu 2 mm große Prostatasteine. Es handelt sich um konzentrisch abgelagerte Sekretbestandteile ohne Krankheitswert.

Die Prostata ist, wie oben angedeutet, anatomisch *nicht* in Lappen gegliedert. Klinisch-histologisch lässt sie sich in folgende Zonen einteilen (▶ **Abb. 15.18**):

- **Periurethralzone** (oder periurethrale Mantelzone): schmaler Bereich um die Urethra oberhalb des Colliculus seminalis,
- **zentrale Zone** (oder Innenzone): keilförmiger Bereich hinter der Urethra um die Ductus ejaculatorii,
- **Transitionalzone**: kleiner Bereich beidseits lateral der Periurethralzone und ventral der zentralen Zone,
- **periphere Zone** (oder Außenzone): der ganze Rest der Drüse (ca. 70 %) dorsal, kaudal und lateral mit Ausnahme eines vor der Urethra gelegenen anterioren Bereichs, der drüsenfrei ist.

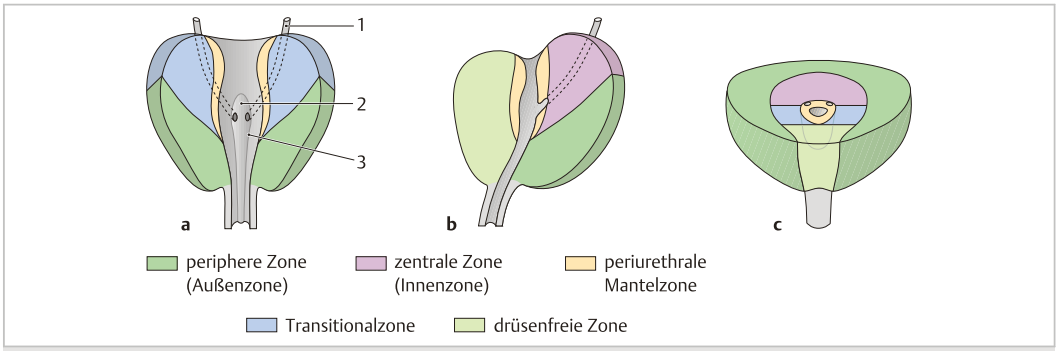


Abb. 15.18 Gliederung der Prostata. Histologische Zonen nach McNeal. **a** Frontalschnitt, Ansicht von ventral (Ductus ejaculatorii und zentrale Zone liegen hinter der Schnittebene. **b** Sagittalschnitt, Ansicht von links (Ductus ejaculatorius und Transitionalzone liegen hinter der Schnittebene. **c** Horizontalschnitt, Ansicht von vorn oben.
1 Ductus ejaculatorius
2 Colliculus seminalis
3 Urethra
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die häufige gutartige **Prostatahyperplasie** betrifft überwiegend die Transitional- und Periurethralzone. Sie führt zu einer Einengung der Urethra und damit zu abgeschwächtem Harnstrahl und potenziell zum Harnverhalt (der plötzlichen Unfähigkeit, die volle Blase zu entleeren).

Das bösartige **Prostatakarzinom** befällt vorwiegend die periphere Zone und ist daher häufig, aber nicht immer, als Verhärtung oder Knoten von rektal tastbar. Es kann ähnliche Beschwerden wie die Prostatahyperplasie verursachen, wenn es durch sein Wachstum die Harnröhre einengt. Es fällt aber nicht selten erst durch typische Fernmetastasen im Skelett auf.

Die Prostata trägt 20–30 % der Flüssigkeitsmenge zum Ejakulat bei. Ihr Sekret ist dünnflüssig, sauer (pH 6,4) und enthält diverse Substanzen, deren Wirkungen nicht alle bekannt sind. Darunter sind Proteasen, die das viskose Sekret der Bläschendrüse verflüssigen, Prostaglandine, die einen Einfluss auf den Uterus haben, und Spermin, das die Beweglichkeit der Spermien fördert und außerdem für den typischen Geruch des Ejakulats verantwortlich ist. Die saure Phosphatase und prostataspezifisches Antigen (eine Protease) finden sich bei Prostataerkrankungen auch vermehrt im Blut und haben daher als prostataspezifische Marker diagnostischen Wert.

Das Prostatasekret wird ebenso wie das der Bläschendrüsen bei der Ejakulation durch Kontraktionen ihrer glatten Muskulatur den Spermien beigemischt, die durch die **Emission** (S. 355) in die Harnröhre abgegeben wurden. Der Vorgang der Ejakulation wird ausführlicher im Kap. Sexuelle Reaktion des Mannes beschrieben (S. 354).

Leitungsbahnen. Prostata und Bläschendrüse werden von Ästen der **A. vesicalis inferior** und der **A. rectalis media** versorgt. Das venöse Blut fließt über den ausgedehnten **Plexus venosus vesicalis** in die Vv. iliacae internae ab. Die regionalen **Lymphknoten** der Prostata sind die Nodi lymphoidei iliaci interni und externi. **Vegetative Nerven** erreichen die Drüse über den Plexus prostaticus, eine Fortsetzung des Plexus hypogastricus inferior. Afferente Nervenfasern laufen primär in das Sakralmark.

Glandulae bulbourethrales (Cowper-Drüsen)

Die **Glandulae bulbourethrales** sind paarige kleine Drüsen, die in der Membrana perinei dorsal des Durchtritts der Urethra liegen. Ihren Namen verdanken sie dem Bulbus penis, dem sie kraniodorsal anliegen (▶ **Abb. 15.16** u. ▶ **Abb. 15.17**). Sie geben ihr klares schleimhaltiges Sekret über je einen langen Ausführungsgang an die Urethra unterhalb des Sphincter urethrae ab, also in die Pars spongiosa der Urethra (S. 354). Kleinere Schleimdrüsen mit ähnlicher Funktion, die Glandulae urethrales (Littré-Drüsen), finden sich im weiteren Verlauf der Urethra.

Im Gegensatz zu Prostata und Bläschendrüsen werden die Cowper-Drüsen unabhängig von der Ejakulation bei sexueller Erregung schon früh aktiviert. Ihr Sekret erscheint an der Öffnung der Harnröhre als „Lusttropfen“ und dient als Gleitmittel beim Geschlechtsakt.

15.3.5 Äußere männliche Geschlechtsorgane

Zu den äußeren männlichen Geschlechtsorganen zählen der **Penis** und das **Scrotum** (Hodensack). Der Penis besteht aus 3 Schwellkörpern, den paarigen **Corpora cavernosa** und dem die Harnröhre umfassenden **Corpus spongiosum**.

Penis

Der Penis (männliches Glied) ist das männliche Kohabitationsorgan. Seine Anatomie ist darauf ausgerichtet, in erigiertem Zustand in die weibliche Scheide einzudringen und beim Samenerguss die Spermien in der Nähe des Muttermundes zu „deponieren“. Für die Harnausleitung spielt der Penis selbst keine entscheidende Rolle außer insofern, als die verlängerte Harnröhre die Blase vor aufsteigenden Infektionen schützt. Dass der Mann beim Wasserlassen „zielen“ kann, dürfte ihm keinen Evolutionsvorteil gebracht haben.

Die **Hypospadie** (S. 326), bei der die Harnröhre weiter proximal am Penis mündet, führt im Allgemeinen nicht zu Problemen der Harnausleitung, sondern „nur" zur Beeinträchtigung der Fertilität.

Aufbau. Der Penis besteht aus einer **Wurzel** (**Radix penis**), die an Beckenboden und Schambein befestigt ist, und einem freien **Schaft** (**Corpus penis**). Am Schaft unterscheidet man eine dorsale und eine urethrale Seite. Der Penis endet mit der **Eichel** (**Glans penis**).

Die **Haut** des Penis ist gut verschieblich. Zwischen Haut und Fascia penis (s. u.) findet sich kein Fettgewebe, sondern nur lockeres Bindegewebe (früher auch als Fascia penis superficialis bezeichnet). Nach distal bildet die Penishaut eine „Reservefalte", die **Vorhaut** (**Preputium**), die vollständig oder fast vollständig die Glans bedeckt. An der Unterseite zieht ein Bändchen, **Frenulum preputii**, von der Glans zur Vorhaut. Die Vorhaut besteht aus 2 Hautschichten, die sich normalerweise durch Zurückziehen der Haut am Penisschaft vollständig „entfalten" lassen. Beim Neugeborenen sind die Epithelien von Glans und innerem Vorhautblatt allerdings noch miteinander verwachsen. Diese physiologische Verklebung löst sich spätestens im 3. Lebensjahr.

Sowohl die Vorhaut als auch die Oberfläche der Glans tragen mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel. Unter der Vorhaut sammeln sich abgeschilferte Epithelzellen, die durch Bakterienbesiedelung eine talgartige Substanz bilden, die **Smegma** genannt wird.

Wenn die Vorhaut nicht vollständig zurückgestreift werden kann, liegt dies meist an einer Vorhautverengung (**Phimose**). Weitere Gründe sind ein Verkleben der Vorhaut mit der Glans über das 3. Lebensjahr hinaus oder ein zu kurzes Frenulum.

Bei Phimose oder mangelnder Hygiene kann es zu Entzündung der Glans (Balanitis) und der Vorhaut kommen (Balanoposthitis). In Kulturen, die eine rituelle **Beschneidung** (**Zirkumzision**) durchführen, ist das Peniskarzinom seltener, weshalb eine krebsauslösende Wirkung des Smegmas angenommen wird.

Der Penis besteht aus 3 **Schwellkörpern**, dem paarig angelegten *Corpus cavernosum* und dem *Corpus spongiosum*, das die Harnröhre enthält. Die **Corpora cavernosa** beginnen wie die Schwellkörper der Clitoris proximal jeweils mit einem Schenkel, **Crus penis**, der am Periost des unteren Schambeinastes befestigt ist. Diese Befestigung bestimmt die Stellung des Penis bei der Erektion. Die Crura penis sind vom M. ischiocavernosus bedeckt. Am Unterrand der Symphyse treten die beiden Crura in der Mitte zusammen und bilden den Penisschaft. Sie enden an der Glans.

Das **Corpus spongiosum** (Harnröhrenschwellkörper) beginnt proximal mit einer Erweiterung, dem **Bulbus penis**. Dieser ist mit der kaudalen Fläche der Membrana perinei verwachsen. Hier tritt die Harnröhre von kranial in das Corpus spongiosum ein. Der Bulbus penis ist vom M. bulbospongiosus bedeckt. Nach distal verjüngt sich das Corpus spongiosum und läuft in einer Rinne unterhalb der beiden Corpora cavernosa. Am Penisende erweitert es sich ähnlich einer Pilzkappe zur Eichel (**Glans penis**), die den distalen Enden der Corpora cavernosa aufsitzt. Ihr proximaler, leicht vorstehender Rand wird **Corona glandis** genannt. Distal trägt die Glans die Öffnung der Harnröhre (Ostium urethrae externum).

Die 3 Schwellkörper des Penis sind von einer gemeinsamen Faszie umgeben, der **Fascia penis**. Diese Faszie ist distal kurz vor dem Übergang zur Glans an den Schwellkörpern befestigt. Proximal geht sie in die Fascia perinealis über. Am Übergang der Peniswurzel zum Schaft ist der Penis zusätzlich mit Bändern am Rumpf befestigt. Das **Lig. suspensorium penis** liegt tiefer und zieht von der Symphyse zur Penisfaszie. Es ist in der Medianebene dreieckig ausgespannt. Das **Lig. fundiforme penis** liegt oberflächlicher. Es zieht von der Linea alba herunter und umschlingt mit 2 Faserbündeln den Penis.

Die Schwellkörper des Penis sind jeweils von einer weißlichen Bindegewebsschicht, der **Tunica albuginea**, umgeben. Die kräftige Tunica albuginea der Corpora cavernosa umfasst beide Schwellkörper gemeinsam, während ein dünneres Septum sie median trennt. In distalen Abschnitten ist diese Trennung unvollständig, sodass die beiden Schwellkörper ineinander übergehen. Das Corpus spongiosum, das stets von den anderen beiden Schwellkörpern getrennt ist, wird von einer deutlich dünneren Tunica albuginea umgeben.

Innen bestehen die Corpora cavernosa aus kommunizierenden Hohlräumen, den Kavernen, die venenartig mit Endothel ausgekleidet sind. Sie werden von einem Bälkchengerüst umgeben und durchzogen. Diese Bälkchen bestehen

aus Bindegewebe und glatter Muskulatur. Das Corpus spongiosum besteht aus einem Venengeflecht ohne Kavernen, s. Mechanismus der Erektion (S. 354).

Leitungsbahnen des Penis. Die Arterien des Penis stammen aus der A. pudenda interna, die durch die Fossa ischioanalis die Peniswurzel erreicht und auf jeder Seite 3 Äste zum Penis abgibt. Die **A. dorsalis penis** zieht auf dem Penisrücken beidseits der V. dorsalis penis nach distal und versorgt die Haut inklusive Vorhaut und die Glans penis. Sie liegt unterhalb der Fascia penis. Die **A. profunda penis** tritt in das Crus penis ein und durchläuft das gesamte Corpus cavernosum bis zu seiner Spitze. Sie gibt die Rankenarterien, Aa. helicinae, ab, die ihr Blut in die Kavernen des Schwellkörpers leiten. Als 3. Arterie für den Penis tritt die **A. bulbi penis** in den Bulbus ein und zieht unterhalb der Harnröhre längs durch das Corpus spongiosum.

Das venöse Blut des Penis sammelt sich vor allem in der **V. dorsalis profunda penis**, die median unter der Fascia penis verläuft und direkt unterhalb der Symphyse in den Plexus venosus vesicalis und damit in die V. iliaca interna abfließt, also einen anderen Weg nimmt als die Arterien. Oberhalb der Fascia penis liegen subkutane Venen, die Vv. dorsales superficiales genannt werden. Sie fließen über die Vv. pudendae externae in die V. femoralis ab.

Die Lymphgefäße des Penis ziehen zu den oberflächlichen **inguinalen Lymphknoten**.

Durchblutungsstörungen der Penisarterien, z. B. bei Arteriosklerose oder Diabetes mellitus, können zu Erektionsstörungen führen (erektile Dysfunktion).

Somatosensibel innerviert den Penis der **N. dorsalis penis**, ein Ast des N. pudendus, der beidseits lateral der A. dorsalis penis verläuft. Insbesondere die Glans ist sehr dicht sensibel innerviert. Die Nervenfasern für den Penis stammen aus den Segmenten S 2–4 und damit aus niedrigeren Segmenten als die kranial anschließende Rumpfhaut, die aus L 2 innerviert wird. Dies kann entwicklungsgeschichtlich mit der Entstehung aus der Dammregion erklärt werden.

Parasympathische Nervenfasern für den Penis stammen aus den **Nn. splanchnici pelvici**. Sie ziehen über den Plexus hypogastricus inferior und direkt durch den Beckenboden zur Peniswurzel. Da diese parasympathische Innervation für die Erektion verantwortlich ist, werden die Nn. splanchnici pelvici häufig auch Nn. erigentes genannt. Sympathische Nervenfasern stammen ebenfalls aus dem Plexus hypogastricus inferior.

Für Operationen am Penis können durch eine einzelne Injektion an der dorsalen Peniswurzel die beiden Nn. dorsales penis anästhesiert werden (Leitungsanästhesie).

Männliche Harnröhre

Die männliche Harnröhre (Urethra masculina) erstreckt sich vom **Ostium urethrae internum** am Boden der Harnblase bis zum **Ostium urethrae externum** an der Penisspitze. Sie ist etwa 20 cm lang und hat in den engeren Bereichen ein Lumen von 7–9 mm Durchmesser.

Da das Lumen der Harnröhre weiter ist als das der Harnleiter, können Harnsteine, die den Harnleiter durchwandert haben, normalerweise auch ohne Probleme die Harnröhre passieren.

Blasenkatheter, die zur künstlichen Harnableitung in die Harnröhre eingeführt werden, haben einen Durchmesser von 15–18 Charrière (5–6 mm).

Die männliche Harnröhre wird in 4 Teile eingeteilt:

- **Pars intramuralis** (oder *preprostatica*): Die Strecke vom Ostium urethrae internum bis zum Eintritt in die Prostata ist etwa 1 cm lang und liegt größtenteils noch in der Blasenwand.
- **Pars prostatica** : Diese 3–4 cm lange Strecke innerhalb der Prostata ist spindelförmig erweitert. Die dorsale Wand ist zu einer Leiste vorgewölbt, der Crista urethralis, die sich in der Mitte der Prostata zum **Colliculus seminalis** (S. 350) aufwirft, auf dem der Utriculus und die Ductus ejaculatorii münden. In der Rinne neben der Crista münden die Prostatadrüsen. Durch die Crista urethralis ist der Querschnitt der Pars prostatica der Harnröhre hufeisenförmig.

- **Pars membranacea** (oder *intermedia*): Der kurze enge Teil der Harnröhre, der die Membrana perinei („Diaphragma urogenitale") durchbricht. Hier ist die Urethra von Schließmuskeln umgeben (s. u.). Unterhalb des Beckenbodens tritt die Urethra am Ende der Pars membranacea in den Bulbus penis ein.
- **Pars spongiosa** : Dieser längste Teil der Harnröhre durchläuft das gesamte Corpus spongiosum vom Bulbus penis bis zur Glans. Nach dem Eintritt in den Bulbus biegt die Harnröhre fast rechtwinklig nach vorn ab und erweitert sich zur **Ampulla urethrae**. In diese Ampulla münden die Glandulae bulbourethrales (S. 351). Innerhalb des Corpus spongiosum ist das Lumen dann spaltförmig. Bei schlaff herunterhängendem Penis hat die Urethra unterhalb der Symphyse eine weitere annähernd rechtwinklige Biegung. Vor dem Austritt erweitert sich die Harnröhre innerhalb der Glans noch einmal zur **Fossa navicularis**.

Der Verschlussapparat der Harnröhre besteht zunächst aus dem glatten **M. sphincter urethrae internus** (Lissosphincter), der der zirkulären Muskelschicht der Harnröhrenwand entspricht (es ist umstritten, ob diese Schicht den Namen „Sphinkter" verdient). Er reicht vom Blasenausgang bis zur Membrana perinei. Obere Anteile im Bereich des Blasenhalses sind überwiegend sympathisch innerviert ist und verhindern eine retrograde Ejakulation (S. 355). Unterhalb der Prostata kommt der quergestreifte **M. sphincter urethrae externus** (Rhabdosphincter) hinzu, der die Urethra bis zur Membrana perinei hufeisenförmig von ventral umgreift (die dorsale „Lücke" wird zum Teil durch glatte Muskulatur geschlossen).

Wie bei der weiblichen Harnröhre sind die Schließmuskeln also nicht 2 umschriebene ringförmige Sphinkter, sondern ineinander steckende „Röhren" (S. 323). Der M. sphincter urethrae externus schließt auch kaudale Teile der Prostata mit ein, reicht aber nicht bis zum Blasenhals. Er wird vom N. pudendus innerviert. Siehe nähere Erläuterungen zum Mechanismus von Blasenentleerung und -verschluss (S. 323).

Im klinischen Sprachgebrauch wird die Pars spongiosa auch als „vordere Harnröhre", der Teil ab dem M. sphincter urethrae aufwärts als „hintere Harnröhre" bezeichnet. Die **engste Stelle** der Harnröhre ist das Ostium urethrae externum, gefolgt von der Einengung durch den M. sphincter urethrae in der Pars membranacea und dem Ostium urethrae internum. Die **weitesten Stellen** sind die Fossa navicularis, die Ampulla urethrae und die Pars prostatica.



Bei normalen Verhältnissen sollten Instrumente oder **Katheter**, die die äußere Harnröhrenöffnung passieren, theoretisch auch bis zur Harnblase vorgeschoben werden können. Wegen der davor gelegenen Biegung und Erweiterung ist allerdings beim Katheterisieren eher mit Problemen an der 2. Engstelle zu rechnen. Ein Katheter mit leicht nach oben gebogener Spitze (Tiemann-Katheter) kann diese Engstelle eventuell besser überwinden. Ein in der Praxis häufiges Hindernis für den Katheter sind Einengungen der Pars prostatica durch eine **Prostatavergrößerung**.

Bis zum Colliculus seminalis setzt sich in der Harnröhrenschleimhaut das Urothel (Übergangsepithel) der Harnblase fort, distal davon wird es durch ein charakteristisches mehrschichtiges Zylinderepithel ersetzt. Innerhalb der Fossa navicularis geht dieses in ein mehrschichtig unverhorntes Plattenepithel über, dessen Zellen innerhalb der Fossa als Besonderheit starke Glykogeneinlagerungen aufweisen. Dieses Glykogen dient, von den oberflächlichen Zellen freigegeben, als Lebensgrundlage für Milchsäurebakterien (Lactobacillus acidophilus). Die physiologische Besiedelung mit diesen Bakterien sorgt, ähnlich wie die gleiche Besiedelung in der Vagina, für ein saures Milieu und verhindert aufsteigende Infektionen mit pathologischen Keimen.

Sexuelle Reaktion des Mannes

Erektion. Verschiedenste sexuelle Reize können über das Zwischenhirn und das Erektionszentrum im sakralen Rückenmark (S 2–4) eine Erektion des Penis auslösen. Reflexbögen, die beim Geschlechtsverkehr über sensible Afferenzen aus dem Penis stimuliert werden, helfen, die Erektion aufrechtzuerhalten.



Bei einer Querschnittsläsion des Rückenmarks oberhalb von S 2 kann, solange das Erektionszentrum selbst intakt ist, auch durch alleinige mechanische Stimulation des Penis eine reflektorische Erektion ausgelöst werden.

Die parasympathische Aktivierung führt zu einer Dilatation der zuführenden Aa. helicinae. Dadurch strömt vermehrt Blut in die Kavernen der Corpora cavernosa. Gleichzeitig wird der venöse Abfluss gedrosselt, insbesondere am Durchtritt der Venen durch die Tunica albuginea. Dadurch wird der Schwellkörper mit Blut prall gefüllt, bis die nicht dehnbare Tunica albuginea vollständig angespannt ist. Die Schwellkörper werden hart und der Penis richtet sich auf. Durch die zusätzliche Kontraktion des M. ischiocavernosus, der von außen auf die Crura penis drückt, kann im Schwellkörper ein Druck entstehen, der deutlich über dem arteriellen Druck liegt.

Auch Corpus spongiosum und Glans werden während der Erektion vermehrt mit Blut gefüllt, werden aber nicht so hart wie die Corpora cavernosa und bleiben auch komprimierbar. Damit bleibt das Lumen der Harnröhre für den Durchtritt des Samens geöffnet. Die weichere Glans wird außerdem so zu einer Art Stoßdämpfer für den Penis.

Emission und Ejakulation. Bei maximaler sexueller Erregung wird über das Ejakulationszentrum im lumbalen Rückenmark (L2–3) ein Samenerguss ausgelöst. Dieser wird durch die Emission eingeleitet (S. 355), das Einschießen von Spermien aus dem Nebenhoden über den Samenleiter in die prostatische Harnröhre. Bei der eigentlichen Ejakulation wird nun die Muskulatur von Bläschendrüsen und Prostata kontrahiert, um deren Drüsensekrete in die Harnröhre zu befördern und den Spermien beizumischen. Dann folgen einige rhythmische Kontraktionen des M. bulbospongiosus, der die Peniswurzel und die darin befindliche Harnröhre umgreift. Diese Kontraktionen treiben den Samen durch die Harnröhre und schleudern ihn hinaus. Gleichzeitig wird der Blasenhals durch Muskelkontraktion geschlossen, um sowohl das Eindringen von Spermien in die Blase als auch das Beimischen von Harn zum Ejakulat zu verhindern.

Die sexuelle Reaktion des Mannes besteht natürlich nicht nur aus Erektion und Ejakulation. Wie bei der Frau (S. 342) kommt es u. a. zu einer vermehrten Blutfülle aller Geschlechtsorgane. Die Ejakulation fällt üblicherweise zusammen mit den allgemeineren Reaktionen und Empfindungen des Orgasmus.

Hodensack und Hodenhüllen

Der **Hodensack** (**Scrotum**) ist ein Hautbeutel, der den Hoden und die ihm anhängenden Strukturen enthält und der sich zwischen Leiste, Oberschenkel, Penis und Anus vorwölbt (s. ▶ **Abb. 15.14**). Er ist wie die großen Labien der Frau aus den paarigen Genitalwülsten hervorgegangen, die sich aber median zu einem gemeinsamen Hautsack vereinigt haben. An der Vereinigungsstelle ist in der Skrotalhaut eine Hautnaht sichtbar, die **Raphe scroti**, die vom Damm bis zur Peniswurzel zieht. Innen wird der Hodensack an dieser Stelle durch das **Septum scroti** in 2 **Skrotalfächer** aufgeteilt.

Das Scrotum kann zu den Hodenhüllen gezählt werden. Entwicklungsgeschichtlich sind Haut und Tunica dartos eigene Gebilde, während die übrigen Hodenhüllen (Hodenhüllen im engeren Sinne) der vorderen Bauchwand entstammen und vom Hoden bei seiner Verlagerung ins Scrotum „mitgenommen“ worden sind. Sie sind identisch mit den Hüllen des Samenstrangs (S. 348). Von außen nach innen finden sich:

- **Haut**: Die Haut des Scrotums ist sehr dünn und stärker pigmentiert als die übrige Körperhaut. Vereinzelt mit Haaren besetzt, besitzt sie keine fettgewebehaltige Subkutis, sondern stattdessen die Tunica dartos.
- **Tunica dartos** („Fleischhaut“): Hierbei handelt es sich um eine Schicht glatter Muskelzellen und Myofibroblasten. Diese kontrahieren sich auf einen Kältereiz hin und legen die Skrotalhaut in Falten, um die Wärmeabgabe zu reduzieren. Sie liegen der Haut dicht an und sind sonst eingebettet in lockeres Bindegewebe, das diese Schicht mit der folgenden Faszie verbindet.
- **Fascia spermatica externa** : Fortsetzung der äußeren Körperfaszie und damit der Faszie des M. obliquus externus abdominis.
- **M. cremaster** : Die Muskelfasern sind eine Abspaltung der Mm. obliquus internus und transversus abdominis. Sie ziehen am Samenstrang nach kaudal und umgreifen den Hoden. Ihre Kontraktion bewirkt ein Anheben des Hodens (s. u.). Manchmal wird dem M. cremaster, der zwischen die beiden Fasciae spermaticae eingebettet ist, noch eine eigene separate Faszie zugeschrieben, die Fascia cremasterica.
- **Fascia spermatica interna** : Fortsetzung der Fascia transversalis der Bauchwand.

- **Periorchium** (Lamina parietalis der Tunica vaginalis testis): Fortsetzung der Lamina parietalis des Peritoneums.
- **Cavitas serosa scroti**: Ein schmaler geschlossener Spaltraum um den Hoden und Nebenhoden herum, die Fortsetzung der serösen Peritonealhöhle.
- **Epiorchium** (Lamina visceralis der Tunica vaginalis testis): Die dem Hoden und Nebenhoden direkt aufliegende Schicht der serösen Höhle.

Diese serösen Schichten werden näher beschrieben (S. 343).

Das Septum scroti ist eine Fortsetzung der Tunica dartos, der auf beiden Seiten alle genannten Schichten (außer der Haut) anliegen.

Die Kontraktion des M. cremaster lässt sich durch Bestreichen der Innenseite des Oberschenkels auslösen, was ein langsames Anheben des Hodens zur Folge hat. Der afferente Schenkel dieses **Kremasterreflexes** läuft im R. femoralis, der efferente im R. genitalis des N. genitofemoralis, die zentrale Verschaltung liegt im Segment L 1–2. Der Kremasterreflex kann als ein Reflex zum Schutz des Hodens vor Verletzung gedeutet werden. Außerdem könnte das Heranziehen des Hodens an den Körper auch der Temperaturregulation dienen. Weitere Mechanismen der **Temperaturregulation** des Skrotalinhalts sind die Kontraktionen der Tunica dartos, der starke Besatz der Skrotalhaut mit Schweißdrüsen und die enge Verflechtung von zu- und abführenden Gefäßen zum Hoden mit regulierbaren arteriovenösen Anastomosen.

Leitungsbahnen des Scrotums. Das Scrotum erhält seine **Gefäßversorung** in den vorderen Abschnitten von der A. und V. pudenda externa aus der A. und V. femoralis, in den hinteren Abschnitten aus der A. und V. pudenda interna aus der Fossa ischioanalis. Die eigentlichen Hodenhüllen werden aus den Gefäßen des Samenstrangs versorgt (S. 348).

Die **Lymphe** fließt zu den inguinalen Lymphknoten.

Die **Innervation** verläuft über skrotale Äste des N. ilioinguinalis und N. genitofemoralis für kleinere vordere Anteile und des N. pudendus für größere hintere Anteile. Damit liegt der größere Teil der Skrotalhaut im Dermatom S 3, während vordere Anteile zu den deutlich höheren Segmenten L 1–2 gehören. Dies muss bei einer Spinalanästhesie beachtet werden.

Teil 4

Hals, Kopf, Sinnes- und Nervensystem

16 Hals *358*

17 Kopf *400*

18 Haut und Hautanhangsgebilde *496*

19 Zentrales Nervensystem *502*

16 Hals

Gudrun Herrmann

Der **Hals** (**Collum, Cervix**) ist das bewegliche Verbindungsstück, das Rumpf und Kopf miteinander verbindet. Die knöcherne Grundlage bildet die lordotisch gekrümmte Halswirbelsäule, die einerseits den Kopf trägt und andererseits die Beweglichkeit von Kopf und Hals gewährleistet.

16.1 Oberflächenanatomie und Regionen des Halses

Das **Oberfächenrelief** des Halses wird vor allem bestimmt von der Ausprägung der Muskulatur, der Menge und Verteilung des subkutanen Fettgewebes und von der Form des Kehlkopfs (**Larynx**). Die obere und untere **Begrenzung** des Halses markieren verschiedene knöcherne Strukturen. Durch die oberflächlichen Muskeln (M. sternocleidomastoideus und M. trapezius) wird der Hals in verschiedene **Regionen** untergliedert. Anhand der Lage tiefer liegender Strukturen kann man diese Regionen noch weiter in **Dreiecke** unterteilen.

In seiner Grundform ähnelt der Hals einem Zylinder, der in Höhe des Kehlkopfs am besten ausgeprägt ist. Nach kranial ist der Halsquerschnitt längsoval, nach kaudal queroval. Beim Mann springt die **Prominentia laryngea** des Schildknorpels (Adamsapfel) deutlich hervor. Bei Frauen und Kindern dagegen hebt sich der kleinere Kehlkopf nur geringfügig ab.

Die Lage des Zungenbeins (**Os hyoideum** (S. 360)) ist äußerlich durch eine quer verlaufende Hautfalte (**Zungenbeinfurche**) erkennbar. Diese Furche, die bei Säuglingen und Kleinkindern besonders ausgeprägt ist, markiert die Grenze zwischen Hals und Mundboden.

Die Schilddrüse (**Glandula thyroidea**) zeichnet sich bei normaler Größe nicht am Hals ab. Lediglich beim Schlucken kann sie durch das gemeinsame Auf- und Abwärtsbewegen mit dem Kehlkopf sichtbar werden.

Eine vergrößerte Schilddrüse (**Kropf , Struma**) kann die Haut des Halses stark vorwölben. Ein ausgeprägtes Wachstum der Schilddrüse kann zur Verdrängung und Schädigung umliegender Organe führen. Eine Vergrößerung der Schilddrüse muss zum Ausschluss eines Karzinoms labormedizinisch, sonografisch und ggf. auch nuklearmedizinisch und histologisch abgeklärt werden.

16.1.1 Begrenzungen und tastbare Strukturen

Begrenzungen. Die **obere Grenze** des Halses verläuft entlang einer Linie, die vom Unterrand der Mandibula zur Spitze des Processus mastoideus führt, sich in der Linea nuchalis superior fortsetzt und an der Protuberantia occipitalis externa endet. Die **untere Grenze** beginnt am Oberrand des Manubrium sterni, folgt der Clavicula, zieht anschließend über das Acromion und die Spina scapulae und endet am Processus spinosus des 7. Halswirbels.

Tastbare Strukturen. Zu den tastbaren Knochenpunkten gehören der Unterrand der Mandibula, der Processus mastoideus, der Oberrand des Sternums, die Clavicula und das Acromion. Leicht palpabel sind weiterhin der Zungenbeinkörper (Corpus ossis hyoidei), das große Zungenbeinhorn (Cornu majus ossis hyoidei), der Schildknorpel (Cartilago thyroidea) mit seinen Platten, der Ringknorpelbogen und die Luftröhre (Trachea), die bis in die Drosselgrube (Fossa jugularis) zu verfolgen ist.

16.1.2 Regionen des Halses und Halsdreiecke (▶ Abb. 16.1)

Der Hals lässt sich in 4 verschiedene Regionen (Regiones cervicales) und mehrere Dreiecke (Trigona) untergliedern. Eine wichtige Grenzmarke bei der Einteilung in Halsregionen ist der M. sternocleidomastoideus (S. 361), der sog. „Kopfwender", der sich wulstartig unter der Haut vorwölbt. Er entspringt mit seinen beiden Köpfen am Manubrium sterni bzw. am sternalen Ende der Clavicula und setzt am Processus mastoideus und an der Linea nuchalis superior an. Der von dem Muskel bedeckte Bezirk wird als **Regio sternocleidomastoidea** (im Bild gelb) bezeichnet. Die von den beiden Köpfen (Caput sternale und Caput claviculare) und der Clavicula eingefasste Vertiefung ist die *Fossa supraclavicularis minor*[5]. Medial der beiden Mm. sternocleidomastoidei liegt die **Regio cervicalis anterior** (syn.: Trigonum cervicale anterius, Trigonum colli anterius, im Bild grün), deren kraniale Grenze der Unterrand der Mandibula ist. Anhand tiefer liegender Strukturen lässt sich diese Region in folgende Dreiecke untergliedern:

- Trigonum submandibulare[1],
- Trigonum submentale[2],
- Trigonum caroticum[3],
- Trigonum musculare[4] (Trigonum omotracheale).

Lateral des M. sternocleidomastoideus liegt eingegrenzt zwischen dessen Hinterrand, dem Vorderrand des M. trapezius (S. 172) und der Clavicula die **Regio cervicalis lateralis** (syn.: Trigonum cervicale posterius, Trigonum colli laterale, im Bild blau). Im unteren Bereich des lateralen Halsdreiecks verläuft der Venter inferior des M. omohyoideus, wodurch ein weiteres Dreieck, das *Trigonum omoclaviculare*[6] (Fossa supraclavicularis major), gebildet wird.

Der Vorderrand des M. trapezius trennt die Regio cervicalis lateralis von der **Regio cervicalis posterior** (syn.: Regio colli posterior, im Bild pink), die v. a. durch die kräftig entwickelte Nackenmuskulatur geprägt ist.

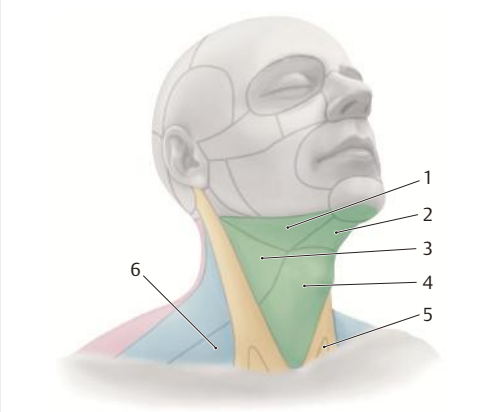


Abb. 16.1 Regionen des Halses. Ansicht von schräg rechts lateral.
grün: Regio cervicalis anterior (Trigonum cervicale anterius, Trigonum colli anterius)
blau: Regio cervicalis lateralis (Trigonum cervicale posterius, Trigonum colli laterale)
pink: Regio cervicalis posterior (Regio colli posterior)
gelb: Regio sternocleidomastoidea
1 Trigonum submandibulare
2 Trigonum submentale
3 Trigonum caroticum
4 Trigonum musculare (Trigonum omotracheale)
5 Fossa supraclavicularis minor
6 Trigonum omoclaviculare (Fossa supraclavicularis major)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

16.2 Bewegungsapparat des Halses

Zum Bewegungsapparat des Halses gehören als passive Elemente die Halswirbelsäule mit ihren Gelenken, Bandscheiben und Bändern sowie das Zungenbein (**Os hyoideum**) mit seinen Bandverbindungen. Der aktive Bewegungsapparat wird durch die Nackenmuskulatur und die „eigentliche" Halsmuskulatur gebildet. Die Muskulatur gliedert sich in eine oberflächliche, eine mittlere und eine tiefe Schicht. Zur oberflächlichen Lage gehören das **Platysma** und der **M. sternocleidomastoideus**. Die mittlere Schicht wird von der **infra-** bzw. **suprahyoidalen Muskulatur** gebildet. Die tiefe Schicht setzt sich aus den Treppenmuskeln (**Mm. scaleni**) und den **prävertebralen Muskeln** zusammen. Die Halsmuskulatur erfüllt dynamische und statische Funktionen. Sie ermöglicht die Beweglichkeit von Kopf und Hals und sichert gleichzeitig deren Stellung und Haltung. Außerdem sind die Muskeln an komplexen Funktionen wie Kau- und Schluckakt und der Sprachbildung beteiligt.

16.1.2 Regionen des Halses und Halsdreiecke (▶ Abb. 16.1)

Der Hals lässt sich in 4 verschiedene Regionen (Regiones cervicales) und mehrere Dreiecke (Trigona) untergliedern. Eine wichtige Grenzmarke bei der Einteilung in Halsregionen ist der M. sternocleidomastoideus (S. 361), der sog. „Kopfwender", der sich wulstartig unter der Haut vorwölbt. Er entspringt mit seinen beiden Köpfen am Manubrium sterni bzw. am sternalen Ende der Clavicula und setzt am Processus mastoideus und an der Linea nuchalis superior an. Der von dem Muskel bedeckte Bezirk wird als **Regio sternocleidomastoidea** (im Bild gelb) bezeichnet. Die von den beiden Köpfen (Caput sternale und Caput claviculare) und der Clavicula eingefasste Vertiefung ist die *Fossa supraclavicularis minor*[5]. Medial der beiden Mm. sternocleidomastoidei liegt die **Regio cervicalis anterior** (syn.: Trigonum cervicale anterius, Trigonum colli anterius, im Bild grün), deren kraniale Grenze der Unterrand der Mandibula ist. Anhand tiefer liegender Strukturen lässt sich diese Region in folgende Dreiecke untergliedern:

- Trigonum submandibulare[1],
- Trigonum submentale[2],
- Trigonum caroticum[3],
- Trigonum musculare[4] (Trigonum omotracheale).

Lateral des M. sternocleidomastoideus liegt eingegrenzt zwischen dessen Hinterrand, dem Vorderrand des M. trapezius (S. 172) und der Clavicula die **Regio cervicalis lateralis** (syn.: Trigonum cervicale posterius, Trigonum colli laterale, im Bild blau). Im unteren Bereich des lateralen Halsdreiecks verläuft der Venter inferior des M. omohyoideus, wodurch ein weiteres Dreieck, das *Trigonum omoclaviculare*[6] (Fossa supraclavicularis major), gebildet wird.

Der Vorderrand des M. trapezius trennt die Regio cervicalis lateralis von der **Regio cervicalis posterior** (syn.: Regio colli posterior, im Bild pink), die v. a. durch die kräftig entwickelte Nackenmuskulatur geprägt ist.

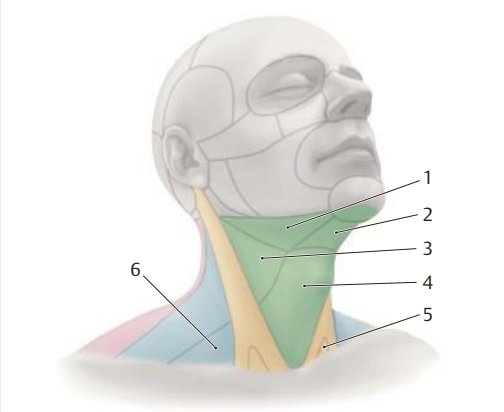


Abb. 16.1 Regionen des Halses. Ansicht von schräg rechts lateral.
grün: Regio cervicalis anterior (Trigonum cervicale anterius, Trigonum colli anterius)
blau: Regio cervicalis lateralis (Trigonum cervicale posterius, Trigonum colli laterale)
pink: Regio cervicalis posterior (Regio colli posterior)
gelb: Regio sternocleidomastoidea
1 Trigonum submandibulare
2 Trigonum submentale
3 Trigonum caroticum
4 Trigonum musculare (Trigonum omotracheale)
5 Fossa supraclavicularis minor
6 Trigonum omoclaviculare (Fossa supraclavicularis major)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

16.2 Bewegungsapparat des Halses

Zum Bewegungsapparat des Halses gehören als passive Elemente die Halswirbelsäule mit ihren Gelenken, Bandscheiben und Bändern sowie das Zungenbein (**Os hyoideum**) mit seinen Bandverbindungen. Der aktive Bewegungsapparat wird durch die Nackenmuskulatur und die „eigentliche" Halsmuskulatur gebildet. Die Muskulatur gliedert sich in eine oberflächliche, eine mittlere und eine tiefe Schicht. Zur oberflächlichen Lage gehören das **Platysma** und der **M. sternocleidomastoideus**. Die mittlere Schicht wird von der **infra-** bzw. **suprahyoidalen Muskulatur** gebildet. Die tiefe Schicht setzt sich aus den Treppenmuskeln (**Mm. scaleni**) und den **prävertebralen Muskeln** zusammen. Die Halsmuskulatur erfüllt dynamische und statische Funktionen. Sie ermöglicht die Beweglichkeit von Kopf und Hals und sichert gleichzeitig deren Stellung und Haltung. Außerdem sind die Muskeln an komplexen Funktionen wie Kau- und Schluckakt und der Sprachbildung beteiligt.

Der **M. trapezius** und die **Nackenmuskulatur** gehören topografisch gesehen ebenfalls zur Halsmuskulatur. Der M. trapezius (S. 178) ist für die Regioneneinteilung des Halses von Bedeutung (s. o.), gehört bezüglich seiner Funktion (S. 172) jedoch zur Schultergürtelmuskulatur. Die Nackenmuskulatur ist funktionell gesehen ein Teil des M. erector spinae (autochthone Rückenmuskulatur) und wird dort besprochen (S. 93).

Der Hals verfügt über ein komplex gestaltetes **Fasziensystem** (S. 365), das die Halsmuskeln, die Leitungsbahnen und die Halseingeweide umhüllt. Die Muskelfaszie (**Fascia cervicalis**) gliedert sich in 3 Blätter: ein oberflächliches (**Lamina superficialis**), ein mittleres (**Lamina pretrachealis**) und ein tiefes Blatt (**Lamina prevertebralis**). Zwischen den Faszienblättern entstehen Bindegewebsräume, die nach kranial in kontinuierlicher Verbindung mit den Bindegewebsräumen des Kopfs stehen und nach kaudal über die obere Thoraxapertur mit dem Bindegewebe des Mediastinums verbunden sind.

16.2.1 Zungenbein und zugehörige Bandverbindungen

Zungenbein

Das Zungenbein (**Os hyoideum**), ein hufeisenförmiger Knochen, besteht aus einem Körper (**Corpus ossis hyoidei**) sowie 2 großen (**Cornua majora**) und 2 kleinen Hörnern (**Cornua minora**) (s. ▶ **Abb. 16.11**). Die Lage des Zungenbeinkörpers ist durch eine quer verlaufende Hautfalte am Hals erkennbar (Zungenbeinfurche). Die Falte liegt am Übergang in die vertikale Halskontur (Mundboden-Hals-Winkel).

Die großen Hörner sind von schlanker Gestalt, zeigen nach dorsolateral und enden mit einer knopfartigen Verdickung. Die kleinen Hörner sind kegelförmig und verlaufen schräg nach dorsokranial. Der Zungenbeinkörper und die großen Hörner sind bei schlanken Personen tastbar. Das Zungenbein ist zwischen die Mundbodenmuskulatur, die **suprahyoidale Muskulatur** (S. 363), und die **infrahyoidale Muskulatur** (S. 362) eingespannt. Durch die Einbindung in diese Muskelschlinge besitzt es einen gewissen Bewegungsumfang, der beim Schlucken sowie bei Bewegungen der Halswirbelsäule oder der Zunge genutzt wird. An den großen Hörnern setzt die Pars keratopharyngea des M. constrictor pharyngis medius an, an den kleinen Hörnern die Pars chondropharyngea.

Das Zungenbein gehört zum Viszeralskelett. Der obere Teil seines Körpers und das kleine Horn entstehen aus der Knorpelanlage des 2. Schlundbogens, der untere Teil des Körpers und das große Horn aus der Knorpelanlage des 3. Schlundbogens.



Beim Würgegriff kann es zu einer **Fraktur des Zungenbeins** kommen. Dabei sinkt es auf den Kehlkopf und behindert den Schluckakt, wodurch die Gefahr besteht, sich zu verschlucken. Außerdem kann es aufgrund des ungenügenden Verschlusses der unteren Atemwege zur Aspiration mit nachfolgender Aspirationspneumomie kommen.

Bandverbindungen des Zungenbeins

Das **Lig. stylohyoideum** verbindet das Zungenbein mit der Schädelbasis. Es zieht vom kleinen Horn zum Processus styloideus, der von der Unterfläche der Felsenbeinpyramide vorspringt. Durch die bindegewebige Anheftung an die Schädelbasis kann das Zungenbein nicht unter das Niveau des 4. Halswirbels bewegt werden. Das Band kann gelegentlich teilweise oder auch ganz verknöchert sein.

Die **Membrana thyrohyoidea** spannt sich zwischen Schildknorpel und Zungenbein aus (▶ **Abb. 16.11**[7]). Sie zieht vom Oberrand der Cartilago thyroidea über die Innenfläche des Zungenbeins zum Oberrand des Zungenbeinkörpers und des großen Horns. Durch ihre Zugfestigkeit begrenzt sie den Abstand zwischen Zungenbein und Kehlkopf. In der Mitte wird die Membran durch das **Lig. thyrohyoideum medianum** (▶ **Abb. 16.11**[16]) verstärkt, das sich zwischen der Incisura thyroidea und dem Corpus ossis hyoidei ausspannt. Der verstärkte Hinterrand der Membrana thyrohyoidea (zwischen dem oberen Horn des Schildknorpels und dem Ende des großen Horns) wird als **Lig. thyrohyoideum laterale** (▶ **Abb. 16.11**[5]) bezeichnet. Das Lig. thyrohyoideum laterale enthält ein weizenkorngroßes, elastisches Knorpelstück, die Cartilago triticea.

16.2.2 Muskulatur des Halses

Die Muskulatur des Halses gliedert sich in eine oberflächliche, eine mittlere und eine tiefe Schicht.

Oberflächliche Schicht der Halsmuskulatur (▶ Abb. 16.2)

Zu den oberflächlichen Halsmuskeln gehören das **Platysma**[3] (Hautmuskel des Halses) und der **M. sternocleidomastoideus**[1] („Kopfwender").

Das **Platysma**[3] ist ein breitflächiger, dünner **Hautmuskel** ohne eigene Faszie. Es entspringt an der Basis mandibulae, an der Gesichtshaut und an der Fascia parotidea, zieht *auf* der Lamina superficialis der Halsfaszie, also epifaszial nach kaudal, bedeckt dabei die oberflächlichen Halsvenen und einen großen Teil des M. sternocleidomastoideus und strahlt in die Haut im Brust- und Schulterbereich bzw. in die Fascia pectoralis ein. Die Ausdehnung des Platysmas kann allerdings individuell stark variieren: Es kann nur bis zur Mitte des Halses reichen oder in wenigen Fällen sogar ganz fehlen. Innerviert wird es vom **R. colli n. facialis**.

Der R. colli n. facialis geht aus den Aufzweigungen des N. facialis innerhalb der Glandula parotidea hervor oder entspringt am Kieferwinkel aus dem R. marginalis mandibulae. Er bildet eine Nervenschlinge mit dem R. superior des N. transversus colli (sensibler Ast des Plexus cervicalis), die **Ansa cervicalis superficialis**.

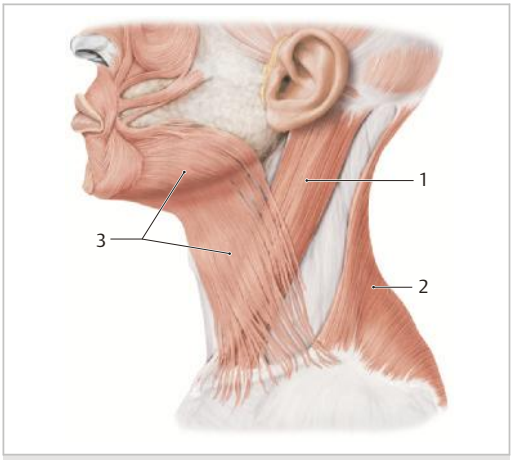


Abb. 16.2 Oberflächliche Schicht der Halsmuskulatur.
1 M. sternocleidomastoideus
2 M. trapezius
3 Platysma
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

In der neuesten anatomischen Nomenklatur ist der Begriff „Ansa cervicalis superficialis" nicht mehr aufgeführt. Da er aber in der Praxis weiterhin gebräuchlich ist, wird er auch hier verwendet.

Das Platysma **spannt die Haut des Halses** und **beeinflusst die Mimik**, indem es – z. B. bei Erschrecken oder Ekel – den Mund in die Breite und die Mandibula nach unten zieht.

Bei alten Menschen können die strangartigen Innenränder der Muskeln als permanente Längsfalten das Halsrelief prägen. Grund für dieses prominente Hervortreten ist die relative Straffheit der Muskelränder im Vergleich zur schlaffen alternden Haut.

Das Platysma entwickelt sich aus dem Muskelmaterial des 2. Schlundbogens, das vom N. facialis versorgt wird, und ist derjenige Anteil der Fazialismuskulatur, der am Hals verbleibt. Der größere Anteil dieses Muskelblastems wandert dagegen in die Gesichtsregion ein und bildet die mimische Muskulatur (S. 415).

Der **M. sternocleidomastoideus**[1] liegt lateral am Hals und bildet die Grenze zwischen vorderer und seitlicher Halsregion (S. 359). Er besitzt 2 Köpfe: Das **Caput sternale** entspringt vom Oberrand des Manubrium sterni, das **Caput claviculare** vom sternalen Ende der Clavicula. Beide Köpfe vereinigen sich zu einem kräftigen, breiten Muskelbauch, der in einer leichten Schraubentour vom Brustkorb schräg aufsteigend zum Kopf zieht und mit einer kräftigen Sehne am Processus mastoideus und an der Linea nuchalis superior ansetzt. Der Muskel wird von der Lamina superficialis der Halsfaszie umhüllt. Zwischen den sternalen Köpfen des rechten und linken M. sternocleidomastoideus sinkt die Haut grubenförmig zur **Fossa jugularis** (Jugulum) ein. Beide Ursprungsköpfe des Muskels begrenzen die **Fossa supraclavicularis minor**.

Der M. sternocleidomastoideus wird vom **N. accessorius** versorgt. Zusätzlich erhält er Fasern aus dem **Plexus cervicalis**.

Eine einseitige Kontraktion des M. sternocleidomastoideus führt zu einer Seitwärtsneigung des Kopfs zur gleichen Seite und zu einer Drehung des Kopfs zur Gegenseite. Eine beidseitige Kontraktion führt zu einer Dorsalextension des Kopfs. Außerdem dient der Muskel bei fixiertem Kopf und Hals als Atemhilfsmuskel.

M. sternocleidomastoideus und M. trapezius gehen aus einer gemeinsamen Anlage hervor und sind Abkömmlinge von Schlundbogenmuskeln. Zusätzlich erhalten beide Muskeln Baumaterial aus den Zervikalsomiten. Beide Muskeln werden vom 11. Hirnnerven, dem N. accessorius, versorgt. Der N. accessorius durchsetzt den M. sternocleidomastoideus im oberen Viertel und zieht durch das laterale Halsdreieck (S. 398) weiter zum M. trapezius. An der Innervation beider Muskeln sind außerdem Äste des Plexus cervicalis beteiligt.

Eine einseitige Kontraktur (Verkürzung) des M. sternocleidomastoideus führt zum muskulären Schiefhals (**Torticollis muscularis**): Aufgrund der Muskelverkürzung ist der Kopf zur kranken Seite geneigt und zur Gegenseite gedreht. Folge dieser Schräghaltung können Gesichts- und Schädelasymmetrien sein (Gesichtskoliose). Häufigste Ursache ist eine angeborene Fehlbildung des Muskels. Ein Schiefhals kann aber auch erworben werden – z. B. infolge eines geburtstraumatischen Muskelrisses oder einer Myositis (Muskelentzündung), die zu einer narbigen Degeneration und Verkürzung des Muskels führen können. Eine weitere Ursache sind muskuläre Blockierungszustände.

Mittlere Schicht der Halsmuskulatur (▶ Abb. 16.3)

Die mittlere Schicht der Halsmuskulatur wird von der unter- bzw. oberhalb des Zungenbeins entspringenden **infra-** und **suprahyoidalen Muskulatur** gebildet. Beide setzen am Zungenbein an.

Infrahyoidale Muskulatur (▶ Abb. 16.3)

Die infrahyoidale Muskulatur (**Mm. infrahyoidei**) ist die kraniale Fortsetzung des Rektussystems des Rumpfes, s. M. rectus abdominis (S. 108). Die Muskeln spannen sich zwischen Sternum, Schildknorpel und Zungenbein aus und bedecken die Trachea, die Schilddrüse und den Kehlkopf unter Aussparung der Prominentia laryngea. Zur infrahyoidalen Muskulatur gehören 4 flache, in 2 Schichten angeordnete Muskelpaare. Die oberflächliche Schicht wird von M. sternohyoideus[3] und M. omohyoideus[4], die tiefe Schicht von M. sternothyroideus[2] und M. thyrohyoideus[1] gebildet.

Die Muskelnamen bezeichnen Ursprung und Ansatz der Muskeln. Der Name des M. omohyoideus leitet sich von „Omoplata“ ab, der alten anatomischen Bezeichnung für die Scapula.

Sämtliche infrahyoidalen Muskeln werden von der dreieckig geformten **Lamina pretrachealis**, dem mittleren Blatt der Halsfaszie (S. 366), umhüllt.

Innerviert wird die infrahyoidale Muskulatur über Äste des **Plexus cervicalis** (**C 1–4**), die sich zu

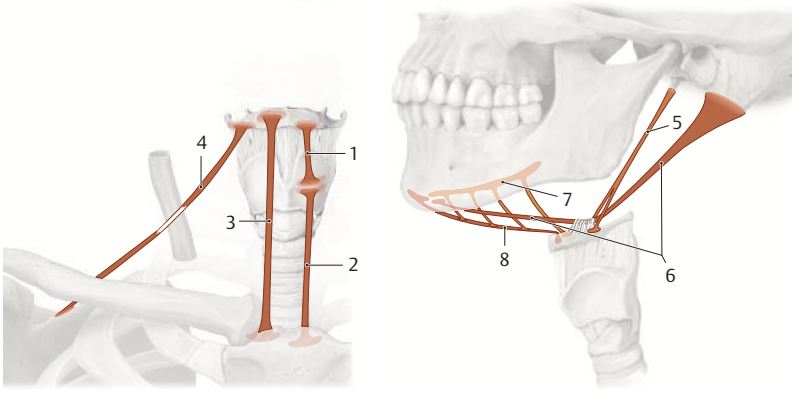


Abb. 16.3 Zungenbeinmuskulatur.
a Infrahyoidale Muskulatur. **b** Suprahyoidale Muskulatur.
1 M. thyrohyoideus
2 M. sternothyroideus
3 M. sternohyoideus
4 M. omohyoideus
5 M. stylohyoideus
6 M. digastricus
7 M. mylohyoideus
8 M. geniohyoideus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

einer Muskelschlinge, der **Ansa cervicalis profunda**, zusammenlagern.

Nach der neuesten anatomischen Nomenklatur wird die Ansa cervicalis profunda nur noch Ansa cervicalis genannt. Da die alte Bezeichnung aber in der Praxis weiterhin gebräuchlich ist (ebenso wie die Bezeichnung „Ansa cervicalis superficialis", s. o.), wird sie hier dennoch verwendet.

Die infrahyoidalen Muskeln regulieren im Zusammenspiel mit der suprahyoidalen Muskulatur die Stellung von Zungenbein und Kehlkopf: Sie ziehen das Zungenbein nach unten und fixieren es. Gleichzeitig wird der Kehlkopf nach kaudal verlagert. Damit spielen die infrahyoidalen Muskeln eine wichtige Rolle bei Phonation und Schluckakt.

Der schlanke, platte **M. sternohyoideus**[3] entspringt von der dorsalen Seite des Manubrium sterni und der Kapsel des Sternoklavikulargelenks und setzt am Unterrand des Zungenbeinkörpers an. Dort nähern sich die medialen Ränder der Muskeln beider Seiten einander an. Die Prominentia laryngea des Kehlkopfs lassen die Muskeln aber frei. In seinem Ursprungsbereich kann der M. sternohyoideus eine Zwischensehne enthalten.

Der **M. omohyoideus**[4] entspringt vom Oberrand der Scapula und vom Lig. transversum scapulae und setzt am Zungenbein an. Eine Zwischensehne untergliedert den Muskel in 2 Muskelbäuche (Venter superior und inferior). Die Zwischensehne liegt hinter dem M. sternocleidomastoideus an der Kreuzungsstelle mit den großen Halsgefäßen in Höhe des Tuberculum caroticum. Da die Sehne mit der Lamina pretrachealis verwachsen ist, wird diese vom Muskel gespannt. Die Lamina pretrachealis wiederum steht mit der Vagina carotica (S. 367) in Verbindung. Ist die Faszie gespannt, wird gleichzeitig das Lumen der V. jugularis interna offengehalten und der venöse Rückstrom zum Herzen unterstützt.

Der **M. sternothyroideus**[2] liegt unterhalb des M. sternohyoideus und entspringt tiefer als dieser von der Hinterseite des Manubrium sterni. Die Fasern des Muskels divergieren nach kranial und setzen an der Linea obliqua der Cartilago thyroidea an. Der Muskel überlagert die Seitenlappen der Schilddrüse. Da er breiter ist als der auf ihm liegende M. sternohyoideus, wird er nicht vollständig von diesem bedeckt. Im unteren Abschnitt kann der Muskel eine Intersectio tendineae enthalten.

Der **M. thyrohyoideus**[1] bildet die kraniale Fortsetzung des M. sternothyroideus. Er zieht von der Linea obliqua der Cartilago thyroidea zum Zungenbein. Der M. thyrohyoideus verlagert wie die anderen infrahyoidalen Muskeln das Zungenbein nach kaudal und fixiert es. Außerdem hebt er den Kehlkopf beim Schlucken an.

Die Trennung zwischen M. sternothyroideus und M. thyrohyoideus ist seitlich unvollständig: Die lateralen Fasern des M. sternothyroideus gehen in den M. thyrohyoideus über und verlaufen so bis zum Zungenbein.

Vom M. thyrohyoideus kann sich der variable **M. levator glandulae thyroideae** abspalten, der vom unteren Abschnitt des Muskels, vom Schildknorpel oder vom Zungenbein zum Isthmus der Schilddrüse oder zum Lobus pyramidalis zieht.

Suprahyoidale Muskulatur (▶ Abb. 16.3)

Zur suprahyoidalen Muskulatur (**Mm. suprahyoidei**) gehören Muskeln unterschiedlichster Herkunft. Ein Teil geht aus dem 1. Schlundbogen (M. mylohyoideus[7], Venter anterior des M. digastricus[6]), ein anderer Teil aus dem 2. Schlundbogen (M. stylohyoideus[5], Venter posterior des M. digastricus[6]) hervor. Der M. geniohyoideus[8] gehört zum Rektussystem des Halses und entsteht aus Halssomiten. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Herkunft werden die suprahyoidalen Muskeln – im Gegensatz zur infrahyoidalen Muskulatur – *von verschiedenen Nerven versorgt* (s. u.).

Die infra- und die suprahyoidalen Muskeln bestimmen gemeinsam die Position des Zungenbeins und sind am Kau- und Schluckakt sowie an der Sprachartikulation beteiligt. Die suprahyoidalen Muskeln bezeichnet man auch als **akzessorische Kaumuskeln**, da sie bei fixiertem Zungenbein die Kieferöffnung ermöglichen.

Der breite, platte **M. mylohyoideus**[7] entspringt an der Linea mylohyoidea mandibulae. Die Muskelfasern beider Seiten vereinigen sich in der Mittellinie zur durchschnittlich 5 cm langen Raphe mylohyoidea. Die dorsalen längeren Fasern des Muskels bilden den hinteren, scharfen Muskelrand und inserieren am Corpus ossis hyoidei. Die so in der bogenförmigen Mandibula eingespannte trichterförmige Muskelplatte bildet die muskulöse Grundlage des Mundbodens (Diaphragma oris).

Der M. mylohyoideus wird vom N. mylohyoideus (Ast des N. mandibularis, V3) innerviert. Er spannt und hebt den Mundboden und bildet damit ein Widerlager für die darauf ruhende Zunge (Unter-

stützung der Zungenfunktion). Außerdem hebt er das Zungenbein nach vorne oben (wichtig beim Schlucken) und unterstützt die Mundöffnung.

Der **M. digastricus**[6] besitzt 2 Muskelbäuche, den kürzeren Venter anterior und den längeren Venter posterior. Der Venter anterior entspringt an der Innenseite der Mandibula, der Venter posterior am Os temporale. Beide Muskelbäuche sind miteinander über eine Zwischensehne verbunden, die über eine bindegewebige Schlaufe am Zungenbeinkörper fixiert wird.

Der Venter anterior ist eine oberflächliche Abspaltung des M. mylohyoideus und wird wie dieser vom N. mylohyoideus (Ast des N. mandibularis, V3) versorgt. Der Venter posterior geht dagegen aus derselben Anlage wie der M. stylohyoideus hervor und wird deshalb wie dieser vom N. facialis innerviert. Der M. digastricus hebt das Zungenbein (Schluckbewegung) und unterstützt die Mundöffnung.

Der **M. stylohyoideus**[5] entspringt mit einer dünnen Sehne an der Basis des Processus styloideus und zieht zum Zungenbein. Kurz bevor er am Corpus ossis hyoidei ansetzt, teilt er sich in 2 Sehnenbündel auf, die die Zwischensehne des M. digastricus einfassen und somit fixieren. Zu seinen Funktionen gehören außerdem das Heben des Zungenbeins (Schluckbewegung) und die Unterstützung der Mundöffnung. Innerviert wird er vom N. facialis.

Der **M. geniohyoideus**[8] zieht – auf dem M. mylohyoideus liegend – von der Spina mentalis des Corpus mandibulae zum Corpus ossis hyoidei. Der paarige Muskel, dessen mediale Ränder sich fast berühren, verstärkt den Mundboden von innen. Der Muskel stammt vom Rektussystem des Halses ab und wird entsprechend über einen Ast des Plexus cervicalis innerviert. Er hebt das Zungenbein (Schluckbewegung) und unterstützt die Mundöffnung.

Tiefe Schicht der Halsmuskulatur (▶ Abb. 16.4)

Zur tiefen Gruppe der Halsmuskulatur gehören die seitlich in der Tiefe liegenden **Mm. scaleni** und die vor der Halswirbelsäule verlaufenden **prävertebralen Muskeln**. Beide Muskelgruppen ziehen von ventral an die Schädelbasis bzw. an die Halswirbelsäule und sind Gegenspieler zur kräftigen Nackenmuskulatur.

Mm. scaleni (▶ Abb. 16.4a)

Die Skalenusmuskeln setzen die Interkostalmuskulatur oberhalb des Thorax fort. Zur Muskelgruppe gehören Mm. scalenus anterior[1], medius[2] und posterior[3] (mitunter findet sich auch noch ein 4. Muskel, der M. scalenus minimus). Alle werden von direkten Ästen der Halsspinalnerven (C 3–C 8) innerviert.

Die Skalenusmuskeln bilden ein zeltartiges Dach über der Pleurakuppel und schließen die obere Thoraxapertur seitlich ab. Bei Inspiration heben sie die 1. und 2. Rippe an und dienen so als **Atemhilfsmuskulatur**. Bei einseitig fixierten Rippen be-

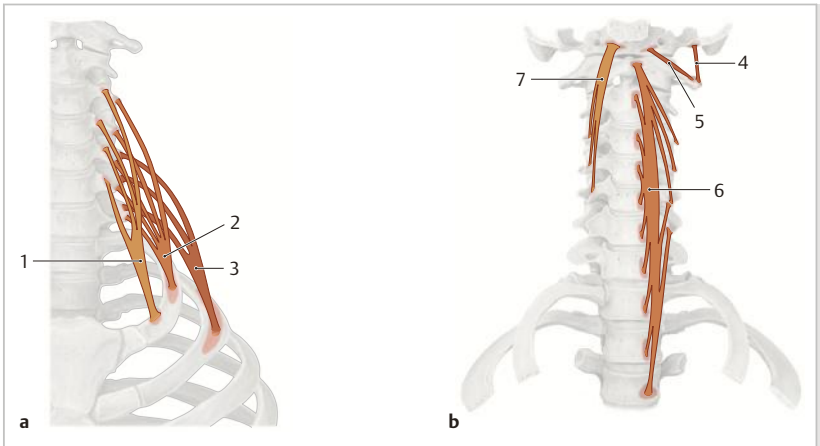


Abb. 16.4 Tiefe Halsmuskulatur.
a Skalenusmuskulatur.
b Prävertebrale Muskulatur.
1 M. scalenus anterior
2 M. scalenus medius
3 M. scalenus posterior
4 M. rectus capitis lateralis
5 M. rectus capitis anterior
6 M. longus colli
7 M. longus capitis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

wirken sie eine **Beugung der Halswirbelsäule** zur ipsilateralen Seite, bei beidseitiger Fixation der Rippen eine Ventralflexion des Halses.

Zwischen M. scalenus anterior und M. scalenus medius liegt die **Skalenuslücke** (S. 398), die nach unten durch die 1. Rippe abgeschlossen wird. Durch diese Lücke ziehen die A. subclavia (S. 369) und der Plexus brachialis (S. 687). Die V. subclavia verläuft vor dem M. scalenus anterior.

Der **M. scalenus anterior**[1] entspringt mit 4 Zacken an den Tubercula anteriora des 3.–6. Halswirbels. Die Zacken gehen in einen gemeinsamen Muskelbauch über, der am Tuberculum m. scaleni anterioris der 1. Rippe ansetzt.

Der **M. scalenus medius**[2] ist der kräftigste der Muskelgruppe und entspringt von den Tubercula anteriora des 3.–7. Halswirbels. Zusätzliche Fasern kann er von Atlas und Axis erhalten. Der Ansatz befindet sich dorsolateral des Sulcus a. subclaviae an der 1. Rippe. Gelegentlich ziehen Fasern bis zur 2. Rippe.

Der **M. scalenus posterior**[3] zieht von den Tubercula posteriora der Querfortsätze des 5.–6. Halswirbels um den dorsalen Rand des M. scalenus medius nach ventral und heftet sich an der Außenfläche der 2. Rippe (manchmal auch der 3. Rippe) an.

Der nur bei etwa einem Drittel der Erwachsenen auftretende **M. scalenus minimus** entspringt vom Tuberculum anterius des 7. Halswirbels. Er inseriert am Hinterrand der 1. Rippe dorsal des M. scalenus anterior. Ein Teil der Fasern kann in die Pleurakuppel einstrahlen.

Prävertebrale Muskulatur (▶ Abb. 16.4b)

Zur prävertebralen Muskulatur, dem **Longussystem**, gehören M. rectus capitis anterior[5] und lateralis[4], der M. longus capitis[7] und der M. longus colli (cervicis)[2]. Die Muskeln verlaufen beidseits zwischen den Körpern und Querfortsätzen der Halswirbel bzw. der oberen 3 Brustwirbel. Der M. longus capitis und der M. longus colli sind meist nicht deutlich voneinander zu trennen. Sie bilden einen Muskelkomplex mit komplizierter Fiederung, bestehend aus longitudinalen und schräg verlaufenden Faserzügen. Innerviert werden die Muskeln über Rr. anteriores der Halsspinalnerven.

Der **M. rectus capitis anterior**[5] ist ein unisegmentaler Muskel, der von der Massa lateralis des Atlas entspringt und zur Pars basilaris ossis occipitalis zieht. Er dient der Inklination, also dem Neigen des Kopfs nach vorne, und stabilisiert die Articulatio atlantooccipitalis.

Der **M. rectus capitis lateralis**[4], ein kurzer flacher Muskel, zieht vom Processus transversus atlantis zum Processus jugularis des Os occipitale. Er trägt zur Seitwärtsneigung des Kopfs bei.

Der **M. longus capitis**[7] entspringt von den Tubercula anteriora der Querfortsätze des 3.–6. Halswirbels. Er zieht von kaudal lateral nach kranial medial und inseriert an der Pars basilaris des Os occipitale. Bei beidseitiger Kontraktion dient der M. longus capitis der Beugung der Halswirbelsäule bzw. des Kopfs nach vorne. Bei einseitiger Kontraktion bewirkt er eine Neigung und Drehung des Kopfs zur ipsilateralen Seite.

Der **M. longus colli**[6] besteht aus folgenden 3 Anteilen, die dem Muskel die Form eines stumpfwinkligen Dreiecks verleihen:

- Pars obliqua superior: beginnt an den Querfortsätzen der oberen Halswirbel und inseriert am Tuberculum anterius des Atlas,
- Pars recta: entspringt von den Corpora der unteren Halswirbel sowie der oberen Brustwirbel und setzt am 2.–4. Halswirbelkörper an,
- Pars obliqua inferior: reicht von den Körpern der oberen Brustwirbel bis an die Querfortsätze des 5.–7. Halswirbels.

Bei einseitiger Kontraktion bewirkt der Muskel eine Neigung und Drehung des Kopfs zur ipsilateralen Seite. Bei beidseitiger Kontraktion dient er der Beugung der Halswirbelsäule bzw. des Kopfs nach vorne.

16.2.3 Faszienverhältnisse des Halses

Das Bindegewebssystem des Halses, das Muskeln, Eingeweide und Leitungsbahnen umhüllt, gegeneinander abgrenzt und gleichzeitig miteinander verbindet, gliedert sich in 3 unterschiedlich tief liegende Faszienblätter, die in ihrer Gesamtheit die Halsfaszie (**Fascia cervicalis**) bilden. Die Faszienblätter, die in den einzelnen Halsregionen unterschiedlich kräftig entwickelt sind, grenzen Verschiebespalten ab (Spatium suprasternale, Spatium peripharyngeum, s. u.). Die mit lockerem Bindegewebe ausgefüllten Spatien umgeben die Eingeweide und Leitungsbahnen und bauen diese verschieblich in die Umgebung ein. So können die Halseingeweide den Bewegungen der Halswirbel-

säule bzw. den Verlagerungen beim Schluckakt folgen. Eingeweide und Leitungsbahnen sind von eigenen Bindegewebshüllen (Eingeweidefaszien bzw. Vagina carotica) umgeben.

Die **Bindegewebsräume** stehen in kontinuierlicher Verbindung mit dem Kopfbindegewebe bzw. mit dem Bindegewebe des Mediastinums. Entlang dieser Bindegewebsspalten können sich Entzündungen und Blutungen relativ ungehindert bis ins Mediastinum ausbreiten.

Blätter der Halsfaszie (▶ Abb. 16.5)

Die Halsfaszie besteht aus 3 Blättern, aus einem oberflächlichen (**Lamina superficialis**[1]), einem mittleren (**Lamina pretrachealis**[2]) und einem tiefen Blatt (**Lamina prevertebralis**[3]).

Die **Lamina superficialis**[1] liegt unter dem subkutanen Fettgewebe und dem Platysma. Das Blatt ist in der Regel dünn, weist aber an einigen Stellen Verstärkungszüge auf. Das Faszienblatt umhüllt den gesamten Umfang des Halses und wird am Nacken auch als **Fascia nuchae** bezeichnet. Die Lamina superficialis ist unten an der Vorderfläche des Manubrium sterni bzw. der Clavicula fixiert und setzt sich nach kaudal in die Fascia pectoralis fort. Kranial ist das Blatt am Unterrand der Mandibula befestigt und geht oben seitlich in die Fascia parotidea über. Zusätzlich ist das Blatt am Zungenbein angeheftet. Das Blatt umhüllt den M. sternocleidomastoideus und den M. trapezius. Oberhalb des Zungenbeins bedeckt es das Trigonum submandibulare (S. 397) und hüllt die Glandula submandibularis ein. Besonders kräftig ausgeprägte Faserzüge ziehen zum Angulus mandibulae. Diese Faserzüge, die sich auch in die Tiefe fortsetzen und die Glandula submandibularis von der Glandula parotidea trennen, werden als **Tractus angularis** bezeichnet. Oberflächlich der Lamina superficialis verzweigen sich die Hautäste des Plexus cervicalis. Auf diesem Blatt verlaufen auch die oberflächlichen Halsvenen (Vv. jugularis externa und anterior).

Das mittlere Blatt der Halsfaszie, die dreieckig geformte **Lamina pretrachealis**[2], besitzt eine derbe Konsistenz und liegt schützend vor den Halseingeweiden. Das Blatt spannt sich zwischen Zungenbein und Manubrium sterni bzw. der Clavicula aus, an deren Dorsalseite das Blatt fixiert ist. Das Blatt umhüllt alle unteren Zungenbeinmuskeln und endet am seitlichen Rand des M. omohyoideus. Hier ist das Blatt mit der Zwischensehne des Muskels und der Vagina carotica verwachsen.

Die **Mm. omohyoidei** halten die **Lamina pretrachealis** gespannt. Da die Wand der V. jugularis interna über die Vagina carotica in unmittelbarer Verbindung mit dem Faszienblatt steht, wird durch Faszienspannung das Lumen der Vene offengehalten und der Blutrückstrom zum Herzen gefördert. Durch die Verspannung der Vene, in der ein Unterdruck herrscht, wird gleichzeitig deren Kollabieren verhindert.

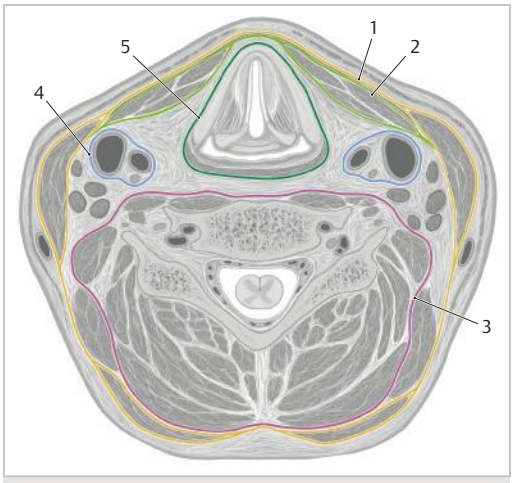


Abb. 16.5 Faszienverhältnisse am Hals. Querschnitt Höhe des 5. Halswirbels.
1 Fascia cervicalis, Lamina superficialis (gelb)
2 Fascia cervicalis, Lamina pretrachealis (hellgrün)
3 Fascia cervicalis, Lamina prevertebralis (violett)
4 Vagina carotica (hellblau)
5 Eingeweidefaszie (dunkelgrün)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Bei Eröffnung der **V. jugularis interna** besteht aufgrund des in der Vene herrschenden Unterdrucks die Gefahr, dass Luft angesaugt wird, was zu einer **Luftembolie** führen kann.

Die **Lamina prevertebralis**[3] ist am muskelfreien Mittelstreifen der Halswirbelsäule, am Lig. longitudinale anterius, angeheftet und hüllt die prävertebralen Muskeln (M. longus capitis und M. longus

colli), die Mm. scaleni, den M. levator scapulae und die autochthone Rückenmuskulatur des Halses ein.

Kranial reicht das Blatt bis an die Schädelbasis, kaudal steht es mit der Fascia endothoracica in Verbindung. Der Halsabschnitt des Truncus sympathicus, die A. subclavia, die Primärstränge des Plexus brachialis und der N. phrenicus werden ebenfalls von diesem Blatt bedeckt. Das tiefe Blatt geht mit dem Plexus brachialis auf die Achselhöhle über.

Die prävertebralen Muskeln liegen in einer osteofibrösen Loge zwischen der Lamina prevertebralis und dem Periost der Wirbelsäule im **Spatium prevertebrale**. Dieser Spalt dient als Ausbreitungsweg von Krankheitsprozessen, die von den Wirbelkörpern ausgehen. Entzündliche Prozesse können sich entlang des Faszienblatts auch auf die Achselhöhle ausdehnen.

Die Leitungsbahnhülle, die **Vagina carotica**[4], reicht von der oberen Thoraxapertur bis zur Schädelbasis und umscheidet den seitlich der Eingeweide liegenden Gefäß-Nerven-Strang (A. carotis communis, A. carotis interna, V. jugularis interna, N. vagus). Zunächst verläuft sie durch die Regio sternocleidomastoidea und umhüllt hier die A. carotis communis, die V. jugularis interna mit den ihr anliegenden tiefen seitlichen Lymphknotengruppen und den N. vagus. Im Trigonum caroticum spaltet sich die A. carotis communis in die A. carotis interna und in die A. carotis externa auf. Die A. carotis interna setzt den Verlauf der A. carotis communis fort und verläuft gemeinsam mit V. jugularis interna und N. vagus innerhalb der Vagina carotica zur Schädelbasis.

Innerhalb der Vagina carotica ändert sich die Lagebeziehung zwischen Arterie, Vene und Nerv. Während in der Regio sternocleidomastoidea Vene und Nerv lateral der Arterie liegen, werden beide im Verlauf zur Schädelbasis nach dorsal verlagert. Im Trigonum caroticum verläuft die Vene laterodorsal der Arterie, der N. vagus zieht dorsal zwischen den Gefäßen.

Die **Eingeweidefaszie**[5] umhüllt die Eingeweide, den Larynx, der in die Trachea übergeht, bzw. den Pharynx, der sich in den Oesophagus fortsetzt, außerdem die Schilddrüse und die Nebenschilddrüsen. Die Faszie grenzt diese Organe vom umliegenden Bindegewebe ab.

Die Kopf-Hals-Chirurgen verwenden eine modifizierte **Klassifikation der Faszien**. Das subkutane Fettgewebe wird gemeinsam mit dem Platysma als oberflächliche Faszie („superficial muscular aponeurotic system", SMAS) bezeichnet. Die 3 Blätter der Halsfaszie werden als tiefe Halsfaszie zusammengefasst.

Bindegewebsräume im Hals

Durch die Tiefenstaffelung der Faszienblätter entstehen Bindegewebsräume, die als Verschiebespalten dienen (s. ▶ **Abb. 16.5**). Diese Bindegewebsräume sind von besonderem klinischem Interesse, da sie Ausbreitungswege für Entzündungsprozesse sein können.

Spatium suprasternale. Zwischen oberflächlichem und mittlerem Blatt der Halsfaszie wird durch den unterschiedlichen Ansatz beider Blätter am Manubrium sterni bzw. an der Clavicula ein mit Fettgewebe angefüllter Raum gebildet, das Spatium suprasternale. Der Spalt wird kaudal von dem auf dem Manubrium sterni ziehenden Lig. interclaviculare begrenzt. Das Spatium erstreckt sich auf beiden Seiten hinter den M. sternocleidomastoideus und reicht kranial bis zum Isthmus der Schilddrüse.

Im Spatium suprasternale verläuft in variabler Höhe der Arcus venosus jugularis, eine Verbindung der beiden Vv. jugulares anteriores. Dieser Venenbogen darf bei einem Luftröhrenschnitt nicht verletzt werden.

Spatium peripharyngeum (▶ **Abb. 16.6**). Dieser Bindegewebsraum umgibt dorsal und zu beiden Seiten die Wand des Pharnyx und wird in das Spatium retropharyngeum (dorsal) und in ein rechtes und linkes Spatium lateropharyngeum untergliedert. Im Spatium lateropharyngeum verlaufen wichtige Leitungsbahnen.

Das **Spatium retropharyngeum**[C] ist ein dünner Bindegewebsspalt zwischen der dorsalen Wand des Pharynx bzw. des Halsabschnitts des Oesophagus und der Lamina prevertebralis der Halsfaszie. Eine kräftige Bindegewebsplatte, das Septum sagittale[21], trennt es vom Spatium lateropharyngeum. Der Verschiebespalt erstreckt sich von der Schädelbasis nach kaudal bis ins hintere Mediastinum, mit welchem es in kontinuierlicher Verbindung steht.

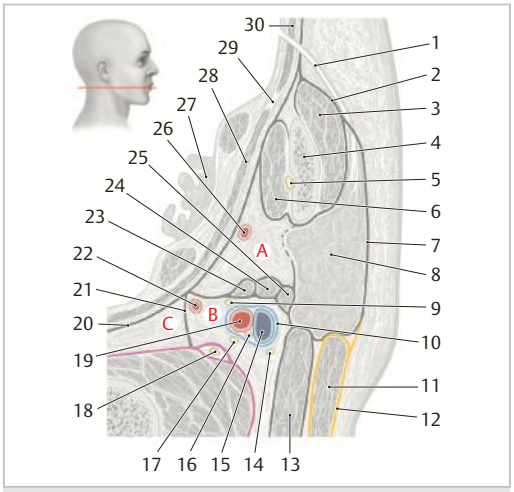


Abb. 16.6 Querschnitt durch das Spatium peripharyngeum in Höhe des Mesopharynx.
A Spatium lateropharyngeum, vorderes Kompartiment
B Spatium lateropharyngeum, hinteres Kompartiment
C Spatium retropharyngeum
1 Ductus parotideus
2 Fascia masseterica, oberfl. Blatt
3 M. masseter
4 Mandibula
5 N. alveolaris inferior
6 M. pterygoideus medialis
7 Fascia parotidea, oberfl. Blatt
8 Glandula parotidea
9 N. glossopharyngeus
10 Vagina carotica
11 M. sternocleidomastoideus
12 Fascia cervicalis, Lamina superficialis
13 M. digastricus
14 N. accessorius
15 V. jugularis interna
16 N. vagus
17 N. hypoglossus
18 Truncus sympathicus
19 A. carotis interna
20 Fascia buccopharyngea
21 Septum sagittale
22 A. pharyngea ascendens
23 M. stylopharyngeus
24 M. styloglossus
25 M. stylohyoideus
26 A. palatina ascendens
27 Tonsilla palatina
28 M. constrictor pharyngis superior
29 Raphe pterygomandibularis
30 M. buccinator

Retropharyngealabszesse können nach kaudal bis ins Mediastinum absinken und hier eine Entzündung (Mediastinitis) hervorufen. Solche Abszesse gehen bei Kleinstkindern oft von vereiterten retropharyngealen Lymphknoten aus, bei Erwachsenen handelt es sich meist um einen tuberkulotischen Abszess, der von der Halswirbelsäule ausgeht.

Das **Spatium lateropharyngeum**[A, B], auch als **Parapharyngealraum** bezeichnet, reicht von der Schädelbasis bis in die Halsregion und steht mit dem Mediastinum in Verbindung. Der Raum wird medial von der seitlichen Pharynxwand (Fascia buccopharyngea) und dem Septum sagittale[21] (Abgrenzung zum Spatium retropharyngeum), vorn von der Raphe pterygomandibularis (Zwischensehne zwischen M. constrictor pharyngis superior und M. buccinator) und dorsal von der Lamina prevertebralis begrenzt. Lateral vorn reicht der Raum bis an den M. pterygoideus medialis[6], lateral hinten bis an die zarte Kapsel der Glandula parotidea[8] und an den Venter posterior des M. digastricus[13] bzw. an den M. sternocleidomastoideus[11] heran. Der gesamte Spalt weist daher auf einem Horizontalschnitt eine etwa dreieckige Form auf. Von der Schädelbasis ragt der Processus styloideus mit den daran entspringenden Muskeln (M. stylohyoideus[25], M. styloglossus[24], M. stylopharyngeus[23]) in den Spalt. Dieser Muskelfächer und die vom M. stylopharyngeus zur Fascia buccopharyngea ziehende Aponeurosis stylopharyngea unterteilen das Spatium lateropharyngeum in ein **vorderes Kompartiment**[A] mit den Gefäßen zur Tonsilla palatina[27] und in ein **hinteres Kompartiment**[B], das große Leitungsbahnen enthält (A. carotis interna[19], V. jugularis interna[15], N. vagus[16], N. glossopharyngeus[9], N. accessorius[14], N. hypoglossus[17]).

Infektiöse Prozesse, z. B. ausgehend von der Tonsilla palatina, der Glandula parotidea oder von Zähnen, können in das **Spatium lateropharyngeum** durchbrechen. Von hier aus können sie sich in unterschiedliche Richtungen ausbreiten, z. B. durch Öffnungen der Schädelbasis in die Schädelhöhle aufsteigen (Gefahr der Hirnhautentzündung), in die großen Halsgefäße einbrechen (Gefahr der Jugularisthrombose bzw. Sepsis) oder sie

können wie retropharyngeale Abszesse ins Mediastinum absinken (Senkungsabszesse können zur Entzündung im Mediastinum führen (Mediastinitis).

16.3 Leitungsbahnen des Halses

Im Hals verlaufen 2 große Gefäß-Nerven-Stränge, die weiter zum Arm bzw. zum Kopf ziehen. Durch die laterale Halsregion verlaufen die Leitungsbahnen zur oberen Extremität (A. subclavia, V. subclavia, Plexus brachialis, Truncus subclavius). Dorsolateral der Eingeweiderohre ziehen die großen Leitungsbahnen zum Kopf (A. carotis communis, A. carotis externa und A. carotis interna, V. jugularis interna, N. vagus, Truncus sympathicus, Truncus jugularis). Die Lymphe des Halses wird über oberflächliche und tiefe Lymphknoten filtriert und anschließend zum Truncus jugularis geführt. Über den Truncus jugularis und den Truncus subclavius (Lymphe aus Arm, Schulter und Brustwand) fließt die Lymphe im unteren Hals in die Hauptlymphgänge: rechts in den Ductus lymphaticus dexter, links in den Ductus thoracicus – beide Gänge münden in den Venenwinkel (Angulus venosus) ein.

An der Innervation der Halsmuskulatur und der Muskulatur von Larynx und Pharynx sind Halsspinalnerven (Äste des Plexus cervicalis und brachialis) und verschiedene Hirnnerven (N. trigeminus, N. facialis, N. glossopharyngeus, N. vagus und N. accessorius) beteiligt. Äste des Plexus cervicalis bzw. dorsale Äste der Halsspinalnerven versorgen den Hals sensibel. N. phrenicus und N. hypoglossus ziehen durch den Hals zu ihren Innervationsgebieten.

16.3.1 Arterien des Halses

Durch den Hals ziehen 2 große Arterien, die **A. subclavia** und die **A. carotis communis**. Die **A. subclavia** versorgt mit ihren Ästen weite Bereiche des Halses, Teile des Gehirns, Strukturen im Mediastinum, aber auch Brust- und Bauchwand, die Brustdrüse und das Zwerchfell. Die **A. carotis communis** mit ihren Ästen **A. carotis externa** und **A. carotis interna** transportiert Blut hauptsächlich zum Kopf und zum Gehirn. Einige Äste tragen zur Blutversorgung des Halses bei.

A. subclavia

Die **A. subclavia** geht rechts hinter der Articulatio sternoclavicularis aus dem Truncus brachiocephalicus hervor, links entspringt die A. subclavia, tief im Mediastinum gelegen, als letzter Ast aus dem Aortenbogen. Rechts wie links zieht die Arterie im Bogen über die Pleurakuppel nach lateral, tritt gemeinsam mit den Primärsträngen des Plexus brachialis durch die Skalenuslücke, zieht im Sulcus a. subclaviae über die 1. Rippe und setzt sich am Unterrand der 1. Rippe als A. axillaris in die Achselhöhle (Fossa axillaris) fort. Die A. subclavia entlässt in ihrem Verlauf zahlreiche Äste, die bis auf die A. thoracica interna alle an der Versorgung des Halses beteiligt sind. Zu beachten ist, dass die Astfolge der A. subclavia stark variieren kann.

Die A. subclavia kann man in 3 Abschnitte untergliedern. Der 1. Abschnitt erstreckt sich vom Ursprung der Arterie bis an den medialen Rand des M. scalenus anterior. Der 2. Abschnitt liegt hinter dem M. scalenus anterior (entspricht der Skalenuslücke), während der 3. Abschnitt vom lateralen Rand dieses Muskels bis zum Unterrand der 1. Rippe reicht.

Aus der ersten Arterienstrecke gehen die A. vertebralis, die A. thoracica interna und der Truncus thyrocervicalis hervor.

Die **A. vertebralis**, die zusammen mit der A. carotis interna das Gehirn versorgt, entspringt als erster Ast aus der Konvexität des Subclaviabogens, verläuft senkrecht nach kranial – ab dem 6. Halswirbel geschützt innerhalb der Querfortsätze (Foramina transversaria) – bis zum Atlas. Hier tritt sie durch das Foramen transversarium des Atlas, verläuft dann hinter der Massa lateralis atlantis im Sulcus a. vertebralis auf dem hinteren Atlasbogen nach dorsal und biegt schließlich wieder nach kranial ab. Sie durchbricht die Membrana atlantooccipitalis posterior und gelangt über das Foramen occipitale magnum ins Schädelinnere. Am Hals entlässt sie kleine segmentale Äste zur Versorgung der tiefen Halsmuskeln, der Wirbelkörper, des Rückenmarks und der Rückenmarkshäute.

Die **A. thoracica interna** entspringt, der A. vertebralis gegenüberliegend, aus der Konkavität des

können wie retropharyngeale Abszesse ins Mediastinum absinken (Senkungsabszesse können zur Entzündung im Mediastinum führen (Mediastinitis).

16.3 Leitungsbahnen des Halses

Im Hals verlaufen 2 große Gefäß-Nerven-Stränge, die weiter zum Arm bzw. zum Kopf ziehen. Durch die laterale Halsregion verlaufen die Leitungsbahnen zur oberen Extremität (A. subclavia, V. subclavia, Plexus brachialis, Truncus subclavius). Dorsolateral der Eingeweiderohre ziehen die großen Leitungsbahnen zum Kopf (A. carotis communis, A. carotis externa und A. carotis interna, V. jugularis interna, N. vagus, Truncus sympathicus, Truncus jugularis). Die Lymphe des Halses wird über oberflächliche und tiefe Lymphknoten filtriert und anschließend zum Truncus jugularis geführt. Über den Truncus jugularis und den Truncus subclavius (Lymphe aus Arm, Schulter und Brustwand) fließt die Lymphe im unteren Hals in die Hauptlymphgänge: rechts in den Ductus lymphaticus dexter, links in den Ductus thoracicus – beide Gänge münden in den Venenwinkel (Angulus venosus) ein.

An der Innervation der Halsmuskulatur und der Muskulatur von Larynx und Pharynx sind Halsspinalnerven (Äste des Plexus cervicalis und brachialis) und verschiedene Hirnnerven (N. trigeminus, N. facialis, N. glossopharyngeus, N. vagus und N. accessorius) beteiligt. Äste des Plexus cervicalis bzw. dorsale Äste der Halsspinalnerven versorgen den Hals sensibel. N. phrenicus und N. hypoglossus ziehen durch den Hals zu ihren Innervationsgebieten.

16.3.1 Arterien des Halses

Durch den Hals ziehen 2 große Arterien, die **A. subclavia** und die **A. carotis communis**. Die **A. subclavia** versorgt mit ihren Ästen weite Bereiche des Halses, Teile des Gehirns, Strukturen im Mediastinum, aber auch Brust- und Bauchwand, die Brustdrüse und das Zwerchfell. Die **A. carotis communis** mit ihren Ästen **A. carotis externa** und **A. carotis interna** transportiert Blut hauptsächlich zum Kopf und zum Gehirn. Einige Äste tragen zur Blutversorgung des Halses bei.

A. subclavia

Die **A. subclavia** geht rechts hinter der Articulatio sternoclavicularis aus dem Truncus brachiocephalicus hervor, links entspringt die A. subclavia, tief im Mediastinum gelegen, als letzter Ast aus dem Aortenbogen. Rechts wie links zieht die Arterie im Bogen über die Pleurakuppel nach lateral, tritt gemeinsam mit den Primärsträngen des Plexus brachialis durch die Skalenuslücke, zieht im Sulcus a. subclaviae über die 1. Rippe und setzt sich am Unterrand der 1. Rippe als A. axillaris in die Achselhöhle (Fossa axillaris) fort. Die A. subclavia entlässt in ihrem Verlauf zahlreiche Äste, die bis auf die A. thoracica interna alle an der Versorgung des Halses beteiligt sind. Zu beachten ist, dass die Astfolge der A. subclavia stark variieren kann.

Die A. subclavia kann man in 3 Abschnitte untergliedern. Der 1. Abschnitt erstreckt sich vom Ursprung der Arterie bis an den medialen Rand des M. scalenus anterior. Der 2. Abschnitt liegt hinter dem M. scalenus anterior (entspricht der Skalenuslücke), während der 3. Abschnitt vom lateralen Rand dieses Muskels bis zum Unterrand der 1. Rippe reicht.

Aus der ersten Arterienstrecke gehen die A. vertebralis, die A. thoracica interna und der Truncus thyrocervicalis hervor.

Die **A. vertebralis**, die zusammen mit der A. carotis interna das Gehirn versorgt, entspringt als erster Ast aus der Konvexität des Subclaviabogens, verläuft senkrecht nach kranial – ab dem 6. Halswirbel geschützt innerhalb der Querfortsätze (Foramina transversaria) – bis zum Atlas. Hier tritt sie durch das Foramen transversarium des Atlas, verläuft dann hinter der Massa lateralis atlantis im Sulcus a. vertebralis auf dem hinteren Atlasbogen nach dorsal und biegt schließlich wieder nach kranial ab. Sie durchbricht die Membrana atlantooccipitalis posterior und gelangt über das Foramen occipitale magnum ins Schädelinnere. Am Hals entlässt sie kleine segmentale Äste zur Versorgung der tiefen Halsmuskeln, der Wirbelkörper, des Rückenmarks und der Rückenmarkshäute.

Die **A. thoracica interna** entspringt, der A. vertebralis gegenüberliegend, aus der Konkavität des

Arterienbogens. Sie zieht seitlich des Sternums nach kaudal in Richtung Zwerchfell.

Der **Truncus thyrocervicalis** entspringt am medialen Rand des M. scalenus anterior. Der kurze Arterienstamm ist in der Regel Ursprung von 4 Arterien: A. thyroidea inferior, A. cervicalis ascendens, A. suprascapularis, A. transversa cervicis (colli).

Die **A. thyroidea inferior** steigt zur Schilddrüse auf. Sie versorgt gemeinsam mit der A. thyroidea superior, einem Ast der A. carotis externa, die Schilddrüse. Weitere Versorgungsgebiete sind die Nebenschilddrüsen, Larynx, Pharynx, Oesophagus und Trachea.

Die **A. cervicalis ascendens** zieht medial vom N. phrenicus auf dem M. scalenus anterior liegend nach kranial und versorgt die tiefe Halsmuskulatur.

Die **A. suprascapularis**, die zur Dorsalseite der Scapula verläuft, ist gemeinsam mit der A. circumflexa scapulae, einem Ast der A. axillaris, an der Ausbildung der „Schulterblatt-Anastomose" beteiligt und speist das Rete scapulare.

Die **A. transversa cervicis** (**colli**) zieht durch die laterale Halsregion. Hier teilt sie sich in einen R. superficialis und einen R. profundus auf. Der R. superficialis verläuft oberflächlich durchs laterale Halsdreieck und zieht gemeinsam mit dem N. accessorius zum M. trapezius. Der R. profundus zieht in der Tiefe durch die seitliche Halsregion und verläuft gemeinsam mit dem N. dorsalis scapulae zu den Mm. rhomboidei und versorgt neben diesen Muskeln auch den M. latissimus dorsi und speist das Rete scapulare.

Die Astfolge des Truncus thyrocervicalis ist sehr variabel. Alle Gefäße können auch selbstständig aus der A. subclavia entspringen. Besonders variantenreich ist die Astfolge der A. transversa cervicis. Beide Äste der A. transversa cervicis können eigenständig entspringen. Der R. superficialis geht dann meist aus dem Truncus thyrocervicalis hervor und wird als A. cervicalis superficialis bezeichnet. Der R. profundus dagegen entspringt als letzter Ast aus der A. subclavia lateral der Skalenuslücke. Der Ast, jetzt als A. dorsalis scapulae bezeichnet, schlängelt sich durch die Äste des Plexus brachialis und zieht durch die tiefe Halsregion zum Rücken.

Der **Truncus costocervicalis** entspringt innerhalb der Skalenuslücke. Der Arterienstamm teilt sich in die **A. cervicalis profunda**, die an der Versorgung der tiefen Hals- und Rückenmuskulatur bzw. von Strukturen im Wirbelkanal beteiligt ist, und in die **A. intercostalis suprema** zur Versorgung der oberen 2 Interkostalräume.

Eine atypisch als letzter Ast aus dem Aortenbogen entspringende A. subclavia dextra wird als **A. lusoria** bezeichnet. Auf ihrem Weg zum rechten Arm verläuft die Arterie hinter dem Oesohagus. Durch die enge Beziehung zum Oesophagus kann diese Arterie Schluckbeschwerden (**Dysphagia lusoria**) hervorrufen. Klinisch kann sich dieser atypische Verlauf in Retrosternalschmerzen, Erbrechen, evtl. auch in einer Tachykardie manifestieren.

Eine Einengung des Lumens (Stenose) der A. subclavia proximal des Abgangs der A. vertebralis kann zu einer temporären Durchblutungsstörung des Gehirns führen (**Subclavian-Steal-Syndrom**). Die Stenose bedingt eine Minderdurchblutung des Armes. Bei Muskelarbeit des Armes kommt es aufgrund der herrschenden Druckverhältnisse im Gebiet der Stenose zu einer Stromumkehr. Dann wird dem vertebrobasilären Kreislauf Blut entzogen, was zur Mangeldurchblutung des Gehirns führt.

A. carotis communis

Die **A. carotis communis** entspringt rechts aus dem Truncus brachiocephalicus, links geht sie unmittelbar aus dem Aortenbogen hervor. Die Arterie, die in der Regel keine Äste entlässt, zieht zusammen mit der V. jugularis interna und dem N. vagus, umhüllt von der Vagina carotica, durch die Regio sternocleidomastoidea ins Trigonum caroticum. Hier gabelt sie sich in Höhe der Prominentia laryngea in die **A. carotis externa** (vorn medial) und in die **A. carotis interna** (hinten lateral) auf.

Im Bereich der Karotisgabel liegen das Glomus caroticum (Chemorezeptor) und der Sinus caroticus (Pressorezeptoren). Der Chemorezeptor kontrolliert den Sauerstoffgehalt des Blutes, der Pressorezeptor registriert den Blutdruck. Die Afferenzen dieser Rezeptoren verlaufen überwiegend im N. glossopharyngeus.

Die **A. carotis interna** setzt den Verlauf der A. carotis communis unmittelbar fort und zieht in der Regel astlos im Gefäß-Nerven-Strang vom Trigonum caroticum durch den Parapharyngealraum weiter zur Schädelbasis. Über den Canalis caroticus gelangt sie schließlich ins Schädelinnere.

Die **A. carotis externa** gibt schon im Trigonum caroticum erste Äste für die Halsorgane, die Zunge, das Gesicht und die Kopfschwarte ab (s. a. ▶ **Abb. 20.4**):

- 3 Äste verlaufen nach ventral medial: A. thyroidea superior, A. lingualis, A. facialis,
- 3 weitere Äste ziehen nach dorsal in Richtung Ohr und Hinterhaupt: A. occipitalis, A. sternocleidomastoidea, A. auricularis posterior,
- nach medial entspringt die A. pharyngea ascendens, die den Rachen versorgt.

Nach Verlassen des Trigonum caroticum tritt die A. carotis externa in einen Spalt hinter dem R. mandibulae (Fossa retromandibularis). Innerhalb dieser Grube, umgeben vom Gewebe der Glandula parotidea, teilt sie sich in Höhe des Collum mandibulae in ihre Endäste, in die A. maxillaris und die A. temporalis superficialis.

Die **A. thyroidea superior** zieht zur Schilddrüse, welche sie gemeinsam mit der A. thyroidea inferior, einem Ast der A. subclavia, versorgt. Auf ihrem Weg zur Schilddrüse entlässt sie einen Ast zum Larynx, die **A. laryngea superior**.

A. lingualis und **A. facialis** zweigen zwar meist einzeln von der A. carotis externa ab, können aber auch aus einem gemeinsamen Stamm hervorgehen (Truncus linguofacialis). Sie ziehen hinter dem M. stylohyoideus und dem Venter posterior des M. digastricus ins Trigonum submandibulare. Die **A. lingualis** zieht weiter in die Regio sublingualis und entlässt Äste für die Zunge und die Regio sublingualis. Die **A. facialis** verläuft S-förmig gebogen durchs Trigonum submandibulare. Sie nimmt dabei engen Kontakt zur Glandula submandibularis auf. Am Vorderrand des M. masseter überschreitet sie den Unterkieferrand und zieht ins Gesicht. An dieser Stelle kann man den Puls fühlen und die Arterie abdrücken. Im Trigonum submandibulare entspringen aus der A. facialis die A. palatina ascendens zur Versorgung der Tonsilla palatina, die A. submentalis für die Unterkinnregion und zahlreiche Rr. glandulares für die Glandula submandibularis.

Die **A. occipitalis** entspringt im Trigonum caroticum meist gegenüber der A. facialis. Sie zieht nach dorsal zum Hinterhaupt. Hier verzweigt sie sich unter Bildung eines dichten Gefäßnetzes. Kleine Äste ziehen zur Dura mater. Die **A. sternocleidomastoidea** entspringt als selbstständige kleine Arterie oder als Ast der A. occipitalis. Auf ihrem Weg zum M. sternocleidomastoideus überkreuzt sie den N. hypoglossus. Die **A. auricularis posterior** entspringt aus dem dorsalen Umfang der A. carotis externa – meist schon außerhalb des Trigonum caroticum – und zieht hinter die Ohrmuschel, die sie mit Rr. auriculares versorgt. Zusätzlich gibt die Arterie Äste zum Mittel- und Innenohr und zur Dura mater ab. Die **A. pharyngea ascendens**, welche aus dem medialen Umfang der Arterie entspringt, zieht im hinteren Kompartiment des Laterapharyngealraums bis zur Schädelbasis und gelangt ins Schädelinnere. Sie versorgt den Rachen und mit ihrem Endast, der A. meningea posterior, Abschnitte der Hirnhäute.

Die **A. maxillaris** zieht dorsal des Collum mandibulae in die Fossa infratemporalis, wo sie sich verzweigt. Die **A. temporalis superficialis**, steigt vor dem Ohr zur Schläfe auf und teilt sich hier in einen R. frontalis und einen R. parietalis zur Versorgung der Schläfe.

16.3.2 Venen des Halses (▶ Abb. 16.7)

Das Venennetz am Hals ist sehr variabel gestaltet. Die zahlreichen Venen sind über ausgedehnte Anastomosen untereinander verbunden. Das venöse Blut aus der Kopf-Hals-Region fließt im Wesentlichen über das Jugularissystem (V. jugularis interna[2], V. jugularis externa[1], V. jugularis anterior[3]) und über die V. subclavia[6, 13] ab. V. jugularis interna und V. subclavia vereinigen sich im Venenwinkel zur V. brachiocephalica[7, 11]. Rechte und linke V. brachiocephalica bilden die V. cava superior[8], die in den rechten Vorhof des Herzens einmündet.

In den großen Halsvenen herrscht Unterdruck, der das Blut zum Herzen zurückströmen lässt. Der Einbau der großen Venen ins Halsfasziensystem hält das Lumen der Venen offen und verhindert ein Kollabieren der Venenwand.

Wenn Venen im Winkel von ungefähr 90° aufeinandertreffen spricht man von einem Venenwinkel. Am Hals lassen sich 2 solcher Venenwinkel unterscheiden: der kranial gelegene kleine jugulofaziale Winkel (Einmündung der V. facialis[16] in die V. jugularis interna) und ein großer, kaudal liegender, der jugulosubclaviale Winkel (Vereinigung von V. jugularis interna mit der V. subclavia). In diesen Winkel münden auch die großen Lymphgänge ein (rechts: Ductus lymphaticus dexter, links: Ductus thoracicus).

Die mächtigste der **Jugularisvenen**, die **V. jugularis interna**[2], beginnt im Foramen jugulare an der Schädelbasis mit einer Anschwellung, dem *Bulbus*

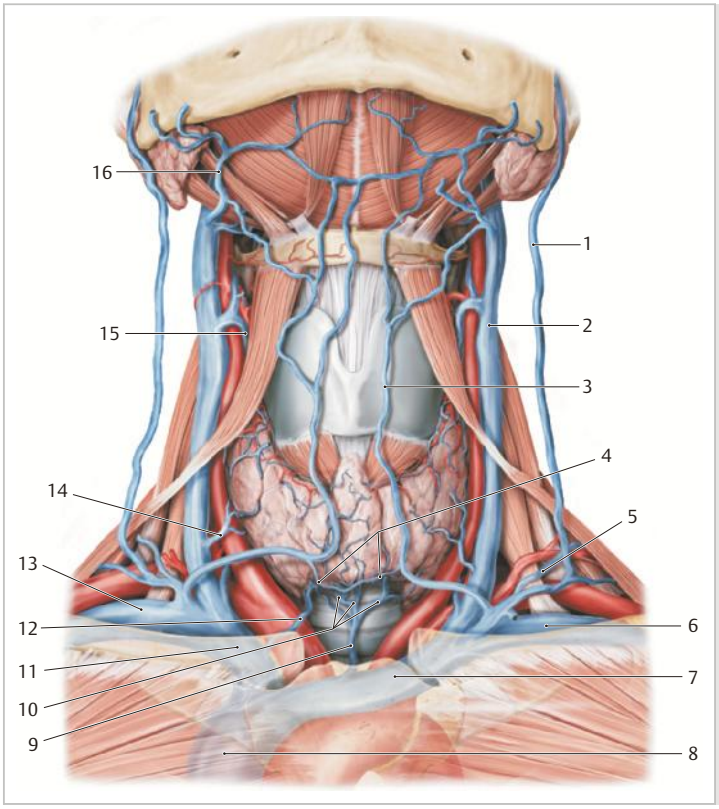


Abb. 16.7 Halsvenen. Ansicht von ventral.
1 V. jugularis externa
2 V. jugularis interna
3 V. jugularis anterior
4 Arcus venosus jugularis
5 V. transversa cervicis
6 V. subclavia sinistra
7 V. brachiocephalica sinistra
8 V. cava superior
9 V. thyroidea inferior sinistra
10 Plexus thyroideus impar
11 V. brachiocephalica dextra
12 V. thyroidea inferior dextra
13 V. subclavia dextra
14 V. thyroidea media
15 V. thyroidea superior
16 V. facialis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

superior v. jugularis. Nach Austritt aus dem Schädel wird sie Bestandteil des Gefäß-Nerven-Strangs. Gemeinsam mit A. carotis interna und N. vagus verläuft die Vene durch das Spatium lateropharyngeum und das Trigonum caroticum in die Regio sternocleidomastoidea (hier dann begleitet von A. carotis communis und N. vagus).

Kurz vor ihrer Vereinigung mit der V. subclavia erweitert sich die V. jugularis interna zum *Bulbus inferior v. jugularis*. In dieser Wandaufweitung befindet sich, ungefähr 1 cm vom Angulus venosus entfernt, ein Klappenpaar. Die V. jugularis interna sammelt venöses Blut aus dem Gehirn, der Kopfschwarte, dem Gesicht und der Schilddrüse.

Die **V. jugularis externa**[1] entsteht hinter dem Ohr durch den Zusammenfluss von V. occipitalis und V. auricularis posterior. Sie verläuft epifascial auf dem M. sternocleidomastoideus abwärts. Die Vene führt Blut aus dem oberflächlichen Ohrbereich in der Regel zur V. subclavia.

Die epifascial in der Gegend des Zungenbeins beginnende **V. jugularis anterior**[3] drainiert Blut aus der Mundbodengegend und der oberflächlichen Vorderwand des Halses. Sie mündet in die V. jugularis externa ein. Rechte und linke V. jugularis anterior stehen über den Arcus venosus jugularis[4] im Spatium suprasternale miteinander in Verbindung.

Beide Vv. jugulares anteriores können zu einem unpaaren Gefäß, zur V. mediana colli, vereinigt sein.

Die **V. subclavia**[6, 13] sammelt das venöse Blut vom Arm, vom Schultergürtel, zum Teil von der Brustwand, von der Halswirbelsäule und vom tiefen Bewegungsapparat des Halses. Das Einzugsgebiet deckt sich zum großen Teil mit dem Versorgungsgebiet der A. subclavia. Die V. subclavia verläuft zwischen M. scalenus anterior und dem claviculären Ursprung des M. sternocleidomastoideus, bedeckt vom mittleren Blatt der Halsfaszie, über die 1. Rippe. Im Venenwinkel (Angulus venosus) vereinigt sie sich mit der V. jugularis interna zur V. bra-

chiocephalica. Am Übergang zum Venenwinkel besitzt die Vene meist ein Klappenpaar.

Die **V. brachiocephalica**[7, 11] erhält auch direkte Zuflüsse aus der Halsregion. Die meist unpaare V. thyroidea inferior führt Blut zur V. brachiocephalica sinistra. ▶ **Abb. 16.7** zeigt die Variante, wo aus dem Plexus thyroideus impar[10] links und rechts je eine V. thyroidea inferior[9, 12] hervorgeht. Die V. vertebralis (Entstehung im Bereich des Hinterhaupts), die die A. vertebralis als Venengeflecht bis zum 6. Halswirbel begleitet, mündet ebenfalls in die V. brachiocephalica ein. Zuvor nimmt sie in der Regel noch Blut aus der V. cervicalis profunda auf.

V. jugularis interna und V. subclavia werden in der Intensivmedizin oft zum Legen eines **zentralen Venenkatheters** genutzt.

Gestaute oberflächliche Halsvenen (V. jugularis externa), die im Stehen sichtbar werden, deuten auf eine **Rechtsherzinsuffizienz** hin.

16.3.3 Lymphknoten des Halses

Am Hals befinden sich zahlreiche Lymphknoten (etwa ein Drittel aller Lymphknoten des Körpers), die insbesondere entlang der V. jugularis interna kettenförmig aufgereiht sind. Die große Lymphknotendichte lässt sich mit der exponierten Lage von Mund- und Nasenhöhle erklären. Beide sind mögliche Eintrittspforten für Erreger. Zudem fließt die Lymphe aus dem gesamten Körper im Hals zusammen und wird über die Hauptlymphgänge ins venöse System abgeleitet.

Am Übergang vom Kopf zum Hals liegen entlang der Linie, die Kinn, Unterkieferrand, Ohr und Hinterhaupt verbindet, mehrere Lymphknotengruppen, die als regionäre Lymphknotenstationen für die meisten Kopfregionen dienen. Weitere Lymphknoten sind in vertikalen Ketten entlang der Jugularisvenen und entlang des Halseingeweidetrakts gruppiert. Die um die V. jugularis interna angeordneten Lymphknoten sind der Hauptdrainageweg für Kopf und Hals. Aus ihnen geht der Truncus jugularis hervor. Die supraclaviculären Lymphknoten in der Fossa supraclavicularis major erhalten neben Zuflüssen aus der Kopf-Hals-Region vor allem Lymphe von der Brustwand, insbesondere von der Brustdrüse. Links stehen diese supraclaviculären Knoten mit Lymphgefäßen des Oberbauchs in Verbindung.

Bei bösartigen Geschwülsten, z. B. des Magens oder der Leber, können sich **Metastasen** in den linken supraclaviculären Lymphknoten absiedeln. Dieser Lymphknoten wird auch als **Virchow-Drüse** oder Troisier-Knoten bezeichnet.

Die Lymphknoten am Hals werden in **vordere und seitliche Lymphknoten** untergliedert (Nodi lymphoidei cervicales anteriores und laterales). In beiden Gruppen kann man entsprechend ihrer Lage **oberflächliche und tiefe Lymphknoten** unterscheiden (Nodi lymphoidei superficiales und profundi). Die tiefen Lymphknotengruppen des Halses sind übergeordnete Filterstationen für die Lymphbahnen des Kopf-Hals-Bereichs, erhalten aber auch direkt Lymphzuflüsse aus ihrer Umgebung. Sie erfüllen somit die Funktion von Sammellymphknoten, dienen aber auch als regionäre Lymphknoten.

Die meisten Lymphknoten am Hals sind bei Vergrößerung palpabel. Um keine Anschwellung eines Lymphknotens zu übersehen, werden die **Lymphknoten bei der klinischen Untersuchung** systematisch durchgemustert. Die Palpation wird am sitzenden Patienten, der den Kopf etwas nach vorne neigt, von vorn und hinten bimanuell seitenvergleichend durchgeführt. Man beginnt mit der Palpation der submental-submandibulären Lymphknotengruppen entlang des Kieferrandes bis zum Kieferwinkel, tastet dann entlang des Vorderrandes des M. sternocleidomastoideus bis zum Jugulum (Lymphknoten entlang der V. jugularis interna), palpiert die supraclaviculären Knoten und folgt anschließend dem Hinterrand des M. sternocleidomastoideus bis zum Hinterhaupt (Lymphknoten entlang des N. accessorius und im Nacken).

Vordere Halslymphknoten

Von der Lage her unterscheidet man bei den vorderen Halslymphknoten oberflächliche und tiefe Lymphknoten. Die **Nodi lymphoidei cervicales anteriores superficiales** liegen entlang der V. jugula-

ris anterior. In diese Knoten wird die Lymphe aus der Haut der vorderen Halsregion drainiert und von hier in die tiefen vorderen Lymphknoten weitergeleitet. Die **Nodi lymphoidei anteriores profundi** (▶ **Abb. 16.8**[VI]) sind entlang der unteren Atemwege angeordnet. Sie sind einerseits Sammellymphknoten, aber auch regionäre Lymphknoten:

- die **Nodi lymphoidei infrahyoidei** für die obere Kehlkopfhälfte,
- die **Nodi lymphoidei prelaryngeales** (auf dem Lig. cricothyroideum medianum) für die untere Larynxhälfte,
- die **Nodi lymphoidei thyroidei** für die Schilddrüse,
- die **Nodi lymphoidei pre-** und **paratracheales** (vor bzw. zwischen Trachea und Oesophagus entlang des N. laryngeus recurrens; „Rekurrenskette") für Trachea und Kehlkopf,
- die **Nodi lymphoidei retropharyngeales** für Pharynx, Tuba auditiva und die hinteren Abschnitte der Nasenhöhle.

Die vorderen tiefen Halslymphknoten befördern die von ihnen kontrollierte Lymphe weiter zu den seitlichen tiefen Halslymphknoten.

Erkrankungen der **paratrachealen Lymphknoten** können den N. laryngeus recurrens schädigen. Die Nodi lymphoidei prelaryngeales werden auch als Delphian-Knoten bezeichnet.

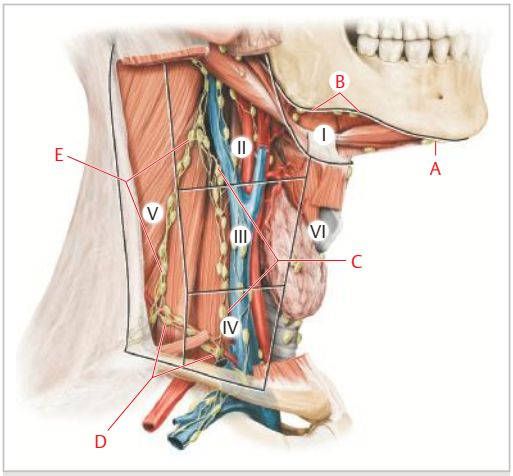


Abb. 16.8 Tiefe Lymphknoten am Hals. Ansicht von rechts. Einteilung der „American Academy of Otolaryngology, Head and Neck Surgery" in 6 Gruppen (Robbins, 1991).
I Nodi lymphoidei submentales (**A**) und submandibulares (**B**)
II Nodi lymphoidei cervicales profundi (obere laterale Gruppe)
III Nodi lymphoidei cervicales profundi (mittlere laterale Gruppe)
IV Nodi lymphoidei cervicales profundi (untere laterale Gruppe)
V Nodi lymphoidei trigoni cervicales posteriores (obere Gruppe)
VI Nodi lymphoidei cervicales anteriores (vordere Gruppe)
C Jugularis-interna-Kette (II–IV)
D Supraclaviculare Kette
E Accessoriuskette (V)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Seitliche Halslymphknoten

Die seitlichen oberflächlichen Halslymphknoten (**Nodi lymphoidei cervicales laterales superficiales**) liegen auf dem M. sternocleidomastoideus entlang der V. jugularis externa. Sie stellen die regionären Lymphknoten folgender Regionen dar: Ohrläppchen, Boden des äußeren Gehörgangs, Haut über dem Kieferwinkel und über dem unteren Teil der Glandula parotidea. Sie führen die Lymphe zu seitlichen tiefen Halslymphknoten (supraclaviculäre bzw. untere, um die V. jugularis interna angeordnete Knoten).

Die **Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi** (▶ **Abb. 16.8**) liegen in 3 Ketten aufgereiht (Akzessoriuskette[E], Jugularis-interna-Kette[C] und supraclaviculäre Kette[D]). Das von den 3 Lymphknotenketten eingefasste Dreieck wird als Rouvière-Dreieck bezeichnet. Die Knoten dieser Ketten dienen als Sammelknoten für die Kopf-Hals-Region.

Aus den efferenten Lymphbahnen dieser Knoten geht der **Truncus jugularis** hervor, der die Lymphe von Kopf und Hals rechts über den **Ductus lymphaticus dexter** und links über den **Ductus thoracicus** zum Venenwinkel führt. Der Truncus jugularis kann auch unmittelbar in den Venenwinkel einmünden.

Der Ductus thoracicus verläuft vom Retroperitonealraum bis ins Halsgebiet. Nach Eintritt in die Halsregion zieht er von dorsal bogenförmig über die linke Pleurakuppel und die A. subclavia sinistra hinweg und mündet in den linken Venenwinkel ein. Der Ductus lymphaticus dexter ist rund 1 cm lang und zieht zum rechten Venenwinkel.

Die **Nodi lymphoidei accessorii** nehmen Lymphe vom Nacken, der Schulter, von der Haut des lateralen Halses und aus den okzipitalen und retroaurikulären Lymphknoten auf und leiten sie zur supraclaviculären Gruppe weiter. In die **Nodi lymphoidei supraclaviculares**[D], die entlang der A. transversa cervicis liegen, münden auch die infraclaviculären Lymphknoten ein. Zusätzlich nehmen die supraclaviculären Knoten Lymphe aus der anterolateralen Halshaut und aus der Thoraxwand auf, insbesondere aus der Brustdrüse. Die **Jugularis-interna-Kette**[E] besteht aus folgenden Untergruppen, die vor und seitlich der Vene liegen:

- **Nodi lymphoidei jugulares anteriores** und **laterales**,
- **Nodus jugulodigastricus** an der Kreuzung von V. jugularis interna und hinterem Bauch des M. digastricus; er erhält als regionärer Lymphknoten Lymphe aus der Tonsilla palatina und aus dem Zungengrund,
- **Nodus juguloomohyoideus** an der Kreuzung der Zwischensehne des M. omohyoideus mit der V. jugularis interna; er erhält Lymphe unmittelbar aus der Zunge. Zusätzlich gelangt Lymphe aus den vorgeschalteten **Nodi lymphoidei submentales**[A] (Mundboden, Unterlippe, Kinn) und den **Nodi lymphoidei submandibulares**[B] (Zungengrund, weicher Gaumen, Zähne und Zahnfleisch des Unterkiefers) in den Knoten.

Die **Nodi lymphoidei submandibulares**, die entlang des Unterkieferrandes in der submandibulären Nische liegen, werden auch als „dentale Lymphknoten" bezeichnet. Bei Zahnerkrankungen sind diese vergrößert. Um die Lymphknoten abtasten zu können, muss der Kopf nach vorne geneigt werden. Dadurch wird die Lamina superficialis der Fascia cervicalis entspannt und man kann die Knoten gegen den Unterkieferrand drücken und fühlen.

Tumoren an Kopf und Hals metastasieren überwiegend lymphogen. Daher ist die Kenntnis der Lymphabflusswege aus den einzelnen Kopf-Hals-Regionen von enormem klinischem Interesse. In der Tumorchirurgie werden die Lymphknotengruppen abweichend von der anatomischen Nomenklatur in 6 Regionen (**„Level"**) unterteilt. Bei Befall der Lymphknoten mit Metastasen werden diese operativ entfernt (**„neck dissection"**) oder bestrahlt.

Maligne Lymphome befallen häufig die Halslymphknoten.

16.3.4 Nerven des Halses

Die Haut des Halses wird von Ästen des Plexus cervicalis (ventrolaterale Hautregion) und von Rr. dorsales der Spinalnerven C 2–8 versorgt. An der Innervation der Halsmuskulatur sind Spinal- wie Hirnnerven beteiligt (Plexus cervicalis und Plexus brachialis, Rr. dorsales von C 1–8, N. trigeminus, N. facialis, N. glossopharyngeus, N. vagus und N. accessorius). Der Halsgrenzstrang (Truncus sympathicus, Pars cervicalis) und der N. vagus liefern Nervenfasern für die vegetativen Plexus am Hals. Der N. hypoglossus zieht auf seinem Weg zur Zunge, wo er die Muskulatur versorgt, durch den Hals.

Zervikale Spinalnerven

Die Halsspinalnerven besitzen wie alle Spinalnerven vordere und hintere Äste (Rr. anteriores und Rr. posteriores). Während die Rr. posteriores den segmentalen Verlauf aufrechterhalten, verbinden sich die vorderen Äste zu Nervengeflechten (Plexus). Die aus den Nervengeflechten hervorgehenden Nerven enthalten in der Regel Nervenfasern aus mehreren Rückenmarkssegmenten.

Rami anteriores der zervikalen Spinalnerven

Der **Plexus cervicalis** (s. ▶ **Abb. 20.30**) entsteht zwischen den oberen Ursprüngen von M. scalenus anterior und medius nahe der Halswirbelsäule aus dem Zusammenschluss der Rr. anteriores des 1.–4. Zervikalnervs (C 1–4). Die aus dem Plexus cervicalis hervorgehenden Nerven versorgen die Haut der ventrolateralen Halsregion, die infrahyoidale Muskulatur, die Mm. scaleni, die prävertebrale Muskulatur und das Zwerchfell samt Teilen der serösen Häute (Pleura parietalis, Perikard, Peritoneum).

Die sensiblen Äste des Plexus cervicalis treten am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus in Höhe des mittleren Drittels am *Punctum nervosum* (Erb-Punkt) durch die Lamina superficialis der Halsfaszie und durchs Platysma.

Am **Punctum nervosum** können die über den Plexus cervicalis versorgten Hautareale relativ leicht anästhesiert werden (z. B. oberflächliche Blockade in der Karotischirurgie). Dazu sticht man mit einer Hohlnadel mittig am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus unter die Lamina superficialis der

Halsfaszie und injiziert ein Lokalanästhetikum. Anschließend schwenkt man die Nadel etwa 1–2 cm nach kaudal bzw. kranial und appliziert erneut Lokalanästhetikum.

Der zarte **N. occipitalis minor** (C 2–3) verläuft am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus, den N. accessorius überkreuzend, zur Haut der seitlichen Hinterhauptsregion. Er anastomosiert mit Ästen des N. occipitalis major (dorsaler Ast von C 2) und dem N. auricularis magnus.

Der kräftige **N. auricularis magnus** (C 2–3) zieht auf dem M. sternocleidomastoideus zum Ohr und versorgt mit seinem R. anterior die Haut auf der Vorderfläche der Ohrmuschel und die Haut am Kieferwinkel. Sein R. posterior innerviert die Haut an der Hinterfläche der Ohrmuschel.

Der **N. transversus colli** (C 2–3) überquert – bedeckt vom Platysma – den M. sternocleidomastoideus und gelangt so in die vordere Halsregion. Hier teilt er sich in Rr. superiores für die Haut oberhalb des Zungenbeins und in Rr. inferiores für die Halshaut kaudal des Zungenbeins. Der R. colli n. facialis führt einem der Rr. superiores motorische Fasern für das Platysma zu (Ansa cervicalis superficialis).

Die **Nn. supraclaviculares mediales**, **intermedii** und **laterales** (C 3–4) strahlen fächerförmig ins seitliche Halsdreieck aus und durchbrechen erst im Bereich des Trigonum omoclaviculare (Fossa supraclavicularis major) die Lamina superficialis und das Platysma:

- Die Nn. supraclaviculares mediales versorgen die Haut über dem medialen Drittel der Clavicula und die angrenzende Brusthaut.
- Die Nn. supraclaviculares intermedii ziehen zur Haut über dem mittleren Claviculadrittel und der angrenzenden Brusthaut bis zur 4. Rippe.
- Die Nn. supraclaviculares laterales innervieren die Haut über dem Acromion und dem M. deltoideus.

Die **Ansa cervicalis profunda** (C 1–3) wird aus einer Radix superior (C 1–2), die sich vorübergehend dem N. hypoglossus anlagert, und aus einer Radix inferior (C 2–3) gebildet. Beide Wurzeln vereinigen sich in variabler Höhe ventral der großen Halsgefäße. Die Ansa cervicalis profunda versorgt die unteren Zungenbeinmuskeln und den M. geniohyoideus. Der R. thyrohyoideus für den M. thyrohyoideus und die Fasern für den M. geniohyoideus verlassen gesondert den N. hypoglossus. Direkte kurze Muskeläste der Rr. anteriores des 1.–4. Zervikalnervs sind an der Innervation der prävertebralen Muskulatur bzw. der Skalenusmuskeln beteiligt.

Der **N. phrenicus** (C 3–4) verläuft auf dem M. scalenus anterior schräg nach abwärts und tritt zwischen A. und V. subclavia durch die obere Thoraxapertur ins Mediastinum ein. Im Mediastinum verläuft der N. phrenicus vor der Lungenwurzel zwischen Pleura mediastinalis und Pericard zum Zwerchfell, das er motorisch innerviert. Mit sensiblen Ästen versorgt er die ihm anliegenden Abschnitte der Pleura mediastinalis bzw. die Pleura diaphragmatica sowie das Pericard. Die sensiblen Endäste, die Rr. phrenicoabdominales, ziehen rechts durchs Foramen v. cavae, links meist durch den Hiatus oesophageus zum Peritoneum des Oberbauchs. Der linke Ast kann aber auch nahe der Herzspitze durchs Zwerchfell treten.

Der N. phrenicus kann zusätzlich Fasern (Nn. phrenici accessorii, „Nebenphrenicus“) aus dem N. subclavius des Plexus brachialis erhalten.

Der **Plexus brachialis** (s. ▶ **Abb. 20.31**) entsteht durch die Vereinigung der Rr. anteriores des 5.–8. Zervikalnervs (C 5–8) und Anteilen des 1. Thorakalnervs (Th 1) zwischen den Ursprüngen des M. scalenus anterior und des M. scalenus medius. Am Ausgang der Skalenuslücke lagern sich die vorderen Äste zu 3 Primärsträngen zusammen. C 5 und C 6 verbinden sich zum **Truncus superior**, C 7 bildet den **Truncus medius** und C 8 und Th 1 vereinigen sich zum **Truncus inferior**. Vor Eintritt in die Achselhöhle teilen sich die Trunci in je einen ventralen und einen dorsalen Ast auf und verflechten sich neu zu 3 Sekundärsträngen (**Fasciculus lateralis**, **medialis** und **posterior**).

Direkte Äste, die aus den Primärsträngen hervorgehen, bilden die **Pars supraclavicularis** des Plexus brachialis. Die Äste der Pars supraclavicularis verlassen den Plexus brachialis im lateralen Halsdreieck.

Der **N. dorsalis scapulae** (C 3–5) durchbohrt den M. scalenus medius, zieht entlang des M. levator scapulae, den er mit einem Ästchen versorgt, zum medialen oberen Scapulawinkel und zieht parallel zur Margo medialis scapulae nach abwärts unter die Mm. rhomboidei, die er versorgt.

Der **N. thoracicus longus** (C 5–7) durchbohrt ebenfalls den M. scalenus medius und zieht über

die 1. Rippe in die Achselhöhle zum M. serratus anterior, den er innerviert.

N. dorsalis scapulae und N. thoracicus longus können als gemeinsamer Stamm den M. scalenus medius durchbohren.

Der **N. subclavius** (C 5–6) läuft zum M. subclavius und gibt häufig einen Ast zum N. phrenicus (Nebenphrenicus) ab.

Der **N. suprascapularis** (C 4–6) verläuft zur Incisura scapulae und zieht unter dem Lig. transversum scapulae superius zu M. supraspinatus und M. infraspinatus.

Rami posteriores der Halsspinalnerven

Die im Vergleich mit den Rr. anteriores dünnen Rr. posteriores erhalten ihren segmentalen Ursprung aufrecht und teilen sich kurz nach ihrem Abgang aus den Spinalnerven in je einen lateralen und einen medialen Ast auf. Die Rr. posteriores der Halsspinalnerven ziehen unter Abgabe von Ästen durch die Nackenmuskulatur und verlaufen weiter zur Haut des Nacken und der Hinterhauptsregion, welche sie bis zum Scheitel (Übergang zum Trigeminusversorgungsgebiet) innervieren.

Der **N. suboccipitalis** (C 1) enthält nur motorische Fasern. Er tritt oberhalb des hinteren Atlasbogens unmittelbar unter der A. vertebralis ins Trigonum suboccipitale ein. Der Nerv teilt sich in mehrere Äste auf und versorgt die kurzen tiefen Nackenmuskeln, den M. longus capitis und den M. semispinalis capitis.

Dem R. posterior des 1. Zervikalnervs ist kein Dermatom zugeordnet.

Der R. posterior von C 2 gelangt zwischen hinterem Atlasbogen und dem Arcus vertebrae des 2. Halswirbels ins Trigonum suboccipitale, zieht um den Unterrand des M. obliquus inferior nach oben und teilt sich in einen dicken medialen und einen dünnen lateralen Ast auf. Der laterale Ast ist an der Versorgung von M. semispinalis capitis, M. longissimus capitis und M. splenius capitis beteiligt. Der kräftige mediale Ast ist der **N. occipitalis major**, der die Nackenhaut bis zum Scheitel versorgt. Auf seinem Weg zum Innervationsgebiet durchbohrt er den M. semispinalis capitis und den M. trapezius sowie die Fascia nuchae. Seine Äste überkreuzen die A. occipitalis und verlaufen streckenweise gemeinsam mit deren Ästen zur Haut des Hinterhaupts.

Der R. posterior von C 2 steht über Anastomosen mit den Rr. posteriores von C 1 und C 3 in Verbindung. Über die Anastomose mit C 1 gelangen offensichtlich sensorische Fasern von Muskelafferenzen nach C 2.

Der R. posterior von C 3 teilt sich ebenfalls in einen medialen und einen lateralen Ast auf. Der mediale Ast, der **N. occipitalis tertius,** ist nach Durchtritt durch den M. semispinalis capitis und den M. trapezius an der Innervation der Nackenhaut beteiligt.

Die Rr. posteriores von C 4–8 teilen sich ebenfalls in einen medialen und lateralen Ast auf und versorgen die in ihrem Bereich liegenden autochthonen Rückenmuskeln und die darüber liegenden Hautgebiete.

Hirnnerven

In der Halsregion verlaufen Äste der Hirnnerven V, VII, IX, X, XI und XII. Die Nerven IX–XII ziehen nach Austritt aus der Schädelbasis durchs Spatium lateropharyngeum in enger Nachbarschaft zur A. carotis interna.

Der **N. mylohyoideus** geht aus dem N. alveolaris inferior, einem Ast des **N. mandibularis** (V3) (S. 678), kurz vor dessen Eintritt in den Canalis mandibulae hervor. Der N. mylohyoideus verläuft im Sulcus mylohyoideus des Unterkiefers nach kaudal ins Trigonum submandibulare zum M. mylohyoideus und zum Venter anterior des M. digastricus, die er beide innerviert.

Der **N. facialis** (VII) (S. 679) versorgt den Venter posterior des M. digastricus und den M. stylohyoideus. Die dafür zuständigen Nervenäste verlassen den N. facialis unmittelbar nach dessen Austritt aus dem Foramen stylomastoideum. Der **R. colli n. facialis** tritt am Unterrand der Glandula parotidea aus dem Drüsengewebe aus und zieht oberflächlich zum Platysma, das er versorgt.

Der R. colli n. facialis bildet eine Anastmose mit dem N. transversus colli, die Ansa cervicalis superficialis.

Der **N. glossopharyngeus** (IX) (S. 681) zieht zwischen A. carotis interna und V. jugularis interna durch das Spatium lateropharyngeum, gelangt auf die Dorsalseite des M. stylopharyngeus und verläuft anschließend im Bogen zwischen diesem und dem M. styloglossus zur Zungenwurzel. Mit einem

R. musculi stylopharyngei versorgt der Nerv den M. stylopharyngeus. Dünne **Rr. pharyngei** des N. glossopharyngeus bilden mit gleichnamigen Ästen des N. vagus und Ästen des Truncus sympathicus den Plexus pharyngeus, der die Pharynxwand mit afferenten und efferenten Nervenfasern versorgt. Der M. constrictor pharyngis superior wird vorwiegend von den Fasern des N. glossopharyngeus innerviert. Der sensorische **R. sinus carotici** verläuft zur Teilungsstelle der A. carotis communis, wo seine Äste die Wand des Sinus caroticus und das Glomus caroticum innervieren.

Sinus caroticus und Glomus caroticum werden zusätzlich von Ästen des N. vagus erreicht. Die Rezeptoren des Sinus caroticus reagieren auf einen Anstieg des arteriellen Blutdrucks. Dann wird reflektorisch der Herzschlag verlangsamt und der Blutdruck gesenkt (Baro-Reflex). Bei starkem Druck oder Schlag (Boxen) auf den Sinus caroticus wird ein rapider Blutdruckanstieg simuliert, was reflektorisch ein massives Absinken des Blutdrucks bewirkt. Dies kann zur Mangeldurchblutung des Hirns führen und eine Ohnmacht hervorrufen (Ko-Schlag beim Boxen).

Die Chemorezeptoren des Glomus caroticum registrieren eine Abnahme des Sauerstoffgehalts bzw. eine Zunahme der CO_2-Spiegels im Blut, was zu einer reflektorischen Änderung von Atemfrequenz und Atemtiefe führt.

Der **N. vagus** (X) (S. 682) ist der bedeutendste Nerv des Parasympathicus. Er enthält aber auch viszeromotorische wie afferente Fasern. Sein Innervationsgebiet erstreckt sich vom Kopf über den Hals und die Brusthöhle bis in den Bauchraum. Der Halsteil des N. vagus verläuft als Bestandteil des Gefäß-Nerven-Strangs durch das Spatium lateropharyngeum zur oberen Thoraxapertur. Beidseits tritt der N. vagus zwischen A. subclavia und V. brachiocephalica in das Mediastinum ein und zieht dorsal der Lungenwurzel zum Oesophagus, wo er den Plexus oesophageus bildet. Aus dem Nervengeflecht gehen Truncus vagalis posterior (mehrheitlich vom rechten N. vagus gebildet) und Truncus vagalis anterior (vorrangig aus dem linken N. vagus) hervor, welche gemeinsam mit dem Oesophagus durch den Hiatus oesophageus des Zwerchfells in den Bauchraum gelangen.

Aus dem Halsabschnitt des N. vagus gehen Nerven zum Pharynx, zum Larynx und zum Herzen hervor:

Die **Rr. pharyngei** des N. vagus strahlen in den Plexus pharyngeus ein, welcher auch Äste vom R. externus des N. laryngeus superior, vom N. glossopharyngeus und vom Truncus sympathicus erhält. Der gemischte Plexus pharyngeus versorgt die Pharynxwand und den weichen Gaumen motorisch wie sensorisch.

Der N. vagus ist aufgrund seiner ausgiebigen Schlundinnervation der wichtigste Nerv des Schluckaktes und an der Steuerung des Schluck- und Würgereflexes beteiligt.

Der **N. laryngeus superior**, der Nerv des 4. Schlundbogens, verlässt den N. vagus unterhalb des Ganglion inferius n. vagi und zieht medial der A. carotis interna und der A. carotis externa im Bogen zur Membrana thyrohyoidea. Hier teilt er sich in einen motorischen **R. externus** und einen sensiblen **R. internus**. Der R. externus innerviert den M. cricothyroideus und den M. constrictor pharyngis inferior. Der R. internus zieht gemeinsam mit A. und V. laryngea superior durch die Membrana thyrohyoidea ins Kehlkopfinnere und versorgt die Schleimhaut der oberen Kehlkopfhälfte von den Valleculae epiglotticae bis zur Stimmritze.

Der **N. laryngeus recurrens**, der Nerv des 6. Schlundbogens, geht aus dem Brustteil des N. vagus hervor. Rechts umschlingt er die A. subclavia, links umgreift er den Aortenbogen und zieht in der Rinne zwischen Trachea und Oesophagus zurück zum Kehlkopf. Auf seinem Weg zum Larynx gibt er Rr. tracheales und Rr. oesophagei ab. Sein Endast, der N. laryngeus inferior, zieht durch den M. constrictor pharyngis inferior hindurch zu den inneren Kehlkopfmuskeln, die alle von ihm versorgt werden, und zur Schleimhaut der unteren Kehlkopfhälfte.

Die **Rr. cardiaci cervicales superiores** und **inferiores** variieren in Zahl und Abgang vom Vagusstamm. Die Herzäste entstammen mehrheitlich dem rechten N. vagus und verlaufen entlang der A. carotis communis, ziehen vor bzw. hinter dem Aortenbogen und strahlen in den oberflächlichen bzw. tiefen Plexus cardiacus ein.

Die **Elektrostimulation des N. vagus** als Palliativtherapie von Epilepsien wird immer am linken N. vagus vorgenommen, weil eine Reizung des rechten N. vagus mehr kardiale Nebenwirkungen zur Folge hätte.

Der **N. accessorius** (XI) (S. 684) zieht durch das Spatium lateropharyngeum und tritt im oberen Winkel des Trigonum caroticum in der Regel vor

der V. jugularis interna unter den M. sternocleidomastoideus, den er innerviert. Der Nerv zieht weiter durchs laterale Halsdreick zum M. trapezius.

Der N. accessorius innerviert neben dem M. sternocleidomastoideus auch Teile des M. trapezius. Daher ist die Abduktion des Arms bei einer **Schädigung des N. accessorius**, z. B. bei einer Operation im lateralen Halsdreieck, stark abgeschwächt.

Der **N. hypoglossus** (XII) (S. 684) zieht aus dem Spatium lateropharyngeum ins Trigonum caroticum. Im Dreieck überquert er im Bogen oberflächlich die A. carotis interna und externa und gelangt zwischen M. hyoglossus und M. mylohyoideus zur Zunge, deren Muskulatur er innerviert.

Die Radix superior der Ansa cervicalis profunda verlässt den N. hypoglossus hoch oben am Beginn des Hypoglossusbogens, der R. thyrohyoideus für den M. thyrohyoideus etwa in Bogenmitte. Die A. sternocleidomastoidea zieht über den Hypoglossusbogen zum gleichnamigen Muskel.

Der **Hypoglossusbogen** verläuft von den 3 zur Zunge ziehenden Nervenbögen am weitesten kaudal. Die beiden anderen, vom N. lingualis und vom N. glossopharyngeus gebildet, liegen in unterschiedlicher Tiefe im Unterkieferdreieck (Trigonum submandibulare).

Truncus sympathicus

Der Halsabschnitt des Truncus sympathicus liegt, eingebettet in das tiefe Blatt der Halsfaszie, auf M. longus capitis und M. longus colli. Das **Ganglion cervicale superius**, eine platte, spindelförmige, 2,5–3 cm lange Anschwellung, liegt vor den Querfortsätzen des 2. und 3. Halswirbels. Es ist das größte sympathische Halsganglion und entlässt den N. caroticus internus, den N. caroticus externus, den N. jugularis, Rr. laryngeopharyngei, den N. cardiacus cervicalis superior sowie Rr. communicantes grisei zu den 4 oberen zervikalen Spinalnerven.

Das **Ganglion cervicale medium**, häufig nur schwach ausgebildet und variabel in seiner Lage, ist meist in Höhe des 6. Halswirbels in enger Nachbarschaft zur A. thyroidea inferior zu finden. Aus dem Ganglion gehen Rr. communicantes grisei für den 5. und 6. Zervikalnerv, Rr. thyroidei für Schilddrüse und Nebenschilddrüsen und der N. cardiacus cervicalis medius hervor.

Das Ganglion kann fehlen, durch mehrere Kleinstganglien ersetzt sein oder mit dem unteren Ganglion verschmelzen.

Das **Ganglion cervicale inferius** ist meist mit dem 1. Brustganglion zum Ganglion cervicothoracicum (stellatum) verschmolzen. Das relativ große Ganglion (bis 2,8 cm Durchmesser) liegt vor dem Querfortsatz des 7. Halswirbels und vor dem Köpfchen der 1. Rippe. Das Ganglion gibt Rr. communicantes grisei für die Spinalnerven C 7–8 und Th 1 ab, außerdem den N. cardiacus cervicalis inferius, den N. vertebralis und die Ansa subclavia mit ihren Ästen.

16.4 Halsorgane

Hinter der Lamina pretrachealis liegen die Eingeweide des Halses, der Rachen (**Pharynx**), der in die Speiseröhre (**Oesophagus**) übergeht und der Kehlkopf (**Larynx**), der sich in die Luftröhre (**Trachea**) fortsetzt. Vor der Trachea und seitlich den Platten des Schildknorpels anliegend, befindet sich die Schilddrüse (**Glandula thyroidea**). An der Hinterseite der Schilddrüse liegen die 4 Nebenschilddrüsen (**Glandulae parathyroideae superiores** und **inferiores**).

16.4.1 Pharynx (Rachen, Schlund)

Der Rachen oder Schlund (Pharynx) ist einerseits Bestandteil des Speiseweges (Verbindung von Mundhöhle und Oesophagus), andererseits ein Abschnitt des Atemweges (Verbindung von Nasenhöhle und Kehlkopf). Beide Transportwege kreuzen sich im Pharynx.

Form und Lage des Pharynx

Der Pharynx ist ein schlauchförmiger Raum von 12–15 cm Länge, der sich von der Schädelbasis bis zum Beginn des Oesophagus in Höhe des Ringknorpels, also des 5.–6. Halswirbels erstreckt. Der Rachen ist über eine kräftige bindegewebige Membran, die Fascia pharyngobasilaris, an der Schädelbasis angeheftet. Die Befestigungslinie verläuft

der V. jugularis interna unter den M. sternocleidomastoideus, den er innerviert. Der Nerv zieht weiter durchs laterale Halsdreick zum M. trapezius.

Der N. accessorius innerviert neben dem M. sternocleidomastoideus auch Teile des M. trapezius. Daher ist die Abduktion des Arms bei einer **Schädigung des N. accessorius**, z. B. bei einer Operation im lateralen Halsdreieck, stark abgeschwächt.

Der **N. hypoglossus** (XII) (S. 684) zieht aus dem Spatium lateropharyngeum ins Trigonum caroticum. Im Dreieck überquert er im Bogen oberflächlich die A. carotis interna und externa und gelangt zwischen M. hyoglossus und M. mylohyoideus zur Zunge, deren Muskulatur er innerviert.

Die Radix superior der Ansa cervicalis profunda verlässt den N. hypoglossus hoch oben am Beginn des Hypoglossusbogens, der R. thyrohyoideus für den M. thyrohyoideus etwa in Bogenmitte. Die A. sternocleidomastoidea zieht über den Hypoglossusbogen zum gleichnamigen Muskel.

Der **Hypoglossusbogen** verläuft von den 3 zur Zunge ziehenden Nervenbögen am weitesten kaudal. Die beiden anderen, vom N. lingualis und vom N. glossopharyngeus gebildet, liegen in unterschiedlicher Tiefe im Unterkieferdreieck (Trigonum submandibulare).

Truncus sympathicus

Der Halsabschnitt des Truncus sympathicus liegt, eingebettet in das tiefe Blatt der Halsfaszie, auf M. longus capitis und M. longus colli. Das **Ganglion cervicale superius**, eine platte, spindelförmige, 2,5–3 cm lange Anschwellung, liegt vor den Querfortsätzen des 2. und 3. Halswirbels. Es ist das größte sympathische Halsganglion und entlässt den N. caroticus internus, den N. caroticus externus, den N. jugularis, Rr. laryngeopharyngei, den N. cardiacus cervicalis superior sowie Rr. communicantes grisei zu den 4 oberen zervikalen Spinalnerven.

Das **Ganglion cervicale medium**, häufig nur schwach ausgebildet und variabel in seiner Lage, ist meist in Höhe des 6. Halswirbels in enger Nachbarschaft zur A. thyroidea inferior zu finden. Aus dem Ganglion gehen Rr. communicantes grisei für den 5. und 6. Zervikalnerv, Rr. thyroidei für Schilddrüse und Nebenschilddrüsen und der N. cardiacus cervicalis medius hervor.

Das Ganglion kann fehlen, durch mehrere Kleinstganglien ersetzt sein oder mit dem unteren Ganglion verschmelzen.

Das **Ganglion cervicale inferius** ist meist mit dem 1. Brustganglion zum Ganglion cervicothoracicum (stellatum) verschmolzen. Das relativ große Ganglion (bis 2,8 cm Durchmesser) liegt vor dem Querfortsatz des 7. Halswirbels und vor dem Köpfchen der 1. Rippe. Das Ganglion gibt Rr. communicantes grisei für die Spinalnerven C 7–8 und Th 1 ab, außerdem den N. cardiacus cervicalis inferius, den N. vertebralis und die Ansa subclavia mit ihren Ästen.

16.4 Halsorgane

Hinter der Lamina pretrachealis liegen die Eingeweide des Halses, der Rachen (**Pharynx**), der in die Speiseröhre (**Oesophagus**) übergeht und der Kehlkopf (**Larynx**), der sich in die Luftröhre (**Trachea**) fortsetzt. Vor der Trachea und seitlich den Platten des Schildknorpels anliegend, befindet sich die Schilddrüse (**Glandula thyroidea**). An der Hinterseite der Schilddrüse liegen die 4 Nebenschilddrüsen (**Glandulae parathyroideae superiores** und **inferiores**).

16.4.1 Pharynx (Rachen, Schlund)

Der Rachen oder Schlund (Pharynx) ist einerseits Bestandteil des Speiseweges (Verbindung von Mundhöhle und Oesophagus), andererseits ein Abschnitt des Atemweges (Verbindung von Nasenhöhle und Kehlkopf). Beide Transportwege kreuzen sich im Pharynx.

Form und Lage des Pharynx

Der Pharynx ist ein schlauchförmiger Raum von 12–15 cm Länge, der sich von der Schädelbasis bis zum Beginn des Oesophagus in Höhe des Ringknorpels, also des 5.–6. Halswirbels erstreckt. Der Rachen ist über eine kräftige bindegewebige Membran, die Fascia pharyngobasilaris, an der Schädelbasis angeheftet. Die Befestigungslinie verläuft

vom Tuberculum pharyngis seitlich zur Apertura externa canalis caroticus, biegt von dort haarnadelförmig nach medial um und zieht anschließend nach vorn zur Lamina medialis des Processus pterygoideus. Die Seiten- und Hinterwand des fibromuskulösen Schlauchs sind geschlossen. In der Vorderwand liegen 3 Öffnungen, die den Pharynx mit der Nasenhöhle, der Mundhöhle und dem Kehlkopf verbinden.

Die **Pharynxwand** ist aus mehreren Schichten aufgebaut: Innen liegt die Schleimhaut (Tunica mucosa), unter der eine Tela submucosa und Tunica muscularis folgen. Nach außen schließt eine adventitielle Bindegewebsschicht (Adventitia pharyngis) die Pharynxwand ab. Eine Lamina muscularis mucosae ist in der Rachenschleimhaut nicht ausgebildet. Sie wird durch eine elastische Grenzmembran ersetzt.

Die Adventitia pharyngis ist eine dünne Fascie (Fascia buccopharyngea), die den muskulösen Pharynxschlauch außen bedeckt und ihn verschieblich mit seiner Umgebung verbindet. Die Fascie setzt sich in das den Pharynx seitlich und dorsal umgebende Bindegewebe fort. Der so gebildete Verschiebespalt wird als **Spatium peripharyngeum** bezeichnet und in 2 seitliche (rechtes und linkes Spatium lateropharyngeum) und einen dorsalen (Spatium retropharyngeum) Abschnitt unterteilt.

Pharynxabschnitte

Aufgrund der Verbindungen des Pharynx zu Nasenhöhle, Mundhöhle und Kehlkopf ergibt sich eine Gliederung in 3 Abschnitte (▶ **Abb. 16.9**):

- Das obere Stockwerk, die Pars nasalis pharyngis (**Epipharynx**, Nasopharynx) steht über die Choanen mit dem Meatus nasopharyngeus der Nasenhöhlen in Verbindung.
- Die mittlere Etage, die Pars oralis pharyngis (**Mesopharynx**, Oropharynx) ist über die Schlundenge (Isthmus faucium) von der Mundhöhle her zugänglich.
- Der untere Abschnitt, die Pars laryngea pharyngis (**Hypopharynx**, Laryngopharynx), ist nach ventral mit dem Aditus laryngis verbunden.

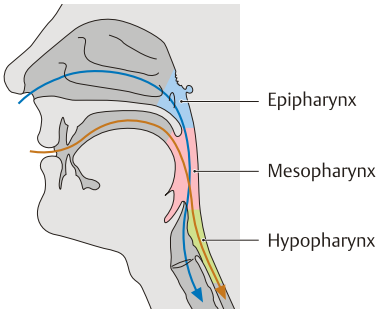


Abb. 16.9 Pharynxabschnitte. Luftweg (blau) und Speiseweg (braun) kreuzen sich im mittleren Abschnitt. (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **Epipharynx** reicht nach kranial bis an die Schädelbasis und wird vom Rachendach (**Fornix pharyngis**) abgeschlossen. In Höhe des weichen Gaumens geht dieser Abschnitt in den Mesopharynx über. Die in Längsfalten gelegte Schleimhaut des Pharynx ist an der Basis des Os occipitale, an der Felsenbeinspitze und am Keilbein fixiert. In die Schleimhaut ist lymphatisches Gewebe eingelagert, das in seiner Gesamtheit die unpaare Rachenmandel (**Tonsilla pharyngea**) bildet. Im Kindesalter ist die Tonsille stark ausgeprägt, entwickelt sich im Erwachsenenalter jedoch zurück.

Im Kindesalter kann die **Rachenmandel** stark vergrößert sein. Man bezeichnet diese Wucherungen als **adenoide Vegetation**. Die vergrößerte Tonsille kann die Choanen, gelegentlich auch die Ohrtrompete, vollständig verlegen, was zur Beeinträchtigung der Atmung, zu Schwerhörigkeit und zu Schlafstörungen führt. Diese Kinder erkranken häufig an Katarrhen und Mittelohrentzündungen. Als weitere Folgen können Gesichtsschädeldeformationen (bedingt durch die ständige Mundatmung) entstehen. Die Übermüdung und Schwerhörigkeit kann zu mangelnder Konzentration in der Schule führen.

In der Seitenwand des Epipharynx, etwa in Höhe des unteren Nasengangs, liegt die Öffnung der Ohrtrompete (**Ostium pharyngeum tubae auditivae**). Die Ohrtrompete (**Tuba auditiva**, Eustachische Röhre) verbindet die Paukenhöhle des Mittelohrs mit dem Rachenraum. Die Mündungsstelle dieser Röhre wird im oberen Umfang vom bogenförmigen Toruswulst (**Torus tubarius**) eingefasst, der vom freien Rand des Tubenknorpels aufgeworfen wird. Den unteren Umfang der Tubenmündung bildet der Levatorwulst, hervorgerufen vom M. levator veli palatini. Von der Tubenöffnung laufen 2 Schleimhautfalten nach abwärts. Die hintere, die

Plica salpingopharyngea (▶ **Abb. 16.10**[23]), vom M. salpingopharyngeus aufgeworfen, verstreicht in der seitlichen Pharynxwand. Die schwächere **Plica salpingopalatina** strahlt ins Gaumensegel ein. Hinter dem Torus tubarius liegt eine Ausbuchtung, der Recessus pharyngeus (Rosenmüller-Grube), der sich bis zum Rachendach erstreckt.

Die Schleimhaut um die Tubenöffnung enthält lymphatisches Gewebe, die **Tonsilla tubaria**. Das lymphatische Gewebe kann sich strangförmig auf die seitliche Rachenwand nach abwärts ausdehnen und die „Seitenstränge" bilden.

Der **Mesopharynx** wird oben vom Gaumensegel und unten von der Spitze der Epiglottis begrenzt. Dieser Abschnitt ist über den Isthmus faucium (▶ **Abb. 16.10**[20]) einer unmittelbaren Betrachtung und Untersuchung zugänglich.

In den **Hypopharynx** wölbt sich der Kehlkopfeingang vor. Dadurch wird das Lumen des Pharynx eingeengt. Zu beiden Seiten des Kehlkopfs verläuft eine Rinne (**Recessus piriformis,** (▶ **Abb. 16.10**[16]), in der die Speise vom Zungengrund in den Oesophagus gleitet. Die Schleimhaut des Recessus piriformis weist eine zarte Längsfalte auf, die Plica n. laryngei, verursacht vom R. internus des N. laryngeus superior.

Der N. laryngeus superior führt die afferenten Fasern des Hustenreflexes. Im Recessus piriformis können verschluckte Fremdkörper stecken bleiben. Spitze Körper können den N. laryngeus superior verletzen.

Der Rachen als Eingangspforte für Nahrung und Luft wird von einem Vorposten des Immunsystems umgeben, der nicht nur der Abwehr, sondern auch der rechtzeitigen Vorwarnung vor aufgenommenen Erregern dient. Dieses lymphatische Gewebe bildet in seiner Gesamtheit den **lymphatischen Rachenring** (Waldeyer-Rachenring). Dieser besteht aus:

- Rachenmandel (**Tonsilla pharyngea**) am Rachendach,
- paarige Tubenmandeln (**Tonsillae tubariae**) um die Öffnung der Tuba auditiva,
- paarige Gaumenmandeln (**Tonsillae palatinae**),
- Zungenmandel (**Tonsilla lingualis**) am Zungengrund.

Aufbau der Pharynxmuskulatur (▶ Abb. 16.10 rechts)

Die Pharynxmuskulatur ist quergestreift und geht aus dem 3.–6. Schlundbogen hervor. Sie setzt sich aus 3 Schlundschnürern und aus 3 eher schwach entwickelten Schlundhebern[10] zusammen.

Die **Schlundschnürer** (Mm. constrictores pharyngis) entspringen ventral an Abschnitten des Schädels, des Zungenbeins und des Kehlkopfs und setzen dorsal an der Raphe pharyngis, einem besonders im kranialen Pharynxabschnitt ausgeprägten Sehnenstrang, an. Die flächig angeordneten Faserbündel der 3 Schlundschnürer umfangen den Rachenraum von der Seite und dorsal und überlappen sich dabei dachziegelartig.

Der **M. constrictor pharyngis superior**[6] entspringt in 4 Teilen:

- Pars pterygopharyngea von der Lamina medialis des Processus pterygoideus und vom Hamulus pterygoideus,
- Pars buccopharyngea von der Raphe pterygomandibularis,
- Pars mylopharyngea von der Linea mylohyoidea mandibulae,
- Pars glossopharyngea von der Zungenwurzel (Radix linguae).

Die Fasern des Muskels ziehen nach dorsokranial und inserieren in der Raphe pharyngis. Die Fascia pharyngobasilaris setzt den M. constrictor pharyngis superior nach kranial fort und befestigt den Pharynx an der Schädelbasis.

Der **M. constrictor pharyngis medius**[11] besteht aus 2 Anteilen, der Pars chondropharyngea mit Ursprung am kleinen Zungenbeinhorn und der Pars ceratopharyngea mit Ursprung am großen Zungenbeinhorn. Der Muskel bedeckt den unteren Abschnitt des M. constrictor pharyngis superior.

Der **M. constrictor pharyngis inferior** hat den steilsten Faserverlauf und überlappt den M. constrictor pharyngis medius. Der Muskel entspringt mit seiner Pars thyropharyngea vom Schildknorpel und mit der Pars cricopharyngea vom Ringknorpel des Kehlkopfs. Die Pars cricopharyngea kann weiter in eine Pars obliqua und eine Pars fundiformis unterteilt werden. Diese beiden Muskelanteile schließen das muskelschwache Killian-Dreieck ein. Die kaudalen Muskelfasern der Pars fundiformis biegen V-förmig nach unten um und begrenzen das Laimer-Dreieck des Oesophagus.

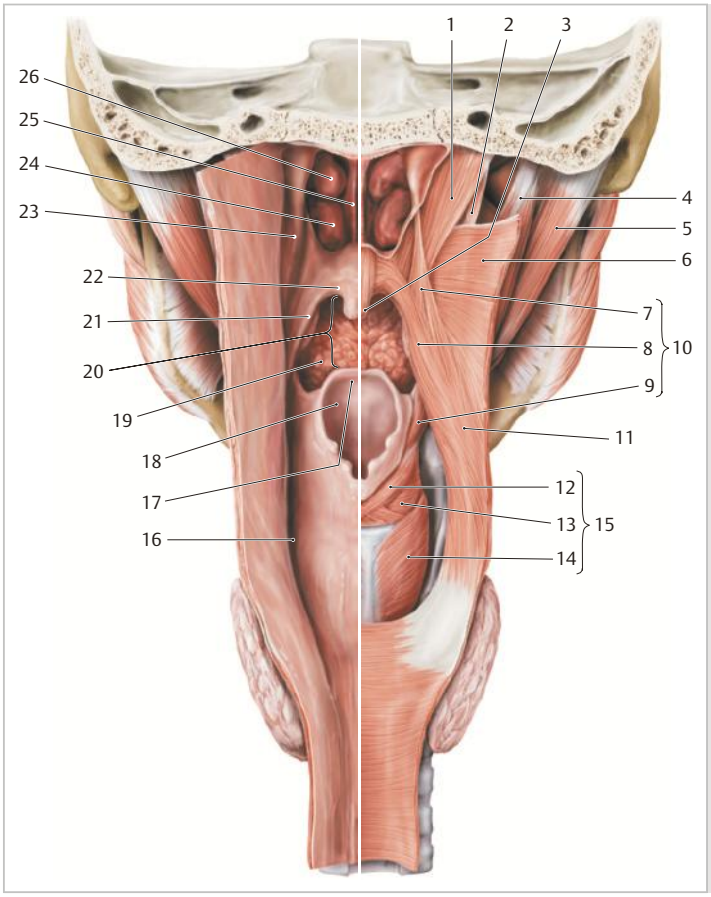


Abb. 16.10 Schleimhautrelief (linke Hälfte) und **Muskulatur** (rechte Hälfte) des Pharynx.
1 M. levator veli palatini
2 M. tensor veli palatini
3 M. uvulae
4 M. stylohyoideus
5 M. digastricus
6 M. constrictor pharyngis superior
7 M. salpingopharyngeus
8 M. palatopharyngeus
9 M. stylopharyngeus
10 Schlundheber
11 M. constrictor pharyngis medius
12 M. arytaenoideus obliquus
13 M. arytaenoideus transversus
14 M. cricoarytaenoideus posterior
15 Kehlkopfmuskeln
16 Recessus piriformis
17 Epiglottis
18 Aditus laryngis
19 Radix linguae
20 Isthmus faucium
21 Arcus palatopharyngeus
22 Velum palatinum
23 Plica salpingopharyngea
24 Concha nasalis inferior
25 Septum nasi
26 Concha nasalis media
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Im muskelschwachen **Killian-Dreieck** kann sich die Schleimhaut oberhalb der Pars fundiformis des M. constrictor pharyngis inferior ausstülpen. Als Folge kann ein **Zenker-Divertikel**, eine Aussackung der Schleimhaut, in der sich Speisereste ansammeln können, entstehen. Diese Divertikel können eine beträchtliche Größe erreichen und können den Oesophagus komprimieren.

Die 3 **Schlundheber**[10] (Mm. levatores pharyngis) sind M. palatopharyngeus, M. stylopharyngeus und M. salpingopharyngeus. Als dünne Muskelfaserbündel entspringen diese Muskeln von der Schädelbasis bzw. der Tuba auditiva und strahlen von der Seite in den Pharynx ein.

Der **M. palatopharyngeus**[8] entspringt an der Gaumenaponeurose und am Hamulus pterygoideus. Das Faserbündel verläuft auf der Innenseite der Schlundschnürer zum hinteren Rand des Schildknorpels. Der M. palatopharyngeus bildet die muskulöse Grundlage des hinteren Gaumenbogens (Arcus palatopharyngeus).

Der **M. salpingopharyngeus**[7] zieht als schwaches Muskelbündel vom freien Ende des Tubenknorpels unter Aufwerfung der Plica salpingopharyngea zur seitlichen Rachenwand.

Der **M. stylopharyngeus**[9] nimmt seinen Ursprung vom Processus styloideus und zieht von lateral kommend zwischen oberen und mittleren Schlundschürer in die Rachenwand. Ein Teil der Fasern inseriert gemeinsam mit Fasern des M. palatopharyngeus am Schildknorpel.

Funktion der Pharynxmuskulatur

Die Kontraktion der Schlundschnürer verkleinert das Lumen des Rachens. Der obere Schlundschnürer wölbt sich dabei als sog. Passavant-Wulst dem Gaumensegel entgegen, was zum Abschluss der Nasenhöhle beiträgt. Die schräg nach oben steigenden Fasern insbesondere des mittleren und des unteren Schlundschnürers bewirken eine gleichzeitige Verkürzung des Pharynx, wobei Zungenbein und Kehlkopf angehoben werden. Die schwach ausgebildeten Schlundheber verkürzen den Pharynx.

Schluckakt. Im Rachen kreuzen sich Speiseweg und Luftweg. Durch diese Überkreuzung besteht die Gefahr des Verschluckens. Speiseteile können in die Atemwege gelangen – sowohl in die Nasenhöhle als auch in den Kehlkopf. Um dies zu verhindern, werden die Atemwege beim Schlucken reflektorisch abgesichert. Dazu wird der Epipharynx gegen den Speiseweg abgedichtet und der Kehlkopfeingang verschlossen.

Beim Neugeborenen reicht die Epiglottis noch bis zum Gaumen hinauf. So kann das Neugeborene gleichzeitig atmen und trinken.

Der Schluckakt lässt sich in 3 Phasen gliedern, nämlich in die willkürlich einleitbare Vorbereitungsphase, in den rasch ablaufenden eigentlichen Schluckvorgang und in die Transportphase durch den Oesophagus.

In der **Vorbereitungsphase** wird die durch Zerkauen und Einspeichelung zu einem Bissen (Bolus) geformte Speise mit der Zunge gegen den Gaumen nach hinten gedrängt. Berührt der Bissen die Rezeptoren der Gaumenschleimhaut, löst dies den Schluckreflex aus. Gleichzeitig werden die Atemwege reflektorisch gesichert.

Beim reflektorisch ablaufenden **Schluckvorgang** wird der Abschluss des Epipharynx durch das Anheben und Verspannen des Gaumensegels (Kontraktion von M. tensor veli palatini und M. levator veli palatini) gewährleistet. Die Kontraktion des M. constrictor pharyngis superior, der sich zum Passavant-Ringwulst vorbuckelt, vervollständigt die Abdichtung des Epipharynx. Bei der Kontraktion des Gaumensegels öffnet sich gleichzeitig die Tuba auditiva, was zur Belüftung des Mittelohrs führt.

Durch die Kontraktion der Mundbodenmuskulatur (M. mylohyoideus, M. geniohyoideus, vorderer Bauch des M. digastricus) und des M. thyrohyoideus wird der Kehlkopf nach oben und vorn unter den Zungengrund gezogen, wodurch die Epiglottis passiv über den Kehlkopfeingang gedrückt wird (Zungengrund-Kehldeckel-Mechanismus). Zugleich drückt bei der Rückführung des Zungengrundes ein vor und neben dem Kehldeckel liegender Fettkörper (Corpus adiposum preepiglotticum) auf den Kehldeckel (Fettkörper-Kehldeckel-Mechanismus). Beide Mechanismen führen dazu, dass die Epiglottis auf den Kehlkopfeingang gepresst und dieser verschlossen wird. Der Schluckakt ist in der Regel von einem reflektorischen Atemstillstand begleitet.

Die Kontraktion von M. aryepiglotticus und M. thyroepiglotticus soll den Verschluss des Kehlkopfeingangs aktiv unterstützen.

Der **Transport** des Bissens durch Pharynx und Oesophagus wird ebenfalls durch verschiedene Mechanismen gesteuert. Die Zunge drückt durch ihre Verlagerung nach dorsal, gezogen von M. styloglossus und M. hyoglossus, den Bissen wie ein Spritzenstempel durch den Isthmus faucium in den Rachen. Der Pharynx, dessen Lumen einen quergestellten Spalt bildet, entfaltet sich beim Heben des Kehlkopfs. Der Bissen gleitet zum großen Teil durch den Recessus piriformis, teils auch über den Kehldeckel hinweg. Die Schlundschnürer kontrahieren sich in kraniokaudaler Richtung und befördern so den Bissen in den Oesophagus. Feste Nahrung wird durch fortlaufende Kontraktionswellen des Oesophagus in den Magen befördert. Der Transport von Flüssigkeiten kann bei aufrechter Körperhaltung allein durch eine ruckartige, kräftige Kontraktion des Mundbodens und des oberen Schlundschnürers als „Spritzschluck“ ablaufen.

Der lebenswichtige Schluckreflex ist auch im Schlaf und bei Bewusstlosigkeit erhalten. Wie die Innervation der zahlreichen am Schluckakt beteiligten Muskeln zeigt, ist der Schluckakt über verschiedene Hirnnerven und Nerven des Plexus cervicalis abgesichert. Die Afferenzen und Efferenzen des Schluckreflexes werden im Schluckzentrum in der Medulla oblongata koordiniert.



Bei **Lähmung des weichen Gaumens**, z. B. als Folge einer Diphtherie, können Speiseteile in die Nasenhöhle gelangen.

Bei angeborenen **Gaumenspalten** ist ein dichter Abschluss zwischen Nasen- und Mundhöhle bzw. eine Trennung von Atem- und Speiseweg nicht oder nur unvollständig möglich, was das Trinken bei Neugeborenen stört.

Gefäße und Nerven des Pharynx

Arterien. Der Pharynx wird hauptsächlich über die **A. pharyngea ascendens** aus der A. carotis externa mit Blut versorgt. Sie zieht medial vom Gefäß-Nerven-Strang am Rachen aufwärts bis zur Schädelbasis. Ihr Endast, die A. meningea posterior, tritt meist durch das Foramen jugulare in die hintere Schädelgrube ein. Zusätzlich wird der Rachen aus der **A. palatina ascendens** (Ast der A. facialis) sowie aus A. thyroidea superior und inferior versorgt.

Das **Venengeflecht**, das die Pharynxwand umgibt (**Plexus venosus pharyngeus**), hat mehrere Abflüsse in die V. jugularis interna sowie Verbindungen mit dem Plexus venosus pterygoideus und mit den Vv. meningeae.

Der **Lymphabfluss** aus dem Pharynx und aus der Tonsilla pharyngea verläuft über retropharyngeale Lymphknoten (Level VI nach Robbins), die die Lymphe zu tiefen seitlichen Halslymphknoten weiterleiten (Nodi lymphoidei cervicales profundi superiores, Level II nach Robbins).

Nerven. Der Pharynx wird von **N. glossopharyngeus**, **N. vagus** und vom **Truncus sympathicus** innerviert. Die Nerven bilden an der Außenseite der Pharynxwand den Plexus pharyngeus, dessen motorische Fasern zur Pharynxmuskulatur, die sensorischen und viszeromotorischen Fasern zur Schleimhaut ziehen.

16.4.2 Larynx (Kehlkopf)

Der **Kehlkopf** (**Larynx**, ▶ **Abb. 16.11**) ist ein kompliziert aufgebautes Organ, das am Anfang der unteren Luftwege liegt. Sein Aufbau spiegelt wichtige Funktionen wider.

Im Kehlkopf ist ein komplex gestalteter **Stimmapparat** eingebaut, der im engen Zusammenspiel mit dem „Ansatzrohr" (Pharynx, Nasen- und Mundhöhle) für die Artikulierung stimmhafter Sprache, gesprochen wie gesungen, notwendig ist.

Der Kehlkopf ist auch am **Schluckakt** beteiligt. Im Rachen wird mit dem Kehlkopf die „Weiche" für den Weg der Speise aus der Mundhöhle in den Oesophagus gestellt und der Eingang in den Kehlkopf dabei verschlossen.

Der Kehlkopf dient als Pförtner der unteren Luftwege. Eingedrungene Fremdkörper oder in den unteren Atemwegen gebildeter Schleim können durch einen **Hustenstoß**, d. h. durch kurzen Verschluss des Atemwegs mit anschließender stoßartiger Ausatmung, entfernt werden.

Eine wichtige Voraussetzung für die Steigerung des Binnendrucks im Bauchraum zur **Bauchpresse**, z. B. bei Defäkation oder bei der Geburt, ist der Verschluss der unteren Atemwege, der durch einen Verschluss der Stimmritze im Kehlkopf erreicht wird.

Form und Lage des Kehlkopfs

Verankerung und Beweglichkeit des Kehlkopfs

Der Kehlkopf ist im Hals durch Bänder und Muskeln zwischen Zungenbein und Trachea lageverschieblich aufgehängt. Am Zungenbein ist der Kehlkopf über die Membrana thyrohyoidea fixiert. Durch die Verbindung über das Lig. cricotracheale ist der Kehlkopf dem Zug der Trachea ausgesetzt, die ihn nach unten zieht. Dieses Aufhängesystem ermöglicht eine starke **Verschieblichkeit** in vertikaler Richtung um 2–3 cm. Der Kehlkopf folgt so allen Kopf- und Halsbewegungen in kraniokaudaler Richtung, aber auch Bewegungen zur Seite durch laterale Verschiebungen vor der Halswirbelsäule. Die unteren und oberen Zungenbeinmuskeln können den Kehlkopf aktiv heben und senken bzw. ihn in seiner Lage fixieren. Diese Beweglichkeit ist eine entscheidende Voraussetzung für die Sprachbildung und das Singen, da so das Ansatzrohr (Meso- und Hypopharynx) in Länge und Form und damit seine Resonanzeigenschaften verändert werden können. Beim Heben des Kopfs und bei Streckung der Halswirbelsäule wird der Kehlkopf bis um eine Wirbelhöhe angehoben, beim Senken des Kopfs und Beugung der Halswirblsäule taucht die Untergrenze des Kehlkopfs in die obere Thoraxapertur ein.

Die Lage des Kehlkopfs in Bezug auf die Wirbelsäule verändert sich im Laufe des Lebens. Während beim Säugling der Schildknorpeloberrand noch in Höhe des 2. Halswirbels liegt, projiziert er sich beim Erwachsenen auf den 4. Halswirbel und sinkt im Alter noch weiter ab. Die hohe Lage des Kehlkopfs beim Säugling ermöglicht gleichzeitiges Saugen

und Atmen. Die tiefe Lage im Alter kann häufiges Verschlucken zur Folge haben.

Aufbau des Kehlkopfs

Die **Vorderseite** des Kehlkopfs ist gegen das mittlere Blatt der Halsfaszie und die untere Zungenbeinmuskulatur gerichtet und wird zum größten Teil vom **Schildknorpel** (Cartilago thyroidea; ▶ **Abb. 16.11**[9]) gebildet, der wie ein Schiffsbug nach vorn ragt. In der Medianebene „durchstößt" der „Schildknorpelbug" die Lücke zwischen den infrahyoidalen Muskeln beider Seiten. Ein Einschnitt an der Oberkante des Bugs, die Incisura thyroidea superior, ist durch die Haut tastbar. Der Unterrand des Schildknorpels ist über das elastische Lig. cricothyroideum medianum mit der Knorpelspange des Ringknorpels verbunden. Vorn und seitlich berührt die Schilddrüse mit ihren oberen Teilen den Kehlkopf.

Der Kehlkopf ragt mit seiner **Rückseite**, welche von Schleimhaut überzogen ist, und mit dem Kehlkopfeingang in den Hypopharynx hinein und wird hauptsächlich von der Lamina cricoidea und von den Stellknorpeln, die gelenkig mit der Ringknorpelplatte verbunden sind, gebildet.

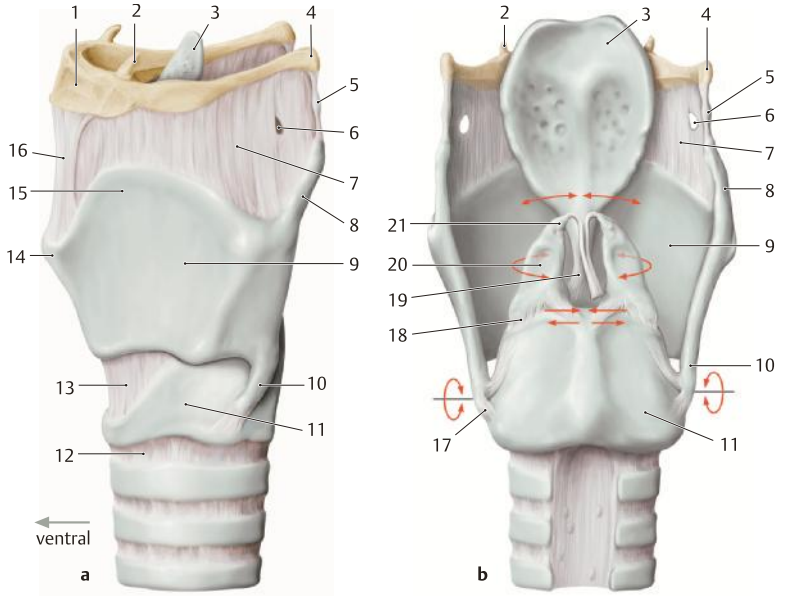


Abb. 16.11 Kehlkopf. a Gesamtansicht von links ventral. **b** Ansicht von dorsal, die Pfeile kennzeichnen die Bewegungsrichtungen in den einzelnen Gelenken.

1 Corpus ossis hyoidei
2 Cornu minus ossis hyoidei
3 Epiglottis
4 Cornu majus ossis hyoidei
5 Lig. thyrohyoideum laterale
6 Durchtrittsstelle der A. laryngea superior und des R. internus des N. laryngeus superior
7 Membrana thyrohyoidea
8 Cornu superius
9 Cartilago thyroidea (Schildknorpel)
10 Cornu inferius
11 Cartilago cricoidea (Ringknorpel)
12 Lig. cricotracheale
13 Lig. cricothyroideum medianum
14 Prominentia laryngea
15 Lamina sinistra cartilaginis thyroideae
16 Lig. thyrohyoideum medianum
17 Articulatio cricothyroidea
18 Articulatio cricoarytaenoidea mit Lig. cricoarytaenoideum
19 Lig. thyroepiglotticum
20 Cartilago arytaenoidea (Stellknorpel)
21 Cartilago corniculata

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **Kehlkopfeingang** (Aditus laryngis) wird vorn umrahmt vom Kehldeckel (**Epiglottis**, ▶ **Abb. 16.11**[3]) und den sich seitlich anschließenden, nach hinten steil abfallenden Schleimhautfalten (**Plicae aryepiglotticae**). Rechte und linke Falte vereinigen sich in der Mitte unter Bildung einer spaltartigen Vertiefung (Incisura interarytaenoidea).

Nahe ihrem **hinteren Ende** werden beide Schleimhautfalten von kleinen Knorpeln ausgesteift, die in der Schleimhaut Höckerchen hervorrufen. Das Tuberculum corniculatum (hervorgerufen durch die Cartilago corniculata, auch Cartilago Santorini) liegt nahe der Medianlinie, das Tuberculum cuneiforme (Grundlage ist die Cartilago cuneiforme, auch Cartilago Wrisbergi) liegt lateraler und etwas höher.

Vom Oberrand der Epiglottis aus, die von hinten das Zungenbein überragt, ziehen eine mediane und 2 laterale Schleimhautfalten, Plicae glossoepiglotticae mediana und laterales, zum Zungengrund. Die 3 Falten begrenzen 2 seichte Gruben (Valleculae epiglotticae).

Der Recessus piriformis schiebt sich als Schleimhautrinne von hinten zwischen das hintere Ende der Schildknorpelplatte (lateral) und den Stellknorpel (medial). Unter der Schleimhaut des Recessus piriformis verläuft der R. internus des N. laryngeus superior.

Innenrelief des Kehlkopfs und Stimmritze

Der **Innenraum** des Kehlkopfs, die Cavitas laryngis, wird durch 2 jeweils paarige, von der Seite ins Lumen vorspringende Schleimhautfalten in eine obere, mittlere und untere Etage gegliedert: Oben sind dies die Taschenfalten, unten die Stimmfalten.

Die Taschenfalten (**Plicae vestibulares**) überziehen den unteren freien Rand einer elastischen Bindegewebsplatte (Membrana quadrangularis). Die Stimmfalten (**Plicae vocales**) ragen weiter ins Lumen vor als die Taschenfalten. Unter dem hinteren, kürzeren Abschnitt der Stimmfalten liegt der Processus vocalis, im vorderen Teil liegen das elastische Stimmband und der M. vocalis. Die von den Stimmfalten begrenzte Stimmritze (**Rima glottidis**) wird deswegen in eine hintere **Pars intercartilaginea** und eine vordere **Pars intermembranacea** unterteilt.

In der Klinik werden die Begriffe „Stimmlippe“ und „Stimmband“ häufig synonym für „Stimmfalte“ verwendet.

Die Form der **Stimmritze** wechselt je nach Art der Atmung oder der Stimmbildung. Beim Mann ist sie 2–2,4 cm lang und bei ruhiger Atmung 0,5 cm, bei heftiger Atmung bis zu 1,4 cm weit. Bei der Frau und beim Kind ist die Stimmritze kleiner. Die Größe des Kehlkopfs und die davon abhängige Stimmhöhe zählen zu den sekundären Geschlechtsmerkmalen und erfahren ihre typische Ausprägung in der Pubertät.



Mit einer Kehlkopfspiegelung (**indirekte Laryngoskopie**) kann der Arzt die Epiglottis, das Vestibulum laryngis, die Plicae vestibulares (lateral, rot) und die Plicae vocales (medial, blass, weiß), sowie die hintere Begrenzung des Aditus laryngis (Plicae aryepiglotticae mit Tuberculum corniculatum und Tuberculum cuneiforme) untersuchen und mögliche krankhafte Veränderungen feststellen.

Etagengliederung des Kehlkopfs

Die obere Etage des Kehlkopfs (**Vestibulum laryngis**) reicht vom Kehlkopfeingang (Aditus laryngis) bis zu den Taschenfalten (Plicae vestibulares). In der Vorderwand des Vorhofs liegt der Epiglottisknorpel, der Epiglottisstiel (Petiolus) wirft ein Höckerchen auf (Tuberculum epiglotticum).

Die mittlere Etage (**Ventriculus laryngis**) liegt beidseits zwischen den Taschenfalten und den Stimmfalten. Die seitliche Ausbuchtung endet mit einer nach oben gerichteten blindsackartigen Ausstülpung (Sacculus laryngis).

Die untere Etage, der Raum unterhalb der Stimmfalten, ist zur **Cavitas infraglottica** verbreitert, die sich am Unterrand des Ringknorpels in die Trachea fortsetzt.

Feinbau und Funktion

Der Kehlkopf besitzt als Grundlage ein Knorpelgerüst. Die einzelnen Knorpel werden über Gelenke, Bänder und Membranen zusammengehalten und können von Muskeln gegeneinander bewegt werden. Das Knorpelskelett und die Muskulatur sind auf der Dorsalseite und im Kehlkopfinnenraum von Schleimhaut überzogen.

Kehlkopfskelett (▶ Abb. 16.11)

Basis des **Kehlkopfskeletts** ist der Ringknorpel[11]. Er ist beidseits mit dem Schildknorpel[9] verbunden und trägt die beiden Stellknorpel[20]. An der Innenseite des Schildknorpels ist der Kehldeckel bindegewebig befestigt. Das Knorpelgerüst ist aus hyalinem Knorpel aufgebaut. Aus elastischem Knorpel bestehen dagegen der Kehldeckel, der Stimmfortsatz der Stellknorpel sowie die kleinen Knorpel in der Plica aryepiglottica (Cartilago corniculata, Cartilago cuneiforme) und im Lig. thyrohyoideum laterale (Cartilago triticea).

Die hyalinen Kehlkopfknorpel verknöchern ab dem 2. Lebensjahrzehnt. Die Ossifikation beginnt gleichzeitig im Schild- und Ringknorpel, zeitverzögert setzt die Verknöcherung der Stellknorpel ein. Bei der Frau beginnt die Ossifikation später als beim Mann und schreitet langsamer voran.

Der **Ringknorpel** (**Cartilago cricoidea**[11]) ähnelt in seiner Form einem Siegelring. Die Spange des Rings (**Arcus cricoideus**) weist nach vorn abwärts, die 2–2,5 cm hohe Platte (**Lamina cricoidea**) ist nach hinten gerichtet. Am Übergang der Platte in die Spange liegt rechts und links je eine runde Gelenkfläche (**Facies articularis thyroidea**) für die Unterhörner des Schildknorpels. Die Oberkante der Ringknorpelplatte trägt beidseits je eine ovale Gelenkfläche (**Facies articularis arytaenoidea**) für die Stellknorpel.

Der **Schildknorpel** (**Cartilago thyroidea**[9]) liegt wie ein Schutzschild vor dem Stimmapparat. Seitlich schirmt er noch den Gefäß-Nerven-Strang ab. Der Knorpel besteht aus 2 viereckigen Platten (**Lamina dextra** und **sinistra**). Diese beiden Platten sind leicht nach außen geneigt und vereinigen sich ventral in einem Winkel, der beim Mann nahezu rechtwinklig ist und mit seinem oberen Ende die Haut des Halses vorwölbt (Prominentia laryngea[14]). Bei der Frau schließen beide Platten einen stumpfen Winkel von etwa 120° ein. Der Oberrand ist in der Mittellinie zur **Incisura thyroidea superior** vertieft, der Unterrand ist durch die flache **Incisura thyroidea inferior** eingekerbt. Der hintere Rand der Platten ist nach oben zum langen oberen Horn (**Cornu superius**[8]) und nach unten zum kürzeren **Cornu inferius**[10], ausgezogen. Über die unteren Hörner ist der Schildknorpel gelenkig mit dem Ringknorpel verbunden. Das obere Horn steht über das Lig. thyrohyoideum laterale[5], einem Verstärkungszug der Membrana thyrohyoidea[7], mit dem hinteren Ende des großen Zungenbeinhorns in Verbindung.

Die Außenfläche jeder Platte wird durch eine von hinten oben nach vorn unten schräg verlaufende Leiste (**Linea obliqua**) in 2 Abschnitte untergliedert. Oberhalb der Leiste entspringt der M. thyrohyoideus, unterhalb inseriert der M. sternothyroideus. Vom unteren Abschnitt entspringt die Pars thyropharyngea des M. constrictor pharyngis inferior. Die Leiste ist am Anfang und Ende durch je ein Höckerchen verstärkt (Tuberculum thyroideum superius und inferius).

Die paarigen pyramidenförmigen **Stellknorpel** (**Cartilago arytaenoidea**[20]) besitzen 3 Flächen, eine Facies medialis, Facies dorsalis und Facies anterolateralis. Von der **Basis**, welche die Gelenkfläche für den Ringknorpel trägt, gehen 2 Fortsätze aus. Der aus elastischem Knorpel bestehende **Processus vocalis** zeigt nach vorn. Hier ist das Stimmband befestigt. An dem nach dorsolateral entspringenden **Processus muscularis** setzen innere Kehlkopfmuskeln an. Die Spitze (**Apex**) ist nach dorsal gebogen. Ihr sitzt der Hörnchenknorpel auf (Cartilago corniculata Santorini[21]).

Der **Kehldeckel** (**Epiglottis**[3]) ähnelt in seiner Form einem Fahrradsattel. Die Spitze des Knorpels (**Petiolus epiglottidis**) ist über das Lig. thyroepiglotticum[19] an der Innenseite des Schildknorpels befestigt. Der frei in den Pharynx ragende Teil ist leicht gewölbt und von Löchern (eingelagerte Drüsen) durchsetzt.

Neben diesen großen Knorpeln ergänzen kleine elastische Knorpelstückchen das Kehlkopfskelett. Auf der Spitze der Stellknorpel sitzen die bereits erwähnten Hörnchenknorpel (Cartilago corniculata). Seitlich davon liegen in der Plica aryepiglottica die Keilknorpel (Cartilago cuneiforme Wrisbergi). In das Lig. thyrohyoideum laterale ist der Weizenkornknorpel (Cartilago triticea) eingebaut.

Kehlkopfgelenke (Abb. ▶ Abb. 16.11)

Gelenke sind zwischen Schild- und Ringknorpel sowie zwischen den Stellknorpeln und dem Ringknorpel ausgebildet. Bewegungen in diesen Gelenken beeinflussen die Weite der Stimmritze bzw. die Lage und Spannung der Stimmbänder.

Articulatio cricothyroidea[17]. Die unteren Hörner des Schildknorpels sind mit dem Ringknorpel gelenkig verbunden. Die Gelenke beider Seiten sind funktionell als ein gemeinsames Scharniergelenk aufzufassen, in welchem Kippbewegungen um eine quere Achse ausgeführt werden (in der Regel wird der Ringknorpel gegen den feststehen-

den Schildknorpel bewegt). Durch diese Bewegungen kann der Abstand zwischen der Innenseite des Schildknorpels und den auf dem Ringknorpel gelenkig befestigten Stellknorpeln vergrößert oder verkleinert werden, was zur Veränderung der Spannung der Stimmbänder führt.

Articulatio cricoarytaenoidea[18]. Bei den paarig zwischen Stell- und Ringknorpel ausgebildeten Gelenken handelt es sich um modifizierte Scharniergelenke. Die für Scharniergelenke charakteristischen Kollateralbänder fehlen. Die Basis der Stellknorpel ist gelenkig mit der Ringknorpelplatte verbunden. Die Gelenkachse verläuft von dorsal medial kranial schräg nach ventral lateral kaudal. Im Gelenk sind Schwenkbewegungen um diese schräge Achse bzw. Gleitbewegungen parallel zu ihr möglich. Durch die Schwenkbewegungen beider Stellknorpel werden die Processus vocales angehoben und voneinander entfernt bzw. gesenkt und einander angenähert (Öffnen bzw. Schließen der Pars intermembranacea). Die Gleitbewegungen führen zur Annäherung oder Entfernung der beiden Stellknorpel und somit auch der Processus vocales (Eng- bzw. Weitstellung der Pars intercartilaginea der Stimmritze). Die lockere Gelenkkapsel ermöglicht außerdem geringe Drehbewegungen um die Längsachse, die gleichfalls den Abstand zwischen den Stimmfortsätzen beeinflussen können.

Kehlkopfbänder (▶ Abb. 16.11)

Man unterscheidet innere und äußere Kehlkopfbänder. Die inneren Bänder verbinden die Kehlkopfknorpel untereinander. Die äußeren Bänder befestigen den Kehlkopf am Zungenbein und an der Trachea.

Innere Kehlkopfbänder. Als **Membrana fibroelastica laryngis** bezeichnet man die in der Lamina propria der Kehlkopfschleimhaut gelegene Membran aus dichten elastischen Fasernetzen. Sie ist in den 3 Kehlkopfetagen unterschiedlich stark ausgeprägt.

Der **Conus elasticus**, der Membrananteil im Bereich der Cavitas infraglottica, beginnt an der Innenfläche des Ringknorpels als Fortsetzung des elastischen Faserschlauchs der Trachealwand. Innerhalb des Ringknorpels verjüngt sich der Schlauch zum Spalt der Stimmritze. Die oberen verdickten Enden des Conus elasticus unterlagern als Stimmbänder (**Ligg. vocalia**) die Schleimhaut der Plicae vocales. Die Stimmbänder sind hinten an den Processus vocales der beiden Stellknorpel und vorn an der Innenseite der Schildknorpelplatten nahe der Mittellinie angeheftet. Der Conus elasticus bildet mit den beiden Ligg. vocalia die elastische Wand der tonerzeugenden „Lippenpfeife“ im Kehlkopf.

Das **Lig. cricothyroideum medianum**[13] ist ein Verstärkungszug des Conus elasticus, der sich zwischen dem Ringknorpel und dem Unterrand des Schildknorpels ausspannt.



Bei einem lebensbedrohlichem **Verschluss der Stimmritze**, z. B. durch eine Schleimhautschwellung (Glottisödem, Larynxödem) aufgrund eines Wespenstichs, kann ein Schnitt durch das **Lig. cricothyroideum medianum** den Luftweg künstlich eröffnen. Diese als **Koniotomie** bezeichnete Eröffnung der Atemwege ist eine lebensrettende Notfallmaßnahme.

Als **Membrana quadrangularis** bezeichnet man den schwach ausgebildeten Teil der Membrana fibroelastica laryngis, der die Schleimhaut des Vestibulum laryngis unterlagert. Der untere freie Rand der Membran bildet das Taschenband (Lig. vestibulare, „falsches Stimmband“). Dieses zieht von der Vorderseite beider Stellknorpel zur Innenseite des Schildknorpels, wo es oberhalb der Insertion des Stimmbandes befestigt ist.

Das kräftige **Lig. cricoarytaenoideum**[18] verstärkt mediodorsal die schlaffe Gelenkkapsel der Articulatio cricoarytaenoidea.

Das **Lig. thyroepiglotticum**[19] heftet den Petiolus epiglottidis an der Innenseite des Schildknorpels an.

Äußere Kehlkopfbänder. Die **Membrana thyrohyoidea** spannt sich zwischen dem Oberrand des Schildknorpels und dem Zungenbein aus. Verstärkte Faserzüge der Membran werden als **Lig. thyrohyoideum medianum**[16] (zwischen Incisura thyroidea superior und Corpus ossis hyoidei) und **Lig. thyrohyoideum laterale**[5] (zwischen Cornu superius des Schildknorpels und dem hinteren Ende des Cornu majus des Zungenbeins) besonders benannt. Das **Lig. cricotracheale**[12] verbindet den Ringknorpel mit dem 1. Trachealknorpel.

Tab. 16.1 Äußere und innere Kehlkopfmuskeln. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 16.12**.

Name	Ursprung	Ansatz
Äußere Kehlkopfmuskeln (Innervation: N. laryngeus superior)		
M. cricothyroideus[1] („Antikus“)	äußere Fläche des Arcus cricoideus	unterer Rand und Cornu inferius der Cartilago thyroidea
Innere Kehlkopfmuskeln (Innervation: N. laryngeus inferior)		
M. cricoarytaenoideus posterior[5] („Postikus“)	Hinterfläche der Lamina cricoidea	ipsilateraler Processus muscularis des Stellknorpels
M. cricoarytaenoideus lateralis[4] („Lateralis“)	Oberrand des Arcus cricoideus	ipsilateraler Processus muscularis des Stellknorpels
M. thyroarytaenoideus[3]	Innenseite der Cartilago thyroidea	Facies anterolateralis des Stellknorpels
M. vocalis[2]	Innenseite der Cartilago thyroidea, medial des M. thyroarytaenoideus	Processus vocalis
M. arytaenoideus obliquus	Processus muscularis	kontralateraler Stellknorpelapex
M. arytaenoideus transversus[6] (unpaar)	laterale Kante und Facies dorsalis des Stellknorpels	kontralateral an den gleichen Stellen am Stellknorpel

Kehlkopfmuskeln

Die Zungenbeinmuskeln bewegen den Kehlkopf insgesamt, sie heben, senken, kippen ihn und können den Kehlkopf in einer bestimmten Höhe feststellen. Die Kehlkopfmuskeln dagegen wirken auf den Stimmapparat. Die Teile des Kehlkopfskeletts werden gegeneinander bewegt, wodurch die Spannung und die Stellung der Stimmlippen beeinflusst werden kann. Nach Lage und Herkunft unterscheidet man einen äußeren Kehlkopfmuskel (**M. cricothyroideus**), der vom R. externus des N. laryngeus superior innerviert wird, von allen übrigen, den inneren Kehlkopfmuskeln (▶ Tab. 16.1). Innerviert werden sie vom N. laryngeus inferior.

Der **M. thyroepiglotticus** bildet die obere Fortsetzung (Pars thyroepiglottica) des M. thyroarytaenoideus und inseriert an der Cartilago epiglottica und an der Membrana quadrangularis.

Der **M. aryepiglotticus** setzt als Pars aryepiglottica den M. arytaenoideus obliquus über die Spitze des Stellknorpels hinweg in die Plica aryepiglottica hinein fort.

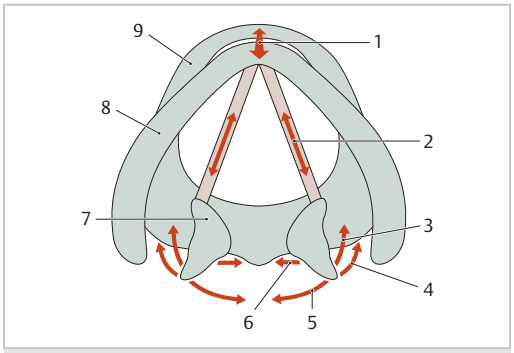


Abb. 16.12 Funktionen der Kehlkopfmuskeln (s. a. ▶ Tab. 16.2).
1 M. cricothyroideus
2 M. vocalis
3 M. thyroarytaenoideus
4 M. cricoarytaenoideus lateralis
5 M. cricoarytaenoideus posterior
6 M. arytaenoideus transversus
7 Cartilago arytaenoidea
8 Cartilago thyroidea
9 Cartilago cricoidea
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Wirkung der Kehlkopfmuskeln (▶ Abb. 16.12)

Die Kehlkopfmuskeln regulieren einerseits die Spannung der Stimmbänder, andererseits beeinflussen sie die Weite der Stimmritze (▶ Tab. 16.2). Die Erweiterung und Verengung der Stimmritze wird vom Stellapparat mit seinen Stellmuskeln bewirkt, die Einstellung der Stimmbandspannung vom Spannapparat.

Spannmuskeln. Zur Spannung der Stimmfalten trägt der **M. cricothyroideus**[1] und der **M. vocalis**[2] bei. Der **M. thyroarytaenoideus**[3] ist der Antagonist des M. cricothyroideus und bewirkt eine Erschlaf-

fung der Stimmbänder. Der M. vocalis regelt zusätzlich die Dicke der Stimmfalten.

Der M. cricothyroideus kippt bei festgestelltem Schildknorpel den Ringknorpel um die quere, durch die Schildknorpel-Ringknorpel-Gelenke verlaufende Achse, verlängert damit die Stimmfalten und erzeugt eine Grobeinstellung der Stimmfaltenspannung. Der M. vocalis beeinflusst durch isometrische Kontraktion die Feinabstimmung der Spannung und damit die Schwingungsfähigkeit der Stimmfalten.



Eine **Schädigung des R. externus des N. laryngeus superior**, z. B. nach „neck dissection", ist durch den Ausfall des M. cricothyroideus (schlaffe Stimmlippe) gekennzeichnet und bewirkt eine geringe Heiserkeit, die einhergeht mit einem Verlust der hohen Töne und einer Stimmschwäche.

Durch eine fein abgestufte Kontraktion der Muskelbündelchen des M. vocalis kann die Dicke der schwingenden Stimmbänder („Saite") verändert werden. Eine dicke schwingende „Saite" ruft einen tiefen Ton hervor, eine dünne „Saite" bewirkt einen hohen Ton.

Stellmuskeln. Alle übrigen inneren, am Stellknorpel ansetzenden Muskeln sind Stellmuskeln. Dies sind **Mm. cricoarytaenoideus posterior**[5] und **lateralis**[4] sowie **Mm. arytaenoideus transversus**[6] und **obliquus**. Sie öffnen oder schließen die Stimmritze und passen damit die Form der Stimmritze an die jeweilige Funktion an (Atmung – offene Stimmritze, Phonation – geschlossene Stimmritze; ▶ Tab. 16.2):

- **Öffner:** Der **M. cricoarytaenoidus posterior**[5] („Postikus" der Kliniker) öffnet als einziger Kehlkopfmuskel die gesamte Stimmritze. Durch Zug am Processus muscularis wird der Stellknorpel in der Articulatio cricoarytaenoidea nach außen gedreht und leicht nach der Seite gekippt. Bei beidseitiger Wirkung werden dabei die Processus vocales und die von ihnen ausgehenden Stimmbänder voneinander entfernt und angehoben, die Stimmritze wird erweitert.
- **Schließer:** Der **M. cricoarytaenoideus lateralis**[4] („Lateralis") zieht als eigentlicher Antagonist des Postikus die Stellknorpel nach vorn und bringt so die Spitzen der Processus vocales zueinander, was zum Schluss der Pars intermembranacea der Stimmritze führt. Der Muskel wird bei dieser Bewegung vom **M. thyroarytaenoideus**[3] unterstützt. Die Pars intercartilaginea bleibt dabei aber offen und bildet bei beidseitiger Kontraktion des „Lateralis" eine dreieckige Öffnung. Der zusätzliche Verschluss der Pars intercartilaginea als wichtige Voraussetzung für die Phonation wird durch **M. arytaenoideus obliquus** und **M. arytaenoideus transversus**[6] bewirkt. Die Muskeln ziehen den Stellknorpel zur Mitte. Dadurch werden außer den Processus vocales auch die Vorderkanten beider Stellknorpel zusammengeführt und die Incisura interarytaenoidea verstreicht. Der **M. vocalis**[2] hilft mit beim Verschluss der Pars intermembranacea. Seine Hauptfunktion ist jedoch die Feineinstellung der Stimmlippenspannung.

Tab. 16.2 Funktion der Kehlkopfmuskeln (die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 16.12**).

Funktion	Muskel
Stimmlippenöffnung (Stimmlippenabduktion)	M. cricoarytaenoideus posterior[5]
Stimmlippenverschluss (Stimmlippenadduktion)	M. cricoarytaenoideus lateralis[4] M. thyroarytaenoideus[3] M. arytaenoideus transversus[6] M. arytaenoideus obliquus M. vocalis[2]
Stimmlippenanspannung	M. cricothyroideus[1] M. vocalis[2]
Stimmlippenentspannung	M. thyroarytaenoideus[3]

Schleimhaut des Kehlkopfs

Die Kehlkopfschleimhaut lässt in den verschiedenen Abschnitten typische Strukturunterschiede erkennen.

Das mehrschichtige, unverhornte Plattenepithel, das den Rachen und die der Mundhöhle zugewandte Seite der Epiglottis überzieht, setzt sich verschieden weit in das Vestibulum laryngis fort und geht hier in das respiratorische Epithel (mehrreihiges Flimmerepithel mit zahlreichen eingestreuten Becherzellen) über, das die Atemwege bis in die kleinsten Bronchien auskleidet. Eine Ausnahme bilden die Stimmfalten, die aufgrund ihrer starken mechanischen Beanspruchung von einem mehrschichtig unverhornten Plattenepithel überzogen sind.

Die Lamina propria ist im Kehlkopfeingangsbereich und im Vestibulum laryngis locker gebaut, im Bereich der Stimmfalten ist das Epithel fest mit dem darunterliegenden elastischen Stimmband verbunden. Das Bindegewebe ist reich an elastischen Fasern, die sich zur Membrana fibroelastica laryngis verdichten (im Vestibulum: Membrana quadrangularis, in der Cavitas infraglottica: Conus elasticus). Seromuköse Drüsen liegen auf der laryngealen Seite der Epiglottis und in den Taschenfalten. Ihr Sekret hält die Stimmfalten feucht. Die Stimmfalten selbst sind drüsenfrei.

Der lockere Bau der Lamina propria im supraglottischen Raum lässt eine größere Flüssigkeitsansammlung zu. So kann als Folge einer allergischen Reaktion bei Insektenstichen die Kehlkopfschleimhaut schnell anschwellen (**Glottisödem**), was zu Atemnot bis hin zum Ersticken führen kann. Bei akuter Atemnot muss notfallmäßig eine Koniotomie (S. 388) durchgeführt werden.

Funktionen des Kehlkopfs

Bei ruhiger **Atmung** und bei Flüstersprache ist die Pars intermembranacea geschlossen und die Pars intercartilaginea zu einem Dreieck geöffnet (Zug des M. cricoarytaenoideus lateralis). Bei mittlerer Atmung sind beide Teile der Stimmritze leicht geöffnet (Zug des M. cricoarytaenoideus posterior), sodass diese ein spitzwinkliges Dreieck bildet. Bei äußerst heftiger Atmung sind Pars intermembranacea und Pars intercartilaginea rautenförmig geöffnet (extremer Zug des Postikus).

Voraussetzung für die **Stimmbildung** (Phonation) ist eine Inspiration. Dann verschließt sich die Stimmritze (Phonationsstellung). Anschließend werden die gleichzeitig angespannten Stimmfalten durch den exspiratorischen Luftstrom in Schwingungen versetzt, wodurch Schallwellen entstehen.

Die Lautstärke hängt ab von der Stärke des Luftstroms, die Tonhöhe von der Frequenz der Schwingungen. Die Schwingungsfrequenz hängt, vergleichbar der eines Saiteninstruments, von Länge, Spannung und Dicke der Stimmfalten ab, die vom M. cricothyroideus und den am Processus muscularis ansetzenden Muskeln grob eingestellt und vom M. vocalis fein abgestimmt werden. Resonanzräume für die an der Glottis entstehenden Töne sind die Pharynx-, Mund- und Nasenhöhle sowie die Nasennebenhöhlen. Sie bedingen die individuelle Klangfarbe der Stimme.

Eine entzündliche **Schwellung der Schleimhäute** in den Resonanzräumen, z. B. bei Schnupfen, verändert die Klangfarbe auf charakteristische Weise.

Die Lage des Kehlkopfs ermöglicht es dem Menschen, den exspiratorischen, tontragenden Luftstrom an Sprechwerkzeuge (Gaumen, Zunge, Zähne und Lippen) zu lenken und den Ton zur **Sprache** zu artikulieren. Die Vokale entstehen durch Umformen des Ansatzrohrs, die Konsonanten als Geräusche mithilfe der Sprechwerkzeuge.

Auch ein nicht von der Stimmritze erzeugter Ton kann zur Artikulation von Sprache genutzt werden, z. B. nach operativer Entfernung der Stimmfalten ein Ton, der mit den Taschenfalten erzeugt wird oder nach chirurgischer Entfernung des Kehlkopfs durch verschluckte Luft (Rülpssprache).

Beim Hustenstoß wird die geschlossene Stimmritze durch eine stoßartige Exspiration geöffnet.

Beim **Schlucken** wird der Kehlkopfeingang weitgehend verschlossen (Pförtnerfunktion). Die dabei wirksamen Mechanismen, der Zungengrund-Kehldeckel-Mechanismus und der Fettkörper-Kehldeckel-Mechanismus wurden bereits dargestellt (S. 383).

Durch Kontraktion von M. aryepiglotticus und M. thyroepiglotticus soll das Absinken des Kehldeckels begünstigt werden.

Gefäße und Nerven des Kehlkopfs

Arterien. Die **A. laryngea superior** geht kranial am Oberrand des Schildknorpels aus der A. thyroidea superior hervor, durchbohrt meist gemeinsam mit dem R. internus des N. laryngeus superior die Membrana thyrohyoidea und versorgt große Teile der Schleimhaut und der Muskulatur des Kehlkopfs. Der dünne **R. cricothyroideus**, ebenfalls ein Ast der A. thyroidea superior, versorgt die vorderen unteren Schleimhautabschnitte. Die schwache **A. laryngea inferior** aus der A. thyroidea inferior, die dorsal der Trachea aufwärts zieht, den M. constrictor pharyngis inferior durchbricht und von unten hinten in den Kehlkopf eintritt, versorgt die dorsale untere Schleimhautregion und den M. cricoarytaenoideus posterior.

Gelegentlich weist die Schildknorpelplatte ein Foramen thyroideum auf, durch das A. und V. laryngea superior ins Kehlkopfinnere ziehen.

Venen. Die Venen verlaufen zunächst parallel zu den Arterien. Die **V. laryngea superior** führt das Blut zur V. thyroidea superior, die in die V. jugularis interna einmündet. Der starke Plexus thyroideus impar nimmt beidseits die **V. laryngea inferior** auf und leitet das Blut zur meist unpaaren V. thyroidea inferior, die in die V. brachiocephalica sinistra mündet.

Lymphhabfluss. Die Lymphdrainage aus dem supra- und dem infraglottischen Raum verläuft auf getrennten Wegen. Die Lymphe aus den **supraglottischen** Schleimhautbereichen gelangt durch die Membrana thyrohyoidea zu den Nodi lymphoidei infrahyoidei (Nodi lymphoidei cervicales anteriores profundi, Level VI nach Robbins) und fließt weiter zu den um die V. jugularis interna angeordneten, seitlichen, tiefen Halslymphknoten (Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi superiores, Level II nach Robbins).

Aus der **subglottischen** Etage fließt die Lymphe durch das Lig. cricothyroideum medianum zunächst zu den Nodi lymphoidei prelaryngeales und paratracheales (mittlere und untere Knoten der Nodi lymphoidei cervicales anteriores profundi, Level VI nach Robbins) ab und wird zu unteren seitlichen tiefen Halslymphknoten (Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi inferiores, Level III und IV nach Robbins) weitergeleitet.

Die Kenntnis der getrennten **Lymphabflusswege aus den oberen und unteren Kehlkopfabschnitten** ist von besonderem klinischem Interesse, da Tumoren je nach Lage im Kehlkopf in unterschiedliche Lymphknotengruppen metastasieren können.

Nerven. Innerviert wird der Kehlkopf von **N. laryngeus superior** und **inferior**, beide Äste des N. vagus. Der N. laryngeus superior teilt sich in einen R. externus (Versorgung von M. cricothyroideus und M. constrictor pharyngis inferior) und einen R. internus, der durch die Membrana thyrohyoidea ins Kehlkopfinnere gelangt. Hier versorgt er die Schleimhaut bis in Höhe der Stimmritze. Der N. laryngeus inferior zieht als Endast des N. laryngeus recurrens von kaudal dorsal in den Kehlkopf. Er versorgt alle inneren Kehlkopfmuskeln und die Schleimhaut kaudal der Stimmritze.

16.4.3 Schilddrüse und Nebenschilddrüsen

Die Schilddrüse (**Glandula thyroidea**) und die Nebenschilddrüsen (**Glandulae parathyroideae superiores** und **inferiores**), auch als Epithelkörperchen bezeichnet, sind lebenswichtige endokrine Organe. Die von ihnen produzierten Hormone greifen regulierend in den Jod-, Kalzium- und Gesamtstoffwechsel ein. Die Schilddrüsenhormone Trijodthyronin (T_3) und Thyroxin (Tetrajodthyronin, T_4) steigern den Grundumsatz und beeinflussen verschiedene Organfunktionen. Das in der Schilddrüse produzierte Kalzitonin ist der Gegenspieler des Parathormons, das in den Nebenschilddrüsen synthetisiert wird. Während Kalzitonin den Blutkalziumspiegel senkt, erhöht ihn Parathormon.

Die Schilddrüse entwickelt sich als Epithelaussprossung am Boden des Schlunddarms. Die Nebenschilddrüsen sind dagegen Abkömmlinge der 3. und 4. Schlundtasche. Trotz dieser unterschiedlichen Herkunft stehen sie in enger topografischer Beziehung. Die 4 Nebenschilddrüsen liegen dorsal den Seitenlappen der Schilddrüse an.

Form und Lage von Schilddrüse und Nebenschilddrüsen

Die **Schilddrüse**, ein weiches, rotbraun gefärbtes, zwischen 18–60 g schweres Organ, hat eine variable Form, die einem H ähnelt. 2 Seitenlappen (**Lobus dexter** und **sinister**), sind über den unpaaren Isthmus miteinander verbunden. Die Pole der Seitenlappen überragen den Isthmus, die unteren nur geringfügig, die oberen Pole dagegen erreichen den Schildknorpel. Zusätzlich kann ein **Lobus pyramidalis** (Rest des Ductus thyroglossus) vom Isthmus ausgehend nach kranial bis zum Zungenbein und darüber hinaus ziehen.

Inseln von Schilddrüsengewebe können bei unvollständiger Rückbildung des Ductus thyroglossus zwischen Schildknorpel und dem Zungengrund zurückbleiben (**ektopes Schilddrüsengewebe**). Reste des Ductus thyroglossus können sich als mediane **Halsfisteln**, die entlang der Ausdehnung des Ductus thyroglossus nahe der Medianlinie des Halses austreten, manifestieren oder mediane **Halszysten** (mit Flüssigkeit gefüllte Hohlräume) bilden. Persistierendes Schilddrüsengewebe im Bereich des Foramen caecums der Zunge kann sich zur **Zungengrundstruma** entwickeln oder maligne entarten.

Die Schilddrüse ist von einer kräftigen aus 2 Blättern bestehenden Kapsel (**Capsula fibrosa**) umgeben. Das innere Blatt ist fest mit dem Drüsenparenchym verwachsen und stellt die eigentliche Organkapsel dar. Das äußere Blatt, auch als „chirurgische Kapsel“ bezeichnet, weißt eine lockere Struktur auf und geht dorsal kontinuierlich in die Eingeweidefaszie von Trachea und Oesophagus über. Zwischen innerem und äußerem Blatt verzweigen sich die Schilddrüsenarterien, bevor sie ins Drüsenparenchym eintreten. In diesem Spalt liegen hinter den Seitenlappen auch die 4 Nebenschilddrüsen.

Die linsenförmigen **Nebenschilddrüsen** (2 obere und 2 untere) wiegen zwischen 25 und 50 mg. Ihre Lage ist sehr variabel, sie liegen aber stets in der Nähe einer Schilddrüsenarterie. Die oberen Nebenschilddrüsen liegen meist in der Mitte der Seitenlappen, die unteren grenzen an die unteren Schilddrüsenpole.

Die doppelte Kapsel kann der Chirurg als Orientierung bei der Schilddrüsenentfernung nutzen. Zur Schonung der Epithelkörperchen wird bei einer Schilddrüsenoperation der hintere Anteil der Drüse stehen gelassen.

Die **topografischen Beziehungen** beider Drüsen sind von klinischer Bedeutung. Die Schilddrüse und die ihr dorsal anliegenden Nebenschilddrüsen werden vorn von der infrahyoidalen Muskulatur, die vom mittleren Blatt der Halsfaszie (Lamina pretrachealis) umhüllt ist, bedeckt. Der Schilddrüsenisthmus grenzt ventral in Höhe des 2.–3. Trachealknorpels an die Trachea, beide Seitenlappen umfassen diese und schmiegen sich ihren Seitenflächen an. Über die Bindegewebskapsel ist die Drüse fest mit der Trachea verankert und folgt deshalb beim Schluckakt den Bewegungen von Trachea und Kehlkopf. Die dorsomedialen Ränder der Seitenlappen reichen bis an die Rinne zwischen Oesophagus und Trachea heran. In dieser Rinne zieht außerhalb der Capsula fibrosa der N. laryngeus recurrens. Dorsolateral reicht die Schilddrüse bis an den von der Vagina carotica umhüllten Gefäß-Nerven-Strang heran.

Der **N. laryngeus recurrens** versorgt über seinen Endast, den N. laryngeus inferior, alle inneren Kehlkopfmuskeln. Der N. laryngeus recurrens hat in seinem Verlauf eine sehr enge Beziehung zur Schilddrüse: Er verläuft vor, hinter oder zwischen den Ästen der A. thyroidea inferior. Daher ist er bei **Schilddrüsenoperationen** gefährdet. Eine einseitige Zerrung oder Verletzung führt zu Heiserkeit (einseitige Stimmbandparese), eine beidseitige Läsion zu akuter Erstickungsgefahr durch den Ausfall beider Stimmritzenöffner (rechter und linker M. cricoarytaenoideus posterior).

Feinbau und Funktion von Schilddrüse und Nebenschilddrüsen

Das in Läppchen (Lobuli) gegliederte Parenchym der **Schilddrüse** beinhaltet bläschenförmige Strukturen, die Follikel. Im Lumen der Follikel werden die jodhaltigen Hormone **T3** und **T4**, gebunden an **Thyreoglobulin** (Kolloid), gespeichert und bei Bedarf ins Blut freigesetzt. Je nach Funktionszustand ist das Epithel der Follikel eher flach (Hormonspeicherung) oder kubisch bis hochprismatisch (Kolloidfreisetzung).

Jodmangel führt zu einer Unterfunktion (**Hypothyreose**) der Schilddrüse. Durch den verlangsamten Stoffwechsel sind die Patienten müde und antriebslos, die Schilddrüse vergrößert sich (Struma, Kropf). Eine Struma kann die Haut des Halses stark vorwölben. Wächst die Schilddrüse in Richtung Mediastinum (retrosternale Struma), bleibt dies meist lange unbemerkt. Eine sich nach dorsal vergrößernde Schilddrüse drückt auf Trachea und Oesophagus, was zu Atem- und Schluckbeschwerden führt.

Eine Überfunktion (**Hyperthyreose**) wird oft durch eine Autoimmunerkrankung (Morbus Basedow) hervorgerufen. Die Patienten sind unruhig, leiden unter Schlaflosigkeit und Gewichtsverlust. Häufig bestehen die klassischen Symptome Struma, Tachykardie und Exophthalmus (Merseburger Trias).

Im Parenchym der **Nebenschilddrüsen** finden sich 2 Zelltypen: helle, mit Glykogen beladene bzw. dunkle Hauptzellen (Produzenten des Parathormons), und oxyphile Zellen mit noch unbekannter Funktion. Zwischen diesen Zellen liegen Fettzellen, deren Anzahl im Alter zunimmt.

Das **Parathormon** erhöht den Blutkalziumspiegel durch vermehrte Freisetzung von Kalzium aus Knochengewebe. In der Niere stimuliert es eine erhöhte Kalziumresorption und eine vermehrte Phosphatausscheidung. Außerdem führt es zur verstärkten Synthese von Kalzitriol in den proximalen Nierentubuli und trägt somit indirekt zur vermehrten Kalziumresorption im Dünndarn bei.

Eine Überfunktion der Nebenschilddrüsen (**Hyperparathyreoidismus**), z. B. durch einen Tumor, führt zu Knochenabbau (Osteoporose), zum Anstieg des Blutkalziumspiegels und zu einer erhöhten Phosphatausscheidung. Gelegentlich bilden sich Nierensteine.

Ein Mangel an Parathormon (**Hypoparathyreoidismus**) führt durch Senkung der Kalziumkonzentration im Blut zu einer generellen Übererregbarkeit des neuromuskulären Systems bis zum Auftreten von Krämpfen (Tetanie).

Gefäße und Nerven der Schilddrüse und Nebenschilddrüsen

Arterien. Die Schilddrüse wird beidseits aus 2 Quellen mit Blut versorgt. Die oberen Gefäße stammen aus der A. carotis externa, die unteren entspringen aus der A. subclavia. Die 4 Nebenschilddrüsen werden in der Regel von den beiden Aa. thyroideae inferiores versorgt.

Die **A. thyroidea superior**, der erste Ast der A. carotis externa, ist die schwächere der beiden Schilddrüsenarterien. Sie zieht zum oberen Pol des Schilddrüsenlappens und verzweigt sich an der Schilddrüsenvorderfläche. Die **A. thyroidea inferior**, der stärkste Ast des Truncus thyrocervicalis, verzweigt sich am unteren Pol der Schilddrüse und auf deren Rückseite. Die Arterie läuft im Bogen hinter dem zum Kopf ziehenden Gefäß-Nerven-Strang nach medial zur Schilddrüse.

In 10 % kommt eine **A. thyroidea ima** vor, die meist vom Truncus brachiocephalicus entspringt.

Venen. Die **V. thyroidea superior** führt Blut aus der oberen Schilddrüsenhälfte der V. jugularis interna zu. Zusätzlich ziehen **Vv. thyroideae mediae**, ohne Arterien zu begleiten, zur V. jugularis interna.

Der **Plexus thyroideus impar**, ein starkes Venengeflecht am unteren Pol der Schilddrüsenlappen und am Isthmus, leitet das Blut über die kräftige, meist unpaare **V. thyroidea inferior** vor der Trachea in die V. brachiocephalica sinistra.

Lymphabfluss. Die Lymphe fließt über die **Nodi lymphoidei thyroidei** (Level VI nach Robbins) zu den seitlichen tiefen Halslymphknoten. Von den oberen Abschnitten kann die Lymphe über die prelaryngealen Knoten zu den Lymphknoten der Jugularis-interna-Kette fließen.

Aus der oberen Hälfte der Schilddrüse ziehen Lymphbahnen über die Nodi lymphoidei prelaryngeales, aus der unteren Hälfte von ventral direkt oder über Nodi lymphoidei pretracheales zu kaudalen Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi.

Nerven. Die Schilddrüse und die 4 Nebenschilddrüsen werden über das autonome Nervensystem versorgt. Die postganglionären Fasern gehen aus den 3 Halsganglien (Ganglion cervicale superius und medius sowie Ganglion cervicothoracicum) hervor und ziehen mit den Gefäßen. Die parasympathischen Fasern stammen aus dem N. vagus und

verlaufen im **N. laryngeus superior** bzw. im **N. laryngeus recurrens**.

16.5 Topografie wichtiger Halsregionen

16.5.1 Regio sternocleidomastoidea

Das vom M. sternocleidomastoideus bedeckte Gebiet wird als Regio sternocleidomastoidea bezeichnet (s. ▶ **Abb. 16.1**). Die Region lässt sich weiter unterteilen in einen oberen und unteren Abschnitt. Die Grenze zwischen den Abschnitten liegt an der Kreuzung des M. sternocleidomastoideus mit dem M. omohyoideus. Im oberen Teil der Region liegt der M. sternocleidomastoideus eng benachbart zu den tiefen Halsmuskeln und zur Halswirbelsäule. Der untere Abschnitt der Region dagegen hat eine beträchtliche Tiefenausdehnung. Hinten reicht er bis an die Wirbelsäule, medial bis zur Schilddrüse bzw. bis zu Oesophagus und Trachea. Kaudale Grenze ist die in den Hals hineinragende Pleurakuppel.

Nach Entfernen des M. sternocleidomastoideus erhält man einen guten Überblick über den Inhalt der Region.

Arterien. Die **A. carotis communis** zieht als Bestandteil des Gefäß-Nerven-Strangs durch die Region ins Trigonum caroticum. Die **A. subclavia** verläuft im Bogen über die Pleurakuppel zur Skalenuslücke. Aus dieser Gefäßstrecke entspringen:

- die **A. thoracica interna** zieht ins Mediastinum,
- die **A. vertebralis** zieht zwischen M. scalenus anterior und M. longus colli nach kranial und tritt am Tuberculum caroticum ins Foramen transversarium des 6. Halswirbels ein,
- der **Truncus thyrocervicalis** entlässt folgende Äste:
  - **A. thyroidea inferior** steigt zur Schilddrüse auf,
  - **A. cervicalis ascendens**, **A. transversa cervicis** und **A. suprascapularis**, die auf dem M. scalenus anterior ziehen bzw. den Muskel überkreuzen und ins Trigonum colli laterale ziehen.

Venen. Die **V. jugularis interna** verläuft gemeinsam mit A. carotis communis und dem N. vagus. Die **V. subclavia** zieht vor dem M. scalenus anterior in die Region. V. jugularis interna und V. subclavia vereinigen sich im Venenwinkel zur **V. brachiocephalica**.

Nerven. Der **N. vagus** begleitet A. carotis communis und V. jugularis interna. Der **Truncus sympathicus** liegt in der Tiefe der Region auf dem M. longus colli, eingehüllt in die Lamina prevertebralis der Halsfaszie. Das **Ganglion cervicale medium** liegt in Höhe des 6. Halswirbels, das **Ganglion stellatum** liegt dem Köpfchen der 1. Rippe an.

Die **Ansa thyroidea** ist eine Nervenschlinge um die A. thyroidea inferior; die **Ansa subclavia** ist die Nervenschlinge um die A. subclavia.

Lymphknoten. Die **Nodi lymphoidei cervicales profundi inferiores** liegen in einer vorderen bzw. seitlichen Kette an der Wand der V. jugularis interna. Der **Ductus lymphaticus dexter** mündet in den rechten Venenwinkel. Der **Ductus thoracicus** steigt aus dem hinteren Mediastinum auf, zieht über die Pleurakuppel und über die A. subclavia zum linken Venenwinkel.

16.5.2 Trigonum caroticum (▶ Abb. 16.13)

Das Karotisdreieck (Trigonum caroticum, s. a. ▶ **Abb. 16.1**) ist das Zentrum für die Verteilung der Halsgefäße und am besten bei nach hinten geneigtem und leicht zur Gegenseite gewendetem Kopf überschaubar. Das Dreieck wird ventral kranial begrenzt vom **Venter posterior m. digastrici**[1] und dem **M. stylohyoideus**[8], ventral kaudal vom **Venter superior m. omohyoidei**[19] und dorsal vom Vorderrand des **M. sternocleidomastoideus**[20]. Das Karotisdreieck ist bedeckt vom Platysma und von der Lamina superficialis der Halsfaszie.

Arterien. Die **A. carotis communis** tritt als Bestandteil des Gefäß-Nerven-Strangs am Vorderrand des M. sternocleidomastoideus ins Karotisdreieck ein. Sie liegt medial der Vene, der N. vagus[24] verläuft dorsal zwischen den beiden Gefäßen.

Die Aufzweigung der A. carotis communis (**Bifurcatio carotidis**) in die A. carotis interna und externa liegt am Oberrand des Schildknorpels. Meist weist die Teilungsstelle eine leichte Aufweitung auf (Sinus caroticus), die sich auf die beiden Äste fortsetzen kann.

Die **A. carotis interna**[2] (in der Regel ohne Äste im Halsbereich) liegt an der Teilungsstelle zunächst lateral der A. carotis externa, zieht dann hinter sie und tritt ins Spatium lateropharyngeum

verlaufen im **N. laryngeus superior** bzw. im **N. laryngeus recurrens**.

16.5 Topografie wichtiger Halsregionen

16.5.1 Regio sternocleidomastoidea

Das vom M. sternocleidomastoideus bedeckte Gebiet wird als Regio sternocleidomastoidea bezeichnet (s. ▶ **Abb. 16.1**). Die Region lässt sich weiter unterteilen in einen oberen und unteren Abschnitt. Die Grenze zwischen den Abschnitten liegt an der Kreuzung des M. sternocleidomastoideus mit dem M. omohyoideus. Im oberen Teil der Region liegt der M. sternocleidomastoideus eng benachbart zu den tiefen Halsmuskeln und zur Halswirbelsäule. Der untere Abschnitt der Region dagegen hat eine beträchtliche Tiefenausdehnung. Hinten reicht er bis an die Wirbelsäule, medial bis zur Schilddrüse bzw. bis zu Oesophagus und Trachea. Kaudale Grenze ist die in den Hals hineinragende Pleurakuppel.

Nach Entfernen des M. sternocleidomastoideus erhält man einen guten Überblick über den Inhalt der Region.

Arterien. Die **A. carotis communis** zieht als Bestandteil des Gefäß-Nerven-Strangs durch die Region ins Trigonum caroticum. Die **A. subclavia** verläuft im Bogen über die Pleurakuppel zur Skalenuslücke. Aus dieser Gefäßstrecke entspringen:

- die **A. thoracica interna** zieht ins Mediastinum,
- die **A. vertebralis** zieht zwischen M. scalenus anterior und M. longus colli nach kranial und tritt am Tuberculum caroticum ins Foramen transversarium des 6. Halswirbels ein,
- der **Truncus thyrocervicalis** entlässt folgende Äste:
  - **A. thyroidea inferior** steigt zur Schilddrüse auf,
  - **A. cervicalis ascendens**, **A. transversa cervicis** und **A. suprascapularis**, die auf dem M. scalenus anterior ziehen bzw. den Muskel überkreuzen und ins Trigonum colli laterale ziehen.

Venen. Die **V. jugularis interna** verläuft gemeinsam mit A. carotis communis und dem N. vagus. Die **V. subclavia** zieht vor dem M. scalenus anterior in die Region. V. jugularis interna und V. subclavia vereinigen sich im Venenwinkel zur **V. brachiocephalica**.

Nerven. Der **N. vagus** begleitet A. carotis communis und V. jugularis interna. Der **Truncus sympathicus** liegt in der Tiefe der Region auf dem M. longus colli, eingehüllt in die Lamina prevertebralis der Halsfaszie. Das **Ganglion cervicale medium** liegt in Höhe des 6. Halswirbels, das **Ganglion stellatum** liegt dem Köpfchen der 1. Rippe an.

Die **Ansa thyroidea** ist eine Nervenschlinge um die A. thyroidea inferior; die **Ansa subclavia** ist die Nervenschlinge um die A. subclavia.

Lymphknoten. Die **Nodi lymphoidei cervicales profundi inferiores** liegen in einer vorderen bzw. seitlichen Kette an der Wand der V. jugularis interna. Der **Ductus lymphaticus dexter** mündet in den rechten Venenwinkel. Der **Ductus thoracicus** steigt aus dem hinteren Mediastinum auf, zieht über die Pleurakuppel und über die A. subclavia zum linken Venenwinkel.

16.5.2 Trigonum caroticum (▶ Abb. 16.13)

Das Karotisdreieck (Trigonum caroticum, s. a. ▶ **Abb. 16.1**) ist das Zentrum für die Verteilung der Halsgefäße und am besten bei nach hinten geneigtem und leicht zur Gegenseite gewendetem Kopf überschaubar. Das Dreieck wird ventral kranial begrenzt vom **Venter posterior m. digastrici**[1] und dem **M. stylohyoideus**[8], ventral kaudal vom **Venter superior m. omohyoidei**[19] und dorsal vom Vorderrand des **M. sternocleidomastoideus**[20]. Das Karotisdreieck ist bedeckt vom Platysma und von der Lamina superficialis der Halsfaszie.

Arterien. Die **A. carotis communis** tritt als Bestandteil des Gefäß-Nerven-Strangs am Vorderrand des M. sternocleidomastoideus ins Karotisdreieck ein. Sie liegt medial der Vene, der N. vagus[24] verläuft dorsal zwischen den beiden Gefäßen.

Die Aufzweigung der A. carotis communis (**Bifurcatio carotidis**) in die A. carotis interna und externa liegt am Oberrand des Schildknorpels. Meist weist die Teilungsstelle eine leichte Aufweitung auf (Sinus caroticus), die sich auf die beiden Äste fortsetzen kann.

Die **A. carotis interna**[2] (in der Regel ohne Äste im Halsbereich) liegt an der Teilungsstelle zunächst lateral der A. carotis externa, zieht dann hinter sie und tritt ins Spatium lateropharyngeum

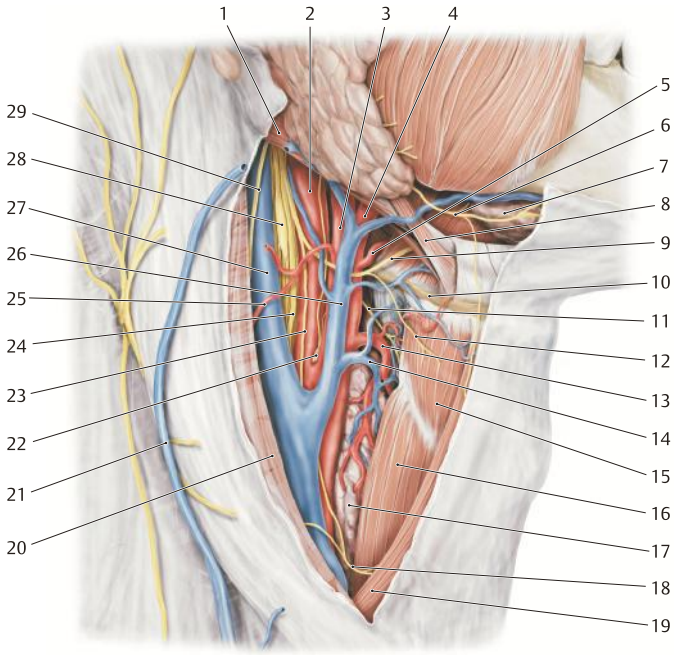


Abb. 16.13 Karotisdreieck rechts von lateral.

1 M. digastricus, Venter posterior
2 A. carotis interna
3 A. carotis externa
4 A. facialis
5 A. lingualis
6 R. marginalis mandibulae
7 Glandula submandibularis
8 M. stylohyoideus
9 N. hypoglossus
10 Os hyoideum
11 N. laryngeus superior
12 R. thyrohyoideus
13 A. thyroidea superior
14 V. thyroidea superior
15 M. thyrohyoideus
16 M. sternothyroideus
17 Glandula thyroidea
18 Ansa cervicalis profunda
19 M. omohyoideus
20 M. sternocleidomastoideus
21 V. jugularis externa
22 Glomus caroticum
23 Radix superior der Ansa cervicalis profunda
24 N. vagus
25 A. sternocleidomastoidea
26 V. facialis
27 V. jugularis interna
28 Ganglion cervicale superius
29 N. accessorius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

16

ein, in dem sie meist astlos zum Canalis caroticus an der Schädelbasis zieht.

Die **A. carotis externa**[3] liegt im Karotisdreieck medial und vor der A. carotis interna. Sie entlässt unmittelbar nach ihrem Ursprung aus der A. carotis communis erste Äste. Innerhalb des Karotisdreiecks entspringen folgende Äste:

- die **A. thyroidea superior**[13] entspringt unterhalb des Zungenbeins und zieht zum oberen Schilddrüsenpol,
- die **A. lingualis**[5] geht in Höhe des großen Zungenbeinhorns aus der A. carotis externa hervor und zieht hinter Venter posterior m. digastrici, M. stylohyoideus und M. hyoglossus zur Zunge,
- die **A. facialis**[4] entspringt meist oberhalb der A. lingualis und verläuft hinter dem Venter pos-

terior m. digastrici und M. stylohyoideus ins Trigonum submandibulare,
- die **A. sternocleidomastoidea**[25] zieht nach dorsal zum M. sternocleidomastoideus und überkreuzt dabei den N. hypoglossus und die V. jugularis interna,
- die **A. occipitalis** zieht nach dorsal zum Hinterhaupt,
- die **A. pharyngea ascendens** geht aus der medialen Wand der A. carotis externa hervor und zieht nach kranial ins Spatium lateropharyngeum.

Venen. Die **V. jugularis interna**[27] verläuft innerhalb der Vagina carotica und nimmt im Karotisdreieck 3 Venen auf, nämlich **V. facialis**[26], **V. lingualis** und **V. thyroidea superior**[14].

Nerven. Der **N. vagus**[24] zieht innerhalb der Vagina carotica dorsal zwischen V. jugularis interna und A. carotis interna. Der **N. laryngeus superior**[11], der unterhalb des Ganglion inferius n. vagi entspringt, zieht im Bogen hinter A. carotis interna und externa nach kaudal zum Kehlkopf.

Der **N. accessorius**[29] tritt im oberen hinteren Abschnitt ins Karotisdreieck und verläuft steil nach unten zum M. sternocleidomastoideus. Auf seinem Weg zum Muskel kreuzt er die V. jugularis interna meist lateral.

Der **N. hypoglossus**[9] kommt hinter dem Venter posterior des M. digastricus ins Karotisdreieck, verläuft im Bogen über die A. carotis interna und externa und verschwindet wieder unter dem M. digastricus.

Die dem N. hypoglossus angelagerte **Radix superior**[23] verlässt den Nerven im Karotisdreieck, zieht innerhalb der Vagina carotica nach kaudal und vereinigt sich in variabler Höhe mit der **Radix inferior** unter Bildung der **Ansa cervicalis profunda**[18].

Auf der Lamina superficialis der Halsfaszie verbindet sich der R. colli n. facialis mit dem N. transversus colli zur **Ansa cervicalis superficialis**.

Der **R. sinus carotici**, ein Ast des N. glossopharyngeus, läuft zwischen A. carotis interna und externa zum Glomus caroticum und Sinus caroticus.

Lymphknoten. Die **Nodi lymphoidei cervicales profundi superiores** liegen in einer vorderen bzw. seitlichen Kette der Wand der V. jugularis interna an.

16.5.3 Trigonum submandibulare, Trigonum submentale

Submandibulares und submentales Halsdeieck liegen an der Grenze zwischen Hals und Kopf (s. ▶ **Abb. 16.1**). Sie werden von der Lamina superficialis der Fascia cervicalis bedeckt.

Das **Trigonum submandibulare** wird vom Unterrand der Mandibula (kranial), vom Venter anterior (kaudal ventral) und vom Venter posterior (kaudal dorsal) des M. digastricus begrenzt. Den Boden bildet der M. mylohyoideus, im hinteren Umfang ergänzt vom tiefer liegenden M. hyoglossus. Der zwischen dem hinteren freien Rand des M. mylohyoideus und dem M. hyoglossus liegende Spalt führt in die Regio sublingualis.

Das **Trigonum submentale** wird von den beiden vorderen Bäuchen des M. digastricus und der Mandibula begrenzt.

Die **Glandula submandibularis** liegt in der Submandibularisloge auf dem hinteren Abschnitt des M. mylohyoideus. Der **Processus uncinatus** der Drüse und der **Ductus submandibularis** ziehen um den hinteren freien Rand des M. mylohyoideus in die **Regio sublingualis** und nehmen hier eine enge topografische Beziehung zur **Glandula sublingualis** auf.

Arterien. Die **A. facialis** zieht durch die Glandula submandibularis zum Vorderrand des M. masseter. Im Dreieck entlässt die Arterie 2 kleine Äste:
- die **A. palatina ascendens** steigt zur Tonsilla palatina auf,
- die **A. submentalis** zieht, begleitet vom N. mylohyoideus, zum Kinn.

Die **A. lingualis** verläuft hinter dem M. hyoglossus in die Regio sublingualis.

Venen. Die **V. facialis** zieht vom Vorderrand des M. masseter (liegt hinter der A. facialis) über die Glandula submandibularis und den Venter posterior m. digastrici ins Karotisdreieck.

Nerven. Der **N. mylohyoideus**, ein Ast des N. alveolaris inferior, verläuft medial am R. mandibulae entlang und zieht im Bogen zum M. mylohyoideus, den er gemeinsam mit dem Venter anterior m. digastrici versorgt.

Der **N. hypoglossus** gelangt hinter dem Venter posterior m. digastrici ins Trigonum submandibulare. Hier liegt er lateral auf dem M. hyoglossus und tritt, begleitet von der **V. comitans n. hypoglossi**, in die Regio sublingualis ein.

Der **N. lingualis** verläuft im kurzen Bogen, an der medialen Seite der Mandibula gelegen, durch das Trigonum submandibulare und zieht hinter dem M. mylohyoideus in die Regio sublingualis. Am tiefsten Punkt des Bogens entlässt der N. lingualis Fasern, die zum parasympathischen **Ganglion submandibulare** ziehen. Das Ganglion sub-

mandibulare wird sichtbar, wenn man die Glandula submandibularis etwas nach unten zieht.

Der **N. glossopharyngeus** zieht mit seinem Leitmuskel, dem M. stylopharyngeus, durch den hinteren oberen Teil des Trigonum submandibulare.

Der R. marginalis mandibulae kann über das Gebiet des Trigonum submandibulare verlaufen. Bei einer Operation an der Glandula submandibularis ist dieser Nerv zu schonen.

Lymphknoten. Entlang des Unterrandes der Mandibula liegen die **submandibulären Lymphknoten** (Trigonum submandibulare) und **submentale Lymphknoten** (Trigonum submentale).

16.5.4 Trigonum musculare

Das in der Regio cervicalis anterior liegende Trigonum musculare wird kranial vom Venter superior m. omohyoidei, kaudal dorsal vom Vorderrand des M. sternocleidomastoideus und medial von der Medianlinie begrenzt. Bedeckt wird es von der Lamina superficialis und pretrachealis der Fascia cervicalis. Im Trigonum musculare liegen Larynx, Trachea, Pharynx, Oesophagus, Schilddrüse und Nebenschilddrüsen und die die Organe versorgenden Gefäße und Nerven.

16.5.5 Trigonum colli laterale (▶ Abb. 16.14)

Das Trigonum colli laterale (laterales Halsdreieck) entspricht der Regio cervicalis lateralis und wird vom **Hinterrand** des **M. sternocleidomastoideus**[4] (ventral), vom **Vorderrand** des **M. trapezius**[17] (dorsal) und von der **Clavicula** (kaudal) begrenzt. Im unteren Abschnitt der Region liegt das Trigonum omoclaviculare (Fossa supraclavicularis major). Das Trigonum colli laterale wird von der Lamina superficialis bedeckt und in der Tiefe von der Lamina prevertebralis der Halsfaszie durchzogen. Im Bereich des Trigonum omoclaviculare spannt sich die Lamina pretrachealis zwischen den beiden Blättern aus.

Arterien. Der **R. superficialis** der **A. transversa cervicis** (A. cervicalis superficialis[15]) zieht vor dem M. scalenus anterior[8] quer durchs Trigonum colli laterale zum M. trapezius.

Die **A. suprascapularis**[10] zieht über den M. scalenus anterior und weiter zur Incisura scapulae. Im Trigonum omoclaviculare sind beide Gefäße von der Lamina pretrachealis bedeckt.

Venen. Die **V. jugularis externa**[2] verläuft vom Ohr kommend schräg über den M. sternocleidomastoideus und durchbricht die Lamina superficialis im Trigonum omoclaviculare.

Die **V. cervicalis superficialis**[9] zieht quer durch das Trigonum colli laterale und mündet im Trigonum omoclaviculare in die **V. jugularis externa**.

Nerven. Vom **Punctum nervosum**[21] breiten sich die **Hautäste** des **Plexus cervicalis** radiär aus:

- der **N. occipitalis minor**[23] zieht am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus zum Hinterhaupt,
- der **N. auricularis magnus**[22] verläuft schräg nach oben zur Ohrmuschel,
- der **N. transversus colli**[7] zieht quer über den M. sternocleidomastoideus in die Regio cervicalis anterior,
- die **Nn. supraclaviculares**[12] ziehen in Richtung Clavicula und durchbrechen die Lamina superficialis oft erst oberhalb der Clavicula.

- Der **N. accessorius**[20] verläuft auf dem M. levator scapulae zum M. trapezius,
- der **N. suprascapularis** zieht mit der gleichnamigen Arterie[10] zur Incisura scapulae.

Nach Entfernung der Lamina prevertebralis ist der Blick auf die **Skalenuslücke** (s. u.) frei, die in der Tiefe des lateralen Halsdreicks liegt.

16.5.6 Skalenuslücke

In der Tiefe der Regio cervicalis lateralis liegt die Skalenuslücke, die ventral vom M. scalenus anterior[8], dorsal vom M. scalenus medius[19] und kaudal von der 1. Rippe begrenzt wird. Die Lücke wird von der Lamina prevertebralis der Fascia cervicalis bedeckt.

Durch den oberen Abschnitt der Skalenuslücke ziehen **Truncus superior, medius** und **inferior** des **Plexus brachialis**[6]. Unterhalb der Primärstränge verläuft die **A. subclavia** im Sulcus a. subclaviae über die 1. Rippe.

Auf dem M. scalenus anterior verläuft der **N. phrenicus**[3], medial des Nervs liegt die **A. cervicalis ascendens**, die zur tiefen Halsmuskulatur aufsteigt.

Der M. scalenus medius wird vom **N. dorsalis scapulae**[18] und vom **N. thoracicus longus**[14] durchbrochen.

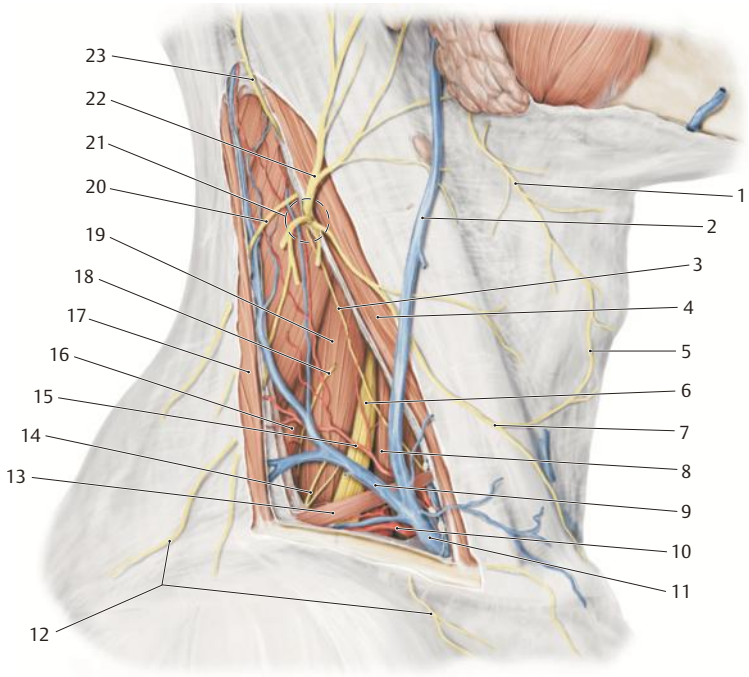


Abb. 16.14 Rechtes laterales Halsdreieck.
1 Ramus colli n. facialis
2 V. jugularis externa
3 N. phrenicus
4 M. sternocleidomastoideus
5 Ansa cervicalis superficialis
6 Plexus brachialis
7 N. transversus colli
8 M. scalenus anterior
9 V. cervicalis superficialis
10 A. suprascapularis
11 V. subclavia dextra
12 Nn. supraclaviculares
13 M. omohyoideus, Venter inferior
14 N. thoracicus longus
15 A. cervicalis superficialis
16 M. scalenus posterior
17 M. trapezius
18 N. dorsalis scapulae
19 M. scalenus medius
20 N. accessorius
21 Punctum nervosum (Erb-Punkt)
22 N. auricularis magnus
23 N. occipitalis minor
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Häufige Ursache von **Plexusläsionen** sind traumatische Verletzungen (z. B. Geburtstrauma, Verkehrs- und Sportunfälle), treten aber auch als narkosebedingte Dehnungslähmung auf. Man unterscheidet zwischen der oberen Plexuslähmung (Erb-Lähmung) mit Schädigung der 5. und 6. Spinalnervenwurzel und der unteren Plexuslähmung (Klumpke-Lähmung), die durch die Schädigung der Wurzeln C 8 und Th 1 hervorgerufen wird.

Bei der **Erb-Lähmung** sind M. deltoideus, M. biceps brachii, M. brachialis und M. brachioradialis betroffen. Der Arm befindet sich in Innenrotationsstellung mit nach hinten gedrehter Handfläche.

Die **Klumpke-Lähmung** ist vor allem durch den Ausfall der kleinen Handmuskeln (Krallenhand) charakterisiert und kann mit einem Horner-Syndrom (Ausfall der sympathischen Fasern für das Auge) kombiniert sein. Ursache ist häufig ein Pancoast-Tumor (rasch fortschreitendes Bronchialkarzinom am Lungenapex).

Mitunter wird zwischen einer vorderen und hinteren Skalenuslücke unterschieden. Mit der **hinteren Skalenuslücke** ist dann die eigentliche Skalenuslücke gemeint. In der **vorderen Skalenuslücke**, die vom M. scalenus anterior, vom M. sternocleidomastoideus und der 1. Rippe begrenzt wird, verläuft die V. subclavia.

17 Kopf

Richard H. W. Funk, Wolfgang Schwab, Joachim Kirsch

17.1 Schädel

Richard H. W. Funk

Der Kopf als Sitz des Gehirns, der großen Sinnesorgane und der großen Körperöffnungen für Atmung und Nahrungsaufnahme unterscheidet sich in seinem Bauplan sehr von dem Aufbau des Rumpfes oder der Extremitäten. In Bezug auf die äußere Form haben der menschliche Kopf und alle in ihm eingebetteten Räume die Tendenz zur Bildung von kugelförmigen (sphäroiden) Gebilden.

Der menschliche Kopf steht am Ende einer Reihe von Entwicklungen, die in der Phylogenese der Wirbeltiere mit plattenartigen Knochen den Rumpf lediglich nach vorne (rostral) verlängert haben. Bei diesen röhrenförmigen Kopfformen, die bis zu den vierfüßig laufenden Säugetieren zu finden ist, liegen die entsprechenden Funktionssysteme mehr hintereinander (Mundöffnung, Nasenöffnung, Auge, Gehirn) als übereinander, wie es bei Menschen der Fall ist. Aufgrund dieser Anordnung bei vierfüßigen Lebewesen gestaltet sich auch der Übergang Kopf-Hals-Rumpf völlig anders: Von einer ursprünglich „halslosen" Verlängerung des Rumpfes nach vorne über waagerechte Halskonstruktionen mit starken Nackenmuskeln veränderte sich die Gestalt zum Menschen hin derart, dass ein relativ langer, gut beweglicher Hals senkrecht auf dem Rumpf steht und den Kopf trägt. Die Halswirbelsäule hält mit dem obersten Wirbel (Atlas) den Schädel in relativ ausbalancierter Lage. Diese Balance kommt dadurch zustande, dass der Gesichtsschädel (Viscerocranium) relativ zum größer werdenden Hirnschädel (Neuroncranium) deutlich kleiner worden ist.

17.1.1 Oberflächenanatomie

Die Oberflächenanatomie des Gesichts ist in einem eigenen Kapitel beschrieben (S. 413). Wichtige tastbare Knochenpunkte des Schädels sind:

- vordere, untere Spitze des Nasenbeins
- knöcherne Begrenzung der Orbita
- Foramen supraorbitale
- Foramen infraorbitale im Os maxillare
- Processus zygomaticus des Os frontale
- Bogen des Os zygomaticum
- Kinnspitze
- Angulus mandibulae
- Foramen mentale in der Mandibula
- Gelenkwalze des Kiefergelenks.

Neben der Schädelkalotte selbst, deren Knochenstruktur gut durch Haut und Galea aponeurotica tastbar ist, sind folgende Punkte wichtig:

- Linea temporalis des Os frontale
- Processus mastoideus
- Protuberantia occipitalis externa
- Crista nuchae.

17.1.2 Zusammensetzung des Schädels (▶ Abb. 17.1)

Am Schädel unterscheidet man den Hirnschädel (**Neurocranium**) vom Gesichtsschädel (**Viscerocranium**, auch Splanchnocranium).

Der Begriff „Schädel" steht für das knöcherne Skelett, wogegen der Begriff „Kopf" neben dem Schädel zusätzlich Weichteile und innere Organe (z. B. Auge, Innenohr, Gehirn) umfasst.

Der Schädel besteht aus 20 Einzelknochen (▶ Tab. 17.1), die überwiegend über Schädelnähte (**Suturae** (S. 27)) miteinander verbunden sind.

Die wichtigsten 4 Schädelnähte sind:

- Stirnnaht (**Sutura frontalis**) zwischen den Ossa frontalia, verknöchert bereits sehr früh (zwischen dem 1. und 2. Lebensjahr),
- Kranznaht (**Sutura coronalis**) zwischen dem Os frontale und Os parietale, verknöchert im 30.–40. Lebensjahr,
- Pfeilnaht (**Sutura sagittalis**) zwischen den Ossa parietalia, verknöchert im 20.–30. Lebensjahr,
- Lambdanaht (**Sutura lambdoidea**) zwischen dem Os occipitale und den Ossa parietalia, verknöchert im 40.–50. Lebensjahr.

Das **Kiefergelenk** verbindet den Unterkiefer (Mandibula) mit dem Schläfenbein (Ostemporale).

In der Literatur findet man auch abweichende Angaben zur Zahl der Schädelknochen. Die Anzahl hängt davon ab, ob man die Gehörknöchelchen und das Zungenbein zu den Schädelknochen rechnet und ob man die beiden Knochenanlagen, aus denen sich das Os frontale entwickelt, einzeln zählt oder nicht.

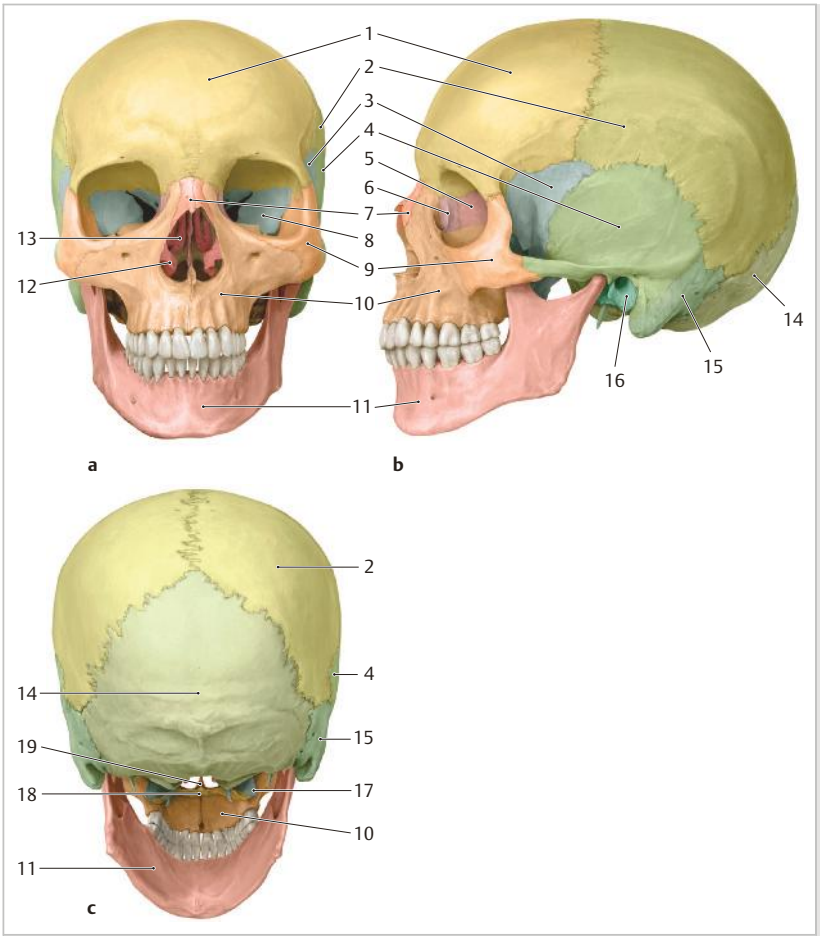


Abb. 17.1 Schädelknochen und Schädelnähte von frontal (**a**), lateral (**b**) und dorsal (**c**).
1 Os frontale
2 Os parietale
3 Os sphenoidale, Ala major
4 Os temporale, Pars squamosa
5 Os ethmoidale
6 Os lacrimale
7 Os nasale
8 Os sphenoidale, Ala major
9 Os zygomaticum
10 Maxilla
11 Mandibula
12 Concha nasalis inferior
13 Concha nasalis media
14 Os occipitale
15 Os temporale, Pars petrosa
16 Os temporale, Pars tympanica
17 Os sphenoidale
18 Os palatinum
19 Vomer
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 17.1 Schädelknochen (die Ziffern beziehen sich auf ▶ **Abb. 17.1**).

Deutsche Bezeichnung	Anatomische Bezeichnung	Anordnung
Neurocranium		
Hinterhauptsbein	Os occipitale[14]	unpaarig
Keilbein	Os sphenoidale[3, 8, 17]	unpaarig
Stirnbein	Os frontale[1]	unpaarig
Scheitelbein	Os parietale[2]	paarig
Schläfenbein	Os temporale[4, 15, 16]	paarig
Viscerocranium		
Siebbein	Os ethmoidale[5]	unpaarig
Pflugscharbein	Vomer[19]	unpaarig
Unterkiefer	Mandibula[11]	unpaarig
Oberkiefer	Maxilla[10]	paarig
Nasenbein	Os nasale[7]	paarig
Tränenbein	Os lacrimale[6]	paarig
Jochbein	Os zygomaticum[9]	paarig
Gaumenbein	Os palatinum[18]	paarig

17.1.3 Embryonalentwicklung des Schädels

Der Schädel entsteht im Wesentlichen aus 2 Anteilen:

- der knorpelig angelegte Anteil (**Chondrocranium**) verknöchert durch chondrale Ossifikation und bildet hauptsächlich die Schädelbasis,
- der mesenchymal angelegte Teil (**Desmocranium**) verknöchert durch desmale Ossifikation und bildet überwiegend die Schädelkalotte und das Viscerocranium.

Die Knochen der **Schädelkalotte** entstehen desmal aus 5 Knochenkernen. Die Knochenschuppen sind durch Schädelnähte (**Suturae**, s. o.) miteinander verbunden. An den Stellen, an denen mehrere Knochen zusammentreffen, bleiben bis ins Kleinkindalter noch von Bindegewebe bedeckte Lücken bestehen, die **Fontanellen** (**Fonticuli cranii**, ▶ **Abb. 17.2**). Durch das Bindegewebe kann man die darunterliegenden Weichteile tasten (vor allem das Gehirn).

Die **Fontanellen** geben durch Vorwölbung bzw. Einziehung Auskunft über den Liquordruck und damit über den Wasserhaushalt eines Säuglings bzw. über Störungen der Liquorzirkulation (z. B. Hydrocephalus).

Die „große Fontanelle" ist die **Stirnfontanelle** (**Fonticulus anterior**[7]), eine rautenförmige knochenfreie Zone zentral auf dem Schädel. Vorne wird sie von den Stirnbeinen (Ossa frontalia), hinten von den Scheitelbeinen (Ossa parietalia) begrenzt. Von ihr gehen seitlich die Kranznaht (Sutura coronalis[6]), nach vorne die Stirnnaht (Sutura frontalis[9]) und nach hinten die Pfeilnaht (Sutura sagittalis[8]) aus. Die Stirnfontanelle schließt sich als letzte und ungefähr 36 Monate nach der Geburt.

Die auch als „kleine Fontanelle" bezeichnete **Hinterhauptsfontanelle** (**Fonticulus posterior**[1]) ist dreieckig und liegt am Hinterkopf. Ihre vordere Begrenzung sind die beiden Scheitelbeine (Ossa parietalia), hinten grenzt sie an das Hinterhauptsbein (Os occipitale). Nach vorne geht von ihr die Pfeilnaht (Sutura sagittalis) aus, nach hinten bzw. lateral die Lambdanähte (Suturae lambdoideae[2]).

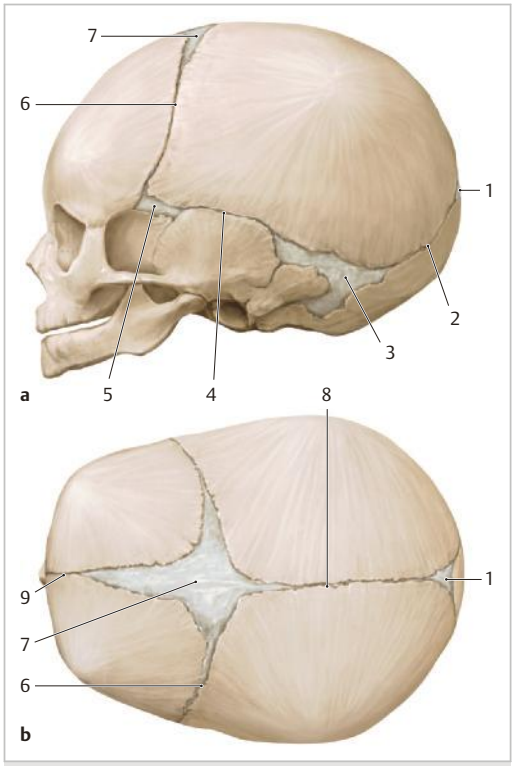


Abb. 17.2 Fontanellen am Schädel eines Neugeborenen von links (**a**) und oben (**b**).
1 Fonticulus posterior
2 Sutura lambdoidea
3 Fonticulus mastoideus
4 Sutura sphenoparietalis
5 Fonticulus sphenoidalis
6 Sutura coronalis
7 Fonticulus anterior
8 Sutura sagittalis
9 Sutura frontalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Hinterhauptsfontanelle verschließt sich im Alter von etwa 3 Monaten.

Die paarigen vorderen Seitenfontanellen (**Fonticuli sphenoidales**[5]) liegen zwischen Stirn- und Scheitelbein sowie dem großen Keilbeinflügel. Die vorderen Seitenfontanellen schließen sich etwa im Alter von 6 Monaten.

Die ebenfalls paarigen hinteren Seitenfontanellen (**Fonticuli mastoidei**[3]) befinden sich links und rechts zwischen dem Schläfen-, dem Scheitel- und dem Hinterhauptsbein. Die hinteren Seitenfonta-

nellen schließen sich etwa im Alter von 18 Monaten.

17.1.4 Schädelknochen des Erwachsenen

Der Knochen des Schädels ist in den Hauptdruck- und Zuglinien wesentlich massiver als in den weniger beanspruchten Bereichen, sodass es sich mechanisch betrachtet um eine **Rahmenkonstruktion** handelt. Die verstärkten Zonen bilden Säulen oder Pfeiler (▶ **Abb. 17.3**), die als Stützstreben in die grundsätzlich stabile Kugelform des Schädels übergehen. Zwischen diesen verstärkten Bereichen ist die Knochensubstanz mitunter stark ausgedünnt – teils ist der Knochen sogar so dünn, dass er transparent wird (z. B. in der Orbita, in der Nasenhöhle und den Nasennebenhöhlen). Beispiele für die mechanische Funktion der Rahmenkonstruktion sind die Ableitung des Kaudrucks von den Zahnalveolen und die Ursprungs- und Ansatzflächen zur Aufnahme der Zugkräfte der Kaumuskulatur.



Die Schwachstellen der Rahmenkonstruktion und der Gesamtarchitektur des Schädels führen zu typischen **Frakturlinien**, an denen es bevorzugt zu Schädelfrakturen kommt. Solche Linien verlaufen z. B. in der Schädelbasis und im Gesichtsschädel.

Neurocranium

Das Neurocranium besteht aus der Schädelkalotte und der Schädelbasis. Diese beiden Anteile umgeben die **Schädelhöhle** (**Cavitas cranii**), in der sich das Gehirn befindet.

Die **Schädelkalotte** (**Calvaria**) ist etwa 5 mm dick. In der Zone zwischen Os frontale, Os parietale und Os temporale ist sie am dünnsten. Sie besteht aus 3 Schichten: Lamina externa (kompakte äußere Schicht), Diploe (dünnere spongiöse Schicht), Lamina interna (innere kompakte Schicht).

Die **Schädelbasis** (**Basis cranii**) bildet den Boden der Schädelhöhle und besteht aus dem Os basilare, das sich aus dem Os occipitale und dem Os sphenoidale zusammensetzt. Diese beiden Knochen verbinden sich knöchern meist erst im 18. Lebensjahr.

Die Schädelbasis wird in **3 Schädelgruben** unterteilt, nämlich die vordere, mittlere und hintere Schädelgrube. Diese liegen terrassenartig gestaffelt von vorne oben nach hinten unten. Die vordere Schädelgrube (**Fossa cranii anterior**) wird vom orbitalen Teil des Os frontale gebildet. In ihr liegt der Stirnlappen (Lobus frontalis) des Gehirns. Die mittlere Schädelgrube (**Fossa cranii media**) beginnt bei den kleinen Keilbeinflügeln und reicht bis zur Oberkante der Felsenbeinpyramide. Seitlich und unten liegen die Schläfenbeinschuppe, der große Keilbeinflügel und der vordere Teil des Felsenbeins. Hier befindet sich der Temporallappen (Lobus temporalis). Die hintere Schädelgrube (**Fossa cranii posterior**) reicht von den Oberkanten der Felsenbeinpyramiden bis zur Squama occipitalis und beherbergt das Kleinhirn.

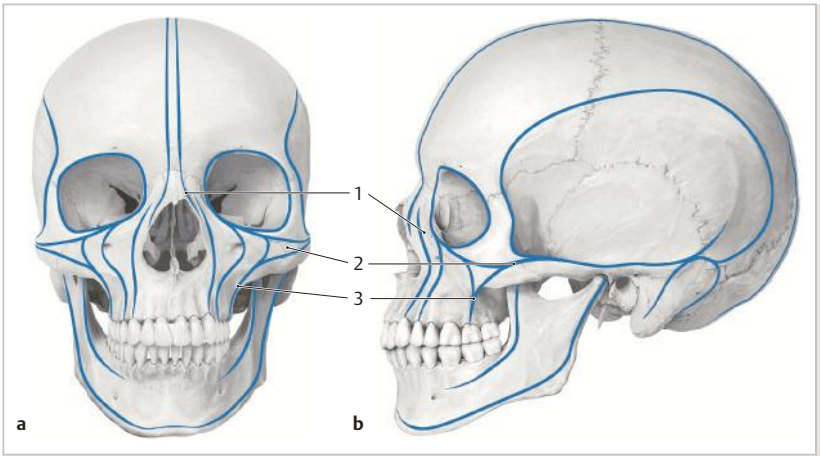


Abb. 17.3 Verstärkungspfeiler des Gesichtsschädels von frontal (**a**) und lateral (**b**).
1 Stirn-Nasen-Pfeiler
2 horizontaler Jochpfeiler
3 senkrechter Jochpfeiler
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Hinterhauptsbein (**Os occipitale**, ▶ **Abb. 17.4**). Das Os occipitale besteht aus der **Squama occipitalis** (Hinterhauptsschuppe), den **Partes laterales** und der **Pars basilaris**. Die Pars basilaris begrenzt vorne das Foramen occipitale magnum[10], am vorderen Ende grenzt sie an den Keilbeinkörper und bildet mit ihm den Clivus. Die Partes laterales begrenzen das Foramen occipitale magnum seitlich. Sie formen außerdem die **Condyli occipitales**[3], die mit dem 1. Halswirbel (Atlas) ein Gelenk bilden und so die Verbindung des Kopfes zur Halswirbelsäule herstellen. An der Incisura jugularis bildet es mit dem angrenzenden Os parietale das Foramen jugulare.

Foramina und durchtretende Strukturen (s. ▶ **Abb. 17.8** und ▶ **Abb. 17.9**):

- **Foramen jugulare**[15] **:** N. glossopharyngeus, N. vagus, N. accessorius, Sinus petrosus inferior, V. jugularis interna, A. meningea posterior (aus A. pharyngea ascendens).
- **Foramen magnum**[16] **:** Medulla oblongata, Radix spinalis des N. accessorius, Aa. vertebrales, A. spinalis anterior, Aa. spinales posteriores, Sinus marginalis.
- **Canalis n. hypoglossi**[14] **:** N. hypoglossus, Plexus venosus canalis n. hypoglossi.

Keilbein (**Os sphenoidale**, ▶ **Abb. 17.5**). Die Hauptkomponente des Os sphenoidale ist der Keilbeinkörper (**Corpus**). In dessen Zentrum liegt die **Keilbeinhöhle**, entstanden durch die Pneumatisation des Os sphenoidale. Am vorderen Ende des Corpus befindert sich eine sattelförmige Grube (**Sella turcica**[18]), die die Hypophyse aufnimmt.

Nach vorne bilden sich vom Corpus aus beidseits je 2 Flügel: die größere **Ala major**[14], die bis auf die Außenseite der Schädelkalotte reicht, und die kleinere **Ala minor**[13], die die Grenze zwischen vorderer und mittlerer Schädelgrube markiert. Folgende Flächen werden von der Ala major gebildet:

- Facies temporalis[4] nach außen,
- Facies maxillaris nach vorne unten zum Oberkierfer hin sowie dorsal zur Fossa pterygopalatina,
- Facies cerebralis zur Innenfläche,
- Facies orbitalis[3] nach vorn als Hinterwand der Augenhöhle.

Die paarigen **Processus pterygoidei**[8] reichen von der Unterfläche des Corpus nach vorne. Sie bestehen aus 2 sagittal gestellten Platten (Lamina medialis[6] und Lamina lateralis[7]), zwischen denen sich die Fossa pterygoidea[10] befindet. Die Lamina medialis läuft unten im Hamulus pterygoideus[9] aus, der als Hypomochlion für die Sehne des M. tensor veli palatini dient.

Zusammen mit dem Os occipitale bildet das Os sphenoidale einen Teil des Clivus.

Foramina und durchtretende Gebilde (s. ▶ **Abb. 17.8** und ▶ **Abb. 17.9**):

- **Canalis opticus**[6]: N. opticus, A. ophthalmica.
- **Fissura orbitalis superior**[19]: N. oculomotorius, N. trochlearis, N. ophthalmicus, N. abducens, V. ophthalmica superior, V. ophthalmica inferior.

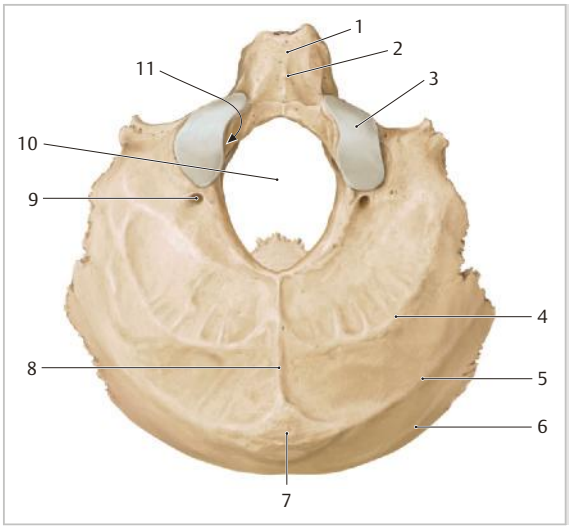


Abb. 17.4 Os occipitale von unten.
1 Pars basilaris
2 Tuberculum pharyngeum
3 Condylus occipitalis
4 Linea nuchalis inferior
5 Linea nuchalis superior
6 Linea nuchalis suprema
7 Protuberantia occipitalis externa
8 Crista occipitalis externa
9 Canalis condylaris
10 Foramen magnum
11 Canalis n. hypoglossi
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

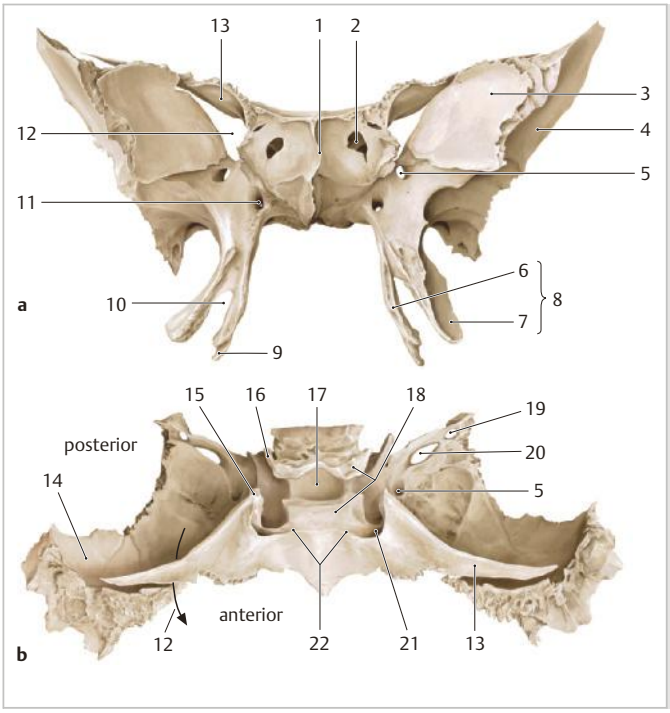


Abb. 17.5 Os sphenoidale von frontal (**a**) und oben (**b**).
1 Crista sphenoidalis
2 Apertura sinus sphenoidalis
3 Facies orbitalis
4 Facies temporalis
5 Foramen rotundum
6 Lamina medialis
7 Lamina lateralis
8 Processus pterygoideus
9 Hamulus pterygoideus
10 Fossa pterygoidea
11 Canalis pterygoideus
12 Fissura orbitalis superior
13 Ala minor
14 Ala major
15 Processus clinoideus anterior
16 Processus clinoideus posterior
17 Fossa hypophysalis
18 Sella turcica
19 Foramen spinosum
20 Foramen ovale
21 Canalis opticus
22 Jugum sphenoidale
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- **Canalis pterygoideus**[9]: N. petrosus major, N. petrosus profundus, A. canalis pterygoidei
- **Foramen rotundum**[7]: N. maxillaris.
- **Foramen ovale**[8]: N. mandibularis, Plexus venosus foraminis ovalis.
- **Foramen spinosum**[10]: A. meningea media, R. meningeus n. mandibularis.
- **Foramen sphenopalatinum**[40] (Zugang zur Nasenhöhle): A. sphenopalatina, Rr. nasales posteriores superiores laterales und mediales.

Schläfenbein (**Os temporale**, ▶ **Abb. 17.6**). Zwischen Os occipitale und Os sphenoidale schiebt sich keilförmig das Os temporale ein. Es besteht aus 3 Anteilen:
- Pars squamosa, die ein Teil der Seitenwand der Schädelkalotte bildet,
- Pars petrosa, in der Innenohr, Mittelohr und Gleichgewichtsorgan untergebracht sind,
- Pars tympanica, die den vorderen Teil des äußeren Gehörgangs bildet.

Die Pyramide der Pars petrosa ist der härteste Knochen des Körpers und wird daher auch als **Felsenbein** bezeichnet. Sie zeigt mit der Spitze zum Keilbeinkörper, ihre Basis bildet nach unten den Warzenfortsatz (**Processus mastoideus**[6]). An der vorderen Fläche der Pyramide liegt das Ganglion trigeminale in einer Vertiefung, die Hinterfläche enthält den **Porus acusticus internus**. Die untere Fläche dient als Anheftung für den **Processus styloideus**[7], der hintere Rand bildet mit dem Os occipitale zusammen das **Foramen jugulare**. In die Oberkante der Pyramide ist der **Sinus petrosus superior** eingegraben. Der Processus mastoideus und Teile der Pyramide sind **pneumatisiert**.

Foramina und durchtretende Gebilde (s. ▶ **Abb. 17.8** und ▶ **Abb. 17.9**):
- **Porus** und **Meatus acusticus internus**[22] **:** N. facialis, N. vestibulocochlearis, A. und V. labyrinthi.
- **Fissura petrotympanica**[29] (Glaser-Spalte): Chorda tympani.
- **Apertura canaliculi vestibuli**[23]**:** Ductus endolymphaticus.
- **Fissura sphenopetrosa**[30] **:** N. petrosus minor.
- **Foramen lacerum**[11] **:** N. petrosus major, N. petrosus profundus, A. canalis pterygoidei.
- **Canalis caroticus**[13] **:** A. carotis interna, Plexus caroticus internus.

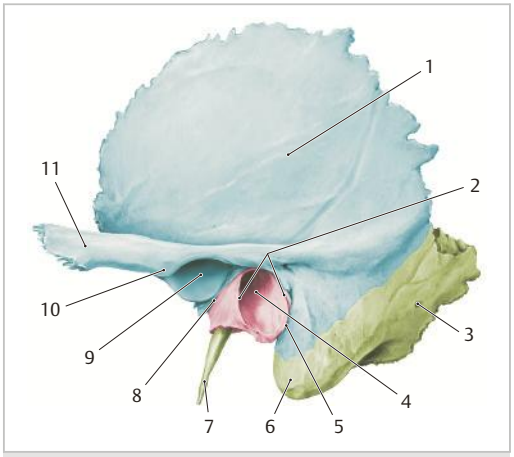


Abb. 17.6 Os temporale von links lateral.
blau: Pars squamosa, grün: Pars petrosa, rot: Pars tympanica
1 Facies temporalis
2 Porus acusticus externus
3 Foramen mastoideum
4 Meatus acusticus externus
5 Fissura tympanomastoidea
6 Processus mastoideus
7 Processus styloideus
8 Fissura petrotympanica
9 Fossa mandibularis
10 Tuberculum articulare
11 Processus zygomaticus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- **Canaliculi caroticotympanici**[12]**:** Nn. und Aa. caroticotympanici.
- **Foramen stylomastoideum**[25]**:** N. facialis, A. stylomastoidea.
- **Canaliculus tympanicus**[28]**:** N. tympanicus, A. tympanica inferior.
- **Apertura canaliculi cochleae**[26]**:** Ductus perilymphaticus.
- **Canalis musculotubarius**[31]**:** M. tensor tympani, Tuba auditiva.

Stirnbein (**Os frontale**). Das paarig angelegte Os frontale verbindet sich in der frühen Kindheit zu einem einheitlichen Knochen. Dieser besteht aus **Pars orbitalis** (Dach der Augenhöhle), **Pars nasalis** (Teil der Nasenhöhlenbegrenzung) und der **Squama frontalis** (Abgrenzung des vorderen Teils des Schädelraums). Die Pars nasalis des Os frontale bildet die knöcherne Basis für die beiden nach unten reichenden Nasenbeine (Ossa nasalia).

Am vorderen Ende des Os frontale zieht der **Processus zygomaticus** in Richtung des Os zygomaticum, das als eigenständiger Knochen das Os frontale mit dem Os temporale und der Maxilla verbindet.

In die **Incisura ethmoidalis** des Os frontale schiebt sich das zum Viscerocranium gehörende Siebbein (Os ethmoidale), das nach oben zur Schädelbasis hin nur über die Lamina cribrosa kommuniziert. Durch die paarigen Stirnhöhlen (**Sinus frontales**) wird der vordere Teil des Os frontale so weit vorgewölbt, dass sich die Augenbrauenwülste (**Arcus superciliares**) ausbilden. In der Mitte zwischen ihnen liegt ein abgeflachtes Knochenfeld, die **Glabella**.

Foramina und durchtretende Gebilde (s. ▶ **Abb. 17.8** und ▶ **Abb. 17.9**):

- **Foramen frontale** und **Incisura frontalis**[36]**:** A. und V. supratrochlearis, R. medialis n. supraorbitalis.
- **Foramen supraorbitale**[37] und **Incisura supraorbitalis:** A. und V. supraorbitalis, R. lateralis n. supraorbitalis.
- **Foramen ethmoidale anterius**[2]**:** A. und V. ethmoidalis anterior, N. ethmoidalis anterior.
- **Foramen ethmoidale posterius**[39]**:** A. und V. ethmoidalis posterior, N. ethmoidalis posterior.

Scheitelbein (**Os parietale**). Das paarige Os parietale befindet sich jeweils in der Lücke zwischen Os frontale und Os occipitale oberhalb des Os temporale. Das Os parietale besteht aus einer flachen, gewölbten Knochenplatte, die an allen Seiten über Knochennähte mit den umgebenden Knochen verbunden ist. Foramina und durchtretende Strukturen gibt es hier keine.

Viscerocranium

Die Schädelknochen, insbesondere die des Viscerocraniums, sind wie die meisten Knochen mit kleinen Vorsprüngen (Apophysen, Ansätze für die Kau-, Schlund- und mimische Muskulatur) sowie Ansatzleisten für Muskeln (z. B. M. temporalis) versehen.

Siebbein (**Os ethmoidale**, ▶ **Abb. 17.7**). Das Os ethmoidale liegt in der Mittelachse des Gesichtsschädels und schließt sich ventral an das Os sphenoidale an. Die **Lamina cribrosa**[2] ist ein vielfach durchlöcherter Knochenbezirk, durch den die Riechfäden von der Nasenhöhle in die vordere Schädelgrube ziehen. Aufgrund der Löcher handelt

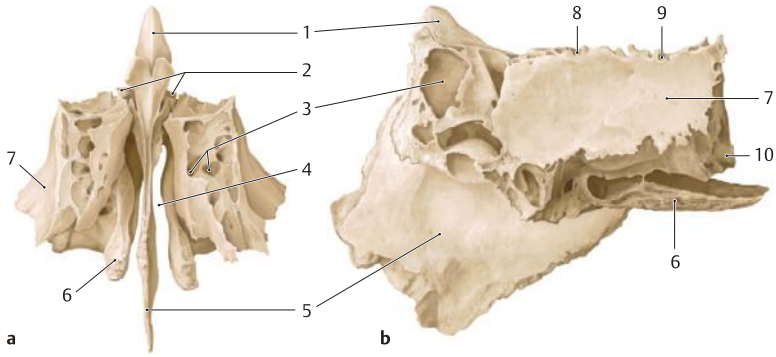


Abb. 17.7 Os ethmoidale von frontal (**a**) und links lateral (**b**).
1 Crista galli
2 Lamina cribrosa
3 Cellulae ethmoidales
4 Meatus nasalis superior
5 Lamina perpendicularis
6 Concha nasalis media
7 Lamina orbitalis
8 Foramen ethmoidale anterius
9 Foramen ethmoidale posterius
10 Concha nasalis superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

es sich um eine mechanische Schwachstelle, die bei Gewalteinwirkung leicht bricht. Die **Lamina perpendicularis**[5] ist eine dünne sagittale Knochenlamelle in der Medianebene. Lamina cribrosa und Lamina perpendicularis formen von frontal betrachtet zusammen ein „T", wobei sich die vertikale Lamina perpendicularis an ihrem unteren Ende mit dem Vomer verbindet. Unter dem **Siebbeinlabyrinth** versteht man die Gesamtheit aller pneumatisierten Räume (luftgefüllt und mit Schleimhaut ausgekleidet), die unter der Siebbeinplatte rechts und links der Lamina perpendicularis liegen. Zum Os ethmoidale gehören auch die obere und mittlere Nasenmuschel (**Concha nasalis superior**[10] und **media**[6]), wobei die obere Nasenmuschel nur ein schwacher Vorsprung ist. Die untere Nasenmuschel (Concha nasalis inferior) ist ein eigenständiger Knochen.

Foramina und durchtretende Gebilde (s. ▶ **Abb. 17.8** und ▶ **Abb. 17.9**):

- **Lamina cribrosa:**[3] Fila olfactoria n. olfactorii, A. und N. ethmoidalis anterior.

Pflugscharbein (**Vomer**). Das Vomer ergänzt das knöcherne Nasenseptum. Unten ist es mit dem harten Gaumen verbunden. Hinten oben lagert sich das Vomer mit 2 kleinen flügelartigen Fortsätzen (Alae) an das Rostrum des Keilbeinkörpers an.

Gaumenbein (**Os palatinum**). Das Os palatinum liegt zwischen Os ethmoidale, Maxilla und dem Processus pterygoideus des Os sphenoidale. Dadurch bildet sich ein keilförmiger Hohlraum, die **Fossa pterygopalatina**. Die Lamina perpendicularis spaltet sich oben in 2 Fortsätze (Processus sphenoidalis und Processus orbitalis), die das Foramen sphenopalatinum umgrenzen. Dieses Foramen verbindet die Fossa pterygopalatina mit der hinteren Nasenhöhle.

Oberkiefer (**Maxilla**). Der paarig angelegte Knochen besteht aus einem pyramidenförmigen Körper (**Corpus maxillae**) und 4 Fortsätzen. Der Körper ist pneumatisiert und beherbergt die mit Schleimhaut ausgekleidete Kieferhöhle (**Sinus maxillaris**). Er bildet 4 Flächen: Die nach oben weisende **Facies orbitalis** bildet den größten Teil des Orbitabodens. Die **Facies anterior** bildet die ventrale Maxillafläche und gewährt mit dem Foramen infraorbitale dem gleichnamigen Nerv sowie A. und V. infraorbitalis Durchtritt. Die zur Fossa infratemporalis (S. 424) gewandte Seite ist die Facies infratemporalis, nach medial liegt die Facies nasalis.

Rechter und linker **Processus palatinus** verschmelzen medial miteinander und bilden die vorderen zwei Drittel des harten Gaumens. An der Nahtstelle liegt das unpaare Foramen incisivum, in das die beiden Canales incisivi münden, die von

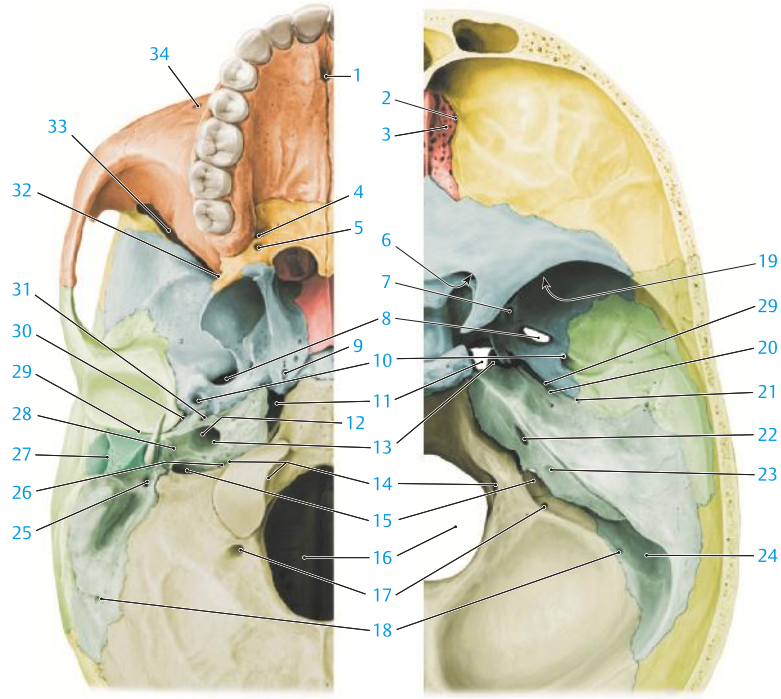


Abb. 17.8 Foramina und Durchtrittsstellen der Schädelbasis von außen (**a**) und innen (**b**).

1 Foramen incisivum
2 Foramen ethmoidale anterius
3 Lamina cribrosa
4 Foramen palatinum majus (Canalis palatinus major)
5 Foramen palatinum minus (Canalis palatinus minor)
6 Canalis opticus
7 Foramen rotundum
8 Foramen ovale
9 Canalis pterygoideus
10 Foramen spinosum
11 Foramen lacerum
12 Canaliculi caroticotympanici
13 Canalis caroticus
14 Canalis nervi hypoglossi
15 Foramen jugulare
16 Foramen magnum
17 Canalis condylaris
18 Foramen mastoideum
19 Fissura orbitalis superior
20 Hiatus canalis n. petrosi majoris
21 Hiatus canalis n. petrosi minoris
22 Porus acusticus internus
23 Apertura canaliculi vestibuli
24 Sulcus sinus sigmoidei
25 Foramen stylomastoideum
26 Apertura canaliculi cochleae
27 Porus acusticus externus
28 Canaliculus tympanicus
29 Fissura petrotympanica (Glaser-Spalte)
30 Fissura sphenopetrosa
31 Canalis musculotubarius
32 Fissura pterygomaxillaris
33 Fissura orbitalis inferior
34 Foramen infraorbitale

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

17

der Nasenhöhle schräg nach unten verlaufen. Nach vorne und seitlich unten bildet der **Processus alveolaris** den halbkreisförmigen Rand der Maxilla. Er trägt die Alveolen für die Zähne, deren Wurzeln in die entsprechenden Knochenaussparungen (Alveoli dentales) eingelassen sind. Die Alveolen der Schneidezähne und die beiden Processus palatini werden von einem keilförmigen, selbstständig angelegten Knochen ergänzt, dem Zwischenkieferknochen (**Os incisivum**). Dieser existiert aber als

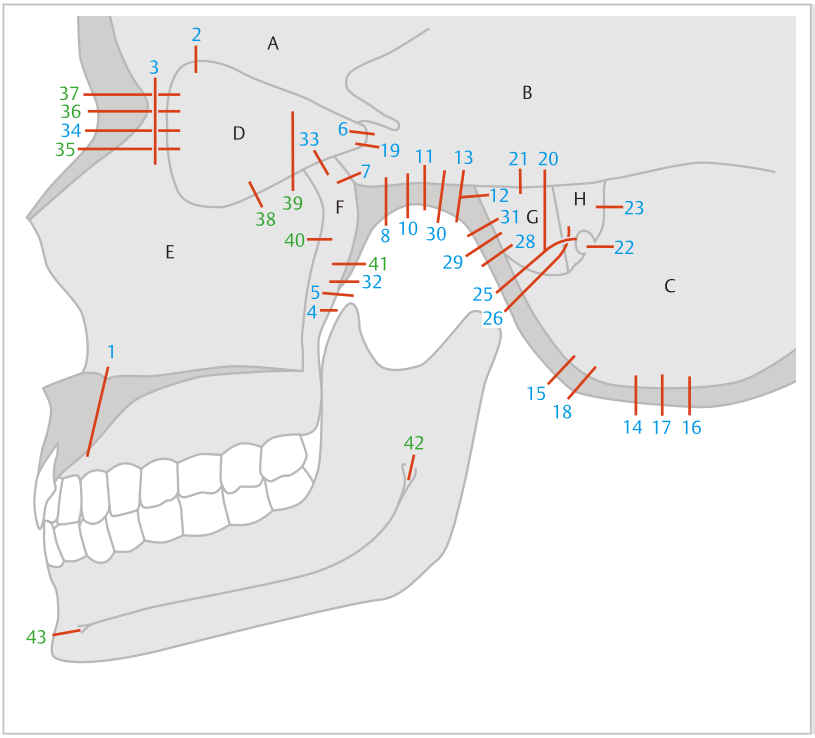


Abb. 17.9 Schädelräume und ihre Verbindungen
A: Fossa cranii anterior
B: Fossa cranii media
C: Fossa cranii posterior
D: Orbita; **E**: Cavitas nasi
F: Fossa pterygopalatina
G: Cavitas tympani
H: Auris interna
1 –34 s. ▶ **Abb. 17.8**
35 Foramen zygomaticoorbitale
36 Incisura frontalis
37 Foramen supraorbitale
38 Canalis nasolacrimalis
39 Foramen ethmoidale posterius
40 Foramen sphenopalatinum
41 Canalis pterygoideus
42 Foramen mandibulae
43 Foramen mentale
(nach Lüthje et al., Prometheus LernPaket Schädel, Thieme; 2008)

eigener Knochen nur beim Neugeborenen und verschmilzt schon früh mit den angrenzenden Knochen. Der **Processus zygomaticus** bietet dem Os zygomaticum die mediale Abstützung. Der **Processus frontalis** ragt nach vorne oben aus dem Maxillakörper heraus und bildet die mediale Begrenzung der Orbita.

Foramina und durchtretende Gebilde (s. ▶ **Abb. 17.8** und ▶ **Abb. 17.9**):

- **Foramen infraorbitale[34] , Canalis infraorbitalis:** A. und V. infraorbitalis, N. infraorbitalis.
- **Fissura pterygomaxillaris[32] :** A. maxillaris, Nn. alveolares superiores posteriores.
- **Foramina incisiva[1] :** N. nasopalatinus, Rr. septales posteriores a. sphenopalatinae.
- **Foramina alveolaria:** A.und V. alveolaria superior posterior, Rr. alveolares superiores posteriores n. infraorbitalis.

Nasenbein (**Os nasale**, ▶ **Abb. 17.1[7]**). Das Nasenbein bildet die knöcherne Bedeckung der Nasenhöhle. Der innenliegende **Sulcus ethmoidalis** (Gefäß-Nerven-Kanal) steht über das **Foramen nasale** mit der Außenfläche in Verbindung.

Untere Nasenmuschel (**Concha nasalis inferior**, ▶ **Abb. 17.1[12]**). Die untere Nasenmuschel ist im Gegensatz zur mittleren und oberen Muschel ein eigenständiger Knochen. Sie beteiligt sich am Aufbau der Nasenhöhle. Unterhalb von ihr mündet der Tränennasengang.

Tränenbein (**Os lacrimale**, ▶ **Abb. 17.1[6]**). Das Os lacrimale bildet einen Teil der lateralen Nasenwand und der medialen Orbitawand. Seine muldenförmige Rinne (**Fossa sacci lacrimalis**) setzt sich nach unten in den Tränennasenkanal (**Ductus nasolacrimalis**) fort. Der Ausgang dieses Kanals wird von einem kleinen Fortsatz (**Hamulus lacrimalis**) umschlossen.

Jochbein (**Os zygomaticum**, ▶ **Abb. 17.1[9]**). Das Os zygomaticum setzt den Processus zygomaticus des Oberkiefers fort und umgrenzt die **Fossa temporalis**. Der **Processus orbitalis** ist am Aufbau der Orbita beteiligt.

Foramina und durchtretende Gebilde:

- **Foramen zygomaticofaciale:** R. zygomaticofaciale n. zygomatici.
- **Foramen zygomaticotemporale:** R. zygomaticotemporale n. zygomatici.

Unterkiefer (**Mandibula**, ▶ **Abb. 17.1**[11]). Die unpaare Mandibula besteht aus dem gebogenen Körper (**Corpus mandibulae**) und den aufsteigenden Unterkieferästen (**Rami mandibulae**), die jeweils in 2 Fortsätzen, den Muskelfortsätzen (**Processus coronoidei**) und den Gelenkfortsätzen (**Processus condylares**) mit ihren Gelenkköpfchen (**Capites mandibulares**) auslaufen. Zwischen Processus condylaris und Processus coronoideus liegt jeweils eine bogenförmige Vertiefung (**Incisura mandibulae**). Der Processus condylaris artikuliert mit dem Os temporale an der Wurzel des Processus zygomaticus (**Fossa mandibularis**) im Kiefergelenk (S. 453).

Corpus und Ramus mandibulae sind um 90–140° gegeneinander geknickt (**Angulus mandibulae**). Die Größe dieses Winkels hängt vom Alter und dem Zustand der Zähne ab – beim Kleinkind und im Greisenalter ist er aufgrund der kleineren bzw. fehlenden Zähne größer als bei normaler Bezahnung.

Die Grundlage des Unterkieferkörpers ist der aus Kompakta bestehende Basalbogen, auf dem die zahntragenden Processus alveolares mit den trennenden Septae interalveolaria aufgesetzt sind. Der Gefäßnervenkanal (**Canalis mandibulae**) beginnt in der Mitte des Ramus mandibulae mit einem von einer knöchernen Lingula überdeckten **Foramen mandibulare** (▶ **Abb. 17.9**[42]) und endet in Höhe des 2. Prämolaren im Foramen mentale.

Da an der Mandibula für deren Bewegung teils sehr kräftige Muskeln ansetzen, weist sie verschiedene Rauigkeiten für diese Muskelansätze auf. Hierzu zählen vorne innen die Spina mentalis und die Fossa digastrica, außen die Tuberositas masseterica und innen die Tuberositas pterygoidea sowie die Foveae pterygoideae, die Crista buccinatoria und die Linea mylohyoidea.

Foramina und durchtretende Gebilde:

- **Foramen mentale** (▶ **Abb. 17.9**[43]) **:** N. mentalis (aus N. alveolaris inferior), A. und V. mentalis.

17.2 Weichteilmantel des Kopfes

Wolfgang Schwab

Der Weichteilmantel des Kopfes überzieht den Gesichtsschädel (Viscerocranium) und den Hirnschädel (Neurocranium). Zu den Gesichtsweichteilen gehört ein fein differenziertes Bewegungssystem aus Gesichtshaut und darunterliegender mimischer Muskulatur, welches Mienenspiel (Mimik), Mundöffnung und Mundschluss sowie Lidschluss ermöglicht. Im Weichteilmantel des Schädeldachs ist die Kopfhaut mit der Sehnenplatte des M. epicranius, der Galea aponeurotica, zur beweglichen Kopfschwarte verwachsen.

17.2.1 Weichteile des Schädeldachs

Die Weichteile des Schädeldachs (Calvaria) sind zum größten Teil in 3 gleichmäßigen und dünnen Schichten angeordnet.

Die *äußere Schicht* besteht aus der Haut, die an der behaarten Kopfoberfläche derb und von grauweißlicher Farbe ist. Sie wird von Haarfollikeln und den Ausführungsgängen der Talg- und Schweißdrüsen durchsetzt.

In der *mittleren Schicht* liegt der **M. epicranius** (s. u.) mit seiner haubenförmigen Zwischensehne (**Galea aponeurotica**, Aponeurosis epicranialis, ▶ **Abb. 17.13**[19]). Von der Galea aponeurotica strahlen straffe Bindegewebszüge (Retinacula cutis) senkrecht zur Hautoberfläche in die Dermis ein. Dadurch bilden Haut, Subcutis und Galea aponeurotica eine Einheit, die als **Kopfschwarte** (Cutis callosa) bezeichnet wird. In der Schläfenregion schiebt sich der M. temporalis mit seiner zweilagigen Faszie (Fascia temporalis) zwischen Galea aponeurotica und Schädelknochen.

Zwischen der Galea aponeurotica und dem **Pericranium** (als *dritter* und tiefster *Schicht*) befindet sich lockeres (subaponeurotisches) Bindegewebe, das der beweglichen Kopfschwarte als Verschiebeschicht gegenüber dem Pericranium dient. Das Pericranium selbst ist besonders an den Suturen fest mit der Schädelkalotte verwachsen.

Unterkiefer (**Mandibula**, ▶ **Abb. 17.1**[11]). Die unpaare Mandibula besteht aus dem gebogenen Körper (**Corpus mandibulae**) und den aufsteigenden Unterkieferästen (**Rami mandibulae**), die jeweils in 2 Fortsätzen, den Muskelfortsätzen (**Processus coronoidei**) und den Gelenkfortsätzen (**Processus condylares**) mit ihren Gelenkköpfchen (**Capites mandibulares**) auslaufen. Zwischen Processus condylaris und Processus coronoideus liegt jeweils eine bogenförmige Vertiefung (**Incisura mandibulae**). Der Processus condylaris artikuliert mit dem Os temporale an der Wurzel des Processus zygomaticus (**Fossa mandibularis**) im Kiefergelenk (S. 453).

Corpus und Ramus mandibulae sind um 90–140° gegeneinander geknickt (**Angulus mandibulae**). Die Größe dieses Winkels hängt vom Alter und dem Zustand der Zähne ab – beim Kleinkind und im Greisenalter ist er aufgrund der kleineren bzw. fehlenden Zähne größer als bei normaler Bezahnung.

Die Grundlage des Unterkieferkörpers ist der aus Kompakta bestehende Basalbogen, auf dem die zahntragenden Processus alveolares mit den trennenden Septae interalveolaria aufgesetzt sind. Der Gefäßnervenkanal (**Canalis mandibulae**) beginnt in der Mitte des Ramus mandibulae mit einem von einer knöchernen Lingula überdeckten **Foramen mandibulare** (▶ **Abb. 17.9**[42]) und endet in Höhe des 2. Prämolaren im Foramen mentale.

Da an der Mandibula für deren Bewegung teils sehr kräftige Muskeln ansetzen, weist sie verschiedene Rauigkeiten für diese Muskelansätze auf. Hierzu zählen vorne innen die Spina mentalis und die Fossa digastrica, außen die Tuberositas masseterica und innen die Tuberositas pterygoidea sowie die Foveae pterygoideae, die Crista buccinatoria und die Linea mylohyoidea.

Foramina und durchtretende Gebilde:

- **Foramen mentale** (▶ **Abb. 17.9**[43]) **:** N. mentalis (aus N. alveolaris inferior), A. und V. mentalis.

17.2 Weichteilmantel des Kopfes

Wolfgang Schwab

Der Weichteilmantel des Kopfes überzieht den Gesichtsschädel (Viscerocranium) und den Hirnschädel (Neurocranium). Zu den Gesichtsweichteilen gehört ein fein differenziertes Bewegungssystem aus Gesichtshaut und darunterliegender mimischer Muskulatur, welches Mienenspiel (Mimik), Mundöffnung und Mundschluss sowie Lidschluss ermöglicht. Im Weichteilmantel des Schädeldachs ist die Kopfhaut mit der Sehnenplatte des M. epicranius, der Galea aponeurotica, zur beweglichen Kopfschwarte verwachsen.

17.2.1 Weichteile des Schädeldachs

Die Weichteile des Schädeldachs (Calvaria) sind zum größten Teil in 3 gleichmäßigen und dünnen Schichten angeordnet.

Die *äußere Schicht* besteht aus der Haut, die an der behaarten Kopfoberfläche derb und von grauweißlicher Farbe ist. Sie wird von Haarfollikeln und den Ausführungsgängen der Talg- und Schweißdrüsen durchsetzt.

In der *mittleren Schicht* liegt der **M. epicranius** (s. u.) mit seiner haubenförmigen Zwischensehne (**Galea aponeurotica**, Aponeurosis epicranialis, ▶ **Abb. 17.13**[19]). Von der Galea aponeurotica strahlen straffe Bindegewebszüge (Retinacula cutis) senkrecht zur Hautoberfläche in die Dermis ein. Dadurch bilden Haut, Subcutis und Galea aponeurotica eine Einheit, die als **Kopfschwarte** (Cutis callosa) bezeichnet wird. In der Schläfenregion schiebt sich der M. temporalis mit seiner zweilagigen Faszie (Fascia temporalis) zwischen Galea aponeurotica und Schädelknochen.

Zwischen der Galea aponeurotica und dem **Pericranium** (als *dritter* und tiefster *Schicht*) befindet sich lockeres (subaponeurotisches) Bindegewebe, das der beweglichen Kopfschwarte als Verschiebeschicht gegenüber dem Pericranium dient. Das Pericranium selbst ist besonders an den Suturen fest mit der Schädelkalotte verwachsen.

Der **M. epicranius** setzt sich aus 2 paarigen Anteilen zusammen, dem zweibäuchigen **M. occipitofrontalis** (▶ Abb. 17.13[1]) und dem **M. temporoparietalis**. Der vordere Bauch des M. occipitofrontalis (Venter frontalis) entspringt an der Haut und im subkutanen Bindegewebe der Augenbrauen und strahlt von vorn in die Galea aponeurotica ein. Sein hinterer Bauch (Venter occipitalis) hat seinen Ursprung an der Linea nuchalis suprema des Schädels und inseriert am hinteren Umfang der Galea aponeurotica.

Die von vorn und von hinten (M. occipitofrontalis) sowie seitlich (M. temporoparietalis) in die sehnige Galea aponeurotica einstrahlenden Muskelfasern des M. epicranius vermögen die Galea aponeurotica in sagittaler und transversaler Richtung zu verspannen und die Kopfschwarte (und damit auch die Haut) geringfügig zu bewegen.

Leitungsbahnen der Weichteile des Schädeldachs

Die Hauptstämme der Gefäße und Nerven erreichen von vorn, von der Seite und von hinten die Kopfschwarte und verlaufen konvergierend scheitelwärts:

- vordere Leitungsbahnen: A., V. und N. supraorbitalis, A. und V. supratrochlearis,
- seitliche Leitungsbahnen: A. und V. temporalis superficialis, N. auriculotemporalis, N. zygomaticotemporalis,
- hintere Leitungsbahnen: A. und V. occipitalis, A. und V. auricularis posterior, N. occipitalis major, N. occipitalis minor, N. auricularis magnus.

Arterien (▶ Abb. 17.10)

Die Arterien des Schädeldachs entstammen sowohl dem Strömungsgebiet der *A. carotis interna*[19] als auch der *A. carotis externa*[7]. Sie bauen ein dichtes subkutanes und kutanes Gefäßnetz auf, das zahlreiche Anastomosen zwischen den Arterien einer Seite sowie auch zur Gegenseite hinweg unterhält.

Die **A. supraorbitalis**[2] und die **A. supratrochlearis**[1] (beides Äste der A. ophthalmica aus dem Stromgebiet der A. carotis interna) erreichen am oberen Orbitarand durch die Incisura supraorbitalis bzw. durch die Incisura frontalis die Stirn und steigen mehr oder weniger senkrecht zur Kopfschwarte auf.

Die **A. temporalis superficialis**[4] ist einer der beiden Endäste der A. carotis externa[7]. Sie tritt vor dem Ohr in die Kopfschwarte ein und teilt sich in zwei Endäste: Der *R. frontalis*[11] biegt nach vorn zur Stirn ab und der *R. parietalis*[12] steigt senkrecht zum Scheitel auf.

Die **A. auricularis posterior** (dorsaler Ast der A. carotis externa) zieht über die Außenseite des Processus mastoideus und versorgt die Weichteile über und hinter dem Ohr.

Die **A. occipitalis**[16] (dorsaler Ast der A. carotis externa) versorgt den größten Teil der Weichteilbedeckung des Hinterhaupts.



Die Kopfschwartenarterien sind fest in die Retinacula cutis eingebaut und können sich deshalb bei einer Verletzung nicht kontrahieren. Eine Verletzung der Kopfschwarte ist deshalb mit starken arteriellen Blutungen verbunden. Bei intakter Haut kann der entstandene Bluterguss (Hämatom) die Haut zu einer „Beule" vorbuckeln. Besonders ausgeprägt entstehen Beulen an der Stirn, da hier die Retinacula schräg verlaufen und ein Abheben der Haut ermöglichen. An der behaarten Kopfhaut sind die Retinacula dagegen kurz und straff, sodass sich hier eine subkutane Blutung nur wenig ausbreiten kann. Einblutungen unterhalb der Galea (**Galeahämatome**) können sich dagegen unbegrenzt und rasch ausbreiten.

Zu einer Ansammlung von blutig-seröser Flüssigkeit in der Kopfschwarte des Neugeborenen kommt es bei der Geburtsgeschwulst, dem **Caput succedaneum**. Diese entsteht als venöse Stauung während des Durchtritts des kindlichen Kopfes durch den Geburtskanal. Das Caput succedaneum ist nicht auf die Schädelnähte begrenzt und betrifft jene Gebiete am Kopf des Neugeborenen, die beim Geburtsvorgang vorangehen.

Scherkräfte während des Geburtsvorgangs können beim Neugeborenen auch kleine Blutgefäße unter dem Pericranium verletzen und einen Bluterguss unter dem Pericranium (**Kephalhämatom**) hervorrufen. Durch die feste Verwachsung von Knochenhaut und Schädelnähten bleibt das (subperiostale) Kephalhämatom meist streng auf einen Knochen (oft das Os parietale) begrenzt und überschreitet nicht die Suturen.

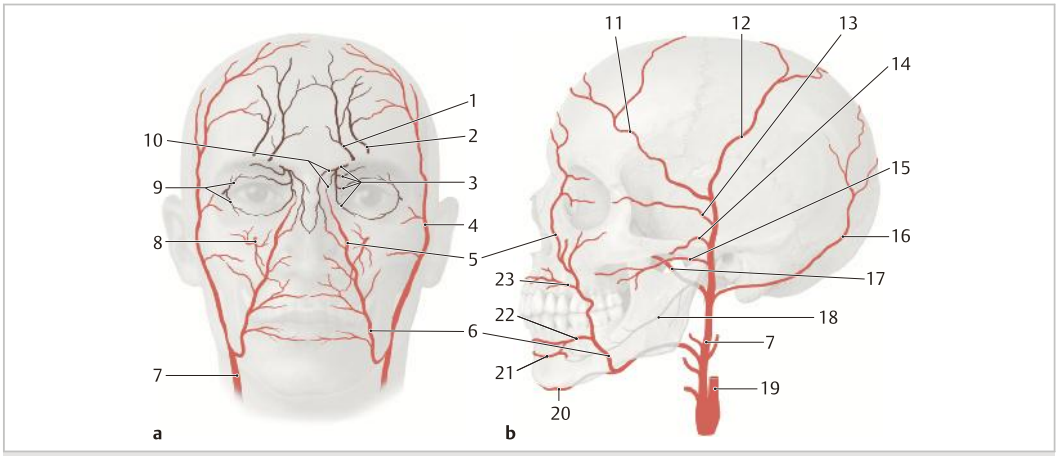


Abb. 17.10 Arterien der Kopfweichteile von vorn (**a**) und seitlich (**b**).

1 A. supratrochlearis
2 A. supraorbitalis
3 Aa. palpebrales mediales
4 A. temporalis superficialis
5 A. angularis
6 A. facialis
7 A. carotis externa
8 A. infraorbitalis
9 Aa. palpebrales laterales
10 A. dorsalis nasi
11 A. temporalis superficialis, R. frontalis
12 A. temporalis superficialis, R. parietalis
13 A. zygomaticoorbitalis
14 A. temporalis media
15 A. transversa faciei
16 A. occipitalis
17 A. maxillaris
18 A. alveolaris inferior
19 A. carotis interna
20 A. submentalis
21 A. alveolaris inferior, R. mentalis
22 A. labialis inferior
23 A. labialis superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Venen

Das Blut der Schädeldecke sammelt sich in dichten venösen Gefäßnetzen in der Subcutis und fließt anschließend über vordere, seitliche und hintere Venenstämme ab, die weitgehend dem Verlauf der Arterienstämme folgen. Abflussmöglichkeiten bestehen zusätzlich über die Vv. emissariae zu den venösen Gefäßen in der Schädelkalotte (Vv. diploicae) und zu den Blutleitern der harten Hirnhaut (Sinus durae matris).

Dringen beispielsweise aus einem Furunkel der Kopfhaut Keime bis unter die Galea aponeurotica vor, dann können sie sich über die Vv. emissariae bis in das Schädelinnere ausbreiten und eine Entzündung des Knochens (Osteomyelitis), des Gehirns (Enzephalitis) oder eine Thrombose der Sinus durae matris (**Sinusthrombose**) auslösen.

Die **Vv. supraorbitalis** und **supratrochlearis** sammeln das Blut aus der Stirnregion und stehen mit der V. ophthalmica superior und damit mit dem Sinus cavernosus bzw. über die V. angularis mit der V. facialis in Verbindung.

Die **V. temporalis superficialis** nimmt das Blut der Scheitel- und Schläfenregion auf. Sie verläuft vor dem Ohr abwärts und mündet in die V. retromandibularis.

Die **V. auricularis posterior** und die **V. occipitalis** sammeln den Hauptteil des Blutes aus der Okzipitalregion und vereinigen sich zur V. jugularis externa. Die V. occipitalis hat außerdem eine Verbindung zur V. cervicalis profunda.

Lymphabfluss

Die Lymphe der Weichteile des Schädeldachs sammelt sich in den folgenden Lymphknotenstationen

- **Nodi lymphoidei parotidei** für die Lymphe aus der Stirn- und Schläfenregion,

- **Nodi lymphoidei mastoidei** für die Lymphe der Scheitelregion,
- **Nodi lymphoidei occipitales** für die Lymphe der Hinterhauptregion.

Innervation (▶ Abb. 17.11)

An der sensiblen Innervation der Haut des Schädeldachs beteiligen sich:

- im vorderen Bereich der **N. ophthalmicus**[1] (1. Hauptast des N. trigeminus, V1),
- im seitlichen Bereich der **N. maxillaris**[9] (2. Hauptast des N. trigeminus, V2) und der **N. mandibularis**[8] (3. Hauptast des N. trigeminus, **V3**)
- im hinteren Bereich (hinter der Scheitel-Ohr-Linie) Hautäste des **Plexus cervicalis** sowie der **N. occipitalis major**[2] (R. dorsalis des 2. Spinalnervs).

Der **N. supraorbitalis** (Ast des N. frontalis, aus V1) gelangt mit dem R. medialis (durch die Incisura frontalis) und dem R. lateralis (durch die Incisura supraorbitalis) zur Haut der Stirnregion.

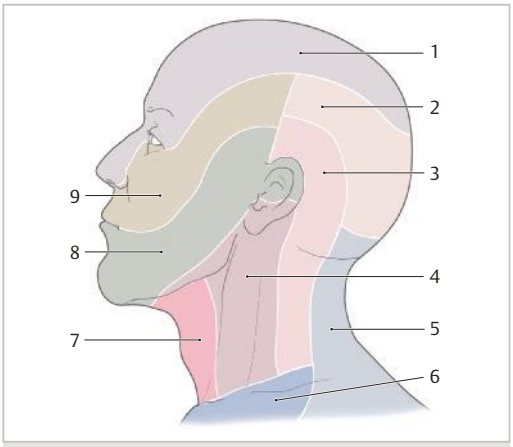


Abb. 17.11 Sensible Versorgungsgebiete der Kopf-Hals-Region.
1 N. ophthalmicus (1. Ast des N. trigeminus, V1)
2 N. occipitalis major (C 2)
3 N. occipitalis minor (C 3)
4 N. auricularis magnus (C 3)
5 Rr. dorsales nn. spinalium
6 Nn. supraclaviculares
7 N. transversus colli (C 3)
8 N. mandibularis (2. Ast des N. trigeminus, V2)
9 N. maxillaris (3. Ast des N. trigeminus, V3)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **R. zygomaticotemporalis** (Ast des N. zygomaticus, aus V2) gelangt zur Haut über der Schläfe. Der **N. auriculotemporalis** (Ast des N. mandibularis, V3) dringt vor dem Ohr zusammen mit der A. und V. temporalis superficialis in die Kopfschwarte ein und verzweigt sich entsprechend des Versorgungsgebiets der Arterie in der Haut der Schläfen- und Scheitelregion.

Der **N. auricularis magnus**[4] (Hautast des Plexus cervicalis) gelangt mit seinem R. posterior zur Haut unmittelbar hinter der Ohrmuschel. Der **N. occipitalis minor**[3] (Hautast des Plexus cervicalis) verläuft am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus aufwärts, um die seitlichen Bereiche der Kopfhaut der Hinterhauptregion zu innervieren.

Der **N. occipitalis major** (R. dorsalis des 2. Zervikalnervs) durchbohrt den Ansatz des M. trapezius in der Nähe der Protuberantia occipitalis externa und verzweigt sich in den mittleren Bereichen der Kopfhaut der Hinterhauptregion.

An der sensiblen Versorgung eines kleinen Hautbereichs hinter der Ohrmuschel sind auch Äste der Pars intermedia des N. facialis (VII) beteiligt, die sich dem *N. auricularis posterior* des N. facialis anschließen (Samandari).

17.2.2 Gesicht und Gesichtsweichteile

Oberflächenanatomie des Gesichts

Das Gesicht umfasst den Bereich zwischen Augenbraue (Supercilium) und Nasenwurzel (**Radix nasi**), Ohrmuschel (**Auricula**), Hinterrand des Unterkieferastes (**Ramus mandibulae**) sowie Unterrand des Unterkieferkörpers (**Corpus mandibulae**). Der Gesichtsbereich lässt sich in verschiedene topografische Regionen untergliedern (▶ Tab. 17.2, ▶ Abb. 17.12). Mund, Nase und Augen sind spezielle Merkmale des Gesichts (**Facies**).

Aus anatomischer Sicht wird die Stirnregion (Regio frontalis) aufgrund ihrer besonderen Beziehung zur Schädelhöhle als Bestandteil des Schädeldachs betrachtet. Im allgemeinen Sprachgebrauch reicht das Gesicht dagegen bis zum Haaransatz und bezieht die Stirn mit ein. Legt man dann eine Horizontale durch beide Pupillen (Bipupillarlinie) und durch die Mundspalte (Mundspaltenlinie), dann ergibt sich eine Unterteilung des Gesichts in Ober-, Mittel- und Untergesicht.

Tab. 17.2 Gesichtsregionen (Regiones faciales). Die Zahlen beziehen sich auf ▶ **Abb. 17.12**.

Vordere Gesichtsregionen (Regio facialis anterior)	Seitliche Gesichtsregion (Regio facialis lateralis)	
	oberflächlich (Regio facialis lateralis superficialis)	tief (Regio facialis lateralis profunda)
• Regio orbitalis[2]	• Regio buccalis[7]	• Fossa infratemporalis
• Regio infraorbitalis[3]	• Regio parotideomasseterica[9]	• Fossa pterygopalatina
• Regio zygomatica[11]		
• Regio nasalis[4]		
• Regio oralis[5]		
• Regio mentalis[6]		

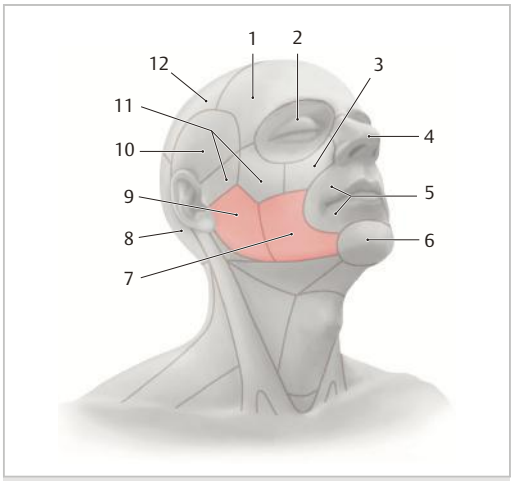


Abb. 17.12 Regionen des Kopfes. Seitliche Gesichtsregion (S. 422) eingefärbt.
1 Regio frontalis
2 Regio orbitalis
3 Regio infraorbitalis
4 Regio nasalis
5 Regio oralis
6 Regio mentalis
7 Regio buccalis
8 Regio occipitalis
9 Regio parotideomasseterica
10 Regio temporalis
11 Regio zygomatica
12 Regio parietalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Kontur der vorderen Gesichtsregion wird vor allem von dem aus Gesichtshaut und mimischer Muskulatur bestehenden Weichteilmantel und dessen knöchern-knorpeliger Unterlage bestimmt. Besonders prägnant sind das Kinn (**Mentum**) und die Jochbeinregion. An der Ausformung der seitlichen Gesichtsregion sind vor allem der Wangenfettkörper (**Corpus adiposum buccae [Bichat]**) und der wulstförmige **M. masseter** beteiligt. Aus lateraler Sicht trägt besonders das Nasenskelett zur Gestaltung des Gesichtsprofils bei.

Die **Mundspalte** (**Rima oris**) bildet den Eingang in den Verdauungstrakt. Bei geschlossenem Mund projiziert sie sich auf die Schneidekante der oberen Schneidezähne und endet an den Eckzähnen. Oberlippe (**Labium superius**) und Unterlippe (**Labium inferius**) begrenzen die Mundspalte und gehen an den beiden Mundwinkeln (**Angulus oris**) ineinander über (**Commissura labiorum**). An der Oberlippe folgt die Grenzlinie des Lippenrots zur Gesichtshaut einem doppelten Bogen, der auch als *Amor-* oder *Kubidobogen* bezeichnet wird. In der Mitte trägt die Oberlippe ein Höckerchen (**Tuberculum labii superioris**) sowie eine von dort zum Nasenseptum verlaufende mediane Rinne, das **Philtrum** (griech. philtron: das Liebliche).

Das äußere Erscheinungsbild der **Nase** prägen Nasenspitze (**Apex nasi**), Nasenflügel (**Ala nasi**), Nasenrücken (**Dorsum nasi**) und Nasenwurzel (**Radix nasi**). Die Nasenöffnungen (**Nares**) bilden den Eingang zum Atmungstrakt.

Die **Augenlider** (**Palpebrae**) bedecken den vorderen Teil des Augapfels (**Bulbus oculi**) und begrenzen die Lidspalte (**Rima palpebrarum**). Oberlid (**Palpebra superius**) und Unterlid (**Palpebra inferius**) gehen am medialen Augenwinkel (**Angulus oculi medialis**) und am lateralen Augenwinkel (**Angulus oculi lateralis**) ineinander über. Die Augenregion wird in besonderem Maße durch die Form, Dichte und Stellung der Augenbrauen (**Supercilii**) bestimmt.

Zu den **Gesichtsfurchen** des Gesichts eines Erwachsenen gehören:

- die Kinn-Lippen-Furche (**Sulcus mentolabialis**), die quer zwischen Kinn und Unterlippe verläuft,
- die Kinn-Nasen-Furche (**Sulcus nasolabialis**), die vom Mundwinkel zum Nasenflügel zieht und die vordere von der seitlichen Gesichtsregion abgrenzt,
- die Unterlidfurche (**Sulcus infrapalpebralis**) zwischen Unterlid und Wange.

Weichteilmantel des Gesichts

Zu den Gesichtsweichteilen gehören die Haut und das subkutane Binde- und Fettgewebe sowie die mimische Muskulatur. Die Beschaffenheit und die Eigenschaften der **Gesichtshaut** weisen erhebliche regionäre Unterschiede auf. Die Haut der Wangen, der Nasenflügel und des Kinns ist relativ dick, dagegen ist die Lidhaut sehr dünn. Im subkutanen Bindegewebe verlaufen die Nerven und Gefäße. Das diffus verteilte Fettpolster ist besonders kräftig am Kinn und an den Wangen ausgebildet, während es den Augenlidern fehlt.

Die in der Subcutis der Haut angeordnete **mimische Muskulatur** (lat. mimicus: possenhaft) besteht aus etwa 20 meist paarigen Muskeln, deren Ursprünge an Schädelknochen, Bindegewebssepten oder Aponeurosen liegen (▶ **Abb. 17.13**). Gegenüber der übrigen Skelettmuskulatur weist die mimische Muskulatur folgende Besonderheiten auf:

- Sie inseriert über kurze und feine elastische Sehnenfäden in der Haut und sorgt ohne die Zwangsführung eines zwischengeschalteten Gelenks für deren Plastizität und Beweglichkeit.
- Sie besitzt keine Faszienbedeckung (Ausnahme: Fascia buccopharyngea des M. buccinator).
- Sie wird als Abkömmling des zweiten Schlundbogens ausschließlich vom N. facialis (VII) innerviert.

Mit dem Akronym SMAS (superfizielles muskuloaponeurotisches System) wird in der ästhetischen Chirurgie das aus kollagenen und elastischen Fasern bestehende Netzwerk bezeichnet, das im Gesicht die Muskelzüge der mimischen Muskulatur mit der Dermis verbindet und auch mit der Fascia parotidea und der Fascia masseterica verbunden ist.

Im vorderen Teil des Gesichts gruppieren sich zirkulär und radiär angeordnete Muskelsysteme vor allem um **Mund-** und **Lidspalte** und regulieren Form, Stellung und Weite dieser Öffnungen. Nur noch rudimentär ist die mimische Muskulatur dagegen um die Nasenöffnungen und die Ohrmuscheln ausgebildet. Flächige Muskeln breiten sich außerdem am **Schädeldach** (Muskeln der Kopfschwarte) sowie über den Hals bis zur Haut von Brust und Schulter (**Platysma**[15]) aus. Besonders im Gesicht überlagern sich die mimischen Muskeln und bilden **mehrere Schichten**.

Neben ihrer Aufgabe, den Gesichtsausdruck zu verändern und damit seelische Regungen zu vermitteln, sind die mimischen Muskeln an weiteren wichtigen physiologischen Reaktionen beteiligt. Aus der Vielzahl der Muskeln sind 3 funktionell unverzichtbar für das Individuum:

- der **M. orbicularis oris**[11] für die Nahrungsaufnahme, Kaufunktion und Artikulation (Sprechen),
- der **M. buccinator**[9] zur Unterstützung des Kauvorgangs,
- der **M. orbicularis oculi**[3] für den Lidschluss und damit für den Schutz des Auges.

Muskeln der Mundspalte

Um die Mundspalte verflechten sich zirkuläre und radiäre Muskeln zu einem zusammenhängenden Muskelsystem. An der Überkreuzungsstelle der zahlreichen in die Lippen einstrahlenden Muskeln entsteht am Mundwinkel ein tastbarer Muskelknoten (**Modiolus anguli oris**).

Zu den **zirkulären Muskeln der Mundspalte** (▶ **Abb. 17.13**, ▶ Tab. 17.3) gehören der M. orbicularis oris und der M. buccinator. Der **M. orbicularis oris**[11] bildet die muskuläre Grundlage der Lippen. Seine Fasern sind bogenförmig um die Mundspalte angeordnet und inserieren an der Lippenhaut und der Schleimhaut des Mundvorhofs. Er gliedert sich in 2 Anteile:

- Die peripher gelegene *Pars labialis* reicht kranial bis zum Nasenseptum und kaudal bis zur Kinn-Lippen-Furche,
- die *Pars marginalis* grenzt unmittelbar an die Mundspalte. Sie biegt am Lippenrot hakenförmig nach außen um und lässt die Lippen „aufgekrempelt“ erscheinen.

Zahlreiche radiär ausgerichtete mimische Muskeln (s. u.) verbinden sich über den Modiolus anguli oris mit dem M. orbicularis oris.

Der **M. buccinator**[9] ist über kurze Schaltsehnen mit dem M. orbicularis oris verbunden. Die Fasern des insgesamt viereckigen Muskels überkreuzen

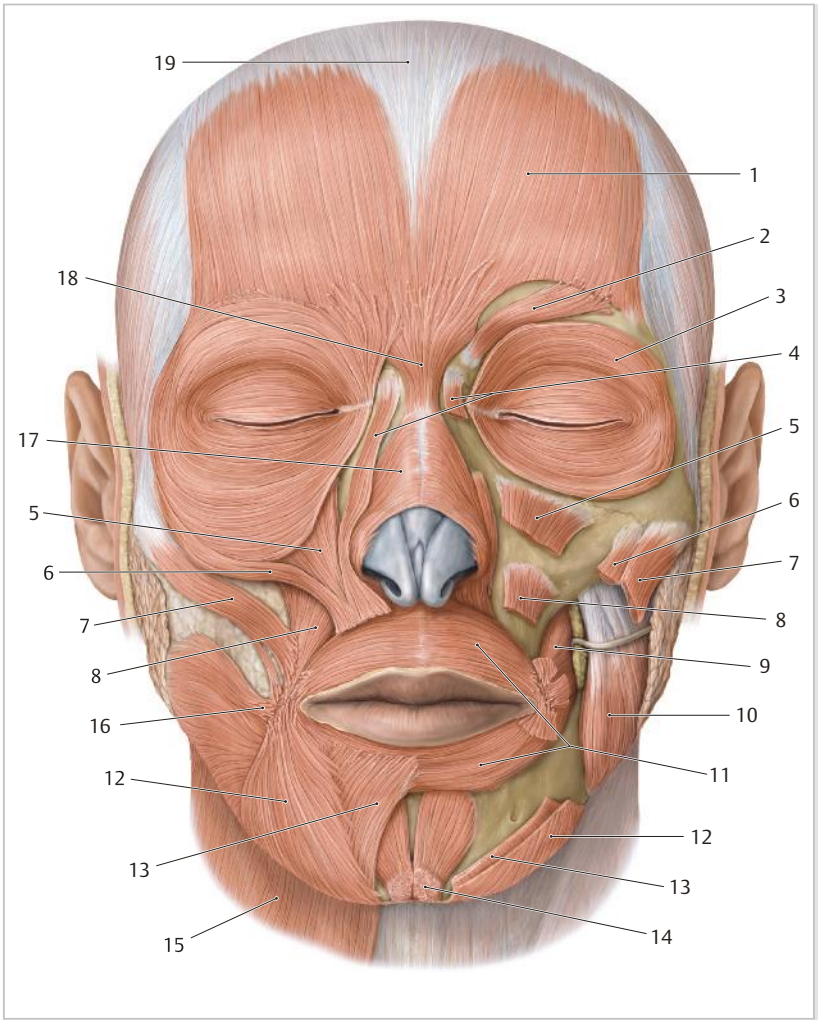


Abb. 17.13 Mimische Muskulatur. rechte Gesichtshälfte: oberflächliche Schicht; linke Gesichtshälfte: tiefe Schicht.
1 M. occipitofrontalis, Venter frontalis
2 M. corrugator supercilii
3 M. orbicularis oculi
4 M. levator labii superioris alaeque nasi
5 M. levator labii superioris
6 M. zygomaticus minor
7 M. zygomaticus major
8 M. levator anguli oris
9 M. buccinator
10 M. masseter (gehört zur Kaumuskulatur)
11 M. orbicularis oris
12 M. depressor anguli oris
13 M. depressor labii inferioris
14 M. mentalis
15 Platysma
16 M. risorius
17 M. nasalis
18 M. procerus
19 Galea aponeurotica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

sich teilweise, sodass obere Anteile des Muskels in die Unterlippe und untere Anteile in die Oberlippe einstrahlen. Er dehnt sich bis in die seitliche Gesichtsregion aus, bildet die muskuläre Grundlage der Wange und wird vom Ausführungsgang der Ohrspeicheldrüse (**Ductus parotideus**, Stenon-Gang) durchbohrt. An der **Raphe pterygomandibularis** ist der M. buccinator mit der Pars buccopharyngea des M. constrictor pharyngis superior verwachsen.

Die Raphe pterygomandibularis wirft bei weit geöffnetem Mund im hinteren Bereich des Vestibulum oris die **Plica pterygomandibularis** auf. Diese Schleimhautfalte ist eine wichtige Bezugslinie für die Einstichstelle bei einer **Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior** (S. 452) am Foramen mandibulae.

Spezielle Funktionen des M. orbicularis oris und des M. buccinator:

- Der M. orbicularis oris sorgt im Zusammenspiel mit den anderen in die Lippen einstrahlenden mimischen Muskeln für die Nahrungaufnahme (Lippen als Greif-, Tast- und Druckorgan) und für den Verschluss der Mundspalte. Der M. buccinator drängt den Bissen aus dem Mundvorhof zwischen die geöffneten Zahnreihen. Beide Muskeln

Tab. 17.3 Ausgewählte Mimik und daran beteiligte Muskeln.

Mimik	Muskeln der Mundspalte	Muskeln der Lidspalte	weitere Muskeln
Spitzen der Lippen	M. orbicularis oris		
schmale Lippen	Pars marginalis des M. orbicularis oris		
rüsselförmige Lippen	Pars labialis des M. orbicularis oris		
Vorstülpen der Unterlippe („Flunsch“ oder „Schnute“)	M. mentalis Pars labialis des M. orbicularis oris		
geöffnete Lippen und nach oben gezogene Mundwinkel (Lachen, Lächeln)	M. zygomaticus major M. zygomaticus minor M. levator labii superioris M. levator labii superioris alaeque nasi M. levator anguli oris M. risorius M. buccinator		
verkleinerte Lidspalten (Lachen)		M. orbicularis oculi	
nach unten gezogene Mundwinkel	M. depressor anguli oris M. depressor labii inferioris		
vertiefte Nasolabialfalte, zusammengezogene Augenbrauen (bei depressiver Stimmung, „Weinen“, tiefer Schmerz)	M. levator labii superioris	M. corrugator supercilii	
angehobene Augenbrauen, Querfalten auf der Stirn („Erstaunen“)			Venter frontalis des M. occipitofrontalis
Quer- und Längsfalten über der Nasenwurzel („zornig“)		M. corrugator supercilii, M. depressor supercilii	Venter frontalis des M. occipitofrontalis M. procerus

können deshalb zu den **akzessorischen Kaumuskeln** gerechnet werden.

- Als Teil der Sprechwerkzeuge sind die Lippen an der **Lautbildung** beteiligt. So entspricht jedem Vokal eine ganz bestimmte Mundstellung. Konsonanten entstehen durch das Zusammenspiel zwischen Lippen und Zähnen (Zischlaute, z. B. „S“) bzw. durch den Verschluss der Mundspalte (Verschlusslaute, z. B. „B“). Beim Spielen eines Blasinstrumentes wird durch den M. buccinator beider Seiten ein kontinuierlicher Luftstrom erzeugt (Trompetermuskel).

Die **radiären Muskeln der Mundspalte** strahlen von kranial und kaudal in die Oberlippe bzw. in die Unterlippe ein. Entsprechend der Zugrichtung kann man zwischen Hebern und Senkern der Lippen bzw. der Mundwinkel unterscheiden. Zu den Hebern der Lippen („Levatoren“) gehören der **M. levator anguli oris**[8], der **M. levator labii superioris alaeque nasi**[4], der **M. levator labii superioris**[5], der **M. zygomaticus major**[7] und der **M. zygomaticus minor**[6].

Der **M. depressor anguli oris**[12] und der **M. depressor labii inferioris**[13] ziehen die Lippen bzw. Mundwinkel nach unten („Depressoren“). Die radiären Muskeln der Mundspalte sind an der Mundöffnung beteiligt und wirken dadurch antagonistisch zum M. orbicularis oris.

Muskeln der Lidspalte

Der dominierende Muskel der Lidspalte ist der **M. orbicularis oculi** (▶ **Abb. 17.13**[3]). Seine Fasern

nehmen am medialen Augenwinkel vom **Ligamentum palpebrale mediale** ihren Ausgang, verlaufen dann konzentrisch um die Lidspalte und sind am lateralen Augenwinkel über die **Raphe palpebralis lateralis** miteinander verbunden.

Der **M. orbicularis oculi** setzt sich aus 3 Teilen zusammen:

- Die **Pars palpebralis** liegt als Bestandteil der Augenlider unmittelbar unter der Lidhaut auf dem Tarsus. Durch die Lidspalte wird die Pars palpebralis in einen Oberlid- und einen Unterlidanteil getrennt.
- Die **Pars orbitalis** legt sich auf den knöchernen Rand der Augenhöhle. Sie kann den Margo supra- bzw. infraorbitalis auch überschreiten und mit den benachbarten Muskeln Verbindungen eingehen. Obere Anteile der Pars orbitalis sind mit Fasern des M. corrugator supercilii und des Venter frontalis des M. occipitofrontalis verbunden.
- Die von der Pars orbitalis bedeckte **Pars lacrimalis** umgreift die Tränenkanälchen (**Canaliculi lacrimales**). Sie ist Bestandteil des Tränenapparats.

Der M. orbicularis oculi verschließt die Lidspalte und wirkt damit antagonistisch zum M. levator palpebrae superioris, zum M. tarsalis sowie zum Venter frontalis des M. occipitofrontalis. Beim reflektorischen **Lidschlag** (ca. 12.000 pro Tag) wird nur die Pars palpebralis des Muskels wirksam. Durch ihre Kontraktion nehmen die Muskelfasern einen horizontalen Verlauf an, sodass sich die Ränder von Oberlid- und Unterlid annähern und die Lidspalte verkürzt wird. Der Lidschlag befördert die Tränenflüssigkeit über das Auge in Richtung auf den medianen Augenwinkel. Soll die Lidspalte fest verschlossen werden (**„Zukneifen“** als Schutz des Auges vor extremer Lichtstrahlung oder vor mechanischen Einwirkungen wie Wind oder Staub), dann muss sich zusätzlich die Pars orbitalis kontrahieren. Dabei legen sich Haut und Unterhautbindegewebe über die Augenlider und pressen sie zusammen. Die Kontraktion der zirkulären Muskelfasern lässt am lateralen Augenwinkel radiäre Falten („Krähenfüße“) entstehen.

Muskeln der Nasenöffnung und des äußeren Ohrs

Die für die **Nasenfunktion** wichtigen Muskeln (**M. nasalis**, ▶ **Abb. 17.13**[17], und **M. depressor septi**) können je nach Erfordernis (z. B. forcierte Atmung oder ruhige Atmung, „Schnüffeln“) die Weite und die Stellung der Nasenöffnungen geringfügig regulieren. Die bei der Kontraktion des **M. procerus**[18] entstehenden Hautfalten an der Nasenwurzel haben dagegen eine mimische Funktion (▶ Tab. 17.3).



Die **Nasenflügelatmung** kann bei hochgradigem Sauerstoffmangel (z. B. bei einer Lungenentzündung, Pneumonie) beobachtet werden. Sie ist durch eine atemsynchrone heftige Bewegung der Nasenflügel gekennzeichnet, an der auch der M. levator labii superioris alaeque nasi beteiligt ist.

Operationen an der äußeren Nase sollten unter Kenntnis und Schonung des Muskelgewebes durchgeführt werden, um ein hölzernes Aussehen nach der Nasenkorrektur zu vermeiden.

Die Muskeln des **äußeren Ohrs** haben beim Menschen kaum noch praktische Bedeutung. Zu ihnen zählen der M. auricularis anterior, superior und posterior.

Leitungsbahnen der Gesichtsweichteile

Die Arterien, Venen und Nerven zur Versorgung des Weichteilmantels verlaufen größtenteils voneinander getrennt. Sie entstammen hauptsächlich

- der **A. facialis**, einem Ast der A. carotis externa,
- der **V. facialis**,
- den sensiblen Ästen des **N. trigeminus** (V) für die Innervation der Gesichtshaut,
- den motorischen Ästen des **N. facialis** (VII) für die Innervation der mimischen Muskulatur,
- dem **Ganglion cervicale superius** für die Innervation der Blutgefäße sowie der Talg- und Schweißdrüsen.

Arterien. Äste der **A. maxillaris** und der **A. temporalis superficialis** (▶ Tab. 17.4) sowie **Hautäste des Plexus cervicalis** ergänzen die Leitungsbahnen der Gesichtsweichteile. An der arteriellen Versorgung der Stirnregion, des Nasenrückens und der oberen Augenlider sind **Äste der A. ophthalmica** aus dem Stromgebiet der A. carotis interna beteiligt.

Tab. 17.4 Versorgung der Gesichtsweichteile durch Äste der A. maxillaris, der A. temporalis superficialis und der A. ophthalmica.

Stammarterie	Äste	Verlauf
A. maxillaris	A. infraorbitalis	tritt durch das Foramen infraorbitale zur Regio infraorbitalis
	R. mentalis der A. alveolaris inferior	tritt als Ast der A. alveolaris inferior durch das Foramen mentale zur Regio mentalis
	A. buccalis	verläuft in der Regio buccalis
A. temporalis superficialis	A. transversa faciei	gelangt am Vorderrand der Glandula parotidea in die seitliche Gesichtsregion
	A. zygomaticoorbitalis	gelangt oberhalb des Jochbogens zur Haut des lateralen Augenwinkels
A. ophthalmica	A. dorsalis nasi	zum Nasenrücken
	R. nasalis externus der A. ethmoidalis anterior	gelangt an der Knorpel-Knochen-Grenze des Nasenrückens zur Haut der äußeren Nase
	Rr. zygomatici der A. lacrimalis	gelangen durch das Foramen zygomaticotemporale bzw. durch das Foramen zygomatiofaciale zur Regio zygomatica und zur Fossa temporalis)
	Aa. palpebrales laterales der A. lacrimalis	Arcus palpebralis der Augenlider
	Aa. palpebrales mediales	

Die **A. facialis** betritt vor dem Vorderrand des M. masseter die Wangenregion (Regio buccalis). Sie gelangt dann, teilweise stark geschlängelt und unter den mimischen Muskeln verlaufend, in einem nach vorn konvexen Bogen zum medialen Augenwinkel, wo sie als A. angularis endet.

- Im Bereich der Lippen wird zuerst die **A. labialis inferior** für die Unterlippe und dann die **A. labialis superior** für die Oberlippe abgegeben. Beide Arterien können mit den Arterien der Gegenseite anastomosieren und einen regelrechten „Circulus labialis“ ausbilden.
- Zur äußeren Nase gelangen die **A. lateralis nasi** und die **A. septi nasi**.
- Der Endast, die **A. angularis**, anastomosiert mit der den Nasenrücken versorgenden **A. dorsalis nasi** aus dem Strömungsgebiet der A. ophthalmica.

Venen. Die **V. facialis** beginnt als V. angularis am medialen Augenwinkel und verläuft dann, dorsal der A. facialis, schräg über das Gesicht zur Regio buccalis, um vor dem M. masseter das Corpus mandibulae zu überqueren. In der Orbitalregion anastomosiert sie mit der V. ophthalmica superior, die einen Zufluss zum Sinus cavernosus darstellt. Sie vereinigt sich mit der **V. retromandibularis**, die über kleinere Venen ebenfalls venöses Blut der Gesichtsweichteile aufnimmt, und mündet in die **V. jugularis interna**. Hierbei sind Varietäten möglich.



Aufgrund der Anastomosen der V. facialis mit dem Stromgebiet des Sinus cavernosus (venöse Infektionspforte) kann bei einer Strömungsumkehr in der klappenlosen V. facialis ein von der Wurzelspitze eines oberen Eckzahns ausgehender **odontogener Abszess** über eine **Thrombophlebitis** der V. facialis in die Schädelhöhle weitergeleitet werden und dort zu dem lebensbedrohlichen Krankheitsbild der **Sinus-cavernosus-Thrombose** führen, das mit Fieber, Bewusstseinsstörungen, Protrusio bulbi (Vorwölbung des Augapfels), Hirnnervenlähmungen und teils auch mit epileptischen Anfällen einhergeht. Aus dem gleichen Grund ist besondere Vorsicht bei **Furunkeln** im Stirnnasendreieck des Gesichts geboten.

Lymphabfluss. Der größte Teil der Lymphe aus den Gesichtsweichteilen erreicht die **Nodi lymphoidei submandibulares** als erste Filterstation. Ein Teil der Lymphe des Gesichts durchfließt inkonstante **Nodi lymphoidei faciales buccales** als vorgeschaltete Lymphknotenstationen. Am

Tab. 17.5 Sensible Innervation der Gesichtshaut einschließlich der Stirn.

Hautäste des N. trigeminus und des Plexus cervicalis für das Gesicht	zugehöriges Hautareal	Lokalisation bzw. Durchtritt durch Foramina
N. ophthalmicus (V1)		
N. lacrimalis	seitliches Oberlid	
N. frontalis		
• R. mediales des N. supraorbitalis	Stirn bis zum Scheitel	Incisura frontalis* (zusammen mit A. und V. supratrochlearis)
• R. lateralis des N. supraorbitalis	Stirn bis zum Scheitel	Incisura supraorbitalis* (zusammen mit A. und V. supraorbitalis)
• N. supratrochlearis	mediale Anteile von Ober- und Unterlid	
N. nasociliaris		
• N. infratrochlearis	medialer Augenwinkel	
• Rr. palpebrales	Augenlider	
• Rr. nasales mediales und R. nasalis externus	Nasenrücken, Nasenflügel und Nasenspitze	
N. maxillaris (V2)		
N. infraorbitalis**		Foramen infraorbitale* (zusammen mit A. infraorbitalis)
• Rr. palpebrales inferiores	Unterlid	
• Rr. nasales externi und interni	äußere Nase und Nasenvorhof	
• Rr. labiales superiores	Oberlippe	
N. zygomaticus		
• N. zygomaticofacialis	Haut über dem Os zygomaticum	Foramen zygomaticofaciale
• N. zygomaticotemporalis	Schläfe	Foramen zygomaticotemporale
N. mandibularis (V3)		
N. auriculotemporalis		Oberrand der Glandula parotidea
• Rr. temporales superficiales	Schläfe vor und über dem Ohr	
• Nn. auriculares anteriores	Ohrmuschelvorderfläche	
N. buccalis	Wangenregion	auf dem M. buccinator
N. mentalis (Ast des N. alveolaris inferior)		Foramen mentale*
• Rr. mentales	Kinn	
• Rr. labiales	Unterlippe	
Plexus cervicalis		
N. auricularis magnus		
• R. anterior	Unterkieferwinkel und Ohrmuschelvorderfläche	

* Die Austrittstellen der Hautäste des N. trigeminus werden als Trigeminusdruckpunkte bezeichnet, an denen man die Schmerzempfindlichkeit des hindurchtretenden Nervs durch Palpation prüfen kann. Die Incisurae am Margo supraorbitalis können auch als Foramina ausgebildet sein.** Die Hautäste des N. infraorbitalis sind Teil der Gesichtsausstrahlung des N. maxillaris (s. a. Fossa pterygopalatina (S. 426)). Ihre fächerförmige Ausstrahlung in der Gesichtshaut wird auch als Pes anserinus (Gänsefuß) bezeichnet (cave: nicht zu verwechseln mit dem Pes anserinus der Beinmuskulatur).

Lymphabfluss der seitlichen Gesichtsweichteile beteiligen sich außerdem die **Nodi lymphoidei parotidei**.

Die **sensible Innervation** der Gesichtshaut verläuft über den N. trigeminus (V). Die Haut vom Ober-, Mittel- und Untergesicht kann je einem seiner 3 Hauptäste zugeordnet werden:

- der **N. ophthalmicus** (1. Hauptast des N. trigeminus, V1) für das Obergesicht oberhalb der Bipupillarlinie einschließlich der Haut des Nasenrückens,
- der **N. maxillaris** (2. Hauptast des N. trigeminus, V2) für das Mittelgesicht zwischen Bipupillar- und Mundspaltenlinie,
- der **N. mandibularis** (3. Hauptast des N. trigeminus, V3) für das Untergesicht unterhalb der Mundspaltenlinie einschließlich der Haut über der Glandula parotidea und der Regio temporalis bis zum Scheitel.

Zusätzlich beteiligt sich der N. auricularis magnus (Hautast des **Plexus cervicalis**) an der Versorgung eines kleinen Teils der Gesichtshaut am Unterkieferwinkel. Die Innervation der Gesichtshaut ist in ▶ Tab. 17.5 zusammengefasst.

Bei einer **idiopathischen Trigeminusneuralgie** treten anfallsartig heftigste Schmerzattacken im halbseitigen Ausbreitungsgebiet eines der drei Trigeminushauptäste auf, die den Betroffenen bis in den Suizid treiben können.

Die **motorische Innervation** der mimischen Muskulatur übernimmt der N. facialis (VII). Dessen Gesichtsäste entstammen dem in der Glandula parotidea gelegenen **Plexus intraparotideus** und verlassen die Drüse an deren Ober-, Vorder- und Unterrand. Im Gesicht verteilen sie sich wie die Finger einer Hand radiär, um dann in den jeweiligen mimischen Muskel einzudringen. Lediglich der N. auricularis posterior spaltet sich schon proximal der Glandula parotidea vom Hauptstamm des N. facialis ab. Die Zuordnung der Äste des N. facialis zu einzelnen mimischen Muskeln ist in ▶ Tab. 17.6 zusammengestellt.

Vegetative Innervation. Die **sympathischen Nervenfasern** entstammen postganglionären Neuronen des **Ganglion cervicale superius**. Sie erreichen als periarterielle Geflechte mit den Ästen der

Tab. 17.6 Innervation der mimischen Muskulatur durch den N. facialis (VII).

Rr. temporales	Venter frontalis des M. occipitofrontalis M. orbicularis oculi (Muskelanteil oberhalb der Lidspalte) M. corrugator supercilii M. depressor supercilii M. auricularis posterior
Rr. zygomatici	M. orbicularis oculi (Muskelanteil unterhalb und seitlich der Lidspalte) M. nasalis M. zygomaticus major M. zygomaticus minor M. levator labii superioris alaeque nasi M. levator anguli oris M. levator labii superioris
Rr. buccales	M. orbicularis ori M. buccinator M. procerus M. risorius M. depressor septi
R. marginalis mandibularis	M. orbicularis oris M. depressor anguli oris M. depressor labii inferioris M. mentalis
R. colli	Platysma
N. auricularis posterior	Venter occipitalis des M. occipitofrontalis M. auricularis posterior und superior

A. carotis externa (**Plexus caroticus externus**) bzw. der A. carotis interna (**Plexus caroticus internus**) ihre Zielgebiete (Blutgefäße, Schweißdrüsen). Ein Teil der Nervenfasern schließt sich im Bereich des Ganglion trigeminale den Hauptästen des N. trigeminus (V) an und verläuft mit ihnen zu den Gesichtsweichteilen. Parasympathische Nervenfasern beteiligen sich an der Innervation der Blutgefäße und Hautdrüsen und leiten sich von postganglionären Neuronen des Ganglion pterygopalatinum und des Ganglion oticum ab.

17.2.3 Seitliche Gesichtsregion

Die seitliche Gesichtsregion (**Regio facialis lateralis**) reicht vom Sulcus nasolabialis bis zum äußeren Ohr und an den Processus mastoideus heran. Nach oben wird sie vom Arcus zygomaticus, nach unten vom Unterrand des Corpus mandibulae begrenzt. Die seitliche Gesichtsregion gliedert sich in einen oberflächlichen und einen tiefen Teil. Die **oberflächliche seitliche Gesichtsregion** setzt sich wiederum aus einem vorderen Teil (*Regio buccalis*) und einem hinteren Teil (*Regio parotideomasseterica*) zusammen. Den **tiefen Teil der seitlichen Gesichtsregion** bildet die *Fossa infratemporalis*, die sich nach medial in die *Fossa pterygopalatina* fortsetzt.

Oberflächliche seitliche Gesichtsregion (▶ Abb. 17.14)

Begrenzungen

Die oberflächliche seitliche Gesichtsregion (S. 414) besteht aus der Regio buccalis und der Regio parotideomasseterica.

Die Wangenregion (**Regio buccalis**) ist nach dem **M. buccinator**[15] benannt, der die muskuläre Grundlage der Wange bildet. An seiner Innenseite ist der Muskel fest und damit unverschieblich mit der Schleimhaut des Mundhöhlenvorhofs (Vestibulum oris) verwachsen. Seine Fasern strahlen vorn in den M. orbicularis oris ein. Nach dorsal geht er an der Raphe pterygomandibularis in den M. constrictor pharyngis superior über. Der sich dadurch bildende Spaltraum zwischen M. buccinator, M. masseter und M. pterygoideus medialis wird von einem Fettkörper, dem **Corpus adiposum buccae** (**Bichat**), ausgefüllt. Dieser besteht aus Baufett und ist durch eine Bindegewebskapsel vom übrigen Wangenfett abgegrenzt.

Verschiedene mimische Muskeln wie der M. zygomaticus major, der M. risorius sowie Anteile des Platysmas liegen oberflächlich zum M. buccinator. Der Ductus parotideus[16] zieht durch den M. buccinator hindurch und bildet an seinem Ende eine Öffnung zur Mundhöhle hin, der auf der Innenseite des Muskels gegenüber dem 2. oberen Molaren liegt.

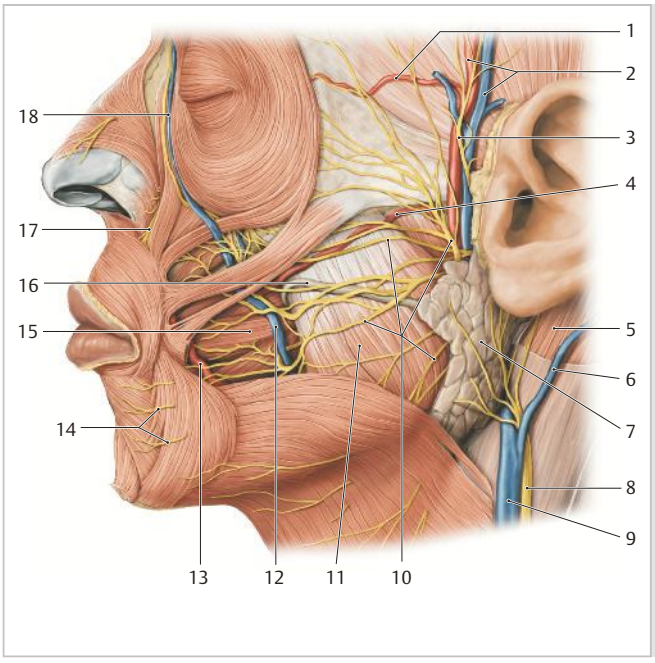


Abb. 17.14 Oberflächliche seitliche Gesichtsregion. Oberflächliche Gefäße und der Nerven.
1 A. zygomaticoorbitalis
2 A. und V. temporalis superficialis
3 N. auriculotemporalis
4 A. transversa faciei
5 M. sternocleidomastoideus
6 V. occipitalis
7 Glandula parotidea
8 N. auricularis magnus
9 V. jugularis externa
10 Äste des Plexus intraparotideus, N. facialis
11 M. masseter
12 V. facialis
13 A. facialis
14 Äste des N. mentalis
15 M. buccinator
16 Ductus parotideus
17 Äste des N. infraorbitalis
18 V. angularis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Bei Kieferschluss wird das Corpus adiposum buccae nach vorn gepresst, bei Kieferöffnung rutscht es in den oben beschriebenen Spaltraum. Bei Säuglingen bildet der Fettpfropf eine Verstärkung der Wange beim Saugvorgang. Im Alter sowie bei mageren Personen wird der Fettpfropf auf ein Minimum reduziert. Dadurch sinken die Wangen ein.

Die **Regio parotideomasseterica** beginnt am Vorderrand des M. masseter[11]. Nach kranial erstreckt sie sich bis an den Arcus zygomaticus, nach dorsal bis an den Vorderrand des M. sternocleidomastoideus[5]. Zwischen dem Hinterrand des Ramus mandibulae und dem Processus mastoideus bzw. dem M. sternocleidomastoideus befindet sich der spaltförmige retromandibuläre Raum (früher **Fossa retromandibularis**).

Die Regio parotideomasseterica wird hauptsächlich von der Ohrspeicheldrüse (Glandula parotidea[7]) ausgefüllt (S. 438). Die bindegewebige Umhüllung der Drüse durch die Fascia parotidea (als Fortsetzung der Lamina superficialis der Fascia cervicalis) wird als Parotisloge bezeichnet.

Leitungsbahnen der oberflächlichen seitlichen Gesichtsregion

Zahlreiche Leitungsbahnen der seitlichen Gesichtsregion stehen in enger topografischer Beziehung zur Glandula parotidea. Einige treten sogar in die Parotisloge ein, um diese in vertikaler oder horizontaler Richtung zu durchqueren. Aus ihnen geht ein Teil der die Drüse versorgenden Leitungsbahnen hervor.

Zu den **durch die Glandula parotidea hindurchziehenden Leitungsbahnen** gehören:

- A. carotis externa,
- V. retromandibularis,
- N. facialis,
- N. auriculotemporalis.

Die **A. carotis externa** zieht in *vertikaler* Richtung durch das Drüsengewebe. Sie kommt aus dem Trigonum caroticum und tritt von medial unten in den Drüsenkörper ein. In Höhe des Collum mandibulae teilt sie sich in ihre beiden Endäste, die A. maxillaris und die A. temporalis superficialis. Die **A. maxillaris** biegt nahezu rechtwinklig nach ventral um und gelangt hinter dem Ramus mandibulae in die tiefe seitliche Gesichtsregion. Die **A. temporalis superficialis**[2] verlässt die Drüse an ihrem Oberrand (begleitet von der V. temporalis superficialis und dem N. auriculotemporalis[3]) und überquert den Arcus zygomaticus, wo auch ihr Puls zu tasten ist, um zur Regio temporalis zu gelangen.

Die **A. transversa faciei**[4] ist ein kleiner Ast der A. temporalis superficialis, der die Glandula parotidea an ihrem Vorderrand verlässt.

Die **V. retromandibularis** entsteht in Fortsetzung der V. temporalis superficialis und nimmt die Vv. maxillares auf. Sie verläuft in der Drüse oberflächlich zur A. carotis externa und verlässt das Drüsengewebe an dessen kaudalem Rand.

Der **N. facialis** durchläuft die Glandula parotidea in *horizontaler* Richtung oberflächlich zum Gefäßstrang. Nach Eintritt in die Parotisloge bildet er einen oberen und einen unteren Hauptast, die beide durch mehrere Anastomosen miteinander verbunden sind. Dieses als **Plexus intraparotideus**[10] bezeichnete und in seiner Form äußerst variable Nervengeflecht unterteilt die Drüse in einen oberflächlichen und einen tiefen Anteil. Folgende Nervenäste gehen aus dem Plexus intraparotideus hervor und verlassen die Glandula parotidea an deren Ober-, Vorder- bzw. Unterrand, um fächerförmig zur mimischen Muskulatur von Gesicht und Hals zu ziehen (s. a. ▶ Tab. 17.6):

- Rr. temporales zur Muskulatur über der Lidspalte und dem Ohr,
- Rr. zygomatici zur Muskulatur zwischen Lid- und Mundspalte,
- Rr. buccales zur Muskulatur um den Mund,
- R. marginalis mandibularis zur Muskulatur unterhalb der Mundspalte,
- R. colli zum Platysma.



Bei **Operationen im seitlichen Gesicht** ist aufgrund der radiären Ausbreitung des N. facialis eine Schnittführung entsprechend des Verlaufs der Fazialisäste geboten. Besonders gefährdet ist der N. facialis bei Operationen in der Parotisloge, z. B. bei der Entfernung von Tumorgewebe. Eine Schädigung des N. facialis bzw. des Plexus intraparotideus führt dann zu einer peripheren Fazialislähmung, bei der im Extremfall alle mimischen Muskeln einer Gesichtshälfte gelähmt sind.

Der **N. auriculotemporalis** gibt kleinere Rr. parotidei ab, die die Gl. parotidea sensibel sowie parasympathisch versorgen, ehe er mit seinem Hauptstamm am Oberrand der Drüse die Parotisloge verlässt und sich dem Gefäßnervenbündel der Schläfe (A. und V. temporalis superficialis) anschließt.

Zu den **nicht durch die Parotisloge ziehenden Leitungsbahnen** der oberflächlichen seitlichen Gesichtsregion gehören:

- A. und V. facialis,
- A. und N. buccalis,
- R. anterior des N. auricularis magnus.

Die **A. facialis**[13] überschreitet vor dem Vorderrand des M. masseter das Corpus mandibulae, um in die Gesichtsregion einzutreten. Hier kann ihr Puls getastet werden. In der Regio buccalis kann sie mit der **A. transversa faciei**, der **A. buccalis** und der **A. infraorbitalis** anastomosieren. Für die Versorgung der Lippen gibt sie die **A. labialis superior** und **inferior** ab. Dorsal von ihr verläuft die **V. facialis**[12].

Der **N. buccalis** erreicht aus der Tiefe der Fossa infratemporalis gemeinsam mit der A. buccalis die Wangenregion. Seine Endverzweigungen gelangen sowohl zur Haut als auch – nach Durchdringung des M. buccinator – zur Wangenschleimhaut und zur vestibulären Schleimhaut und Gingiva der Mandibula. Die Haut über dem unteren Pol der Glandula parotidea wird über den **R. anterior des N. auricularis magnus** (Hautast des Plexus cervicalis) versorgt.

Mit dem N. buccalis ist das **juxtaorale Organ** (Chievitz-Organ) assoziiert. Es ist von spindelförmiger Gestalt, hat eine Länge von 0,7–1,7 cm und eine Dicke von 0,1–0,2 cm. In seinem epithelialen Parenchym finden sich myelinisierte und nicht myelinisierte Nervenfasern. Man vermutet deshalb, dass es als Mechanosensor wirkt, z. B. bei Kau- und Sprechbewegungen. Auch eine neuroendokrine Funktion wird nicht ausgeschlossen.

Tiefe seitliche Gesichtsregion

Fossa infratemporalis (▶ Abb. 17.15)

Die Fossa infratemporalis (Unterschläfengrube) bildet die untere Fortsetzung der Fossa temporalis. Ihre Form gleicht am ehesten einer unregelmäßig geformten, vierseitigen Pyramide, deren Basis (**laterale** Begrenzung der Fossa infratemporalis) außen größtenteils von der medialen Fläche des Ramus mandibulae gebildet wird. Hier befindet sich über das Foramen mandibulae der Eingang in den Canalis mandibulae. Nach **medial** verjüngt sie sich und reicht in der Tiefe der äußeren Schädelbasis bis an den Processus pterygoideus und an den Eingang in die Fossa pterygopalatina heran. An der Facies infratemporalis der Maxilla, der **ventralen** Begrenzung der Fossa infratemporalis, befinden sich 2–3 kleine Öffnungen (Foramina alveolaria), die

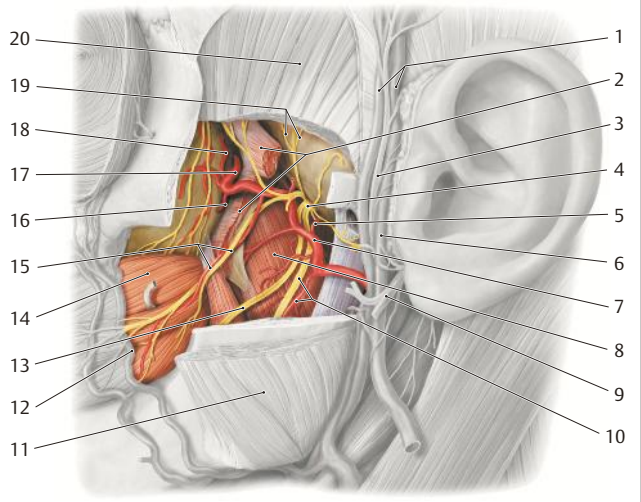


Abb. 17.15 Fossa infratemporalis (nach teilweiser Entfernung der beiden Köpfe des M. pterygoideus lateralis).
1 A. und V. temporalis superficialis
2 M. pterygoideus lateralis
3 N. auriculotemporalis
4 N. mandibularis
5 A. meningea media
6 V. retromandibularis
7 A. maxillaris
8 M. pterygoideus medialis
9 N. facialis
10 A. und N. alveolaris inferior
11 M. masseter
12 A. und V. facialis
13 N. lingualis
14 M. buccinator
15 A. und N. buccalis
16 A. alveolaris superior posterior
17 A. sphenopalatina
18 A. infraorbitalis
19 Nn. temporales profundi
20 M. temporalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

sich in feine Knochenkanäle (Canales alveolares) im Corpus maxillae fortsetzen. Nach **dorsal** schließt sich an die Fossa infratemporalis der retromandibuläre Raum an. Der Ansatz des M. pterygoideus medialis an der Mandibula bildet die **kaudale** (muskuläre) Begrenzung der Fossa infratemporalis. Der vom M. pterygoideus medialis und dem Ramus mandibulae gebildete spaltförmige *pterygomandibuläre Raum* (Spatium pterygomandibulare) stellt die untere Abteilung der Fossa infratemporalis dar.

Die knöchernen Strukturen gestatten nur eine unvollständige räumliche Charakterisierung der Wände dieser topografischen Region und sind in ▶ Tab. 17.7 zusammengefasst.

Die **Mm. pterygoidei medialis**[8] und **lateralis**[2] bilden den muskulären Inhalt der Fossa infratemporalis.

Der **M. buccinator**[14] wird erst am Vorderrand des M. pterygoideus medialis sichtbar. Sein hinterer Anteil und der Übergang in den M. constrictor pharyngis superior an der Raphe pterygomandibularis werden vom M. pterygoideus medialis überdeckt.

Die Fossa infratemporalis unterhält über Öffnungen an der Schädelbasis und über bindegewebig-muskuläre Strukturen vielfältige Nachbarschaftsbeziehungen zu anderen Regionen (▶ Tab. 17.8).

Die Nachbarschaftsbeziehungen der Fossa infratemporalis sind für die Fortleitung entzündlicher Prozesse von klinischer Bedeutung. So kann sich beispielsweise eine von einem unteren Weisheitszahn ausgehende **eitrige Entzündung** über den pterygomandibulären Raum nach dorsal in den Peripharyngealraum, über das Foramen ovale in die Schädelhöhle oder über die Fissura orbitalis inferior in die Orbita ausbreiten. Eine Ausbreitung in die Parotisloge erscheint eher unwahrscheinlich, da die Drüse eine zu große Barriere darstellt.

In der Fossa infratemporalis verlaufen folgende wichtige **Leitungsbahnen** (▶ **Abb. 17.15**):
- die Aufzweigungen des N. mandibularis,
- das parasympathische Ganglion oticum,
- die Chorda tympani,
- die A. maxillaris sowie
- der venöse Plexus pterygoideus.

Die **A. maxillaris**[7], einer der beiden Endäste der A. carotis externa, erreicht zwischen dem Lig. sphe-

Tab. 17.7 Knöcherne Begrenzungen der Fossa infratemporalis.

Richtung	begrenzende Strukturen
medial	Lamina lateralis des Processus pterygoideus des Os sphenoidale
lateral	Ramus mandibulae Arcus zygomaticus
ventral	Facies infratemporalis der Maxilla Facies temporalis des Os zygomaticum
kranial	Facies infratemporalis der Ala major des Os sphenoidale

Tab. 17.8 Nachbarschaftsbeziehungen der Fossa infratemporalis.

Richtung	Beziehung
nach kranial	• zur mittleren Schädelgrube (Fossa cranii media) über das Foramen spinosum und Foramen ovale • zur Fossa temporalis • zur Orbita über die Fissura orbitalis inferior
nach ventral	• zur Regio buccalis • zum Tuber maxillae über Foramina alveolaria
nach dorsal	• zur Parotisloge • zum Peripharyngealraum (Spatium peripharyngeum)
nach lateral	• zur Mandibula über das Foramen mandibulae
nach medial	• zur Fossa pterygopalatina über die Fissura pterygomaxillaris

nomandibulare und dem Ramus mandibulae die Fossa infratemporalis, die sie auf ihrem Weg in die Fossa pterygopalatina durchzieht (meist lateral, zuweilen auch medial des M. pterygoideus lateralis). Die Äste der A. maxillaris können 3 topografisch-anatomisch unterschiedlichen Verlaufsstrecken zugeordnet werden, wovon die ersten beiden zur Fossa infratemporalis gehören:

- Als **Pars mandibularis** bezeichnet man den Abschnitt, der medial des Ramus mandibulae verläuft. Hier gibt die A. maxillaris in kurzen Abständen Äste ab, welche die Fossa infratemporalis (teilweise über Knochenkanäle) in Richtung äußerer Gehörgang, Paukenhöhle, Kiefergelenk, Schädelhöhle und Unterkiefer verlassen. Zu den größeren Ästen in diesem Abschnitt gehören die A. alveolaris inferior[10] und die A. meningea media[5].
- Die **Pars pterygoidea** erreicht das Ausbreitungsgebiet der Mm. pterygoidei. Hier spalten sich die Äste für die Kaumuskulatur (A. masseterica, Aa. temporales profundae, Rr. pterygoidei) sowie die A. buccalis[15] ab.
- Die **Pars pterygopalatina**, der 3. Abschnitt der A. maxillaris, entspricht dem Endabschnitt der A. maxillaris in der Fossa pterygopalatina. Ihre Endäste, dazu zählen die A. sphenopalatina, die A. palatina descendens, die A. alveolaris superior posterior und die A. infraorbitalis (s. a. ▶ Tab. 17.10), gelangen zur Nasenhöhle, zum Gaumen, zu den Oberkieferzähnen und zur äußeren Gesichtsregion.

Die Fossa infratemporalis enthält außerdem den größten Anteil des venösen **Plexus pterygoideus**, eines ausgedehnten Venengeflechts, das in die V. facialis[12] und V. retromandibularis[6] abfließt. Der Plexus erstreckt sich insgesamt von der Fossa pterygopalatina über die Fossa infratemporalis bis zum Collum mandibulae und umgibt die A. maxillaris, aus deren Verästelungsgebiet die Zuflüsse stammen.

Stärkere venöse Gefäße finden sich beidseits des M. pterygoideus lateralis, kleinere Venen an der medialen Seite des M. pterygoideus medialis sowie an der Wand der Tuba auditiva.

Der Plexus pterygoideus steht außerdem über transbasale Venen und Venengeflechte wie z. B. die Vv. meningeae (Begleitvenen der A. meningea media), den Plexus foraminis ovalis und den Plexus venosus caroticus mit dem Blutgefäßsystem der Hirnhäute und den Sinus durae matris in Verbindung. In der Fossa pterygopalatina empfängt er das Blut (über die V. sphenopalatina) aus der Nasenhöhle. Über die Fissura orbitalis inferior kommuniziert er mit der V. ophthalmica inferior in der Orbita.



Die Verbindungen des Plexus pterygoideus mit der Nachbarschaft, insbesondere mit dem venösen System der Dura mater, sind für die Ausbreitung von Entzündungen aus der tiefen Gesichtsregion in die Schädelhöhle von großer klinischer Bedeutung. So können beispielsweise Entzündungen des Sinus maxillaris über den Plexus pterygoideus und den Plexus venosus foraminis ovalis auch den Sinus cavernosus erreichen und die Bildung eines Blutgerinnsels (Thrombus) im Sinus cavernosus (S. 419) verursachen (**Sinus-cavernosus-Thrombose**). Dieses lebensgefährliche Krankheitsbild geht mit Fieber, Bewusstseinsstörungen, einer Protrusio bulbi, Hirnnervenlähmungen und eventuellen epileptischen Anfällen einher.

Der **N. mandibularis**[4] (3. Ast des N. trigeminus, V3) gelangt über das Foramen ovale in die Fossa infratemporalis und teilt sich hier in seine Endäste auf. ▶ Tab. 17.9 gibt einen Überblick über die Äste und deren Verlauf in der Fossa infratemporalis.

Dem N. lingualis[13], einem der Hauptäste des N. mandibularis, legt sich medial des M. pterygoideus medialis die **Chorda tympani** an, die über die Fissura petrotympanica (Glaser-Spalte) die Fossa infratemporalis erreicht.

Das parasympathische **Ganglion oticum** liegt dicht unterhalb des Foramen ovale an der medialen Seite des N. mandibularis. Über Rr. ganglionares ist es mit dem N. mandibularis verbunden.

Fossa pterygopalatina (Flügelgaumengrube)

Die Fossa pterygopalatina ist ein spaltförmiger Raum, der von der Maxilla, dem Os sphenoidale und dem Os palatinum begrenzt wird (▶ **Abb. 17.16**):

- nach ventral: Tuber maxillae und Processus orbitalis ossis palatini,
- nach dorsal: Processus pterygoideus und Facies maxillaris der Ala major ossis sphenoidalis,
- nach kranial: Ala major und Corpus ossis sphenoidalis,

Tab. 17.9 Äste des N. mandibularis und deren Verlauf in der Fossa infratemporalis.

Nervenast	Verlauf	
R. meningeus	zieht rückläufig durch das Foramen spinosum wieder in die Schädelhöhle	
vorderer Stamm („N. masticatorius“)		
N. massetericus	zieht von medial durch die Incisura mandibulae zum M. masseter	
Nn. temporales profundi	ziehen von medial zum	M. temporalis
N. pterygoideus lateralis		M. pterygoideus lateralis
N. pterygoideus medialis		M. pterygoideus medialis
• N. musculi tensoris tympani	ziehen zum	M. tensor tympani
• N. musculi tensoris veli palatini		M. tensor veli palatini
N. buccalis	zieht zwischen den beiden Köpfen des M. pterygoideus lateralis hindurch und dann weiter auf dem M. buccinator zur oberflächlichen Gesichtsregion	
hinterer Stamm		
N. alveolaris inferior	zieht dorsolateral vom N. lingualis unterhalb des M. pterygoideus lateralis nach kaudal und gelangt durch das Foramen mandibulae in den Canalis mandibulae gibt im Canalis mandibulae den N. mentalis ab, der den Unterkiefer durch das Foramen mentale wieder verlässt	
• N. mylohyoideus	geht kurz vor dem Foramen mandibulae aus dem N. alveolaris inferior hervor und zieht in das Spatium submandibulare	
N. lingualis	nimmt die Chorda tympani auf und zieht zwischen M. pterygoideus lateralis und medialis und vor dem N. alveolaris inferior nach vorne unten in Richtung Zungenkörper	
N. auriculotemporalis	behält vorerst den Kontakt zur Schädelbasis bei, umfasst schleifenförmig die A. meningea media und biegt zwischen dem Kiefergelenk und dem äußeren Gehörgang zur Schläfenregion ab	

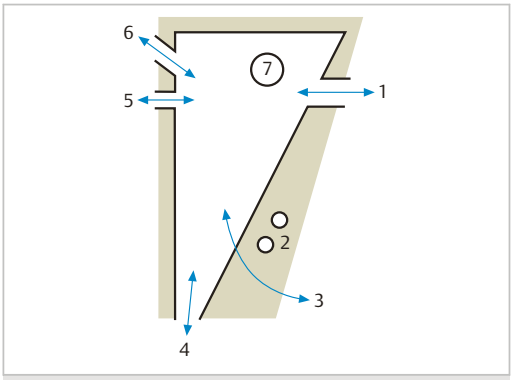


Abb. 17.16 Fossa pterygopalatina und ihre Verbindungen.
1 Fissura orbitalis inferior
2 Foramina alveolares posteriores
3 Fissura pterygomaxillaris
4 Canalis palatinus major
5 Canalis pterygoideus
6 Foramen rotundum
7 Foramen sphenopalatinum

- nach medial : Lamina perpendicularis ossis palatini.

In der Tiefe der Fossa pterygopalatina liefert die Lamina perpendicularis des Os palatinum die knöcherne Abgrenzung zur Nasenhöhle. Über das Foramen sphenopalatinum[7] besteht zu dieser aber ein direkter Zugangsweg. Nach lateral besteht über die Fissura pterygomaxillaris[3] die Verbindung zur Fossa infratemporalis.

Im oberen Teil ist die Fossa pterygopalatina noch geräumig, während sie sich nach kaudal verjüngt, um schließlich in den Canalis palatinus major[4] überzugehen. Dieser entsteht durch die Anlagerung von 2 “Halbröhren“, der Sulci palatini majores des Os palatinum und der Maxilla, zu einem vollständigen Knochenkanal. Dessen kaudale Öffnung befindet sich am Foramen palatinum majus des harten Gaumens. Als dorsale Abgliederung des Canalis palatinus major erreichen die Canales palatini minores den Gaumen über separate Foramina

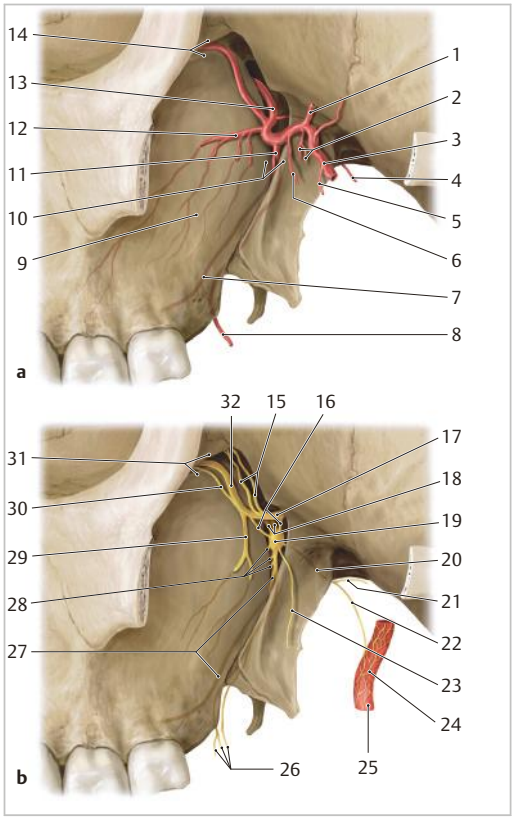


Abb. 17.17 Verzweigungen von A. maxillaris (a) und N. maxillaris (b) in der Fossa pterygopalatina. Ansicht von lateral nach Entfernung des Arcus zygomaticus.

1 Aa. temporales profundae
2 Rr. pterygoidei
3 A. maxillaris
4 A. canalis pterygoidei
5 A. masseterica
6 A. buccalis
7 A. palatina major
8 A. palatina minor
9 Tuber maxillae
10 Fissura pterygomaxillaris
11 A. palatina descendens
12 A. alveolaris superior posterior
13 A. sphenopalatina
14 Fissura orbitalis inferior
15 Rr. orbitales
16 Rr. ganglionares
17 N. maxillaris
18 Rr. nasales posteriores superiores mediales und laterales
19 Ganglion pterygopalatinum
20 N. canalis pterygoidei
21 N. petrosus major
22 N. petrosus profundus
23 N. pharyngeus
24 Plexus caroticus internus
25 A. carotis interna
26 Nn. palatini minores
27 N. palatinus major
28 Rr. nasales posteriores inferiores
29 Rr. alveolares superiores posteriores
30 N. zygomaticus
31 Fissura orbitalis inferior
32 N. infraorbitalis

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

palatini minores am Processus pyramidalis des Os palatinum.

Leitungsbahnen (▶ **Abb. 17.17**). Die Fossa pterygopalatina kommuniziert über Nerven und Gefäße mit einer Reihe von anderen Regionen des Hirn- und Gesichtsschädels und ist somit für die ein- und austretenden Gefäße und Nerven ein „Verkehrsknotenpunkt". Hier teilt sich die aus der Fossa infratemporalis über die Fissura pterygomaxillaris eintretende **A. maxillaris**[3] in ihre Endäste auf. Außerdem zweigt sich der aus der Schädelhöhle durch das Foramen rotundum in die Fossa pterygopalatina eintretende **N. maxillaris**[17] (2. Ast des N. trigeminus, V2) in seine Hauptäste auf.

Die Verbreitungsgebiete der sensiblen Äste des N. maxillaris, nachfolgend als „Ausstrahlungen" (nach Graumann) bezeichnet, charakterisieren dessen große Bedeutung für die Innervation des Mittelgesichts und seiner Eingeweidehöhlen. Die Endäste des N. infraorbitalis und des N. zygomaticus erreichen die Gesichtshaut und können als **„Gesichtsausstrahlung"** des N. maxillaris angesehen werden. Die Rr. alveolares superiores anteriores, medius und posteriores verflechten sich im Knochen über den Zahnwurzeln der Oberkieferzähne zum Plexus dentalis superior und sind Teil der **„Zahnausstrahlung"** des N. maxillaris. Die Äste für die Versorgung der Nasenhöhle und des Gaumens bilden die **„Nasen-Gaumen-Ausstrahlung"** des N. maxillaris.

Das ebenfalls in der Fossa pterygopalatina lokalisierte parasympathische **Ganglion pterygopalatinum**[19] ist über Rr. ganglionares mit dem N. maxillaris verbunden. In ihnen verlaufen die sensiblen Nervenfasern des N. maxillaris, die ohne Umschaltung durch das Ganglion hindurchziehen und die *sensible Wurzel* des Ganglions bilden. Der N. petrosus major[21] (in ihm verlaufen Neurone des Nucleus salivatorius superior) und der N. petrosus profundus[22] (postganglionäre Neurone des Ganglion cervicale superius) vereinigen sich im Canalis ptery-

Tab. 17.10 Verbindungen der Fossa pterygopalatina und durchtretende Leitungsbahnen.

Verbindung über	Verbindung zu	durchtretende Leitungsbahn
Foramen rotundum	Schädelhöhle	• N. maxillaris (V2)
Canalis pterygoideus	äußere Schädelbasis	• N. canalis pterygoidei (Vidianus) • A. und V. canalis pterygoidei
Fissura pterygomaxillaris	Fossa infratemporalis	• A. maxillaris • Plexus pterygoideus
	Foramina alveolaria am Tuber maxillae	• Rr. alveolares superiores posteriores • A. alveolaris superior posterior und Begleitvenen
Fissura orbitalis inferior	Orbita	• N. infraorbitalis (aus V2) • N. zygomaticus (aus V2) • A. infraorbitalis • nicht benannte Verbindungsvenen zur V. ophthalmica inferior
Foramen sphenopalatinum	Nasenhöhle	• Rr. nasales posteriores superiores mediales und laterales (aus V2)* • A. und V. sphenopalatina
Canalis palatinus major	Gaumen	• N. palatinus major (aus V2) • A. und V. palatina descendens und deren Verzweigungen
Canales palatini minores (aus Canalis palatinus major)		

*Der N. nasopalatinus ist ein besonders langer Ast der Rr. nasales posteriores mediales, der durch den Canalis incisivus zum harten Gaumen gelangt.

goideus zum N. canalis pterygoidei (Vidianus)[20] und bilden dessen *parasympathische* bzw. *sympathische Wurzel*. Während die parasympathischen Fasern im Ganglion von prä- auf postganglionäre Neurone umgeschaltet werden, ziehen die sympathischen Fasern durch das Ganglion hindurch. Anschließend verlaufen die parasympathischen bzw. sympathischen Nervenfasern mit den Ästen des N. maxillaris (S. 464), um an ihre Zielorte, d. h. Tränendrüse (S. 472), Drüsen der Nasenschleimhaut bzw. Speicheldrüsen der Gaumenschleimhaut (S. 434), zu gelangen.

Über welche Wege die verschiedenen Leitungsbahnen in die Fossa pterygopalatina ein- und austreten ist in ▸ Tab. 17.10 dargestellt.

Aufgrund des Verlaufs des **N. infraorbitalis** im „Dach" des Sinus maxillaris können pathologische Prozesse in der Kieferhöhle, z. B. Tumoren, auch den Nerv mit erfassen und zu Sensibilitätsausfällen in der Regio infraorbitalis führen.

17.3 Mundhöhle und Kauapparat

Wolfgang Schwab

Die Mundhöhle (**Cavitas oris**) bildet den Anfang des Verdauungstrakts und steht in offener Verbindung mit der Umwelt. In ihr herrscht durch das Zusammenspiel von äußeren (Nahrung, Atemluft) und individuellen Faktoren (Zahnstellung, Speichel, Mikroorganismen, Mundschleimhaut) ein spezielles Mundhöhlenmilieu.

Die Mundhöhle beginnt an der von den Lippen gebildeten Mundspalte (**Rima oris**) und geht an der Rachenenge (**Isthmus faucium**) in den Rachen (**Pharynx**) über. Der Gaumen (**Palatum**) bildet die obere, der Mundboden die untere und die Wangen (**Buccae**) die seitliche Begrenzung. Bis auf die schmelzbedeckten Zahnoberflächen ist die Mundhöhle allseitig von Mundschleimhaut (**Tunica mucosa oris**) ausgekleidet.

Durch den **Kauapparat**, dazu gehören **Zähne** und **Zahnhalteapparat**, **Kiefergelenke** und **Kau-**

Tab. 17.10 Verbindungen der Fossa pterygopalatina und durchtretende Leitungsbahnen.

Verbindung über	Verbindung zu	durchtretende Leitungsbahn
Foramen rotundum	Schädelhöhle	• N. maxillaris (V2)
Canalis pterygoideus	äußere Schädelbasis	• N. canalis pterygoidei (Vidianus) • A. und V. canalis pterygoidei
Fissura pterygomaxillaris	Fossa infratemporalis	• A. maxillaris • Plexus pterygoideus
	Foramina alveolaria am Tuber maxillae	• Rr. alveolares superiores posteriores • A. alveolaris superior posterior und Begleitvenen
Fissura orbitalis inferior	Orbita	• N. infraorbitalis (aus V2) • N. zygomaticus (aus V2) • A. infraorbitalis • nicht benannte Verbindungsvenen zur V. ophthalmica inferior
Foramen sphenopalatinum	Nasenhöhle	• Rr. nasales posteriores superiores mediales und laterales (aus V2)* • A. und V. sphenopalatina
Canalis palatinus major	Gaumen	• N. palatinus major (aus V2) • A. und V. palatina descendens und deren Verzweigungen
Canales palatini minores (aus Canalis palatinus major)		

*Der N. nasopalatinus ist ein besonders langer Ast der Rr. nasales posteriores mediales, der durch den Canalis incisivus zum harten Gaumen gelangt.

goideus zum N. canalis pterygoidei (Vidianus)[20] und bilden dessen *parasympathische* bzw. *sympathische Wurzel*. Während die parasympathischen Fasern im Ganglion von prä- auf postganglionäre Neurone umgeschaltet werden, ziehen die sympathischen Fasern durch das Ganglion hindurch. Anschließend verlaufen die parasympathischen bzw. sympathischen Nervenfasern mit den Ästen des N. maxillaris (S. 464), um an ihre Zielorte, d. h. Tränendrüse (S. 472), Drüsen der Nasenschleimhaut bzw. Speicheldrüsen der Gaumenschleimhaut (S. 434), zu gelangen.

Über welche Wege die verschiedenen Leitungsbahnen in die Fossa pterygopalatina ein- und austreten ist in ▸ Tab. 17.10 dargestellt.

Aufgrund des Verlaufs des **N. infraorbitalis** im „Dach" des Sinus maxillaris können pathologische Prozesse in der Kieferhöhle, z. B. Tumoren, auch den Nerv mit erfassen und zu Sensibilitätsausfällen in der Regio infraorbitalis führen.

17.3 Mundhöhle und Kauapparat

Wolfgang Schwab

Die Mundhöhle (**Cavitas oris**) bildet den Anfang des Verdauungstrakts und steht in offener Verbindung mit der Umwelt. In ihr herrscht durch das Zusammenspiel von äußeren (Nahrung, Atemluft) und individuellen Faktoren (Zahnstellung, Speichel, Mikroorganismen, Mundschleimhaut) ein spezielles Mundhöhlenmilieu.

Die Mundhöhle beginnt an der von den Lippen gebildeten Mundspalte (**Rima oris**) und geht an der Rachenenge (**Isthmus faucium**) in den Rachen (**Pharynx**) über. Der Gaumen (**Palatum**) bildet die obere, der Mundboden die untere und die Wangen (**Buccae**) die seitliche Begrenzung. Bis auf die schmelzbedeckten Zahnoberflächen ist die Mundhöhle allseitig von Mundschleimhaut (**Tunica mucosa oris**) ausgekleidet.

Durch den **Kauapparat**, dazu gehören **Zähne** und **Zahnhalteapparat**, **Kiefergelenke** und **Kau-**

muskulatur, wird die Nahrung in der Mundhöhle mechanisch zerkleinert. Den Speichel (**Saliva**) bilden vorwiegend die großen paarigen Speicheldrüsen (▶ Tab. 17.12): Ohrspeicheldrüse (**Glandula parotidea**) Unterkieferspeicheldrüse (**Glandula submandibularis**) und Unterzungenspeicheldrüse (**Glandula sublingualis**). Durch ihn wird der zerkleinerte Bissen gleit- und schluckfähig. Speichelenzyme beginnen außerdem mit dem chemischen Aufschluss der Nahrungsbestandteile. Die auf dem Mundboden liegende Zunge (**Lingua**) befördert den Bissen während der Einleitung des Schluckakts rachenwärts. Die Rezeptoren des **Tast-** und **Geschmackssinns** auf der Zungenschleimhaut dienen der mechanischen und chemischen Überprüfung der Nahrung.

Die Strukturelemente der Mundhöhle wie Zahnreihen, Lippen, Gaumen und Zunge spielen für die zwischenmenschliche Kommunikation eine wichtige Rolle, da sie an der Bildung der Sprechlaute (Artikulation) beteiligt sind. Außerdem bestimmen Zahnstellung und Kieferknochen sowie Kau- und mimische Muskulatur in starkem Maß die menschliche Physiognomie.

17.3.1 Mundhöhle (▶ Abb. 17.18)

Die Mundhöhle wird durch die zahntragenden Teile des Ober- und Unterkiefers sowie durch die beiden Zahnreihen in 2 Bereiche unterteilt:

- Mundvorhof (**Vestibulum oris**),
- Mundhöhle im engeren Sinne (**Cavitas oris propria**).

Die Schleimhaut der Mundhöhle trägt ein mehrschichtiges Plattenepithel, das an Gaumen, Zahnfleisch (Gingiva) und den Papillae filiformes auf dem Zungenrücken eine Verhornung aufweist. In der Tela submucosa der Wangen-, Lippen- und Gaumenschleimhaut sowie der Zunge sind Pakete kleiner Speicheldrüsen eingelagert (S. 440).

Entsprechend der Struktur-Funktions-Beziehungen unterscheidet man in der Mundhöhle eine „mastikatorische" (mechanisch beanspruchte Schleimhaut), von einer „auskleidenden" und einer „spezialisierten" Schleimhaut (Zungenrücken).

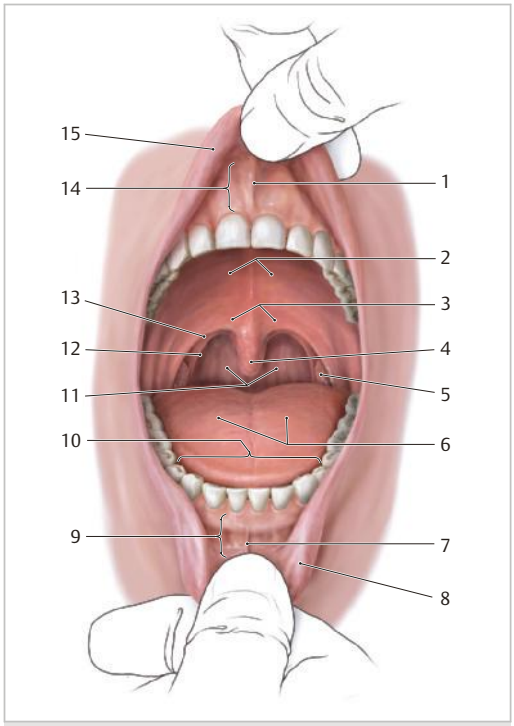


Abb. 17.18 Mundhöhle.
1 Frenulum labii superioris
2 Palatum durum
3 Palatum molle
4 Uvula
5 Tonsilla palatina
6 Dorsum linguae
7 Frenulum labii inferioris
8 Labium inferius
9 Vestibulum oris
10 Cavitas oris propria
11 Isthmus faucium
12 Arcus palatopharyngeus
13 Arcus palatoglossus
14 Vestibulum oris
15 Labium superius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Mundvorhof

Der Mundvorhof (Vestibulum oris[14]) bildet bei geschlossenem Mund einen hufeisenförmigen Spaltraum, der außen von den Lippen (**Labia oris**) bzw. der Mundspalte (**Rima oris**) und den Wangen (**Buccae**), innen von den Zahnreihen und den zahntragenden Teilen des Unterkiefers (**Pars al-**

veolaris mandibulae) und des Oberkiefers (**Processus alveolaris maxillae**) begrenzt wird.

Der Mundvorhof wird durch mehr oder weniger konstante sichelförmige Schleimhautfalten untergliedert. Die beiden Lippenbändchen (**Frenulum labii superioris**[1], **Frenulum labii inferioris**[7]) verbinden in der Medianlinie der Lippen die Vorhofschleimhaut mit der alveolären Schleimhaut des Ober- bzw. Unterkiefers. Im seitlichen Bereich des Mundvorhofs befinden sich die Wangenbändchen (**Frenulum buccae superioris**, **Frenulum buccae inferioris**).

Am Grund des Mundvorhofs (**Fornix vestibuli**) schlägt die Schleimhaut der Lippen- und Wangen in die alveoläre Schleimhaut des Ober- und Unterkiefers um.

Die Umschlagstelle befindet sich etwa in Höhe der halben Länge der Zahnwurzeln. Bei Zahnverlust bzw. bei der Atrophie der zahntragenden Teile von Oberkiefer und Unterkiefer flacht sich das Vestibulum oris ab und kann sogar vollständig nivelliert werden.

Bei pflegerischen Maßnahmen, die der Unterstützung der Mundhygiene des Patienten dienen, muss auf Lippen- und Wangenbändchen geachtet werden. Ein allzu forsches **Reinigen des Mundvorhofs** durch den Helfer kann zu schmerzhaften Verletzungen dieser Strukturen führen.

Die gute Verschieblichkeit der Fornixschleimhaut erleichtert den operativen Zugang zur Wurzelspitze eines Zahns. Im lockeren Bindegewebe der Fornixschleimhaut können sich Flüssigkeitsansammlungen (**Ödeme**) sehr gut ausbreiten und zu extremen Schwellungen führen („dicke Wange“).

Mundhöhle im engeren Sinn

Als Mundhöhle im engeren Sinn (Cavitas oris propria[10]) wird der Raum zwischen den Zahnreihen, dem Mundboden, dem Gaumen (**Palatum**) und dem Rachen (**Pharynx**) bezeichnet. Zum größten Teil wird er von der auf dem Mundboden liegenden Zunge eingenommen.

Bei geschossenen Zahnreihen steht das Vestibulum oris trotzdem noch über den retromolaren Raum hinter den 3. Molaren mit der Cavitas oris propria in Verbindung.

Lippen

Die Mundspalte (Rima oris) bildet den Eingang in die Mundhöhle. Sie wird von Oberlippe (**Labium superius**) und Unterlippe (**Labium inferius**) begrenzt. Die muskuläre Grundlage der Lippen liefert der M. orbicularis oris. Das Lippenrot ist eine scharf begrenzte Übergangszone zwischen der Haut auf der Außenseite und der Mundschleimhaut auf der Innenseite der Lippen. Im Bindegewebe der Lippenschleimhaut sind Gruppen kleiner seromuköser Speicheldrüsen (Lippendrüsen, **Glandulae labiales**, ▸ Tab. 17.12) eingelagert.

Charakteristisch für das Lippenrot ist ein Durchscheinen der Farbe des Blutes aus den Blutgefäßen des mit hohen Papillen gegen das Epithel vordringenden Stratum papillare des Coriums. Die Transparenz wird durch ein vergleichsweise dünnes und wenig verhorntes Plattenepithel mit teilweise fehlender Pigmentierung und fehlenden Haarfollikeln hervorgerufen.

Die Beurteilung der **Farbe der Lippen** kann erste Hinweise auf Erkrankungen geben. Ein Sauerstoffmangel des Organismus (Zyanose) führt zu einer dunklen Verfärbung des Blutes und damit auch zu einer Verfärbung der Lippen („blaue Lippen“). Eine Blutarmut (Anämie) äußert sich in eher blassen Lippen.

Da das Lippenrot selbst keine Drüsen enthält, wird es normalerweise durch Zungenbewegungen und während der Nahrungsaufnahme befeuchtet. Bei bewusstlosen Patienten ist deshalb die Gefahr der Austrocknung der Lippen gegeben, die durch ständiges Anfeuchten durch das Pflegepersonal verhindert werden sollte.

Wange

Die muskuläre Grundlage der Wange (**Bucca**) bildet der **M. buccinator**. An der Innenseite des Muskels ist die Wangenschleimhaut fest verwachsen und enthält wie die Lippenschleimhaut kleine Speicheldrüsen (**Glandulae buccales** und **Glandulae molares**, ▸ Tab. 17.12). In Höhe des 2. oberen Molaren markiert die **Papilla parotidea**, eine kleine Erhabenheit in der Wangenschleimhaut, die Mündungsstelle des Ausführungsgangs der Ohrspeicheldrüse (**Ductus parotideus**, Stenon-Gang),

der von außen nach innen den M. buccinator durchbohrt.

Gaumen

Der Gaumen (**Palatum**) grenzt die Mundhöhle von der Nasenhöhle und der Pars nasalis des Pharynx ab. Seine vorderen zwei Drittel sind knöchern und bilden den in sagittaler und transversaler Richtung gewölbten harten Gaumen (**Palatum durum**). Im hinteren Drittel geht er in den sehnig-muskulären weichen Gaumen (**Palatum molle**) über, der mit dem unpaaren Zäpfchen (**Uvula palatina**) endet.

Vom seitlichen Rand des auch als Gaumensegel (**Velum palatinum**) bezeichneten weichen Gaumens laufen Gaumenbögen (**Arcus palatini**) kulissenartig zum Zungengrund (Gaumen-Zungen-Bogen, **Arcus palatoglossus**) bzw. zur seitlichen Rachenwand (Gaumen-Rachen-Bogen, **Arcus palatopharyngeus**). Die Gaumenbögen sind Teil der Schlundenge (**Isthmus faucium**).

Der **harte Gaumen** (▶ **Abb. 17.19**) setzt sich aus den Gaumenfortsätzen (**Processus palatini**) der beiden Oberkieferknochen (Maxillae) und aus den dorsal angefügten **Laminae horizontales** beider Gaumenbeine (Ossa palatina) zusammen. Durch die sagittal verlaufende **Sutura palatina mediana**[3] sowie die transversale **Sutura palatina transversa**[4] sind diese 4 Strukturen zu einer Knochenplatte vereinigt, die vorn und seitlich von den **Processus alveolares** beider Maxillae eingerahmt wird.

Im hinteren Teil des harten Gaumens mündet jeweils medial vom 3. Molaren das **Foramen palatinum majus**[14] für den Durchtritt des **N. palatinus major**[5] und der **A. palatina major**[15]. Dicht dahinter liegen im Bereich des Processus pyramidalis des Os palatinum jeweils 2–3 **Foramina palatini minores**[13] für den Durchtritt der **Nn. palatini minores**[6] und der **Aa. palatinae minores**[12].

Im vorderen Bereich des harten Gaumens befindet sich am Dach der Fossa incisiva das **Foramen incisivum**[2], das die gemeinsame Öffnung der beiden Canales incisivi darstellt, die am Boden der Nasenhöhle beidseits des Nasenseptums beginnen und sich Y-förmig vereinigen.

Durch das Foramen incisivum treten der **N. nasopalatinus** (Scarpae)[1] und ein Ast der arteriellen **Rr. septales posteriores**[16] (**A. nasopalatina**) hindurch.

Die **Schleimhaut des harten Gaumens** ist unverschieblich mit dem Periost verwachsen und geht an den Alveolarfortsätzen in die palatinale Gingiva über. Hinter den mittleren Schneidezähnen befindet sich die unpaare **Papilla incisiva**, auf die sich das Foramen incisivum projiziert. Von ihr geht nach dorsal bis zum weichen Gaumen die mediane **Raphe palati** aus. Im vorderen Teil der Gaumenschleimhaut bilden beidseits der Raphe palati je 3–4 **Plicae palatini transversae** für die Zunge ein „Reibefeld" zur Zerkleinerung der Nahrung. Im hinteren Teil des harten Gaumens ist die Submukosa durch eingelagertes Fettgewebe und die

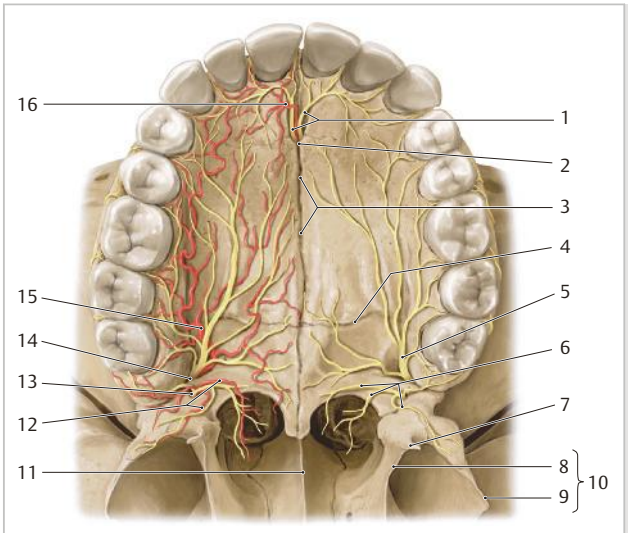


Abb. 17.19 Knöcherner Gaumen und Leitungsbahnen der Gaumenschleimhaut.
Ansicht von kaudal.
1 N. nasopalatinus
2 Foramen incisivum
3 Sutura palatina mediana
4 Sutura palatina transversa
5 N. palatinus major
6 Nn. palatini minores
7 Hamulus pterygoideus
8 Lamina medialis
9 Lamina lateralis
10 Processus pterygoideus
11 Vomer
12 Aa. palatinae minores
13 Foramen palatinum minus
14 Foramen palatinum majus
15 A. palatina major
16 Rr. septales posteriores
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

mukösen Gaumendrüsen (**Glandulae palatinae**, ▶ Tab. 17.12) druckelastisch gekammert („Gleitfeld" der Gaumenschleimhaut).

Am Schädel des Neugeborenen können 2 vom Foramen incisivum ausgehende Suturen (Suturae incisivae) das **Os incisivum** (Zwischenkieferknochen, Os intermaxillare) abgrenzen, das von J. W. v. Goethe im Jahr 1784 in Jena entdeckt wurde. Am Schädel des Erwachsenen lässt sich dieses die Schneidezähne tragende Skelettelement in den meisten Fällen nicht mehr nachweisen, da die entsprechenden Nähte inzwischen synostosiert sind.

Das Zwischenkiefersegment liefert den Bereich des Oberkiefers, der die Schneidezähne trägt, sowie einen dreieckigen Gaumenabschnitt, den *primären Gaumen*. Bei der embryonalen Umgestaltung der primären in die definitive Mundhöhle müssen sich die Gaumenfortsätze des ersten Schlundbogens in die Horizontalebene aufrichten und anschließend auch miteinander zum sekundären Gaumen verschmelzen. Unterbleibt diese Vereinigung, bei der auch das Nasenseptum einbezogen wird, dann entsteht eine **Gaumenspalte**, die hinter dem Foramen incisivum liegt. Bleibt die Vereinigung des *primären* mit dem *sekundären Gaumen* aus, so resultiert eine **Gaumenspalte**, bei der die Spaltbildung zwischen lateralem Schneidezahn und Eckzahn beginnt und in die Richtung des Foramen incisivum verläuft. Beide Spaltbildungen können einzeln oder auch kombiniert auftreten. Unterbleibt bei der Gesichtsentwicklung auch noch die Verschmelzung von Oberkieferwulst und medialem Nasenwulst, so kann im Extremfall eine kombinierte **Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalte** entstehen.

Den Hauptanteil des **weichen Gaumens** (**Palatum molle**) liefert die in das Gaumensegel einstrahlende Muskulatur (Gaumenmuskulatur). Die bindegewebige Grundlage des weichen Gaumens wird von der Gaumenaponeurose (**Aponeurosis palatina**) gebildet, die am Periost des hinteren Randes des harten Gaumens befestigt ist und für die Gaumenmuskulatur Ursprung bzw. Ansatz darstellt.

Die **Schleimhaut des weichen Gaumens** besitzt auf der der Mundhöhle zugewandten oralen Seite ein mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel, das am Hinterrand des Gaumensegels umschlägt und auf der pharyngealen Seite in variabler Höhe in das für die Schleimhaut des Respirationstrakts typische mehrreihige Flimmerepithel übergeht. Unter der Lamina propria der Schleimhaut auf der oralen Seite des Gaumensegels sind ebenfalls Gaumendrüsen und auf der pharyngealen Seite Nasendrüsen (**Glandulae nasales**) eingelagert.

Für folgende paarige Muskeln bietet das Gaumensegel Ursprung bzw. Ansatz:

- M. levator veli palatini,
- M. tensor veli palatini,
- M. uvulae,
- M. palatoglossus,
- M. palatopharyngeus.

Der **M. levator veli palatini** entspringt hauptsächlich von der Unterfläche des Felsenbeins und strahlt in die Gaumensegelaponeurose ein, wo sich die Sehnen der Muskeln beider Seiten verflechten. Mit dieser Muskelschlinge kann der weiche Gaumen angehoben werden, bis er sich an die hintere Pharynxwand anlegt. Zusammen mit dem M. tensor veli palatini formt der M. levator veli palatini einen Teil der seitlichen Wand der Pars nasalis des Pharynx (Nasopharynx).

Der **M. tensor veli palatini** hat seinen Ursprung in der Fossa scaphoidea, an der Unterseite des großen Keilbeinflügels und am Knorpel der Tuba auditiva. Zunächst zieht er als breiter Muskel abwärts. Am Hamulus des Processus pterygoideus (Hypomochlion) wird seine Sehne umgelenkt, um dann horizontal in die Gaumensegelaponeurose einzustrahlen. Durch die Kontraktion der Muskeln beider Seiten wird das Gaumensegel angehoben (Synergist zum M. levator veli palatini) und auf der Höhe der Hamuli verspannt. Befindet sich das Gaumensegel dagegen ursprünglich oberhalb der Hamuli, dann kann der M. tensor veli palatini das Gaumensegel auch bis auf die Höhe der Hamuli absenken (Antagonist zum M. levator veli palatini).

Durch seinen Ursprung am Tubenknorpel erweitert der M. tensor veli palatini beim Schlucken die Tuba auditiva. Er wird vom M. levator veli palatini unterstützt, der durch seine Kontraktion ein Widerlager für den Tubenknorpel bildet. Durch die Erweiterung der Tuba auditiva kann beispielsweise bei extremen Höhenwechseln der Ausgleich zwischen dem äußeren Luftdruck und dem Luftdruck in der Paukenhöhle erleichtert werden.

Der **M. uvulae** strahlt von der Gaumenaponeurose in das Bindegewebe des Zäpfchens (Uvula) ein. Seine Kontraktion bewirkt eine Aufrichtung und Verdickung des Zäpfchens und außerdem eine Ent-

leerung der in der Schleimhaut des Zäpfchens liegenden Schleimdrüsen.

Der **M. palatoglossus** entspringt am seitlichen Zungenrand, verläuft anschließend im **Arcus palatoglossus** und setzt an der Gaumenaponeurose an. Die Muskeln beider Seiten verflechten sich gemeinsam mit dem **M. transversus linguae** zu einer Schlinge, die das **Isthmus faucium** verengen kann.

Der **M. palatopharyngeus** hat seinen Ursprung an der Gaumensegelaponeurose und verläuft im **Arcus palatopharyngeus** zum Pharynx, wo sich seine Muskelfasern mit denen der Mm. constrictores pharyngis verflechten. Er wirkt vorwiegend als Schlundheber.

In Ruhe „hängt" das Gaumensegel herunter, wobei die Uvula fast den Zungengrund berührt und die orale Seite des Gaumensegels zur Mundhöhle, die pharyngeale Seite dagegen zur Rachenhinterwand zeigt. Beim Schlucken wird das Gaumensegel durch die als Heber und Spanner des Gaumensegels wirkenden Muskeln reflektorisch angehoben und verspannt. Dabei legt es sich an einen Wulst (Passavant-Wulst) in der hinteren Rachenwand an, der durch die Kontraktion des M. constrictor pharyngis superior gebildet wird, und trennt dadurch den Nasopharynx vom Oropharynx ab. Für eine ordnungsgemäße Abdichtung müssen sich die Muskeln beider Seiten möglichst symmetrisch kontrahieren.

Bei einer Lähmung dieser Muskeln können beim Schlucken der Speisebrei oder Flüssigkeiten in die Nasenhöhle gelangen. Außerdem würde das Saugen unmöglich werden, ohne das der Säugling keine Nahrung aufnehmen kann.

Durch seine Stellung und Resonanz beteiligt sich das Gaumensegel auch am Sprechen und Singen. Die Verschlusslaute („G" und „K") erfordern eine Abdichtung des Nasenrachens, während die Nasallaute (im Französischen „in" und „en") dagegen unter Beteiligung des Nasenrachens gebildet werden.

Leitungsbahnen des Gaumens. Die Arterien und Nerven des Gaumens gelangen aus der Fossa pterygopalatina über den Canalis palatinus major und durch das Foramen palatinum majus (A. palatina major und N. palatinus major) zum harten Gaumen bzw. durch die Foramina palatini minores (Aa. palatinae minores und Nn. palatini minores) zum weichen Gaumen (▶ Tab. 17.11, ▶ **Abb. 17.19**). Ein Teil der Leitungsbahnen nimmt den Umweg über die Nasenhöhle und erreicht den harten Gaumen am Foramen incisivum (A. nasopalatina, N. nasopalatinus). Hier treten die Leitungsbahnen der rechten und linken Körperhälfte als gemeinsames Leitungsbahnbündel aus.

Die **Arterien** entstammen der A. palatina descendes sowie der A. sphenopalatina, beides Endäste der Pars pterygopalatina der **A. maxillaris**. Im Canalis incisivus können über Anastomosen zwischen der A. palatina major und der A. nasopalatina beide Stromgebiete kommunizieren.

Das **venöse Blut** des Gaumens fließt zum **Plexus pterygoideus** ab.

Die **Lymphe** fließt zu den im Spatium submandibulare gelegenen **Nodi lymphoidei submandibulares** ab.

Sensibel wird die Gaumenschleimhaut von den **Nn. palatini** und dem **N. nasopalatinus** des N. maxillaris (2. Ast des N. trigeminus) innerviert, denen sich in der Fossa pterygopalatina **vegetative Nervenfasern** für die Innervation der Gaumendrüsen anschließen.

Die **motorischen** Nervenfasern entstammen dem **N. glossopharyngeus** (IX), dem **N. vagus** (X) und dem aus beiden Hirnnerven sowie dem Truncus sympathicus gebildeten **Plexus pharyngeus**. Aufgrund seiner Herkunft vom 1. Schlundbogen wird der M. tensor veli palatini von den motorischen Anteilen des **N. mandibularis** (Ast des N. trigeminus, V) innerviert.

Die motorische Innervation durch verschiedene Hirnnerven stellt eine Absicherung der *lebenswichtigen Funktion* der Gaumenmuskulatur beim Schlucken dar.

Die **vegetativen Nervenbahnen** zur Innervation der Gaumendrüsen gelangen als postganglionäre Neurone des Ganglion pterygopalatinum bzw. des Ganglion cervicale superius mit den Nn. palatini aus der Fossa pterygopalatina zum Gaumen.

Die Schnittführung bei **Inzisionen an der Gaumenschleimhaut** sollte sich am posterior-anterioren Verlauf der Leitungsbahnen am Gaumen orientieren.

Mundboden und Sublingualregion

Der muskuläre **Mundboden** wird von den beiden **Mm. mylohyoidei** gebildet, die an der Linea mylohyoidea an der Innenseite der Mandibula entspringen und über eine am Zungenbein befestigte me-

Tab. 17.11 Leitungsbahnen des Gaumens und der Gaumenbögen.

Gaumenregion	Nerven	Arterien	Venen	Lymphabfluss
Harter Gaumen				
Gaumenschleimhaut im vorderen Bereich des Gaumens und palatinale Gingiva des Frontzahngebiets	N. nasopalatinus	A. nasopalatina (Ast der Rr. septales posteriores)	Plexus pterygoideus	Nodi lymphoidei submandibulares
Gaumenschleimhaut und palatinale Gingiva des Seitzahngebiets bis zur Medianlinie	R. medialis und R. lateralis des N. palatinus major	A. palatina major		
Weicher Gaumen				
Schleimhaut	Nn. palatini minores (aus V2)	Aa. palatinae minores	Plexus pterygoideus	Nodi lymphoidei submandibulares
Muskulatur				
• M. tensor veli palatini	N. musculi tensoris veli palatini (aus V3)			
• M. levator veli palatini	Plexus pharyngeus			
• M. uvulae				
• M. palatoglossus	N. glossopharyngeus (IX)			
• M. palatopharyngeus				
Gaumenbögen und Tonsillarbucht				
Schleimhaut	Nn. palatini minores Rr. isthmi faucium (N. lingualis aus V3)	A. pharyngea ascendens Aa. palatinae minores	V. palatina externa	Nodi lymphoidei cervicales profundi
Tonsilla palatina	Rr. tonsillares (N. vagus)	R. tonsillaris (entweder als Ast der A. facialis oder der A. palatina ascendens)	V. palatina externa	Nodus lymphoideus jugulodigastricus

diane Verbindungsnaht (Raphe) zu einer gemeinsamen Muskelplatte (Diaphragma oris) verbunden sind. Mundhöhlenwärts ergänzen die beiden **Mm. geniohyoidei** und halswärts die beiden vorderen Bäuche der **Mm. digastrici** den Mundboden, der für die auf ihm liegende Zunge und für die beiden Unterzungenspeicheldrüsen (**Glandulae sublinguales**) ein verstellbares Widerlager darstellt.

Wird die Zunge seitlich aus dem Mund gestreckt, so schaut man auf die gut durchblutete Schleimhautbedeckung des Mundbodens. Seitlich wölbt sich die Mundbodenschleimhaut durch die darunterliegende Glandula sublingualis zu einer Schleimhautfalte (**Plica sublingualis**). Auf dieser liegt vorn ein markanter Schleimhauthöcker (**Caruncula sublingualis**), auf dem sich die Mündungsstellen des Ausführungsgangs der Unterkieferspeicheldrüse (**Ductus submandibularis**, Wharton-Gang) und des Hauptausführungsgangs der Unterzungenspeicheldrüse (**Ductus sublingualis major**) befinden.

Die **Sublingualregion** (**Regio sublingualis**, Sublingualloge, ▶ **Abb. 17.20**) liegt oberhalb des muskulären Mundbodens zwischen der Innenfläche des Unterkieferkörpers und den Zungenmuskeln. Die Mundbodenschleimhaut grenzt sie von der Mundhöhle ab. Da der M. mylohyoideus den mandibulären Bogen nicht vollständig ausfüllt, steht die Sublingualregion im hinteren Bereich mit der Submandibularloge (**Spatium submandibulare**) in Verbindung. Die Regio sublingualis enthält folgende Organe und Leitungsbahnen:

- Glandula sublingualis,
- hakenförmiger Fortsatz der Glandula submandibularis (Processus uncinatus),
- Ductus submandibularis[5],

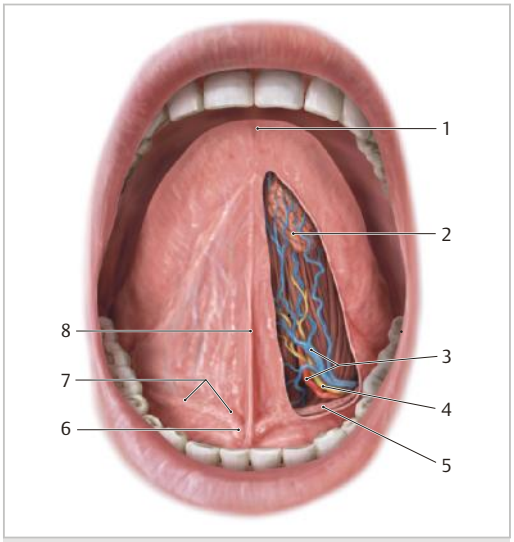


Abb. 17.20 Regio sublingualis.
1 Apex linguae
2 Glandula lingualis anterior
3 A. und V. profunda linguae
4 N. lingualis
5 Ductus submandibularis
6 Caruncula sublingualis
7 Plica sublingualis
8 Frenulum linguae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- N. lingualis[4],
- A. und V. profunda linguae[3],
- A. sublingualis und N. sublingualis,
- N. hypoglossus und V. comitans cum n. hypoglossi.

Der **N. lingualis** unterkreuzt in Höhe des 3. unteren Molaren den Ductus submandibularis und strahlt dann seitlich in die Zungenschleimhaut ein. Aufgrund seiner teilweise unmittelbaren Nähe zur lingualen Alveolenwand des Weisheitszahns ist der Nerv bei einer extraktionsbedingten operativen Eröffnung des Zahnfachs von lingual oder bei zu tief angesetzten Schleimhautnähten extrem gefährdet.

Die **A. sublingualis** steht über Anastomosen sowohl mit der Gegenseite als auch mit der **A. submentalis** in Verbindung. Aus beiden Arterien gehen Äste hervor, die über **Foramina lingualia** in die Mandibula eindringen. Diese Knochenöffnungen befinden sich häufig an der Innenseite des Corpus mandibulae im Bereich der Spinae mentalia. Eine Verletzung der oben beschriebenen Gefäße kann zu ausgedehnten Blutungen führen, die im Extremfall die Zunge so weit nach dorsal verlagern, dass akute Erstickungsgefahr droht.

Gaumenbögen und Schlundenge

Der Schlund (**Fauces**) befindet sich als Übergangsbereich zwischen der Mundhöhle und dem Rachen zwischen dem weichen Gaumen, den beiden Gaumenbögen und dem Zungengrund.

Als Gaumenbögen werden 2 paarige, am weichen Gaumen beginnende und kulissenartig nach unten divergierende Schleimhautfalten bezeichnet, die von den *Gaumenbogenmuskeln* aufgeworfen werden. Der vordere der beiden Bögen zieht als Gaumen-Zungen-Bogen (**Arcus palatoglossus**, entsteht durch den M. palatoglossus) zum Zungengrund. Der hintere der beiden Bögen gelangt als Gaumen-Schlund-Bogen (**Arcus palatopharyngeus**, entsteht durch den M. palatopharyngeus) zur seitlichen Rachenwand. Je nach Kontraktionsgrad der Gaumenbogenmuskeln wird der Schlund mehr oder weniger zur Schlundenge (**Isthmus faucium**) eingeengt.

Die beiden Gaumenbögen und die seitliche Rachenwand begrenzen die Gaumenmandelnische (**Fossa tonsillaris**), die die Gaumenmandel (**Tonsilla palatina**) aufnimmt. Da diese den Raum zwischen den Gaumenbögen nicht vollständig ausfüllt, verbleibt oberhalb der Tonsilla palatina die **Fossa supratonsillaris** (als Rest der embryonalen Tonsillarbucht).

Die **Tonsilla palatina** ist Teil des **lymphatischen Rachenrings** (Waldeyer) und besteht aus lymphatischem Gewebe. Ihre zum Isthmus faucium weisende und von mehrschichtigem unverhorntem Plattenepithel bedeckte mediale Oberfläche wird von kryptenförmigen Einsenkungen zergliedert.

Bei der **Inspektion der Tonsilla palatina** drückt man den Zungengrund des Patienten mit einem Spatel nach unten und lässt ihn „a“ sagen. Dabei kontrahiert sich seine Gaumenbogenmuskulatur und drückt die Tonsilla palatina aus der Fossa tonsillaris heraus.

Die **Leitungsbahnen der Schlundenge** und der **Tonsilla palatina** sind in ▶ Tab. 17.11 dargestellt.

17.3.2 Speicheldrüsen

Mundspeichel

Der Mundspeichel (**Saliva**) wird von den Mundspeicheldrüsen (▶ Tab. 17.12) gebildet, die nach ihrem Parenchymanteil in kleine (**Glandulae salivatores minores**) und große Speicheldrüsen (**Glandulae salivatores majores**) eingeteilt werden. Entsprechend des Charakters des produzierten Drüsenspeichels werden *seröse* von gemischten (*seromukösen* bzw. *mukoserösen*) und *mukösen* Speicheldrüsen unterschieden.

Seröser Speichel ist dünnflüssig sowie salz- und eiweißreich, während **muköser Speichel** vor allem Schleimstoffe (Muzine) enthält und deshalb zäh und fadenziehend erscheint. In der Mundhöhle bilden die Drüsensekrete zusammen mit partikulären Elementen (abgeschilferte Epithelzellen, Leukozyten, Erythrozyten) und zahlreichen Saprophyten (bis zu 10^8/ml) ein Speichelgemisch (Gesamtspeichel).

Im wässrigen Milieu des Speichels wird der chemische Aufschluss der Nahrung, insbesondere die enzymatische Aufspaltung der Kohlenhydrate durch die Amylase des Speichels der Glandula parotidea, eingeleitet und die Freisetzung von Geschmacksstoffen aus der Nahrung gefördert. Durch die „Einspeichelung" der Nahrung wird deren Schluckbarkeit erleichtert. Die ständige Bildung des Speichels, der u. a. antibakterielle Enzyme wie Lysozym und Lactoperoxidase sowie Antikörper (sIgA) enthält, unterstützt zudem die Selbstreinigung der Mundhöhle.

Je nach Grad der Stimulation kann „Ruhespeichel", d. h. ohne sensorische Reize produzierter Speichel, und „Reizspeichel", also nach Stimulation (durch Kauen von Paraffin, Kaugummi, Fruchtbonbons) gebildeter Speichel, unterschieden werden. Die innerhalb eines Tages produzierte Speichelmenge unterliegt tageszeitlichen Schwankungen und beträgt zwischen 0,5 l und 1,5 l. Unter Ruhe- und Reizbedingungen liefern die beiden Unterkieferspeicheldrüsen den größten Anteil des Drüsenspeichels.

Tab. 17.12 Mundspeicheldrüsen.

Speicheldrüse		Sekret	Lage	Ort der Speichelabgabe
Glandulae salivatores majores	Glandula parotidea	serös	Parotisloge	Vestibulum oris
	Glandula submandibularis	gemischt	Spatium submandibulare	Cavitas oris propria
	Glandula sublingualis	gemischt	Sublingualraum	Cavitas oris propria
Glandulae salivatores minores	Glandulae palatinae	mukös	Gaumenschleimhaut	Cavitas oris propria
	Glandulae labiales	gemischt	Schleimhaut der Ober- und Unterlippe	Vestibulum oris
	Glandulae buccales	gemischt	Wangenschleimhaut	Vestibulum oris
	Glandulae molares	gemischt	Drüsenkörper an der Außenseite des M. buccinator	Vestibulum oris
Glandulae linguales	Glandula lingualis anterior	gemischt	Zungenspitze	Cavitas oris propria
	Glandulae gustatoriae (von-Ebner-Spüldrüsen)	serös	vergesellschaftet mit den Geschmackspapillen des Zungenrückens	Cavitas oris propria
	Glandula lingualis posterior	mukös	Schleimhaut des Zungenrückens unter der Zungentonsille	Pharynx

Eine Speicheldrüsenunterfunktion mit stark verminderter Speichelproduktion führt zu einer Mundtrockenheit (**Xerostomie**), die durch den fehlenden Glanz bzw. die stumpfe Oberfläche der Mundschleimhaut auffällt. Die eingeschränkten protektiven Speichelfunktionen können zu einer erhöhten Anfälligkeit für Erkrankungen in der Mundhöhle, wie z. B. Entzündungen der Mundschleimhaut (**Mukositis**) und der Gingiva (**Gingivitis**), beitragen sowie die Kariesanfälligkeit erhöhen. Als Ursachen für die Speicheldrüsenunterfunktion kommen systemische Erkrankungen, die Einnahme bestimmter Medikamente (Parasympathikolytika) oder Bestrahlungen infrage.

Große Speicheldrüsen

Zu den großen und paarigen Mundspeicheldrüsen gehören:

- Ohrspeicheldrüse (**Glandula parotidea**, „Parotis“),
- Unterkieferspeicheldrüse (**Glandula submandibularis**),
- Unterzungenspeicheldrüse (**Glandula sublingualis**).

Die Drüsenkörper liegen teilweise in beträchtlicher Entfernung zur Mundhöhle und stehen über Ausführungsgänge mit ihr in Verbindung.

Glandula parotidea

Die Ohrspeicheldrüse (▶ Tab. 17.12) ist eine *seröse* Mundspeicheldrüse. Ihr Drüsenparenchym wird von Bindegewebssepten in zahlreiche Läppchen unterteilt, die die Verformbarkeit der Drüse während der Kaubewegungen gewährleisten. Die Bindegewebssepten sind mit der **Fascia parotidea** fest verwachsen. Diese umgibt die Drüse mit einem derben oberflächlichen Blatt (Lamina superficialis) und einem tiefen Blatt (Lamina profunda) und bildet dadurch eine bindegewebige Umhüllung (Parotisloge), die mit den Faszien der benachbarten Muskeln verwachsen ist.

Der größte Teil der Drüse füllt den früher als **Fossa retromandibularis** bezeichneten Spaltraum (retromandibulärer Raum) zwischen dem Hinterrand des Ramus mandibulae, dem Processus mastoideus und dem M. sternocleidomastoideus aus und grenzt dadurch medial an den peripharyngealen Raum (**Spatium peripharyngeum**), von dessen Leitungsbahnen und Muskeln sie nur unvollständig durch das tiefe (und weniger derbe) Blatt der Fascia parotidea abgegrenzt wird.

Der vordere Anteil der Drüse liegt auf dem M. masseter, mit dem sie aufgrund der Verwachsung der Fascia parotidea mit der Fascia masseterica zur Fascia parotideomasseterica fest verbunden ist. Der Hinterrand der Ohrspeicheldrüse steht in enger Beziehung zum Tragus der Ohrmuschel, zum Processus mastoideus und zum M. sternocleidomastoideus, mit dessen Faszie sie ebenfalls verwachsen ist. Der kraniale Drüsenrand erreicht die Pars tympanica des Os temporale und den knorpeligen äußeren Gehörgang sowie nicht ganz den Arcus zygomaticus. Mit ihrem Lobus colli reicht sie kaudal bis unter den Angulus mandibulae in die Halsregion.

Beim Kauen oder Sprechen wird die Glandula parotidea durch die Bewegungen der Mandibula mechanisch zur vermehrten Speichelabgabe in die Mundhöhle stimuliert.

Bei der durch das Mumpsvirus hervorgerufenen **Parotitis epidemica** (**Mumps**, **Ziegenpeter**) kommt es durch die Schwellung der Glandula parotidea zu einer schmerzhaften Spannung der nicht dehnungsfähigen Fascia parotidea. Der Mund steht leicht geöffnet in einer Art Schonhaltung, um den Druck der Mandibula auf die Drüse so gering wie möglich zu halten. Neben Kau- können auch Schluckbeschwerden auftreten, die durch die Beziehung des tiefen Anteils der Drüse zum Pharynx erklärlich sind. Typischerweise steht bei Mumps auch das Ohrläppchen ab.

Während Erkrankungen des äußeren Drüsenanteils meist rasch durch die Schwellung des Drüsengewebes zu erkennen sind, können **Tumoren** des tiefen Drüsenanteils sich zunächst unerkannt in der Tiefe ausbreiten.

Der **Ductus parotideus** (Stenon-Gang) verlässt die Glandula parotidea an ihrem Vorderrand, überquert anschließend den M. masseter und den Wangenfettpfropf (Corpus adiposum buccae [Bichat]), in den er oft in einer Rinne eingelagert ist, biegt schließlich nach medial um und durchbricht den M. buccinator. In der Wangenschleimhaut,

etwa in Höhe des 2. oberen Molaren, mündet der Ductus parotideus in der **Papilla parotidea** in den Mundvorhof (Vestibulum oris).

Dem Ductus parotideus ist oft ein einzelner Drüsenlappen angelagert, der als **Glandula parotidea accessoria** bezeichnet wird. Der Speichel der Glandula parotidea accessoria fließt über den Ductus parotideus ab.



Der Verlauf des **Ductus parotideus** projiziert sich auf eine Linie, die etwa eine Fingerbreite unterhalb des Arcus zygomaticus verläuft. Gut tastbar ist der etwa kugelschreiberminendicke Ausführungsgang in seiner Verlaufsstrecke auf dem kontrahierten M. masseter. Hier ist er auch bei Schnittverletzungen gefährdet.

Leitungsbahnen. Zur Blutversorgung der Glandula parotidea tragen die **Rr. parotidei** sowie die **A. transversa faciei** der **A. temporalis superficialis** bei.

Das venöse Blut fließt über die **V. retromandibularis** sowie die **V. facialis** in die **V. jugularis interna** ab.

Die auf und in der Drüse gelegenen **Nodi lymphoidei parotidei superficiales** und **profundi** filtern sowohl die Lymphe der Glandula parotidea als auch die Lymphe aus der Haut der Schläfen-, Lid- und Nasenregion.

Die **sensible Innervation** der Glandula parotidea übernimmt der **N. auriculotemporalis**. Die **parasympathischen** präganglionären Fasern gelangen vom **Nucleus salivatorius inferior** über den **N. tympanicus** des **N. glossopharyngeus** (IX), den **Plexus tympanicus** und den **N. petrosus minor** zum **Ganglion oticum.** Nach Umschaltung im Ganglion lagern sich die postganglionären Fasern auf ihrem Weg zur Drüse dem **N. auriculotemporalis** bzw. Ästen des **N. facialis** an. Die **sympathischen** Nervenfasern entstammen postganglionären Neuronen des **Ganglion cervicale superius**, die als **Plexus caroticus externus** und weiter über periarterielle Geflechte mit der A. meningea media zum Ganglion oticum gelangen, dieses aber nur durchziehen und sich dann ebenfalls dem **N. auriculotemporalis** anlagern.

Der Weg der parasympathischen präganglionären Fasern für die Innervation der Glandula parotidea zwischen dem N. glossopharyngeus und dem Ganglion oticum wird auch *Jacobson-Anastomose* genannt.

Der Parasympathicus steuert die Speichelsekretion durch die Abgabe von Azetylcholin und vasoaktivem intestinalen Peptid (VIP). Azetylcholin fördert über die Bindung an muskarinerge Rezeptoren der Azinuszellen die Exozytose der Sekretgranula. VIP bindet ebenfalls an Rezeptoren der Azinuszellen. Außerdem erhöht es die Permeabilität und die Weite der Blutgefäße in der Drüse. Der Sympathicus stimuliert die Drüsensekretion über die Abgabe von Noradrenalin, das an β-Rezeptoren der Azinuszellen bindet. Sowohl Azetylcholin als auch Noradrenalin bewirken eine Kontraktion der Myoepithelzellen und damit die Austreibung des Speichels aus den Acini.

Glandula submandibularis und Glandula sublingualis

Die *seromuköse* Unterkieferspeicheldrüse (**Glandula submandibularis**, ▸Tab. 17.12) hat eine abgeplattete eiförmige Gestalt und liegt hauptsächlich im **Spatium submandibulare**, wo sie von der Lamina superficialis der Halsfaszie eingehüllt wird (**Submandibularloge**). Ihr Ausführungsgang, der **Ductus submandibularis** (Wharton-Gang), zeigt in seinem Verlauf 2 charakteristische Richtungsänderungen: Zuerst windet er sich um den dorsalen Rand des M. mylohyoideus (erste Krümmung) und gelangt dann in die Sublingualregion (**Regio sublingualis**). Hier wird er vom N. lingualis unterkreuzt und gelangt medial der Glandula sublingualis nach vorn, um dann zu seiner Mündungsstelle in die Mundhöhle, der **Caruncula sublingualis**, aufzusteigen (zweite Krümmung). Ein verschieden starker hakenförmiger Fortsatz der Drüse (Processus uncinatus) kann den Ausführungsgang begleiten und bis an die Glandula sublingualis reichen.

Die Unterzungenspeicheldrüse (**Glandula sublingualis**, ▸Tab. 17.12) liegt beidseits auf dem M. mylohyoideus in der Sublingualregion (**Regio sublingualis**). Hier wirft die längliche und schmale Drüse eine Schleimhautfalte, die **Plica sublingualis**, auf. Der vordere, mehr zusammenhängende und seromuköse Parenchymanteil bildet die **Glandula sublingualis major,** die mit einem eigenen Ausführungsgang (**Ductus sublingualis major**) auf der **Caruncula sublingualis** (zusammen mit dem Ductus submandibularis) mündet. Der hintere Anteil der Glandula sublingualis besteht aus einem Aggregat muköser Einzeldrüsen (**Glandulae sublinguales minores**), die mit 20–40 eigenen Ausführungsgängen (**Ductus sublinguales minores**) auf dem Kamm der **Plica sublingualis** münden.

Leitungsbahnen. Die **Glandula submandibularis** wird von der **A. facialis** durchzogen, die Rr. glandulares für die Drüse abgibt. Die A. submentalis ergänzt die arterielle Versorgung. Das venöse Blut der Glandula submandibularis fließt in die **V. facialis** ab.

Die **Glandula sublingualis** wird durch die in der Regio sublingualis verlaufende A. sublingualis, einem Ast aus der **A. lingualis,** versorgt. Die gleichnamige Vene empfängt das venöse Blut der Glandula sublingualis.

Die Lymphe beider Drüsen fließt in die **Nodi lymphoidei submandibulares** ab.

Beide Drüsen werden *sensibel* vom **N. lingualis**, einem der Hauptäste des N. mandibularis (V3), versorgt.

Die *parasympathischen Nervenfasern* gelangen vom **Nucleus salivatorius superior** über die Pars intermedia des N. facialis zur **Chorda tympani**, die sich nach ihrem Durchtritt durch die Fissura petrotympanica (Glaser-Spalte) dem N. lingualis anlegt. Im **Ganglion submandibulare** werden die präganglionären Neurone der Chorda tympani auf postganglionäre Neurone umgeschaltet. Anschließend erreichen sie mit den Verzweigungen des N. lingualis die Glandula submandibularis und die Glandula sublingualis.

Die *sympathischen Fasern* stellen postganglionäre Neurone des **Ganglion cervicale superius** dar, die als **Plexus caroticus externus** und weiter über periarterielle Geflechte mit der A. facialis das Ganglion submandibulare (ohne Umschaltung!) durchlaufen und beide Drüsen erreichen.

Kleine Speicheldrüsen

Die kleinen Mundspeicheldrüsen (Glandulae salivatores minores, ▶ Tab. 17.12) bestehen aus Drüsenansammlungen, die in der Mukosa bzw. der Submukosa der Lippen (**Glandulae labiales**), der Wangen (**Glandulae buccales** und **molares**) und des Gaumens (**Glandulae palatinae**) eingelagert sind und mit kurzen Ausführungsgängen in der Mundhöhle münden.

Die Drüsenpakete der **Glandulae labiales** sind zwischen Muskelschicht und Schleimhaut von Ober- (**Glandulae labiales superiores**) und Unterlippe (**Glandulae labiales inferiores**) eingelagert. Ihre Fortsetzung bilden die auf der Innenseite des M. buccinators in einem oberen und einem unteren Streifen angeordneten **Glandulae buccales superiores** und **inferiores**. Die **Glandulae molares** liegen hinter der Papilla parotidea. Ihre Drüsenkörper befinden sich in der Regel auf der Außenseite des M. buccinator. In die Submukosa der Gaumenschleimhaut sind die **Glandulae palatinae** eingelagert, die hauptsächlich die knöcherne Rinne zwischen Processus alveolaris und Processus palatinus maxillae am harten Gaumen ausfüllen und die Leitungsbahnen des harten Gaumens (N. palatinus major und Begleitgefäße) überdecken.

Zu den Zungendrüsen (**Glandulae linguales**) gehören die nach ihrer Funktion benannten und mit den Geschmackspapillen vergesellschafteten serösen Spüldrüsen (**Glandulae gustatoriae**, von-Ebner-Spüldrüsen), die **Glandula lingualis anterior** (Nuhn-Drüse) an der Zungenspitze und die **Glandula lingualis posterior** (Glandula radicis linguae) am Zungengrund.

Die **Glandula lingualis anterior** ist eine paarige, längliche und seromuköse Drüse, die sich in der Zungenspitze beidseits des Zungenbändchens (Frenulum linguae) und lateral des M. genioglossus befindet. Die Drüsen beider Seiten können sich spitzbogenartig vereinigen. Jede Drüse mündet mit 5–7 Ausführungsgängen medial der Plica fimbriata auf der Unterseite der Zunge.

17.3.3 Zunge (▶ Abb. 17.21)

Die Zunge (**Lingua**) ist ein von Schleimhaut (Tunica mucosa linguae) überzogenes Muskelorgan, das der *chemischen*, *thermischen* und *taktilen Kontrolle* der Nahrung dient. Aufgrund ihrer Muskulatur ist sie sehr beweglich und wirkt beim Saugen, Sprechen, Kauen und Schlucken mit. In die Schleimhaut eingelagertes lymphatisches Gewebe nimmt als Bestandteil des lymphatischen Rachenrings an der immunologischen Überwachung des Mund-Rachen-Raums teil. Kleinere Pakete von Speicheldrüsen tragen zur Speichelbildung in der Mundhöhle bei.

Die Zunge besteht aus dem Zungenkörper (**Corpus linguae**[3]) und der Zungenwurzel (**Radix linguae**[2]). Der **Zungenkörper** liegt in der Mundhöhle auf dem muskulären Mundboden und beginnt vorn mit der frei beweglichen Zungenspitze (**Apex linguae**[4]), die bei geschlossenem Mund die lingualen Flächen der unteren Schneidezähne und den vorderen Teil des Gaumens berührt. Der Rand des Zungenkörpers legt sich den lingualen Flächen der unteren Zahnreihen an. In die Zungenspitze ist beidseits die **Glandula lingualis anterior** (Nuhn-Drüse, s. o.) eingelagert. Die Zungenwurzel bildet

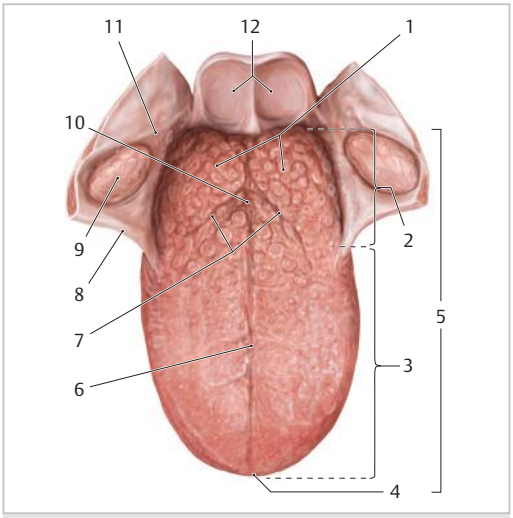


Abb. 17.21 Schleimhautrelief der Zunge.
1 Tonsilla lingualis
2 Radix linguae
3 Corpus linguae
4 Apex linguae
5 Dorsum linguae
6 Sulcus medianus
7 Sulcus terminalis
8 Arcus palatoglossus
9 Tonsilla palatina
10 Foramen caecum
11 Arcus palatopharyngeus
12 Epiglottis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

den hinteren (pharyngealen) Anteil der Zunge, der bis zum Kehldeckel (Epiglottis) reicht.

Die Oberfläche der Zunge wird als Zungenrücken (**Dorsum linguae**[5]) bezeichnet. In dessen Schleimhaut senkt sich an der Grenze zwischen Zungenkörper und Zungenwurzel V-förmig der **Sulcus terminalis**[7] ein, an dessen rachenwärts gerichteter Spitze sich eine mehr oder weniger tiefe Öffnung, das **Foramen caecum linguae**[10], befindet.

Das Foramen caecum linguae ist der Ort, an dem in der Embryonalperiode der Ductus thyroglossus in den Hals abwandert. Aus seinen distalen Anteilen entwickelt sich die Schilddrüse (Glandula thyroidea). Die proximalen Anteile des Ductus thyroglossus bilden sich dagegen zurück. Reste des Ductus thyroglossus können postnatal als mediane Halszysten imponieren.

Die **Schleimhaut** des vorderen Teils des Zungenrückens (vor dem Sulcus terminalis, *präsulkaler Abschnitt* des Zungenrückens) ist fest mit der Zungenaponeurose (**Aponeurosis linguae**) verwachsen und wird durch den längs verlaufenden **Sulcus medianus linguae**[6] in eine rechte und eine linke Hälfte unterteilt. Dichtstehende Zungenpapillen (**Papillae linguales**) dienen der Aufnahme von Tast- und Geschmacksreizen und geben diesem Teil der Zungenoberfläche ein samtartiges Gepräge.

Auf der Unterfläche des Zungenkörpers (**Facies inferior**) ist die Schleimhaut glatt und gut verschieblich. Über das Frenulum linguae steht sie mit der Schleimhaut der Sublingualregion in Verbindung. Außerdem schimmert die starke und geschlängelt verlaufende **V. profunda linguae** durch die Schleimhaut hindurch.

Beidseits des Frenulum linguae verläuft als eine gezackte Schleimhautfalte die **Plica fimbriata** in Richtung Zungenspitze, die den Rest einer bei den Halbaffen noch vorhandenen nichtmuskulären Unterzunge darstellt.

Die Schleimhaut der Zungenunterseite ist besonders dünn und lässt die Venen durchschimmern. **Sublingual applizierte Pharmaka** werden deshalb gut absorbiert. Das macht man sich beispielsweise bei der Gabe von herzkranzgefäßerweiternden Nitroglyzerinpräparaten zunutze.

Hinter dem **Sulcus terminalis**[7] (*postsulkaler Abschnitt* des Zungenrückens) beginnt die **Zungenwurzel**, deren Oberfläche dem Rachen zugewendet ist und nur mit einem Spiegel betrachtet werden kann. Das zur Zungentonsille (**Tonsilla lingualis**[1]) gehörende lymphatische Gewebe sorgt hier für Erhebungen (**Folliculi linguales**) und Einsenkungen (**Cryptae tonsillares**) und damit für ein zerklüftetes und grob höckeriges Aussehen der Zungenoberfläche. Zwischen dem lymphatischen Gewebe in der Mukosa befindet sich das bis in die Muskelschicht reichende muköse Drüsengewebe der **Glandula lingualis posterior** (Glandula radicis linguae).

Der Zungengrund steht mit der Schleimhaut des Kehldeckels (**Epiglottis**) über 3 bewegliche Schleimhautfalten, der paarigen **Plica glossoepiglottica lateralis** und der unpaaren **Plica glossoepiglottica mediana**, in Verbindung, die außerdem

2 Schleimhautgruben (**Valleculae epiglotticae**) begrenzen. Seitlich geht die Radix linguae, ohne freie Zungenränder auszubilden, in den Gaumen-Zungen-Bogen (**Arcus palatoglossus**[8]) und die **Regio tonsillaris** über.

Zungenmuskeln (Mm. linguae)

Die aus quergestreifter Muskulatur bestehenden Zungenmuskeln untergliedern sich in Binnenmuskeln und Außenmuskeln.

Die **Binnenmuskulatur** bleibt auf die Zunge beschränkt. Sie ist von der dicht unter der Zungenschleimhaut liegenden Zungenaponeurose (**Aponeurosis linguae**) umhüllt und durch eine mediane, sagittal gestellte Bindegewebsplatte (**Septum linguae**) unvollständig unterteilt. Für die Zungenmuskeln dienen beide Strukturen als Ursprung und als Ansatz.

Die **Außenmuskulatur** der Zunge entspringt an verschiedenen Skelettelementen des Schädels (Mandibula, Processus styloideus, Os hyoideum) und strahlt von außen in die Zunge ein.

Binnen- und Außenmuskeln verflechten sich und sorgen für die **Verformbarkeit** (Binnenmuskulatur) und die **Lageveränderungen** (Außenmuskulatur) der Zunge.

Binnenmuskulatur der Zunge (▶ Abb. 17.22)

Die Binnenmuskulatur ist als ein dreidimensionales Netzwerk in longitudinalen, transversalen und vertikalen Faserzügen aufgebaut.

Der **M. longitudinalis superior**[2] verläuft dicht unter der Zungenaponeurose in der oberen Zungenhälfte und der **M. longitudinalis inferior**[5] in der unteren Zungenhälfte. Beide Muskeln ziehen *in longitudinaler Richtung* von der Zungenspitze bis zum Zungengrund.

Der **M. transversus linguae**[4] tritt *in transversaler Richtung* durch das Septum linguae (das ihm auch als Ursprung dient) und verbindet linken und rechten Zungenrand. Seine Fasern verflechten sich mit Fasern des M. palatoglossus und des M. styloglossus.

Der **M. verticalis linguae**[3] verbindet *in vertikaler Richtung* die Zungenaponeurose mit der Zungenunterfläche.

Bei den Formveränderungen der Zunge (verschmälern, verlängern, abflachen, verkürzen, auf- und abrollen) wirken immer 2 der Binnenmuskeln antagonistisch zum dritten, der dann entsprechend der neuen Zungenform gedehnt wird. Die Funktion der Binnenmuskulatur ist an exemplarischen Beispielen in ▶ Tab. 17.13 aufgeführt.

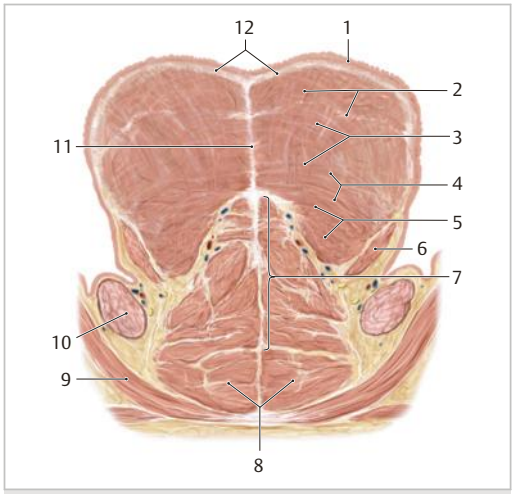


Abb. 17.22 Binnenmuskulatur der Zunge.
1 Tunica mucosa linguae
2 M. longitudinalis superior
3 M. verticalis linguae
4 M. transversus linguae
5 M. longitudinalis inferior
6 M. hyoglossus
7 M. genioglossus
8 M. geniohyoideus
9 M. mylohyoideus
10 Glandula sublingualis
11 Septum linguae
12 Aponeurosis linguae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Außenmuskulatur der Zunge (▶ Abb. 17.23)

Der **M. genioglossus**[7] (griech. genios: Kinn) entspringt vorn an der Spina mentalis an der Innenseite der Mandibula und strahlt fächerförmig mit seinen vorderen Fasern in die Zungenspitze und mit seinen hinteren Fasern in den Zungenkörper ein. Bei beidseitiger Kontraktion bewegt er die Zunge nach vorn und unten.

Der **M. hyoglossus**[4] kommt vom Zungenbein und steigt fächerförmig bis zur Zungenspitze auf. Einige Fasern entspringen auch vom kleinen Zun-

Tab. 17.13 Funktion der Binnenmuskulatur der Zunge.

Muskel	Zungenform				
	kurz und hoch	lang und schmal	kurz, niedrig und breit	Krümmung gaumenwärts	Krümmung nach unten
M. longitudinalis superior	Kontraktion	Dehnung	Kontraktion	Kontraktion	Dehnung
M. longitudinalis inferior	Kontraktion	Dehnung	Kontraktion	Dehnung	Kontraktion
M. transversus linguae	Kontraktion	Kontraktion	Dehnung	–	–
M. verticalis linguae	Dehnung	Kontraktion	Kontraktion	–	–

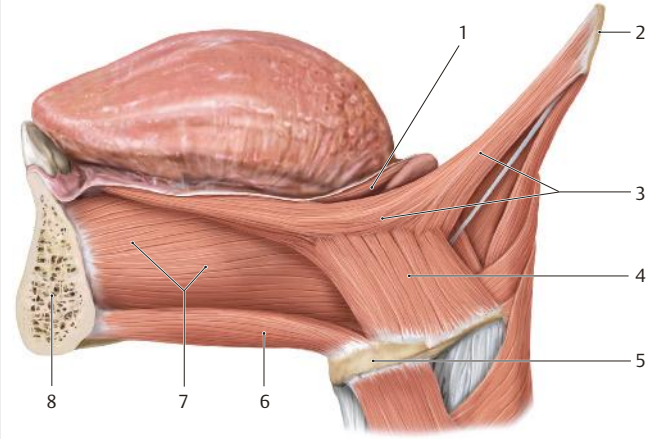


Abb. 17.23 Außenmuskulatur der Zunge.
1 M. palatoglossus*
2 Processus styloideus
3 M. styloglossus
4 M. hyoglossus
5 Os hyoideum
6 M. geniohyoideus**
7 M. genioglossus
8 Mandibula
* gehört zur Muskulatur des Isthmus faucium
** gehört zur suprahyalen Muskulatur
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

genbeinhorn und bilden den **M. chondroglossus**. Bei beidseitiger Kontraktion bewegt der M. hyoglossus die Zunge nach hinten und unten.

Der **M. styloglossus**[3] hat seinen Ursprung am Processus styloideus des Os temporale und strahlt in den seitlichen Rand des Zungenkörpers ein. Ein Teil der Fasern verläuft mit dem M. transversus linguae und verbindet sich mit den Fasern der Gegenseite („Styloglossusschlinge"). Ein anderer Teil der Fasern gelangt mit den Fasern der Mm. longitudinales linguae bis zur Zungenspitze. Bei beidseitiger Kontraktion bewegt der M. styloglossus die Zunge nach hinten und oben.

Funktionelle Anatomie der Zungenmuskulatur

Zungenbewegungen entstehen durch das komplizierte Zusammenspiel von Binnen- und Außenmuskulatur:

- Zunge herausstrecken: Durch die beidseitige Kontraktion der Mm. genioglossi wird die Zunge nach vorn gebracht. Anschließend wird sie durch Kontraktion der Binnenmuskulatur (▶ Tab. 17.13) gestreckt. Sollen die Oberlippen bei geöffnetem Mund berührt werden, müssen sich beide Mm. longitudinalis superiores kontrahieren. Die einseitige Kontraktion von M. longitudinalis superior und inferior lässt die Zunge zum ipsilateralen Mundwinkel abbiegen.
- Zunge berührt den Gaumen: Dazu müssen sich beide Mm. longitudinales superiores kontrahieren.
- Zunge beim Saugen: Hierbei wird die Zunge durch die Mm. styloglossi und hyoglossi wie ein Stempel nach hinten gezogen.
- Zunge beim Schlucken: Durch die Kontraktion der Mm. styloglossi wird die Zunge nach hinten oben an den Gaumen und dann durch die Mm. hyoglossi als Stempel nach hinten unten geführt.

Geht der **Tonus der Zungenmuskulatur** infolge Bewusstlosigkeit verloren, so kann in Rückenlage die Zunge nach hinten in Richtung Rachen sinken. Dadurch wird die Epiglottis auf den Kehlkopfeingang gedrückt und die Atemwege verlegt. Die „stabile Seitenlage" verhindert dies und kann deshalb lebensrettend sein.

Zungenpapillen

Die Zungenpapillen (**Papillae linguales**) bestimmen das Feinrelief der Schleimhaut des Zungenrückens. Sie bestehen aus einem Bindegewebssockel mit einem Epithelüberzug. Nach Form und Funktion unterscheidet man folgende 4 Papillenarten:

- Fadenpapillen (Papillae filiformes)
- Wallpapillen (Papillae vallatae)
- Blattpapillen (Papillae foliatae)
- Pilzpapillen (Papillae fungiformes)

Die **Papillae filiformes** dienen dem **Tastsinn**. Sie sind auf dem Zungenrücken gleichmäßig verteilt und von allen Papillenarten am zahlreichsten vertreten. Ihr Epithelüberzug weist mehrere Hornspitzen auf, mit denen mechanische Reize auf die im Bindegewebe endenden Nervenfasern übertragen werden. Die rachenwärts weisenden Hornspitzen sorgen außerdem für eine längere und bessere Haftung der Nahrungsbestandteile auf der Zungenoberfläche und erleichtern damit die Geschmacksempfindung.

Die Zungenschleimhaut besitzt ein vorzügliches Tastvermögen, das zudem mit einem *Vergrößerungsfaktor* ausgestattet ist. Dadurch können unverdauliche bzw. dem Körper sogar gefährlich werdende Fremdkörper wie z. B. Fischgräten in der Mundhöhle rechtzeitig erkannt werden.

Wall-, **Blatt-** und **Pilzpapillen** enthalten **Geschmacksknospen**. **Papillae vallatae** (7–12 Stück) sind gut sichtbar im Winkel vor dem Sulcus terminalis angeordnet. Sie überragen nur wenig die Zungenoberfläche. Jede Wallpapille (Durchmesser 2 mm) wird von einem Wall und einem Graben umgeben, dessen Wand ungefähr 100 Geschmacksknospen enthält. In der Tiefe des Grabens münden die serösen von-Ebner-Spüldrüsen. **Papillae fungiformes** sind auf der Zungenoberfläche als rötliche, kreisrunde Erhebungen sichtbar. Sie besitzen vorwiegend beim Kleinkind Geschmacksknospen. Außerdem enthält ihr Bindegewebssockel Mechano- und Thermorezeptoren. **Papillae foliatae** sind leistenförmige Schleimhautfalten (insgesamt 5–7 je Seite), die sich am hinteren Zungenrand befinden und in der Wand ihrer Krypten ebenfalls Geschmacksknospen enthalten. Am Grund der Krypten münden ebenfalls wie bei den Wallpapillen seröse Glandulae gustatoriae.

Die Zungendrüsen sind in ▶Tab. 17.12 aufgeführt.

Geschmacksstoffe werden unter Vermittlung von speziellen Bindungsproteinen aus dem Sekret der Spüldrüsen an Rezeptoren auf der Zelloberfläche von Sinneszellen der Geschmacksknospen gebunden. Zu den Geschmacksqualitäten, die jede Sinneszelle analysieren kann, gehören *süß, sauer, salzig* und *bitter* sowie der durch Glutamat vermittelte *umami*-Geschmack.

Leitungsbahnen der Zunge

Arterien. Die Zunge wird durch die **A. lingualis,** dem 2. ventralen Ast der A. carotis externa im Trigonum caroticum, versorgt. Mit den **Rr. dorsales linguae** versorgt sie Zungenwurzel und Zungenrücken. Ihr Endast, die **A. profunda linguae**, gelangt an der Außenseite des M. genioglossus zum Zungenkörper und zur Zungenspitze.

Venen. Das venöse Blut sammelt sich in der **V. lingualis** und der **V. sublingualis**. Einzelne Venen wie die **Vv. dorsales linguae** sammeln das Blut des Zungenrückens und können auch isoliert in die V. jugularis interna oder in die V. retromandibularis münden. Die **V. profunda linguae** nimmt das Blut aus der Unterfläche der Zunge auf.

Der **Lymphabfluss** der Zunge benutzt folgende Abflussbahnen:

- aus der Zungenspitze und dem vorderen Teil der Zunge zu den **Nodi lymphoidei submentales** und **Nodi lymphoidei submandibulares**,
- aus dem Zungenkörper zu den **Nodi lymphoidei cervicales profundi**, bevorzugt zum **Nodus lymphoideus juguloomohyoideus**,
- aus dem Zungengrund zu den **Nodi lymphoidei cervicales profundi**, bevorzugt zum **Nodus lymphoideus jugulodigastricus**.

Die dichten Lymphgefäßnetze beider Zungenhälften kommunizieren miteinander und erleichtern deshalb die Ausbreitung von Karzinomen zur Gegenseite.

An der **Innervation** der Zungenschleimhaut und der Zungenmuskulatur beteiligen sich:

- **N. lingualis** (Ast des N. mandibularis, des 3. Hauptasts des N. trigeminus, V3) für die sensible Innervation der Schleimhaut des Zungenkörpers vor dem Sulcus terminalis (vordere zwei Drittel der Zunge),
- sensorische Fasern der **Chorda tympani**,
- **N. glossopharyngeus** (**IX**) für die sensible Innervation der Schleimhaut des Zungengrundes (hinter dem Sulcus terminalis) bis zu den Plicae glossoepiglotticae,
- **N. vagus** (**X**) für die sensible Innervation der Zungenschleimhaut im Bereich der Vallecula epiglottica,
- der **N. hypoglossus** (**XII**) für die motorische Innervation der Binnen- und Außenmuskulatur der Zunge.

In der Chorda tympani, dem N. glossopharyngeus und dem N. vagus sammeln sich die **sensorischen Geschmacksfasern** von den Geschmacksknospen der Zunge und werden dann zum Nucleus tractus solitarius weitergeleitet.

Die **Chorda tympani** innerviert die Geschmacksknospen der auf den vorderen zwei Dritteln der Zungenoberfläche gelegenen Papillae fungiformes und einen Teil der Geschmacksknospen der Papillae vallatae. Die Geschmacksfasern verlaufen anfangs mit dem N. lingualis, um sich dann (als Teil der Pars intermedia) dem N. facialis (VII) anzuschließen. Die Perikarya dieser Afferenzen liegen im Ganglion geniculi.

Im **N. glossopharyngeus** verlaufen die Geschmacksfasern der Geschmacksknospen der Papillae foliatae und der Papillae vallatae. Die Perikarya dieser Afferenzen liegen im Ganglion inferius des N. glossopharyngeus.

Der **N. vagus** innerviert Geschmacksknospen, die im Übergangsbereich des Zungengrundes zur Epiglottis liegen. Die dazugehörigen Perikarya befinden sich im Ganglion inferius (Ganglion nodosum) des N. vagus.

Eine **einseitige Läsion des N. hypoglossus** (XII) führt zu einem Verlust der Zungenmotilität. Der Versuch, die Zunge herauszustrecken, endet dann damit, dass die Zungenspitze durch den intakten M. genioglossus der Gegenseite zur gelähmten Seite hin verschoben wird.

17.3.4 Kauapparat

Zähne

Jeder fertig ausgebildete und gesunde Zahn (**Dens**, ▶ **Abb. 17.24**) besteht aus einer Zahnkrone (**Corona dentis**[11]) und einer oder mehrerer Zahnwurzeln (**Radices dentis**[9]). Die Zahnkrone ragt beim vollständig durchgebrochenen Zahn in die Mundhöhle (klinische Zahnkrone). Jede Zahnwurzel besitzt ein eigenes Zahnfach (**Alveolus dentalis**, Alveole) und ist über die Wurzelhaut (**Desmodontium**) am Alveolarknochen (**Os alveolare**) befestigt. Die Anzahl der Zahnwurzeln hängt vom Zahntyp

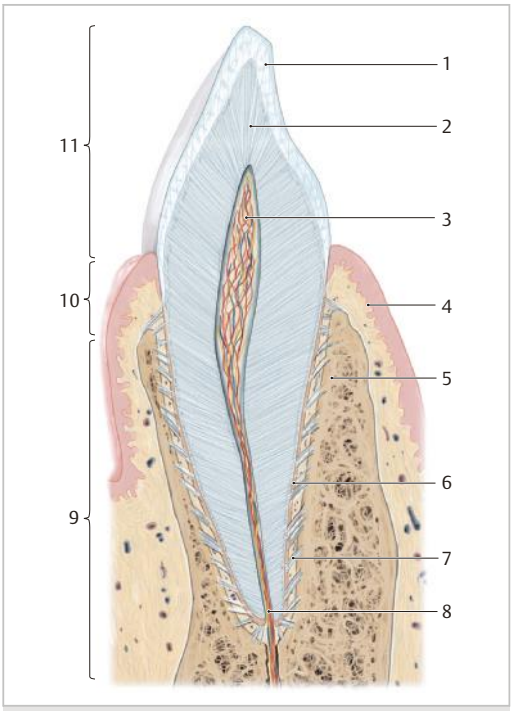


Abb. 17.24 Zahn und Zahnhalteapparat.
1 Schmelz
2 Dentin
3 Cavitas dentis mit Pulpa dentis
4 Gingiva
5 Alveolarknochen
6 Zement
7 Desmodontium
8 Apex dentis mit Foramen apicis dentis
9 Zahnwurzel (Radix dentis)
10 Zahnhals (Cervix dentis)
11 Zahnkrone (Corona dentis)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ab. Der Aufzweigungsbereich der Zahnwurzeln wird bei zweiwurzeligen Zähnen als *Wurzelbifurkation* und bei dreiwurzeligen Zähnen als *Wurzeltrifurkation* bezeichnet. Am Zahnhals (**Cervix dentis**[10]) grenzen Zahnkrone und Zahnwurzel aneinander. Am durchgebrochenen Zahn ist der Zahnhals vom Zahnfleisch (**Gingiva**[4]) umschlossen.

Dentin, Schmelz und Zement stellen die **Zahnhartsubstanzen** dar. Sie werden im Gegensatz zum Knochen nicht von Blutgefäßen durchzogen.

- Das Dentin[2] (Zahnbein, **Dentinum**, **Substantia eburnea**) bildet die Hauptmasse des Zahns. Es ist stärker mineralisiert als Knochen und wird von radiär verlaufenden Dentinkanälchen durchzogen, die die Fortsätze der Odontoblasten (Tomes-Fasern) sowie feine Nervenfaserendigungen enthalten. Im Bereich der Zahnkrone ist das Dentin von Zahnschmelz überzogen, während das Dentin der Zahnwurzel eine Zementauflage besitzt. Die variable Grenze zwischen Schmelz und Zement (Schmelz-Zement-Grenze) entspricht damit der Grenze zwischen anatomischer Zahnkrone und Zahnwurzel.
- Der Zahnschmelz[1] (**Enamelum**, **Substantia adamantina**) ist die härteste Substanz des Körpers. Er ist aus Schmelzprismen zusammengesetzt, die wiederum aus Hydroxylapatitkristallen bestehen. Schmelz ist zellfrei und kann deshalb nach Zahndurchbruch nicht regeneriert werden.
- Das Zement[6] (**Cementum**) ähnelt Geflechtknochen und besteht aus einer mineralisierten Grundsubstanz und kollagenen Fasern. Vergleichbar den Osteozyten im Knochen liegen die Zementozyten (Zementbildner) in Lakunen des Zements.

Im Inneren des Dentinkerns befindet sich die Pulpahöhle (**Cavitas dentis**[3]), die in ihrer räumlichen Ausdehnung der äußeren Form des Zahns ähnelt. Sie wird von der Zahnpulpa (s. u.) ausgefüllt. Der in der Zahnkrone liegende Abschnitt der Pulpahöhle wird als Cavitas coronalis bezeichnet. Wurzelwärts verjüngt sich die Pulpahöhle entsprechend der Anzahl der Zahnwurzeln zu einem oder mehreren Wurzelkanälen (**Canales radicis dentis**).

Jeder Wurzelkanal öffnet sich über das Foramen apicis dentis nach außen, kann aber auch akzessorische Seitenkanäle oder Verzweigungen im Bereich der Wurzelspitze (apikale Ramifikationen) aufweisen, sodass mehrere Öffnungen bestehen. An der Wurzelspitze treten über die genannten Öffnungen die Leitungsbahnen der Zahnpulpa ein bzw. aus.

Die **Pulpa** (**Pulpa dentis**) füllt als *Kronenpulpa* (Pulpa coronalis) den koronalen Abschnitt und als *Wurzelpulpa* (Pulpa radicularis) den radikulären Abschnitt der Pulpahöhle aus. Zusammen mit dem Dentin bildet sie das Endodontium (Pulpa-Dentin-Organ).

Die Pulpa hat *nutritive*, *sensorische*, *formative* und *defensive* Funktionen: Sie dient der Ernährung des Zahns und ist gut vaskularisiert und innerviert. In der Außenzone der Pulpa und in direktem Kontakt mit dem Prädentin befinden sich die palisadenförmig aufgereihten Odontoblasten, die mit einem Zellfortsatz (Tomes-Faser) bis in das Dentin reichen. Beim vitalen Zahn sind Odontoblasten auch nach dem Zahndurchbruch zur *Dentinbildung* (Sekundär- und Tertiärdentin; bis zu 8 µm pro Tag) in der Lage. Die Innenzone der Pulpa ähnelt einem gallertigen Bindegewebe und enthält neben *ortsansässigen* Pulpozyten (sie entsprechen Fibroblasten bzw. Fibrozyten) auch *freie Zellen* wie Makrophagen, Lymphozyten, Monozyten und Plasmazellen. Pulpastammzellen und undifferenzierte Mesenchymzellen der Pulpa gewährleisten außerdem über eine lebenslange Differenzierungsmöglichkeit zu Odontoblasten bzw. Fibroblasten die Regenerationsfähigkeit des Endodontiums.

Zahnhalteapparat

Der Zahnhalteapparat (**Parodontium**, ▶ **Abb. 17.24**) ist ein funktioneller Gewebeverband, der Zement, Desmodontium, Alveolarknochen und Zahnfleisch (Gingiva) umfasst und die **syndesmotische Befestigung** des Zahns in der Alveole (Gomphosis) ermöglicht. Durch das Saumepithel der Gingiva wird der Wurzelspalt zum Mundhöhlenmilieu verschlossen (dentogingivaler Verschluss).

Die Befestigung des Zahns in der Alveole entspricht einer gelenkigen Verbindung (**Articulatio dentoalveolaris**) und gestattet demzufolge auch eine geringe Zahnbeweglichkeit. So sind geringe Intrusionen bei Axialbelastungen und Kippbewegungen möglich, die im horizontalen Kronenausschlag 0,05–0,1 mm betragen können.

Das **Desmodontium**[7] (Lig. parodontale, Wurzelhaut) befindet sich in dem spaltförmigen Raum zwischen Zahnwurzel und knöcherner Alveolenwand (Periodontalspalt). Es ist derjenige Teil des Zahnhalteapparats, der die Verankerung des Zahns in der Alveole sicherstellt, sämtliche auf den Zahn wirkenden Kräfte aufnimmt und an den Knochen weiterleitet. Das Desmodontium enthält dazu ne-

ben Gefäßen und Nerven vor allem kollagene Faserbündel (**Fibrae cementoalveolares**), die als **Sharpey-Fasern** in der Alveolenwand und im Zement verankert sind. Der wellenförmige Verlauf und die Ausrichtung dieser Fasern wirken als „federnde Aufhängung" des Zahns in der Alveole. Außerdem wird der auf den Zahn wirkende Kaudruck in eine Zugbelastung für den Alveolarknochen umgewandelt.

Innerhalb und zwischen den Faserbündeln des Desmodontiums befinden sich Fibroblasten, die für eine ständige Erneuerung (Turnover) des desmodontalen Faserapparats sorgen.

Die meisten der **desmodontalen Fasern** haben im Periodontalspalt einen schräg apikalwärts vom Knochen zum Zement gerichteten und sich überkreuzenden Verlauf (Fibrae cementoalveolares intermedii). Andere Faserbündel sind radiär (im Bereich der Wurzelspitze als Fibrae cementoalveolares apicales) bzw. horizontal bis schräg aufsteigend (am Alveolarknochenkamm als Fibrae cementoalveolares marginales) ausgerichtet. Außerdem verbinden Fibrae cementoalveolares bifurcationes das Septum interradiculare des Alveolarknochens mit dem Bi- bzw. Trifurkationsbereich mehrwurzeliger Zähne.

Der **Periodontalspalt** kann gut im Röntgenbild beurteilt werden. Seine Weite beträgt durchschnittlich 200 µm, ist aber vom Lebensalter und von den funktionellen Belastungen des Zahns abhängig. Sie ist in der Mitte der Zahnwurzel, am Drehpunkt der Zahnbewegungen, am geringsten, am apikalen Ende und am Eingang in die Alveole dagegen am größten.

Der **Alveolarknochen**[5] (**Os alveolare**) entspricht dem zahntragenden Teil der Kiefer (Pars alveolaris im Unterkiefer bzw. Processus alveolaris im Oberkiefer). Er besteht aus einer äußeren, kräftigen Kortikalis, einer Spongiosa im Inneren und einer dünnen inneren Kortikalis, die die Wand der Alveole bildet und zahlreiche Perforationen für hindurchtretende Gefäße und Nerven aufweist.

Die knöcherne **Alveole** (**Alveolus dentalis**) entspricht einem (durch den Periodontalspalt) vergrößerten Negativmodell einer Zahnwurzel. Mehrwurzelige Zähne besitzen auch eine entsprechende Anzahl Alveolen, die durch knöcherne Trennwände (**Septa interradicularia**) voneinander getrennt sind. **Septa interalveolaria** trennen die Alveolen benachbarter Zähne.

Gefäße und Nerven treten über zahlreiche Perforationen der Alveolenwand, die den Öffnungen von Volkmann-Kanälen entsprechen, in den Periodontalspalt über. Die Alveolenwand wird dadurch siebartig durchlöchert (Lamina cribriformis).

Zahnverlust geht mit einem Funktionsverlust des Zahnhalteapparats einher, sodass bei zahnlos gewordenem Ober- bzw. Unterkiefer die ehemals zahntragenden und jetzt funktionslosen Anteile (Pars alveolaris des Unterkiefers bzw. Processus alveolares der Oberkiefer) atrophieren.

Die **Gingiva** enthält trotz des deutschen Namens „Zahnfleisch" keine Skelettmuskulatur, sondern ist ein spezialisierter Abschnitt der Mundschleimhaut. Die alveoläre Gingiva (**Gingiva alveolaris**) fest mit dem Periost des Alveolarknochens verbunden, die marginale Gingiva (**Gingiva marginalis**) umgibt den Zahn, und die papilläre Gingiva (**Gingiva papillaris**) füllt den dreieckigen Zwischenraum zwischen dem Alveolarkamm und dem Kontaktpunkt zweier benachbarter Zähne (Interdentalraum) mit einer vestibulären und einer lingualen bzw. palatinalen Zahnfleischpapille (**Papilla gingivalis**) aus. Zwischen beiden Papillen senkt sich die Gingiva zum Gingivasattel (Col) ein.

Am Unterkiefer und im vestibulären Bereich des Oberkiefers geht die Gingiva in die verschiebliche alveoläre Schleimhaut des Mundvorhofs (an der Linea girlandiformis, mukogingivale Grenzlinie) bzw. des Mundbodens über. Auf der Gaumenseite setzt sie sich dagegen ohne äußerlich sichtbare Grenze in die ebenfalls derbe und unverschiebliche Gaumenschleimhaut fort.

Die Gingiva besteht aus dem **Gingivaepithel** sowie einer Lamina propria mit einem gut vaskularisierten und innervierten straffen Bindegewebe. Die Haftung an der Zahnoberfläche vermittelt das von außen nicht sichtbare **Saumepithel** der Gingiva, das den Zahnhals ringförmig („wie ein Saum") umgibt. Über einen speziellen Haftmechanismus, der kohäsive und adhäsive Kräfte einschließt (Epithelansatz), haftet das Saumepithel mithilfe einer äußeren Basallamina an der Zahnoberfläche. Zusammen mit dem Faserapparat des periodontalen Bindegewebes bildet das Saumepithel den *dentogingivalen Verschluss*, der die epitheliale Integrität der Mundschleimhaut sichert und ein Eindringen von Bakterien in die Tiefe verhindern soll.

Der Übergang von der gesunden Gingiva zur Zahnoberfläche sollte glatt und ohne sichtbare Furche ausgebildet sein. In der Auseinandersetzung mit den Mikroorganismen der Zahnbeläge (Zahnplaques) bildet sich allerdings auch bei klinisch gesunder Gingiva eine Zahnfleischfurche (**Sulcus**

gingivalis) von 0,5–1 mm Tiefe aus, deren Boden das Saumepithel bildet.

Die Gingiva besitzt eine gute **Regenerationsfähigkeit**, die auf der hohen Umsatzrate ihrer Gewebe beruht. Die Erneuerungsrate des Saumepithels beträgt 10–15 Tage und schließt auch den Epithelansatz mit ein. Abgestorbene Saumepithelzellen werden über den Boden des Sulcus gingivalis in die Mundhöhle abgegeben.

Der vorwiegend aus kollagenen Fasern bestehende extraalveoläre **gingivale Faserapparat** ist die Fortsetzung des desmodontalen (intraalveolären) Faserapparats. Er dient vorwiegend der Anheftung der Gingiva am Zement und am Alveolarknochen und damit der mechanischen Stabilisierung der gingivalen Manschette um den Zahn.

Der gingivale Faserapparat besitzt folgende Anteile:

- Die **Fibrae dentogingivales** strahlen fächerförmig vom extraalveolären Teil des Zements in die Gingiva ein und setzen den desmodontalen (intraalveolären) Faserapparat fort.
- Die **Fibrae alveologingivales** strahlen in das Periost des Alveolarknochens ein und befestigen damit die Gingiva unverschieblich.
- Die **Fibrae interdentales** verbinden die vestibuläre mit der lingualen bzw. palatinalen Zahnfleischpapille.
- Die **Fibrae circulares** verlaufen ringförmig um den Zahn.

Gebiss (▶ Abb. 17.25)

Das menschliche Gebiss ist *heterodont*, da es aus verschiedenen Zahntypen mit jeweils charakteristischer Form besteht, und es ist *diphyodont*, da es in 2 Generationen auftritt. Einem Milchgebiss mit 20 Milchzähnen (**Dentes decidui**) folgt ein blei-

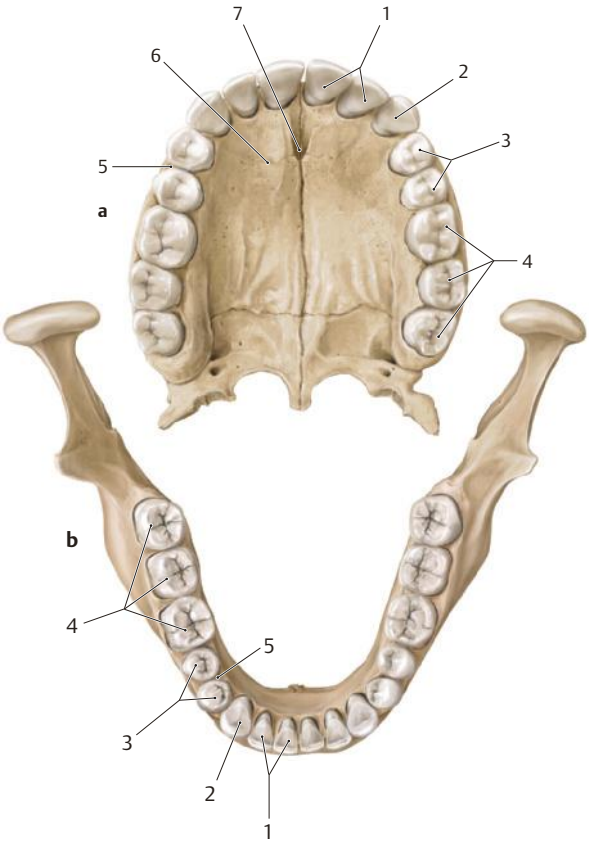


Abb. 17.25 Zahnbogen und bleibende Zähne (**Dentes permanentes**) im Oberkiefer (**a**) und im Unterkiefer (**b**).
1 Schneidezähne (Dentes incisivi)
2 Eckzahn (Dens caninus)
3 Backenzähne (Dentes premolares)
4 Mahlzähne (Dentes molares)
5 Septum interalveolare
6 Sutura incisivia
7 Fossa incisiva
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

bendes Gebiss mit 32 bleibenden Zähnen (**Dentes permanentes**).

Im *bleibenden Gebiss* trägt jeder Oberkiefer bzw. jede Unterkieferhälfte:

- 2 Schneidezähne (**Dentes incisivi**[1], Incisivi),
- 1 Eckzahn (**Dens caninus**[2], Caninus),
- 2 Backenzähne (**Dentes premolares**[3], Prämolaren),
- 3 Mahlzähne (**Dentes molares**[4], Molaren).

Schneidezähne und Eckzähne werden als *Frontzähne* von den *Seitenzähnen* (Prämolaren und Molaren) unterschieden.

Das *Milchgebiss* besitzt pro Oberkiefer- und pro Unterkieferhälfte nur 5 Zähne (2 Incisivi, 1 Caninus und 2 Milchmolaren) und damit keine Prämolaren und keine 3. Molaren.

Die Zähne bilden einen jeweils geschlossenen Zahnbogen, der im Oberkiefer (**Arcus dentalis superior**) einem Halboval und im Unterkiefer (**Arcus dentalis inferior**) einer Parabel ähnelt. Benachbarte Zähne eines Zahnbogens berühren sich in einem „Kontaktpunkt" bzw. einer „Kontaktfläche". Der verbleibende Spalt zwischen Kontaktpunkt und knöchernem Septum interalveolare wird als Interdentalraum (**Spatium interdentale**) bezeichnet.

Aufgrund der physiologischen Beweglichkeit der Zähne in den Alveolen kommt es zum Abrieb der Kontaktpunkte benachbarter Zähne, sodass sich der Kontaktpunkt in eine Kontaktfläche umwandelt. Die damit verbundene Verkleinerung des Zahnumfangs würde zur Lückenbildung führen, wird aber durch die physiologische Mesialwanderung („Mesialdrift") der Zähne ausgeglichen.

Ein zu tief ansetzendes Lippenbändchen im Mundvorhof des Oberkiefers ist oft die Ursache für eine Lücke zwischen Zahn 11 und Zahn 21, die als *Diastema mediale* bezeichnet wird.

Innerhalb des Zahnbogens verwendet man folgende Richtungsbezeichnungen:

- mesial: zur Mittellinie hin
- distal: von der Mittellinie weg
- vestibular: dem Vestibulum oris zugewandt
- lingual: der Zunge zugewandt
- labial: der Lippe zugewandt
- bukkal: der Wange zugewandt
- palatinal: dem Gaumen zugewandt
- approximal: der Kontaktfläche zum Nachbarzahn zugewandt
- okklusal: der Kaufläche zugewandt
- apikal: auf die Spitze der Zahnwurzel gerichtet
- koronal: auf die Zahnkrone gerichtet

Jeder Kontakt zwischen Oberkiefer- und Unterkieferzähnen wird als **Okklusion** bezeichnet. Okklusale Kontakte können bei Bewegungsfunktionen („Kauen") oder in statischen Positionen entstehen, z. B. als maximaler Vielpunktkontakt beim „Zähne zusammenbeißen". Beim Kieferschluss treffen die Kronen in der **Okklusionsebene** (Kauebene) aufeinander.

In einem intakten Gebiss steht bei der Okklusion jedem Zahn des einen Zahnbogens der gleichnamige Zahn des anderen Zahnbogens als Haupt- und dessen Nachbar als Nebenantagonist (Ausnahme: dritte obere Molaren, mittlere untere Schneidezähne) gegenüber. Die Kaukraft wird dadurch gleichmäßig auf den Kiefer verteilt.

Bei normaler Okklusion überlagern die oberen Schneidezähne die unteren Schneidezähne. Dadurch entsteht ein *Schneidezahn-Über-* bzw. *Scherenbiss*. Außerdem treffen beim Kieferschluss die palatinalen Höcker der oberen Prämolaren und Molaren in die Fissuren ihrer unteren Antagonisten (*Höcker-Fissuren-Verzahnung*).

Normale Okklusions- und Bissverhältnisse werden als **eugnath** bezeichnet, Abweichungen davon bilden **dysgnathe** Bissformen. Ein Beispiel für eine **Dysgnathie** ist die **Prognathie**, bei der der Unterkiefer um eine Prämolarenbreite rückverlagert ist. Eine Vorverlagerung des Unterkiefers um eine Prämolarenbreite entspricht einer **Progenie**.

Anspannung, Belastung oder Stress sind oft die Ursache oraler Parafunktionen. Durch lang anhaltende Zahnkontakte beim Zähneknirschen (**Bruxismus**) entstehen horizontale und damit ungünstige Belastungen des Zahnhalteapparats. Selbst der Zahnschmelz, die härteste Substanz des Körpers, kann durch Abrieb schwer geschädigt werden (**Abrasion**). Die dauernde Überanstrengung bestimmter Muskeln kann zu Verspannungen führen und die Ursache chronischer Schmerzen sein (z. B. Kopf- oder Nackenschmerzen).

Zahndurchbruch und Zahnwechsel

Die Milchzähne brechen in einer bestimmten Reihenfolge durch, beginnend im 6. Monat mit den Schneidezähnen. Dann folgen die 1. Milchmolaren und danach die Eckzähne. Mit dem Durchbruch der 2. Milchmolaren sollte das Milchgebiss im Alter von 2,5–3 Jahren vollständig sein. Die Milchzähne sind kleiner als die entsprechenden bleibenden Zähne.

Die **Wechselgebissperiode** bezeichnet den Übergang zwischen Milchgebiss und bleibendem Gebiss. Der Zahnwechsel ist mit einem Verlust der Milchzähne verbunden, deren Wurzeln und knöchernen Alveolenwände resorbiert werden. Diejenigen bleibenden Zähne, die Milchzähne ersetzen, werden **Ersatzzähne** genannt. Die hinter den Milchzähnen durchbrechenden bleibenden Zähne werden als **Zuwachszähne** bezeichnet.

Erst mit dem Durchbruch der bleibenden Zähne erreichen die zahntragenden Teile des Ober- und Unterkiefers ihre definitive Größe.

Die Wechselgebissperiode läuft in 2 Phasen ab:
- In der *ersten Phase* (6.–9. Lebensjahr) brechen die bleibenden Molaren (Zuwachszähne) und die bleibenden Schneidezähne (Ersatzzähne) durch.
- In der *zweiten Phase* (10.–12. Lebensjahr) werden die Milchmolaren durch die Prämolaren (Ersatzzähne) und die Milcheckzähne durch die bleibenden Eckzähne ersetzt.
- Aufgrund der Durchbruchszeiten bezeichnet man den 1. Molaren auch als Sechsjahrmolar, den 2. Molaren als Zwölfjahrmolar und den 3. Molaren als Weisheitszahn (*Dens sapientiae* oder *Dens serotinus*).

Zahnschema

Von der Weltzahnärzteorganisation (Fédération Dentaire Internationale, FDI) ist ein zweizahliges Identifikationssystem (**FDI-System**) erarbeitet worden, das die Einteilung des Gebisses in 4 Quadranten als Grundlage hat. Die erste Zahl dieses Systems gibt den Quadranten an, während die zweite Zahl den entsprechenden Zahn im Quadranten bezeichnet.

Für die Quadranten im bleibenden Gebiss werden die Ziffern 1–4 vergeben, für das Milchgebiss wird von 5–8 weitergezählt. Begonnen wird am rechten Oberkiefer (rechter oberer Quadrant, „rechts oben"), der die Ziffer 1 erhält. Ziffer 2 ist dann der linke Oberkiefer, Ziffer 3 die linke Unterkieferhälfte und Ziffer 4 die rechte Unterkieferhälfte. Die Zählung der Zähne beginnt man in jedem Quadranten mit dem zentralen Schneidezahn (Ziffer 1) und zählt dann jeweils durch bis zum 3. Molaren (Ziffer 8). Der Eckzahn im rechten oberen Quadranten erhält also nach dem FDI-Schema die Zahl 13 (gesprochen „eins drei" oder auch „rechts oben drei").
- FDI-Schema für das bleibende Gebiss:
  18 17 16 15 14 13 12 11 21 22 23 24 25 26 27 28
  48 47 46 45 44 43 42 41 31 32 33 34 35 36 37 38
- FDI-Schema für das Milchgebiss:
  55 54 53 52 51 61 62 63 64 65
  85 84 83 82 81 71 72 73 74 75

Zahnformen

Für die Kronenform der Schneidezähne ist eine Schneidekante (**Margo incisalis**) charakteristisch. Eckzähne besitzen 2 Schneidekanten, die sich in der Kauspitze (**Apex cuspidis**) treffen. Prämolaren- und Molarenkronen tragen auf ihrer Kaufläche (**Facies occlusalis**) Höcker (**Cuspides**) und ein dazwischenliegendes Fissurenrelief. Je nach Typ besitzen die Zähne 1, 2 oder 3 Wurzeln in jeweils charakteristischer Anordnung.

Die Merkmale der einzelnen Zahntypen sind in ▶ Tab. 17.14 zusammengefasst.

Der Bestimmung eines einzelnen Zahns dienen außerdem folgende Merkmale:
- Wurzelmerkmal: Wurzel weicht gegenüber der Zahnachse nach distal ab,
- Winkelmerkmal: mesiale Kontaktfläche bildet mit der Kaufläche oder Schneidekante einen spitzeren Winkel als distal,
- Krümmungsmerkmal: im mesialen Anteil stärkere Krümmung der Vestibularfläche einer Zahnkrone als im distalen Anteil.

Leitungsbahnen der Zähne und des Zahnhalteapparats

Arterien. Die Arterien für Zähne und Zahnhalteapparat entstammen hauptsächlich dem Stromgebiet der **A. maxillaris**, einem der beiden Endäste der A. carotis externa.

Für den Oberkiefer dringen Verzweigungen der **A. alveolaris superior posterior** (Pars pterygopalatina der A. maxillaris) über die Foramina alveolaria am Tuber maxillae in den Knochen ein und erreichen die Prämolaren und Molaren. Ergänzt werden sie von der **A. alveolaris superior anterior**, die sich von der A. infraorbitalis (Pars pterygopalatina der A. maxillaris) im Canalis infraorbitalis abspaltet und in der Vorderwand des Sinus maxillaris zu den Frontzähnen gelangt. Beide Arterien bilden über den Zahnwurzeln einen arteriellen Bogen und versorgen mit **Rr. dentales** die Pulpa und mit **Rr. peridentales** den Zahnhalteapparat. Die arterielle Versorgung der Gingiva im Gaumenbereich leitet sich von der A. palatina major und der A. nasopalatina (S. 432) ab. Zur vestibulären Gingiva der Frontzähne des Oberkiefers gelangen außerdem Äste der A. facialis.

Im Unterkiefer dringt die **A. alveolaris inferior** (Pars mandibularis der A. maxillaris) am Foramen mandibulae in den Canalis mandibulae ein und endet als **A. incisiva** im Frontzahnbereich. Aus ihr ge-

Tab. 17.14 Morphologische Merkmale der einzelnen Zahntypen.

Zahntyp	Zahnkrone	Zahnwurzel
Incisivi	scharfkantige und meißelförmige Schneidekante	einwurzelig
Canini	• dreieckige Kauspitze • 2 schräge Schneidekanten	einwurzelig*
Prämolaren	• zweihöckerige Kaufläche	erste obere Prämolaren meist 2-wurzelig:
		• Radix vestibularis
		• Radix lingualis
		zweite obere Prämolaren: einwurzelig
		untere Prämolaren: einwurzelig
Molaren	• 4- bis 5-höckerige Kaufläche	obere Molaren 3-wurzelig:
		• Radix vestibularis mesialis
		• Radix vestibularis distalis
		• Radix lingualis
		untere Prämolaren 2-wurzelig
		• Radix mesialis
		• Radix distalis

* Der obere Caninus besitzt die längste Zahnwurzel im Gebiss, die bis in die Nähe der Orbita reichen kann. Man nennt ihn deshalb auch „Augenzahn".

hen **Rr. dentales** für die Pulpa und **Rr. peridentales** für den Zahnhalteapparat hervor. Der **R. mentalis** verlässt die Mandibula am Foramen mentale. Außerdem können Äste der A. sublingualis bzw. submentalis über Foramina lingualia an der Innenseite des Unterkiefers (S. 434) in den Knochen eindringen und mit der A. incisiva anastomosieren. An der Versorgung der vestibulären Gingiva des Frontzahngebiets sind außerdem Äste der A. facialis wie die A. labialis inferior beteiligt.

Venen. Das venöse Blut des Oberkiefers fließt in den **Plexus pterygoideus** und in die **V. facialis** ab. Am Unterkiefer verläuft der Abfluss über die **V. alveolaris inferior** ebenfalls in den Plexus pterygoideus und durch das Foramen mentale in die V. facialis.

Lymphabfluss. Die Lymphe der Zähne und des Zahnhalteapparats gelangt hauptsächlich zu den **Nodi lymphoidei submandibulares**. Ausgenommen sind die unteren Schneidezähne, deren Lymphe zuerst die **Nodi lymphoidei submentales** erreicht, sowie die palatinale Gingiva, deren Lymphe in die **Nodi lymphoidei cervicales profundi** abfließt.

Aufgrund ihrer Bedeutung für den Lymphabfluss der Zähne kann man die Nodi lymphoidei submandibulares und submentales auch als **dentale Lymphknoten** bezeichnen.

Innervation im Oberkiefer. Die sensible Innervation der Zähne und des Zahnhalteapparats leitet sich im Oberkiefer vom **N. maxillaris** (2. Hauptast des N. trigeminus, V2) und im Unterkiefer vom **N. mandibularis** (3. Hauptast des N. trigeminus, V3) ab.

Der N. infraorbitalis gibt die **Nn. alveolares superiores** gewöhnlich in 3 Astgruppen ab, die in der Hinter-, Seiten- und Vorderwand des Sinus maxillaris nach unten verlaufen und sich über den Wurzelspitzen der Oberkieferzähne (und damit teilweise im Boden des Sinus maxillaris) zum **Plexus dentalis superior** verflechten. Die Nervenfasern verlaufen streckenweise in vollständigen Knochenkanälen oder in Rinnen zwischen Knochen und Sinusschleimhaut.

- Die **Rr. alveolares superiores posteriores** spalten sich vom N. infraorbitalis in der *Fossa pterygopalatina* ab und treten am Tuber maxillae über die Foramina alveolaria in der Hinterwand des Sinus maxillaris in die Maxilla ein.
- Der **R. alveolaris superior medius** spaltet sich vom N. infraorbitalis im *Sulcus infraorbitalis* ab und verläuft anschließend in der Seitenwand des Sinus maxillaris.
- Die **Rr. alveolares superiores anteriores** spalten sich vom N. infraorbitalis kurz vor seinem Aus-

tritt aus dem Foramen infraorbitale im *Canalis infraorbitalis* ab und gelangen in der Vorderwand des Sinus maxillaris zum Plexus dentalis superior.

Aus dem Plexus dentalis superior gehen Äste für die Zahnpulpa (**Rr. dentales superiores**) und Äste für den Zahnhalteapparat (**Rr. gingivales superiores**) hervor. Trotz ihrer Verflechtungen zum Plexus dentalis superior innervieren die *Rr. alveolares superiores posteriores* bevorzugt die Molaren (6–8), der *R. alveolaris medius* die Prämolaren (4, 5) und die *Rr. alveolares superiores anteriores* die Frontzähne (1–3).

Die palatinale Gingiva wird im Bereich der Schneide- und der Eckzähne vom **N. nasopalatinus**, im Bereich der Prämolaren und Molaren vom **N. palatinus major** innerviert (▶ Tab. 17.11).

Innervation im Unterkiefer. Im Unterkiefer tritt der **N. alveolaris inferior** am Foramen mandibulae in den Canalis mandibulae ein und gibt die **Rr. alveolares inferiores** ab, die sich (ähnlich wie im Oberkiefer) zum **Plexus dentalis inferior** verflechten. Aus ihm entwickeln sich Äste für die Zahnpulpa (**Rr. dentales inferiores**) und Äste für den Zahnhalteapparat (**Rr. gingivales inferiores**).

Der Anteil des N. alveolaris inferior, der die Schneide- und Eckzähne innerviert, wird als **N. incisivus** bezeichnet. Der N. incisivus verläuft im Canalis incisivus, der die Fortsetzung des Canalis mandibulae nach vorn darstellt, und speist den **Plexus incisivus**, aus dem ebenso Rr. dentales und Rr. gingivales hervorgehen. Gelegentlich kann der N. incisivus auch über die Mittellinie in den Plexus incisivus der Gegenseite einstrahlen. Der **N. mentalis** spaltet sich im Canalis mandibulae vom N. alveolaris inferior ab, wendet sich im Canalis mentalis nach außen und verlässt den Knochen am Foramen mentale. Er versorgt die vestibuläre Gingiva der Schneidezähne und des Eckzahns. Äste des **N. lingualis** bzw. des **N. sublingualis** innervieren die linguale Gingiva. An der Innervation der vestibulären Gingiva der Molaren beteiligt sich außerdem der **N. buccalis.**

Die an der Wurzelspitze in die Pulpa eintretenden **sensiblen Nervenfasern** (Rr. dentales) leiten chemische, osmotische oder thermische Reize als *Schmerzempfindungen* („Zahnschmerzen") weiter. Sie bilden in der Außenzone der Pulpa den *Raschkow-Plexus* (subodontoblastischer Plexus), dessen Verzweigungen bis in die Dentinkanälchen reichen und den umschriebenen hellen Schmerz vermitteln. Die Nervenfasern in der Innenzone der Pulpa übertragen den dumpfen und schlecht lokalisierbaren Schmerz.

Die sensiblen Nervenfasern im Wurzelspalt (Rr. gingivales) innervieren das Periost des Alveolarknochens, das Desmodontium und die vestibuläre Gingiva. Sie registrieren Schmerz- und Druckempfindungen. Über *Mechanorezeptoren* wird eine *dreidimensionale Tastrezeption* vermittelt, die u. a. der Registrierung des Kaudrucks und der Regulation der Kaumuskulatur dient. So werden ungenießbare Fremdkörper wie *Kirschkerne* oder *kleine Steinchen* zwischen den Zahnreihen gleich erkannt und das Kauen sofort gestoppt.

Leitungsanästhesie in der Mundhöhle

Bei einer **Leitungsanästhesie** wird das Anästhetikum in die unmittelbare Nähe eines sensiblen Nervenstamms appliziert. Damit wird Schmerzfreiheit im Ausbreitungsgebiet des betreffenden Nervs erreicht. Folgende Leitungsanästhesien werden in der Mundhöhle durchgeführt:

- Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior und des N. lingualis im pterygomandibulären Raum:
  Der N. alveolaris inferior kann kurz vor seinem Eintritt in den Canalis mandibulae anästhesiert werden. Schmerzfreiheit besteht dadurch im Bereich des Plexus dentalis inferior sowie des N. mentalis (taube Unterlippe!) der ipsilateralen Unterkieferhälfte. Durch die Anästhesie des N. lingualis wird zusätzlich Schmerzfreiheit der lingualen Gingiva der betreffenden Unterkieferhälfte erreicht.
- Leitungsanästhesie der Rr. alveolares superiores anteriores im Canalis infraorbitalis:
  Das Anästhetikum wird an das Foramen infraorbitale appliziert und erreicht durch Diffusion in den Canalis infraorbitalis die Rr. alveolares superiores anteriores, die die Zähne 1–3 innervieren. Zusätzlich werden die Hautäste des N. infraorbitalis anästhesiert (taube Oberlippe!).
- Leitungsanästhesie der Rr. alveolares superiores posteriores am Tuber maxillae (Tuberanästhesie):
  Am Tuber maxillae können die Rr. alveolares superiores posteriores kurz vor ihrem Eintritt in die Foramina alveolaria anästhesiert werden. Damit wird Schmerzfreiheit der Zähne und des Zahnhalteapparats (außer der palatinalen Gingiva) der Zähne 6–8 im Oberkiefer erreicht.

- Leitungsanästhesie des N. palatinus major am Foramen palatinum majus und des N. nasopalatinus am Foramen incisivum:
  Die Schmerzfreiheit der palatinalen Gingiva erfordert im Frontzahngebiet die Leitungsanästhesie des N. nasopalatinus am Foramen incisivum und im Seitzahngebiet die Leitungsanästhesie des N. palatinus major am Foramen palatinum majus.

Bei allen aufgeführten Leitungsanästhesien ist eine Punktion der begleitenden Blutgefäße und damit eine Applikation des Lokalanästhetikums in die Blutbahn zu vermeiden.

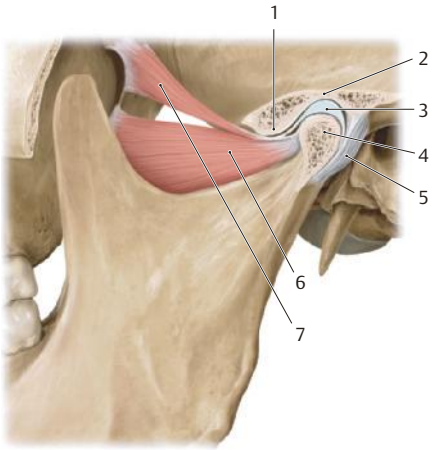


Abb. 17.26 Kiefergelenk mit eröffneter Gelenkkapsel.
1 Tuberculum articulare
2 Fossa mandibularis
3 Discus articularis
4 Caput mandibulae
5 Capsula articularis
6 M. pterygoideus lateralis, Pars inferior
7 M. pterygoideus lateralis, Pars superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

17.3.5 Kiefergelenk und Kaumuskulatur

Der Unterkiefer ist über die beiden Kiefergelenke (**Articulationes temporomandibulares**) beweglich mit der Schädelbasis verbunden. Dadurch werden differenzierte Bewegungsabläufe während der Nahrungsaufnahme, während des Kauens und Schluckens sowie bei der Artikulation möglich. Außerdem hat die Stellung des Unterkiefers zum restlichen Schädel auch eine Bedeutung fur die Physiognomie.

Aufbau des Kiefergelenks (► Abb. 17.26)

Jedes Kiefergelenk besteht aus folgenden Baueinheiten:
- Gelenkkopf (**Caput mandibulae**[4]) an der Mandibula,
- Gelenkfläche (**Facies articularis**) am Os temporale, bestehend aus:
  - Gelenkgrube (**Fossa mandibularis**[2]),
  - Gelenkhöcker (**Tuberculum articulare**[1])
- Gelenkscheibe (**Discus articularis**[3]),
- Gelenkkapsel (**Capsula articularis**[5]) mit Stratum fibrosum und Stratum synoviale,
- Bänder.

Außerdem sind wie bei jedem echten Gelenk Synovia und subchondraler Knochen unerlässlich für die Gelenkfunktion.

Bei niederen Vertebraten artikulieren im „primären Kiefergelenk“ die aus dem 1. Kiemenbogen entstandenen Anlagen von Ober- und Unterkiefer (Palatoquadratum und Mandibulare) miteinander. Dementsprechend stehen beim Menschen Hammer und Amboß, die aus dem hinteren Anteil des Meckel-Knorpels (Knorpel des 1. Schlundbogens) entstehen, über das Hammer-Amboß-Gelenk in gelenkiger Verbindung. Das („sekundäre“) Kiefergelenk des Menschen entsteht dagegen als Anlagerungsgelenk aus den Anlagen von Mandibula und Os temporale. Bei dieser Form der Gelenkentstehung sind die Gelenkflächen nicht von hyalinem, sondern von Faserknorpel überzogen.

Die altersabhängige Entwicklung des Kiefergelenks ist eng mit dem Kauapparat verbunden. Beim (noch zahnlosen) Neugeborenen sind Fossa mandibularis und Tuberculum articulare nur angedeutet. Erst mit dem Durchbruch der Milchzähne entwickeln sich diese Gelenkstrukturen und erfahren ihre volle Ausprägung mit dem Ende der 2. Dentition, wohingegen sie sich beim zahnlosen Greis wieder abflachen.

Das **Caput mandibulae**[4] bildet das etwas nach vorn abgeknickte und walzenförmige Ende des **Processus condylaris** der Mandibula. Die Längs-

achsen des rechten und linken Gelenkkopfs schneiden sich in einem stumpfen Winkel von etwa 145° vor dem Foramen magnum. Im vorderen Abschnitt hat das Caput mandibulae eine von Faserknorpel überzogene Gelenkfläche.

Der in der Klinik gebrauchte Begriff „Kondylus" fasst Caput mandibulae und Processus condylaris zusammen.

Der bikonkave **Discus articularis**[3] sitzt dem Caput mandibulae kappenartig auf. Sein zentraler Abschnitt ist dünn und besteht aus straffem Bindegewebe, der verdickte vordere und hintere Rand ist faserknorpelig. Mit der Gelenkkapsel ist er so verwachsen, dass er das Kiefergelenk in ein oberes **diskotemporales** und ein unteres **diskomandibuläres** Teilgelenk mit einer jeweils eigenen Gelenkhöhle und eigener Synovialmembran unterteilt. In den vorderen Abschnitt des Discus strahlen die Sehnenzüge des M. pterygoideus lateralis ein. Im hinteren Abschnitt geht der Discus in die **bilaminäre Zone** über. Die obere elastische Lamelle der bilaminären Zone inseriert am dorsalen Teil der Fossa mandibularis an der Fissura petrotympanica. Ihre elastischen Fasern spannen sich bei Gleitbewegungen des Discus nach vorn auf das Tuberculum articulare, während sie sich bei den Rückholbewegungen wieder entspannen. Die untere Lamelle ist am Processus condylaris befestigt und stabilisiert die Lage des Discus auf dem Caput mandibulae. Innen ist die bilaminäre Zone mit Synovialmembran überzogen und schließt damit die Gelenkhöhle nach dorsal ab. Zwischen den beiden Lamellen befindet sich ein als **retroartikuläres plastisches Polster** bezeichnetes bindegewebiges Balkenwerk, das reich an Nervenfasern und Rezeptoren ist und außerdem an- und abschwellbare Venengeflechte enthält. Die Venengeflechte bilden ein „hydropneumatisches Polster" für den Discus, das auch durchziehende Nervenfasern vor mechanischen Reizungen schützt.

Die **Facies articularis** am Os temporale umfasst die konkave **Fossa mandibularis**[2] und das davor gelegene konvexe **Tuberculum articulare**[1] und erscheint dadurch am Sagittalschnitt S-förmig gekrümmt.

Die Fossa mandibularis besitzt nur in ihrem vorderen, zur Pars squamosa des Os temporale gehörenden Abschnitt einen Knorpelüberzug. Der zur Pars tympanica gehörende hintere Anteil der Fossa mandibularis befindet sich außerhalb der Gelenkkapsel des Kiefergelenks (extrakapsulärer Abschnitt der Fossa mandibularis) und grenzt an den äußeren Gehörgang (Meatus acusticus externus). Außerdem durchläuft die Chorda tympani die Fissura petrotympanica (Glaser-Spalte) und gelangt damit in unmittelbare Nähe zum Kiefergelenk.

Die Fissura petrotympanica als Durchtrittsort für die die Chorda tympani entspricht der allgemein gültigen Lehrmeinung. Verschiedene Untersuchungen zeigen allerdings, dass die Chorda tympani auch durch die Fissura sphenopetrosa verlaufen kann.



Die Fossa mandibularis projiziert sich auf die mittlere Schädelgrube und ist von ihr nur durch eine dünne Knochenlamelle getrennt. Ein Faustschlag oder ein Sturz auf das Kinn bei geöffnetem Mund kann den Processus condylaris durch die dünne Kompakta über der Fossa mandibularis in die mittlere Schädelgrube treiben (**zentrale Kiefergelenkluxation**).

Die **Gelenkkapsel**[5] des Kiefergelenks ist weit und trichterförmig sowie allseitig mit dem Discus articularis verwachsen (diskokapsuläre Einheit nach Dauber). Ihre Befestigung am Os temporale folgt den Rändern der Fossa mandibularis und schließt das Tuberculum articulare mit ein. Gegen den Unterkiefer verjüngt sie sich, um am Caput mandibulae zu inserieren. Im dorsalen Bereich des Kiefergelenks geht die Gelenkkapsel in die bilaminäre Zone über.

Zur Stabilisierung besitzt das Kiefergelenk 3 **Bänder**. Seitlich wird die Gelenkkapsel vom **Lig. laterale** (Lig. temporomandibulare) verstärkt, das von der Außenseite des Tuberculum articulare zum Collum mandibulae zieht. Das Lig. laterale hemmt ein übermäßiges Zurückgleiten des Caput mandibulae gegen den äußeren Gehörgang und wird bei einer Öffnungsbewegung der Mandibula ab 20° gespannt. Die weiteren Bänder haben keinen direkten Bezug zur Gelenkkapsel: Das **Lig. sphenomandibulare** zieht von der Spina ossis sphenoidalis zur Lingula der Mandibula. Das **Lig. stylomandibulare** verbindet den Processus styloideus des Os temporale mit dem hinteren Rand des Ramus mandibulae. Beide Bänder hemmen Protrusions- und Abduktionsbewegungen der Mandibula.

Gelenkmechanik des Kiefergelenks

Das Kiefergelenk gestattet Gleitbewegungen im oberen Teilgelenk und Drehbewegungen im unteren Teilgelenk. Der Discus articularis wirkt als bewegliche Gelenkpfanne, die die Bewegungen des Caput mandibulae begleitet und die Inkongruenzen der artikulierenden Gelenkflächen ausgleicht.

Trotz ihrer morphologischen Trennung sind rechtes und linkes Kiefergelenk funktionell miteinander verbunden: Jede Bewegung in dem einen ist mit einer Bewegung im anderen Kiefergelenk verbunden. Durch die Unterteilung in ein oberes und ein unteres Teilgelenk entstehen insgesamt 4 funktionell gekoppelte Einzelgelenke, die eine Vielzahl von Bewegungsformen der Mandibula gestatten. Die Grundbewegungsformen in beiden Kiefergelenken können symmetrisch oder asymmetrisch ablaufen. Die Bewegungsabläufe werden außerdem von der Form und der Stellung der Zähne beeinflusst.

Folgende Hauptbewegungen sind möglich:

- **Abduktion**: Öffnen der Zahnreihen,
- **Adduktion**: Schließen der Zahnreihen,
- **Translation**: Gleitbewegung (Schlittenbewegung) des Unterkiefers:
  - nach vorn: **Protrusion**,
  - nach hinten: **Retrusion**,
- **Laterotrusion**: seitliche Gleitbewegung des Unterkiefers.

Die weite Gelenkkapsel gestattet vor allem Translationsbewegungen entlang der S-förmigen Gelenkbahn. Gelangt bei einer **Luxation** nach ventral das Caput mandibulae *vor* das Tuberculum articulare, verhindert der dann straff gespannte Kapsel-Band-Apparat und der Spasmus der Kaumuskulatur eine Rückführung des Unterkiefers aus eigener Kraft. Zur Reposition legt der Helfer seine Daumen auf die Zahnreihen des Patienten und drückt den Unterkieferkörper zur Lösung seiner Verhakung nach kaudal. Steht dann das Caput mandibulae tiefer als das Tuberculum articulare, kann der Unterkiefer ohne Schwierigkeiten nach dorsal in die Fossa mandibularis geführt werden. Hierbei sollte der Helfer aber auf den Schutz seiner Daumen achten. Ursachen dieser Luxationsform sind u. a. abnorm starke Öffnungsbewegungen, z. B. beim herzhaften Gähnen oder bei zahnärztlichen Eingriffen.

Bei der **Ab- und Adduktion** der Mandibula vollführt das Caput mandibulae eine in beiden Kiefergelenken symmetrische Kombinationsbewegung aus Rotation und Translation. Bis zu einer Öffnung von etwa 5 mm Kaukantenabstand zwischen oberen und unteren Schneidezähnen rotieren beide Kiefergelenkköpfe um eine gemeinsame, stationäre, transversale Achse (erste Phase der Abduktion). Danach geht die Bewegung in ein Drehgleiten über (zweite Phase der Abduktion): Dabei gleitet durch Muskelzug das Caput mandibulae mit dem Discus unter anhaltender Rotation im unteren Teilgelenk aus der Fossa mandibularis heraus auf den hinteren Abhang des Tuberculum articulare. Bei dieser Bewegung bleibt der Discus durch den Zug der oberen elastischen Lamelle der bilaminären Zone in der Bewegung gegenüber dem Caput mandibulae etwas zurück.

Bei der unbewussten Abstandshaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer („*Ruheschwebe*“) werden beide Gelenkköpfe durch den Tonus der Kaumuskulatur und der suprahyalen Muskulatur am Wendepunkt der S-förmigen Gelenkfläche am Os temporale gehalten. Das „Heraustreten“ des Discus samt Caput mandibulae aus der Fossa mandibularis bei der Öffnungsbewegung wird durch die zunehmende Inkongruenz der Gelenkflächen beim Öffnungsvorgang erforderlich. Während der Drehpunkt der durch beide Gelenkköpfe gehenden transversalen Achse auf der S-förmigen Gelenkbahn wandert, besteht dagegen um das Foramen mandibulae die größte Ruhe, sodass die dort durchtretenden Leitungsbahnen nicht „gezerrt“ werden. Die Verschiebung des Gelenkkopfs beim Öffnen ist mit dem in den Gehörgang eingeführten Kleinfinger tastbar.

Das Kiefergelenkknacken ist ein häufiges Symptom einer **kraniomandibulären Dysfunktion** (CMD) und oft auch Anlass für das Aufsuchen eines Zahnarztes. Die Ursache ist häufig eine Verlagerung des Discus nach vorne. Während der Abduktion entsteht dann ein „Öffnungsknacken“, wenn der Discus auf den nach vorn gleitenden Kondylus „aufspringt“.

Translationsbewegungen finden im oberen, diskotemporalen Teilgelenk statt. Bei der Protrusion gleitet der Gelenkkopf zusammen mit dem Discus auf der S-förmigen Gelenkbahn (sagittale Kondylenbahn) nach vorn und unten, bei der Retrusion nach hinten und oben. Die Gleitbewegung wird

von den oberen Schneidezähnen geführt (Inzisalführung) und erfordert eine zusätzliche Abduktion, damit die unteren an den im Überbiss stehenden oberen Schneidezähnen vorbeigleiten können.

Bei den **Laterotrusionsbewegungen** der Mandibula laufen in beiden Kiefergelenken asymmetrische Bewegungen ab. Auf der „Balanceseite" wird der Kondylus nach vorn auf das Tuberculum articulare gezogen (Translation des „schwingenden Kondylus"). Auf dieser Unterkieferseite bewegt sich die Zahnreihe zur Medianebene hin (Mediotrusionsseite). Auf der „Arbeitsseite" bleibt der Kondylus am Ort („ruhender Kondylus") und dreht sich um eine vertikale Achse nach außen, sodass sich die Zahnreihe von der Medianebene entfernt (Laterotrusionsseite).

Leitungsbahnen des Kiefergelenks

Das Kiefergelenk wird von der **A. temporalis superficialis** und der **A. auricularis profunda**, einem Ast aus der Pars mandibularis der A. maxillaris, versorgt. Sensible Fasern des **N. auriculotemporalis** innervieren vor allem die Gelenkkapsel. Außerdem beteiligen sich Fasern des **N. massetericus** und der **Nn. temporales profundi** (aus dem N. mandibularis, 3. Ast des N. trigeminus, V3) an der Innervation der Gelenkstrukturen.

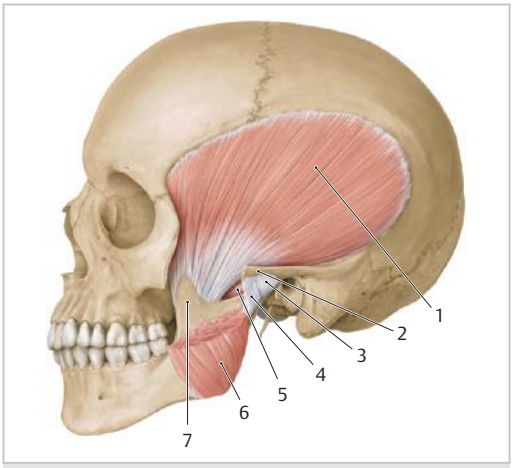


Abb. 17.27 Kiefergelenk und Kaumuskulatur. Der Arcus zygomaticus und ein Teil des M. masseter wurden entfernt.
1 M. temporalis
2 Arcus zygomaticus
3 Capsula articularis
4 Lig. laterale
5 M. pterygoideus lateralis
6 M. masseter
7 Processus coronoideus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Kaumuskulatur (▶ Abb. 17.27)

Zur Kaumuskulatur im engeren Sinne gehören 4 paarige Muskeln, die in ▶ Tab. 17.15 aufgeführt sind. Sie haben ihren Ursprung an der Außenseite des Schädels bzw. der äußeren Schädelbasis und ihren Ansatz an der Mandibula. Dadurch wirken sie ausschließlich auf das Kiefergelenk. Bis auf den M. pterygoideus lateralis sind sie kräftige *Adduktoren* und wirken beim „Abbeißen" und „Zerkauen" der Nahrung. Die Kaumuskulatur entwickelt sich aus dem 1. Schlundbogen und wird von den motorischen Fasern des N. trigeminus innerviert.

Der **M. masseter**[6] liegt als großer, viereckiger Muskel an der Außenseite des Unterkiefers zwischen Arcus zygomaticus und Angulus bzw. Ramus mandibulae. Er wird von der **Fascia masseterica** eingehüllt und besitzt 2 Anteile mit unterschiedlichen Faserverläufen, die eine nach hinten offene Tasche bilden: Die oberflächliche Pars superficialis verläuft schräg und überlagert den größten Teil der Pars profunda, deren mehr vertikal angeordnete Fasern nur am hinteren Rand des Muskels sichtbar werden.

Der M. masseter ist mehrfach gefiedert und besitzt dadurch einen großen physiologischen Querschnitt. Seine Kraft setzt er vor allem bei der Adduktion des Unterkiefers ein. Die schräg verlaufenden Muskelfasern der Pars superficialis können sich außerdem geringfügig an der Protrusion (bei beidseitiger Kontraktion) bzw. der Laterotrusion (bei einseitiger Kontraktion) der Mandibula beteiligen. Fasern der Pars profunda strahlen auch in die diskokapsuläre Einheit ein und regulieren die Kapselspannung des Kiefergelenks.

Der **M. pterygoideus medialis** verläuft an der Innenseite des Ramus mandibulae mit einem zur Pars superficialis des M. masseter gleichsinnigen Faserverlauf. Der zweiköpfige Muskel entspringt an der Fossa pterygoidea bzw. der Lamina lateralis des Flügelfortsatzes und setzt an der Innenfläche des Angulus mandibulae an, wo seine Fasern die Tuberositas pterygoidea hervorrufen. Mit dem M. masseter bildet er eine Funktionsgemeinschaft:

Tab. 17.15 Kaumuskulatur und ihre Leitungsbahnen. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 17.27**.

Kaumuskel	Innervation	arterielle Versorgung	venöser Abfluss
M. masseter[6]	N. massetericus	A. masseterica	Plexus pterygoideus
M. pterygoideus medialis	N. pterygoideus medialis	Rr. pterygoidei A. pterygomeningea	Plexus pterygoideus
M. pterygoideus lateralis[5]	N. pterygoideus lateralis		
M. temporalis[1]	Nn. temporales profundi	A. temporalis profunda anterior und posterior A. temporalis media	V. temporalis media

Beide Muskeln umgreifen als „Steigbügel" die Mandibula und wirken synergistisch bei der Adduktion und unterstützen die Protrusion der Mandibula. Diese einer Muskelschlinge entsprechende Konstruktion führt die Mandibula und trägt damit zur muskulären Sicherung der Kiefergelenke bei.

Der **M. temporalis**[1] ist der kräftigste der Kaumuskeln. Er füllt fast vollständig die **Fossa temporalis** an der seitlichen Schädelwand aus und wird durch die **Fascia temporalis** eingehüllt, die an der Linea temporalis superior entspringt und mit einem oberflächlichen Blatt (**Lamina superficialis**) an der Außenseite und mit einem tiefen Blatt (**Lamina profunda**) an der Innenseite des Arcus zygomaticus befestigt ist. Die Fasern des Muskels entspringen fächerförmig vom Planum temporale des Os temporale und vom tiefen Blatt der Fascia temporalis. In der Tiefe reicht sein Ursprung von der Crista infratemporalis bis an den Eingang der Fossa pterygopalatina. Seine kräftige Endsehne zieht *medial* des Arcus zygomaticus zum Processus coronoideus und reicht an der Innenseite des Ramus mandibulae bis zur Crista temporalis und teilweise bis an den 3. Molaren heran.

Der M. temporalis wirkt als Adduktor und damit synergistisch zum M. pterygoideus medialis und M. masseter. Die hinteren Fasern seines Muskelfächers können aufgrund ihres zunehmend horizontalen Verlaufs den Unterkiefer zurückziehen (Retrusion) und wirken dadurch antagonistisch zum M. pterygoideus lateralis. Bei der Rückführung des Unterkiefers wird er durch die elastische obere Lamelle der bilaminaren Zone unterstützt.

Der zweiköpfige **M. pterygoideus lateralis**[5] liegt wie der M. pterygoideus medialis in der Fossa infratemporalis. Beide Anteile (Caput superius und Caput inferius) inserieren an der Fovea pterygoidea des Processus condylaris. Sein schwächerer oberer Kopf strahlt zusätzlich in den Discus articularis ein. Durch den annähernd horizontalen Verlauf des Muskels (der Ursprung befindet sich *vor* dem Ansatz), der ihn von den anderen Kaumuskeln unterscheidet, vermag er das Caput mandibulae gemeinsam mit dem Discus articularis auf das Tuberculum articulare zu ziehen und wirkt damit antagonistisch zu den hinteren Fasern des M. temporalis. Hierbei sind vor allem die Muskelfasern des unteren Kopfs aktiv. Bei *beidseitiger* Kontraktion ist er somit für die Protrusion der Mandibula verantwortlich. Während der Abduktion der Mandibula sorgt er für die Gleitbewegung im oberen Teilgelenk. Bei *einseitiger* Kontraktion, beispielsweise bei der Laterotrusion, zieht er auf der Balanceseite das Caput mandibulae auf das Tuberculum articulare. Auf der Arbeitsseite stabilisiert er (zusammen mit den horizontalen Fasern des M. temporalis) die Lage des „ruhenden Kondylus".

Bei der Retrusion bzw. Adduktion der Mandibula ist vor allem der obere Kopf des M. pterygoideus lateralis aktiv, der die Rückführbewegung des Discus articularis (durch den M. temporalis und die obere Lamelle der bilaminären Zone) in die Fossa mandibularis harmonisiert.

In der Adduktionsphase des Kauakts hält der M. pterygoideus lateralis das Caput mandibulae am Abhang des Tuberculum articulare und verhindert damit die biomechanisch ungünstige Ableitung des Kaudrucks über die Fossa mandibularis.

An den Bewegungen im Kiefergelenk sind außerdem die an der Mandibula ansetzenden Muskeln aus der Gruppe der **suprahyalen Muskulatur** beteiligt. So bewirkt die beidseitige Kontraktion der Mm. geniohyoidei, Mm. mylohyoidei und Mm. digastrici (unterstützt durch die Schwerkraft) die Abduktion der Mandibula. Für die dafür notwendige Fixierung des Os hyoideum sorgen die **infrahyalen Muskeln**. Bei beabsichtigter starker Öffnung der Zahnreihen (z. B. beim Schreien oder beim Hineinbeißen in einen Apfel) wird der Schädel zudem durch die Nackenmuskulatur in eine

Dorsalextension gebracht. Diese den Kauakt unterstützenden Muskeln kann man deshalb als **„akzessorische Kaumuskeln“** bezeichnen. Dazu zählen auch Lippenmuskeln (der M. orbicularis oris sorgt für den Mundschluss) sowie Wangen- (M. buccinator) und Zungenmuskeln, die die Nahrung zwischen den Zähnen positionieren.

Die an den Hauptbewegungen des Kiefergelenks beteiligten Muskeln sind in ▶Tab. 17.16 dargestellt.

Der Kauvorgang (**Mastikation**) hat 3 Phasen: Er beginnt mit der *Nahrungsaufnahme* (Abbeißen), bei der die Frontzähne eine Trennfunktion durch Scherwirkung haben. Beim eigentlichen *Kauakt* wird die Nahrung mechanisch zerkleinert und eingespeichelt. Durch den *Schluckvorgang* wird der Nahrungsbrei (Chymus) schließlich in Richtung Magen transportiert.

Jeder *Kauakt* besteht aus einer Ab- und Adduktionsbewegung der Mandibula. Durch Seitwärtsbewegungen der Mandibula bildet sich auf der Balanceseite zwischen den Zahnreihen ein Spalt, in den der zu zerkleinernde Bissen gedrückt wird. Dazu legen sich Zunge und Wange an die Alveolarfortsätze und die Zähne an und bilden eine Art „Kauschlauch“, der das Abgleiten der Nahrungsbrocken von den Okklusalflächen der Zähne verhindert. Der durch die Adduktoren erzeugte *Kaudruck* kann bis zu 4 kN betragen. Der größte *Kaudruck* wird an den 2. Prämolaren und 1. Molaren erreicht.

Beim Kauen kommt es nur zu flüchtigen und kurzen Zahnkontakten. Denn bevor die Okklusalflächen der Zähne *direkt* aufeinandertreffen, wird durch die antagonistische Muskulatur die Abduktion und damit der nächste Kauakt eingeleitet. Durch den ständigen Wechsel von Balance- und Arbeitsseite entsteht die Mahlbewegung, bei der besonders zähe Nahrungsmittelanteile zerrieben werden können. Bei der Mahlbewegung bekommen die Grundbewegungen der Kiefergelenke eine zusätzliche zirkumdiktorische Komponente, die man an der Bewegung der Kinnspitze beobachten kann.

Bei der als „Fletchern“ (nach dem britischen Ernährungswissenschaftler Horace Fletcher) benannten Kautechnik wird der Bissen 40- bis 50-mal gekaut. Dadurch wird der Bissen durch die innige Verbindung mit dem Speichel verflüssigt und vorverdaut und die Freisetzung von Geschmacksstoffen gefördert.

Tab. 17.16 Hauptbewegungen des Kiefergelenks und daran beteiligte Muskeln.

Hauptbewegung	„Adduktoren“ (1)	M. pterygoideus lateralis	M. temporalis, horizontale Fasern	„Abduktoren“ (2)
Abduktion:				
• Drehbewegung (quere Gelenkachse)				x (3)
• Gleitbewegung nach ventral		x (3)		
Adduktion				
• Drehbewegung (quere Gelenkachse)	x (3)			
• Gleitbewegung nach dorsal			x (3)	
Protrusion		x (3)		
Retrusion			x (3)	x (5)
Laterotrusion				
Translation auf der Mediotrusionsseite nach ventral		x (4)		
Translation auf der Mediotrusionsseite nach dorsal			x (4)	

(1) M. masseter, M. temporalis und M. pterygoideus medialis
(2) M. digastricus, M. mylohyoideus und M. geniohyoideus
(3) beidseitige Kontraktion
(4) einseitige Kontraktion
(5) bei festgestelltem Os hyoideum

Leitungsbahnen der Kaumuskulatur. Die Kaumuskulatur wird hauptsächlich von Ästen der Pars pterygoidea der **A. maxillaris** versorgt, die durch Äste der A. temporalis superficialis ergänzt werden.

Das **venöse Blut** fließt größtenteils in den **Plexus pterygoideus** ab. Die **V. temporalis media** nimmt das Blut des M. temporalis auf und steht mit der **V. retromandibularis** in Verbindung.

Die **motorische Innervation** der Kaumuskulatur (als Derivat des 1. Schlundbogens) leitet sich vom **N. mandibularis** (3. Hauptast des N. trigeminus, V3) ab, der in der Fossa infratemporalis die Äste zu den Kaumuskeln abgibt.

Die Leitungsbahnen für die Kaumuskulatur sind in ▶ Tab. 17.15 zusammengefasst und bei der Besprechung der Fossa infratemporalis (S. 424) näher beschrieben.

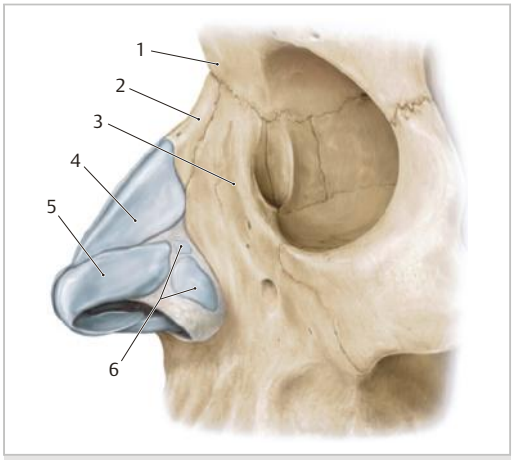


Abb. 17.28 Skelett der äußeren Nase.
1 Glabella
2 Os nasale
3 Processus frontalis maxillae
4 Cartilago septi nasi, Processus lateralis
5 Cartilago alaris major
6 Catilagines alares minores
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

17.4 Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen

Wolfgang Schwab

Die Nasenhöhle und die mit ihr in offener Verbindung stehenden Nasennebenhöhlen bilden den obersten Abschnitt des Respirationstrakts. Die Schleimhautauskleidung dient der Konditionierung der Atemluft. Dazu zählen Erwärmung, Anfeuchtung und Reinigung der eingeatmeten Luft. Kleinere Bereiche der Schleimhaut unterhalb des Nasenhöhlendachs gehören zum Geruchsorgan. Sie sorgen für eine sensorische Kontrolle der Atemluft. Die Nasenhöhle bildet zusammen mit den Nasennebenhöhlen außerdem einen wichtigen Resonanzraum beim Singen und Sprechen.

17.4.1 Äußere Nase (▶ Abb. 17.28)

An der äußeren Nase unterscheidet man die Nasenwurzel (**Radix nasi**), den Nasenrücken (**Dorsum nasi**) und die Nasenspitze (**Apex nasi**). Die in der Horizontalebene liegenden Nasenlöcher (**Nares**) werden von den Nasenflügeln (**Alae nasi**) und dem vorderen Teil des Nasenseptums (**Septum nasi**) umrahmt.

Das Stützgerüst der äußeren Nase ist im oberen Teil knöchern und im unteren Teil aus hyalinen Knorpelplatten (**Cartilagines nasi**) aufgebaut. Damit wird neben der Versteifung auch eine gewisse Beweglichkeit gewährleistet.

Die paarigen und aneinandergelegten Nasenbeine (**Ossa nasalia**[2]) bilden die Nasenwurzel sowie zusammen mit den Processus frontales beider Oberkiefer den oberen Teil des Nasenrückens. Der **Cartilago septi nasi** ergänzt den Nasenrücken im unteren Teil. Seine beiden Fortsätze (**Processus laterales**[4]) schlagen beidseits nach außen auf die Nasenflanken um.

An der Ausformung der Nasenspitze sind die beiden C-förmigen und aneinandergelegten Nasenflügelknorpel (**Cartilagines alares nasi**[5,6]) beteiligt. Sie umgreifen mit einem medialen und lateralen Schenkel (**Crus mediale** und **laterale**) den vorderen Teil des jeweiligen Nasenloches. Während die medialen Schenkel sich vorn dem Cartilago septi nasi anlagern, tragen die lateralen Schenkel zur Versteifung der sonst häutigen Nasenflügel bei, in die zusätzliche kleine Knorpelplatten (**Cartilagines alares minores**) eingebaut sein können.

Leitungsbahnen der Kaumuskulatur. Die Kaumuskulatur wird hauptsächlich von Ästen der Pars pterygoidea der **A. maxillaris** versorgt, die durch Äste der A. temporalis superficialis ergänzt werden.

Das **venöse Blut** fließt größtenteils in den **Plexus pterygoideus** ab. Die **V. temporalis media** nimmt das Blut des M. temporalis auf und steht mit der **V. retromandibularis** in Verbindung.

Die **motorische Innervation** der Kaumuskulatur (als Derivat des 1. Schlundbogens) leitet sich vom **N. mandibularis** (3. Hauptast des N. trigeminus, V3) ab, der in der Fossa infratemporalis die Äste zu den Kaumuskeln abgibt.

Die Leitungsbahnen für die Kaumuskulatur sind in ▶ Tab. 17.15 zusammengefasst und bei der Besprechung der Fossa infratemporalis (S. 424) näher beschrieben.

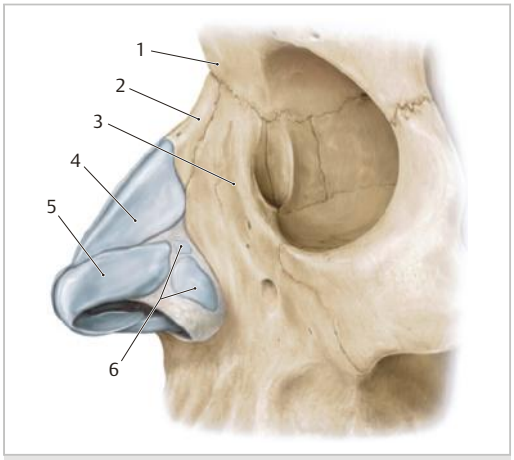


Abb. 17.28 Skelett der äußeren Nase.
1 Glabella
2 Os nasale
3 Processus frontalis maxillae
4 Cartilago septi nasi, Processus lateralis
5 Cartilago alaris major
6 Catilagines alares minores
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

17.4 Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen

Wolfgang Schwab

Die Nasenhöhle und die mit ihr in offener Verbindung stehenden Nasennebenhöhlen bilden den obersten Abschnitt des Respirationstrakts. Die Schleimhautauskleidung dient der Konditionierung der Atemluft. Dazu zählen Erwärmung, Anfeuchtung und Reinigung der eingeatmeten Luft. Kleinere Bereiche der Schleimhaut unterhalb des Nasenhöhlendachs gehören zum Geruchsorgan. Sie sorgen für eine sensorische Kontrolle der Atemluft. Die Nasenhöhle bildet zusammen mit den Nasennebenhöhlen außerdem einen wichtigen Resonanzraum beim Singen und Sprechen.

17.4.1 Äußere Nase (▶ Abb. 17.28)

An der äußeren Nase unterscheidet man die Nasenwurzel (**Radix nasi**), den Nasenrücken (**Dorsum nasi**) und die Nasenspitze (**Apex nasi**). Die in der Horizontalebene liegenden Nasenlöcher (**Nares**) werden von den Nasenflügeln (**Alae nasi**) und dem vorderen Teil des Nasenseptums (**Septum nasi**) umrahmt.

Das Stützgerüst der äußeren Nase ist im oberen Teil knöchern und im unteren Teil aus hyalinen Knorpelplatten (**Cartilagines nasi**) aufgebaut. Damit wird neben der Versteifung auch eine gewisse Beweglichkeit gewährleistet.

Die paarigen und aneinandergelegten Nasenbeine (**Ossa nasalia**[2]) bilden die Nasenwurzel sowie zusammen mit den Processus frontales beider Oberkiefer den oberen Teil des Nasenrückens. Der **Cartilago septi nasi** ergänzt den Nasenrücken im unteren Teil. Seine beiden Fortsätze (**Processus laterales**[4]) schlagen beidseits nach außen auf die Nasenflanken um.

An der Ausformung der Nasenspitze sind die beiden C-förmigen und aneinandergelegten Nasenflügelknorpel (**Cartilagines alares nasi**[5,6]) beteiligt. Sie umgreifen mit einem medialen und lateralen Schenkel (**Crus mediale** und **laterale**) den vorderen Teil des jeweiligen Nasenloches. Während die medialen Schenkel sich vorn dem Cartilago septi nasi anlagern, tragen die lateralen Schenkel zur Versteifung der sonst häutigen Nasenflügel bei, in die zusätzliche kleine Knorpelplatten (**Cartilagines alares minores**) eingebaut sein können.

17.4.2 Nasenhöhle

Das Naseninnere beginnt an den Nasenlöchern mit dem von den beiden beweglichen Nasenflügeln umschlossenen Nasenvorhof (**Vestibulum nasi**). Am Schädel umrahmen die beiden Oberkiefer- und Nasenbeine den knöchernen Eingang in die Nasenhöhle, die als **Apertura piriformis** (birnenförmige Öffnung) bezeichnet wird.

An das Vestibulum nasi schließt sich die eigentliche Nasenhöhle (**Cavitas nasi propria**) an: Die Grenze zwischen Vestibulum nasi und der eigentlichen Nasenhöhle (**Cavitas nasi propria**) wird von einer Schleimhautleiste (**Limen nasi**) markiert, die vom Oberrand des Cartilago alaris nasi aufgeworfen wird.

Durch die median gestellte Nasenscheidewand (**Septum nasi**) wird die Nasenhöhle in 2 lange, schmale und hohe „Röhren" unterteilt, die von jeweils 5 vorwiegend knöchernen Wänden (s. u.) begrenzt werden.

Von der seitlichen Wand der Nasenhöhle ragen jeweils 3 Nasenmuscheln (**Conchae nasales**) in das Lumen der Nasenhöhle hinein und begrenzen mit ihren rinnenförmig nach unten gebogenen und nach innen eingerollten Rändern die zugehörigen Nasengänge (**Meatus nasi**), die Verbindungen zu den Nasennebenhöhlen und zum Tränenapparat unterhalten. Zwischen den Nasenmuscheln und der Nasenscheidewand einerseits sowie zwischen dem Nasenhöhlendach und dem –boden andererseits verbleibt der spaltförmige gemeinsame Nasengang (**Meatus nasi communis**). Hinter den Nasenmuscheln bildet der **Meatus nasopharyngeus** den dorsalen Abschnitt der Nasenhöhle, der über die Choanen (**Choanae**) in den Nasopharynx mündet.

Die knöchern-knorpeligen Begrenzungen der Nasenhöhle sind in ▸ Tab. 17.17 aufgeführt.



Mit einer Nasenspiegelung (**Rhinoskopie**) untersucht man das Innere der Nasenhöhle. Dabei wird der vordere Teil der Nasenhöhle direkt über die Nasenlöcher inspiziert (Rhinoscopia anterior). Bei der Rhinoscopia posterior geht man mit einem Spiegel den Umweg über die Mundhöhle und betrachtet vom Nasenrachen aus den hinteren Teil der Nasenhöhle.

Tab. 17.17 Knöchern-knorpelige Begrenzungen der Nasenhöhle.

Begrenzung	Beteiligte Strukturen
Apertura piriformis	• Ossa nasalia • Processus frontalis der Maxilla • Spina nasalis anterior
Choanae	• Corpus des Os sphenoidale • Lamina horizontalis des Os palatinum • Lamina medialis des Procesus pterygoideus • Vomer
Nasenscheidewand	• Vomer • Lamina perpendicularis des Os ethmoidale • Cartilago septi nasi
laterale Wand der Nasenhöhle	• Concha nasalis inferior • Facies nasalis des Corpus der Maxilla • Lamina perpendicularis des Os palatinum • Lamina medialis des Processus pterygoideus des Os sphenoidale • Processus frontalis der Maxilla • Os lacrimale • Labyrinthus ethmoidalis (mit Concha nasalis superior und media)
Nasenhöhlendach	• Lamina cribrosa des Os ethmoidale • Pars nasalis des Os frontale • Os nasale
hintere Nasenhöhlenwand	• Corpus des Os sphenoidale
Nasenhöhlenboden	• Processus palatinus der Maxilla • Lamina horizontalis des Os palatinum

Begrenzungen der Nasenhöhle

Die Nasenscheidewand (**Septum nasi**) besteht aus knöchernen (**Pars ossea**), knorpeligen (**Pars cartilaginea**) und fibrösen Anteilen (**Pars membranacea**). Im hinteren Abschnitt der Nasenscheidewand senkt sich von oben die Lamina perpendicularis des Os ethmoidale herab und verbindet sich über eine Sutur mit dem Vomer, das wiederum mit dem knöchernen Boden der Nasenhöhle verwachsen ist. Daran angesetzt und mit seinem Processus posterior zwischen beiden knöchernen Anteilen eingekeilt ist der vorn bis zum Nasenrücken reichende Nasenscheidewandknorpel (**Cartilago septi nasi**). Der vordere untere und bewegliche Teil des Nasenseptums besteht aus Haut, faserreichem Bindegewebe und den beiden medialen Schenkeln der Nasenflügelknorpel (**Cartilagines alares nasi**).

Eine Verkrümmung oder Abweichung des Nasenseptums von der Medianebene bezeichnet man als **Septumdeviation** (Deviatio septi). Während sie geringgradig bei der Mehrzahl der Menschen auftritt und unbemerkt bleibt, kann sie bei starker Ausprägung die Nasenatmung behindern, Schnarchen verursachen und die Entstehung von Entzündungen im Nasenrachenraum begünstigen.

Die **seitliche Nasenwand** (▶ **Abb. 17.29**) besteht aus einem Mosaik unterschiedlicher Knochen und erhält ihr charakteristisches Relief durch die 3 Nasenmuscheln (Concha nasalis inferior, media und superior). Hinter der mittleren Muschel öffnet sich das **Foramen sphenopalatinum**[2], ein wichtiger Durchtrittsort für Nerven und Gefäße aus der Fossa pterygopalatina zur Versorgung der Nasenhöhle.

Die untere Nasenmuschel (**Concha nasalis inferior**[6]) ist ein eigenständiger Knochen und die größte der 3 Nasenmuscheln. Im unteren Nasengang (**Meatus nasi inferius**) befindet sich die nasale Öffnung des Tränennasengangs (**Ductus nasolacrimalis**), durch den die Tränenflüssigkeit in die Nasenhöhle abfließen kann.

Ursache für ständiges Tränenträufeln (**Epiphora**) am Auge kann eine Abflussbehinderung der Tränenflüssigkeit sein, beispielsweise bei Neugeborenen eine persistierende Hasner-Membran an der Öffnung des Ductus nasolacrimalis in die Nasenhöhle. In diesem Fall wird die Hasner-Membran durch Sondierung durchstoßen, sodass die im Tränensack angestaute Tränenflüssigkeit abfließen kann.

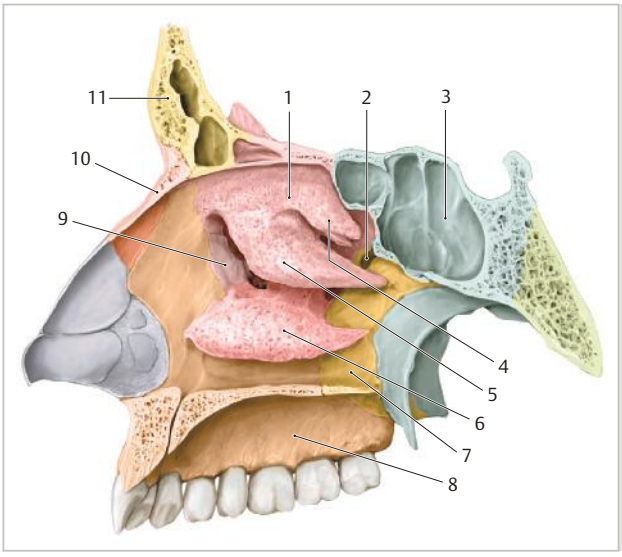


Abb. 17.29 Knöcherne Begrenzung der seitlichen Nasenwand.
1 Os ethmoidale
2 Foramen sphenopalatinum
3 Os sphenoidale mit Sinus sphenoidalis
4 Concha nasalis superior
5 Concha nasalis media
6 Concha nasalis inferior
7 Os palatinum
8 Maxilla
9 Os lacrimale
10 Os nasale
11 Os frontale mit Sinus frontalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die mittlere Nasenmuschel (**Concha nasalis media**[5]) ist – ebenso wie die obere Nasenmuschel – ein Anhängsel des Siebbeinlabyrinths (Labyrinthus ethmoidalis). Unter ihr befindet sich der mittlere Nasengang (**Meatus nasi medius**). In dessen lateraler Wand kann man nach Entfernung der mittleren Nasenmuschel einen halbmondförmigen Schlitz (**Hiatus semilunaris**) sondieren. Dieser bildet den durch die Bulla ethmoidalis und den Processus uncinatus des Os ethmoidale verengten Zugang zum Siebbeintrichter (**Infundibulum ethmoidale**), in den sich die Kieferhöhle (über den Hiatus maxillaris), die Stirnhöhle (über den Ductus nasofrontalis) und die vorderen Siebbeinzellen öffnen.

Gelegentlich kann die knöcherne Wand zwischen Nasen- und Kieferhöhle unter der mittleren Nasenmuschel Lücken aufweisen. Werden diese nur durch die aneinandergelegten Schleimhäute der beiden Höhlen verschlossen, so spricht man auch von Fontanellen (**Fonticuli nasales**). Bildet sich die Schleimhautabdeckung zurück, dann entsteht ein *akzessorisches Ostium* der Kieferhöhle in die Nasenhöhle.

Unter der oberen Nasenmuschel (**Concha nasalis superior**) verläuft der obere Nasengang (**Meatus nasi superius**), über den die Verbindung zu den hinteren Siebbeinzellen besteht.



Aufgrund der engen Beziehungen zwischen den Mündungsbereichen der Nasennebenhöhlen unter der mittleren Nasenmuschel, die auch unter dem Begriff **ostiomeatale Einheit** zusammengefasst werden, können sich entzündliche Prozesse der Nasenschleimhaut relativ leicht auf Kieferhöhle, Stirnhöhle und vordere Siebbeinzellen ausbreiten.

Eine weitere, allerdings unterentwickelte Nasenmuschel des Nasenbeins ist der Agger nasi (Nasenwall) direkt vor der mittleren Nasenmuschel.

Der **Boden der Nasenhöhle** entspricht größtenteils dem harten Gaumen (**Palatum durum**) und damit dem Dach der Mundhöhle. In seinem vorderen Teil beginnt jeweils neben der Nasenscheidewand der knöcherne Canalis incisivus, der sich mit dem der Gegenseite Y-förmig verbindet und mit dem gemeinsamen **Foramen incisivum** für den Durchtritt der A. nasopalatina und des N. nasopalatinus am harten Gaumen in der Mundhöhle mündet.

Am **Nasenhöhlendach** besteht über die Lamina cribrosa des Os ethmoidale eine direkte Verbindung zur vorderen Schädelgrube (Fossa cranii anterior). Diese Verbindung benutzen die Nn. olfactorii sowie die A. ethmoidalis anterior und posterior. Das Nasenhöhlendach liegt außerdem unmittelbar unterhalb der Unterfläche des Lobus frontalis cerebri und des Bulbus und Tractus olfactorius.

Zwischen der Lamina cribrosa, dem Corpus des Os sphenoidale und der hinteren Begrenzung der oberen Nasenmuschel ist der **Recessus sphenoethmoidalis** als eine variable Bucht ausgebildet, in die sich die Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis) öffnet.

In wenigen Fällen besteht eine Verbindung zwischen dem Nasenhöhlendach und dem intrakraniellen **Foramen caecum**, durch das eine Vena emissaria von der Nasenhöhlenschleimhaut zum Sinus sagittalis superior zieht. Außerdem können sich inkonstante Foramina nasalia im Os nasale (für den Durchtritt von Nerven und Gefäßen) zum Nasenrücken hin öffnen.

Auskleidung der Nasenhöhle

Entsprechend der epithelialen Bedeckung der Nasenhöhle unterscheidet man 3 Regionen:

- Regio cutanea
- Regio respiratoria
- Regio olfactoria

In ihrem Eingangsbereich (**Vestibulum nasi**) ist die Nasenhöhle mit dem mehrschichtigen verhornten Plattenepithel der Haut ausgekleidet (**Regio cutanea**). Auffallend sind hier die kräftigen Nasenhaare (**Vibrissen**), die einen ersten Schutz gegen anfliegende Partikel darstellen und auch kräftig aus den Nares hervorspießen können.

Der größte Teil der Nasenhöhlenauskleidung besteht aus einer Schleimhaut (Tunica mucosa). In der **Regio respiratoria** besitzt sie typischerweise ein respiratorisches Flimmerepithel mit intraepithelialen **Becherzellen**, die zusammen mit den Sekreten der gemischten Nasendrüsen (**Glandulae nasales**) die Befeuchtung der Atemluft gewährleisten. Die mit Kinozilien besetzten Epithelzellen transportieren den gebildeten Schleim rachenwärts (mukoziliäre Clearance). In der Lamina propria sind neben den erwähnten Glandulae nasales auch dichte Venengeflechte mit Schwellkörperfunktion (**Plexus cavernosus conchae**) eingelagert,

die für die Anwärmung der Atemluft sorgen. Diese besonders in der Schleimhaut der Nasenmuscheln stark ausgebildeten Schwellkörper regulieren über ihren Füllungszustand auch die Luftströmung in der Nasenhöhle. Im Allgemeinen wechselt dadurch die Belüftung jeder Nasenhöhle in periodischen Abständen von 20–30 min.

Die Riechschleimhaut bedeckt die nur wenige Quadratzentimeter große **Regio olfactoria**, die sich besonders auf der oberen Nasenmuschel und dem oberen Teil des Nasenseptums ausbreitet und einem von respiratorischem Epithel unterbrochenen „Flickenteppich" (Witt) ähnelt.

Bei ruhiger Atmung durchströmt die Atemluft den unteren Teil der Nasenhöhle im Bereich der mittleren und unteren Nasenmuschel. Sollen zusätzlich Geruchsstoffe analysiert werden, muss die Luft durch „Schnüffeln" verwirbelt werden, sodass sie die Regio olfactoria im oberen Bereich der Nasenhöhle erreichen kann.

Die primären Riechzellen des olfaktorischen Epithels wirken als Rezeptorzellen für Duftmoleküle aus der Atemluft. Mit ihren sensorischen Zilien ragen sie in eine Schleimschicht, die von speziellen alveolären Drüsen (**Glandulae olfactoriae**, Bowman-Drüsen) gebildet wird. Die im Sekret der Bowman-Drüsen gelösten Duftstoffe binden dann an entsprechende Rezeptormoleküle auf der Zilienoberfläche.

Für die Erkennung von **Pheromonen**, das sind spezielle an der Reproduktion beteiligte Geruchsstoffe, ist in der Nasenhöhle verschiedener Säugetierspezies das **vomeronasale Organ** (VNO) zuständig. Die Pheromone stimulieren spezielle Sinneszellen des Ductus vomeronasalis, der sich als epithelialer Gang beidseits in die Schleimhaut des Nasenseptums einsenkt. Über den N. vomeronasalis werden die Signale zum Bulbus olfactorius accessorius weitergeleitet. Während das nach seinem Erstentdecker auch als Jacobson-Organ bezeichnete VNO in der menschlichen Embryonalperiode am besten ausgebildet ist, existiert es beim erwachsenen Menschen allerdings nur noch als rudimentäres Gebilde in Form des Ductus nasopalatinus.

Leitungsbahnen der Nasenhöhle

Arterien. In der Nasenhöhle gibt es 2 arterielle Versorgungsgebiete:

- vorderes oberes Versorgungsgebiet (Äste der A. ophthalmica aus dem Stromgebiet der A. carotis interna):
  - A. ethmoidalis anterior
  - A. ethmoidalis posterior
- hinteres unteres Versorgungsgebiet (Äste der A. maxillaris aus dem Stromgebiet der A. carotis externa):
  - A. sphenopalatina
  - A. palatina descendens

Die **A. ethmoidalis anterior** erreicht zusammen mit dem N. ethmoidalis anterior über die Lamina cribrosa die Nasenhöhle. Sie gibt Rr. septales anteriores und Rr. nasales anteriores laterales für das Nasenseptum bzw. die Nasenhöhlenseitenwand vor den Nasenmuscheln ab. Die **A. ethmoidalis posterior** erreicht die Nasenhöhle ebenfalls über die Lamina cribrosa (Lang und Schafer) und beteiligt sich an der Versorgung der Schleimhaut des Nasenseptums und der oberen Nasenmuschel.

Die **A. sphenopalatina** gelangt über das Foramen sphenopalatinum in die Nasenhöhle. Ihre Verzweigungen verlaufen von dorsal und in sagittaler Richtung als **Aa. nasales posteriores laterales** zur lateralen Nasenwand und als **Rr. septales posteriores** zum Nasenseptum. Sie werden von Ästen der **A. palatina descendens** ergänzt, die die mediale Wand des Canalis palatinus major zur Nasenhöhle durchbrechen. Anastomosen können über die A. nasopalatina (durch den Canalis incisivus zum Gaumen gelangender Ast der Rr. septales posteriores) mit den Arterien des harten Gaumens (A. palatina major) und im Nasenvorhof mit der A. labialis superior (aus der A. facialis) bestehen.



Nasenbluten (**Epistaxis**) kann ein Anzeichen einer systemischen Erkrankung sein (z. B. Bluthochdruck), aber auch durch lokale Ursachen wie z. B. heftiges Schnäuzen oder „Nasenbohren" ausgelöst werden. Bei der **anterioren Epistaxis** werden Gefäße im vorderen Bereich der Nasenschleimhaut verletzt. Prädilektionsstelle ist der Locus Kiesselbachii, der sich am unteren knorpeligen Nasenseptum zwischen Nasenvorhof und Pars respiratoria befindet und besonders weite und lange Kapillarschlingen aufweist. Bei der **posterioren Epistaxis** kommt es zu Blutungen aus Gefäßen der A. sphenopalatina.

Venen. Der Blutabfluss aus der Nasenhöhle verläuft über venöse Gefäßnetze, die ähnliche Wege wie die Arterien benutzen, so durch das Foramen sphenopalatinum zum **Plexus pterygoideus** und über die **Vv. ethmoidales** zur V. ophthalmica supe-

rior. Weitere Verbindungen bestehen am Palatum molle zu den Venen des Pharynx und an der äußeren Nase zur V. facialis.

Lymphabfluss. Die Lymphgefäße bilden in der Tunica mucosa der Nasenhöhle ein dichtes Geflecht, das mit Lymphgefäßen in der Haut der Nasenflügel, der Schleimhaut der hinteren Pharynxwand und der pharyngealen Seite des Gaumensegels in Verbindung steht. Die Nasenhöhle hat 2 Abflusswege: Aus dem vorderen Teil der Nasenhöhle fließt die Lymphe zu den **Nodi lymphoidei submandibulares** ab. Aus der hinteren Nasenhöhle gelangt die Lymphe zu den **Nodi lymphoidei retropharyngeales** und den **Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi**.

Nerven. An der sensiblen und sensorischen Innervation der Nasenhöhlenschleimhaut beteiligen sich:

- sensible Verzweigungen des **N. ophthalmicus** (1. Ast des N. trigeminus, V1) für den vorderen oberen Teil der Nasenhöhle,
- sensible Verzweigungen des **N. maxillaris** (2. Ast des N. trigeminus, V2) für den hinteren unteren Teil der Nasenhöhle,
- der sensorische **N. olfactorius** (I) für die Riechschleimhaut.

Der **N. ethmoidalis anterior** ist ein Ast des N. nasociliaris (aus V1) und gelangt (zusammen mit der A. ethmoidalis anterior) durch die Lamina cribrosa in die Nasenhöhle, wo er Äste zur seitlichen Nasenhöhlenwand und zum Nasenseptum abgibt. Ein R. nasalis externus verläuft außerdem an der Innenseite des Nasenbeins, um anschließend die Knochen-Knorpel-Grenze zu durchbrechen und die Haut des Nasenrückens zu erreichen.

Der N. maxillaris entsendet über das Foramen sphenopalatinum **Rr. nasales posteriores superiores mediales** und **laterales** in die Nasenhöhle, die von dorsal das Nasenseptum bzw. die seitliche Nasenhöhlenwand erreichen. Sie werden durch Äste des **N. palatinus major** ergänzt, die die Wand des Canalis palatinus major durchdringen und dann vor allem zur unteren Nasenmuschel gelangen. Der **N. nasopalatinus**, ein besonders langer septaler Ast, verläuft am Nasenseptum entlang und durch den Canalis incisivus bis zum harten Gaumen. Der N. maxillaris beteiligt sich außerdem mit Hautästen des **N. infraorbitalis** (Rr. nasales interni) an der Innervation des Nasenvorhofs.

Die **vegetativen Nervenbahnen** zur Innervation der Nasendrüsen und der Blutgefäße entstammen postganglionären Neuronen des **Ganglion pterygopalatinum** bzw. des **Ganglion cervicale superius**, die sich in der Flügelgaumengruppe (▶ Tab. 17.10) den sensiblen Ästen des N. maxillaris anschließen.



Die abschwellende Wirkung vieler Nasentropfen auf die Nasenschleimhaut sorgt beim Schnupfen (**Rhinitis acuta**) für eine kurze Zeit wieder für einen ausreichenden Durchlass in der Nasenhöhle. Dieser Effekt wird durch den Zusatz von Sympathikomimetika erreicht, die zu einer Gefäßkontraktion in der Schleimhaut der Nasenhöhle führen.

Die sensorischen Informationen aus der Riechschleimhaut (**Pars olfactoria**) werden über den **N. olfactorius** (I) weitergeleitet. Die als Neuriten wirkenden basalen Fortsätze der Riechzellen vereinigen sich in der Tunica mucosa der Nasenschleimhaut zu schmalen Bündeln, um dann als Fila olfactoria durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale hindurchzutreten und in den Bulbus olfactorius zu projizieren.

17.4.3 Nasennebenhöhlen

Die Nasennebenhöhlen sind paarige und mit Schleimhaut ausgekleidete pneumatisierte Hohlräume des Schädels, die mit der Nasenhöhle über entsprechende Öffnungen (Aperturae) in Verbindung stehen. Sie entstehen durch das Einwachsen der Nasenhöhlenschleimhaut in die Maxilla, das Os ethmoidale, das Os sphenoidale und das Os frontale. Je nach dem Grad der Pneumatisierung haben sie eine variable Ausdehnung und Form. Asymmetrien sind deshalb nicht selten. Ihre volle Größe erreichen sie erst nach der 2. Dentition.

Man unterscheidet:

- die Kieferhöhle (**Sinus maxillaris**) in der Maxilla,
- die Stirnhöhle (**Sinus frontalis** im Os frontale,
- die Keilbeinhöhle (**Sinus sphenoidalis**) im Os sphenoidale,
- die Siebbeinzellen (**Cellulae ethmoidales**) im Siebbeinlabyrinth.

Die **Kieferhöhle** (**Sinus maxillaris**, in der älteren Literatur auch Highmore-Höhle, Antrum Highmori, genannt) ist die größte der Nasennebenhöhlen. Sie füllt das Corpus maxillae aus und hat die Form einer Pyramide, deren Spitze gegen den Processus zygomaticus und deren Basis gegen die Nasenhöhle gerichtet ist. Ihre Öffnung, der **Hiatus maxillaris**, führt in das Infundibulum ethmoidale und anschließend über den Hiatus semilunaris in den mittleren Nasengang. Die **vordere Wand** der Kieferhöhle ist relativ dick und entspricht der Facies anterior der Maxilla mit der Fossa canina. Die oft nur papierdünne **obere Wand** stellt gleichzeitig den Boden der Orbita dar und enthält Sulcus und Canalis infraorbitalis mit den gleichnamigen Nerven und Gefäßen. Die **hintere Wand** bildet das Tuber maxillae, an dem Nerven und Gefäße für die Zähne und die Kieferhöhle selbst durchtreten. Die **untere Wand**, der Kieferhöhlenboden, folgt rinnenförmig dem Verlauf des Processus alveolaris des Oberkiefers und enthält den Plexus dentalis superior.

Beim Neugeborenen besteht die Kieferhöhle noch aus einer nur wenige Millimeter großen Vorbuchtung der Schleimhaut, die im 1. Lebensjahr in die Maxilla vorwächst und erst mit dem 20. Lebensjahr ihre endgültige Größe erreicht. Der Sinus maxillaris kann auf den Corpus der Maxilla beschränkt bleiben oder bei ausgeprägter Pneumatisierung Ausbuchtungen (Recessus) mit teilweise papierdünnen Wänden in den Processus frontalis (**Infraorbitalbucht**), in den Processus zygomaticus (**Jochbeinbucht**), in den Processus palatinus (**Gaumenbucht**) bzw. in den Processus alveolaris (**Alveolarbucht**) aufweisen.

Bei rund 25–50 % aller Kieferhöhlen findet man am Boden von buccal nach palatinal orientierte Septierungen, die als Underwood-Septen bezeichnet werden und die Kieferhöhle vollständig oder unvollständig unterteilen.



Aufgrund der engen räumlichen Beziehungen zwischen den Zahnwurzeln im oberen Seitzahngebiet und dem Recessus alveolaris kann bei der Extraktion eines Prämolaren bzw. Molaren der Kieferhöhlenboden einbrechen und die Kieferhöhle eröffnet werden (Mund-Antrum-Verbindung). Dadurch besteht die Gefahr, dass Keime aus der Mundhöhle in die Kieferhöhle übertreten und dort eine Kieferhöhlenentzündung (**Sinusitis maxillaris**) hervorrufen.

Das bei einer Sinusitis maxillaris entstehende Entzündungssekret sammelt sich am Boden der Kieferhöhle an und kann nur schlecht abfließen, da die natürliche Öffnung, der Hiatus maxillaris, über dem Niveau des Kieferhöhlenbodens liegt.

Bei der Operation nach Caldwell-Luc wird die Kieferhöhle über die vordere Wand im Bereich der Fossa canina großflächig eröffnet. Diese Operationsmethode gestattet einen vollständigen Überblick über die Kieferhöhle und eine Ausräumung der entzündeten Kieferhöhlenschleimhaut.

Die in ihrer Größe sehr variablen und oft mehrfach gekammerten **Stirnhöhlen** (**Sinus frontales**) befinden sich, durch ein Septum voneinander getrennt, im Os frontale, wo sie sich gewöhnlich oberhalb der Nasenwurzel in die Schuppe des Os frontale und in die medialen Bereiche des Arcus superciliaris ausdehnen. Bei größerer Ausdehnung können die Stirnhöhlen auch die Pars orbitalis des Os frontale pneumatisieren und damit an die Orbita und an die vordere Schädelgrube angrenzen. Jede Stirnhöhle mündet über den **Ductus nasofrontalis** im Infundibulum ethmoidale (zusammen mit dem Sinus maxillaris und den vorderen Siebbeinzellen) unter der mittleren Nasenmuschel.

Die **Keilbeinhöhlen** (**Sinus sphenoidales**) liegen im Körper des Os sphenoidale und werden durch ein Septum voneinander getrennt. Je nach dem Grad der Pneumatisierung können sie sich in benachbarte Knochenstrukturen z. B. bis in die Pars basilaris des Os occipitale ausbreiten. Im **Recessus sphenoethmoidalis** (S. 462) öffnet sich die Keilbeinhöhle über die **Apertura sinus sphenoidalis** zur Nasenhöhle.



Aus klinischer Sicht sind die Nachbarschaftsbeziehungen der Keilbeinhöhlen von großer Bedeutung: Ihr Dach ist größtenteils mit dem Boden der Fossa hypophysialis identisch, die die Hypophyse aufnimmt. Der lateralen Wand der Keilbeinhöhle liegt außen der Sinus cavernosus mit seinen durchziehenden Leitungsbahnen an. Die Verläufe von A. carotis interna und N. opticus können sich an der Seitenwand als Prominentia arteriae carotidis bzw. Prominentia n. optici abzeichnen. Der Boden der Keilbeinhöhle hat enge topographische Beziehungen zum Canalis pterygoideus.

Die **Siebbeinzellen** (**Cellulae ethmoidales**) bilden im Os ethmoidale ein als **Siebbeinlabyrinth** bezeichnetes Hohlraumsystem, dessen meist erbsengroße Kammern nach Form und Größe variabel sind und durch Knochenwände unvollständig voneinander abgeteilt werden. Nach medial grenzt das Siebbeinlabyrinth an die Nasenhöhle. Hier wölbt sich eine besonders große, blasenartige Siebbeinzelle (**Bulla ethmoidalis**) in den mittleren Nasengang vor. Lateral bildet die **Lamina orbitalis** (Lamina papyracea) die nur papierdünne Abgrenzung zur Orbita. Nach kranial trennt das Os frontale das Siebbeinlabyrinth von der vorderen Schädelgrube.

Nach ihrer Lage und Entstehung werden vordere von hinteren Siebbeinzellen unterschieden. Die vorderen Siebbeinzellen (**Cellulae ethmoidales anteriores**) stehen mit dem mittleren Nasengang unter der mittleren Nasenmuschel in Verbindung. Sie münden zusammen mit dem Sinus maxillaris und dem Sinus frontalis zuerst in das Infundibulum ethmoidale, das sich dann über den Hiatus semilunaris unter der mittleren Nasenmuschel im mittleren Nasengang in die Nasenhöhle öffnet. Die hinteren Siebbeinzellen (**Cellulae ethmoidales posteriores**) münden dagegen im oberen Nasengang unter der oberen Nasenmuschel in die Nasenhöhle.

Leitungsbahnen der Nasennebenhöhlen. Da die Entstehung der Nasennebenhöhlen eng mit derjenigen der Nasenhöhle verbunden ist, beteiligen sich an der sensiblen Innervation der erste (N. ophthalmicus, V1) und zweite Hauptast des N. trigeminus (N. maxillaris, V2). Ähnliches gilt für die arterielle Versorgung. Die Arterien entstammen größtenteils dem Stromgebiet der Nasenhöhle und werden ergänzt von Arterien aus der Umgebung der jeweiligen Nasennebenhöhle (▶ Tab. 17.18).

Ebenso zieht der venöse Abfluss zu Venengeflechten der Nasenhöhlenschleimhaut, für die Siebbeinzellen auch über die **Vv. ethmoidales** zur V. ophthalmica superior.

Die **Lymphe** aus den Nasennebenhöhlen wird in die **Nodi lymphoidei submandibulares**, **Nodi lymphoidei retropharyngeales** und **Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi** abgeleitet.

Tab. 17.18 Innervation und arterielle Versorgung der Nasennebenhöhlen.

Nasennebenhöhle	Arterien	Nerven
Stirnhöhle	• A. ethmoidalis anterior • A. supraorbitalis • A. supratrochlearis • Äste der lateralen Nasenwand	• N. ethmoidalis anterior
Kieferhöhle	• A. infraorbitalis • Rr. alveolares superiores posteriores • A. sphenopalatina • A. palatina descendens	• Rr. nasales posteriores inferiores • Rr. alveolares superiores anteriores • Rr. alveolares superiores posteriores
Keilbeinhöhle	• A. ethmoidalis posterior • A. hypophysialis inferior • A. sphenopalatina	• N. ethmoidalis posterior
vordere Siebbeinzellen	• A. ethmoidalis anterior • Äste der lateralen Nasenwand	• N. ethmoidalis anterior
hintere Siebbeinzellen	• A. ethmoidalis posterior • Äste der lateralen Nasenwand	• N. ethmoidalis posterior

17.5 Auge

Joachim Kirsch

Die Augen sind komplizierte Organe zur Aufnahme optischer Informationen. Der **lichtbrechende Teil** des Augapfels erzeugt auf der Netzhaut (Retina) ein reelles Bild. Zur Optimierung der Abbildungsleistung kann das Auge variabel zwischen Nah- und Ferneinstellung (**Akkommodation**) wechseln und sich ändernden Beleuchtungsverhältnissen (**Adaption**) anpassen. Photorezeptoren wandeln optische Informationen in elektrische Signale, die bereits in den Nervenzellschichten der **Retina** verarbeitet und als Nervenimpulse über den Sehnerv (**N. opticus**) den Umschaltstationen der **Sehbahn** zugeleitet werden. **Augenlider** und **Tränenapparat** dienen dem Schutz des Auges. Um sich auf interessierende Objekte ausrichten zu können, verfügen die Augen über einen eigenen Bewegungsapparat (**äußere Augenmuskeln**).

17.5.1 Augenhöhle

Wände und Öffnungen (▶ Abb. 17.30)

Die Augenhöhle (**Orbita**) ist ein etwa kegelförmiger Raum. Die Basis des Kegels bildet die vordere Öffnung, den **Aditus orbitalis**. An der Spitze des Orbitakegels befindet sich der **Anulus tendineus communis**, eine ringförmige Öffnung, durch die der N. opticus (II), N. oculomotorius (III), N. abducens (VI), N. nasociliaris (aus V1) und die A. ophthalmica ziehen. Die Oberfläche des knöchernen Orbitakegels, also die Wand der Orbitahöhle ist von Periost überzogen, das wegen seiner besonderen Zusammensetzung hier als **Periorbita** bezeichnet wird. Als **Membrana orbitalis** überbrückt die Periorbita die **Fissura orbitalis inferior**. In diese Membran sind die glatten Muskelfaserzüge des **M. orbitalis** (Müller) eingelassen, der den Blutrückfluss in der **V. ophthalmica inferior** reguliert. Innerviert wird er von sympathischen Fasern des **N. petrosus profundus**.

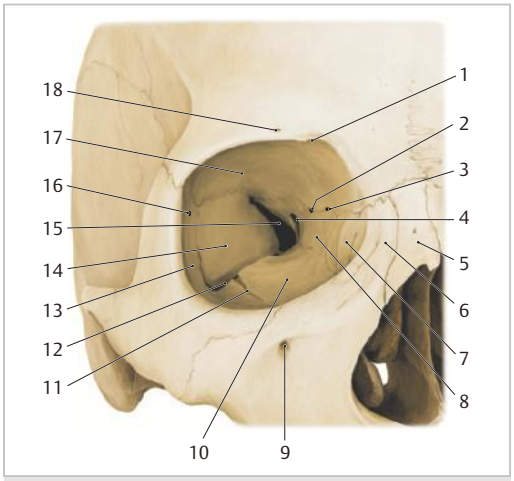


Abb. 17.30 Knöcherne Begrenzung und Öffnungen der Orbita. Ansicht der rechten Orbita von frontal.
1 Incisura frontalis
2 Foramen ethmoidale posterius
3 Foramen ethmoidale anterius
4 Canalis opticus
5 Os nasale
6 Processus frontalis maxillae
7 Os lacrimale
8 Os ethmoidale, Lamina orbitalis
9 Foramen infraorbitale
10 Facies orbitalis maxillae
11 Sulcus infraorbitalis
12 Fissura orbitalis inferior
13 Os zygomaticum
14 Os sphenoidale, Ala major
15 Fissura orbitalis superior
16 Foramen zygomaticoorbitale
17 Os frontale, Pars orbitalis
18 Foramen supraorbitale
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Wände zwischen der **Orbita und den benachbarten Nasennebenhöhlen** sind nur ca. 0,5 mm dick. Daher können hier sehr leicht Frakturen auftreten oder entzündliche Prozesse übertreten.

Die Wände der Orbita sind von zahlreichen Öffnungen durchbrochen, durch die Leitungsbahnen ziehen (▶ Tab. 17.19).

Tab. 17.19 Öffnungen der Orbitawände. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 17.30**.

Orbitawand (beteiligte Knochen)	Öffnungen	Inhalt
Dach (Os frontale[17])	Incisura frontalis[1] zum Gesicht	• N. supraorbitalis, R. medialis
	Foramen supraorbitale[18] zum Gesicht	• N. supraorbitalis, R. lateralis
Boden (Maxilla[10], Os zygomaticum[13] und Os palatinum)	Canalis infraorbitalis und Foramen infraorbitale[9] zum Gesicht	• N. infraorbitalis • A. und V. infraorbitalis
laterale Wand (Os zygomaticum und Ala major des Os sphenoidale[14])	Fissura orbitalis superior[15] zur mittleren Schädelgrube	• N. oculomotorius (III) • N. trochlearis (IV) • N. abducens (VI) • N. ophthalmicus (V1) mit Aufteilung in: ◦ N. lacrimalis ◦ N. frontalis ◦ N. nasociliaris • V. ophthalmica superior
	Fissura orbitalis inferior[12] zur Fossa pterygopalatina	• N. zygomaticus (aus V2) • N. infraorbitalis (aus V2) • A. und V. infraorbitalis • M. orbitalis (Müller) liegt über der Fissur
	Foramen zygomaticoorbitale[16]:	N. zygomaticus (aus V2) mit Aufteilung in:
	• über Foramen zygomaticotemporale zum Gesicht	• R. zygomaticotemporalis des N. zygomaticus (aus V2)
	• über Foramen zygomaticofacialis zum Gesicht	• R. zygomaticofacialis des N. zygomaticus (aus V2)
mediale Wand (Ala minor des Os sphenoidale, Processus frontalis[6] der Maxilla, Os lacrimale[7], Os ethmoidale[8] und Os frontale)	Canalis opticus[4] zur mittleren Schädelgrube	• N. opticus • A. ophthalmica
	Foramen ethmoidale anterius[3] zur vorderen Schädelgrube	• A., V. und N. ethmoidalis anterior (aus V1)
	Foramen ethmoidale posterius[2] zur Wand der hinteren Siebbeinzellen und zur vorderen Schädelgrube	• A., V. und N. ethmoidalis posterior (aus V1) • Vv. ethmoidales
	Canalis nasolacrimalis zur Nasenhöhle	• Ductus nasolacrimalis

Inhalt der Orbita

In der Augenhöhle befindet sich Fettgewebe (**Corpus adiposum orbitae**), das um den **Bulbus oculi** (Augapfel) als derbe bindegewebige Kapsel (**Capsula bulbi, Tenon-Kapsel**) ausgebildet ist. Außerdem befinden sich in der Orbita:

- die 6 äußeren Augenmuskeln (s. u.),
- der M. levator palpebrae,
- zahlreiche Leitungsbahnen zur Versorgung des Bulbus und seiner Hilfsstrukturen (▶ Tab. 17.20 und ▶ **Abb. 17.31**).

Im **Ganglion ciliare**[14], das lateral des N. opticus in der Orbita liegt, werden die aus dem R. inferior n. oculomotorii[18] stammenden (präganglionären) parasympathischen Fasern (**Radix parasympathica** oder **oculomotoria**) umgeschaltet. Neben dieser gibt es noch 2 weitere Wurzeln:

- die Fasern der **Radix nasociliaris (sensoria)**[16] aus dem N. nasociliaris[12],
- die **Radix sympathica**[17] aus dem periarteriellen Plexus um die A. ophthalmica.

Tab. 17.20 Leitungsbahnen in der Orbita. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 17.31**.

Leitungsbahn	Äste	Versorgte Struktur
A. ophthalmica	A. lacrimalis	Tränendrüse
	Aa. ciliares posteriores longae und breves	Bulbus hinter dem Äquator bzw. N. opticus nahe dem Discus
	A. centralis retinae	Retina (Verlauf im N. opticus)
	Aa. ethmoidales anterior und posterior	Hirnhaut der vorderen Schädelgrube und mediale Nasenschleimhaut
	A. supraorbitalis	Bulbus vor dem Äquator, Endast zur Stirn
	A. palpebralis medialis Endäste: A. supratrochlearis und A. dorsalis nasi	mediales Augenlid, medialer Augenwinkel und Nasenrücken
V. ophthalmica	Vv. ophthalmicae superiores und inferiores	Bulbus; über die V. angularis besteht Anschluss an die Gesichtsvenen
	V. lacrimalis	Tränendrüse
	V. supratrochlearis	Augenlid
	V. ethmoidalis	Hirnhaut der vorderen Schädelgrube
N. opticus (II)[19]		optische Information
N. oculomotorius (III)[5, 18]		Mm. rectus superior, inferior, medialis und obliquus inferior parasympathisch: Innervation (postganglionär) der inneren Augenmuskeln (Nn. ciliares breves)
N. trochlearis (IV)[2]		M. obliquus superior
N. abducens (VI)[24]		M. rectus lateralis
N. ophthalmicus (V1)[22]	N. nasociliaris[12]	Cornea, Sinus sphenoidalis, Sinus ethmoidalis, Septum und Cavum nasi, Nasenrücken, Konjunktiva
	N. lacrimalis[7]	parasympatisch: Tränendrüse; sensibel: lateraler Augenwinkel
	N. frontalis[6]	sensibel: Stirnhaut

Die beiden zuletzt genannten Fasern ziehen ohne Umschaltung durch das Ganglion ciliare hindurch und schließen sich mit den (postganglionären) parasympathischen Fasern zu den **N. ciliares breves**[13] zusammen. Die parasympathischen und sympathischen Fasern der Nn. ciliares breves innervieren die **inneren Augenmuskeln**. Der **M. ciliaris** und der **M. sphincter pupillae** werden dabei von *parasympathischen*, der **M. dilatator pupillae** von *sympathischen* Fasern innerviert.

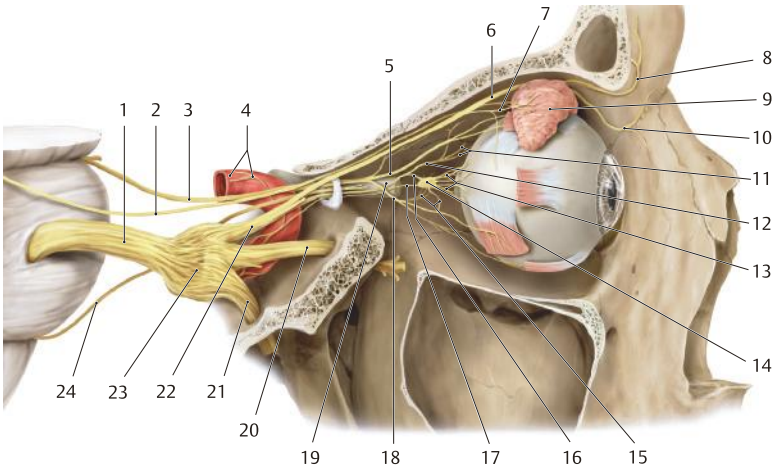


Abb. 17.31 Nerven der Orbita. Rechtes Auge von lateral nach Entfernung der temporalen Orbitawand.

1 N. trigeminus
2 N. trochlearis
3 N. oculomotorius
4 A. carotis int. mit Plexus caroticus int.
5 N. oculomotorius, R. superior
6 N. frontalis
7 N. lacrimalis
8 N. supraorbitalis
9 Glandula lacrimalis
10 N. infratrochlearis
11 Nn. ciliares longi
12 N. nasociliaris
13 Nn. ciliares breves
14 Ganglion ciliare
15 Radix parasympathica
16 Radix nasociliaris
17 Radix sympathica
18 N. oculomotorius, R. inferior
19 N. opticus
20 N. maxillaris
21 N. mandibularis
22 N. ophthalmicus
23 Ganglion trigeminale
24 N. abducens

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

17.5.2 Augenlider und Tränenapparat

Augenlider (▶ Abb. 17.32)

Die Lider schützen die empfindliche Hornhaut vor mechanischen Schäden und bieten einen relativen Blendschutz. Sie bestehen aus einer *oberflächlichen Schicht*, zu der der M. orbicularis oculi und das bindegewebige Septum orbitalis gehören, und aus einer *tiefen Schicht*, die aus dem M. levator palpebrae sowie dem Tarsus mit Begleitstrukturen besteht.

Die halbovalen bindegewebigen Platten des **Tarsus superior**[7] und **Tarsus inferior**[12] verleihen den Lidern Form und Festigkeit. Über das Septum orbitale[22] sind die Tarsi am Periost der Orbita verankert. Die **Ligg. palpebrale mediale** und **laterale** befestigen die beiden Tarsi am medialen bzw. lateralen Orbitarand. Gleichzeitig dienen diese Bänder als Sehnen des **M. orbicularis oculi**[17,21], einem quergestreiften, mimischen Muskel, der für den Lidschluss zuständig ist. Als Heber des Oberlids wirkt der quergestreifte **M. levator palpebrae superioris**[3], der von der Ala minor des Os sphenoidale entspringt. Er zieht über dem M. rectus superior durch die Orbita und inseriert in Form einer Aponeurose im Bindegewebe des Tarsus superior. Dieser Aponeurose liegen die glatten Muskelzellen des **M. tarsalis superior**[6] (klinisch „Müller-Lidheber" genannt; nicht zu verwechseln mit dem „Müller-Muskel", einem Teil des M. ciliaris) von innen an. Im Unterlid zwischen Tarsus inferior und Fornix inferior befindet sich der **M. tarsalis inferior**[15], der ebenfalls aus glatten Muskelzellen besteht. Beide Mm. tarsales regulieren die Weite der Lidspalte (Rima palpebrarum).

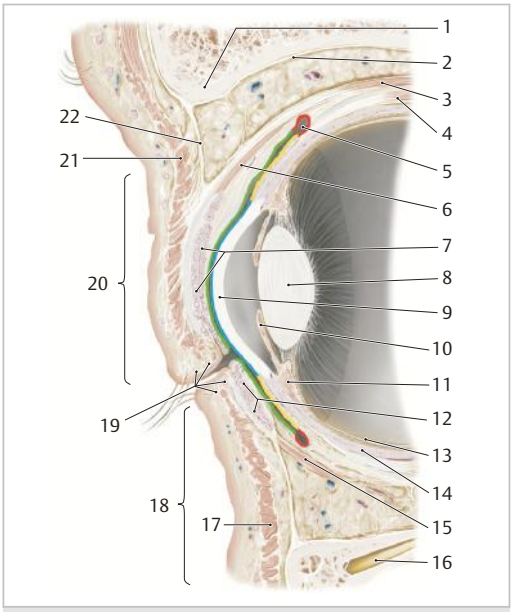


Abb. 17.32 Aufbau von Augenlidern und Bindehaut. Sagittalschnitt durch Orbita und den vorderen Teil des Bulbus oculi. Ansicht von links.
gelb: Conjunctiva bulbi, grün: Conjunctiva tarsi (palpebrae), rot: Conjunctiva fornicis, blau: Corneaepithel

1 Orbitadach
2 Periorbita
3 M. levator palpebrae superioris
4 M. rectus superior
5 Fornix conjunctivae superior
6 M. tarsalis superior
7 Tarsus superior (mit Glandulae tarsales)
8 Linse
9 Cornea
10 Iris
11 Corpus ciliare
12 Tarsus inferior
13 Retina
14 Sclera
15 M. tarsalis inferior
16 N. infraorbitalis
17 M. orbicularis oculi, Pars palpebralis
18 Palpebra inferior
19 Zeis- und Moll-Drüsen
20 Palpebra superior
21 M. orbicularis oculi, Pars orbitalis
22 Septum orbitale

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der vordere Lidrand (**Limbus anterior palpebrae**) weist einen stumpfen, der hintere (**Limbus posterior palpebrae**) einen scharfkantigen Rand auf. Der Limbus palpebrae anterior trägt Wimpern, in deren Haartrichter die Ausführungsgänge großer Talgdrüsen (**Glandulae sebaceae**, Zeis-Drüsen) münden. In der Nähe der Haarwurzeln liegen vereinzelte **Glandulae ciliares** (Moll-Drüsen), bei denen es sich um Schweißdrüsen mit apokrinem Sekretionsmechanismus handelt.

In den Limbus palpebrae posterior münden die Ausführungsgänge der **Glandulae tarsales** (Meibom-Drüsen). Diese sind große, holokrine Talgdrüsen, deren Drüsenbäumchen in der Tunica propria tarsi liegen und deren Inhalt durch Kontraktion einzelner Fasern („Riolan-Muskel") des M. orbicularis oculi ausgepresst wird. Der Talg der Glandulae tarsales bildet die äußere von 3 Schichten des präkornealen Flüssigkeitsfilms.

Eine bakterielle Infektion der Zeis- oder Moll-Drüsen nennt man **Hordeolum externum** (**Gerstenkorn**). Sind die Glandulae tarsales betroffen, spricht man von einem **Hordeolum internum**. Es handelt sich um eine schmerzhafte Entzündung mit Rötung des Limbus, Schwellung und ggf. Eiteransammlung. Ein Sekretstau der Meibom-Drüsen mit nachfolgender nicht-bakterieller Entzündung führt meist zu einer *schmerzfreien* Schwellung des Lides, die **Chalazion** (**Hagelkorn**) genannt wird. Beide Erkrankungen werden normalerweise mit lauwarmen Kompressen behandelt, die Entzündung heilt dann nach wenigen Tagen ab.

Leitungsbahnen. Am Augenlid kommt es zur Überlappung der Versorgungsbereiche von A. carotis interna und externa. Aus der A. ophthalmica und damit aus dem Stromgebiet der A. carotis interna stammen die **A. supraorbitalis** und von lateral Äste der **A. lacrimalis**. Aus dem Stromgebiet der A. carotis externa kommen von lateral Äste der **A. temporalis superficialis**. Die mediale Versorgung stammt von Ästen der **A. angularis** (aus der A. facialis) bzw. der **A. dorsalis nasi**. Letztere kann mit der A. supratrochlearis (aus der A. ophthalmica) anastomosieren. Gleichnamige Venen begleiten die Arterien.

Der **N. oculomotorius** (III) innerviert den M. levator palpebrae. Die sympathische Innervation der aus glatter Muskulatur bestehenden M. tarsalis superior (Müller-Lidheber) und M. tarsalis inferior stammt aus postganglionären Fasern aus dem

Ganglion cervicale superius, die ebenfalls im N. oculomotorius verlaufen. Sensible Reize der Augenlider nehmen ihren Weg über die **Rr. palpebrales n. supraorbitalis** in den N. ophthalmicus (V1) bzw. über die **Rr. palpebrales n. infraorbitalis** in den N. maxillaris (V2).

Die Rückfläche der Lider und die vorderen Anteile der Sclera werden durchgängig von einer **Bindehaut** (**Tunica conjunctiva**) bedeckt, die man je nach Lage als **Conjunctiva tarsi** bzw. **bulbi** bezeichnet. Am oberen und unteren Übergang von Lid und Bulbus befindet sich die **Fornix conjunctivae** mit zahlreichen Reservefalten (**Conjunctiva fornicis**) zur Kompensation extremer Augenbewegungen. Im medialen Augenwinkel bildet die Bindehaut eine äußerlich sichtbare **Plica semilunaris conjunctivae.** Bei der Konjunktiva handelt es sich um eine gefäßreiche Schleimhaut, die aus einem mehrschichtigen hochprismatischen Epithel mit Becherzellen besteht. Das Sekret der Becherzellen bildet die innere Schicht des präkornealen Flüssigkeitsfilms (s. u.). Die Konjunktiva wird von den **Aa. palpebrales laterales** und **mediales** sowie den **Aa. ciliares anteriores** versorgt. Der venöse Abfluss verläuft über die gleichnamigen Venen in die V. ophthalmica superior und inferior. Sensibel innerviert wird sie aus folgenden Trigeminusästen: N. frontalis, N. lacrimalis, N. nasociliaris und N. infraorbitalis.

Tränenapparat

Die Tränendrüse (Glandula lacrimalis) sezerniert die Tränenflüssigkeit. Diese bildet die mittlere von 3 Schichten des **präkornealen Flüssigkeitsfilms**. Dieser Flüssigkeitsfilm kann geringfügige Unebenheiten der Hornhaut ausgleichen und verhindert deren Austrocknung. Die innere Schicht wird von den Becherzellen des Bindehautepithels sezerniert. Sie ist viskös und wirkt dadurch stabilisierend. Die äußere Schicht stammt vom Talg der Glandulae tarsales (Meibom-Drüsen, s. o.) und ist lipophil. Sie verhindert ein rasches Verdunsten des Flüssigkeitsfilms.

Täglich werden etwa 5–10 ml **Tränenflüssigkeit** gebildet. Sie besteht aus einer *isotonen Salzlösung* (Na^+, K^+, Cl^-, Bikarbonat) und enthält *Proteine* (Lysozym, Lactoferrin, α- und β-Defensine) mit **antibakterieller** Wirkung. Da auch das lipophile Sekret der *Glandulae tarsales* Teil des Flüssigkeitsfilms ist, kommen in ihr auch Lipcalin und Surfactantprotein D vor. Weitere Komponenten sind „epidermal growth factor" zur Förderung der Heilung kleiner Wunden und IgA, das durch Transzytose in die Tränenflüssigkeit gelangt.

Die **Tränendrüse** (**Glandula lacrimalis**, ▶ **Abb. 17.31**[9]) ist eine seröse, tubuloalveoläre Drüse mit Endstücken ähnlich denen der Glandula parotis. Sie liegt oberhalb des temporalen Lidwinkels in der **Fossa glandulae lacrimalis** des Os frontale. Ihre 8–12 Ausführungsgänge münden lateral in der Fornix conjunctivae superior. Sie wird von der aponeurotischen Sehne des M. levator palpebrae superioris in eine **Pars palpebralis** und eine **Pars orbitalis** geteilt, jedoch bleiben beide Teile über eine Parenchymbrücke miteinander verbunden. Die **A. lacrimalis** aus der A. ophthalmica versorgt die Tränendrüse arteriell, der venösen Drainage dient die V. ophthalmica.

Die **Tränensekretion** wird vom Parasympathicus angeregt. Das **1. Neuron** dieser Bahn liegt im **Nucleus salivatorius superior** im Hirnstamm. Von dort ziehen präganglionäre Fasern über den Intermediusanteil des N. facialis als **N. petrosus major** zum **Ganglion pterygopalatinum**, wo sie auf das **2. Neuron** umgeschaltet werden. Die postganglionären Fasern gelangen mit dem **N. zygomaticus** (Ast des N. maxillaris) über eine Anastomose (R. communicans cum nervo lacrimale) mit dem **N. lacrimalis** (Ast des N. ophthalmicus) zur Drüse. Die Äste des N. trigeminus dienen dabei lediglich als „Dienstleister". Die sympathischen Nervenfasern aus dem Halssympathicus verlaufen über die Nervengeflechte der A. lacrimalis. Sie hemmen die Tränenproduktion.

Durch den **Lidschlag** wird die Tränenflüssigkeit in den medialen Augenwinkel befördert. Auf ihrem Weg reinigt sie den Konjunktivalsack von kleineren Fremdkörpern. Sie sammelt sich im Tränensee (**Lacus lacrimalis**), in den die beiden Tränenpunkte (**Punctae lacrimales**) im Ober- und Unterlid eintauchen. Von dort gelangt die Flüssigkeit über die jeweiligen Tränenkanälchen (**Canaliculi lacrimales**) in den Tränensack (**Saccus lacrimalis**). Dieser liegt in der Fossa lacrimalis des Os lacrimale und wird von der medialen Periorbita bedeckt. Da die dünne Wand des Saccus lacrimalis mit dem Periost des Os lacrimale und der Periorbita verwachsen ist, bleibt sein Lumen stets offen. Der Saccus lacrimalis geht in den **Ductus nasolacrimalis** über. Er ist über eine ausgeprägte Lamina propria in den knöchernen Kanal eingebaut. Im Meatus nasalis inferior mündet er in die Nasenhöhle. An der Mündung befindet sich eine Schleimhautfalte (**Plica lacrimalis**, Hasner-Klappe) mit Ventilfunktion, sodass beim Niesen keine Luft in den Ductus nasolacrimalis gepresst wird (Die Hasner-Klappe entsteht aus der Hasner-Membran, die sich nach der Geburt spontan öffnet). Die Kapillarkräfte in den *Canaliculi lacrimales* wirken unterstüt-

zend auf den Abfluss der Tränenflüssigkeit. Die Lidöffnung führt zu einer Erweiterung der vertikalen Abschnitte und verstärkt die Sogwirkung. Nur im letzten Abschnitt der Tränenwege wird die Flüssigkeit passiv transportiert.

Eine Läsion des N. facialis kann zu einer Lähmung des M. orbicularis oculi führen. Dann ist nur ein unvollständiger Lidschluss möglich (**Lagophthalmus**). Infolgedessen wird die Tränendrüse nicht mehr „ausgedrückt" und die Tränenflüssigkeit nicht mehr über der Cornea und im Konjunktivalsack verteilt. Es besteht die Gefahr einer Hornhautschädigung durch Austrocknung.

17.5.3 Äußere Augenmuskeln (▶ Abb. 17.33)

Beide Augen verfügen über einen eigenen Bewegungsapparat, der sie zu einem System zusammenschließt, das konjugierte Augenbewegungen ermöglicht. Die Augen bewegen sich im **Spatium circumbulbare**, einem Spaltraum zwischen **Capsula bulbi** und **Sclera**. Die Schaltzentrale für diese fein abgestimmten Bewegungen liegt in den Kerngebieten der Augenmuskelnerven im Mittelhirn (Nucleus perlia) und im Colliculus superior.

An jedem Auge gibt es 6 Muskeln, **4 gerade** (M. rectus lateralis, medialis, superior und inferior) und **2 schräge Augenmuskeln** (M. obliquus superior und inferior). Mit Ausnahme von M. rectus lateralis und medialis weisen alle jeweils eine **Haupt-** und eine **Nebenfunktion** auf, die von der Abweichung der aktuellen Blickstellung von der Normalstellung abhängt. In Normalstellung weicht die Sehachse um etwa 23° von der Orbitaachse ab. Die Bewegungen des Bulbus können als Rotationen um **3 Achsen** aufgefasst werden, deren gemeinsamer Drehpunkt etwa 14 mm hinter der Hornhaut liegt:

- Die sagittale Achse entspricht der Blickachse, die entsprechenden Drehbewegungen nennt man **Innenrotation** und **Außenrotation** des Bulbus.
- Drehungen um die vertikale Achse werden als **Abduktion** (Blick nach außen) oder **Adduktion** (Blick nach innen) bezeichnet.
- **Elevation** (Blick nach oben) und **Depression** (Blick nach unten) verlaufen um die transversale Achse.

Ursprung, Ansatz, Innervation und Funktionen der äußeren Augenmuskeln sind in ▶ Tab. 17.21 zusammengefasst.

Störungen der konjugierten Blickmotorik (z. B. Schielen, **Strabismus**) führen zu Doppelbildern (Diplopie). Bei einer Untersuchung lässt man den Patienten nach rechts, links und in beide Richtungen schräg diagonal blicken und beobachtet dabei die Bewegung der Bulbi. Die Stellung des zu-

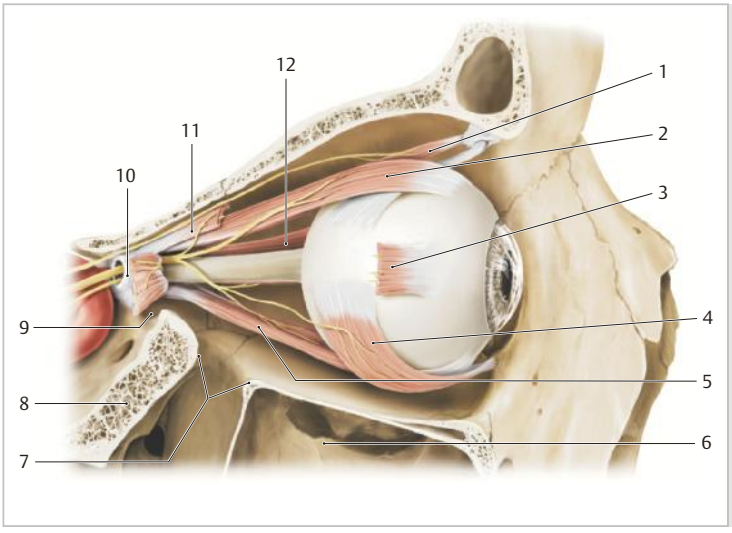


Abb. 17.33 Äußere Augenmuskeln. Ansicht des rechten Auges von lateral nach Entfernung der temporalen Orbitawand.
1 M. obliquus superior
2 M. rectus superior
3 M. rectus lateralis
4 M. obliquus inferior
5 M. rectus inferior
6 Sinus maxillaris
7 Fissura orbitalis inferior
8 Os sphenoidale
9 Fissura orbitalis superior
10 Anulus tendineus communis
11 M. levator palpebrae superioris
12 M. rectus medialis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 17.21 Äußeren Augenmuskeln: Ursprung, Ansatz, Innervation und Funktionen. Die Nummern beziehen sich auf ▶ Abb. 17.33.

Muskel	Ursprung	Ansatz	Innervation	Funktion
M. rectus superior[2]	Anulus tendineus communis	Bulbusäquator	N. oculomotorius	Elevation, Adduktion und Innenrotation
M. rectus medialis[12]	Anulus tendineus communis	Bulbusäquator	N. oculomotorius	Adduktion
M. rectus inferior[5]	Anulus tendineus communis	Bulbusäquator	N. oculomotorius	Depression, Adduktion und Außenrotation
M. rectus lateralis[3]	Anulus tendineus communis	Bulbusäquator	N. abducens	Abduktion
M. obliquus superior[1]	Anulus tendineus communis	hinter dem Bulbusäquator	N. trochlearis	Depression, Innenrotation und geringe Abduktion
M. obliquus inferior[4]	Crista lacrimalis posterior der Maxilla	hinter dem Bulbusäquator	N. oculomotorius	Elevation, Außenrotation und geringe Abduktion

rückbleibenden Bulbus gibt Aufschluss über die betroffenen Augenmuskeln und damit evtl. auch über die Funktion der betroffenen Augenmuskelnerven bzw. deren Kerne.

17.5.4 Augapfel (Bulbus oculi)

Lage und Gestalt des Auges

Eingebettet in das Fettgewebe des **Corpus adiposum orbitae**, das um den Bulbus oculi herum eine derbe bindegewebige Kapsel (**Vagina bulbi**, Tenon-Kapsel) bildet, liegt der Bulbus oculi in der Orbita. Sein Durchmesser beträgt etwa 24 mm, jedoch ist er lateral stärker gekrümmt als dorsal. Den vorderen Pol bildet die stark gekrümmte, transparente Hornhaut (**Cornea**). Die Linie des größten Umfangs nennt man **Äquator**. Er teilt den Bulbus in die annähernd gleich große vordere und hintere Hälfte. Senkrecht hierzu verlaufen die **Meridiane**. Die **Augenachse** (Axis bulbi) verläuft vom Zentrum der Cornea zum Ansatzpunkt des Sehnervs am hinteren Augenpol. Die **Sehachse** (Blickachse, optische Achse) verläuft senkrecht durch die Krümmungsmittelpunkte des lichtbrechenden Systems zur Foveal centralis. Augen- und Sehachse weichen um 23° voneinander ab (▶ Abb. 17.34).

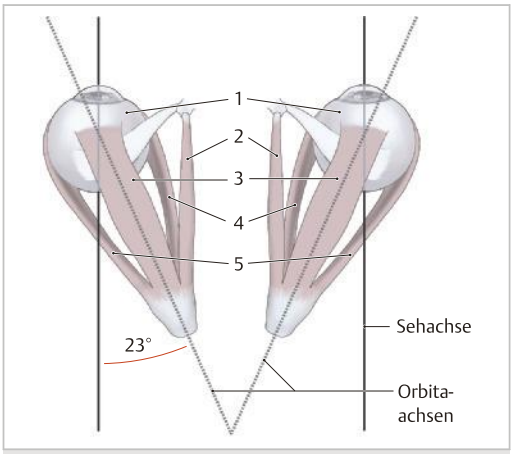


Abb. 17.34 Sehachse und Orbitaachse. Ansicht von kranial auf beide Augen.
1 Bulbus oculi
2 M. obliquus superior
3 M. rectus superior
4 M. rectus medialis
5 M. rectus lateralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Feinbau und Funktion des Auges

Der Bulbus oculi ist aus 3 Schichten aufgebaut:
- Tunica fibrosa bulbi, eine mechanisch stabile, äußere Schicht (Sclera und Cornea),

- Tunica vasculosa bulbi, eine gefäßführende mittlere Schicht (Iris, Corpus ciliare und Choroidea),
- Tunica interna bulbi, die innere Schicht aus Nervenzellen (Retina) und Pigmentepithel.

Tunica fibrosa bulbi (Sclera und Cornea)

Die Tunica fibrosa bulbi verleiht dem Auge die nötige mechanische Stabilität, um dem Zug der äußeren Augenmuskeln entgegenzuwirken und den intraokulären Druck von 15 mmHg zu kompensieren. Sie ist annähernd kugelförmig mit einem Radius von ca. 12 mm und besteht aus der **Lederhaut** (**Sclera**), einem undurchsichtigen, weißlich durch die Bindehaut des Auges sichtbaren Teil der Tunica fibrosa bulbi, und der durchsichtigen Hornhaut (**Cornea**) am vorderen Augenpol. Am Übergang von der Sclera zur Cornea befindet sich der **Sulcus sclerae**. Er entsteht durch die unterschiedlichen Krümmungsradien von Sclera und Cornea. Die Region, an der Sclera und Cornea miteinander verbunden sind, wird **Limbus** genannt. Sie ist mit 0,8 mm die dickste Stelle der Sclera, während ihre dünnste Stelle (0,3 mm) im Bereich der Ansatzsehnen der äußeren Augenmuskeln liegt.

Die Sclera besteht aus **3 Schichten**: die äußere **Lamina episcleralis** besteht aus lockerem Bindegewebe, in das Gefäße und Nerven eingelagert sind. Die **Lamina propria** (Stroma scleralis) bildet die mittlere Schicht aus straffem kollagenem Bindegewebe. An der Grenze zur Uvea liegt die **Lamina fusca**, die ebenfalls aus lockerem Bindegewebe besteht, in das pigmentierte Melanozyten eingelagert sind.

Die **Hornhaut** (**Cornea**) hat die Form eines Uhrglases. Mit einer **Brechkraft von 40 Dioptrien** trägt die Cornea den Hauptanteil am lichtbrechenden Apparat des Auges (65 Dioptrien). Sie hat einen

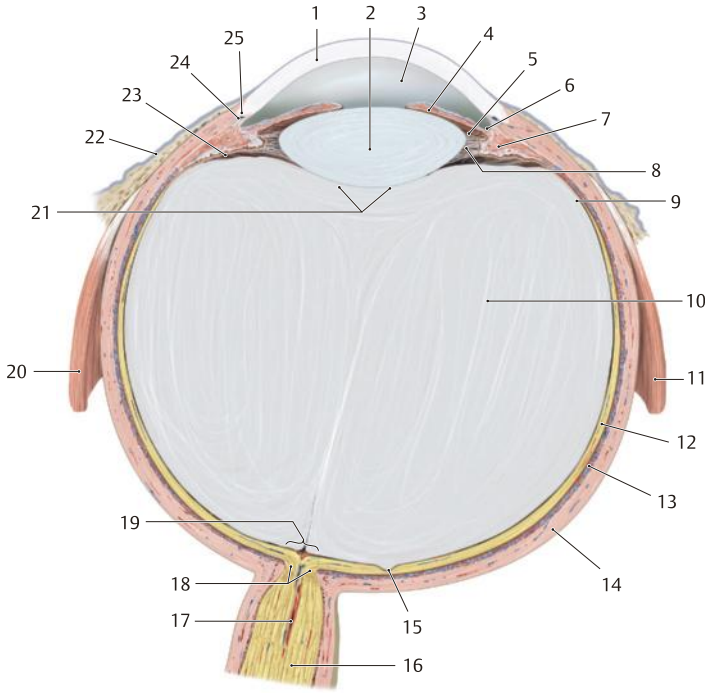


Abb. 17.35 Horizontalschnitt durch den rechten Bulbus oculi auf Höhe der Linse. Ansicht von kranial.

1 Cornea
2 Linse
3 vordere Augenkammer
4 Iris
5 hintere Augenkammer
6 Kammerwinkel
7 Corpus ciliare, M. ciliaris
8 Zonulafasern
9 Ora serrata
10 Corpus vitreum
11 M. rectus lateralis
12 Retina
13 Choroidea
14 Sclera
15 Fovea centralis
16 N. opticus
17 A. centralis retinae
18 Lamina cribrosa
19 Papilla n. optici
20 M. rectus medialis
21 Fossa hyaloidea
22 Conjunctiva bulbi
23 Pigmentepithel des Ziliarkörpers
24 Schlemm-Kanal
25 Limbus corneae

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Krümmungsradius von 7–8 mm und ist damit stärker gekrümmt als die Sclera. Die sowohl gegen mechanische Deformationen als auch gegen bakterielle Infektionen resistente Cornea ist am Rand 0,7 mm, in der Mitte 0,5 mm dick. In der vertikal verlaufenden Ebene ist sie stärker gekrümmt als in der horizontalen. Der regelmäßige Aufbau des (dünnen) Epithels und der verschiedenen Bestandteile des Stroma corneae sowie das Fehlen von Blutgefäßen verleihen der Cornea ihre Transparenz.

Arterielle Zuflüsse der Sclera sind die **Aa. ciliares anteriores** aus den Aa. musculares der A. ophthalmica. Die Cornea ist dagegen frei von Gefäßen. Ihre Ernährung beruht auf der Versorgung über ein **Randschlingennetz** skleraler und episkleraler Blutgefäße am Limbus sowie auf aerober **Glykolyse**. Das außen liegende Epithel ist zur **Sauerstoffaufnahme** aus der Luft und das innen liegende Endothel zur **Glukoseaufnahme** aus dem Kammerwasser befähigt. Zwischen den beiden Zellschichten liegt das Stroma, das etwa 90 % der Dicke ausmacht und aus Kollagenfibrillen, Proteoglykanen und Wasser besteht.

Der Drainage der Sclera dienen 4 **Vv. vorticosae**, die aus der Sclera durch 4 Kanäle austreten. Sie erhalten Zuflüsse aus den **Vv. ciliares anteriores** vor dem Äquator sowie den **Vv. ciliares posteriores longae** und **breves** hinter dem Äquator. Innerviert wird die Sclera von den **Nn. ciliares longi** aus dem N. ophthalmicus. Diese ziehen durch die Sclera und treten am **Limbus** in die Cornea über.

Tunica vasculosa bulbi (Iris, Corpus ciliare und Choroidea)

Die **Tunica vasculosa bulbi** (klinisch **Uvea**) besteht aus der Regenbogenhaut (**Iris**), dem Strahlenkörper (**Corpus ciliare**) und der Aderhaut (**Choroidea**).

Die **Regenbogenhaut** (**Iris**, ▸ **Abb. 17.36**) regelt den Lichtdurchtritt durch die **Pupille,** einer normalerweise kreisförmigen Öffnung in der Mitte der Iris. Sie optimiert dadurch auch die Abbildungseigenschaften (Tiefenschärfe) des lichtbrechenden Apparats. Die Weite der Öffnung schwankt je nach Lichteinfall und autonomer Innervation zwischen 1,5 mm (enge Pupille = **Miosis**) und 12 mm (weite Pupille = **Mydriasis**). Der Öffnungsgrad wird durch den Antagonismus der beiden im Stroma iridis gelegenen Muskeln reguliert (M. sphincter pupillae und M. dilatator pupillae).

Beim **M. sphincter pupillae**[1] handelt es sich um 6–8 **zirkulär** angeordnete glatte Muskelzellen, die über Gap Junctions miteinander verbunden und von einer Basalmembran umhüllt werden. Der Muskel wird **parasympathisch** aus dem Nucleus oculomotorius accessorius (Edinger-Westphal) innerviert. Die Fasern verlaufen mit dem N. oculomotorius und erreichen als **Radix brevis** das **Ganglion ciliare**, wo sie auf das 2. Neuron umgeschaltet werden. Zum Bulbus gelangen die Impulse in den **Nn ciliares breves**.

Der **M. dilatator pupillae**[5] wird von einer Lage **radiär** angeordneter, glatter Muskelzellen gebildet, die untereinander durch Gap Junctions und mit den darunterliegenden Zellen des Pigmentepithels

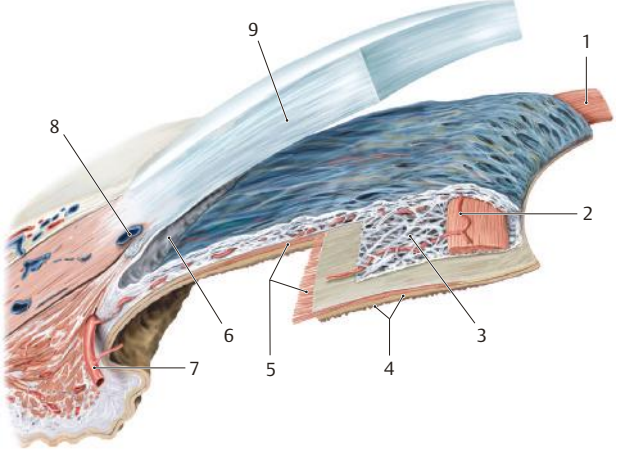


Abb. 17.36 Regenbogenhaut (Iris). Aufbau und topografische Bezüge.
1 M. sphincter pupillae
2 Circulus arteriosus iridis minor
3 Stroma iridis
4 zweischichtiges pigmentiertes Epithel
5 M. dilatator pupillae
6 Trabekelwerk mit Fontana-Räumen
7 Circulus arteriosus iridis major
8 Schlemm-Kanal
9 Cornea
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

durch Desmosomen verbunden sind. Der Muskel wird von **sympathischen** Fasern aus dem Ganglion cervicale superius des Grenzstrangs innerviert, die als **Radix sympathica** zum **Ganglion ciliare** gelangen und von dort ohne Umschaltung in den **Nn. ciliares breves** zum Bulbus ziehen.

Arteriell versorgt wird die Iris aus dem **Circulus arteriosus iridae major**[7] an der Irisbasis und dem **Circulus arteriosus iridae minor**[2] am Pupillenrand. Beide Gefäßbögen liegen im Stroma iridis und werden aus den **Aa. ciliares posteriores longae** und **Aa. ciliares anteriores** gespeist.

Der Innervation der Iris dienen die **Nn. ciliares breves** aus dem **Ganglion ciliare** mit sensiblen, parasympathischen und sympathischen Fasern. Die **Nn. ciliares longi** führen sensible, möglicherweise propriozeptive Fasern.

Der **Strahlenkörper** (Ziliarkörper, **Corpus ciliare**, ▶ **Abb. 17.37**) reicht von der Ora serrata (S. 478) bis zur Irisbasis und besteht aus dem **Orbiculus ciliaris** sowie der sich nach anterior anschließenden **Corona ciliaris**. Der posterior gelegene Orbiculus in Fortsetzung der Ora serrata[5] weist nur geringe Falten auf und wird daher auch **Pars plana**[9] genannt. Im Gegensatz dazu bezeichnet man die Corona infolge ihrer starken, senkrecht zum Äquator verlaufenden (meridionalen) Fältelung auch als **Pars plicata**[10]. Die faltenförmigen Fortsätze werden als **Processus ciliares**[7] bezeichnet, denen ihrerseits nochmals kleinere Falten (**Plicae ciliares**) aufsitzen. Auf seiner Innenseite ist das Corpus ciliare von der Pars ciliaris retinae, einem Teil der Pars caeca retinae bedeckt.

Das Corpus ciliare setzt sich zusammen aus dem **Ziliarepithel**, dem **Stroma corporis ciliaris** (Stratum vasculosum) und dem **M. ciliaris**[6], einem aus 3 Teilen bestehenden glatten Muskel (s. u.).

Beim **Ziliarepithel** handelt es sich um ein zweischichtiges Epithelschicht, das auf **beiden** Seiten von einer **Basallamina** umgeben ist. Die innere Schicht besteht aus **unpigmentierten** Ziliarepithelzellen, die **Kammerwasser** und Hyaluronsäure zur Erhaltung des Glaskörpers sezernieren, die Zellen der äußeren Schicht sind **pigmentiert**. Das **Stroma** setzt sich aus lockerem, kollagenem Bindegewebe mit den hierfür charakteristischen Zellen (Fibroblasten, Melanozyten, Mastzellen, Makrophagen) zusammen, in das *Blutkapillaren* mit einem *fenestriertem Endothel* eingelagert sind, was den Stoffaustauschs zwischen Blut, Epithel und Kammerwasser erleichtert.

Am **M. ciliaris** unterscheidet man 3 Teile:

Der **äußere, meridionale Muskelanteil** (Brücke-Muskel, Fibrae meridionales) verhindert das Kollabieren des Schlemm-Kanals und erleichtert so den **Abfluss des Kammerwassers**. Die **mittlere, radiale Pars obliqua** des M. ciliaris (Fibrae radiales) und der **innere, zirkulär angeordnete Muskelteil** (Müller-Muskel, Fibrae circulares) wirken als Funktionseinheit zur Verkleinerung des Umfangs des Ziliarmuskels und zur Verlagerung des Corpus ciliare nach außen. Ihre Kontraktion führt zur Erschlaffung der Zonulafasern, zwischen denen die

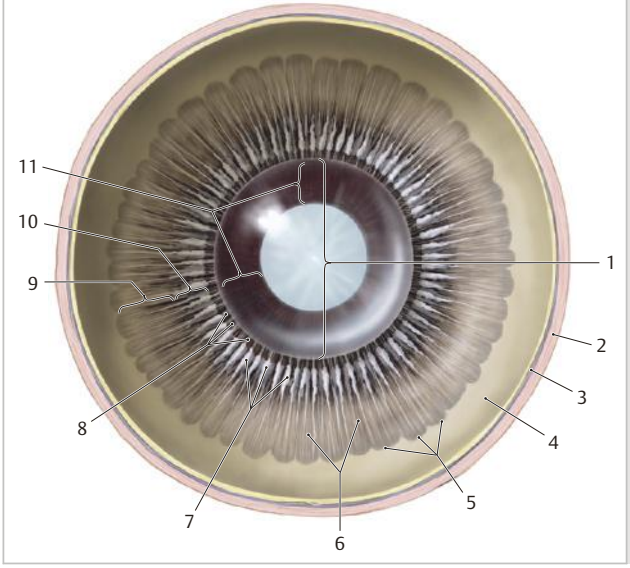


Abb. 17.37 Corpus ciliare. Ansicht von dorsal auf die Linse und ihren Halteapparat.
1 Linse
2 Sclera
3 Choroidea
4 Pars optica retinae
5 Ora serrata
6 M. ciliaris
7 Processus ciliares
8 Fibrae zonulares
9 Pars plana corporis ciliaris (Orbiculus)
10 Pars plicata corporis ciliaris (Corona)
11 Iris
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Linse aufgespannt ist, und verursacht dadurch die **Naheinstellung der Linse** (**Akkommodation**). Innerviert wird der M. ciliaris von **parasympathischen** Fasern aus dem N. oculomotorius, die nach Umschaltung im Ganglion ciliare als **Nn. ciliares breves** zum Bulbus gelangen.

Das Corpus ciliare wird arteriell versorgt von den **Aa. ciliares posteriores longae** und den **Aa. ciliares anteriores**.

Die **Aderhaut** (**Choroidea**) liegt zwischen der Lamina fusca der Sclera und der Pars optica der Retina. Sie ist hinten am Canalis n. optici und vorne am Scleralsporn angeheftet. Die Choroidea ist sehr gut vaskularisiert und verantwortlich für die Ernährung des Pigmentepithels und der Photorezeptoren der Retina. Die zum Pigmentepithel hin gelegene **Bruch-Membran** (Complexus basalis, Lamina vitrea) trägt zur Aufrechterhaltung des intraokulären Drucks bei. Zusammen mit den Basalmembranen von Lamina choroidocapillaris und Pigmentepithel bildet sie die **Blut-Retina-Schranke**. Ihre elastischen Fasern wirken der Akkommodation entgegen (Desakkommodation).

Die Choroidea wird versorgt von der **A. choroidea**, die ihre Zuflüsse aus den **Aa. ciliares posteriores longae** und **breves**, **Aa. ciliares anteriores** und Ästen der **A. ophthalmica** erhält. Die venöse Drainage verläuft über die **Vv. vorticosae** mit Abfluss in die **Vv. orbitalis superior** und **inferior**. Der Innervation dienen die **Nn. ciliares longi** und **breves**, die u. a. parasympathische Fasern aus dem Ganglion ciliare führen, die teils in etwa 2000 nicht zu einem Ganglion zusammengefassten multipolaren Nervenzellen umgeschaltet werden. Die Bruch-Membran ist **frei** von Gefäßen und wird **nicht innerviert**.

Tunica interna bulbi (Retina) (▶ Abb. 17.38)

Die Tunica interna bulbi setzt sich aus der **Pars optica**[5] und der **Pars caeca**[4] der **Retina** zusammen. Die **Pars optica**, die den Augenhintergrund (**Fundus oculi**) auskleidet und von innen der Choroidea anliegt, ist lichtempfindlich. Die nicht lichtempfindliche („blinde") **Pars caeca** wird unterteilt in die **Pars ciliaris**[3] an der Rückseite des Corpus ciliare und die **Pars iridica**[2] an der Hinterfläche der Iris.

An der **Pars optica** unterscheidet man das Pigmentepithel (**Stratum pigmentosum**[7]) aus Pigmentepitelzellen und das **Stratum nervosum**[8], das aus Photorezeptoren, Nerven- und Gliazellen besteht.

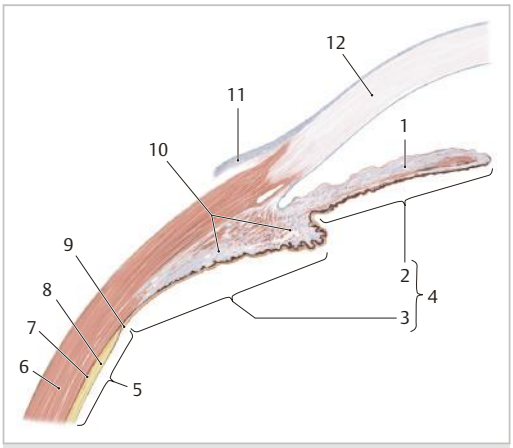


Abb. 17.38 Abschnitte der Retina. Querschnitt durch den vorderen Teil des Bulbus oculi. Ansicht von oben.
1 Iris
2 Pars iridica retinae
3 Pars ciliaris retinae
4 Pars caeca retinae
5 Pars optica retinae
6 Sclera
7 Stratum pigmentosum
8 Stratum nervosum
9 Ora serrata
10 Corpus ciliare
11 Conjunctiva bulbi
12 Cornea
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Pars caeca** setzt sich zusammen aus dem **Stratum pigmentosum**, das prinzipiell ähnlich aufgebaut ist wie in der Pars optica, und dem **Stratum epitheliale** (einschichtiges Epithel, das im Bereich des Corpus ciliare nicht, über der Iris jedoch stärker pigmentiert ist). Beide Teile der Retina unterscheiden sich also vorwiegend durch die innere Schicht.

Der abrupte Übergang zwischen beiden Teilen der Retina wird wegen ihres gezackten Randes als **Ora serrata**[9] bezeichnet. Sie liegt in der vorderen Hälfte des Bulbus und reicht vorne bis an das Corpus cilliare. An der Ora serrata und im Bereich des Sehnervenaustritts (Discus nervi optici) ist die Pars optica retinae mit dem Pigmentepithel verwachsen, während der gesamte übrige Teil nur lose mit dem Pigmentepithel verbunden bleibt. Daher kann es relativ leicht zu partiellen Netzhautablösungen kommen.

Ein Stoß oder Einblutungen (Letzteres häufig bei Diabetikern) können zu einer lokalen **Netzhautablösung** zwischen der Schicht der Photorezeptoren und dem Pigmentepithel führen. Dies bedeutet eine Vergrößerung der Diffusionsstrecke für Sauerstoff zwischen den Photorezeptoren und den Kapillaren der Choroidea mit Schädigungen der energieabhängigen Rezeptoren. Eine solche lokale Erblindung (**Skotom**) wird meist nicht wahrgenommen, da die fehlende Information durch neuronale Mechanismen höherer Zentren der Sehbahn „ergänzt" wird.

Das **Pigmentepithel** reicht in der Pars optica interdigitierend zwischen die Außensegmente der Photorezeptoren. Seine Hauptaufgaben bestehen im **Stoffaustausch** zwischen der reich durchbluteten Choroidea und den Photorezeptoren und Nervenzellen des Stratum nervosum, der **Regeneration** der photosensiblen Molekule, der **Abschirmung** der Außensegmente der Photorezeptoren gegen Photooxidation sowie der **Phagozytose** der kontinuierlich anfallenden Membranteile der Außensegmente der Photorezeptoren, vor allem der Stäbchen.

Die **Pars nervosa retinae** ist eine Projektionsfläche für das von den lichtbrechenden Teilen des Auges produzierte reelle Bild. Als Photorezeptoren (ca. 130 x 10^6) dienen Nervenzellen, deren reizaufnehmender Teil auf die Absorption von Photonen spezialisiert ist. Es handelt sich dabei um sehr kompliziert gebaute, lange, schmale Zellen, die sich über die äußeren 3 Schichten der Retina (s. u.) erstrecken. Beim Menschen unterscheidet man 2 Grundformen von Photorezeptoren:

- **helligkeitsempfindliche Stäbchen**, die das skotopische Sehen (Dämmerungssehen) vermitteln,
- 3 Arten von **farbempfindlichen Zapfen** für das photopische Sehen (Tages- und Farbensehen).

Der Lichtsensor (11-cis-Retinal) ist bei Zapfen und Stäbchen an unterschiedliche Rezeptorproteine (Opsine) gebunden. Treffen Lichtquanten von adäquater Energie auf den Lichtsensor, wird ein Prozess in Gang gesetzt, der **Phototransduktion** genannt wird und zur Hyperpolarisierung der Photorezeptoren führt. Über chemische Synapsen werden diese Signale an die nachfolgenden Nervenzellen weitergeleitet und verarbeitet. In der Pars nervosa retinae liegen die ersten 3 Neurone der Sehbahn: Photorezeptoren, Bipolarzellen und retinale Ganglienzellen. Die myelinisierten Axone der Ganglienzellen bilden zusammen den Sehnerv (N. opticus).

Die Pars optica retinae wird von der **A.** und **V. centralis retinae** versorgt, die Pars caeca von den **Aa. ciliares anteriores**. Beide Teile der Retina sind nicht sensibel oder autonom innerviert.

Lichtmikroskopisch besteht das Stratum nervosum der Pars optica retinae von außen nach innen aus 9 Schichten:

- Die Schicht der Photorezeptorfortsätze (**Stratum segmentorum externorum et internorum**) enthält die innern und äußeren Segmente der Photorezeptorzellen, die zwischen die Zellen des Pigmentepithels hineinragen.
- Die äußere Grenzmembran (**Stratum limitans externum**) wird von den Fortsätzen der retinalen Gliazellen (Müller-Stützzellen) gebildet, die mit den Fortsätzen der Photorezeptoren Zellkontakte ausbilden.
- Die äußere Körnerschicht (**Stratum nucleare externum**) enthält die Somata der Photorezeptorzellen mit den Zellkernen (1. Neuron).
- In der äußeren plexiformen Schicht (**Stratum plexiforme externum**) findet die synaptische Verschaltung zwischen Photorezeptoren und Bipolarzellen statt. Außerdem gibt es Synapsen mit Horizontalzellen.
- Die innere Körnerschicht (**Stratum nucleare internum**) enthält die Somata von Bipolar- (2. Neuron), Horizontal- und amakrinen Zellen. Hier liegen die Kerne der Müller-Glia.
- Bei der inneren plexiformen Schicht (**Stratum plexiforme internum**) handelt es sich um eine Schicht, die sehr reich ist an Synapsen, die hier zwischen den Fortsätzen von Bipolar-, Horizontal- und Amakrin- und Ganglienzellen gebildet werden.
- Die Somata der Ganglienzellen (3. Neuron) liegen im **Stratum ganglionicum** (Ganglienzellschicht).
- Die markhaltigen Axone der Ganglienzellen bilden das **Stratum neurofibrorum** (Nervenfaserschicht).
- Die Grenze zum Corpus vitreum wird **Stratum limitans internum** (innere Grenzmembran) genannt. Sie besteht aus den Fortsätzen der Müller-Glia und einer Basallamina.

Fundus oculi (Augenhintergrund)

Die gute Durchblutung durch die **Vasa centralis retinae** und die rötlichen Farbe des Chromophor 11-cis-Retinal lassen die menschliche Retina gleichmäßig rötlich erscheinen. Dennoch sind bei einer Augenspiegelung (Funduskopie, Ophthalmoskopie) bereits makroskopisch bestimmte Strukturen sichtbar (▶ **Abb. 17.39**). Man erkennt den **Discus n. optici** (Excavatio disci[7]; klinisch: „Sehner-

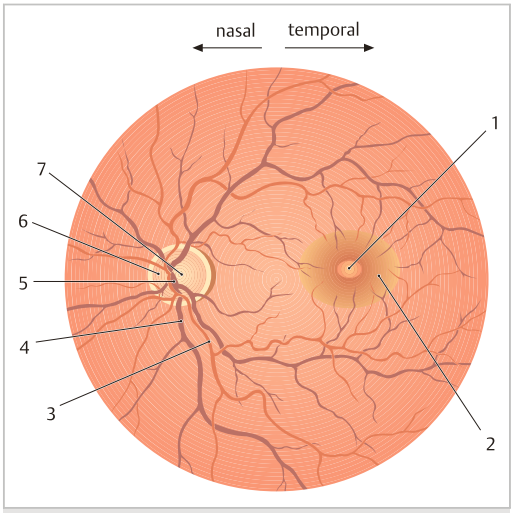


Abb. 17.39 Normaler Hintergrund des linken Auges. Ansicht bei Funduskopie.
1 Fovea centralis
2 Macula lutea (gelber Fleck)
3 Ast der A. centralis retinae
4 Ast der V. centralis retinae
5 Ein- bzw. Austrittsstelle von A. und V. centralis retinae
6 Papilla n. optici (blinder Fleck)
7 Excavatio disci
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

venpapille“) mit einem Durchmesser von etwa 1,6 mm, der durch die Sammlung der Ganglienzell-Axone entsteht, die hier als myelinisierter **N. opticus** den Bulbus verlassen. An dieser Stelle der Retina gibt es keine Photorezeptoren, weshalb sich der Discus bei einer Gesichtsfeldprüfung auf eine als **„blinder Fleck“** bezeichnete Stelle projiziert. Optische Informationen aus dem entsprechenden Bereich des Gesichtsfelds werden nicht wahrgenommen. Durch den Discus n. optici treten die **A. centralis retinae**[3] (Ast der A. ophthalmica) zur Versorgung der Pars optica retinae in die Netzhaut ein bzw. die V. centralis retinae[4] aus.

Zahlreiche Endäste der A. centralis retinae ziehen zur **Macula lutea**[2] (gelber Fleck, 5 mm Durchmesser), die selbst aber frei von Blutgefäßen ist. In ihrem Zentrum befindet eine trichterförmige Einsenkung von etwa 0,5 mm Durchmesser, die **Fovea centralis**[1]. Am Grund der Fovea befinden sich ausschließlich dicht gepackte Zapfen (wenige Ganglien- und Bipolarzellen), weshalb die Fovea die **Stelle des schärfsten Sehens** ist.

Die Retina ist der einzige Ort des menschlichen Körpers, an dem das Kapillarbett bei der **Fundoskopie** direkt inspiziert werden kann und somit Veränderungen, die auf eine **Hypertonie** oder **Diabetes** zurückzuführen sind, direkt beobachtet werden können. Die **multiple Sklerose** führt in Folge der Entmarkung des Sehnervs häufig zu einer temporalen Abblassung des Discus. An der Form der Papille kann der erfahrende Arzt außerdem Zeichen eines **erhöhten Hirndrucks** ablesen.

Linse, Akkommodation und Desakkommodation

Die **Linse** (**Lens**) und die Augenkammern mit ihrem Inhalt (▶ **Abb. 17.40**) sind Bestandteile des lichtbrechenden Apparats, zu dem auch die Cornea mit Tränenfilm, Kammerwasser, und Glaskörper gehören. Die Brechkraft dieses Systems wird einzig durch eine Änderung der Krümmungsradien der Linse variiert. Sie ermöglicht eine stufenlose Scharfeinstellung naher oder ferner Objekte (**Akkommodation**). Bei diesem Vorgang wirken Ziliarmuskel, Zonulafasern und die **elastischen Eigenschaften** der Linse zusammen.

Die menschliche **Linse** ist **bikonvex**, wobei ihre Hinterfläche stärker gekrümmt (Radius: 6 mm) ist als die Vorderfläche (Radius: 10–11 mm). Beide Flächen gehen am **Linsenäquator** ineinander über. Der äquatoriale Durchmesser beträgt etwa 9 mm. Der vordere Linsenpol liegt direkt hinter der Iris (Pupille). Der hintere Linsenpol ruht in der **Fossula lentis**, einer Vertiefung des Glaskörpers. Von diesem bleibt die Linse aber durch einen mit Kammerwasser gefüllten Spalt (Berger-Raum) getrennt. Damit ist die Linse allseits von Kammerwasser umgeben. Die Verbindungslinie zwischen den beiden Polen durch den Linsenmittelpunkt wird **Axis** genannt. Diese Strecke beträgt im Mittel 3,5 mm (entspricht 17 Dioptrien), bei maximaler Abrundung 4,7 mm (entspricht 29 Dioptrien).

Die Linse wird über das umgebende Kammerwasser ernährt. Sie ist **nicht innerviert** und frei von Blutgefäßen.

Die Linse besteht aus der **Linsenkapsel** (Capsula lentis), dem Epithelium lentis (**Linsenepithel**) und den Fibrae lentis (**Linsenfasern**). Die Linsenkapsel ist eine mechanisch sehr robuste Basalmembran mit kohlenhydratreicher, amorpher Grundsubstanz. Sie ist an der Vorderseite dicker (10–19 µm) als an der Rückseite (5 µm). Das einschichtige Epithelium lentis der **Vorderfläche** ist isoprismatisch. Auf der Hinterfläche geht das Linsenepithel in 7–10 mm lange **Linsenfasern** über, deren Zellkerne bogenförmig nach vorne aufgereiht sind. Ältere, mehr zentral liegende Fasern verlieren ihren Zellkern. Der **Linsenkern** wird von zentral gelegenen Fasern gebildet, die durch Wasserverlust mit der Zeit dünner werden. Die Transparenz der Linse beruht auf ihrem definierten Wassergehalt (65 %) und den Linsenproteinen (Crystallinen).

Der **Wasserverlust des Linsenkerns** verringert die **Elastizität** der Linse, was eine erniedrigte Akkomodationsfähigkeit zur Folge hat. Dies äußert sich zunächst in einer „Alterssichtigkeit" (**Presbyopie**), kann bei weiterem Wasserverlust aber auch zu einer **Katarakt** (Linsentrübung, „Grauer Star") führen.

Die vorderen und hinteren Faserenden stoßen beim Neugeborenen in einer dreistrahligen Naht, dem **Linsenstern**, zusammen. Die Strahlen der Naht sind um 60° gegeneinander verdreht. Durch das lebenslange Wachstum der Linse bilden sich fortlaufend komplexere Nahtfiguren.

Den **Halteapparat der Linse** (▶ **Abb. 17.40**) bilden die **Fibrae zonulares**[10] (Zonulafasern). Sie entspringen am Ziliarepithel, ziehen durch die hintere Augenkammer und inserieren auf der Vorder- und Rückseite der Linsenkapsel nahe dem Linsenäquator. Die Zonulafasern bestehen aus Mikrofibrillen (Durchmesser 8–12 nm). Beim Blick in die Nähe (**Akkommodation**) verschiebt die Kontraktion des **M. ciliaris**[13] die Ziliarfortsätze (Processus ciliares) in Richtung Linsenäquator. Dies führt zu einer Erschlaffung der Zonulafasern. Infolge ihrer Eigenelastizität nimmt die Linse nun eine mehr kugelförmige Gestalt an. Dies geht mit einer Erhöhung ihrer Brechkraft einher. Der umgekehrte Vorgang wird **Desakkommodation** genannt. Beim Fernblick erschlafft der M. ciliaris, wodurch sich die passiv gespannten Anteile der **Bruch-Membran** verkurzen. Dadurch werden die Ziliarfortsätze vom Linsenäquator weg bewegt und die Zonulafasern angespannt. Da sie am Linsenäquator befestigt sind, wird diese abgeflacht, was mit einer Abnahme der Brechkraft einhergeht.

Augenkammern

Man unterscheidet am Auge von ventral nach dorsal 3 Räume (Kammern):

- Die **vordere Augenkammer**[3] (Camera anterior) fasst etwa 200 µl Kammerwasser (Humor aequosus). Sie wird nach ventral von der Cornea, nach

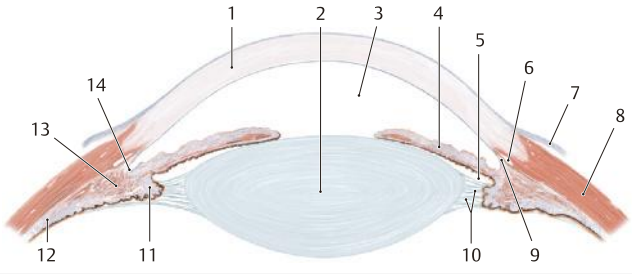


Abb. 17.40 Einbau von Linse und Hornhaut in die Augenkammern. Horizontalschnitt durch Hornhaut, Linse und Halteapparat.

1 Cornea
2 Linse
3 vordere Augenkammer
4 Iris
5 hintere Augenkammer
6 Schlemm-Kanal
7 Conjunctiva bulbi
8 Sclera
9 Trabekelwerk
10 Fibrae zonulares
11 Pars plicata corporis ciliaris
12 Pars plana corporis ciliaris
13 M. ciliaris
14 Angulus iridocornealis (Kammerwinkel)

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

dorsal von der Vorderseite der Iris und der Region um den vorderen Linsenpol und seitlich vom Kammerwinkel (Angulus iridocornealis) begrenzt.

- Die **hintere Augenkammer**[5] (Camera posterior) hat ein Volumen von 100 µl und ist ebenfalls mit Kammerwasser gefüllt. Begrenzt wird sie ventral von der Rückseite der Iris bzw. den seitlichen Rändern der Linse (Äquatorregion), dorsal von der Glaskörpergrenzmembran und seitlich vom Ziliarkörper.
- Der **Glaskörperraum** (Camera postrema, Camera vitrea) fasst 4 ml und wird vom Glaskörper (Corpus vitreum) ausgefüllt. Er wird nach ventral von der Region um den hinteren Linsenpol (Fossula lentis) und dem Corpus ciliare und seitlich sowie dorsal von der Retina begrenzt.

Das **Kammerwasser** (Humor aequosus) hat etwa die gleiche Zusammensetzung wie das Blutplasma und dient der Ernährung von Linse und Teilen der Cornea. Es wird vom nichtpigmentierten **Epithel der Processus ciliares** des Ziliarkörpers in der hinteren Augenkammer sezerniert. Zufluss und Abfluss stehen normalerweise im Gleichgewicht, der Inhalt der Augenkammern wird etwa alle 2–3 h ausgetauscht. Seine Menge (etwa 300 µl) bestimmt den intraokulären Druck von etwa 2 kPa (15 mmHg). Von der hinteren Augenkammer fließt das Kammerwasser über den Kammerwinkel (**Angulus iridocornealis**) in der vorderen Augenkammer durch ein Trabekelwerk, den Schlemm-Kanal (**Sinus venosus sclerae**) und die Kammerwasservenen in die episkleralen und von dort in die subkonjunktivalen Venen ab. Die Richtung des Abflusses wird durch einen Druckgradienten (15 mmHg Augeninnendruck; 8 mmHg in den episkleralen Venen) bestimmt.

Der **Kammerwinkel** (**Angulus iridocornealis**, ▸ **Abb. 17.36**) ist ein Teil der vorderen Augenkammer. Er wird vorne begrenzt von der Cornea am Übergang zur Sclera und hinten von der Iris am Übergang zum Ziliarkörper. Ventral der Winkelspitze verläuft ringförmig in der Sclera (nahe dem Cornearand) der Schlemm-Kanal (**Sinus venosus sclerae**), der über zahlreiche Kanälchen mit den Kammerwasservenen und den Vv. ciliares breves in Verbindung steht, jedoch kein Blut führt. Hinter dem Schlemm-Kanal liegt das korneosklerale Trabelwerk (**Pars corneoscleralis des Reticulum trabeculare**, früher auch Trabeculum corneosclerale), der Raum zwischen den Trabekeln wird **Fontana-Raum** genannt. Eine Kontraktion des M. ciliaris führt zur Erweiterung des Fontana-Raums und evtl. auch des Schlemm-Kanals. Beides erleichtert den Abfluss des Kammerwassers über das Trabekelwerk in den Schlemm-Kanal und von diesem weiter in das venöse System.



Bei vermindertem Abfluss des Kammerwassers kommt es zu einer Erhöhung des Augeninnendrucks. Ein solches **Glaukom** („Grüner Star") kann sich über Jahre nahezu unbemerkt entwickeln (Glaucoma chronicum simplex) oder bei einer akuten Drucksteigerung (auf 80 mmHg) als Glaukomanfall auftreten. Ein Anfall geht meist mit starken Augen- und Kopfschmerzen, Erbrechen, Stauung der episkleralen Venen und Hornhautödem einher. Die dauerhafte Erhöhung des intraokulären Drucks führt zu einer mechanischen Schädigung von Nervenfasern im Bereich des Discus n. optici, die eine Atrophie des N. opticus und Erblindung zur Folge haben kann.

In der Camera vitrea (postrema) liegt der **Glaskörper** (**Corpus vitreum**). Er besteht zu 99 % aus Wasser, das an Hyaluronsäure gebunden ist. Hierdurch erhält der Glaskörper eine hohe Viskosität. Die wässrige Phase (Humor vitrei) wird von einem unregelmäßigen Netz aus kollagenen Mikrofibrillen durchzogen, die an der Außenseite zur Glaskörpergrenzmembran (**Membrana vitrea**) verdichtet sind. Von der Linsenrückfläche bis zum Discus n. optici durchzieht der **Canalis hyaloideus** (Cloquet-Kanal) den Glaskörper. Bis zum Abschluss der Linsenentwicklung wurde der Kanal von der A. hyaloidea durchzogen. Da sich diese jedoch vollständig zurückbildet, ist der Kanal beim Erwachsenen optisch leer.

17.6 Hör- und Gleichgewichtsorgan

Joachim Kirsch

Das Hör- und Gleichgewichtsorgan ist ein stammesgeschichtlich „altes“ Organ zur Detektion und Transformation **mechanischer Reize**. Im Verlauf der Evolution hat es sich zu einem Organ zur Aufnahme und Verarbeitung **akustischer Signale** (Luftdruckschwankungen) differenziert. Das Gleichgewichtsorgan besteht aus einem Organ für die Wahrnehmung von **Lageempfindungen** (Sacculus, Utriculus) und einem Organ für die Wahrnehmung von **Bewegungsempfindungen** (Bogengänge).

17.6.1 Mittelohr

Unter dem Mittelohr versteht man die mit Schleimhaut ausgekleideten und mit Luft gefüllten (pneumatisierten) Räume im Os temporale, die sich nach medial an das Trommelfell anschließen (▶ **Abb. 17.41**). Zum Mittelohr gehören die Paukenhöhle (**Cavitas tympani**[13]) mit der **Gehörknöchelchenkette**, das **Antrum mastoideum** und die Mastoidzellen (**Cellulae mastoideae**) sowie die **Tuba auditiva**[12] (**Eustachi-Röhre**).

Trommelfell (▶ Abb. 17.42)

Der äußere Gehörgang (**Meatus acusticus externus**) endet am Trommelfell (**Membrana tympanica**). Die durch den Meatus acusticus externus eintreffenden Schallwellen (periodische Luftdruckschwankungen) bringen das Trommelfell zum Schwingen. Diese Schwingungen werden auf die in der Paukenhöhle (**Cavitas tympani**) liegende **Gehörknöchelchenkette** übertragen.

Die Membran des **Trommelfells** ist über einen Faserknorpelring, **Anulus fibrocartilagineus**, im **Sulcus tympanicus** der Pars squamosa des Os temporale fixiert. Da das Trommelfell mit dem Hammergriff (**Manubrium mallei**), einem Teil des ersten Gehörknöchelchens, verwachsen ist, bildet es einen nach innen gerichteten Trichter, dessen Spitze **Umbo**[7] genannt wird. Das Trommelfell hat einen Durchmesser von 8–10 mm und ist um etwa 45° von außen oben hinten nach innen unten vorn geneigt. Der spannungslose Teil des Trommelfells oberhalb des Hammergriffs wird **Pars flaccida tympani**[2] (Shrapnell-Membran) genannt, der größere, gespannte Teil des Trommelfells **Pars tensa tympani**[4].

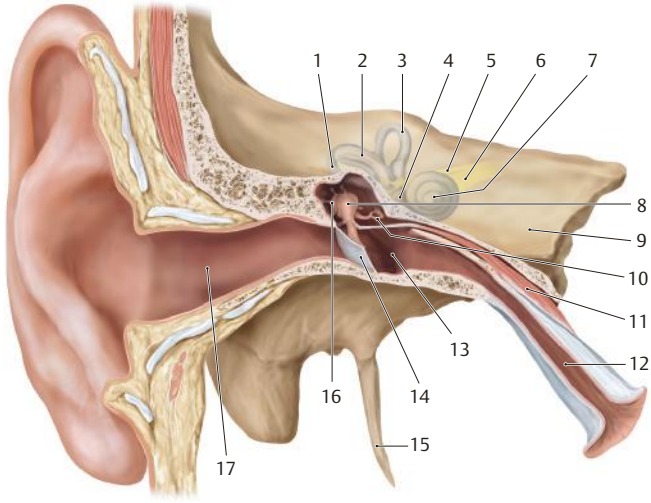


Abb. 17.41 Hör- und Gleichgewichtsorgan in situ. Frontalschnitt durch den rechten äußeren Gehörgang und das Mittelohr, Ansicht von ventral.
1 Canalis semicircularis posterior
2 Canalis semicircularis lateralis
3 Canalis semicircularis anterior
4 Vestibulum
5 N. vestibularis
6 N. cochlearis
7 Cochlea
8 Caput mallei (Hammerkopf)
9 Pars petrosa ossis temporalis
10 Stapes (Steigbügel)
11 M. tensor tympani
12 Tuba auditiva
13 Cavitas tympani
14 Membrana tympanica
15 Processus styloideus
16 Incus (Amboss)
17 Meatus acusticus externus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

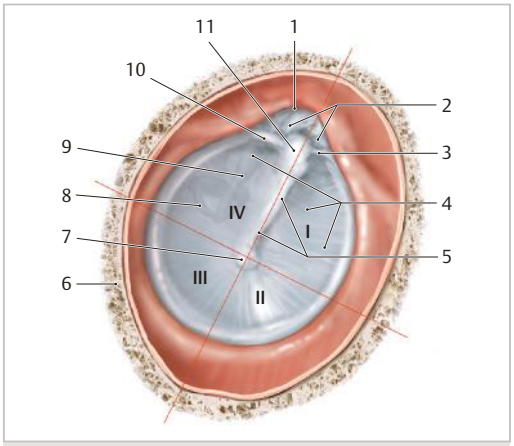


Abb. 17.42 Rechtes Trommelfell. Ansicht von außen, Lichtreflex im vorderen unteren Quadrant.
1 Incisura tympanica
2 Pars flaccida
3 Stria membrana tympani anterior
4 Pars tensa
5 Stria mallearis
6 Os tympanicum
7 Umbo
8 Stapes
9 Incus
10 Stria membrana tympani posterior
11 Prominentia mallearis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das Trommelfell wird mit 2 senkrecht aufeinander stehenden Linien in 4 Quadranten eingeteilt. Die von oben nach unten verlaufende Linie folgt der Verwachsungslinie mit dem **Manubrium mallei** und wird **Stria mallearis**[5] genannt. Die senkrecht hierzu verlaufende Linie kreuzt die Stria mallearis im Umbo.

Die Außenseite des Trommelfells wird vom **N. auriculotemporalis** (aus dem N. mandibularis) und dem **R. auricularis** des N. vagus sensibel innerviert, die zur Paukenhöhle gerichtete Seite aus dem **Plexus tympanicus** des N. glossopharyngeus. Die Blutversorgung leisten Äste der **A. auricularis profunda**, **A. temporalis superficialis** und **A. auricularis posterior**.

Paukenhöhle (▶ Abb. 17.43)

Die Paukenhöhle (**Cavitas tympani**) ist etwa 20 mm hoch und 2 mm schmal. Sie erstreckt sich zwischen Trommelfell und knöchernem Labyrinth und wird von **6 Wänden** (Parietes) begrenzt:

- Die laterale Wand wird **Paries membranaceus** genannt und von der **Innenseite** des Trommelfells[10] gebildet.
- Gegenüber der lateralen Wand liegt der **Paries labyrinthicus** als mediale Wand. Er trennt die Cavitas tympani vom Innenohr. An dieser Wand sind mehrere **Substrukturen** erkennbar: hier befinden sich das **ovale** und das **runde Fenster** (**Fenestra ovale** und **vestibuli**), die Vorwölbungen

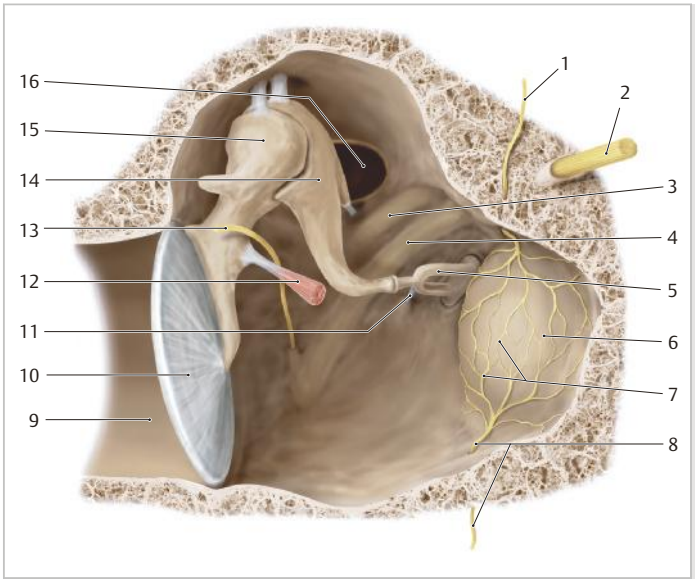


Abb. 17.43 Wände der Cavitas tympani.
1 N. petrosus minor
2 N. facialis
3 Prominentia canalis semicircularis lateralis
4 Prominentia canalis facialis
5 Stapes mit Fenestra vestibuli
6 Promontorium
7 Plexus tympanicus
8 N. tympanicus
9 Meatus acusticus externus
10 Membrana tympanica
11 Ansatzsehe des M. stapedius
12 M. tensor tympani
13 Chorda tympani
14 Incus
15 Malleus
16 Aditus ad antrum mastoideum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

von **Promontorium**[6] und **Prominentia canalis facialis**[4], die durch die basale Windung der Helix des Innenohrs und den Fazialiskanal hervorgerufen werden.
- Die Hinterwand wird vom **Paries mastoideus** gebildet. Hier befindet sich der Zugang[16] zum Antrum mastoideum und den Mastoidzellen.
- Nach ventral wird die Paukenhöhle durch den **Paries caroticus** begrenzt. In dieser Wand vor dem **Canalis caroticus** der A. carotis interna liegt die Eingangsöffnung der **Tuba auditiva**.
- Den Boden bildet der **Paries jugularis**, eine dünne Knochenplatte, welche die Paukenhöhle vom **Bulbus venae jugularis internae** trennt.
- Der **Paries tegmentalis** (Dach) besteht aus einer dünnen Knochenlamelle der mittleren Schädelgrube, dem **Tegmen tympani**.

Man unterteilt die Paukenhöhle in **3 Etagen**:
- Das obere Stockwerk (**Epitympanon**, Kuppelraum) liegt oberhalb des Trommelfells. Hier befinden sich der Hammerkopf (**Caput mallei**) und der Ambosskörper (**Corpus incudis**). Über den Aditus ad antrum mastoideum gelangt man ins **Antrum mastoideum** und zu den **Mastoidzellen**.
- Zwischen Trommelfell und Promontorium, rundem und ovalem Fenster erstreckt sich das mittlere Stockwerk (**Mesotympanon**, Hauptraum).
- Unterhalb des Trommelfells liegt das untere Stockwerk (**Hypotympanon**, Paukenkeller). Auf seiner ventralen Seite am Übergang zum Mesotympanon befindet sich die Öffnung zur **Tuba auditiva**, die eine Verbindung zum Pharynx herstellt.

Die Paukenhöhle und ihre Nebenräume sowie die in ihr liegenden Strukturen sind mit einer dünnen, drüsenfreien Schleimhaut ausgekleidet.

Das Epithel der Paukenhöhle ist ähnlich aufgebaut, wie das der Nasennebenhöhlen. Die unter dem Epithel liegende dünne Bindegewebsschicht liegt dem Periost unmittelbar auf, weshalb die Schleimhaut auch als **Mukoperiost** bezeichnet wird.

In der Paukenhöhle verlaufen zahlreiche **Schleimhautfalten**. An der Innenseite der Pars flaccida des Trommelfells verlaufen die **Plicae malleares anterior** und **posterior**, durch die die **Chorda tympani** zieht. Beide Falten begrenzen die **Recessus membranae tympani anterior et posterior** und **superior**. Die **Plica incudalis** zieht über das Lig. incudis posterior und den kurzen Schenkel des Corpus incudis. Die **Plica stapedialis** umgibt Caput und Crura stapedis sowie die Sehne des M. stapedius.

In der Paukenhöhle befinden sich die 3 Gehörknöchelchen Hammer (**Malleus**[15]), Amboss (**Incus**[14]) und Steigbügel (**Stapes**[5]), die beiden Mittelohrmuskeln (**M. stapedius**[11] und **M. tensor tympani**[12]) sowie als nervale Strukturen die **Chorda tympani**[13] und der **Plexus tympanicus**[7] des N. glossopharyngeus.

Die **Gehörknöchelchen** dienen der Weitergabe und Verstärkung der Auslenkungen des Trommelfells auf das ovale Fester.

Der **Malleus** gliedert sich in Hammergriff (**Manubrium mallei**), Hammerhals (**Collum mallei**) Hammerkopf (**Caput mallei**) und 2 Fortsätze (**Processus lateralis** und **Processus anterior**). Das Manubrium mallei ist mit der Innenseite der Pars tensa des Trommelfells verwachsen. Das Caput mallei bildet mit dem Amboss (beide im Epitympanon) ein Sattelgelenk, die **Articulatio incudomallearis**. Der Malleus ist durch **3 Bänder** in der Paukenhöhle befestigt: Vom Collum mallei aus zieht das **Lig. mallei laterale** zur lateralen Wand der Paukenhöhle. Am Processus anterior befindet sich die Ansatzstelle des **Lig. mallei anterius**, das zur Vorderwand verläuft. Vom Hammerkopf aus zieht das **Lig. mallei superius** zum Paries tegmentalis.

Der Körper des Amboss (**Corpus incudis**) setzt sich fort in das kurze **Crus breve incudis**, das nahezu horizontal nach hinten zieht, und das längere **Crus longum incudis**, das senkrecht nach hinten unten verläuft. Es bildet über den **Processus lenticularis** ein Gelenk mit dem **Steigbügelkopf**, die **Articulatio incudostapedialis**. Das Crus breve ist über das **Lig. incudis posterius** mit der lateralen Wand und über das **Lig. incudis superius** mit dem Dach der Paukenhöhle verbunden.

Der Kopf des Steigbügels (**Caput stapedis**) ist über das **Crus anterius** und **posterius** mit der **Basis stapedis** verbunden. Das **Lig. anulare stapediale** fixiert die Basis stapedis im Fenestra vestibuli, erlaubt aber Bewegungen. Zwischen den beiden Schenkeln des Steigbügels spannt sich die **Membrana stapedialis**.

Die beiden quergestreiften **Mittelohrmuskeln** **M. tensor tympani** und **M. stapedius** dienen der Verringerung hoher Schallintensitäten, einer dynamischen Anpassung des Lautstärkebereichs und einer Abschwächung der Übertragung der eigenen Stimme. Ihre Eigenschaften sind in ▶ Tab. 17.22 zusammengefasst.

Tab. 17.22 Eigenschaften der Mittelohrmuskeln.

Muskel	Ursprung	Verlauf	Ansatz	Innervation	Wirkung
M. tensor tympani	Semicanalis musculi tensoris tympani der Pars petrosa des Os temporale	Umlenkung am Processus cochleariformis nach lateral	Manubrium mallei	Ast des N. pterygoideus aus dem N. mandibularis	Regulierung der Vorspannung des Trommelfells durch Zug am Hammergriff
M. stapedius	Cavum musculi stapedii	direkt zum Caput stapedis	Caput stapedis	N. stapedius (Ast des N. facialis)	Reduzierung der Kraftübertragung durch Verkantung des Caput stapedis im ovalen Fenster

Tab. 17.23 Arterien der Paukenhöhle.

Arterie	Herkunft	Versorgungsgebiet
Aa. caroticotympanicae	A. carotis interna	Tuba auditiva und Vorderwand der Paukenhöhle
A. stylomastoidea	A. auricularis posterior	Paries mastoideus, Cellulae mastoideae, M. stapedius, Stapes
A. tympanica inferior	A. pharyngea ascendens	Boden der Paukenhöhle, Promontorium
A. auricularis profunda	A. maxillaris	Trommelfell, Boden der Paukenhöhle
A. tympanica posterior	A. stylomastoidea	Chorda tympani, Malleus, Trommelfell
A. tympanica superior	A. meningea media	M. tensor tympani, Dach der Paukenhöhle, Stapes
A. tympanica anterior	A. maxillaris	Trommelfell, Antrum mastoideum, Malleus, Incus

Bei einer Fazialislähmung kann es zu einer **Lähmung des M. stapedius** kommen, die mit einer gesteigerten Empfindlichkeit für laute Geräusche (**Hyperakusis**) einhergeht.

Leitungsbahnen. Die Paukenhöhle ist gut durchblutet. Hieran sind die in ▸Tab. 17.23 genannten Gefäße beteiligt.

Innerviert wird die Schleimhaut der Paukenhöhle vom **N. tympanicus**, einem Ast des N. glossopharyngeus. Er gelangt durch den **Canalis tympanicus** in die Paukenhöhle. Die **parasympathischen** Anteile des N. tympanicus verlassen als **N. petrosus minor** durch den **Canalis n. petrosi minoris** die Paukenhöhle. Der **Plexus tympanicus** unter der Schleimhaut des Paries labyrinthicus ist eine Durchgangsstation **sensibler** Fasern des N. glossopharyngeus, **parasympathischer** Fasern aus den Nn. facialis und glossopharyngeus sowie **sympathischer** Fasern aus dem Plexus caroticus.

Nerven mit Bezug zur Paukenhöhle (▸ **Abb. 17.44**). In der medialen Wand der Paukenhöhle verläuft der **N. facialis**[3] im knöchernen **Canalis n. facialis**[1]. Am äußeren Fazialisknie (**Geniculum canalis facialis**) liegt das einem Spinalganglion vergleichbare sensible **Ganglion geniculi**[4]. Dort zweigt der **N. petrosus major**[7] ab, der präganglionäre parasympathische Fasern aus dem Intermediusanteil des N. facialis führt. Kurz vor Ende des Kanals verlässt ein weiterer Intermediusanteil als **Chorda tympani**[21] den Fazialisstamm. Sie zieht rückläufig zwischen Malleus und Incus nahe der Pars flaccida des Trommelfells durch die Paukenhöhle. Als letzter Nerv spaltet sich der motorische **N. stapedius**[2] zur Versorgung des M. stapedius im Fazialiskanal ab.

Der **N. petrosus major** führt sensible, motorische und vor allem präganglionäre, parasympathische Fasern. Er tritt durch den **Hiatus canalis n. pe-**

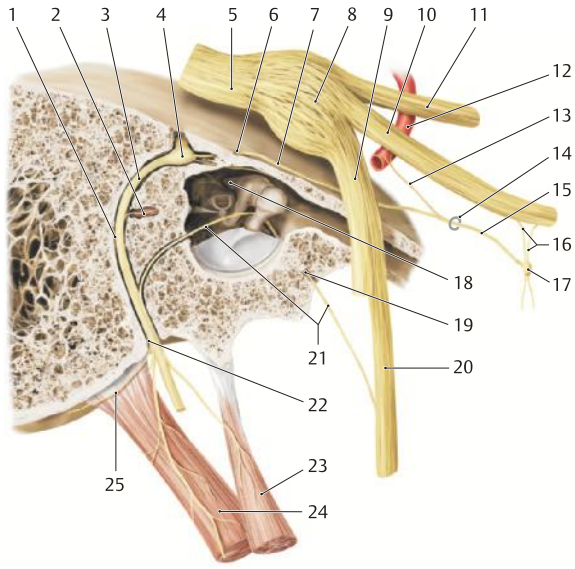


Abb. 17.44 Aufzweigung des N. facialis im Felsenbein. Felsenbein entlang des N. facialis aufgesägt. Ansicht von lateral.

1 Canalis n. facialis
2 N. stapedius
3 N. facialis
4 Ganglion geniculi
5 N. trigeminus
6 Hiatus canalis n. petrosi majoris
7 N. petrosus major
8 Ganglion trigeminale
9 N. mandibularis
10 N. maxillaris
11 N. ophthalmicus
12 A. carotis interna
13 N. petrosus profundus
14 Canalis pterygoideus
15 N. canalis pterygoidei
16 Rr. ganglionares n. maxillaris
17 Ganglion pterygopalatinum
18 Cavitas tympani
19 Fissura petrotympanica
20 N. lingualis
21 Chorda tympani
22 Foramen stylomastoideum
23 M. stylohyoideus
24 M. digastricus, Venter posterior
25 N. auricularis posterior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

trosi majoris[6] zur Vorderseite der Felsenbeinpyramide und von dort durch das Foramen lacerum. Er verbindet sich mit dem sympathischen **N. petrosus profundus**[13] zum **N. canalis pterygoidei**[15], der durch den Canalis pterygoideus des Os sphenoidale zum **Ganglion pterygopalatinum**[17] zieht (s. ▶ **Abb. 17.17**[19] und ▶ **Abb. 20.33**[c]). Hier werden die parasympathischen Fasern auf das 2. Neuron umgeschaltet, dessen Axone mit dem **N. maxillaris**[10] ihre Zielorgane (Tränendrüse, Drüsen im Nasen und Rachenraum) erreichen.

Die **Chorda tympani**[16] führt aus dem sensiblen Ganglion geniculi **sensible** und **sensorische** Fasern sowie präganglionäre, parasympathische Fasern aus dem **Intermediusanteil** des N. facialis. Sie verlässt den Fazialiskanal kurz vor dem **Foramen stylomastoideum**[17] und läuft *zurück* zur Cavitas tympani. Von einer Schleimhautfalte (Plica mallearis superior) geschützt, zieht sie zusammen mit der **A. tympanica posterior** zum Collum mallei. Die Paukenhöhle verlässt sie durch die Fissura petrotympanica[14]. Danach legt sich die Chorda tympani dem N. lingualis[15] an. Sie führt Geschmacksfasern und wahrscheinlich auch sensible Fasern für die vorderen zwei Drittel der Zunge. Ihre präganglionären, parasympathischen Fasern werden im **Ganglion submandibulare** umgeschaltet und inner-

vieren dann die Glandula sublingualis und submandibularis.

Der **N. stapedius**[2] verlässt den Fazialisstamm im Bereich des Fazialisknies. Er führt **motorische** Fasern zur Innervation des M. stapedius.

Antrum mastoideum und Cellulae mastoideae

Bei den Innenräumen des **Processus mastoideus** handelt es sich um einen großen (**Antrum mastoideum**) und zahlreiche kleinere Räume (Mastoidzellen, **Cellulae mastoideae**), die mit Schleimhaut ausgekleidet sind. Ihre Pneumatisierung vollzieht sich innerhalb der ersten 6 Lebensjahre. Der Zugang zum Antrum mastoideum befindet sich im Paries mastoideus, der Hinterwand der Paukenhöhle. Die Cellulae mastoideae sind untereinander und mit dem Antrum verbunden und stehen in enger topografischer Nachbarschaft zum **Sinus sigmoideus**.

Ohrtrompete

Die Ohrtrompete (**Tuba auditiva**, s. ▶ **Abb. 17.41**[12]) stellt eine Verbindung zwischen der **Pars nasalis** des Pharynx und Paukenhöhle her. Sie dient dem Druckausgleich zwischen beiden Hohlräumen, der normalerweise durch Schlucken erzielt wird.

Durch die **Tuba auditiva** können sich **Entzündungen des Nasen- und Rachenraums** leicht bis in die **Paukenhöhle** fortpflanzen, zu einer kompletten Verlegung der Tube (**Tubenkatarrh**) führen oder eine Entzündung der Schleimhaut des Mittelohrs (**Otitis media**, Mittelohrentzündung) hervorrufen.

Die Tube ist etwa 4 cm lang und verläuft von oben lateral hinten nach unten medial vorn. Das **Ostium tympanicum tubae** liegt im Paries caroticus, die Mündung (**Ostium pharyngeum tubae**) befindet sich seitlich in der Pars nasalis des Rachens etwa 4 cm hinter der Concha nasalis inferior. Der **Canalis musculotubarius** der Pars petrosa des Os temporale bildet die **knöcherne** Wand desjenigen Drittels der Tube, das von der Paukenhöhle ausgeht. Der Canalis musculotubarius wird von einer Knochenlamelle in den **Semicanalis m. tensoris tympani** für den gleichnamigem Muskel und den **Semicanalis tubae auditivae** unterteilt. Die Wände der rachennahen zwei Drittel der Tube sind knorpelig-membranös (**Cartilago tubae auditivae**) und erweitern sich trompetenförmig in Richtung Rachen. Die engste Stelle der Tube (**Isthmus tubae**) liegt am Übergang der beiden Anteile. Die Cartilago tubae auditivae bildet die mediale und kraniale Wand der Tube. Die laterale und kaudale Wand wird von einer bindegewebigen Lamina membranacea gebildet, von der 3 Muskeln entspringen: **M. levator veli palatini**, **M. tensor veli palatini** und **M. salpingopharyngeus**. Die Kontraktion dieser Muskeln *erweitert* das Lumen der Tube.

Die Kontraktion des **M. tensor veli palatini beim Schlucken** übt auf die Lamina membranacea einen einen Zug aus, wodurch das Lumen der Tube erweitert wird.

Die Auskleidung der Tuba auditiva besteht aus einer Schleimhaut, die in den oberen Abschnitten der Paukenhöhle ähnelt und Richtung Rachen in ein **respiratorisches Epithel** (Flimmerepithel mit Becherzellen) übergeht.

17.6.2 Innenohr

Das knöcherne Labyrinth (**Labyrinthus osseus**) bildet ein komplexes Kanalsystem im Innern der Pars petrosa des Os temporale. Es beherbergt das analog geformte membranöse Labyrinth (**Labyrinthus membranaceus**). Zwischen knöchernem und membranösem Labyrinth befindet sich der **perilymphatische Raum**, der über den **Ductus perilymphaticus** mit dem liquorgefüllten Subarachnoidalraum kommuniziert. Das membranöse Labyrinth ist mit **Endolymphe** gefüllt und mit dem knöchernen Labyrinth nur über spärliche Bindegewebsfasern verbunden.

Funktionell unterscheidet man 2 Anteile des Labyrinthsystems:

- **Labyrinthus cochlearis**: Hörorgan mit der knöchernen Schnecke (Cochlea) und dem membranösen Ductus cochlearis,
- **Labyrinthus vestibularis**: Gleichgewichtsorgan (Vestibularorgan) aus Sacculus, Utriculus und den 3 Bogengängen (Ductus semicirculares).

Knöchernes Labyrinth

Die Schnecke (**Cochlea**) muss man sich als ein zu einer Spirale mit 2,5 Windungen aufgerolltes Rohr (Durchmesser an der Basis ca. 9 mm, Höhe ca. 5 mm) vorstellen. Ihre Spitze zeigt nach lateral und ventral. Die knöcherne Achse der Schnecke wird **Modiolus** genannt, von dem die **Lamina spiralis ossea** wie die Gewindelamellen einer Schraube in den knöchernen Schneckenkanal (**Canalis spiralis cochleae**) vorspringt. Das runde Fenster an der Basis der Schnecke ist durch die **Membrana tympanica secundaria** verschlossen. Die Spitze der Schnecke wird als Schneckenkuppel (**Cupula cochleae**) bezeichnet.

Die 3 halbkreisförmigen Bogengänge (**Canalis semicircularis anterior** , **posterior** und **lateralis**) haben einen Durchmesser von 1 mm bei einer Länge von 20 mm. Nahe dem Vestibulum (s. u.) ist jeweils ein Schenkel der Gänge zu Ampullen (**Ampullae osseae**) erweitert. Die nicht erweiterten Schenkel des vorderen und hinteren Bogengangs vereinigen sich zu einem kurzen gemeinsamen Schenkel (**Crus osseum commune**). Die Anordnung der Bogengänge weicht um 45° von der Sagittalebene ab, der laterale (horizontale) Bogengang ist um 30° nach vorne oben gekippt. Die beiden anderen Bogengänge stehen senkrecht zum horizontalen (▶ **Abb. 17.45**).

Sacculus und Utriculus sind in einem gemeinsamen knöchernen Hohlraum von 5 mm Durchmesser angeordnet, der als **Vestibulum** bezeichnet wird. Nach vorne steht das Vestibulum mit der Cochlea, nach hinten mit den Bogengängen in Verbindung. Zusätzlich kommuniziert es am ovalen Fenster, das mit der Basis stapedis verschlossen ist, mit der Paukenhöhle.

Der **Aquaeductus vestibuli** zieht nach dorsal Richtung Kleinhirn. Er beinhaltet den **Ductus endolymphaticus**, der zum membranösen Labyrinth zählt und eine Art Überlaufgefäß darstellt. Über den **Ductus perilymphaticus** (Canaliculus cochleae) kommuniziert der Perilymphraum mit dem Subarachnoidalraum.

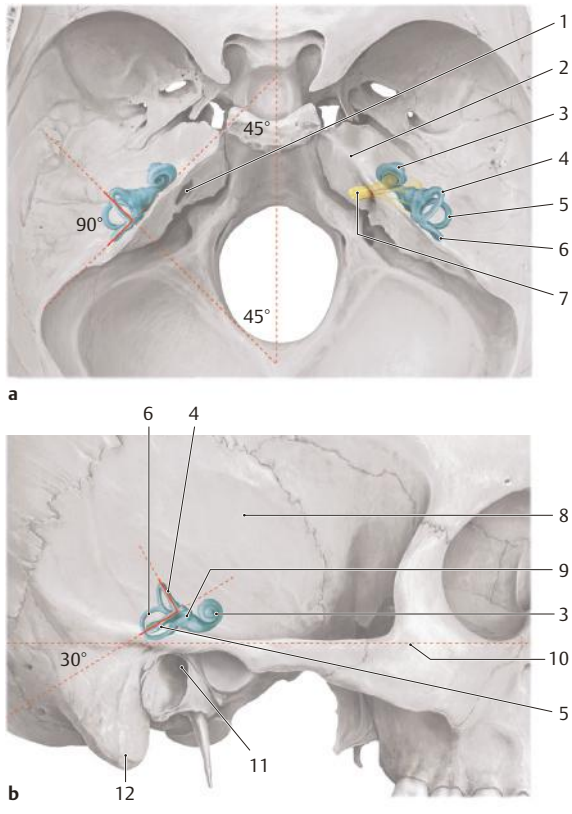


Abb. 17.45 Lage des Innenohrs im Felsenbein.
Ansicht von oben (**a**) und von rechts (**b**).
1 Porus acusticus internus
2 Pars petrosa ossis temporalis
3 Cochlea
4 Canalis semicircularis anterior
5 Canalis semicircularis lateralis
6 Canalis semicircularis posterior
7 N. facialis, N. vestibulocochlearis
8 Pars squamosa ossis temporalis
9 Vestibulum
10 Frankfurter Horizontale
11 Porus acusticus externus
12 Processus mastoideus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **Meatus acusticus internus** ist etwa 10 mm lang und 5 mm weit. Er verläuft in der Felsenbeinpyramide und beeinhaltet den **N. facialis** (mit Intermediusanteil), den **N. vestibulocochlearis** mit dem **Ganglion vestibulare** und die **A.** und **V. labyrinthi**.

Membranöses Labyrinth (▶ Abb. 17.46)

Das membranöse Labyrinth (**Labyrinthus membranaceus**) wird vom knöchernen Labyrinth umschlossen und entspricht somit weitgehend dessen räumlicher Ausrichtung. Es handelt sich um ein membranumschlossenes Hohlraumsystem, das an definierten Positionen Sinneszellen zur Wahrnehmung der jeweiligen Reize enthält. Man unterscheidet folgende Anteile:

- Der **Ductus cochlearis**[14] liegt im **Canalis spiralis cochleae**. Er ist an seinem basalen Ende über den **Ductus reuniens**[19] mit dem Sacculus verbunden und endet blind in der Schneckenkuppel.
- **Sacculus**[12] und **Utriculus**[9] liegen im Vestibulum des knöchernen Labyrinths. Sie stehen über den **Ductus utriculosaccularis** miteinander in Verbindung.
- **Ductus semicircularis anterior**[3] **, posterior**[2] und **lateralis**[1] liegen in den gleichnamigen Canales und stehen über die Schenkel mit dem Utriculus in Verbindung. Die den Erweiterungen im knöchernen Labyrinth entsprechenden Strukturen bezeichnet man als **Ampulla membranacea anterior, posterior** und **lateralis.**
- Der **Ductus endolymphaticus** zweigt vom Ductus utriculosaccularis ab und zieht im (knöchernen) Aquaeductus vestibuli[8] zur Hinterfläche des Felsenbeins. Er endet in einer epiduralen Aussackung, dem **Saccus endolymphaticus**[6].

Das membranöse Labyrinth ist von einem Epithel ausgekleidet, das an den Rezeptorarealen verdickt ist. Spezialisierte Epithelzellen der **Stria vascularis cochleae** (s. u.), der **Cristae ampullares** und von **Epithelanteilen** von Sacculus und Utriculus sezernieren die **Endolymphe**, eine kaliumreiche und natriumarme Flüssigkeit mit einer ähnlichen Zusammensetzung wie die **Intrazellularflüssigkeit**. Sie füllt die Hohlräume (ca. 70 µl/Seite) des membranösen Labyrinths vollständig aus. Resorbiert wird die Endolymphe im Saccus endolymphaticus.

Zwischen membranösem und knöchernem Labyrinth erstreckt sich der **perilymphatische Raum**. Auch in ihm befindet sich eine Flüssigkeit, die **Perilymphe**, deren Zusammensetzung in etwa dem Liquor cerebrospinalis entspricht. Der Proteingehalt ist mit 200–300 mg/l etwas höher als im Liquor. Verbindungen zu den Liquorräumen bestehen über das Perineurium des N. vestibulocochlearis und über den Ductus perilymphaticus mit dem Subarachnoidalraum.

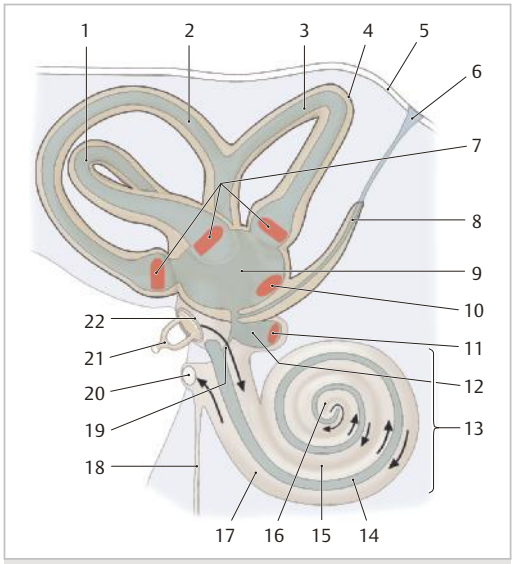


Abb. 17.46 Schematische Darstellung des Innenohrs. Ansicht von oben.
1 Ductus semicircularis lateralis
2 Ductus semicircularis posterior
3 Ductus semicircularis anterior
4 Canalis semicircularis anterior
5 Dura mater encephali
6 Saccus endolymphaticus
7 Cristae ampullares
8 Aquaeductus vestibuli
9 Utriculus
10 Macula utriculi
11 Macula sacculi
12 Sacculus
13 Cochlea
14 Ductus cochlearis
15 Scala vestibuli
16 Helicotrema
17 Scala tympani
18 Ductus perilymphaticus
19 Ductus reuniens
20 Fenestra cochleae (rundes Fenster)
21 Stapes
22 Fenestra vestibuli (ovales Fenster)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Corti-Organ (Organum spirale) (▶ Abb. 17.47)

Zwischen der Lamina spiralis ossea der knöchernen **Schnecke** und der gegenüberliegenden knöchernen Wand spannen sich die Basilarmembran (**Membrana basilaris**[6]) und die Vestibularmembran (**Membrana vestibularis**[1], Reissner-Membran). Beide Membranen unterteilen den knöchernen Canalis spiralis in 3 schlauchförmige Räume: den mit **Endolymphe** gefüllten **Ductus cochlearis** (zwischen Basilar- und Reissner-Membran) und die ober- bzw. unterhalb davon verlaufenden **Perilymphräume** der **Scala vestibuli** bzw. **Scala tympani**. An der Spitze der Cochlea stehen die beiden Perilymphräume über das **Helicotrema** miteinander in Verbindung.

Der **Ductus cochlearis** hat einen dreieckigen Querschnitt. Nach oben bzw. unten wird er von der Vestibular- bzw. Basilarmembran begrenzt. Die seitliche Begrenzung wird vom **Lig. spirale**[2] gebildet.

Das **Lig. spirale** ist ein lockeres Netz aus Fasern und Bindegewebszellen. Seine Hohlräume kommunizieren mit den perilymphatischen Räumen. Die Abgrenzung zur Endolymphe des Ductus cochlearis bildet die **Stria vascularis**, deren Epithelzellen **nicht** von einer Basallamina getragen werden. Als einziges Epithel des Körpers ist die Stria vascularis **reich kapillarisiert**. Wichtigste Aufgabe dieses Epithels ist die Produktion der Endolymphe.

Die **Membrana basilaris** grenzt den Ductus cochlearis zur Scala tympani ab. Auf ihrbefindet sich das eigentliche Hörorgan (Corti-Organ, Organum spirale). Die Membrana basilaris ist ca. 34 mm lang und an der Cochleabasis ca. 200 µm, an der Kuppel ca. 360 µm breit.

Das Epithel besteht neben Stütz- und Grenzzellen aus den eigentlichen Sinneszellen, Haarzellen mit Stereozilien. Man unterscheidet eine Reihe **innerer Haarzellen**[14] (insgesamt etwa 3 500) und 3–5 Reihen **äußerer Haarzellen**[5] (insgesamt ca. 15.000). Während **jede** der inneren Haarzellen synaptisch mit nur einer afferenten Nervenfaser verbunden ist, sind es bei den äußeren Haarzellen jeweils **Zellgruppen**. Die Länge der Stereozilien nimmt von der Schneckenbasis (4 µm) bis zur Cupula cochleae (8 µm) kontinuierlich zu. Bei den inneren Haarzellen sind die Stereozilien C-förmig, bei den äußeren Haarzellen W-förmig angeordnet. Sie sind durch „tip links" miteinander verbunden. Knapp über den Haarzellen, die auf der Basilarmembran sitzen, erstreckt sich wie ein Dach die **Membrana tectoria**[4] in den Ductus cochlearis.

Leitungsbahnen. Zur Versorgung der Cochlea gibt die **A. labyrinthi** (aus der A. basilaris) den **R. cochlearis** und den **R. vestibulocochlearis** ab.

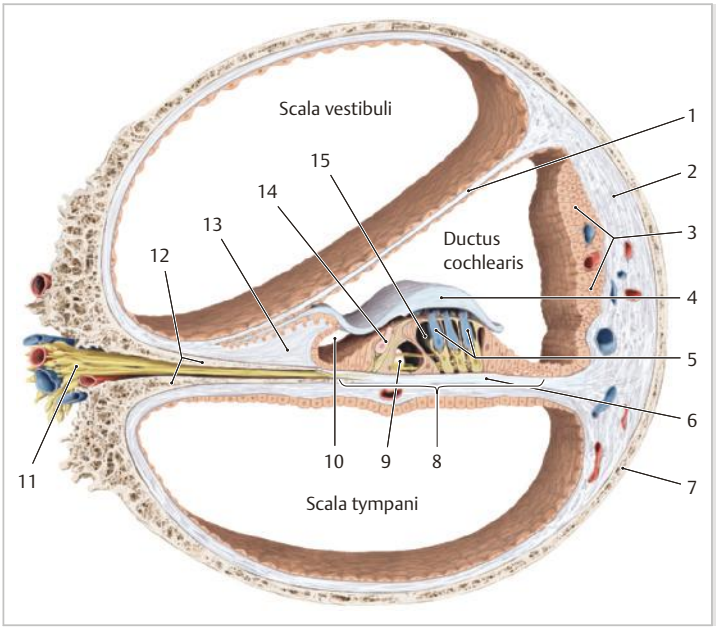


Abb. 17.47 Querschnitt des Ductus cochlearis, Corti-Organ.
1 Membrana vestibularis (Reissner-Membran)
2 Lig. spirale
3 Stria vascularis
4 Membrana tectoria
5 äußere Haarzellen
6 Basilarmembran
7 Knochenwand
8 Corti-Organ
9 Corti-Tunnel
10 Sulcus spiralis internus
11 Ganglion spirale
12 Lamina spiralis ossea
13 Limbus spiralis
14 innere Haarzelle
15 Nuel-Raum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Aus diesen Zweigen formiert sich in der Lamina spiralis ossea in Höhe der Scala vestibuli das **Vas spirale** der Basilarmembran und ein dichtes Kapillarbett in der **Stria vascularis**. Der venöse Abfluss der Scala tympani verläuft über die **Vv. labyrinthales**.

Das **Ganglion spirale cochleae**[11] (Ganglion cochleae) liegt innerhalb des Canalis spiralis modioli. Es enthält bipolare Ganglienzellen, von denen 95 % (30.000–40.000) den inneren Haarzellen, die verbleibenden 5 % den äußeren Haarzellen zugeordnet sind. Ihre **afferenten Fortsätze** stehen entweder in mehrfachem synaptischen Kontakt mit jeweils **einer** inneren Haarzelle oder sie bilden Synapsen mit **einer Gruppe** von äußeren Haarzellen (s. ▶ Abb. 19.43). Die **efferenten Fortsätze** der bipolaren Ganglienzellen schließen sich am Boden des Meatus acusticus internus zur **Pars cochlearis** des N. vestibulocochlearis zusammen.

Signalübertragung im Hörorgan

Über den **äußeren Gehörgang** gelangt der Schall (periodische Luftdruckschwankungen) zum **Trommelfell** und versetzt dieses in Schwingungen. Diese werden durch die **Gehörknöchelchenkette** verstärkt und über das ovale Fenster (**Fenestra vestibuli**) auf die Perilymphe der **Scala vestibuli** übertragen.

Da der **Wellenwiderstand** (Impedanz) von Flüssigkeiten wesentlich größer ist als der von Luft, würde eine direkte Übertragung von Schall auf die Perilymphe dazu führen, dass ca. 98 % der Schallenergie **reflektiert** würden. Dies wird durch 2 Mechanismen verhindert: Die **„Schall-Sammelfläche“** des Trommelfells (55 mm^2) ist etwa 17-mal größer als die Fläche des ovalen Fensters an der Basis stapedis (3 mm^2). Außerdem bewirken die unterschiedlich langen **Hebelarme** von **Hammer** und **Amboss** eine Kraftverstärkung von etwa 1 : 3. Hierdurch werden nur etwa 40 % der Schallenergie reflektiert. Beide Mechanismen führen zu einer etwa 22-fachen Verstärkung der Schallsignale. Die Anpassung des Eingangswiderstands wird auch als **Impedanzanpassung** bezeichnet. Sie ist weitgehend abhängig von der Tonfrequenz und funktioniert am besten zwischen 1000 und 2000 Hz, der Resonanzfrequenz des Trommelfells.

Die von der Gehörknöchelchenkette am ovalen Fenster (Fenestra vestibuli) erzeugten hydraulischen Druckstöße werden auf die Perilymphe der **Scala vestibuli** (und über das **Helicotrema** auch auf die **Scala tympani**) übertragen. Der dadurch bedingte periodische Druckanstieg im perilymphatischen Raum wird über Auslenkungen der Membrana tympanica secundaria des runden Fensters ausgeglichen. Die Übertragung der Druckwellen auf den Endolymphraum führt zu einer Auslenkung der **Basilarmembran**. Diese Auslenkung nimmt die Form einer **Wanderwelle** an. Je nach **Frequenz** wird die maximale Amplitude der Wanderwelle an unterschiedlichen Stellen der Basilarmembran erreicht. Die Auslenkung der Basilarmembran durch die Wanderwelle führt zu einer Verschiebung der **äußeren Haarzellen** gegenüber der **Tektorialmembran** und verursacht durch die Auslenkung der Stereozilien eine Erregung der Sinneszellen.

Schon Auslenkungen der Stereozilien von 10^{-10} bis 10^{-12} m öffnen dehnungsabhängige Kationenkanäle (hauptsächlich K^+-Kanäle). Bei den **äußeren Haarzellen** kommt es mit der Depolarisation zu einer zusätzlichen Verkürzung, die durch das (ATP-unabhängige) Motorprotein **Prestin** in der lateralen Zellmembran vermittelt werden. Prestin koppelt die **elektrische Aktivität** der äußeren Haarzelle direkt mit **hochfrequenten, mechanischen Kontraktionen**, welche die Bewegungen der Endolymphe verstärken. Erst hierdurch kommen die Stereozilien der **inneren Haarzellen** in Kontakt mit der **Tektorialmembran**, was zu ihrer Depolarisation führt. Die äußeren Haarzellen sind daher **Signalverstärker**. Bei der Depolarisation schütten die inneren Haarzellen den Neurotransmitters **Glutamat** aus, der die entsprechenden Rezeptoren der afferenten Fortsätze der Nervenzellen der **Pars cochlearis** des N. vestibulocochlearis erregt.

Unterschiedliche Frequenzen führen zu einer Auslenkung der Basilarmembran an unterschiedlichen Orten: **hohe Frequenzen** (20.000 Hz) führen zu einer Auslenkung der Basilarmembran an der **Basis** des Ductus cochlearis, **tiefe Frequenzen** (20 Hz) zu einer Auslenkung an der **Spitze**. Somit werden in der Cochlea die Frequenzen des eintreffenden Schalls analysiert. Diese **Frequenzanalyse** setzt sich auch in den nachfolgenden Bereichen des auditorischen Systems fort.

Auch ohne Impedanzanpassung wird der Schall nicht vollständig reflektiert. Da der Schall auch über die Knochen weitergeleitet wird (Knochenleitung) führt selbst der komplette Ausfall von Trommelfell und Gehörknöchelchenkette nicht zur völligen Taubheit. Eine **Schallleitungsschwerhörigkeit** kann durch eine Erhöhung des Schalldrucks (z. B. durch ein Hörgerät) zumindest teilweise kompensiert werden.

Bei einer **Innenohrschwerhörigkeit** dagegen sind die Sinneszellen des Corti-Organs geschädigt. Dies kann bereits durch **laute Geräusche** geschehen (z. B. Lärm am Arbeitsplatz, häufige Diskothekbesuche, Explosion). Diese Art von Schwerhörigkeit versucht man durch **Kochlea-Implantate** zu heilen.

Gleichgewichtsorgan (▶ Abb. 17.48)

Die senkrecht bzw. horizontal angeordneten Sinneszellen des **Sacculus** bzw. **Utriculus** des Gleichgewichtsorgans dienen der Wahrnehmung **linearer Beschleunigungen**. **Winkelbeschleunigungen** werden dagegen von den **Bogengängen** registriert. Der Ductus endolymphaticus verbindet die Ductus des Vestibularorgans mit dem Saccus endolymphaticus im Epiduralraum und dient somit als „Überlaufgefäß".

Im Epithel der Maculae von **Sacculus** und **Utriculus** sitzen zusammen mit Stützzellen die Mechanorezeptoren (sekundären Sinneszellen). Zusammengenommen werden beide Maculae als **Macula statica** bezeichnet. Das Sinnesepithel der Bogengänge liegt in Erweiterungen, die **Cristae ampullares**[1] genannt werden.

Aufbau. Das Sinnesepithel besteht neben den Stützzellen aus flaschenförmigen („bauchigen")

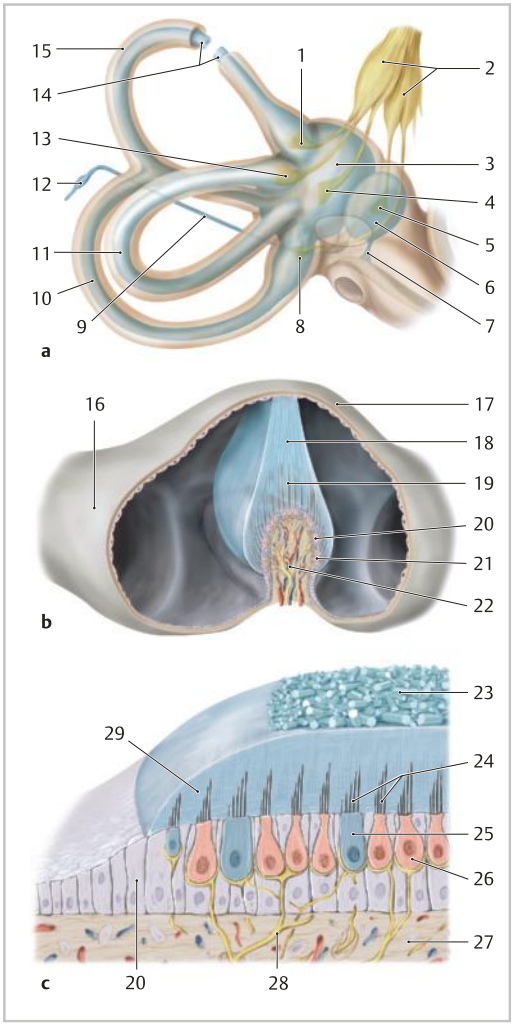


Abb. 17.48 Gleichgewichtsorgan.
a Aufbau des Gleichgewichtsorgans (Vestibularorgan), das sich aus den 3 Bogengängen sowie Sacculus und Utriculus zusammensetzt.
1 Crista ampullaris mit N. ampullaris anterior
2 Ganglion vestibulare
3 Utriculus
4 Macula utriculi mit N. utricularis
5 Macula sacculi mit N. saccularis
6 Sacculus
7 Ductus reuniens
8 Crista ampullaris mit N. ampullaris posterior
9 Ductus endolymphaticus
10 Ductus semicircularis post.
11 Ductus semicircularis lat.
12 Saccus endolymphaticus
13 Crista ampullaris mit N. ampullaris lateralis
14 Ductus semicircularis ant.
15 Canalis semicircularis ant.

b Aufbau von Ampulla und Crista ampullaris eines Bogengangs.
16 Canalis semicircularis
17 Ampulla
18 Cupola
19 Zilien der Sinneszellen
20 Stützzelle
21 Sinneszelle
22 Crista ampullaris

c Aufbau der Macula statica von Sacculus und Utriculus.
23 Statolithen
24 Stereozilien
25 Haarzelle Typ I
26 Haarzelle Typ II
27 Membrana propria
28 afferente Nervenfaser
29 Statolithenmembran
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 17.24 Aufbau und Funktion der Sinneszellen des Gleichgewichtsorgans. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 17.48**.

	Sacculus	Utriculus	Bogengänge
Lokalisation der Sinneszellen	Macula sacculi[5] **vertikal** zur Körperachse	Macula utriculi[4] **horizontal** zur Körperachse	Cristae ampullares[1, 8, 13]
Aufbau der gallertigen Deckschicht	Statokonien-/Otolithenmembran[30]: • flach • enthält **Kalkkristalle** • Dichte **höher** als Endolymphe		Cupula[18]: • kuppelförmig • enthält keine Kristalle • Dichte **gleich** wie Endolymphe
Mechanismus der Reizübertragung	Kopfbewegung ↓ Otolithenmembran bleibt aufgrund ihrer Trägheit zurück ↓ Auslenkung der Stereozilien		Kopfbewegung ↓ Endolymphe bleibt aufgrund ihrer Trägheit gegenüber den Bogengängen zurück ↓ Auslenkung der beweglichen Cupula ↓ Auslenkung der Stereozilien
Registrierte Bewegung	lineare Beschleunigungen • nach Größe und Richtung • Abweichungen der Kopfhaltung von der Senkrechten		radiale Beschleunigungen • entsprechend dem Ausmaß der Ablenkung der Cupula • Drehrichtung wird aus der Auslenkung aller 6 Cupulae im Gehirn „errechnet“

Typ-I-[26] und zylindrischen („schlanken“) **Typ-II-Haarzellen**[27]. Beide Typen tragen an ihrer apikalen Oberfläche 80–100 **Stereozilien** und eine **Kinozilie**. Letztere scheint für die Erregbarkeit der Sinneszelle keine Rolle zu spielen, wohl aber für die Richtung der **Potenzialänderungen**. Die Zilien ragen in eine **gallertige Deckschicht**[18, 30], die bei Maculae und Cristae unterschiedlich aufgebaut ist. Einzelheiten sind in ▶ Tab. 17.24 zusammengefasst.

Funktion und Innervation. Lageänderungen des Kopfes führen zu einer Verbiegung der **Stereozilien** relativ zum Zellkörper. Verbiegen sich die Stereozilien **zum Kinozilium** hin, kommt es zu einer **Depolarisation** der Zellmembran, bei einer Verbiegung **vom Kinozilium weg**, ergibt sich eine **Hyperpolarisation**. Die Potenzialänderungen der Sinneszelle werden entweder über **elektrische** und **chemische Synapsen** (Typ-I-Zellen) oder ausschließlich über **chemische Synapsen** (bei Typ-II-Zellen) an die afferenten Fortsätze der bipolaren Nervenzellen des **Ganglion vestibulare** weitergegeben. Dieses Ganglion liegt am Boden des **Meatus acusticus internus**. Die efferenten Fortsätze dieser Nervenzellen bilden die **Pars vestibularis** des N. vestibulocochlearis.

Da das Gleichgewichtsorgan beidseits symmetrisch angelegt ist, kommt es bei Kopfdrehungen zu **gegensätzlichen Erregungen** entsprechender Sinnesfelder. Dieser Mechanismus erhöht die Unterscheidbarkeit von Rotationsbewegungen im Sinne einer „Kontrast“verstärkung.

Vestibulär bedingter Schwindel entsteht aus Diskrepanzen zwischen den **Raumwahrnehmungen** der verschiedenen hierzu beitragenden Sinnessysteme (Auge, Vestibularapparat, Propriozeption). Man unterscheidet einen unspezifischen (weil bei vielen Erkrankungen als Begleitsymptom vorkommenden) **„Schwankschwindel"** von einem **„Drehschwindel"**, bei dem die Patienten oft sogar die Drehrichtung angeben können. Anfallsartiger Drehschwindel ist eines der Hauptsymptome des **Morbus Menière**. Außerdem kommt es zu **Hörverlust** im tiefen Frequenzbereich, Ohrgeräuschen (**Tinnitus**) und **Druckgefühl** im Ohr. Eine Anästhesie des Labyrinths oder eine Entfernung der knöchernen Begrenzung des Saccus endolymphaticus („Überlaufgefäß") verbessern die Symptomatik. Das Schwindelgefühl nimmt auch ohne Behandlung im Verlauf mehrerer Jahre ab, die Schwerhörigkeit für tiefe Töne bleibt jedoch bestehen.

Gefäßversorgung. Der Vestibularapparat wird von den **Rr. vestibularis** und **vestibulocochlearis** der **A. labyrinthi** (aus der A. basilaris) versorgt. Die venöse Drainage verläuft über die **Vv. labyrinthales** als Sammelgefäße.

18 Haut und Hautanhangsgebilde

Joachim Kirsch

18.1 Haut

Die Haut ist eine beim Erwachsenen etwa 2 m^2 große **Grenzfläche** zwischen dem Organismus und seiner Umwelt. Sie ist aus unterschiedlichen Geweben zusammengesetzt, die gemeinsam einer Funktion dienen, und ist daher als **Organ** anzusehen. Die Haut übt eine mechanische, physikalische und chemische **Schutzfunktion** aus und beherbergt zahlreiche **Rezeptoren** für Sinnesreize. Die Blutgefäße der Haut tragen wesentlich zur **Wärmeregulation** bei.

18.1.1 Ausdehnung und Funktionen

Mit 1,4–2,0 m^2 ist die Haut das Organ mit der größten Flächenausdehnung des erwachsenen menschlichen Körpers. Ihr Gewicht beträgt ohne Unterhautfettgewebe 3–4 kg, wobei ihre Dicke je nach Körperregion zwischen 1–2 mm schwankt. Rechnet man das Unterhautfettgewebe hinzu, macht die Haut ca. 16 % des Körpergewichts aus.

Die größte Gefahr für die Haut geht von **Verbrennungen** aus. Ausdehnung und Tiefe der Verbrennungen sind für das Ausmaß der Schädigung und die Behandlungsstrategien entscheidend. Daher ist es wichtig, den Prozentsatz der verbrannten Hautfläche einzuschätzen. Dazu dient die Regel, dass die Handfläche eines Erwachsenen etwa 1 % seiner Körperoberfläche entspricht. Eine andere Methode ist die **Neuner-Regel**, bei der die Körperoberfläche in Abschnitte von je 9 % oder Vielfachen davon eingeteilt wird (▶ **Abb. 18.1**).

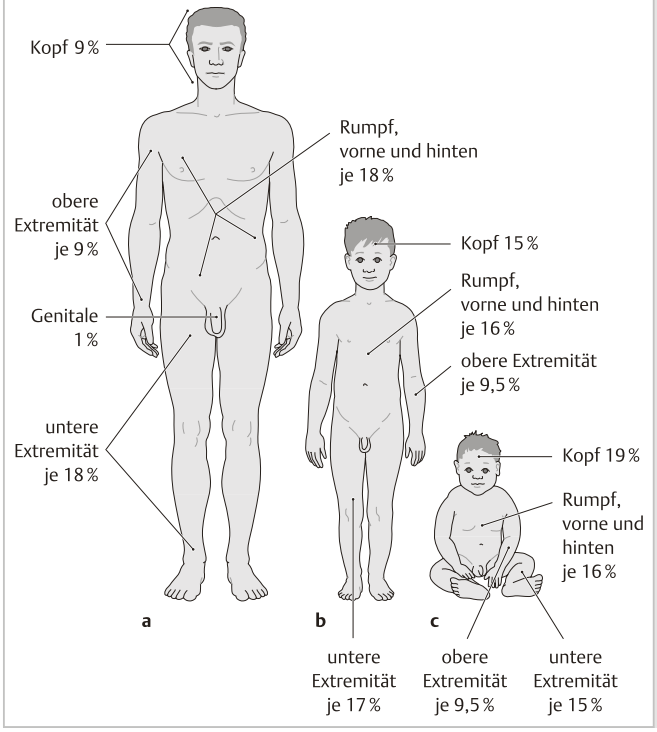


Abb. 18.1 Aufteilung der Körperoberfläche bei Erwachsenen (**a**), Kindern (**b**) und Kleinkindern (**c**). (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Einerseits übt die Haut eine **Schutzfunktion** für den Organismus aus, zum anderen beherbergt sie zahlreiche unterschiedliche **Sensoren** für die Aufnahme von Reizen aus der unmittelbaren Umgebung (Druck, Berührung, Vibration, Schmerz und Temperatur). Neben einem relativen **mechanischen Schutz** vor Stößen, Kratzern und Schnitten bildet sie eine **wasserdichte Barriere**, die vor dem Verlust von Körperflüssigkeit, dem Eindringen von Substanzen aus der Umwelt, Bakterien und Strahlen (UV-Strahlen) schützt und **immunologische Kompetenz** vermittelt. Das Unterhautfettgewebe fungiert als **Energiespeicher** und **Wärmeisolator**.

Das **Erscheinungsbild der Haut** und ihrer Anhangsgebilde beeinflussen den subjektiven Eindruck und die soziale Akzeptanz eines Menschen. Dem Arzt geben sie wichtige Informationen über Alter, Gesundheits- und Allgemeinzustand sowie die Stimmung eines Patienten.

18.1.2 Hautarten und Aufbau

Felder- und Leistenhaut

Die mit Drüsen und Haaren ausgestattete **Felderhaut** macht den größten Teil der Körperoberfläche aus. Die **Leistenhaut** bildet auf den Hand- und Fußflächen für jedes Individuum charakteristische Hornschleifen, -bögen und -wirbel aus (Fingerabdrücke), die eine individuelle Identifizierung ermöglichen und daher in der Kriminaltechnik eine große Rolle spielen.

Hautschichten

Die Haut (**Cutis**) wird in **Oberhaut** (**Epidermis**) und **Lederhaut** (**Dermis** oder **Corium**) untergliedert, die über eine **Basalmembran** miteinander verbunden sind. Bei beiden können wiederum weitere Schichten unterschieden werden (▶ Tab. 18.1, ▶ **Abb. 18.2**).

Neben **Keratinozyten**, die in den unterschiedlichen Schichten der Epidermis in charakteristischen Differenzierungsstadien auftreten, kommen in der Epidermis Melanozyten, – Merkel-, und Langerhans-Zellen vor.

Melanozyten leiten sich von der Neuralleiste ab. Es handelt sich um verzweigte, „spinnenförmige" Zellen im Stratum basale, die pigmenthaltige *Melanosomen* in die Keratozyten „injizieren". Der Vorgang wird als *zytokrine Sekretion* bezeichnet und ist eine Sonderform der Exozytose. Sonneneinstrahlung erhöht die Produktion von Melanosomen (Hautbräunung), die Zahl der Melanozyten bleibt dagegen konstant. Der Gehalt an Melanin (Pigment der Melanosomen) in den suprabasalen Schichten der Haut bestimmt die Hautfarbe und hängt ab von der Sonnenexposition sowie von genetischen Faktoren und der ethnischen Zugehörigkeit.

Tab. 18.1 Schichten der Haut. Die Nummern beziehen sich auf ▶ **Abb. 18.2**.

Schicht	Untergliederung (ausgehend von der Oberfläche)	Charakteristika
Epidermis[1] (Oberhaut)	• Stratum corneum[12] • Stratum lucidum[13] (nur Leistenhaut) • Stratum granulosum[11] • Stratum spinosum[10] • Stratum basale[9]	• mehrschichtiges, verhorntes Plattenepithel • keine Blutgefäße • zahlreiche Sensoren (freie Nervenendigungen, Merkel-Zellen)
Dermis[3] (Lederhaut, Corium)	• Stratum papillare[8] • Stratum reticulare[7]	• kollagenes, elastisches Bindegewebe • gut vaskularisiert und innerviert • zahlreiche Sensoren (freie Nervenendigungen, Meissner-Tastscheiben, Ruffini-Körperchen, Vater-Pacini-Körperchen)
Subcutis[4]	–	lockeres Bindegewebe, Fettgewebe

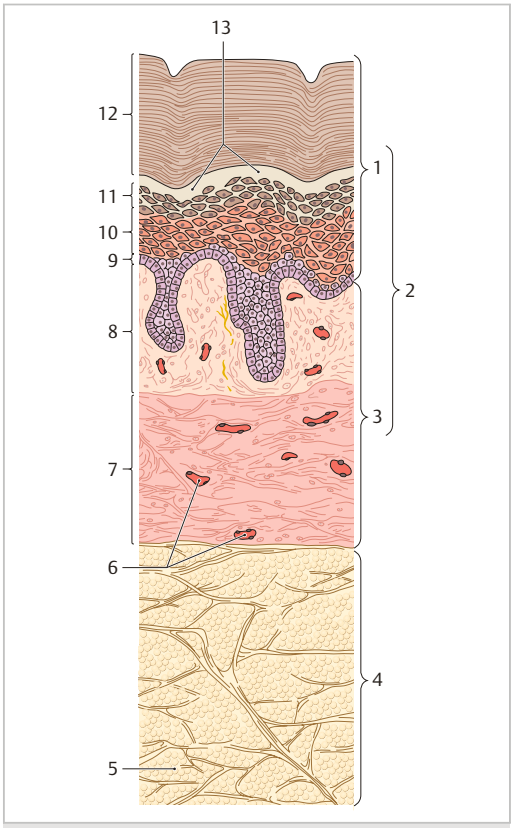


Abb. 18.2 Schichten der Leistenhaut.
1 Epidermis
2 Cutis
3 Dermis
4 Subcutis
5 Bindegewebsseptum
6 Blutgefäße
7 Stratum reticulare
8 Stratum papillare
9 Stratum basale
10 Stratum spinosum
11 Stratum granulosum
12 Stratum corneum
13 Stratum lucidum
(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2007)

Auch die mechanorezeptiven **Merkel-Zellen** liegen im Stratum basale. Sie sind mit scheibenförmigen sensiblen *Nervenendigungen* assoziiert (Merkel-Zell-Axon-Komplex) und kommen besonders häufig in den Fingerbeeren vor.

Bei den **Langerhans-Zellen** handelt es sich um *immunkompetente Zellen* im Stratum spinosum, die Antigene durch rezeptorvermittelte Endozytose aufnehmen und anschließend in lokale Lymphknoten einwandern, um die prozessierten Antigene dort Lymphozyten zu präsentieren.

Das aus Bindegewebspapillen bestehende **Stratum papillare**[8] verzahnt die Dermis mit der Epidermis und erschwert so deren Abscherung. Neben Kapillarschlingen und Lymphkapillaren enthält es freie Nervenendigungen (Nozizeptoren) und Meissner-Tastkörperchen.

Die Kollagenfaserbündel des **Stratum reticulare**[7] bewirken die Dehnbarkeit der Haut. Die Vorzugsrichtung dieser Kollagenfaserbündel bestimmt die entlang von **Spaltlinien** verlaufende chirurgische Schnittführung. In dieser Schicht liegen die Dehnungsrezeptoren (**Ruffini-Körperchen**) der Haut.

Die Dermis geht ohne markante Grenze in die **Subcutis**[4] (Unterhaut, Hypodermis, Tela subcutanea) über, die sich erst in den letzten Wochen vor der Geburt bildet. Die Subcutis stellt die Verbindung der Cutis zur Körperfaszie her. Sie besteht aus kollagenem Bindegewebe, das je nach Körperregion unterschiedlich stark mit Fettgewebe (Adipozyten) durchsetzt ist. Als Mechanorezeptoren kommen in dieser Schicht **Vater-Pacini-Körperchen** vor, die Vibrationen aufnehmen.

Sensoren (Rezeptoren)

Die Rezeptoren in den unterschiedlichen Schichten der Haut dienen der Aufnahme und Weiterleitung mechanischer Reize unterschiedlicher Intensität, thermischer Reize sowie der Nozizeption (▶ Tab. 18.2). Auch bei den „freien Nervenendigungen" handelt sich um spezialisierte Rezeptoren und keinesfalls um blind endende Axone oder Dendriten.

Gefäßversorgung und Innervation

Blutgefäße (▶ **Abb. 18.3**). Die Epidermis wird durch Diffusion aus Blutgefäßen der Dermis versorgt. In der Dermis gibt es 2 Gefäßplexus:

- oberflächlicher Gefäßplexus (**Plexus superficialis**[2]) unterhalb der Grenze zwischen Epidermis und Dermis,
- tiefer Gefäßplexus (**Plexus profundus**[4]) an der Grenze Dermis und Subcutis.

Aus dem Plexus superficialis gehen Kapillarschlingen ab, die zur Versorgung der oberen Hautschich-

Tab. 18.2 Sensoren der Haut.

Sensor (Rezeptor)	Reizqualität	bevorzugte Lage
Merkel-Zellen	Druck	Stratum basale der Epidermis
freie Nervenendigungen	mechanische, thermische und/oder Schmerzreize	Epidermis und Dermis
Meissner-Tastkörperchen	Berührung (Tasten)	Stratum papillare der Dermis
Ruffini-Körperchen	Dehnung	Stratum reticulare der Dermis
Vater-Pacini-Körperchen	Vibration	Subcutis

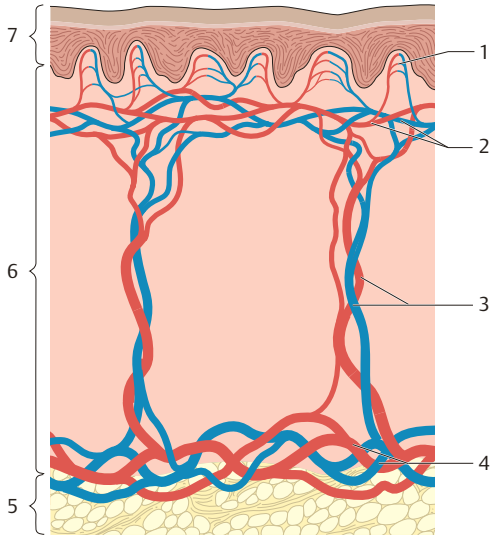


Abb. 18.3 Gefäßplexus der Haut.
1 Kapillaren
2 subepidermaler Gefäßplexus
3 Arteriolen und Venulen
4 tiefer dermaler Gefäßplexus
5 Subcutis
6 Dermis
7 Epidermis
(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2007)

ten – insbesondere des Stratum basale – in die fingerförmigen Ausstülpungen der Dermis reichen, die sich in die Epidermis vorschieben. Die beiden Gefäßplexus spielen auch bei der **Wärmeregulation** des Organismus eine wichtige Rolle. Je stärker sie durchblutet werden, desto mehr Wärme gibt der Körper ab.

Lymphabfluss. Die dünnwandigen, in ihrem Endabschnitt erweiterten Lymphgefäße enden im Stratum papillare des Corium. Sie drainieren Interzellularflüssigkeit.

Innervation. Die Nervenfasern der Haut führen somatoafferente Fasern, die über die Spinalganglien und die Hinterwurzeln des Rückenmarks in das ZNS gelangen. Je nach Sinnnesqualität erreichen die Signale (umgeschaltet oder nicht umgeschaltet) in unterschiedlichen Tractus die entsprechenden Zentren des ZNS, wo sie weiter verarbeitet werden.

18.2 Hautanhangsgebilde

Zu den Hautanhangsgebilden (Hautanhangsorganen) zählen **Haare**, **Nägel**, große und kleine **Schweißdrüsen**, **Talgdrüsen** sowie die **Brust**- (S. 104) oder **Milchdrüse**. Es handelt es sich hierbei um Epithelknospen, die in das unter der Epidermis gelegene Bindegewebe verlagert wurden.

18.2.1 Haare und Nägel

Haare (▶ Abb. 18.4)

Ursprünglich bedeckten die Haare (Pili) wie ein Fell den gesamten menschlichen Körper und dienten vorwiegend der Wärmeisolation. Mit fortschreitender Evolution ging diese Funktion jedoch verloren. Haare tragen wesentlich zum Erscheinungbild eines Menschen bei und beeinflussen die soziale Akzeptanz und die Ästhetik.

Man unterscheidet die bei der Geburt den ganzen Körper bedeckende **Lanugo**-Behaarung, die rasch von der **Vellus**-Behaarung abgelöst wird. Die marklosen, unpigmentierten Flaumhaare der Vellus-Behaarung bedecken bei Kindern und bei Frauen den größten Teil des Körpers. Unter dem hormonellen Einfluss von Androgenen entwickelt sich

Tab. 18.2 Sensoren der Haut.

Sensor (Rezeptor)	Reizqualität	bevorzugte Lage
Merkel-Zellen	Druck	Stratum basale der Epidermis
freie Nervenendigungen	mechanische, thermische und/oder Schmerzreize	Epidermis und Dermis
Meissner-Tastkörperchen	Berührung (Tasten)	Stratum papillare der Dermis
Ruffini-Körperchen	Dehnung	Stratum reticulare der Dermis
Vater-Pacini-Körperchen	Vibration	Subcutis

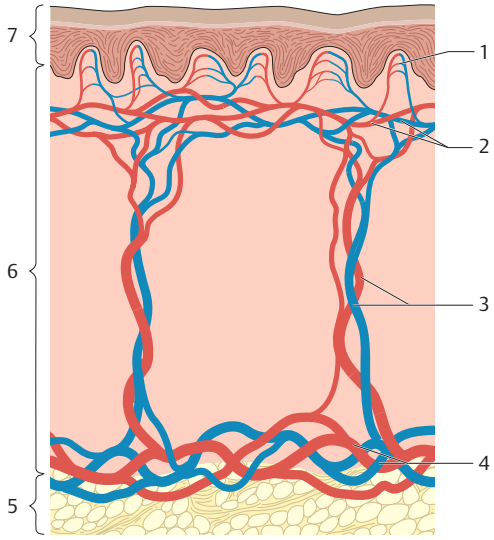


Abb. 18.3 Gefäßplexus der Haut.
1 Kapillaren
2 subepidermaler Gefäßplexus
3 Arteriolen und Venulen
4 tiefer dermaler Gefäßplexus
5 Subcutis
6 Dermis
7 Epidermis
(nach Aumüller et al., Duale Reihe Anatomie, Thieme; 2007)

ten – insbesondere des Stratum basale – in die fingerförmigen Ausstülpungen der Dermis reichen, die sich in die Epidermis vorschieben. Die beiden Gefäßplexus spielen auch bei der **Wärmeregulation** des Organismus eine wichtige Rolle. Je stärker sie durchblutet werden, desto mehr Wärme gibt der Körper ab.

Lymphabfluss. Die dünnwandigen, in ihrem Endabschnitt erweiterten Lymphgefäße enden im Stratum papillare des Corium. Sie drainieren Interzellularflüssigkeit.

Innervation. Die Nervenfasern der Haut führen somatoafferente Fasern, die über die Spinalganglien und die Hinterwurzeln des Rückenmarks in das ZNS gelangen. Je nach Sinnnesqualität erreichen die Signale (umgeschaltet oder nicht umgeschaltet) in unterschiedlichen Tractus die entsprechenden Zentren des ZNS, wo sie weiter verarbeitet werden.

18.2 Hautanhangsgebilde

Zu den Hautanhangsgebilden (Hautanhangsorganen) zählen **Haare**, **Nägel**, große und kleine **Schweißdrüsen**, **Talgdrüsen** sowie die **Brust**- (S. 104) oder **Milchdrüse**. Es handelt es sich hierbei um Epithelknospen, die in das unter der Epidermis gelegene Bindegewebe verlagert wurden.

18.2.1 Haare und Nägel

Haare (▶ Abb. 18.4)

Ursprünglich bedeckten die Haare (Pili) wie ein Fell den gesamten menschlichen Körper und dienten vorwiegend der Wärmeisolation. Mit fortschreitender Evolution ging diese Funktion jedoch verloren. Haare tragen wesentlich zum Erscheinungbild eines Menschen bei und beeinflussen die soziale Akzeptanz und die Ästhetik.

Man unterscheidet die bei der Geburt den ganzen Körper bedeckende **Lanugo**-Behaarung, die rasch von der **Vellus**-Behaarung abgelöst wird. Die marklosen, unpigmentierten Flaumhaare der Vellus-Behaarung bedecken bei Kindern und bei Frauen den größten Teil des Körpers. Unter dem hormonellen Einfluss von Androgenen entwickelt sich

nach der Pubertät die **Terminalbehaarung**, die aus markhaltigen und individuell unterschiedlich pigmentierten Haaren besteht. Aufgrund des unterschiedlichen Androgenspiegels ist die Terminalbehaarung bei Männern stärker, bei Frauen schwächer ausgebildet.

Bei der Terminalbehaarung unterscheidet man **Kurzhaar** (Wimpern, Augenbrauen) und **Langhaar** (Kopf- und Barthaar, Scham- und Achselbehaarung). Nicht nur das Geschlecht, sondern auch genetische Faktoren beeinflussen die Ausbildung der Behaarung entscheidend.

Jedes Haar entsteht aus einer zylindrischen Einstülpung der Epidermis (epithelialer **Haarfollikel**) in die Dermis oder Subcutis (Bindegewebe). Dort bildet sich die **Haarpapille**[8], ein zellreiches Bindegewebe mit einer **Kapillarschlinge**. Die Haarpapille ist umgeben vom epithelialen **Haarbulbus**[7] (Haarzwiebel), der zahlreiche **Matrixzellen**, die Stammzellen der Haarbildung enthält. Unter dem Einfluss der Fibroblasten der Papille teilen sich die Matrixzellen. Die nicht im Bulbus verbleibenden Zellen wandern nach oben und differenzieren sich in Abhängigkeit von ihrer Lage zu Zellen von **Haarmark**[4], **-rinde**[5], Cuticula oder inneren **Wurzelscheide**[6]. An den Bulbus schließt sich die zylindrische **Haarwurzel** an. Die Verhornung beginnt in der **keratogenen Zone** zwischen **Haarwurzel** und **-schaft**[1]. Bulbus, keratogene Zone und Haarschaft sind bis zum **Haartrichter** (Infundibulum) von einer **bindegewebigen** sowie einer äußeren und innern **epithelialen Wurzelscheide** umgeben. Im Bereich des Infundibulums münden **Talgdrüsen**[2]. Unterhalb davon inseriert der glatte **M. arrector pili**[3] in die bindegewebige Wurzelscheide. Er wird von **sympathischen Fasern** innerviert. Seine Kontraktion richtet das Haar auf (Gänsehaut, Cutis anserina). Der Haarfollikel wächst zyklisch, wobei ein Zyklus mehrere Monate bis Jahre dauern kann.

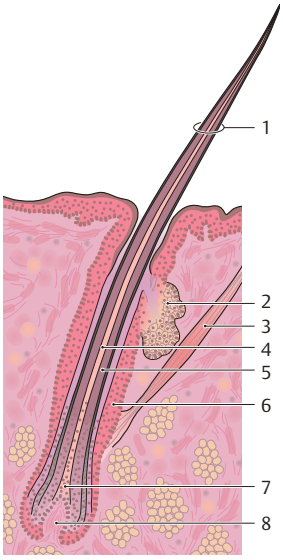


Abb. 18.4 Längsschnitt durch ein Haar.
1 Haarschaft
2 Talgdrüse
3 M. arrector pili
4 Haarmark
5 Haarrinde
6 Wurzelscheide
7 Haarbulbus
8 Haarpapille mit Kapillaren
(nach Schwegler, Der Mensch: Anatomie und Physiologie, Thieme; 2011)

Finger- und Zehennägel (▶ Abb. 18.5)

Bei den ca. 0,5 mm dicken Nägeln (Ungues) handelt es sich um dicht gepackte **Hornschuppen**. Sie gehen von den mitotisch aktiven Epithelzellen der

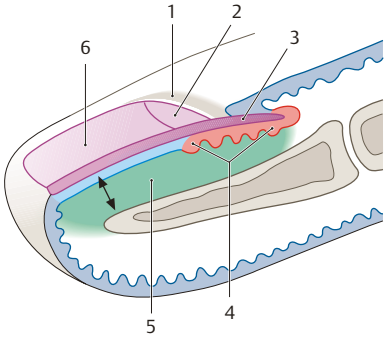


Abb. 18.5 Längsschnitt durch den Fingernagel.
1 Nagelwall
2 Lunula
3 Nagelwurzel
4 Nagelmatrix
5 Nagelbett, bestehend aus Epithel (blau) und Dermis (grün)
6 Nagelplatte
(nach Lüllmann-Rauch, Taschenlehrbuch Histologie, Thieme; 2015)

Nagelmatrix[4] aus, deren distales Ende als halbmondförmige, weiße **Lunula**[2] sichtbar ist. Man unterscheidet die **Nagelplatte**[6], die über dem **Nagelbett** (Hyponychium)[5] liegt und proximal sowie seitlich in Hauttaschen (**Nagelfalz**, **Paronychium** oder **Perionychium**) eingelassen ist und dort vom **Nagelwall**[1] überlagert wird. Unter dem proximalen Nagelwall liegt die **Nagelwurzel**[3]. Zum Schutz der Nagelwurzel ist der proximale Nagelfalz vom **Nagelhäutchen** (**Eponychium**) verschlossen. Das kontinuierliche Wachstum des Nagels ist das Ergebnis mitotischer Teilungen von Basalzellen in der Nagelmatrix unter der Nagelwurzel. Die Einfügung der verhornten Zellen schiebt die Nagelplatte um 0,5–1 mm/Woche nach distal.

18.2.2 Hautdrüsen

Talgdrüsen

Der ölige **Talg** (Sebum) dient der Einfettung von Haaren und Epidermis, die hierdurch weniger angreifbar für hydrophile Substanzen werden. Er entsteht durch **holokrine Sekretion** aus abgestorbenen, fetthaltigen Epithelzellen der Talgdrüsen (**Glandulae sebaceae**). Talgdrüsen sind wie große Schweißdrüsen meist an Haarfollikel angeschlossen. Ihre Ausführungsgänge münden in den Haartrichter, während die Endstücke als epitheliale Zellhaufen in der Dermis liegen. Nur an den Lippen, äußeren Genitalien und den Brustwarzen kommen sogenannte freie Talgdrüsen (ohne Bezug zu Haarfollikeln) vor.

Die mitotisch aktiven Zellen der Talgdrüsen liegen in der Peripherie der in die Dermis versenkten Zellhaufen. Mit fortschreitender Differenzierung bilden die Zellen vermehrt Lipidtröpfchen und werden schließlich pyknotisch. Im Verlauf dieses Prozesses werden sie Richtung Ausführungsgang gedrängt und verflüssigen sich schließlich.



Eine Verlegung des Ausführungsgangs einer Talgdrüse kann zu einem Sekretstau führen, der Mitesser (**Comedo**) genannt wird. Die sprunghafte Vermehrung unschädlicher Bakterien im Talg führt zu lokalen Entzündungsreaktionen (**Akne vulgaris**). Da die Talgproduktion und -viskosität von Testosteron gesteigert wird, geschieht dies besonders stark bei jungen Männern in der Pubertät.

Kleine und große Schweißdrüsen

Bei den Schweißdrüsen (**Glandulae sudoriferae**) unterscheidet man kleine und große Drüsen mit unterschiedlicher Funktion.

Die **kleinen Schweißdrüsen** stehen im Dienst der **Thermoregulation**, indem die Verdunstung der Flüssigkeit auf der Haut dem Körper Wärme entzieht. Bei mittlerer Umgebungstemperatur werden in 24 h etwa 500 ml Schweiß abgegeben. Bei höheren Umgebungstemperaturen kann diese Menge erheblich ansteigen (bis 10 l/d).

Entsprechend ihrer Funktion sind Schweißdrüsen über den gesamten Körper verteilt. Sie münden an Hautleisten oder erhöhten Stellen der Epidermis. Ihre Dichte variiert von 50/cm^2 auf dem Rücken bis zu 300/cm^2 im Handteller.

Die **ekkrinen** Schweißdrüsen bestehen aus einem langen, unverzweigten **Epithelschlauch**, dessen sekretorisches **Endstück** stark verknäuelt ist. Die Zellen des Endstücks sezernieren eine **isotone NaCl-Lösung**, jedoch resorbieren die Zellen des Ausführungsgangs die meisten Ionen zurück. Der Endschweiß ist daher eine geruchlose, **hypotone** Elektrolytlösung, in der erst durch die Einwirkung von Bakterien Geruchsstoffe entstehen. Der Sympathicus steigert die Schweißsekretion. Die postganglionären sympathischen Fasern nutzen hier ausnahmsweise den Überträgerstoff Azetylcholin statt Noradrenalin.

Die **großen Schweißdrüsen** (Duftdrüsen) kommen nur an einigen Stellen des Körpers wie der Perigenital- und Perianalregion, der Axilla oder um die Brustwarzen vor. Im Gegensatz zu den ekkrinen Drüsen werden sie erst mit der Pubertät funktionsfähig. Das Sekret der apokrinen Drüsen beeinflusst den individuellen „Körperduft“ eines Menschen. Im Meatus acusticus externus und im Augenlid kommen Sonderformen als Glandulae ceruminosae bzw. Moll-Drüsen vor.

Von den ekkrinen Schweißdrüsen unterscheiden sich die **apokrinen** Duftdrüsen vor allem durch die Form der **Endstücke**. Die Epithelknäuel sind globiger und zeigen ein deutliches Lumen, in das von einer Membran umschlossene, **apikale Zellanteile** der Epithelzellen sezerniert werden. Häufig sind die Duftdrüsen von **Myoepithelzellen** umgeben.

19

19 Zentrales Nervensystem

Dietrich E. Lorke

19.1 Entwicklung

Neuralleistenzellen sind Vorläufer des größten Teils des peripheren Nervensystems, während das zentrale Nervensystem weitgehend aus dem **Neuralrohr** entsteht. Das Neuralrohr entwickelt sich zu **Rückenmark** und Hirnbläschen, aus denen sich die endgültigen Hirnteile **Telencephalon**, **Diencephalon**, **Mesencephalon**, **Metencephalon** und **Medulla oblongata** entwickeln. Das Lumen des Neuralrohrs wird zum Ventrikelsystem. Im Neuralrohr bilden ventral gelegene Zellansammlungen die **Grundplatte**, aus der sich motorische Nervenzellen differenzieren. Dorsal befindet sich die **Flügelplatte**, aus der Neuronen im Dienste der Sensibilität entstehen. Im Metencephalon wächst dorsal das **Kleinhirn** quer zur Achse des Neuralrohrs aus, sodass der IV. Ventrikel Rautenform erhält, die ventralen Anteile entwickeln sich zur **Brücke**. Im Diencephalon differenzieren sich der größte Kernkomplex des Gehirns, der **Thalamus**, und in seiner Umgebung der **Hypothalamus**, **Subthalamus** und **Epithalamus**. Das Telencephalon nimmt enorm an Größe zu, sodass **Lobus frontalis, parietalis, occipitalis** und **temporalis** entstehen, und verdeckt so das Diencephalon fast vollständig. An seiner Basis entwickelt sich das **Striatum**, das durch Einwachsen von Projektionsfasern (**Capsula interna**) in einen medialen **Nucleus caudatus** und ein laterales **Putamen** unterteilt wird. Nur die an der Grenze von Telencephalon und Diencephalon gelegenen Hirnteile machen diese Größenzunahme kaum mit und entwickeln sich zum **limbischen System**.

Die Entwicklung des Nervensystems beginnt mit der Bildung der Neuralplatte (s. ▶ **Abb. 7.1**; ▶ **Abb. 19.1a**), die sich zur Neuralrinne[4] einstülpt und deren Ränder durch die Neuralwülste[3] gebildet werden. Das **Neuralrohr** (▶ **Abb. 19.1**) entsteht durch die Fusion der Neuralwülste[3]. Da dieser Verschluss in der zukünftigen Halsregion beginnt, steht das Lumen des Neuralrohrs vorübergehend noch über den kranial gelegenen **Neuroporus anterior** und den kaudalen **Neuroporus posterior** mit der Amnionhöhle in Verbindung.

Wenn der **Verschluss des Neuroporus anterior gestört** ist, fehlt im schlimmsten Fall der Kopf entweder vollständig (**Azephalie**) oder Schädeldecke und Nervengewebe sind nicht oder nur teilweise ausgebildet, wobei das Gehirn entweder untergegangen ist (**Anenzephalie**) oder offen liegt (**Exenzephalie**). Bei weniger schweren Veränderungen ist der Schädel teilweise unverschlossen und das Gehirn nur von den Meningen bedeckt (**Enzephalozele**).

Ein **gestörter Verschluss des Neuroporus posterior** führt zu einer unvollständigen Verschmelzung der dorsalen Teile der Wirbelsäule, sodass das Rückenmark entweder offen liegt (**Rhachischisis**) oder nur teilweise bedeckt ist (**Spina bifida**). Im letzteren Fall kann es auch vorkommen, dass die Veränderungen nur den knöchernen Wirbelkanal betreffen, sodass Rückenmark und Nerven nicht geschädigt sind (**Spina bifida occulta**). Eine Vorwölbung der Rückenmarkhäute (**Meningozele**) oder des Rückenmarks einschließlich seiner Häute (**Meningomyelozele**) führt in der Regel zu neurologischen Ausfällen. Durch eine Folsäuregabe vor und während der Schwangerschaft kann man das Risiko dieser Neuralrohrverschlussstörungen erheblich vermindern.

Während sich das Neuralrohr verschließt, bilden sich an der Grenze von Neuroektoderm und Oberflächenektoderm die **Neuralleisten**[2]. **Neuralleistenzellen**[6] wandern später in fast alle Teile des Körpers, wobei sich dorsolateral migrierende Zellen zu pigmentbildenden **Melanozyten** und Druckrezeptoren der Haut (Merkel-Zellen) differenzieren, während ventral auswandernde Neuralleistenzellen **Spinalganglienzellen**[15], sympathische, parasympathische und enterische (Darm-) Ganglien, periphere Glia (Schwann-Zellen) sowie chromaffine Zellen des Nebennierenmarks bilden.

Im kranialen Bereich wandern Neuralleistenzellen in den Kopf ein und bilden hier neben den sensiblen Ganglien der Hirnnerven und der periphe-

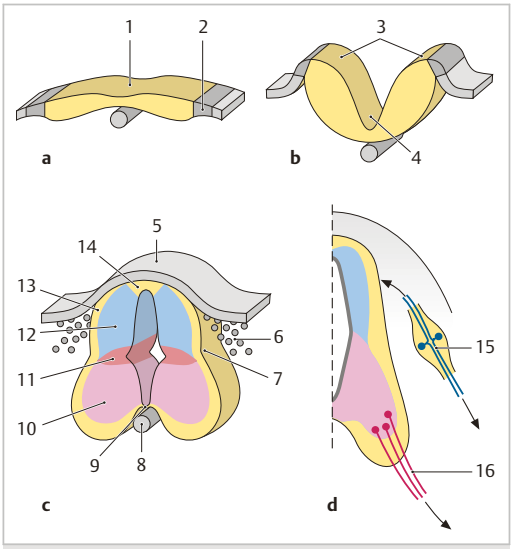


Abb. 19.1 Entwicklung des Neuralrohrs.
a Neuralplatte
1 Neuralplatte
2 Neuralleiste

b Neuralrinne
3 Neuralwülste
4 Neuralrinne

c Neuralrohr im Querschnitt
5 Epidermis
6 Neuralleistenzellen
7 Sulcus limitans
8 Chorda dorsalis
9 Bodenplatte
10 Grundplatte
11 Zone der vegetativen Neurone
12 Flügelplatte
13 weiße Substanz
14 Deckplatte

d Entwicklung eines Spinalnervs
15 aussprießende afferente Axone der Hinterwurzel im Spinalganglion
16 aussprießende efferente Axone der Vorderwurzel
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ren Glia auch Kopfmesenchym, aus welchem Dermis, Muskulatur, Knorpel sowie die Knochen der Kiemenbögen und des Gesichts hervorgehen. Außerdem sind Neuralleistenzellen auch an der Bildung des Thymus, der Schilddrüsen, der Nebenschilddrüsen, der großen Gefäße und des Ausflusstrakts des Herzens beteiligt.

Aufgrund eines **Neuralleistendefekts** kommt es zum **DiGeorge-Syndrom** mit Fehlbildungen des Herzens, des Thymus' und der Nebenschilddrüsen.

Eine gestörte Wanderung von Neuralleistenzellen führt zum Morbus Hirschsprung (**kongenitales Megakolon**). Dabei fehlen die Ganglienzellen in der Wand des distalen Kolons, was die Darmperistaltik behindert und zur Erweiterung des Dickdarms führt.

Da Gehirn, Augen, Nerven und Teile der Haut gemeinsam aus dem Neuroektoderm hervorgehen, wird eine Gruppe von Fehlbildungen des Nervensystems und der Haut als **Phakomatosen** zusammengefasst. Hierzu gehört die **Neurofibromatose Recklinghausen**, die mit einer tumorartigen Vermehrung von Neuralleistenderivaten (Schwann-Zellen, Melanozyten, Endoneuralzellen) einhergeht. Dadurch bilden sich Tumoren der peripheren Nerven (Neurofibrome) und bräunliche Hautverfärbungen (Café-au-lait-Flecken).

Schon früh bildet sich zwischen den ventralen und den dorsalen Anteilen des Neuralrohrs eine längs verlaufende Einkerbung aus, der Sulcus limitans[7]. Ventral von ihm gelegene Zellen werden als **Grundplatte**[10] bezeichnet, aus ihnen entstehen später Nervenzellen im Dienste der **Motorik**. Dorsal befindet sich die **Flügelplatte**[12], die sich zu *sensiblen* Neuronen entwickelt. Ventral und dorsal in der Mittellinie bildet sich die Boden-[9] bzw. die Deckplatte[14].

In den kranialen Abschnitten des Neuralrohrs entstehen durch ungleichmäßiges Wachstum 3 primäre **Hirnbläschen** (▶ **Abb. 19.2**): Vorderhirn (**Prosencephalon**[8]), Mittelhirn (**Mesencephalon**[10]) und Rautenhirn (**Rhombencephalon**[1]). Anschließend stülpen sich aus dem Prosencephalon 2 seitliche Endhirnbläschen (**Telencephalon**[6]) aus, und die dazwischen gelegenen Vorderhirnanteile entwickeln sich zum Zwischenhirn (**Diencephalon**[7]). Durch die Ausbildung des Kleinhirns untergliedert sich das Rhombencephalon in das Nachhirn (**Metencephalon = Kleinhirn**[11] **und Brücke**[4]) und das verlängerte Mark (Myelencephalon oder **Medulla oblongata**[3], s. a. ▶ Abb. 19.9). Nach kaudal schließt sich die Anlage des **Rückenmarks** (Medulla spinalis) an. Gleichzeitig entstehen 3 Krümmungen des Neuralrohrs:

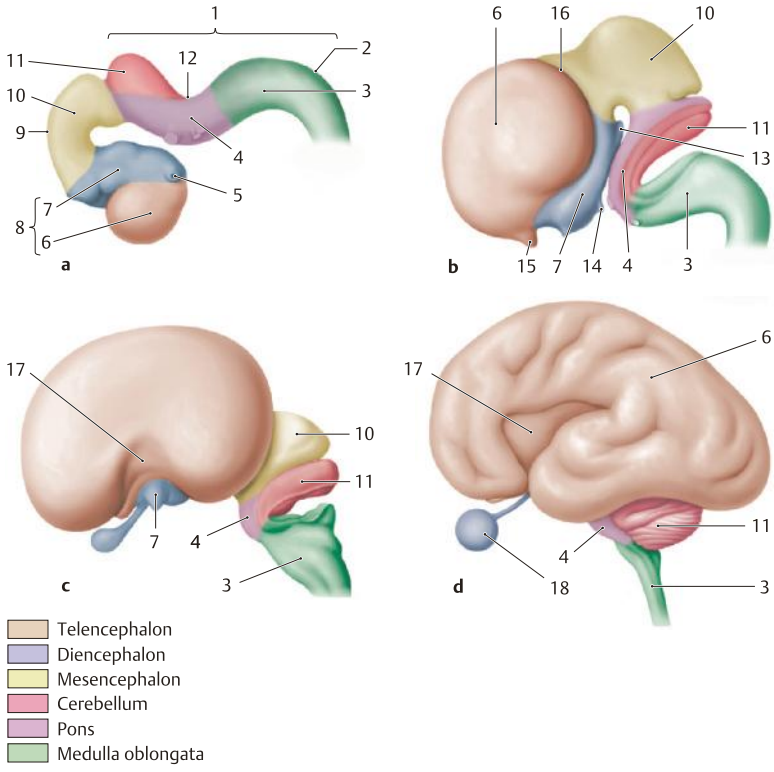


Abb. 19.2 Entwicklung des Gehirns.
a Embryo von 10 mm Scheitel-Steiß-Länge (2. Entwicklungsmonat),
b Fetus von 27 mm Scheitel-Steiß-Länge (3. Entwicklungsmonat),
c Fetus von 53 mm Scheitel-Steiß-Länge (4. Entwicklungsmonat),
d Fetus von 33 cm Länge (6. Entwicklungsmonat).

1 Rhombencephalon
2 Nackenbeuge
3 Medulla oblongata
4 Pons
5 Augenbläschen
6 Telencephalon
7 Diencephalon
8 Prosencephalon
9 Scheitelbeuge
10 Mesencephalon
11 Cerebellum
12 Brückenbeuge
13 Mammillarhöcker
14 Hypophysenanlage
15 Riechkolben
16 Sulcus telodiencephalicus
17 Insula
18 Augenbecher
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- die **Scheitelbeuge**[9] im Mesencephalon,
- die **Brückenbeuge**[12] im Metencephalon,
- die **Nackenbeuge**[2] an der Grenze zwischen Medulla oblongata und Rückenmark.

Hierdurch ändert sich die Ausrichtung von Telencephalon und Diencephalon. Daher sind die Lagebezeichnungen „ventral" und „anterior" für diese Hirnteile *nicht* mehr synonym, ebensowenig wie „dorsal" und „posterior". Vielmehr bezeichnet „anterior" eine frontale und „posterior" eine okzipitale Lage, während man unter „ventral" die schädelbasisnahe und unter „dorsal" die schädelbasisferne Seite versteht (s. ▶ **Abb. 19.9**).

Aus den flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen im Inneren der Hirnbläschen entsteht später das **Ventri-**

kelsystem (s. ▶ **Abb. 19.15**). Das Telencephalon umschließt die beiden Seitenventrikel, das Diencephalon den III. Ventrikel, im Inneren des Mesencephalons liegt der Aquädukt, und das Rhombencephalon umschließt den IV. Ventrikel.

Im Bereich des späteren **Rückenmarks** entsenden Grundplattenneurone Fortsätze in die Peripherie und nehmen Kontakt zur zukünftigen quergestreiften Skelettmuskulatur auf. Sie differenzieren sich zu motorischen **Vorderhornzellen**, ihre Fortsätze bilden die vordere Wurzel des Spinalnervs (s. ▶ **Abb. 19.1**[16]). Aus der Flügelplatte entwickelt sich das **Hinterhorn**. Es besteht aus Interneuronen, die nur kurze Fortsätze ausbilden, und Strangzellen, deren Fortsätze in den äußeren anterolateralen Anteilen der Rückenmarkanlage nach kranial bis zum Thalamus ziehen und einen Teil der Schmerzbahn (Tractus spinothalamicus) bilden. Neuralleistenzellen zu beiden Seiten der Rückenmarkanlage entwickeln sich zu **Spinalganglienzellen**, indem sie Fortsätze ausbilden, die sich T-förmig aufteilen (s. ▶ **Abb. 19.1**[15]). Deren periphere Anteile verbinden sich mit den motorischen Fasern zum Spinalnerv und ziehen als sensible Nervenfasern in den Körper. Die zentralen Anteile wachsen als hintere Wurzel des Spinalnervs teilweise in die Flügelplatte, teilweise auch in die dorsalen Rückenmarkabschnitte, wo sie den Hinterstrang bilden. In den thorakolumbalen und sakralen Rückenmarkbereichen entstehen an der Grenze zwischen Grundplatte und Flügelplatte außerdem die sympathischen (Th 1–L 2) und parasympathischen (S 2–4) **Seitenhörner** (s. ▶ **Abb. 19.1**[11]; ▶ **Abb. 19.6**[11]).

In dem unmittelbar an das Rückenmark angrenzenden Hirnteil, der **kaudalen Medulla oblongata** (s. ▶ **Abb. 19.11**), wandern Flügelplattenneurone nach dorsal und bilden hier die sensiblen **Hinterstrangkerne** Nucleus gracilis[15] und cuneatus[13], wichtige Schaltstellen bei der Weiterleitung der Tastempfindung (Druck, Berührung, Vibration). Nach lateral stülpen sich die unteren **Oliven**[17] aus. Etwa im 4. Entwicklungsmonat wachsen absteigende Fasern aus dem Telencephalon in die ventralen Bereiche ein und lagern sich in Form der **Pyramiden**[4] zusammen. Sie sind Teil der Pyramidenbahn, die den Motocortex mit den motorischen Vorderhornzellen verbindet und die für die Bewegungsausführung verantwortlich ist.

Die Entwicklung des übrigen **Rhombencephalons** (▶ **Abb. 19.3**) ist hauptsächlich gekennzeichnet von der Ausbildung des Kleinhirns (**Cerebellum**). Eine starke Zellproliferation führt zu Verdickungen der dorsolateralen Anteile der Flügelplatten, den **Rautenlippen**[3] (rhombischen Lippen). An ihrer Verschmelzungsstelle in der Mittellinie entsteht der Kleinhirnwurm. Die lateralen Anteile der rhombischen Lippen nehmen rasch an Größe zu und bilden die Kleinhirnhemisphären. Die Ventralseite des Metencephalons, gegenüber des Kleinhirns, wird von zahlreichen Fasern durchzogen, welche in das Kleinhirn hinein- und aus dem Kleinhirn herausziehen. Dieser Teil entwickelt sich zur Brücke (**Pons**), in die auch Flügelplattenzellen einwandern und sich zu den Brückenkernen differenzieren.

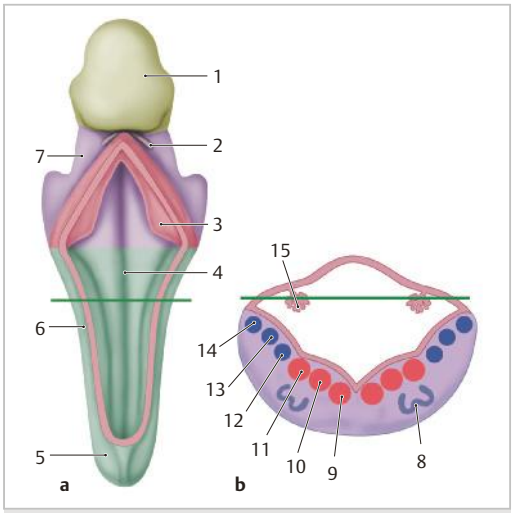


Abb. 19.3 Entwicklung des Rhombencephalons. Grundplattenderivate sind rot, Flügelplattenderivate dunkelblau dargestellt.

a Dorsalsicht
- **1** Mesencephalon
- **2** N. trochlearis
- **3** Rautenlippe
- **4** Rautengrube
- **5** Myelencephalon „geschlossen"
- **6** Myelencephalon „offen"
- **7** Metencephalon

b Querschnitt
- **8** Nucleus olivarius
- **9** somatomotorisch (N. XII)
- **10** branchialmotorisch (quergestreifte Muskulatur, N. IX, X und XI)
- **11** viszeromotorisch (Eingeweide)
- **12** viszerosensibel (Eingeweide)
- **13** branchialsensibel (Geschmacksfasern)
- **14** somatosensibel (N. V und VIII)
- **15** Plexus choroideus

Aufgrund der massiven Größenzunahme des Kleinhirns quer zur Achse des Neuralrohrs verbreitert sich der IV. Ventrikel zur Seite hin. Sein Boden bekommt die Form einer Raute und wird deshalb als Rautengrube (**Fossa rhomboidea**[4]) bezeichnet. Hierdurch wird das Dach des Rhombencephalons kaudal und kranial des Kleinhirns dünn ausgezogen, die beiden Flügelplatten werden im Bereich der kranialen Medulla oblongata voneinander getrennt. Dies führt dazu, dass Grund- und Flügelplatte in der kranialen Medulla nicht mehr ventrodorsal angeordnet sind wie im Rückenmark, sondern mediolateral – also wie die Seiten eines geöffneten Buchs.

In der **kranialen** („offenen") **Medulla oblongata**[6] und in der **Brücke** entstehen aus der **Grundplatte** je 3 langgezogene, aber unterbrochene Zellsäulen, aus denen sich die Ursprungskerne von Hirnnerven mit unterschiedlichen motorischen Funktionen entwickeln (▶ **Abb. 19.3b**, s. auch ▶ **Abb. 19.12**):

- Die am weitesten ventromedial gelegene Zellsäule[9] ist die Fortsetzung des Vorderhorns des Rückenmarks. Sie entsendet Fortsätze zur Skelettmuskulatur und bildet also die **somatomotorischen** Hirnnervenkerne (Hypoglossus- und Abducens-Kerne).
- Die mittlere Zellsäule[10] versorgt die Schlundbogenmuskulatur und wird deswegen als **branchialmotorisch** (speziell viszeroefferent) bezeichnet: Nucleus ambiguus, Nucleus facialis, motorischer Trigeminuskern.
- Die an die Flügelplatte angrenzende Zellsäule[11] innerviert die Drüsen und die glatte Muskulatur der Eingeweide mit ihren allgemein **viszeromotorischen** Fasern: Nucleus dorsalis n. vagi, Nucleus salivatorius.

In ähnlicher Weise differenzieren sich auch aus der **Flügelplatte** 4 unterschiedliche Zellsäulen im Dienste der Sensibilität:

- eine **viszerosensible** (allgemein viszeroafferente) Zellsäule[12], die sich an die allgemein viszeromotorische Zellsäule anschließt und zu viszerosensiblen Neuronen des **Nucleus dorsalis n. vagi** und des **Nucleus solitarius** (kaudaler Anteil) differenziert,
- eine **sensorische** (speziell viszeroafferente) Säule[13], aus der sich die für die Geschmacksempfindung zuständigen kranialen Teile des **Nucleus solitarius** entwickeln,
- eine **somatosensible** (allgemein somatoafferente) Säule[14], aus der die sensiblen Trigeminuskerne hervorgehen,
- eine speziell somatoafferente Säule, die am weitesten dorsolateral liegt und sich zu den **Hör- und Gleichgewichtskernen** differenziert (Nuclei vestibulares und cochleares s. ▶ **Abb. 19.12**[14], [15]).

Wichtig für das Verständnis der Hirnnervenkerne ist somit, dass sie primär nach ihrer Funktion angeordnet sind und ihre Fasern sich auf unterschiedliche Hirnnerven verteilen können.

Im dorsalen Bereich des **Mesencephalons** (▶ **Abb. 19.14**) entsteht aus Flügelplattenmaterial das **Tectum**[3], das sich aus den oberen (**Colliculi superiores**) und unteren Hügeln (**Colliculi inferiores**) zusammensetzt, die gemeinsam die Vierhügelplatte (**Lamina tecti**) bilden. Ventral vom Aquädukt bilden Grundplattenzellen die Haube (**Tegmentum**[4]), zu welcher der somatomotorische Kern des N. oculomotorius (III)[15] gehört, außerdem sein viszeromotorischer Kern (Nucleus Edinger-Westphal[21]) sowie der somatomotorische Trochleariskern (IV). Der ebenfalls zum Tegmentum zählende **Nucleus ruber**[9] und die sich ventral von ihm entwickelnde **Substantia nigra**[6] werden wahrscheinlich sowohl aus Grund- als auch aus Flügelplattenmaterial gebildet. Die am weitesten ventral gelegenen Teile des Mesencephalons werden von Bündeln absteigender Fasern durchzogen, welche in ihrer Gesamtheit die Hirnschenkel (**Crura cerebri**[5]) bilden.

Während der frühen Entwicklung des **Prosencephalons**, aus dem später Di- und Telencephalon entstehen, stülpen sich lateral auf seinen beiden Seiten die **Augenbläschen** (s. ▶ **Abb. 19.2**[5]) aus. Durch Einfaltung entwickeln sie sich zu den **Augenbechern** mit einem äußeren Blatt, das sich zum Pigmentepithel der Augen differenziert, und einem inneren Blatt, welches die Netzhaut (Neuroretina) bildet. Dagegen bleiben die proximalen Anteile der Augenbläschen dünn und bilden den **Augenbecherstiel**. Nachdem Fortsätze der Retina-Ganglienzellen eingewachsen sind, differenziert sich der Augenbecherstiel zum Sehnerv (**N. opticus**). Als Derivat des Diencephalons besitzt er zentralnervöse Glia – bei ihm handelt es sich also um einen zentralnervösen Trakt mit allen hierfür typischen Eigenschaften, z. B. der mangelnden Regenerationsfähigkeit.

Auffälligstes Merkmal der Entwicklung des **Diencephalons** ist eine starke Größenzunahme seiner dorsalen Anteile und die Ausbildung eines großen Kerngebiets, des **Thalamus** (s. ▶ **Abb. 19.16**). Ventral hiervon entwickeln sich die **hypothala-**

mischen Kerne[16] und der **Subthalamus**[9]. Aus der diencephalen Deckplatte geht der **Epithalamus** hervor, der aus Epiphyse und Habenula besteht. Am Boden des Diencephalons entsteht eine Ausstülpung, die Richtung embryonale Mundbucht wächst. Sie verbindet sich mit einer Ausstülpung aus der Mundbucht, der Rathke-Tasche, und bildet mit ihr zusammen die **Hypophyse** (s. ▶ **Abb. 19.19**), deren **Hinterlappen** somit neuroektodermalen Ursprungs ist (Neurohypophyse).

Kraniopharyngeome sind gutartige, langsam wachsende Tumoren des ZNS, die 6–9 % aller soliden Tumoren des Kindesalters ausmachen. Sie nehmen ihren Ursprung von epithelialen Zellen der Rathke-Tasche und entwickeln sich aus Vorläuferzellen der Adenohypophyse. Die klinische Symptomatik der Kraniopharyngeome ergibt sich aus ihrer Lage in der Nachbarschaft des N. opticus, der Adeno- und Neurohypophyse, des Oro- und Nasopharynx sowie des III. Hirnnervs. Typisch sind Sehstörungen, hormonelle Ausfälle und Hirndrucksymptomatik.

Das **Telencephalon** entwickelt sich aus 2 seitlichen Ausstülpungen des Prosencephalons, den Endhirnbläschen. Eine beachtliche Größenzunahme ihrer basalen Anteile führt zur Bildung des **Ganglienhügels,** aus dem sich wichtige Basalkerne wie das **Striatum** entwickeln. Hingegen bleiben die lateralen und dorsalen Wände der Endhirnbläschen vergleichsweise dünn. Sie werden zur **Großhirnrinde** (Cortex cerebri). Deren größter Teil entwickelt einen komplexen sechsschichtigen Aufbau und wird als **Neocortex** bezeichnet. Nur die Cortexabschnitte am medialen Rand (Gyrus cinguli, Hippocampus, Gyrus hippocampi) behalten eine einfachere Schichtung. Als **Allocortex** werden sie zum **limbischen System** (s. ▶ **Abb. 19.50**) gezählt. Die außergewöhnlichen Fähigkeiten des menschlichen Gehirns beruhen von allem auf der enormen Expansion und komplexen Organisation des Neocortex (Neencephalisation). Sie wird anfangs durch eine starke Zellteilungsaktivität hervorgerufen, die bis nach der Geburt andauert.

Es gibt Untersuchungen, die dafür sprechen, dass vor allem im Hippocampus noch im Erwachsenenalter neue Nervenzellen gebildet werden, die eine Bedeutung für Lernen und Gedächtnis haben könnten.

Im Anschluss an die Zellproliferation wachsen Fortsätze aus, welche entweder als **Assoziationsfasern** Rindengebiete auf der gleichen Seite verbinden (s. ▶ **Abb. 19.21**), als **Kommissurenfasern** zur Gegenseite ziehen oder als **Projektionsfasern** die Großhirnrinde mit tieferen Hirn- (Diencephalon, Mesencephalon etc.) oder Rückenmarkregionen verbinden. Größte Kommissurenbahn ist der Balken (**Corpus callosum** s. ▶ **Abb. 19.20**[18]), der sich balkenförmig über die Seitenventrikel legt. Mehrere wichtige kortikale Projektionsbahnen (Pyramidenbahn, thalamokortikale Bahnen, Sehbahn) ziehen als **Capsula interna** (▶ **Abb. 19.22**[1]) durch die Anlage des Striatums und unterteilen sie so in einen medialen **Nucleus caudatus** (▶ **Abb. 19.22**[7]) und ein mehr laterales **Putamen** (▶ **Abb. 19.22**[8]). Seinen Namen hat der Streifenkörper (**Striatum**) erhalten, weil die Trennung in den anterioren Bereichen unvollständig ist und Nucleus caudatus und Putamen hier durch Streifen grauer Substanz miteinander verbunden sind (s. ▶ **Abb. 19.20b**[5]). Im Diencephalon trennt die Capsula interna das **Pallidum** vom Thalamus und von der Anlage des Subthalamus (s. ▶ **Abb. 19.16**[9]). Obwohl das Pallidum funktionell und anatomisch mit Nucleus caudatus und Putamen zu den Basalkernen zusammengefasst wird, ist es embryologisch also ein Zwischenhirnderivat.

Die Größe des Telencephalons nimmt allerdings nicht gleichmäßig zu. Aufgrund eines vergleichsweise geringeren Wachstums der lateralen Hemisphärenwand entsteht hier eine Einkerbung, die mit zunehmender Expansion der umgebenden Rindenareale tiefer wird (**Sulcus lateralis Sylvii**). Ihr Boden wird von der **Inselrinde** gebildet (s. ▶ **Abb. 19.2d**[17]). Im Verlauf der weiteren Entwicklung dehnt sich das Telencephalon vor allem nach vorne (frontal), hinten (okzipital) und unten (temporal) aus. Hierdurch entstehen (s. ▶ **Abb. 6.6**; ▶ **Abb. 19.23**):

- stirnwärts der **Frontallappen** mit dem Vorderhorn (**Cornu anterius ventriculi lateralis**, s. ▶ **Abb. 19.15**[42]) des Seitenventrikels,
- im Scheitelbereich der **Parietallappen** mit dem zentralen Teil des Seitenventrikels (**Pars centralis ventriculi lateralis**, s. ▶ **Abb. 19.15**[35]),
- am Hinterhaupt der **Okzipitallappen** mit dem Hinterhorn (**Cornu posterius ventriculi lateralis**, s. ▶ **Abb. 19.15**[36]),
- in der Schläfengegend der **Temporallappen** mit dem Unterhorn des Seitenventrikels (**Cornu inferius ventriculi lateralis**, s. ▶ **Abb. 19.15**[41]).

In vergleichbarer Weise bildet auch der **Nucleus caudatus** nach frontal einen Kopf (**Caput**) und nach temporal einen Schwanz (**Cauda**) aus (▶ **Abb. 19.20c**). Ebenso macht das limbische System diese Bewegung nach hinten und unten mit, sodass Randbögen an der Grenze zwischen Telencephalon und Diencephalon entstehen, die zum Beispiel aus Fornix und Hippocampus oder aus Gyrus cinguli und Gyrus parahippocampalis bestehen (▶ **Abb. 19.50**). Am Ende dieser enormen Größenzunahme hat sich das Telencephalon vollständig über das Diencephalon gelegt, sodass dieses auf der Seitenansicht des Gehirns nicht mehr erkennbar ist. Durch eine weitere Zellvermehrung faltet sich später die Rinde des Telencephalons auf, und es entstehen die charakteristischen Windungen (**Gyri**) und Furchen (**Sulci**).

An einigen Stellen bleibt die Wand des Neuralrohrs relativ dünn. Hier können sich Blutgefäße in den Ventrikel einstülpen (▶ **Abb. 19.3**[15]). Gemeinsam mit dem sie bedeckenden Neuroepithel bilden diese Gefäße die **Plexus choroidei**, Orte, an denen der **Liquor cerebrospinalis** gebildet wird. Plexus choroidei finden sich am Boden der beiden Seitenventrikel, im Dach des III. Ventrikels und im Dach des IV. Ventrikels kaudal vom Cerebellum (▶ **Abb. 19.3**[15]; s. auch ▶ **Abb. 19.56**).

Die Bildung der Markscheiden (**Myelinisierung**, s. ▶ **Abb. 6.3**) erstreckt sich über einen relativ langen Zeitraum. Sie beginnt im peripheren Nervensystem etwa in der 15. Schwangerschaftswoche und endet erst mehrere Jahre nach der Geburt. So ist die Myelinisierung der Pyramidenbahn erst im Alter von etwa 2 Jahren abgeschlossen. Vorher ist das Babinski-Zeichen (S. 514) bei Kindern noch positiv.

19.2 Rückenmark

Das **Rückenmark** stellt die Verbindung zwischen dem Gehirn und dem Körper unterhalb des Kopfs her. Seine graue Substanz enthält **Wurzelzellen** zur Innervation der Muskulatur, **Interneurone** zur Verschaltung von Reflexen und **Strangzellen** zur Bildung aufsteigender Bahnen. In der weißen Substanz liegen aufsteigende (**sensible**) und absteigende (**motorische**) **Bahnen**. Sensible Impulse, die Tastsinn, Temperaturempfindung und Schmerz vermitteln, erreichen das Rückenmark über die Spinalnerven und werden zum Gehirn weitergeleitet, wo die eigentliche Empfindung entsteht. Desgleichen nehmen Willkürbewegungen im Gehirn ihren Ursprung. Die Erregung wird über das Rückenmark an die Spinalnerven weitergeleitet, die die entsprechenden Muskeln innervieren. Verletzungen des Rückenmarks können aufgrund einer Durchtrennung von auf- und absteigenden Bahnen zu ausgedehnten **Sensibilitätsausfällen** und **Lähmungen** führen (**Querschnittsymptomatik**).

19.2.1 Lage und segmentale Gliederung des Rückenmarks

Das Rückenmark (**Medulla spinalis**), das kaudale Ende des ZNS, ist ein etwa 45 cm langer, zylinderförmiger Strang, der im Wirbelkanal liegt (▶ **Abb. 19.4**). Kranial beginnt es auf Höhe des Foramen occipitale magnum des Os occipitale, wo es in die Medulla oblongata des Gehirns übergeht. Sein kaudales Ende spitzt sich in Höhe des 1.–2. Lendenwirbels zum **Conus medullaris**[5] zu, der über einen bindegewebigen Faden (**Filum terminale**[7]) mit der Hinterfläche des Os coccygis verbunden ist. Dorsal ist das Rückenmark von einer flachen Furche (**Sulcus medianus posterior**) eingekerbt, ventral von der tiefen **Fissura mediana anterior**, in der die A. spinalis anterior verläuft.

In 2 Bereichen, die für die Innervation von Hals und Extremitäten verantwortlich sind, ist das Rückenmark zu **Intumescentiae** verdickt. An der **Intumescentia cervicalis**[3] (C 3–Th 2) entspringen die Wurzeln des unteren Teils des Plexus cervicalis und des Plexus brachialis, an der **Intumescentia lumbosacralis**[4] (L 1–S 3) die Wurzeln des Plexus lumbosacralis.

In vergleichbarer Weise bildet auch der **Nucleus caudatus** nach frontal einen Kopf (**Caput**) und nach temporal einen Schwanz (**Cauda**) aus (▶ **Abb. 19.20c**). Ebenso macht das limbische System diese Bewegung nach hinten und unten mit, sodass Randbögen an der Grenze zwischen Telencephalon und Diencephalon entstehen, die zum Beispiel aus Fornix und Hippocampus oder aus Gyrus cinguli und Gyrus parahippocampalis bestehen (▶ **Abb. 19.50**). Am Ende dieser enormen Größenzunahme hat sich das Telencephalon vollständig über das Diencephalon gelegt, sodass dieses auf der Seitenansicht des Gehirns nicht mehr erkennbar ist. Durch eine weitere Zellvermehrung faltet sich später die Rinde des Telencephalons auf, und es entstehen die charakteristischen Windungen (**Gyri**) und Furchen (**Sulci**).

An einigen Stellen bleibt die Wand des Neuralrohrs relativ dünn. Hier können sich Blutgefäße in den Ventrikel einstülpen (▶ **Abb. 19.3**[15]). Gemeinsam mit dem sie bedeckenden Neuroepithel bilden diese Gefäße die **Plexus choroidei**, Orte, an denen der **Liquor cerebrospinalis** gebildet wird. Plexus choroidei finden sich am Boden der beiden Seitenventrikel, im Dach des III. Ventrikels und im Dach des IV. Ventrikels kaudal vom Cerebellum (▶ **Abb. 19.3**[15]; s. auch ▶ **Abb. 19.56**).

Die Bildung der Markscheiden (**Myelinisierung**, s. ▶ **Abb. 6.3**) erstreckt sich über einen relativ langen Zeitraum. Sie beginnt im peripheren Nervensystem etwa in der 15. Schwangerschaftswoche und endet erst mehrere Jahre nach der Geburt. So ist die Myelinisierung der Pyramidenbahn erst im Alter von etwa 2 Jahren abgeschlossen. Vorher ist das Babinski-Zeichen (S. 514) bei Kindern noch positiv.

19.2 Rückenmark

Das **Rückenmark** stellt die Verbindung zwischen dem Gehirn und dem Körper unterhalb des Kopfs her. Seine graue Substanz enthält **Wurzelzellen** zur Innervation der Muskulatur, **Interneurone** zur Verschaltung von Reflexen und **Strangzellen** zur Bildung aufsteigender Bahnen. In der weißen Substanz liegen aufsteigende (**sensible**) und absteigende (**motorische**) **Bahnen**. Sensible Impulse, die Tastsinn, Temperaturempfindung und Schmerz vermitteln, erreichen das Rückenmark über die Spinalnerven und werden zum Gehirn weitergeleitet, wo die eigentliche Empfindung entsteht. Desgleichen nehmen Willkürbewegungen im Gehirn ihren Ursprung. Die Erregung wird über das Rückenmark an die Spinalnerven weitergeleitet, die die entsprechenden Muskeln innervieren. Verletzungen des Rückenmarks können aufgrund einer Durchtrennung von auf- und absteigenden Bahnen zu ausgedehnten **Sensibilitätsausfällen** und **Lähmungen** führen (**Querschnittsymptomatik**).

19.2.1 Lage und segmentale Gliederung des Rückenmarks

Das Rückenmark (**Medulla spinalis**), das kaudale Ende des ZNS, ist ein etwa 45 cm langer, zylinderförmiger Strang, der im Wirbelkanal liegt (▶ **Abb. 19.4**). Kranial beginnt es auf Höhe des Foramen occipitale magnum des Os occipitale, wo es in die Medulla oblongata des Gehirns übergeht. Sein kaudales Ende spitzt sich in Höhe des 1.–2. Lendenwirbels zum **Conus medullaris**[5] zu, der über einen bindegewebigen Faden (**Filum terminale**[7]) mit der Hinterfläche des Os coccygis verbunden ist. Dorsal ist das Rückenmark von einer flachen Furche (**Sulcus medianus posterior**) eingekerbt, ventral von der tiefen **Fissura mediana anterior**, in der die A. spinalis anterior verläuft.

In 2 Bereichen, die für die Innervation von Hals und Extremitäten verantwortlich sind, ist das Rückenmark zu **Intumescentiae** verdickt. An der **Intumescentia cervicalis**[3] (C 3–Th 2) entspringen die Wurzeln des unteren Teils des Plexus cervicalis und des Plexus brachialis, an der **Intumescentia lumbosacralis**[4] (L 1–S 3) die Wurzeln des Plexus lumbosacralis.

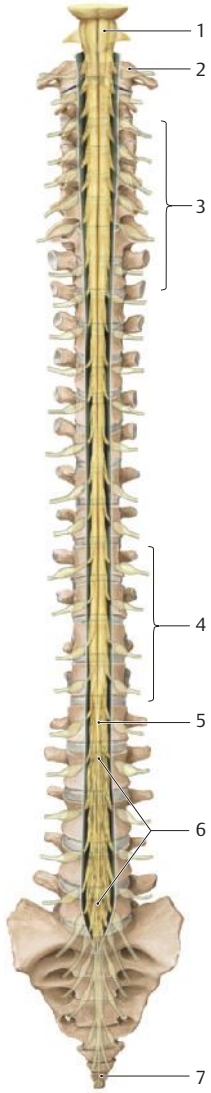


Abb. 19.4 Lage des Rückenmarks im Wirbelkanal.
Ansicht von ventral mit eröffnetem Wirbelkanal.
1 Medulla oblongata
2 Atlas
3 Intumescentia cervicalis
4 Intumescentia lumbosacralis
5 Conus medullaris
6 Cauda equina
7 Filum terminale
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Dorsal ziehen feine sensible Wurzelfasern (**Fila radicularia**) ins Rückenmark, ventral treten motorische Wurzelfasern aus (▶ **Abb. 19.5**). Diese Fasern bilden die vordere und hintere Wurzel der Spinalnerven und vereinigen sich etagenweise in den Foramina intervertebralia zu den gemischten Spinalnerven (**Nn. spinales**[4]).

Während der frühen Entwicklung (pränatal) reicht das Rückenmark noch bis zum Ende des Wirbelkanals, und der Abgang der Fila radicularia liegt auf gleicher Höhe wie die zugehörigen Foramina intervertebralia. Da das Rückenmark aber während der weiteren Entwicklung langsamer wächst als die Wirbelsäule, endet es beim Erwachsenen bereits auf Höhe des 1.–2. Lendenwirbels. Deshalb verlaufen die Wurzeln der lumbalen und sakralen Spinalnerven bis zu ihrem Austritt aus den zugehörigen Foramina intervertebralia eine längere Strecke im Wirbelkanal (s. ▶ **Abb. 6.7**). Diese Ansammlung von Wurzelfasern unterhalb des Conus medullaris heißt Pferdeschwanz (**Cauda equina**, s. ▶ **Abb. 19.4**[6]).

Derjenige Bereich des Rückenmarks, aus dem die Wurzeln eines Spinalnervs entspringen, wird als ein **Segment** bezeichnet. Ein Rückenmarkssegment ist für die Innervation je eines Dermatoms und eines Myotoms verantwortlich. Das Rückenmark besteht aus 8 zervikalen, 12 thorakalen, 5 lumbalen, 5 sakralen und 1 kokzygealen, insgesamt also 31 Segmenten.

Das **Konussyndrom** ist eine Schädigung des Rückenmarks unterhalb des 3. sakralen Segments (S 3), bedingt durch einen massiven Vorfall des Nucleus pulposus einer Bandscheibe, Tumoren, Durchblutungsstörungen oder eine Wirbelfraktur. Ist nur der Conus medullaris geschädigt, treten Blaseninkontinenz (ständiges Harnträufeln), Mastdarminkontinenz, Impotenz und sensible Ausfälle in den Segmenten S 3-5 (Reithosenanästhesie) auf. Häufig werden zusätzlich die neben dem Conus medullaris verlaufenden kaudalen Spinalnervenwurzeln geschädigt (Kaudasyndrom).

Das **Kaudasyndrom** ist Folge einer Schädigung der lumbalen und sakralen Wurzeln der Spinalnerven (Cauda equina). Ursachen eines isolierten Kaudasyndroms können ein Bandscheibenvorfall oder ein Tumor sein. Dies hat zunächst heftige Schmerzen im Ausbreitungsbebiet des N. ischiadicus und in der Blase zur Folge. Später kommen Sensibilitätsausfälle und schlaffe Lähmungen in den Beinen sowie Impotenz, Blasen- und Mastdarminkontinenz hinzu.

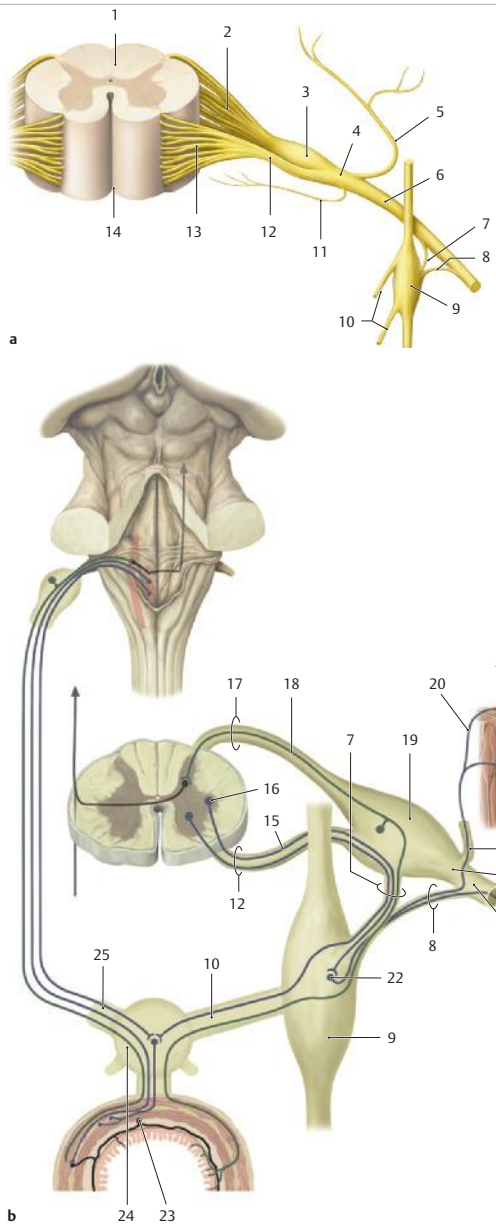


Abb. 19.5 Aufbau eines Rückenmarkssegments (a), Faserverlauf des vegetativen Nervensystems (b).

1 Sulcus medianus posterior
2 Fila radicularia radicis posterioris
3 Radix posterior mit Spinalganglion
4 Spinalnerv
5 R. posterior
6 R. anterior
7 R. communicans albus
8 R. communicans griseus
9 Ganglion trunci sympathici
10 Nn. splanchnici
11 R. meningeus
12 Radix anterior
13 Fila radicularia radicis anterioris
14 Fissura mediana anterior
15 präganglionäres sympathisches Axon
16 erstes (präganglionäres) sympathisches Neuron im Seitenhorn
17 Radix posterior
18 afferentes Axon
19 Spinalganglion
20 postganglionäres sympathisches Axon
21 glatte Muskulatur in Blutgefäßen
22 zweites (postganglionäres) sympathisches Neuron im Grenzstrang (Truncus sympathicus)
23 intramurale Ganglien
24 prävertebrales Ganglion
25 N. vagus

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

19.2.2 Rückenmarkquerschnitt

Im Rückenmark liegen die Zellkörper der Nervenzellen innen und bilden die schmetterlingsförmige graue Substanz (**Substantia grisea**), während die langen Axone außen in der weißen Substanz (**Substantia alba**) verlaufen. Grundsätzlich unterscheidet man im Rückenmark 3 Arten von Nervenzellen:

- **Wurzelzellen**, deren Fortsätze über die Vorderwurzel des Spinalnervs das Rückenmark verlassen (sie können somatomotorisch oder viszeromotorisch sein),

- Zellen des **Eigenapparats** (**Interneurone**), die über ein kurzes Axon lokal eng begrenzte Verbindungen herstellen (z. B. Reflexe),
- **Strangzellen** mit langen Axonen, welche in den Strängen der weißen Substanz gebündelt verlaufen und als Projektionsbahnen zu höheren Zentren ziehen.

Der Begriff **„Binnenzelle“** wird unterschiedlich verwendet. Einige Lehrbücher fassen Interneurone und Strangzellen zu Binnenzellen zusammen, weil ihre Axone im ZNS verbleiben, andere verwenden „Binnenzellen“ synonym mit Interneuronen.

Graue Substanz des Rückenmarks

Die graue Substanz (▶ **Abb. 19.6**) lässt sich beidseits in ein Vorderhorn (**Cornu anterius**[10]) und ein Hinterhorn (**Cornu posterius**[12]) untergliedern; beide sind in der Mittellinie über die schmale **Commissura grisea** verbunden. Sie wird durch den Zentralkanal in einen vorderen und hinteren Anteil (Commissura grisea anterior[4] und posterior[13]) unterteilt.

Im Thorakal- und oberen Lumbalmark (Th 1–L 2) sowie im Sakralmark (S 2–4) gibt es außerdem ein Seitenhorn, **Cornu laterale**[11]. Dreidimensional betrachtet bilden die Hörner Zellsäulen (**Columnae griseae**), die Columna anterior, lateralis und posterior.

Das **Vorderhorn**[10] steht im Dienst der **Motorik**, hier liegen die Zellkörper der somatomotorischen Wurzelzellen, die die quergestreifte Skelettmuskulatur (α-Motoneurone) und die intrafusale Muskulatur der Muskelspindeln (γ-Motoneurone) innervieren. Ihre Axone verlassen als vordere Wurzelfasern (**Fila radicularia radicis anterioris**) das Rückenmark und bilden die vordere Wurzel des Spinalnervs.

Das Vorderhorn lässt sich nach funktionellen Gesichtspunkten in 3 Zellgruppen untergliedern. Die **mediale Gruppe**[5] innerviert die Skelettmuskulatur von Hals und Rumpf einschließlich der Interkostal- und Bauchmuskulatur. Die **zentrale Gruppe** ist am kleinsten und ist nur in einigen Bereichen des Zervikal- und Lumbalmarks vorhanden. Im Zervikalmark enthält sie einerseits Neurone, die das Zwerchfell innervieren (Nucleus phrenicus), andererseits solche, welche den M. sternocleidomastoideus und M. trapezius innervieren und die als Nucleus spinalis n. accessorii bezeichnet werden. Deren Fasern bilden den spinalen Anteil des N. accessorius (XI, s. ▶ **Abb. 20.29**[1]). Die **laterale Gruppe**[9] im Zervikal- und Lumbosakralmark ist für die Innervation der Extremitäten zuständig.

Sowohl für die laterale als auch für die mediale Zellgruppe gilt, dass die ventral liegenden Motoneurone die Streckmuskulatur innervieren (▶ **Abb. 19.6**[10] **blau**), während die für die Innervati-

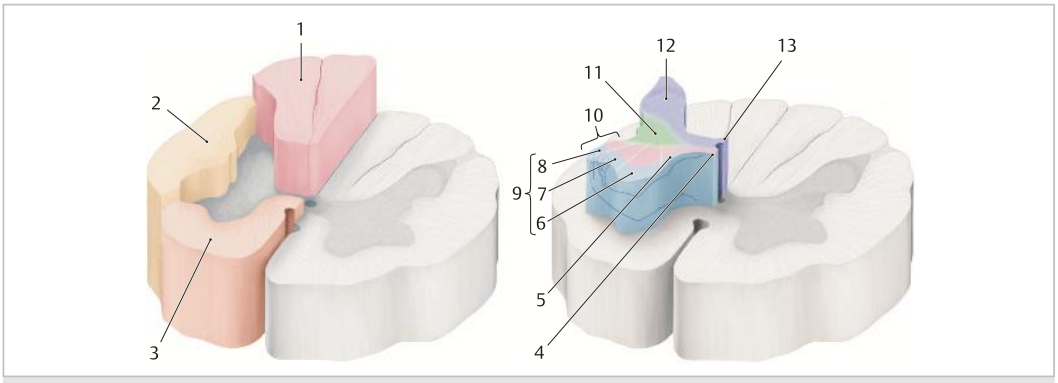


Abb. 19.6 Weiße (links) und graue (rechts) Substanz des Rückenmarks.

1 Funiculus posterior
2 Funiculus lateralis
3 Funiculus anterior
4 Commissura grisea anterior
5 mediale Kerngruppe
6 Schulter/Oberarm
7 Unterarm/Hand
8 Finger
9 laterale Kerngruppe
10 Cornu anterius = Columna anterior (blau: Neurone der Streckmuskulatur, rot: Neurone der Beugemuskulatur)
11 Cornu laterale = Columna lateralis
12 Cornu posterius = Columna posterior
13 Commissura grisea posterior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

on der Beugemuskulatur zuständigen Motoneurone (▶ **Abb. 19.6[10] rot**) weiter dorsal liegen.

Verletzungen einer **motorischen Vorderhornzelle** oder ihres Axons führen zu einem Ausfall aller von diesem Motoneuron innervierten quergestreiften Muskelfasern (motorische Einheit). Die betroffene Muskulatur ist gelähmt, ihr Tonus ist vermindert (Hypotonie) und die Reflexe sind ausgefallen. Dies wird als **schlaffe Lähmung** bezeichnet („periphere" Lähmung).

Bei der **Poliomyelitis** handelt es sich um eine virale Infektion der motorischen Vorderhornzellen. Schädigung und Untergang der Motoneurone durch das Poliovirus führen zu einer schlaffen Lähmung der zugehörigen motorischen Einheiten. Da Nervenzellen nicht regenerieren können, bleiben die Lähmungen nach Ende der Infektion lebenslang bestehen.

Spinale Muskelatrophien sind eine Gruppe von Erkrankungen, bei denen der Untergang der Motoneurone genetisch bedingt ist. Die Patienten entwickeln sich zunächst normal, im Kinder- oder frühen Erwachsenenalter treten dann schlaffe Lähmungen auf, die im weiteren Verlauf an Schwere zunehmen, bis die Betroffenen letztlich an Atemlähmung versterben.

Im **Seitenhorn** (▶ **Abb. 19.5[15]**; ▶ **Abb. 19.6[11]**) (Th 1–L 2) liegen die Zellkörper der **sympathischen Nervenzellen**, deren Fortsätze als präganglionäre Fasern ▶ **Abb. 19.5[16]** über die vordere Wurzel[12] zum Spinalnerven ziehen und diesen als myelinisierter (aufgrund der Markscheiden weiß gefärbter) R. communicans albus[7] mit den sympathischen Grenzstrangganglien[9] verbinden. Nach synaptischer Umschaltung[19] im Grenzstrang (Truncus sympathicus) ziehen die postganglionären Fasern im unmyelinisierten (daher grau gefärbten) R. communicans griseus[8] zum Spinalnerv[4] zurück und folgen ihm und seinen Ästen bis in die Peripherie, wo sie Schweißdrüsen und die glatte Muskulatur der Blutgefäße[21] mit sympathischen Fasern[20] versorgen. Im Sakralmark (S 2–4) entspringen hier die präganglionären Fasern des **sakralen Parasympathicus**.

Das **Hinterhorn**[12] steht im Dienste der **Sensibilität**. Die ältere Gliederung des Hinterhorns in Lamina marginalis, Substantia gelatinosa, Nucleus proprius und Nucleus thoracicus ist mittlerweise durch die zytoarchitektonische **Gliederung von Rexed** ersetzt worden, die die gesamte graue Substanz in 10 Laminae unterteilt (▶ **Abb. 19.7**).

Lamina I nach Rexed liegt am weitesten außen und umfasst die Lamina marginalis[1]. Lamina II und Teile von Lamina III entsprechen der Substantia gelatinosa[2]. Lamina IV und Teile von Lamina III bilden den Nucleus proprius[3]. Lamina V und VI schließen sich nach ventral an. Lamina VII enthält

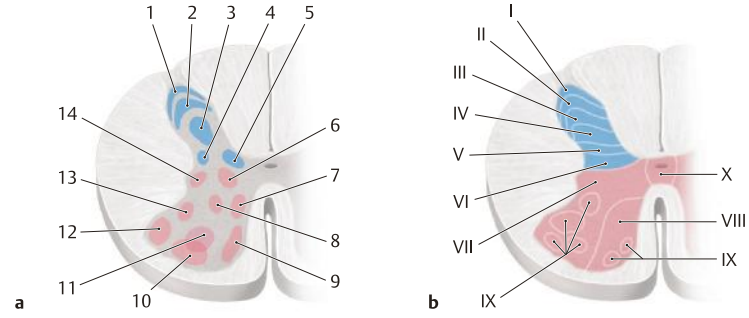


Abb. 19.7 Bezeichnung der Kerngruppen (a) und Schichtengliederung nach Rexed (b) im Lumbalmark.

1 Lamina (= Nucleus) marginalis (Apex cornus posterioris)
2 Substantia gelatinosa (Caput cornus posterioris)
3 Nucleus proprius (Cervix cornus posterioris)
4 Substantia visceralis secundaria
5 Nucleus thoracicus
6 Nucleus intermediomedialis
7 Nucleus posteromedialis
8 Nucleus centralis
9 Nucleus anteromedialis
10 Nucleus anterolateralis
11 Nucleus lumbosacralis
12 Nucleus posterolateralis
13 Nucleus retroposterolateralis
14 Nucleus intermediolateralis

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

den Nucleus thoracicus[5]. Lamina VIII und IX liegen im Vorderhorn. Lamina X umfasst die Commissura grisea.

In der Mitte der Commissura grisea liegt der **Zentralkanal**, ein etwa 0,1 mm weiter, mit Liquor cerebrospinalis gefüllter Teil des Ventrikelsystems. Kranial geht er in Höhe der Medulla oblongata in den IV. Ventrikel über, nach kaudal ist er verschlossen und endet auf Höhe des Conus medullaris in einer spindelförmigen Erweiterung, dem Ventriculus terminalis. Der Zentralkanal kann abschnittsweise obliteriert sein.

Weiße Substanz des Rückenmarks

Die weiße Substanz wird in 3 Stränge (**Funiculi**) unterteilt (▶ **Abb. 19.6**):

- Vorderstrang (**Funiculus anterior**[3]) zwischen der Fissura mediana anterior und dem Ursprung der vorderen Wurzelfasern,
- Seitenstrang (**Funiculus lateralis**[2]) zwischen den vorderen Wurzelfasern und dem Eintritt der hinteren Wurzelfasern,
- Hinterstrang (**Funiculus posterior**[1]) zwischen hinteren Wurzelfasern und Sulcus medianus posterior.

Innerhalb dieser Stränge verlaufen folgende Faserzüge (▶ **Abb. 19.8**):

Im **Vorderstrang** finden sich der sensible Tractus spinothalamicus anterior[8], der Tractus vestibulospinalis[13], der Tractus reticulospinalis[12], der Tractus tectospinalis[11] und der Pyramidenvorderstrang Tractus corticospinalis anterior[10].

Im **Seitenstrang** liegen unter anderem die beiden Kleinhirnseitenstränge Tractus spinocerebellaris posterior[4] und anterior[5] (Propriozeption), der sensible Tractus spinothalamicus lateralis[7] (Schmerzbahn), der Tractus rubrospinalis[14] und der Pyramiden-Seitenstrang Tractus corticospinalis lateralis[15], die wichtigste motorische Bahn (Pyramidenbahn).

Im **Hinterstrang**[3] verlaufen die aufsteigenden Bahnen der epikritischen und propriozeptiven Sensibilität. Der medial gelegene Fasciculus gracilis[1] enthält Fasern aus der unteren Körperhälfte, im lateralen Fasciculus cuneatus[2] ist die obere Körperhälfte repräsentiert.

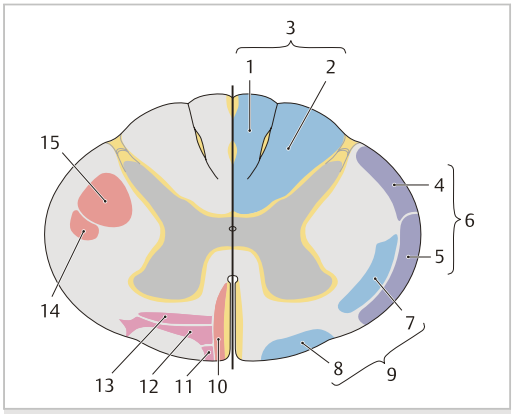


Abb. 19.8 Gliederung der weißen Substanz des Rückenmarks. Absteigende (links) und aufsteigende (rechts) Bahnen sowie Grundbündel (Fasciculus proprius, gelb).

1 Fasciculus gracilis
2 Fasciculus cuneatus
3 Hinterstrangbahnen
4 Tractus spinocerebellaris posterior
5 Tractus spinocerebellaris anterior
6 Kleinhirnseitenstrangbahnen
7 Tractus spinothalamicus lateralis
8 Tractus spinothalamicus anterior
9 anterolaterales System
10 Tractus corticospinalis anterior
11 Tractus tectospinalis
12 Tractus reticulospinalis
13 Tractus vestibulospinalis
14 Tractus rubrospinalis
15 Tractus corticospinalis lateralis

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

19.2.3 Reflexbögen

Neben der Weiterleitung von Information über die langen Trakte und der Steuerung von Muskelbewegungen durch die motorischen Vorderhornzellen besteht die Aufgabe des Rückenmarks darin, sensible Afferenzen und motorische Efferenzen zu Reflexbögen zu verschalten (s. ▶ **Abb. 19.33**).

Der einfachste Reflex ist der **Muskeleigenreflex**, der dazu führt, dass ein Muskel auf Zug von außen mit Verkürzung reagiert. Beispiel ist der Patellarsehnenreflex, bei dem ein kurzer Schlag mit dem Reflexhammer auf die Patellarsehne den M. quadriceps femoris dehnt. Hierdurch werden Muskelspindeln erregt und als Antwort darauf kontrahiert sich der gleiche Muskel.

Beim **polysynaptischen Fremdreflex** liegen die Rezeptoren nicht im Muskel, sondern in Haut, Bändern oder Gelenken. Die beteiligten Neurone sind über Interneurone miteinander verschaltet, deren Axone zum Teil über mehrere Segmente auf- und absteigen. Ein Beispiel für einen Fremdreflex ist der Flexorreflex, bei dem ein schmerzhafter Reiz an der Fußsohle zu einer Flexion aller Gelenke des Beins führt.

Die Zusammenfassung solcher im Rückenmark verlaufender Leitungsbahnen des Eigenapparats, die spinale Reflexe koordinieren, wird als Grundbündel (**Fasciculus proprius**) bezeichnet und befindet sich vorwiegend zwischen grauer und weißer Substanz (▶ **Abb. 19.8 gelb**).

Eine komplette Durchtrennung des Rückenmarks wird als **Querschnittlähmung** bezeichnet. Die Symptomatik beruht weitgehend auf der Unterbrechung der langen motorischen und sensiblen Bahnen, in weit geringerem Maße auch auf der Verletzung motorischer Vorderhornzellen. Unterhalb der Verletzungsstelle treten zuerst eine **schlaffe Lähmung** und ein Ausfall aller sensiblen Qualitäten auf (**spinaler Schock**). Außerdem kommt es zu einem Verlust der Blasen- und Mastdarmfunktion sowie zu Impotenz.

Nach Tagen bis Wochen entwickelt sich dann in dem gelähmten Bereich eine **spastische Lähmung,** die auf einer stark erhöhten Empfindlichkeit der **Muskeleigenreflexe** beruht („zentrale" Lähmung). Die Reflexantwort ist deutlich stärker als beim Gesunden, der **Muskeltonus** ist **erhöht**. Außerdem sind **pathologische Reflexe** auslösbar wie z. B. der Babinski-Reflex: Gesunde Erwachsene reagieren auf ein Bestreichen der lateralen Fußsole mit einer Beugung der großen Zehe. Nach Durchtrennung der absteigenden motorischen Bahnen wird dieser Reiz mit einer Überstreckung der großen Zehe und Spreizen der Zehen beantwortet (positives **Babinski Zeichen**). Für das Entstehen der Spastik werden verschiedene Mechanismen verantwortlich gemacht: Durchtrennung absteigender inhibitorischer retikulospinaler Bahnen (S. 580), Überempfindlichkeit der denervierten Neuronen sowie Aussprossens von Kollateralen aus unverletzten Axonen, welche die wegen der Verletzung absteigender Axone frei gewordenen Synapsen neu besetzen.

Querschnittlähmungen oberhalb des 3. Halswirbels sind in der Regel tödlich, weil die Atmung aufgrund einer Lähmung des Zwerchfells (N. phrenicus) und der Interkostalmuskulatur (Nn. intercostales) ausfällt. Nur eine lebenslange Beatmung kann in diesen Fällen das Leben erhalten.

19.3 Hirnstamm

Der Hirnstamm setzt sich aus **Medulla oblongata**, **Brücke** und **Mesencephalon** zusammen. In der Medulla oblongata liegen die **Pyramiden** (eine Zusammenfassung motorischer Fasern aus der Hirnrinde), die **Oliven** (Schaltstation am Eingang ins Kleinhirn) und die **Hinterstrangkerne** (Umschaltung von aufsteigenden Tastfasern). Hier findet sich auch das **Atem-** und **Kreislaufzentrum**. Die Brücke enthält Kerne, in welchen Fasern auf dem Weg vom Großhirn ins Kleinhirn umgeschaltet werden. Im Mesencephalon liegt dorsal das **Tectum** (Vierhügelplatte), das aus den **Colliculi superiores** und **inferiores** besteht. Ventral von ihm liegen das Tegmentum mit dem Nucleus ruber und die Substantia nigra. Die ventral gelegenen **Crura cerebri** enthalten wichtige absteigende Bahnen, die aus dem Großhirn ins Kleinhirn und ins Rückenmark ziehen. Außerdem liegen im gesamten Hirnstamm **Hirnnervenkerne** und die **Formatio reticularis**.

Das Gehirn gliedert man grob in 3 große Teile (▶ **Abb. 19.9**): Hirnstamm (**Truncus cerebri**[8]), Kleinhirn (**Cerebellum**[5]) und Vorderhirn (**Prosencephalon**[7]). Zum Hirnstamm werden das Mittelhirn (**Mesencephalon**[3]), die Brücke (**Pons**[4]) und das verlängerte Mark (**Medulla oblongata**[6]) gerechnet. Er enthält die Kerne der Hirnnerven III–XII, die Formatio reticularis (S. 578) und zahlreiche auf- und absteigende Bahnen. Kleinhirn und Brücke bilden gemeinsam das Nachhirn (**Metencephalon**[10]).

Beim **polysynaptischen Fremdreflex** liegen die Rezeptoren nicht im Muskel, sondern in Haut, Bändern oder Gelenken. Die beteiligten Neurone sind über Interneurone miteinander verschaltet, deren Axone zum Teil über mehrere Segmente auf- und absteigen. Ein Beispiel für einen Fremdreflex ist der Flexorreflex, bei dem ein schmerzhafter Reiz an der Fußsohle zu einer Flexion aller Gelenke des Beins führt.

Die Zusammenfassung solcher im Rückenmark verlaufender Leitungsbahnen des Eigenapparats, die spinale Reflexe koordinieren, wird als Grundbündel (**Fasciculus proprius**) bezeichnet und befindet sich vorwiegend zwischen grauer und weißer Substanz (▶ **Abb. 19.8 gelb**).

Eine komplette Durchtrennung des Rückenmarks wird als **Querschnittlähmung** bezeichnet. Die Symptomatik beruht weitgehend auf der Unterbrechung der langen motorischen und sensiblen Bahnen, in weit geringerem Maße auch auf der Verletzung motorischer Vorderhornzellen. Unterhalb der Verletzungsstelle treten zuerst eine **schlaffe Lähmung** und ein Ausfall aller sensiblen Qualitäten auf (**spinaler Schock**). Außerdem kommt es zu einem Verlust der Blasen- und Mastdarmfunktion sowie zu Impotenz.

Nach Tagen bis Wochen entwickelt sich dann in dem gelähmten Bereich eine **spastische Lähmung,** die auf einer stark erhöhten Empfindlichkeit der **Muskeleigenreflexe** beruht („zentrale" Lähmung). Die Reflexantwort ist deutlich stärker als beim Gesunden, der **Muskeltonus** ist **erhöht**. Außerdem sind **pathologische Reflexe** auslösbar wie z. B. der Babinski-Reflex: Gesunde Erwachsene reagieren auf ein Bestreichen der lateralen Fußsole mit einer Beugung der großen Zehe. Nach Durchtrennung der absteigenden motorischen Bahnen wird dieser Reiz mit einer Überstreckung der großen Zehe und Spreizen der Zehen beantwortet (positives **Babinski Zeichen**). Für das Entstehen der Spastik werden verschiedene Mechanismen verantwortlich gemacht: Durchtrennung absteigender inhibitorischer retikulospinaler Bahnen (S. 580), Überempfindlichkeit der denervierten Neuronen sowie Aussprossens von Kollateralen aus unverletzten Axonen, welche die wegen der Verletzung absteigender Axone frei gewordenen Synapsen neu besetzen.

Querschnittlähmungen oberhalb des 3. Halswirbels sind in der Regel tödlich, weil die Atmung aufgrund einer Lähmung des Zwerchfells (N. phrenicus) und der Interkostalmuskulatur (Nn. intercostales) ausfällt. Nur eine lebenslange Beatmung kann in diesen Fällen das Leben erhalten.

19.3 Hirnstamm

Der Hirnstamm setzt sich aus **Medulla oblongata**, **Brücke** und **Mesencephalon** zusammen. In der Medulla oblongata liegen die **Pyramiden** (eine Zusammenfassung motorischer Fasern aus der Hirnrinde), die **Oliven** (Schaltstation am Eingang ins Kleinhirn) und die **Hinterstrangkerne** (Umschaltung von aufsteigenden Tastfasern). Hier findet sich auch das **Atem-** und **Kreislaufzentrum**. Die Brücke enthält Kerne, in welchen Fasern auf dem Weg vom Großhirn ins Kleinhirn umgeschaltet werden. Im Mesencephalon liegt dorsal das **Tectum** (Vierhügelplatte), das aus den **Colliculi superiores** und **inferiores** besteht. Ventral von ihm liegen das Tegmentum mit dem Nucleus ruber und die Substantia nigra. Die ventral gelegenen **Crura cerebri** enthalten wichtige absteigende Bahnen, die aus dem Großhirn ins Kleinhirn und ins Rückenmark ziehen. Außerdem liegen im gesamten Hirnstamm **Hirnnervenkerne** und die **Formatio reticularis**.

Das Gehirn gliedert man grob in 3 große Teile (▶ **Abb. 19.9**): Hirnstamm (**Truncus cerebri**[8]), Kleinhirn (**Cerebellum**[5]) und Vorderhirn (**Prosencephalon**[7]). Zum Hirnstamm werden das Mittelhirn (**Mesencephalon**[3]), die Brücke (**Pons**[4]) und das verlängerte Mark (**Medulla oblongata**[6]) gerechnet. Er enthält die Kerne der Hirnnerven III–XII, die Formatio reticularis (S. 578) und zahlreiche auf- und absteigende Bahnen. Kleinhirn und Brücke bilden gemeinsam das Nachhirn (**Metencephalon**[10]).

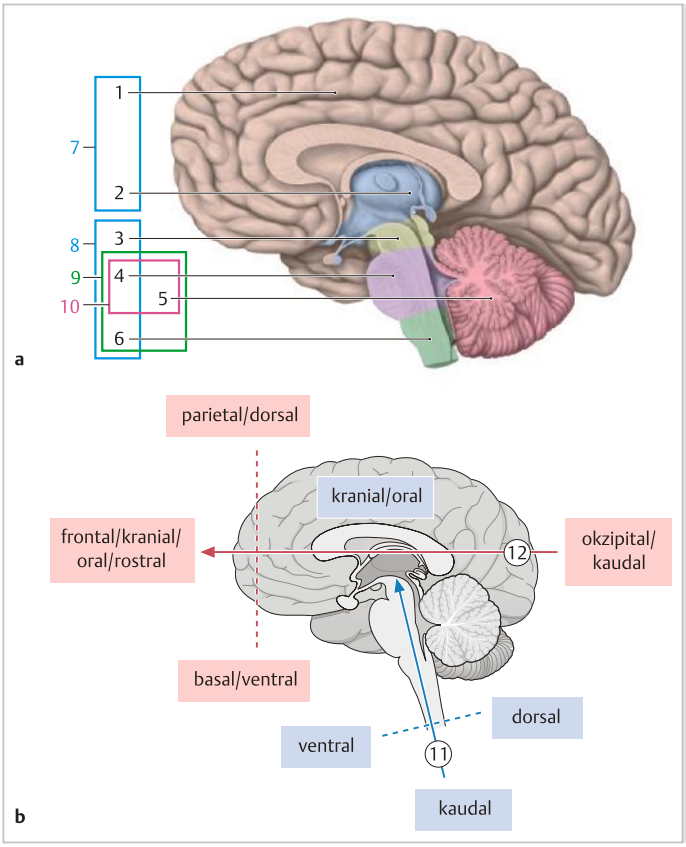


Abb. 19.9 Gliederung des Gehirns (a) und **Richtungsbezeichnungen** (b).
1 Endhirn (Telencephalon)
2 Zwischenhirn (Diencephalon)
3 Mittelhirn (Mesencephalon)
4 Brücke (Pons)
5 Kleinhirn (Cerebellum)
6 Myelencephalon (= Medulla oblongata)
7 Vorderhirn (Prosencephalon)
8 Hirnstamm (Truncus cerebri)
9 Rautenhirn (Rhombencephalon)
10 Nachhirn (Metencephalon)
11 Meynert-Achse
12 Forel-Achse
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

19.3.1 Medulla oblongata

Die **Medulla oblongata** (Myelencephalon, Bulbus) verbindet das Rückenmark mit der Brücke (▶ **Abb. 19.10**). Kaudal umschließt sie den Zentralkanal (**„geschlossene" Medulla**), ihre kraniale Hälfte (**„offene" Medulla**) bildet den unteren Teil des Bodens des IV. Ventrikels (**Rautengrube**, Fossa rhomboidea[34]). Die Grenze zwischen beiden bildet der **Obex**[32], das spitz zulaufende kaudale Ende des IV. Ventrikels.

Von außen sind ventral die **Pyramiden**[5] erkennbar, welche die wichtigste motorische Bahn, den **Tractus pyramidalis** („Pyramidenbahn") enthalten, sowie die Pyramidenkreuzung (**Decussatio pyramidum**[6]), in der die Mehrzahl ihrer Fasern zur Gegenseite kreuzt (▶ **Abb. 19.11**[4]).

Lateral der Pyramiden liegen die Oliven (**Olivae**[4]), in der Furche zwischen beiden (**Sulcus preolivaris**) treten die Wurzelfasern des **N. hypoglossus** (XII)[9] aus, der die Zungenmuskulatur innerviert. Die Oliven enthalten den **Nucleus olivaris inferior** (▶ **Abb. 19.11**[7]), der wichtige motorische Zentren mit dem Cerebellum verbindet (Tractus olivocerebellaris). Hinter der Olive im **Sulcus postolivaris** entspringen die Wurzelfasern des **N. glossopharyngeus** (IX)[11] und des **N. vagus** (X)[10]. Kaudal davon, im Anschluss an den N. vagus, aber unterhalb des Sulcus postolivaris, entspringen die kranialen Wurzelfasern des **N. accessorius** (XI)[8]. Dorsal bilden die Hinterstrangskerne (**Nucleus gracilis** und **Nucleus cuneatus**, Umschaltstationen der epikritischen Sensibitität) 2 Vorwölbungen, das Tuberculum gracile[31] und das Tuberculum cuneatum[30]. Seitlich des Nucleus cuneatus liegt der Nucleus cuneatus accessorius (▶ **Abb. 19.11**[13]), in dem der Tractus cuneocerebellaris umschaltet.

Nach kranial ist die Medulla oblongata über das dünne untere Kleinhirnsegel (**Velum medullare inferius**[33]) und die unteren Kleinhirnstiele (**Pedunculi cerebellares inferiores**[25]) mit dem Cere-

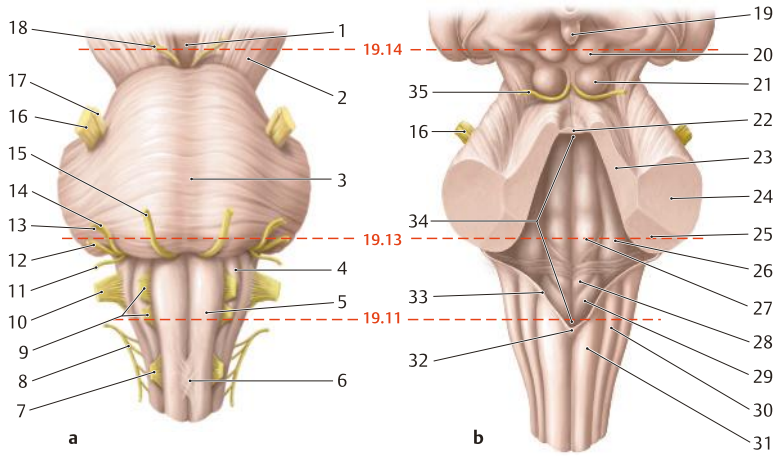


Abb. 19.10 Hirnstamm. Ansicht von ventral (**a**) und dorsal nach Entfernung des Kleinhirns (**b**). Die Schnittebenen für ▶ **Abb. 19.11**, ▶ **Abb. 19.13** und ▶ **Abb. 19.14** sind eingezeichnet.

1 Fossa interpeduncularis
2 Crus cerebri
3 Pons
4 Oliva
5 Pyramis medullae oblongatae, Pyramis bulbi
6 Decussatio pyramidum
7 C 1 (N. spinalis, Radix centralis)
8 N. accessorius (XI)
9 N. hypoglossus (XII)
10 N. vagus (X)
11 N. glossopharyngeus (IX)
12 N. vestibulocochlearis (VIII)
13 N. intermedius
14 N. facialis (VII)
15 N. abducens (VI)
16 N. trigeminus (V), Radix sensoria
17 N. trigeminus (V), Radix motoria
18 N. oculomotorius (III)
19 Glandula pinealis
20 Colliculus superior
21 Colliculus inferior
22 Velum medullare superius
23 Pedunculus cerebellaris superior
24 Pedunculus cerebellaris medius
25 Pedunculus cerebellaris inferior
26 Area vestibularis
27 Colliculus facialis
28 Trigonum n. hypoglossi
29 Trigonum n. vagi
30 Tuberculum cuneatum
31 Tuberculum gracile
32 Obex
33 Velum medullare inferius
34 Fossa rhomboidea
35 N. trochlearis (IV)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

bellum verbunden. Hier stülpen sich der viszeromotorische (parasympathische) **Nucleus dorsalis n. vagi** und der **Nucleus n. hypoglossi** als Trigonum n. vagi[29] und Trigonum n. hypoglossi[28] in die Rautengrube vor. Im Querschnitt durch den oberen Teil der Medulla oblongata erkennt man seitlich vom Nucleus dorsalis n. vagi den **Tractus solitarius** (▶ **Abb. 19.11**[10]), eine Ansammlung viszeroafferenter (parasympathischer und sensorischer) Fasern, welche die Eingeweidesensibilität aus dem N. facialis (VII), N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X) bündeln. Diese Fasern enden in einer Zellsäule neben diesem Trakt, dem Nucleus tractus solitarii, kurz **Nucleus solitarius** (▶ **Abb. 19.12**[13]). In den kaudalen Anteilen des Nucleus solitarius werden viszerale, vor allem *Herz-Kreislauf-Reflexe* verschaltet, in den kranialen Anteilen enden die Geschmacksfasern aus diesen 3 Hirnnerven.

In der Tiefe der „offenen" Medulla befindet sich der branchialmotorische **Nucleus ambiguus** (▶ **Abb. 19.12**[6]), dessen Fortsätze über den N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X) die Schlund- und Kehlkopfmuskulatur versorgen. Der **Nucleus spinalis n. trigemini** (▶ **Abb. 19.12**[12]) erstreckt sich von den oberen zervikalen Rückenmarkssegmenten über die Medulla oblongata bis in den kaudalen Pons. Er erhält Fasern für *Schmerz* und *Temperaturempfindung* aus den 4 sensiblen Hirnnerven (N. trigeminus, N. facialis, N. glossopharyngeus, N. vagus). Funktionell bedeutend ist die Medulla oblongata außerdem für die Kontrolle von Kreislauf und Atmung (*Kreislauf-* und *Atemzentrum*), außerdem befindet sich in der kaudalen Rautengrube das *Brechzentrum* (**Area postrema**, ▶ **Abb. 19.52**[11]).

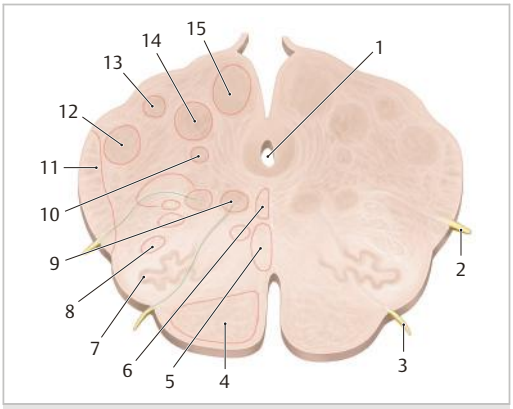


Abb. 19.11 Querschnitt unterhalb der Mitte der Medulla oblongata.
1 Canalis centralis
2 N. accessorius
3 N. hypoglossus
4 Tractus pyramidalis
5 Lemniscus medialis
6 Fasciculus longitudinalis medialis
7 Nucleus olivaris inferior
8 Tractus spinothalamicus lateralis
9 Nucleus n. hypoglossi
10 Tractus solitarius
11 Tractus spinocerebellaris posterior
12 Nucleus spinalis n. trigemini
13 Nucleus cuneatus accessorius
14 Nucleus cuneatus
15 Nucleus gracilis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

19.3.2 Pons

Die Brücke (der **Pons**, ▶ **Abb. 19.10**[3]) ist der ventrale Teil des Rhombencephalons, welcher Medulla oblongata, Kleinhirn und Mesencephalon verbindet („überbrückt"). Ventral entspringen zwischen Medulla oblongata und Brücke (von medial nach lateral) der N. abducens (VI)[15], der N. facialis (VII)[14] und der N. vestibulocochlearis (VIII)[12]. Die Austrittsstelle von N. facialis (VII) und N. vestibulocochlearis (VIII) wird als **Kleinhirnbrückenwinkel** bezeichnet. Hier treffen Cerebellum, Pons und Medulla oblongata zusammen.

Akustikusneurinome sind benigne Tumoren der markscheidenbildenden Schwann-Zellen (Schwannom), die – anders als es die Bezeichnung „Akustikus" nahelegt – in der Pars vestibularis des N. vestibulocochlearis entstehen. Anfänglich drücken diese Tumoren vor allem auf Strukturen, die im Meatus acusticus internus verlaufen. Die Reizung der Pars cochlearis führt zu zunehmender Schwerhörigkeit, aber auch zu Ohrgeräuschen, Druck auf die Pars vestibularis hat Gleichgewichtsstörungen zur Folge, ein Ausfall des N. facialis führt zu Parese der mimischen Muskulatur sowie zur Abnahme der Tränensekretion und des Geschmackssinns. Wenn der Tumor in die hintere Schädelgrube einwächst, kommt es durch eine Beteiligung des N. trigeminus zu sensiblen Störungen im Gesicht und durch Kleinhirnausfälle zur Ataxie. Nur selten wird der Tumor so groß, dass auch N. glossopharyngeus und N. vagus betroffen sind (Schluckstörungen und Heiserkeit).

Dorsal bildet die Brücke den kranialen Anteil des Bodens des IV. Ventrikels (kraniale Rautengrube). Bei Blick in die **Rautengrube** (▶ **Abb. 19.10**) erkennt man medial den Colliculus facialis[27], der durch das **innere Fazialisknie** gebildet wird, in dem die Fazialisfasern bogenförmig um den **Abduzenskern** ziehen (▶ **Abb. 19.13**[19]). Lateral befinden sich die Area vestibularis[26], die durch Vorwölbungen der **Vestibulariskerne** gebildet wird, und das Tuberculum acusticum, an dem sich der **Nucleus cochlearis posterior** (**= dorsalis**) vorwölbt. Dorsal der Brücke liegt das Kleinhirn, mit welchem sie durch den mittleren Kleinhirnstiel (**Pedunculus cerebellaris medius**[24]) verbunden ist. Lateral, zwischen Kleinhirn und Brücke entspringt der **N. trigeminus**, der aus einem dickeren sensiblen (Radix sensoria[16]) und einem dünneren motorischen (Radix motoria[17]) Anteil besteht.

Im **Inneren des Pons** (▶ **Abb. 19.13**) liegen die Brückenkerne (**Nuclei pontis**[13]), synapische Umschaltstationen für Fasern, die aus der Großhirnrinde zur Brücke ziehen (kortikopontine Fasern) und nach Umschaltung über den mittleren Kleinhirnstiel ins Cerebellum ziehen. Außerdem finden sich hier neben zahlreichen auf- und absteigenden Bahnen (z. B. Tractus corticospinalis, Lemniscus medialis und lateralis, Fasciculus longitudinalis medialis[8]) wichtige Hirnnervenkerne: der **Abdu-**

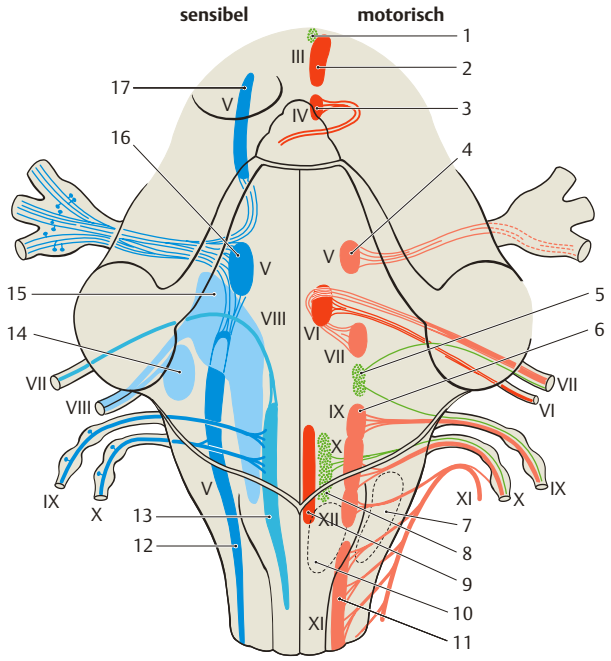


Abb. 19.12 Sensible und sensorische (links) sowie motorische (rechts) Hirnnervenkerne. Ansicht von dorsal. Rot: somatomotorisch, hellrot: branchialmotorisch, grün: viszeromotorisch, türkis: sensorisch, dunkelblau: somatosensibel, hellblau: Hören und Gleichgewicht

1 Nucleus accessorius n. oculomotorii (III) (Edinger-Westphal)
2 Nucleus n. oculomotorii (III)
3 Nucleus n. trochlearis (IV)
4 Nucleus motorius n. trigemini (V)
5 Nucleus salivatorius
6 Nucleus ambiguus
7 Nucleus cuneatus
8 Nucleus dorsalis n. vagi (X)
9 Nucleus n. hypoglossi (XII)
10 Nucleus gracilis
11 Nucleus spinalis n. accessorii (XI)
12 Nucleus spinalis n. trigemini (V)
13 Nucleus tractus solitarii
14 Nuclei n. cochlearis (VIII)
15 Nuclei n. vestibularis (VIII)
16 Nucleus pontinus (sensorius principalis) n. trigemini (V)
17 Nucleus mesencephalicus n. trigemini (V)

(nach Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

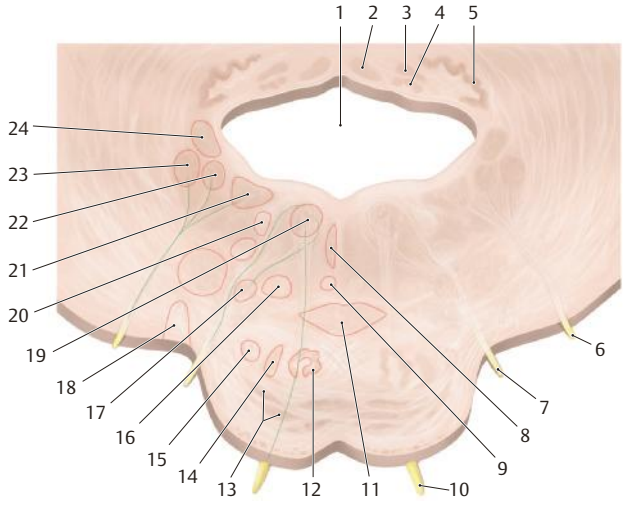


Abb. 19.13 Querschnitt durch kaudalen Teil des Pons.

1 IV. Ventikel
2 Nucleus fastigii
3 Nucleus emboliformis
4 Nucleus globosus
5 Nucleus dentatus
6 N. vestibulocochlearis
7 N. facialis
8 Fasciculus longitudinalis medialis
9 Tractus tectospinalis
10 N. abducens
11 Corpus trapezoideum
12 Nucleus olivaris superior
13 Nuclei pontis (Brückenkerne)
14 Tractus spinothalamicus lateralis
15 Tractus rubrospinalis
16 Tractus tegmentalis centralis
17 Nucleus n. facialis
18 Tractus spinocerebellaris anterior
19 Nucleus n. abducentis
20 Tractus solitarius
21 Nucleus vestibularis medialis
22 Nucleus vestibularis inferior
23 Nucleus vestibularis lateralis
24 Nucleus vestibularis superior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

zenskern[19] zur Innervation des M. rectus lateralis (äußerer Augenmuskel), der **Fazialiskern**[17] zur Innervation der mimischen Muskulatur, **Vestibularis-** und **Cochleariskerne**[21–24], in denen die Hör- und Gleichgewichtsfasern enden, der sensible **Nucleus principalis** (**pontinus**) **n. trigemini** für Tastempfindung im Kopfbereich und der motorische **Nucleus motorius n. trigemini,** der die Kaumuskulatur innerviert.

In der Umgebung des Fazialiskerns liegt eine Gruppe parasympathischer Neurone, der **Nucleus salivatorius** (▶ **Abb. 19.12**[5]). Seine Axone bilden die präganglionären Fasern, die mit dem N. glossopharyngeus und anschließend dem N. petrosus minor zum Ganglion oticum ziehen und die Glandula parotis versorgen. Die übrigen Fasern innervieren über den N. facialis die restlichen Speicheldrüsen, die Nasendrüsen und die Tränendrüse.

Eine Unterteilung dieses Kerngebiets in einen Nucleus salivatorius superior, inferior und lacrimalis scheint wissenschaftlich nicht gerechtfertigt.

19.3.3 Mesencephalon

Das **Mittelhirn** (**Mesencephalon**) besteht aus 4 Teilen (▶ **Abb. 19.14**):

- Dach (**Tectum**[3]),
- Haube (**Tegmentum**[4]),
- **Substantia nigra**[6],
- Hirnschenkel (**Crura cerebri**[5]).

Ventral sind von außen die Crura cerebri erkennbar, in denen absteigende Bahnen wie der Tractus pyramidalis[11] und die kortikopontinen Bahnen[10, 12] verlaufen, welche den telencephalen Cortex mit den Brückenkernen und somit indirekt mit dem Cerebellum verbinden. Zwischen beiden Crura cerebri liegt die **Fossa interpeduncularis**, in welcher der N. oculomotorius (III)[7] entspringt. Nach dorsal schließen sich 2 wichtige dopaminerge Kerngebiete an: die wegen ihres Melaningehalts schwarz gefärbte *Substantia nigra*[6], ein wichtiger Basalkern, und die *Area tegmentalis ventralis*[8].

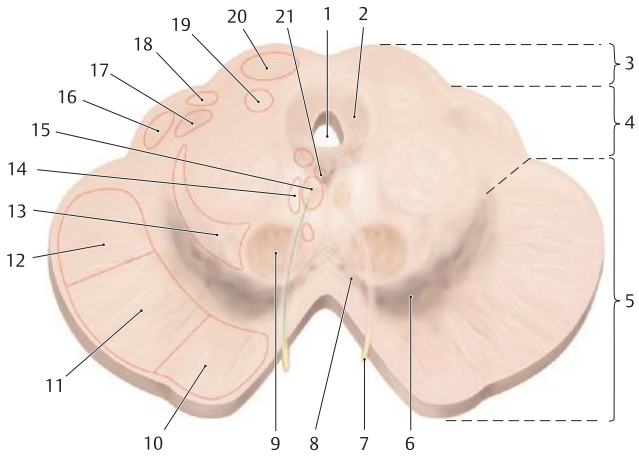


Abb. 19.14 Querschnitt durch das Mesencephalon. Ansicht von kranial.

1 Aquaeductus mesencephali
2 Substantia grisea centralis
3 Tectum
4 Tegmentum
5 Crus cerebri
6 Substantia nigra
7 N. oculomotorius
8 Area tegmentalis ventralis
9 Nucleus ruber
10 Tractus corticopontinus, Fibrae frontopontinae
11 Tractus pyramidalis: Fibrae corticonucleares und Fibrae corticospinales
12 Tractus corticopontinus: Fibrae temporopontinae, occipitopontinae und parietopontinae
13 Lemniscus medialis
14 Fasciculus longitudinalis medialis
15 Nucleus n. oculomotorii
16 Brachium colliculi inferioris
17 Tractus spinothalamicus lateralis
18 Tractus spinotectalis
19 Nucleus mesencephalicus n. trigemini
20 Nucleus colliculi superioris
21 Nucleus accessorius n. oculomotorii (Edinger-Westphal)

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Substantia nigra** besteht aus der dorsalen *Pars compacta*, deren Neurone dopaminerg sind, und der ventralen *Pars reticularis*, die größtenteils aus GABAergen und nur wenigen dopaminergen Neuronen besteht. Hinter der Substantia nigra liegt das **Tegmentum**. Es enthält den aufgrund seines Eisengehalts rötlichen **Nucleus ruber**[9], der in zerebellare Regelkreise eingeschaltet ist, sowie mehrere aufsteigende Bahnen. Außerdem findet sich im kaudalen Anteil des Tegmentums der Nucleus trochlearis (IV), kranial liegen der parasympathische (**Nucleus accessorius n. oculomotorii, Edinger-Westphal**[21], s. ▶ **Abb. 19.12**[1]) und der somatomotorische Kern des N. oculomotorius (III)[15]. Im **Nucleus mesencephalicus n. trigemini** (V)[19] enden die propriozeptiven Fasern aus der Kaumuskulatur.

Im Inneren des Mesencephalons liegt der schlanke Anteil des Ventrikelsystems, der **Aqueductus mesencephali**[1]. Er wird von einer zylinderförmigen Ansammlung von Nervenzellen umgeben, die das **zentrale Höhlengrau** (periaquäduktales Grau, Substantia grisea centralis[2]) bilden.

Dorsal liegt die Vierhügelplatte (**Lamina tecti**, Lamina quadrigemina), die aus den oberen (Colliculi superiores) und den unteren Hügeln (Colliculi inferiores) besteht, welche Zentren zur Verschaltung akustischer und optischer Reflexe sind. Kranial der Colliculi superiores liegen 4 Paare kleiner Kerngebiete, die **Area pretectalis**, das Zentrum für die Konvergenzreaktion der Augen und den Pupillenreflex (S. 569). Unterhalb der Colliculi inferiores verlässt der **N. trochlearis** (▶ **Abb. 19.10**[35]) das Mesencephalon. Er ist der einzige Hirnnerv, der dorsal austritt – anschließend zieht er um die Crura cerebri nach ventral.

19.4 Diencephalon

Das Diencephalon besteht aus 4 Anteilen: Der **Thalamus** filtert sensible Informationen, bevor sie die Großhirnrinde erreichen, und ist in wichtige motorische Rückkoppelungskreise eingeschaltet. Der **Hypothalamus** steht in enger Verbindung mit der Hypophyse. Er reguliert Hormonsekretion, vegetatives Nervensystem, Nahrungsaufnahme, Schlaf, Sexualität, Körpertemperatur und Wasserhaushalt. Der **Subthalamus** umfasst vor allem den mit den Basalkernen verbundenen Nucleus subthalamicus. Wichtigster Teil des **Epithalamus** ist die Epiphyse, die das schlafinduzierende Melatonin produziert.

Das **Zwischenhirn** (**Diencephalon**, ▶ **Abb. 19.15**) liegt zwischen Telencephalon und Mesencephalon zu beiden Seiten des III. Ventrikels[16]. Durch die enorme Größenzunahme des Telencephalons während der Entwicklung ist es von den Großhirnhemisphären bedeckt und von außen nicht sichtbar. Das Diencephalon enthält den größten zentralnervösen Kernkomplex, den **Thalamus**[1] (s. auch ▶ **Abb. 19.16**). Seine übrigen Teile werden entsprechend ihrer Lage in Bezug auf den Thalamus als **Hypothalamus**, **Epithalamus** und **Subthalamus** bezeichnet.

Abb. 19.15 Diencephalon von medial (a) und **Übersicht über das Ventrikelsystem** (b) mit angrenzenden Strukturen. Ventrikelstrukturen sind blau beschriftet. ▶

1 Thalamus
2 Adhesio interthalamica
3 Plexus choroideus des III. Ventrikels
4 Splenium corporis callosi
5 Stria medullaris thalami
6 Habenula
7 Recessus suprapinealis
8 Recessus pinealis
9 Glandula pinealis, Epiphyse
10 Commisura posterior
11 Lamina tecti
12 Aqueductus mesencephali
13 Tegmentum
14 Crus cerebri
15 Mesencephalon/para
16 Ventriculus III
17 Corpus mammillare
18 Tuber cinereum
19 Neurohypophyse
20 Adenohypophyse
21 Infundibulum
22 Recessus infundibularis
23 Chiasma opticum
24 Recessus supraopticus
25 Hypothalamus
26 Area preoptica
27 Commissura anterior
28 Lamina terminalis
29 Rostrum corporis callosi
30 Genu corporis callosi/para>
31 Septum pellucidum
32 Fornix
33 Truncus corporis callosi
34 Foramen interventriculare (Monroi)
35 Ventriculus lateralis, Pars centralis
36 Ventriculus lateralis, Cornu posterius
37 Apertura mediana ventriculi IV
38 Canalis centralis
39 Recessus lateralis (endet in der Apertura lateralis ventriculi IV)
40 Ventriculus IV
41 Ventriculus lateralis, Cornu inferius
42 Ventriculus lateralis, Cornu anterius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **Substantia nigra** besteht aus der dorsalen *Pars compacta*, deren Neurone dopaminerg sind, und der ventralen *Pars reticularis*, die größtenteils aus GABAergen und nur wenigen dopaminergen Neuronen besteht. Hinter der Substantia nigra liegt das **Tegmentum**. Es enthält den aufgrund seines Eisengehalts rötlichen **Nucleus ruber**[9], der in zerebellare Regelkreise eingeschaltet ist, sowie mehrere aufsteigende Bahnen. Außerdem findet sich im kaudalen Anteil des Tegmentums der Nucleus trochlearis (IV), kranial liegen der parasympathische (**Nucleus accessorius n. oculomotorii, Edinger-Westphal**[21], s. ▶ **Abb. 19.12**[1]) und der somatomotorische Kern des N. oculomotorius (III)[15]. Im **Nucleus mesencephalicus n. trigemini** (V)[19] enden die propriozeptiven Fasern aus der Kaumuskulatur.

Im Inneren des Mesencephalons liegt der schlanke Anteil des Ventrikelsystems, der **Aqueductus mesencephali**[1]. Er wird von einer zylinderförmigen Ansammlung von Nervenzellen umgeben, die das **zentrale Höhlengrau** (periaquäduktales Grau, Substantia grisea centralis[2]) bilden.

Dorsal liegt die Vierhügelplatte (**Lamina tecti**, Lamina quadrigemina), die aus den oberen (Colliculi superiores) und den unteren Hügeln (Colliculi inferiores) besteht, welche Zentren zur Verschaltung akustischer und optischer Reflexe sind. Kranial der Colliculi superiores liegen 4 Paare kleiner Kerngebiete, die **Area pretectalis**, das Zentrum für die Konvergenzreaktion der Augen und den Pupillenreflex (S. 569). Unterhalb der Colliculi inferiores verlässt der **N. trochlearis** (▶ **Abb. 19.10**[35]) das Mesencephalon. Er ist der einzige Hirnnerv, der dorsal austritt – anschließend zieht er um die Crura cerebri nach ventral.

19.4 Diencephalon

Das Diencephalon besteht aus 4 Anteilen: Der **Thalamus** filtert sensible Informationen, bevor sie die Großhirnrinde erreichen, und ist in wichtige motorische Rückkoppelungskreise eingeschaltet. Der **Hypothalamus** steht in enger Verbindung mit der Hypophyse. Er reguliert Hormonsekretion, vegetatives Nervensystem, Nahrungsaufnahme, Schlaf, Sexualität, Körpertemperatur und Wasserhaushalt. Der **Subthalamus** umfasst vor allem den mit den Basalkernen verbundenen Nucleus subthalamicus. Wichtigster Teil des **Epithalamus** ist die Epiphyse, die das schlafinduzierende Melatonin produziert.

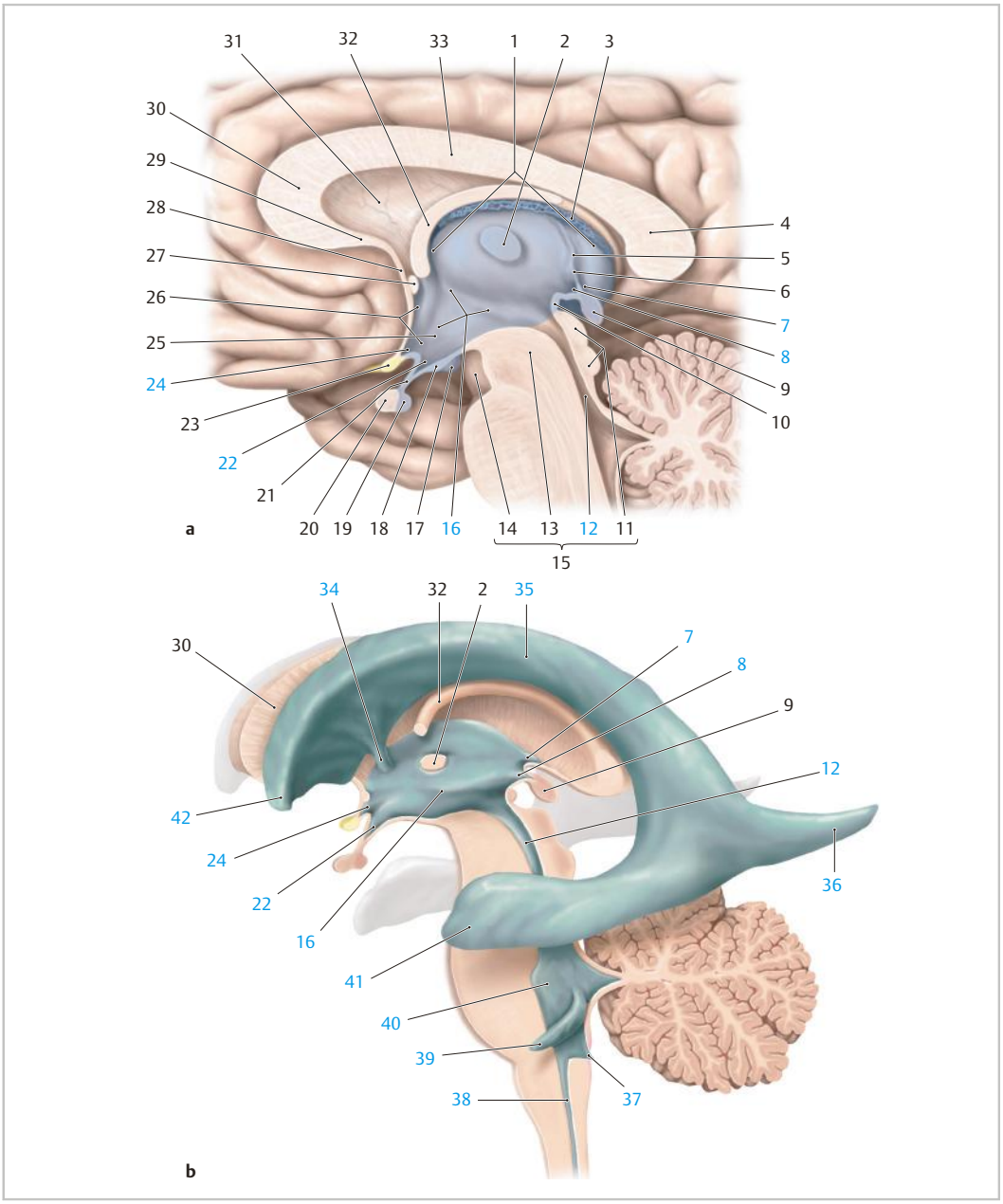
Das **Zwischenhirn** (**Diencephalon**, ▶ **Abb. 19.15**) liegt zwischen Telencephalon und Mesencephalon zu beiden Seiten des III. Ventrikels[16]. Durch die enorme Größenzunahme des Telencephalons während der Entwicklung ist es von den Großhirnhemisphären bedeckt und von außen nicht sichtbar. Das Diencephalon enthält den größten zentralnervösen Kernkomplex, den **Thalamus**[1] (s. auch ▶ **Abb. 19.16**). Seine übrigen Teile werden entsprechend ihrer Lage in Bezug auf den Thalamus als **Hypothalamus**, **Epithalamus** und **Subthalamus** bezeichnet.

Abb. 19.15 Diencephalon von medial (a) und **Übersicht über das Ventrikelsystem** (b) mit angrenzenden Strukturen. Ventrikelstrukturen sind blau beschriftet. ▶

1 Thalamus
2 Adhesio interthalamica
3 Plexus choroideus des III. Ventrikels
4 Splenium corporis callosi
5 Stria medullaris thalami
6 Habenula
7 Recessus suprapinealis
8 Recessus pinealis
9 Glandula pinealis, Epiphyse
10 Commisura posterior
11 Lamina tecti
12 Aqueductus mesencephali
13 Tegmentum
14 Crus cerebri
15 Mesencephalon/para
16 Ventriculus III
17 Corpus mammillare
18 Tuber cinereum
19 Neurohypophyse
20 Adenohypophyse
21 Infundibulum
22 Recessus infundibularis
23 Chiasma opticum
24 Recessus supraopticus
25 Hypothalamus
26 Area preoptica
27 Commissura anterior
28 Lamina terminalis
29 Rostrum corporis callosi
30 Genu corporis callosi/para>
31 Septum pellucidum
32 Fornix
33 Truncus corporis callosi
34 Foramen interventriculare (Monroi)
35 Ventriculus lateralis, Pars centralis
36 Ventriculus lateralis, Cornu posterius
37 Apertura mediana ventriculi IV
38 Canalis centralis
39 Recessus lateralis (endet in der Apertura lateralis ventriculi IV)
40 Ventriculus IV
41 Ventriculus lateralis, Cornu inferius
42 Ventriculus lateralis, Cornu anterius
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

In der Mitte des Diencephalons liegt der schmale **III. Ventrikel**[16]. Seine Seitenwände werden durch den Thalamus[1] und den Hypothalamus[25] gebildet. An der **Adhesio interthalamica**[2] können die Thalami beider Seiten miteinander verwachsen sein. Das Dach des III. Ventrikels wird durch den **Plexus choroideus**[3] gebildet, nach vorne wird er von der dünnen **Lamina terminalis**[28] und der **Commissura anterior**[27] begrenzt, ein Verbindungssystem zwischen den beiden Temporallappen.

Der III. Ventrikel bildet nach kaudal 2 Ausbuchtungen: den **Recessus infundibularis**[22] in den Hypophysenstiel und den **Recessus supraopticus**[24]



oberhalb des Chiasma opticum. 2 weitere Recessus gibt es dorsal: den **Recessus suprapinealis**[7] oberhalb der Epiphyse (Glandula pinealis[9]) und den **Recessus pinealis**[8] zur Epiphyse hin.

19.4.1 Thalamus

Aufbau des Thalamus (▶ Abb. 19.16)

Der Thalamus umfasst mehrere Kerngebiete mit unterschiedlichen Funktionen. Er wird nach medial vom III. Ventrikel und nach lateral von der Capsula interna[17] begrenzt. Kranial von ihm liegen die Seitenventrikel und der Nucleus caudatus[18], kaudal von ihm Hypothalamus[10] und Subthalamus[9].

Der Thalamus ist eiförmig und wird von 2 Marklamellen untergliedert:

- Die schalenförmige **Lamina medullaris externa**[5] grenzt nach lateral den **Nucleus reticularis thalami**[6] ab.
- Im Inneren des Thalamus liegt die Y-förmige **Lamina medullaris interna**[3], die eine **intralaminäre Kerngruppe**[20] umschließt und eine anteriore[1], eine mediale[2] sowie eine laterale[4] Kerngruppe voneinander trennt:

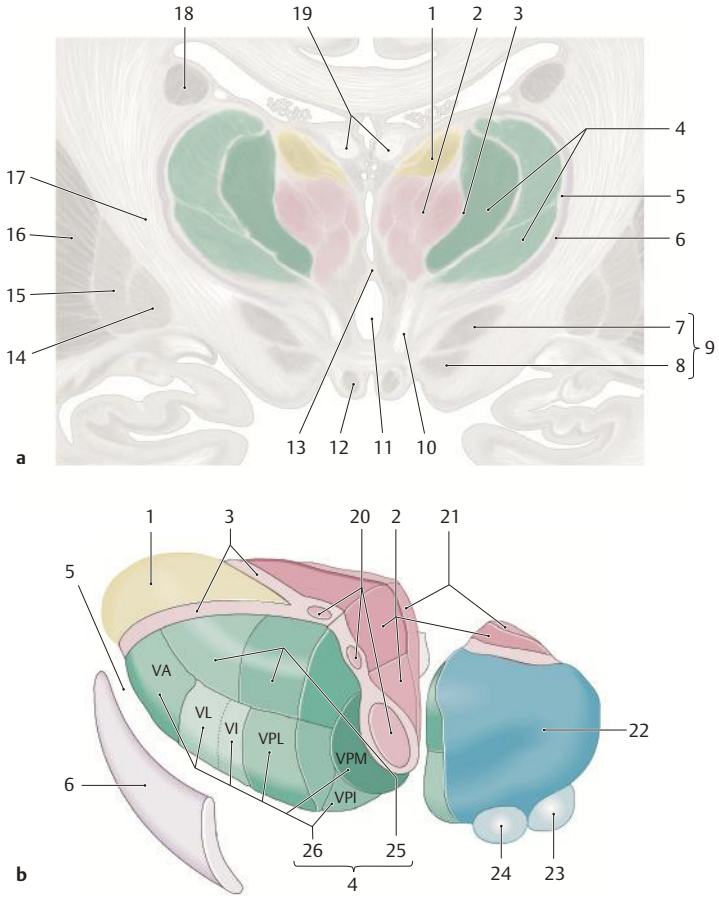


Abb. 19.16 Thalamus.
a Frontalschnitt durch das Diencephalon auf Höhe der Corpora mammillaria. Erkennbar wird die Gliederung der Thalamuskerne durch Faserschichten (Laminae medullares thalami).
b Thalamuskerne.
1 Nuclei anteriores thalami
2 Nuclei mediales thalami
3 Lamina medullaris interna
4 Nuclei laterales thalami
5 Lamina medullaris externa
6 Nucleus reticularis thalami (in b retrahiert)
7 Zona incerta
8 Nucleus subthalamicus
9 Subthalamus
10 Hypothalamus
11 Ventriculus III
12 Corpus mammillare
13 Adhesio interthalamica
14 Pallidum internum
15 Pallidum externum
16 Putamen
17 Capsula interna
18 Nucleus caudatus
19 Fornix
20 intralaminäre Kerngruppe
21 Kerne der Mittellinie
22 Pulvinar
23 Corpus geniculatum mediale
24 Corpus geniculatum laterale
25 dorsale Kerngruppe
26 ventrale Kerngruppe
(a: nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus Lern-Atlas, Thieme; 2014 b: nach Standl et al., Schmerztherapie, Thieme; 2010)

Die **laterale Kerngruppe** wiederum besteht aus folgenden Anteilen (▶ **Abb. 19.16b**):

- der posterior gelegene **Metathalamus**, zu dem der Pulvinar[22] sowie der laterale (Corpus geniculatum laterale[24]) und der mediale Kniehöcker (Corpus geniculatum mediale[23]) gehören,
- die **dorsalen Kerne**[25], auch als Nuclei laterales bezeichnet,
- die 6 **ventralen Kerne**[26]: Nucleus ventralis anterior (VA), Nucleus ventralis lateralis (VL), Nucleus ventralis intermedius (VI) und 3 Nuclei ventrales posteriores.

Die Nuclei ventrales posteriores umfassen den Nucleus ventralis posterolateralis (VPL), den Nucleus ventralis posteromedialis (VPM) und den Nucleus ventralis posterior inferior (VPI).

Funktionen des Thalamus

Der Thalamus ist die wichtigste synaptische Umschaltstation für Informationen, die den zerebralen Cortex erreichen, und spielt eine zentrale Rolle bei der Wahrnehmung und bei der Kontrolle der Motorik. Thalamuskerne, die sich bestimmten Bahnen zuordnen lassen, werden als **spezifische Thalamuskerne** bezeichnet. Hierzu rechnet man den **Nucleus ventralis posterolateralis** (VPL), in dem die Bahnen für epikritische Sensibilität sowie Schmerz und Temperatur aus dem Körper umgeschaltet werden, und den **Nucleus ventralis posteromedialis** (VPM) für die gleichen Empfindungen vom Kopf. Des Weiteren gehören das **Corpus geniculatum laterale**[24] als Teil der Sehbahn, das **Corpus geniculatum mediale**[23] als Teil der Hörbahn und die **anterioren Thalamuskerne**[1] als Teil des Papez-Kreises (limbisches System) zu den spezifischen Thalamuskernen. Auch der zum motorischen System gehörige **Nucleus ventralis anterior** (VA), dessen kortikale Projektionen unter der Kontrolle des Pallidum internum stehen, und der zwischen Kleinhirn und Hirnrinde geschaltete **Nucleus ventralis lateralis** (VL) zählen zu den spezifischen Thalamuskernen.

Der Thalamus dient nicht der bloßen Umschaltung und Weiterleitung von Information, sondern er filtert auch die Informationen, die zum zerebralen Cortex gelangen (selektive Aufmerksamkeit). Diese im Sinne eines „**Tors zum Bewusstsein**" modifizierende Aufgabe wird durch den **Nucleus reticularis thalami**[6] wahrgenommen, der mit inhibitorischen GABAergen Axonen in den gesamten Thalamus projiziert und hier die Erregungsübertragung hemmt. Wenn wir einer bestimmten Empfindung unsere Aufmerksamkeit zuwenden, hemmt der Cortex einen Teil dieser inhibitorischen Neurone (Desinhibition), sodass bestimmte Informationen weitergeleitet und uns bewusst werden können. Während des **Tiefschlafs** sind die inhibitorischen Neurone des Nucleus reticularis thalami besonders aktiv, sodass der Schlafende nur durch relativ starke Reize aufgeweckt werden kann.

Die **unspezifischen Thalamuskerne**, zu denen vor allem die **intralaminären**[20] und **medialen**[2] Kerne gehören, projizieren zum limbischen System und in den größten Teil der Hirnrinde. Sie sind eine Fortsetzung des „**aszendierenden retikulären aktivierenden Systems**" (ARAS (S. 580)), spielen eine Rolle beim Schlaf-wach-Rhythmus und vermitteln emotionale Reizantworten.

19.4.2 Hypothalamus

Aufbau des Hypothalamus

Während der Thalamus eine durch seine Farbe und Konsistenz klar abgegrenzte Neuronengruppe darstellt, ist der Hypothalamus vor allem durch seine Lage ventral vom Thalamus und lateral vom III. Ventrikel definiert.

Nach kranial wird er durch den **Sulcus hypothalamicus** vom Thalamus abgegrenzt, kaudal (am Boden des III. Ventrikels, ▶ **Abb. 19.17**) finden sich (von ventral nach dorsal) das **Chiasma opticum**[1], der Hypophysenstiel (**Infundibulum**[14]) und die zum limbischen System gehörenden **Corpora mammillaria**[11]. Ein Fasersystem, der **Fornix** (lat.: Bogen, Gewölbe, s. ▶ **Abb. 19.15**[32]), zieht von den Corpora mammillaria bogenförmig durch den Hypothalamus (Columnae fornicis) und weiter am Dach des III. Ventrikels (Corpus fornicis) bis zum Hippocampus, wo es als Crus fornicis endet. Es gehört zum limbischen System und unterteilt den Hypothalamus in einen medialen und einen lateralen Anteil. Die Region zwischen Chiasma opticum, Tractus optici und Corpora mammillaria wird wegen ihrer aschgrauen (lat.: cinereus) Farbe als **Tuber cinereum**[12] bezeichnet. In der Mitte des Tuber cinerum, an der Basis des Infundibulums, befindet sich eine kleine Erhebung, die **Eminentia mediana**[13], wo im Hypothalamus gebildete „releasing and inhibiting factors" (S. 526) ins Blut abgegeben werden.

Anterior endet der Hypothalamus auf Höhe der **Lamina terminalis** (▶ **Abb. 19.15**[28]) und der **Com-**

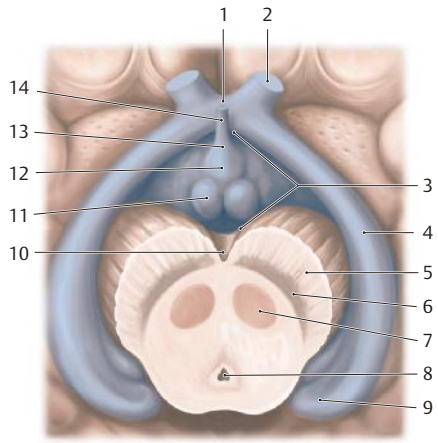


Abb. 19.17 Diencephalon von basal.
1 Chiasma opticum
2 N. opticus
3 Hypothalamus
4 Tractus opticus
5 Crus cerebri
6 Substantia nigra
7 Nucleus ruber
8 Aqueductus mesencephali
9 Corpus geniculatum laterale
10 Fossa interpeduncularis
11 Corpus mammillare
12 Tuber cinereum
13 Eminentia mediana
14 Infundibulum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

missura anterior (▶ **Abb. 19.15**[27]). Die graue Substanz innerhalb und unmittelbar lateral sowie dorsal der Lamina terminalis wird als **Area preoptica** (▶ **Abb. 19.15**[26]) bezeichnet. Streng genommen gehören Lamina terminalis, Commissura anterior sowie Area preoptica bereits zum Telencephalon. Aus funktionellen Gründen werden sie jedoch im Zusammenhang mit dem Hypothalamus behandelt. In der Lamina terminalis befindet sich das **Organum vasculosum laminae terminalis**, ein zirkumventrikuläres Organ (s. u.).

Die laterale Begrenzung des Hypothalamus wird gebildet von Tractus opticus, Subthalamus und Capsula interna (s. ▶ **Abb. 19.16a**).

Funktionen des Hypothalamus

Der Hypothalamus enthält eine Vielzahl von Kerngebieten und Faserverbindungen, deren Aufgabe weitgehend darin besteht, das innere Milieu konstant zu halten (Homöostase) und die Fortpflanzung zu regeln. Der Hypothalamus kontrolliert das endokrine System, indem er Hormone zur Steuerung der Hypophyse produziert. Er reguliert außerdem die Körpertemperatur, die Nahrungsaufnahme, das Trinkverhalten und die Sexualität. Nur wenige dieser Funktionen können bestimmten hypothalamischen Kerngebieten zugeordnet werden, die meisten Aufgaben werden von ausgedehnteren Hypothalamusabschnitten wahrgenommen.

Um seine Aufgaben erfüllen zu können, ist der Hypothalamus durch ausgedehnte reziproke Fasersysteme mit dem limbischen System (Amygdala, Hippocampus, Corpora mammillaria und Gyrus cinguli) sowie der Formatio reticularis verbunden, außerdem erhält er Afferenzen vom präfrontalen Cortex. Ein wichtiges Bahnsystem ist das mediale Vorderhirnbündel (**Fasciculus medialis telencephali**), welches den **Hirnstamm** (Area tegmentalis ventralis, Formatio reticularis) mit dem ventralen **Striatum** und dem **Frontalhirn** (**präfrontaler Cortex, Area septalis, Nucleus accumbens**) verbindet, durch den Hypothalamus zieht und hier zahlreiche Fasern an hypothalamische Kerne abgibt.

Außerdem ist der Hypothalamus auf Informationen über die Zusammensetzung des Blutes angewiesen. Er steht deshalb in enger anatomischer Beziehung zu **zirkumventrikulären Organen** (▶ **Abb. 19.18**). Dies sind Hirnregionen, welche keine Blut-Hirn-Schranke besitzen, sodass Plasmabestandteile weitgehend ungehindert in sie übertreten können. Zu den zirkumventrikulären Organen gehören:

- Organum vasculosum laminae terminalis[1] (osmosensibel, löst bei Anstieg der Osmolarität Durst und endokrine Antworten aus),
- Eminentia mediana[8] (sekretorisch: Freisetzung von „releasing and inhibiting factors"),
- Subfornikalorgan[2] (kleine Erhebung auf der medialen Seite der Columnae fornicis oberhalb des Foramen interventriculare Monroi; sensibel für Osmolarität und Hormonspiegel; reguliert Wasserhaushalt, Blutdruck und Energiehaushalt),
- Neurohypophyse[7] (sekretorisch: Freisetzung von Oxytocin und ADH),
- Glandula pinealis[5] (sekretorisch: Freisetzung von Melatonin),

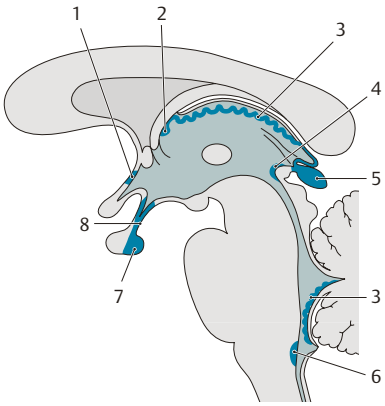


Abb. 19.18 Zirkumventrikuläre Organe. Medians agittalschnitt von links.
1 Organum vasculosum laminae terminalis
2 Organum subfornicale
3 Plexus choroideus
4 Organum subcommissurale
5 Glandula pinealis
6 Area postrema
7 Neurohypophyse
8 Eminentia mediana
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- Area postrema[6] (humerosensorisch: Brechzentrum).

Das Subkommissuralorgan[4] (Organum subcommissurale) unterhalb der Commissura posterior wird ebenfalls zu den zirkumventrikulären Organen gerechnet, obwohl hier die Blut-Hirn-Schranke erhalten ist. Es sezerniert Glykoproteine in den Liquor cerebrospinalis, deren Funktion ungeklärt ist.

Eine Aufgabe des Hypothalamus ist die **Steuerung des autonomen Nervensystems**. Hierbei bewirken seine anterioren und paraventrikulären Anteile (Area preoptica und Nucleus anterior) eine Verlangsamung der Pulsfrequenz, eine Gefäßerweiterung, eine Blutdrucksenkung sowie eine verstärkte Darmaktivität und Blasenentleerung, indem sie über das mediale Vorderhirnbündel (Fasciculus medialis telencephali) die **parasympathischen** Steuerungszenteren im Hirnstamm aktivieren.

Posteriore Hypothalamusregionen hingegen stimulieren den **Sympathicus** und bewirken so eine Pulsbeschleunigung, Gefäßverengung, Blutdruckanstieg, Pupillenerweiterung und eine verminderte Darmtätigkeit.

Die Regulation vegetativer Funktionen ist jedoch nicht auf bestimmte Neuronengruppen beschränkt; vielmehr können Veränderungen von Pulsfrequenz, Herzleistung, Organdurchblutung, Darmtätigkeit, Atemtiefe und Atemfrequenz sowie Erektion und Ejakulation durch eine Stimulation vieler Hypothalamusabschnitte hervorgerufen werden.

Der Hypothalamus reguliert auch die Körpertemperatur (**Thermoregulation**). Rezeptoren für die Kerntemperatur befinden sich im anterioren Hypothalamus, wobei ein Anstieg der Kerntemperatur hier mit Gefäßerweiterung und Schweißsekretion beantwortet wird, während der posteriore Hypothalamus bei Absinken der Kerntemperatur eine Gefäßverengung und Zittern auslöst.

Bei **Fieber** gelangen Bakterienbestandteile (Pyrogene) über das Organum vasculosum laminae terminalis in die Area preoptica, hemmen den anterioren Hypothalamus und bewirken so einen Anstieg der Körpertemperatur.

Verletzungen der vorderen Hypothalamusanteile im Rahmen von Hypophysenoperationen können zu einem nicht beherrschbaren Anstieg der Körpertemperatur führen (**Hyperthermie**).

Der Hypothalamus beeinflusst außerdem die **Nahrungsaufnahme**. Ein **Esszentrum** im lateralen Hypothalamus produziert **Orexin** (Hypokretin), welches Hunger auslöst. Im ventromedialen Hypothalamus befindet sich ein **Sättigungszentrum**. Dieses wird unter anderem durch **Leptin** stimuliert, ein Hormon, das von Fettzellen produziert wird.

Menge und Osmolarität des Blutplasmas müssen in engen Grenzen konstant gehalten werden. Osmorezeptoren im vorderen Hypothalamus reagieren bereits auf einen geringen Anstieg der Osmolarität mit ADH-Freisetzung im Hypophysenhinterlappen, sodass in den Nieren vermehrt Wasser rückresorbiert wird, und mit **Durstgefühl**. Das **Subfornikalorgan** und das **Organum vasculosum laminae terminalis** besitzen Rezeptoren für **Angiotensin II**, sodass auch ein Anstieg des Spiegels dieses Hormons Durst hervorruft.

Verschiedene hypothalamische Kerne werden im Zusammenhang mit **Sexualverhalten** und sexueller Ausrichtung diskutiert, unter anderem der

Nucleus suprachiasmaticus und die interstitiellen Nuclei des anterioren Hypothalamus.

Hunger, Durst und Sexualität sind elementare Triebe, die vom Hypothalamus gesteuert werden. Allerdings sind sie beim Menschen in komplexere Handlungsabläufe integriert, die vom limbischen System und vom Neocortex initiiert werden.

Der Hypothalamus spielt weiterhin eine wichtige Rolle beim **Schlaf**. Der **Nucleus suprachiasmaticus** liegt proximal vom Chiasma opticum und besteht aus Neuronen, die im 24-h-Rhythmus aktiv sind und dadurch die innere Uhr vorgeben. Er erhält Afferenzen aus der Retina und projiziert über den Sympathicus zur **Epiphyse**, wo er die Melatoninsekretion steuert. Außerdem sendet er Fasern zu den parvozellulären Hypothalamus-Neuronen und kontrolliert so die tageszeitabhängigen Änderungen der Hormonsekretion (**zirkadianer Rhythmus**). Weitere Fasern ziehen zu den Orexin-Neuronen im lateralen Hypothalamus und zum dorsomedialen hypothalamischen Kern, der wiederum zum Locus caeruleus projiziert, und wirken so in der Nacht schlafinduzierend. **Histamin** ausschüttende Neurone im **Nucleus tuberomamillaris**, der lateral von den Corpora mammillaria liegt, die **GABAerge** ventrolaterale **Area preoptica** sowie **Orexin** produzierende Neurone im **lateralen Hypothalamus** werden bei der Formatio reticularis besprochen (S. 578).

Kenntnis über die wichtige **Bedeutung des Hypothalamus für den Schlaf** erhielt man in den 1920er Jahren durch die **Encephalitis lethargica**, eine Gehirnentzündung (Encephalitis) immer noch ungeklärter Ursache, die häufig mit Schläfrigkeit (Lethargie) einherging. Der Wiener Neurologe von Economo beobachtete, dass schläfrige Patienten Veränderungen im posterolateralen Hypothalamus aufwiesen, während bei Patienten, die nicht mehr schlafen konnten (Insomnie), die anterioren Anteile des Hypothalamus und die Area preoptica geschädigt waren.

Eine zentrale Stellung hat der Hypothalamus bei der **Kontrolle der Hormonsekretion**, die er über eine Steuerung der **Hypophyse** direkt und indirekt beeinflusst.

Hypophyse (▶ Abb. 19.19)

Die Hirnanhangsdrüse (**Hypophyse**, Glandula pituitaria) ist eine etwa erbsgroße, 0,5 g schwere, eiförmige Drüse, die ventral vom Chiasma opticum[8] in der Sella turcica des Os ethomidale liegt und über den Hypophysenstiel (Infundibulum) mit dem Hypothalamus verbunden ist. Sie besteht aus 2 Teilen:

- der in der Entwicklung aus dem Diencephalon ausgewachsenen *Neurohypophyse*, die sich aus Infundibulum, Eminentia mediana[7] und Hypophysenhinterlappen[12] zusammensetzt,
- der aus der Rathke-Tasche entstandenen *Adenohypophyse*[6], zu der Hypophysenvorderlappen, Hypophysenmittellappen und Trichterlappen (Pars tuberalis) gehören.

Die **Adenohypophyse** produziert das **Wachstumshormon** (somatotropes Hormon, STH, „growth hormone"), das **Prolaktin**, welches Wachstum und Milchproduktion der Brustdrüsen stimuliert, sowie **glandotrope Hormone**, welche die Hormonbildung in den endokrinen Drüsen regulieren. Hierzu gehören:

- **adrenokortikotropes Hormon** (ACTH), das die Nebennierenrinde steuert,
- **thyroideastimulierendes Hormon** (TSH, Thyreotropin) zur Steuerung der Schilddrüse,
- **follikelstimulierendes Hormon** (FSH), das bei der Frau Wachstum und Östrogensekretion der Eifollikel und beim Mann die Spermatogenese stimuliert,
- **luteinisierendes Hormon** (LH), das den Eisprung auslöst und im Hoden die Androgenproduktion stimuliert.

Die Bildung und Ausschüttung dieser Vorderlappenhormone steuern Freisetzungshormone („releasing factors", **Liberine**) und Hemmstoffe („inhibiting factors", **Inhibine**), die von kleinzelligen hypothalamischen Neuronen[1] in der Umgebung des III. Ventrikels und im Infundibulum produziert werden. Deren Axone projizieren in die **Eminentia mediana**[7], wo sie die Hormone an ein Kapillarsystem abgeben.

Diese Kapillaren sind Teil des **hypophysären Pfortadersystems**, das mit den Aa. hypophysiales superiores[3] beginnt (Äste der A. carotis interna). Sie drainieren in Venen (Vv. portales hypophysiales[4]), die entlang des Hypophysenstiels verlaufen und sich im Hypophysenvorderlappen erneut in

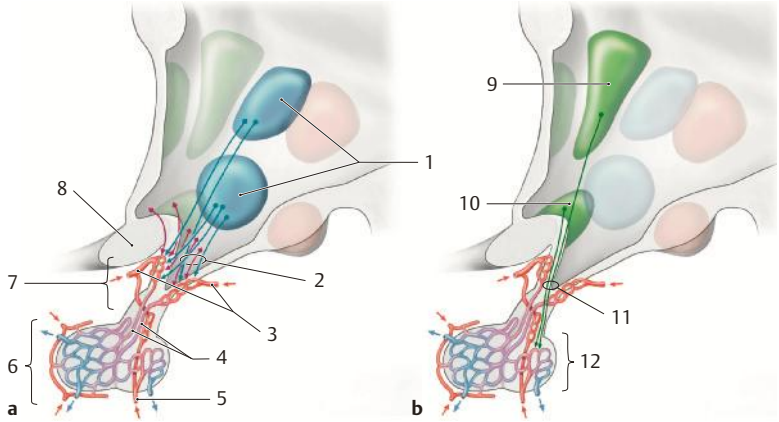


Abb. 19.19 Hypophyse. Pfortadersystem der Adeno- (**a**) und Neurohypophyse (**b**).
1 periventrikuläre kleinzellige Neurone
2 Tractus tuberoinfundibularis
3 Aa. hypophysiales superiores
4 Venae portales hypophysiales
5 A. hypophysialis inferior
6 Adenohypophyse mit zweitem Kapillarbett
7 Eminentia mediana mit erstem Kapillarbett
8 Chiasma opticum
9 Nucleus paraventricularis
10 Nucleus supraopticus
11 Tractus hypothalamohypophysialis
12 Neurohypophyse mit eigenem Kapillarbett
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ein Kapillarsystem[6] aufzweigen, sodass die Freisetzungs- und Hemmstoffe in hoher Konzentration zu ihren Zielzellen in der Adenohypophyse gelangen. So stimuliert beispielsweise das hypothalamische „gonadotropin releasing hormone" (GnRH) die Freisetzung der beiden Gonadotropine LH und FSH im Hypophysenvorderlappen und „prolactin inhibiting factor" (PIF), das chemisch mit Dopamin identisch ist, hemmt die Freisetzung von Prolaktin.

Der Hypophysenvorderlappen erhält über das Pfortadersystem hinaus keine direkte Blutversorgung.

Die beiden Hormone der **Neurohypophyse**, das **antidiuretische Hormon** (ADH, Adiuretin, Vasopressin) und **Oxytocin**, werden im Hypothalamus von großzelligen Neuronen im **Nucleus supraopticus**[10] und **Nucleus paraventricularis**[9] gebildet. Diese beiden Hormone werden nicht mit dem Blut über das Pfortadersystem transportiert, sondern gelangen direkt in unmyelinisierten Axonen durch den Hypophysenstiel (Tractus hypothalamohypophysialis[11]) in den Hypophysenhinterlappen[12], wo sie an Kapillaren abgegeben werden.

ADH wird als Reaktion auf einen erhöhten osmotischen Druck sezerniert und bewirkt über eine vermehrte Wasserrückresorption in den Sammelrohren der Nieren eine Konzentrierung des Urins und eine Normalisierung der Osmolarität. **Oxytocin** ist das wehenauslösende Hormon, das bei der Geburt Uteruskontraktionen bewirkt. Außerdem wird dieses Hormon beim Stillen ausgeschüttet und bewirkt eine Milchabgabe in der Brustdrüse. Desweiteren spielt Oxytocin nach der Geburt eine entscheidende Rolle beim Aufbau der emotionalen Bindung zum Neugeborenen und wird als „Kuschelhormon" für Gefühle wie Liebe, Treue und Vertrauen verantwortlich gemacht.

Ihre Blutversorgung erhält die Neurohypophyse aus der A. hypophysialis inferior[5].

Hypophysentumoren führen zu Hormonstörungen und zu einer Schädigung der im Chiasma opticum kreuzenden Sehnervenfasern, die einen Ausfall der seitlichen Gesichtsfelder (bitemporale Hemianopsie = „Scheuklappenblindheit") zur Folge hat.

19.4.3 Subthalamus

Der Subthalamus liegt lateral vom Hypothalamus und umfasst vor allem den **Nucleus subthalamicus**, die **Zona incerta** (s. ▶ **Abb. 19.16**[7, 8]) sowie Fasertrakte, die den Thalamus von kaudal erreichen, wie den **Lemniscus medialis** und den **Tractus spinothalamicus**. Der Nucleus subthalamicus wird bei den Basalkernen besprochen (S. 551). Embryologisch gehört außerdem auch das Pallidum (s. ▶ **Abb. 19.16**[14, 15]) zum Subthalamus.

Der Zona incerta stellt eine Verbindung zwischen dem Hypothalamus und dem motorischen System her und bewirkt z. B., dass bei Durstgefühl Flüssigkeit aufgenommen wird.

19.4.4 Epithalamus

Die dorsomedial vom Thalamus am Dach des III. Ventrikels gelegenen Anteile des Diencephalons werden als Epithalamus bezeichnet (▶ **Abb. 19.15**[6, 9]). Hierzu gehören die **Habenula** und die Zirbeldrüse (**Epiphyse**, s. u.).

Die nur etwa stecknadelkopfgroßen **Habenulae** (▶ **Abb. 19.15**[6]) erhalten Afferenzen aus dem olfaktorischen System. Sie sind mit dem Hypothalamus und der Formatio reticularis verbunden und werden dem **limbischen System** zugerechnet. Neuere Forschungen haben ergeben, dass die Habenulae unsere Motivationen entscheidend beeinflussen, indem sie sowohl unangenehme als auch angenehme Auswirkungen von äußeren Reizen abspeichern. Dies beinhaltet, dass die Habenulae Verhalten unterdrücken, welches zu Bestrafung führen könnte und Verhalten verstärken, für das eine Belohnung zu erwarten ist. Somit bilden sie die Grundlage von Entscheidungsprozessen und motiviertem Verhalten und spielen eine wichtige Rolle beim Lernen und Gedächtnis.

Die **Epiphyse** (Glandula pinealis, Corpus pineale, ▶ **Abb. 19.15**[9]) hat die Form eines Pinienkerns. Sie gehört zu den zirkumventrikulären Organen – ist also nicht mit einer Blut-Hirn-Schranke ausgestattet. Sie produziert das Hormon Melatonin, ein Serotonin- und damit auch Tryptophanderivat. 2 Melatoninwirkungen sind beim Menschen nachgewiesen worden:

Melatonin wirkt **schlafinduzierend**: Tagsüber ist der Melatoninspiegel niedrig. Wenn es dunkel wird, steigt der Spiegel deutlich an. Hierbei steht die Epiphyse unter dem Einfluss der äußeren Lichtverhältnisse. Fasern aus der Retina zweigen zum Nucleus suprachiasmaticus ab, welcher Fasern zu den präganglionären Sympathicusneuronen im thorakalen Rückenmark sendet. Sympathicusfasern aus dem Ganglion cervicale superius ziehen als N. conarii in der Wand des Sinus rectus durch das Tentorium cerebelli zur Epiphyse.



In manchen Ländern wird **Melatonin** gegen Schlafstörungen bei Zeitverschiebung („jet lag“) eingesetzt. Es ist in Deutschland jedoch nicht zugelassen.

Melatonin **hemmt** die **Gonadotropin-Sekretion**: Der Melatoninspiegel ist bis zur Pubertät sehr hoch und fällt dann ab. Wenn ein Tumor die Epiphyse schädigt, kann es zu einer verfrühten Pubertät kommen (Pubertas praecox). Der Melatoninspiegel schwankt auch mit dem weiblichen Zyklus und ist zum Zeitpunkt des Eisprungs am niedrigsten.

19.5 Telencephalon



Das Telencephalon setzt sich aus Rinde, Mark und basalen Kernen zusammen. Es besteht zum größten Teil aus phylogenetisch jüngeren Anteilen (**Neencephalon**). Phylogenetisch ältere Anteile liegen als **limbisches System** an der Grenze zwischen Tel- und Diencephalon.

Die wichtigsten **Kerngebiete** des Neencephalons sind der **Nucleus caudatus** am lateralen Rand des Seitenventrikels und das **Putamen**. Beide sind durch die Capsula interna unvollständig voneinander getrennt, werden zusammengefasst zum **Striatum** und bestehen hauptsächlich aus GABAergen inhibitorischen Neuronen. Zusammen mit dem **Pallidum**, das embryologisch diencephalen Ursprungs ist, erfüllt das Striatum wichtige motorische Funktionen (Basalkerne). Das **Marklager** setzt sich aus **Assoziations-** (Fibrae arcuatae, Fasciculus arcuatus), **Kommissuren-** (Corpus callosum, Commissura anterior) und **Projektionsfasern** zusammen, die in der Capsula interna gebündelt sind.

Der **Neocortex** hat einen sechsschichtigen Aufbau. Funktionell lassen sich **primäre Rindenareale**, in denen Projektionsbahnen beginnen oder enden, von Assoziationsarealen unterscheiden, in

19.4.3 Subthalamus

Der Subthalamus liegt lateral vom Hypothalamus und umfasst vor allem den **Nucleus subthalamicus**, die **Zona incerta** (s. ▶ **Abb. 19.16**[7, 8]) sowie Fasertrakte, die den Thalamus von kaudal erreichen, wie den **Lemniscus medialis** und den **Tractus spinothalamicus**. Der Nucleus subthalamicus wird bei den Basalkernen besprochen (S. 551). Embryologisch gehört außerdem auch das Pallidum (s. ▶ **Abb. 19.16**[14, 15]) zum Subthalamus.

Der Zona incerta stellt eine Verbindung zwischen dem Hypothalamus und dem motorischen System her und bewirkt z. B., dass bei Durstgefühl Flüssigkeit aufgenommen wird.

19.4.4 Epithalamus

Die dorsomedial vom Thalamus am Dach des III. Ventrikels gelegenen Anteile des Diencephalons werden als Epithalamus bezeichnet (▶ **Abb. 19.15**[6, 9]). Hierzu gehören die **Habenula** und die Zirbeldrüse (**Epiphyse**, s. u.).

Die nur etwa stecknadelkopfgroßen **Habenulae** (▶ **Abb. 19.15**[6]) erhalten Afferenzen aus dem olfaktorischen System. Sie sind mit dem Hypothalamus und der Formatio reticularis verbunden und werden dem **limbischen System** zugerechnet. Neuere Forschungen haben ergeben, dass die Habenulae unsere Motivationen entscheidend beeinflussen, indem sie sowohl unangenehme als auch angenehme Auswirkungen von äußeren Reizen abspeichern. Dies beinhaltet, dass die Habenulae Verhalten unterdrücken, welches zu Bestrafung führen könnte und Verhalten verstärken, für das eine Belohnung zu erwarten ist. Somit bilden sie die Grundlage von Entscheidungsprozessen und motiviertem Verhalten und spielen eine wichtige Rolle beim Lernen und Gedächtnis.

Die **Epiphyse** (Glandula pinealis, Corpus pineale, ▶ **Abb. 19.15**[9]) hat die Form eines Pinienkerns. Sie gehört zu den zirkumventrikulären Organen – ist also nicht mit einer Blut-Hirn-Schranke ausgestattet. Sie produziert das Hormon Melatonin, ein Serotonin- und damit auch Tryptophanderivat. 2 Melatoninwirkungen sind beim Menschen nachgewiesen worden:

Melatonin wirkt **schlafinduzierend**: Tagsüber ist der Melatoninspiegel niedrig. Wenn es dunkel wird, steigt der Spiegel deutlich an. Hierbei steht die Epiphyse unter dem Einfluss der äußeren Lichtverhältnisse. Fasern aus der Retina zweigen zum Nucleus suprachiasmaticus ab, welcher Fasern zu den präganglionären Sympathicusneuronen im thorakalen Rückenmark sendet. Sympathicusfasern aus dem Ganglion cervicale superius ziehen als N. conarii in der Wand des Sinus rectus durch das Tentorium cerebelli zur Epiphyse.



In manchen Ländern wird **Melatonin** gegen Schlafstörungen bei Zeitverschiebung („jet lag“) eingesetzt. Es ist in Deutschland jedoch nicht zugelassen.

Melatonin **hemmt** die **Gonadotropin-Sekretion**: Der Melatoninspiegel ist bis zur Pubertät sehr hoch und fällt dann ab. Wenn ein Tumor die Epiphyse schädigt, kann es zu einer verfrühten Pubertät kommen (Pubertas praecox). Der Melatoninspiegel schwankt auch mit dem weiblichen Zyklus und ist zum Zeitpunkt des Eisprungs am niedrigsten.

19.5 Telencephalon



Das Telencephalon setzt sich aus Rinde, Mark und basalen Kernen zusammen. Es besteht zum größten Teil aus phylogenetisch jüngeren Anteilen (**Neencephalon**). Phylogenetisch ältere Anteile liegen als **limbisches System** an der Grenze zwischen Tel- und Diencephalon.

Die wichtigsten **Kerngebiete** des Neencephalons sind der **Nucleus caudatus** am lateralen Rand des Seitenventrikels und das **Putamen**. Beide sind durch die Capsula interna unvollständig voneinander getrennt, werden zusammengefasst zum **Striatum** und bestehen hauptsächlich aus GABAergen inhibitorischen Neuronen. Zusammen mit dem **Pallidum**, das embryologisch diencephalen Ursprungs ist, erfüllt das Striatum wichtige motorische Funktionen (Basalkerne). Das **Marklager** setzt sich aus **Assoziations-** (Fibrae arcuatae, Fasciculus arcuatus), **Kommissuren-** (Corpus callosum, Commissura anterior) und **Projektionsfasern** zusammen, die in der Capsula interna gebündelt sind.

Der **Neocortex** hat einen sechsschichtigen Aufbau. Funktionell lassen sich **primäre Rindenareale**, in denen Projektionsbahnen beginnen oder enden, von Assoziationsarealen unterscheiden, in

denen die Informationen integriert werden. Wichtige primäre Rindenareale sind der **Motocortex** im Gyrus precentralis, der **somatosensorische Cortex** im Gyrus postcentralis, die **Sehrinde** in der Calcarina-Rinde und die **Hörrinde** in den Gyri temporales transversi. Motorisches und sensorisches **Sprachzentrum** sowie **präfrontaler Cortex** sind Beispiele für **Assoziationsareale**.

Das Endhirn (Telencephalon) wird auch als Großhirn (**Cerebrum**) bezeichnet und besteht aus Rinde (**zerebraler Cortex**), Mark (**Medulla**) und **Striatum** (▶ **Abb. 19.20**). Rinde und Mark werden auch als Mantel (**Pallium**) zusammengefasst und dem Striatum gegenübergestellt. Die ebenfalls zum Telencephalon gehörenden Anteile des **limbischen Systems** (Hippocampus, Amygdala, Fornix) sind im Kapitel limbisches System (S. 573) behandelt.

19.5.1 Striatum

Durch das Einwachsen der Capsula interna sind die beiden Teile des Striatums[17] (**Nucleus caudatus**[16] und **Putamen**[13]) zwar anatomisch voneinander getrennt, doch sie behalten ihre gemeinsame Funktion. Im Verlauf der embryologischen Entwicklung rücken das telencephale **Putamen**[13] und das diencephale **Pallidum**[12] eng aneinander und sind präparatorisch nicht mehr voneinander zu trennen. Putamen und Pallidum werden daher gemeinsam als Linsenkern (**Nucleus lentiformis**[14]) bezeichnet – ein rein anatomischer Begriff, denn

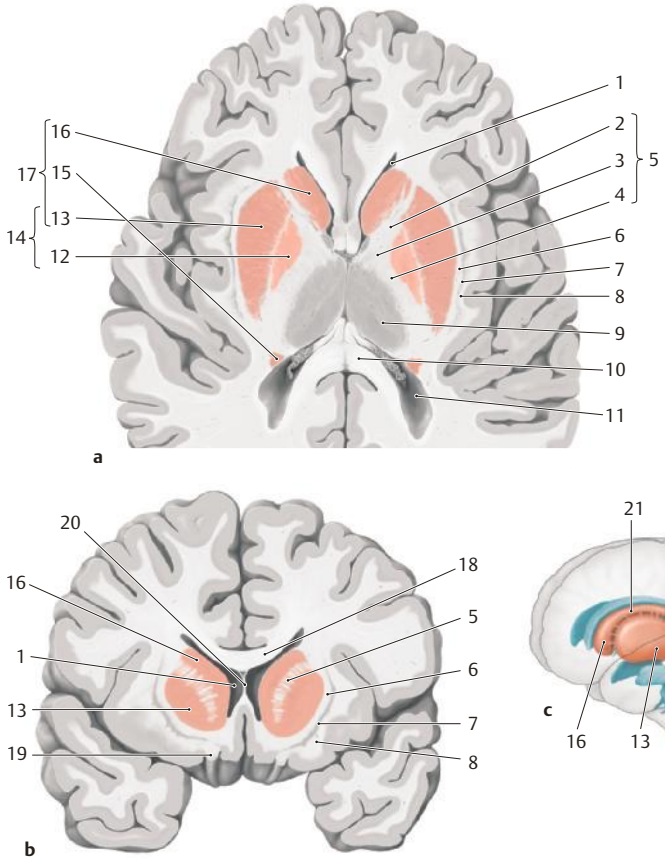


Abb. 19.20 Telencephalon. a Horizontalschnitt, **b** Frontalschnitt, **c** Projektion des Striatums auf die Hirnoberfläche von links.
1 Ventriculus lateralis
2 Capsula interna, Crus anterius
3 Capsula interna, Genu
4 Capsula interna, Crus posterius
5 Capsula interna
6 Capsula externa
7 Claustrum
8 Capsula extrema
9 Thalamus
10 Forceps major (occipitalis)
11 Ventriculus lateralis, Cornu posterius
12 Pallidum
13 Putamen
14 Nucleus lentiformis
15 Nucleus caudatus, Cauda
16 Nucleus caudatus, Caput
17 Striatum
18 Corpus callosum
19 Tractus olfactorius
20 Septum pellucidum
21 Nucleus caudatus, Corpus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Putamen und Pallidum haben unterschiedliche Aufgaben (S. 551).

Einzelne Lehrbücher fassen Striatum und Pallidum zum **Corpus striatum** zusammen.

Das Pallidum ist embryologisch diencephalen Ursprungs, wird aber heutzutage allgemein zum Telencephalon gerechnet.

Der **Nucleus caudatus** (▶ **Abb. 19.20**[21]) bildet die laterale Begrenzung des Seitenventrikels. Die Größenzunahme des Telencephalons während der Entwicklung in Richtung vorne, hinten und unten erklärt, dass sein vorderer Anteil, der Kopf (**Caput**[16]), am Boden des Vorderhorns und sein Körper (**Corpus**[21]) am Boden der Pars centralis des Seitenventrikels liegt, während sein Schweif (**Cauda**[15]) das Dach des Unterhorns bildet. Nach lateral wird der Nucleus caudatus durch die Capsula interna[5] vom **Putamen**[13] abgegrenzt. Lateral des Putamens liegen Capsula externa[6], Claustrum[7], Capsula extrema[8] und Inselrinde, medial die Capsula interna[5] und das Pallidum[12].

Als größter Basalkern erhält das Striatum Fasern aus dem gesamten zerebralen Cortex und stellt somit den wichtigsten Eingangskern des Basalkernsystems dar. Es besteht zu 90 % aus GABAergen Projektionsneuronen, die Fasern entweder in das Pallidum externum, das Pallidum internum oder die Substantia nigra senden. Des Weiteren enthält es 2 Arten von lokalen hemmenden Interneuronen, die entweder Azetylcholin (cholinerg) oder Somatostatin und Neuropeptid Y als Neurotransmitter benutzen.

Das **Pallidum** (Globus pallidus[12]) ist entwicklungsgeschichtlich aus dem Diencephalon hervorgegangen und durch die Capsula interna[5] nach medial vom Thalamus[9] und dem Nucleus subthalamicus abgetrennt. Es enthält zahlreiche myelinisierte Axone, die ihm in seiner Gesamtheit ein blässliches (lat.: pallidum) Aussehen verleihen. Es lässt sich in einen äußeren (**Pallidum externum**) und einen inneren Anteil (**Pallidum internum**) unterteilen (▶ **Abb. 19.16**[14, 15]), beide sind ebenfalls inhibitorisch und benutzen GABA als Neurotransmitter. Das Pallidum internum (S. 553) hemmt den Nucleus ventralis anterior des Thalamus und ist der wichtigste Ausgangskern im System der Basalkerne.

19.5.2 Mark

Das Marklager der Großhirnhemisphären umfasst eine große Anzahl von Axonen, die in den Cortex hinein- und aus ihm herausziehen. Man unterscheidet nach ihrer Funktion (s. Entwicklung des zentralen Nervensystems (S. 502)):

- Assoziationsfasern,
- Kommissurenfasern,
- Projektionsfasern.

Den größten Teil des Marklagers bilden **Assoziationsfasern** (▶ **Abb. 19.21**). **Fibrae arcuatae**[1] verbinden U-förmig benachbarte Windungen.

Der **Fasciculus longitudinalis superior**[4], auch als Fasciculus arcuatus bezeichnet, verläuft kranial der Insel in anteroposteriorer Richtung. Er ist das wichtigste Verbindungssystem zwischen dem frontalen Cortex und parietalen, temporalen sowie okzipitalen Rindengebieten. Über ihn werden sensorische (vor allem visuelle und propriozeptive) Signale an den frontalen Cortex übermittelt und Bewegungsabläufe beeinflusst. Besondere Bedeutung hat der Fasciculus longitudinalis superior als Verbindung zwischen sensorischem und motorischem Sprachzentrum.

Der **Fasciculus uncinatus**[7] ist der wichtigste einer Gruppe von Strängen, die ventral der Inselrinde den frontalen Cortex mit dem temporalen Cortex verbinden und in ihrer Gesamtheit als Fasciculi frontotemporales bezeichnet werden.

Die meisten neokortikalen **Kommissurenfasern** verlaufen über den Balken (**Corpus callosum**). Seine vorderen Anteile verjüngen sich spitz zum **Rostrum** (Schnabel) und setzen sich in das **Genu** (Knie) fort (s. ▶ **Abb. 19.15**), in dem Fasern aus den Frontallappen kreuzen. Im **Truncus** (Stamm) ziehen Axone aus dem Parietallappen zur Gegenseite. Das dorsale Ende des Corpus callosum verbreitert sich zum **Splenium** (Pflaster), das die Okzipitallappen beider Seiten verbindet. Die Unterfläche des Corpus callosum bildet das Dach der Seitenventrikel und grenzt nach kaudal an das Septum pellucidum und den Fornix (▶ **Abb. 19.20b**).

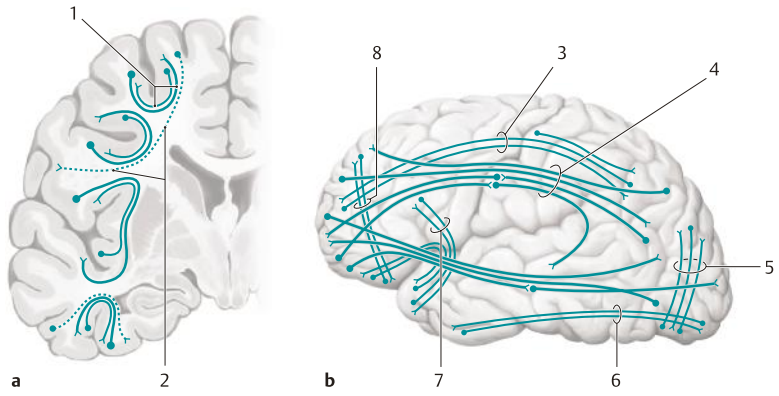


Abb. 19.21 Assoziationsfasern des Telencephalons. Im Frontalschnitt (**a**) sind die kürzesten Assoziationsfasern (Fibrae arcuatae cerebri) und gestrichelt die Fibrae associationis telencephali dargestellt. Die Lateralansicht des Gehirns (**b**) zeigt die Projektion des Verlaufs der Assoziationsfasern.

1 Fibrae arcuatae cerebri
2 Fibrae associationis telencephali
3 Fasciculus occipitofrontalis superior
4 Fasciculus longitudinalis superior
5 Fasciculi occipitales verticales
6 Fasciculus longitudinalis inferior
7 Fasciculus uncinatus
8 Fasciculus orbitofrontalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Das Corpus callosum wurde früher manchmal zur Behandlung von Epilepsien chirurgisch durchtrennt. Solche **„Split brain"**-Patienten zeigen erstaunlich wenige Symptome. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich allerdings, dass sie beispielsweise Gegenstände nicht benennen können, die ihnen im linken Gesichtsfeld gezeigt werden. Dies beruht darauf, dass das linke Gesichtsfeld in der rechten Hirnhälfte repräsentiert ist, das Sprachzentrum hingegen in der Regel in der linken Hemisphäre liegt.

Das **Septum pellucidum** (lat.: durchscheinend) ist eine sehr dünne Schicht grauer und weißer Hirnsubstanz (▶ **Abb. 19.15**[31], ▶ **Abb. 19.20**[20]). Es bildet die mediale Hemisphärenwand zwischen Corpus callosum und Fornix und somit auch die mediale Begrenzung der Vorderhörner der Seitenventrikel. Es enthält wenige Assoziationsfasern des limbischen Systems und hat keine große funktionelle Bedeutung. Beide Septa pellucida sind normalerweise miteinander verschmolzen, können aber auch einen Hohlraum zwischen sich umschließen, das **Cavum septi pellucidi**.

Vom Septum pellucidum zu unterscheiden ist die Septumregion (**Area septalis**, ▶ **Abb. 19.50**[6]), zu der auch die Septumkerne gehören. Sie findet sich unterhalb des Rostrum corporis callosi, enthält unter anderem wichtige cholinerge Neuronen, welche die gesamte Großhirnrinde innervieren, und wird zum limbischen System gezählt.

Nur wenige Fasern aus den Temporallappen kreuzen über den Balken. Die meisten ziehen über die **Commissura anterior** (▶ **Abb. 19.15**[27]) zur Gegenseite, die am kaudalen Ende des Septum pellucidum liegt.

Die **Commissura posterior** (▶ **Abb. 19.15**[10]) gehört nicht zum Telencephalon. Sie liegt unterhalb der Epiphyse und verbindet Teile des Epithalamus und des Tectums.

Die **Capsula interna** (▶ **Abb. 19.22**[1]) ist das wichtigste System von **Projektionsfasern**. Diese ziehen fächerförmig als **Corona radiata** zum Neocortex (s. a. ▶ **Abb. 19.26**). Im Horizontalschnitt (s. ▶ **Abb. 19.20a**) ist die Capsula interna L-förmig und besteht aus vorderem Schenkel (**Crus anterius**), Knie (**Genu**), hinterem Schenkel (**Crus posterius**) und außerdem aus einem **retrolentiformen** (hinter dem Putamen) sowie einem **sublentiformen** (unter dem Putamen gelegen) Teil. Im Knie verläuft die kortikonukleare Bahn zur Steuerung

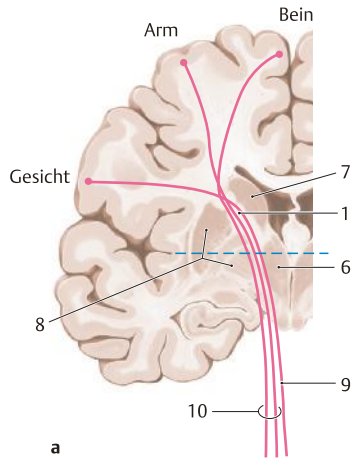


Abb. 19.22 Lage und Somatotopie der Capsula interna.
a Verlauf der Pyramidenbahn im Frontalschnitt (blau = Schnittebene für b), **b** Lage der Capsula interna im Horizontalschnitt (Pyramidenbahn rot hervorgehoben).
1 Capsula interna
2 Fibrae temporopontinae und somatosensible Fasern
3 Pyramidenbahn
4 Fibrae frontopontinae
5 Nucleus caudatus, Cauda
6 Thalamus
7 Nucleus caudatus, Caput
8 Nucleus lentiformis (Putamen, Pallidum externum und internum)
9 Fibrae corticonucleares
10 Fibrae corticospinales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

der Kopfmuskulatur (Fibrae corticonucleares[9]), im hinteren Schenkel die somatotop gegliederten **Fibrae corticospinales**[3] für Willkürbewegungen des Körpers. Dorsal der Pyramidenbahn verlaufen thalamokortikale Fasern der Somatosensibilität[2], in den retrolentiformen Anteilen die Seh- und Hörbahn. Ihre Blutversorgung erhält die Capsula interna vor allem über die Aa. centrales anterolaterales, Äste der A. cerebri media (S. 589).

Da in der Capsula interna die Fasern zum zerebralen Cortex und aus dem Cortex auf engem Raum zusammenliegen, kommt es bei Einblutungen in die Capsula interna (**„Schlaganfall“**) zu ausgedehnten motorischen und sensiblen Ausfällen.

19.5.3 Telencephaler Cortex

Schichtenaufbau der Großhirnrinde

Histologisch lässt sich die Großhirnrinde in 3 Typen unterteilen:

- Den größten Teil (ca. 90 %) nimmt der sechsschichtige **Isocortex** ein – auch als **Neocortex** bezeichnet, da er phylogenetisch jünger ist.
- Unter dem **Paleocortex** versteht man den olfaktorischen piriformen Cortex (s. ▶ **Abb. 19.49**) (Trigonum olfactorium, Substantia perforata anterior, Uncus, Limen insulae). Der Paleocortex ist größtenteils dreischichtig (allokortikal: weniger als 6 Schichten).
- Zum **Archicortex** rechnet man vor allem die zum limbischen System gehörende Hippocampusformation (s. ▶ **Abb. 19.51**). Auch der Archicortex ist größtenteils dreischichtig (allokortikal).

Die äußerste Schicht (Lamina I) des Neocortex bildet die **Molekularschicht**, in welcher Assoziations- und Kommissurenfasern Synapsen mit Dendriten der in Lamina III und V gelegenen **Pyramidenzellen** eingehen. Axone dieser Pyramidenzellen bilden die neokortikalen Efferenzen. Thalamokortikale Fasern erregen die basalen Dendriten von Pyramidenzellen und von Sternzellen in Lamina IV (innere Körnerschicht). Lamina II (äußere Körnerschicht) und Lamina VI (multiforme Schicht) enthalten Pyramidenzellen und Interneurone.

Diese Schichten sind in unterschiedlichen Rindenregionen unterschiedlich deutlich ausgeprägt und unterschiedlich dick. Auf der Grundlage dieser zytoarchitektonischen Unterschiede hat Brodmann den Neocortex in 52 Felder (Areae) unterteilt, die zum Teil auch bestimmten Funktionen zugeordnet werden können. So umfasst die Area 4 die primäre motorische Rinde, die Area 8 das frontale Augenfeld und die Area 17 den primären visuellen Cortex (▶ **Abb. 19.24**).

Lappengliederung der Großhirnrinde (▶ Abb. 19.23)

Das Telencephalon wird von der **Fissura longitudinalis cerebri** in 2 Hälften geteilt, die man wiederum in je 4 Lappen untergliedert: Der Stirnlappen (**Lobus frontalis**) wird durch den **Sulcus centralis**[1] vom Scheitellappen (**Lobus parietalis**) getrennt. Zwischen Lobus parietalis und Hinterhauptslappen (**Lobus occipitalis**) liegt der **Sulcus parietooccipitalis**[4]. Die tiefe Sylvische Furche (**Sulcus lateralis Sylvii**[7]) trennt den Frontal- und den Parietallappen vom Schläfenlappen (**Lobus temporalis**). In ihrer Tiefe liegt die Inselrinde (Insula Reilii), die von einigen Autoren auch als 5. Lappen bezeichnet wird. Die Rindenanteile, die die Insel bedecken, werden als Deckelchen (Operculum frontale, parietale und temporale) bezeichnet. Der anteriore, untere Teil der Inselrinde am Vorderrand des Sulcus lateralis (Sylvii) wird **Limen** (lat.: Schwelle) **insulae** genannt.

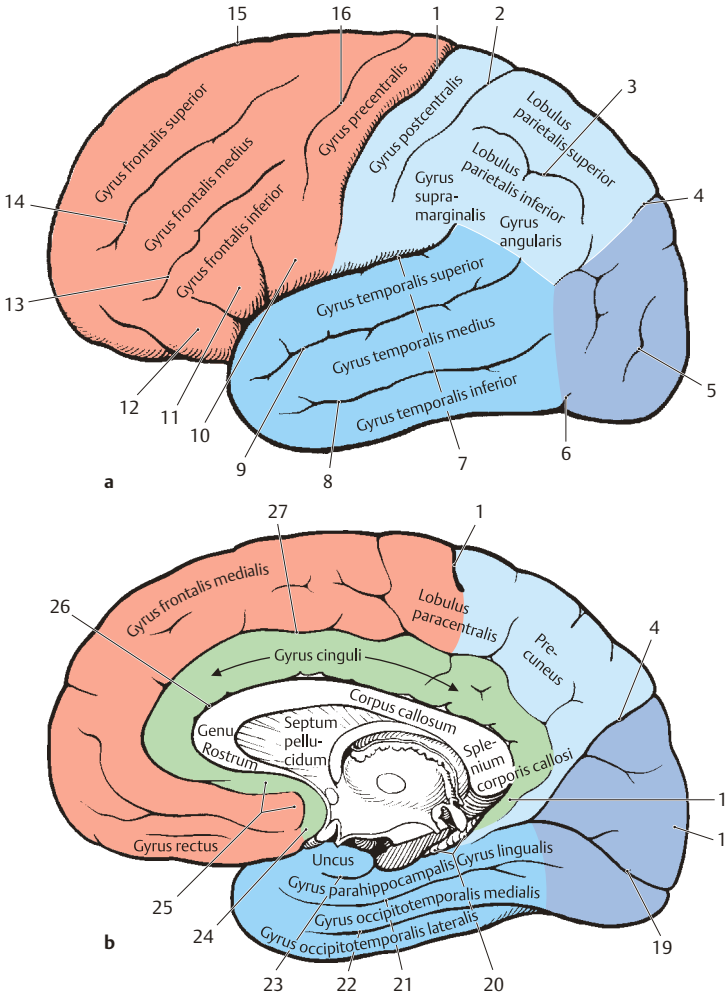


Abb. 19.23 Gyri und Sulci des Telencephalons. a von lateral, **b** von medial. Rot: Lobus frontalis, hellblau: Lobus parietalis, dunkelblau: Lobus temporalis, violett: Lobus occipitalis, grün: Lobus limbicus

1 Sulcus centralis
2 Sulcus postcentralis
3 Sulcus intraparietalis
4 Sulcus parietooccipitalis
5 Sulcus lunatus
6 Sulcus preoccipitalis
7 Sulcus lateralis
8 Sulcus temporalis inferior
9 Sulcus temporalis superior
10 Pars opercularis
11 Pars triangularis
12 Pars orbitalis
13 Sulcus frontalis inferior
14 Sulcus frontalis superior
15 Mantelkante
16 Sulcus precentralis
17 Isthmus gyri cinguli
18 Cuneus
19 Sulcus calcarinus
20 Sulcus hippocampi und Gyrus dentatus
21 Sulcus collateralis
22 Sulcus occipitotemporalis
23 Sulcus rhinalis
24 Gyrus paraterminalis
25 Area subcallosa
26 Sulcus corporis callosi
27 Sulcus cinguli

(nach Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

In der **Ansicht von lateral** sieht man unmittelbar vor dem Sulcus centralis den **Gyrus precentralis** (primär motorische Rinde). Der restliche Frontallappen wird durch den **Sulcus frontalis superior**[14] und den **Sulcus frontalis inferior**[13] in **Gyrus frontalis superior**, **Gyrus frontalis medius** und **Gyrus frontalis inferior** untergliedert. Der **Gyrus frontalis inferior** besteht aus einer Pars opercularis[10], einer Pars triangularis[11] und einer Pars orbitalis[12]. Hinter dem Sulcus centralis befindet sich der **Gyrus postcentralis** (primär somatosensorische Rinde). Der **Sulcus intraparietalis**[3] teilt die übrige Außenfläche des Parietallappens in einen **Lobulus parietalis superior** und einen **Lobulus parietalis inferior** – Letzterer besteht aus **Gyrus supramarginalis**, der die Spitze des Sulcus lateralis[7] umgreift, und **Gyrus angularis**, der das Ende des Sulcus temporalis superior[9] U-förmig umgibt.

Der Temporallappen wird durch **Sulcus temporalis superior**[9] und **inferior**[8] unterteilt in **Gyrus temporalis superior**, **medius** und **inferior**. Vom Gyrus temporalis superior ziehen im Operculum temporale querverlaufende Windungen im Sulcus lateralis (Sylvii) in Richtung auf die Inselrinde, die als **Gyri temporales transversi** oder Heschl-Querwindungen (primäre Hörrinde) bezeichnet werden (s. ▶ **Abb. 19.42**[17]).

In der **Ansicht von medial** trennt der **Sulcus cinguli**[27] den um das Corpus callosum herumlaufenden **Gyrus cinguli** vom **Gyrus subcallosus** und vom **Gyrus frontalis medialis** des Frontallappens sowie vom **Lobulus paracentralis** und vom **Precuneus**. Im Okzipitallappen geht senkrecht vom **Sulcus parietooccipitalis**[4] der **Sulcus calcarinus**[19] ab. In seiner Umgebung liegt die primäre Sehrinde. An der Unterfläche des Temporallappens trennt der **Sulcus occipitotemporalis**[22] den **Gyrus occipitotemporalis lateralis** vom **Gyrus occipitotemporalis medialis**. Dieser wird durch den **Sulcus collateralis**[21] vom **Gyrus parahippocampalis** abgegrenzt, dessen vordere Spitze hakenförmig umbiegt und daher **Uncus** (Haken) heißt. Der Sulcus hippocampi liegt zwischen **Gyrus parahippocampalis** und **Gyrus dentatus**[20], dem von außen sichtbaren Teil des Hippocampus.

Die Gyri paraterminalis, subcallosus und cinguli sowie das angrenzende limbische System werden von manchen Autoren als limbischer Lappen (Lobus limbicus) zusammengefasst.

Funktionelle Zuordnung

Rindenfelder, in denen Projektionsbahnen enden oder beginnen, bezeichnet man als **primäre Rindenareale** (▶ **Abb. 19.24**). Hierzu gehören:

- der **Motocortex** (Area 4), der weitgehend mit dem Gyrus precentralis identisch ist und in dem die Pyramidenbahn beginnt,
- der primäre **somatosensorische Cortex** (Areae 1, 2, 3), der den Gyrus postcentralis einnimmt und in dem die Bahnen für Tastsinn, Schmerz und Temperatur enden,
- der primäre **gustatorische Cortex** in der Pars opercularis des Gyrus postcentralis für die Geschmackbahn,
- der primäre **visuelle Cortex** (Area 17) in der Umgebung des Sulcus calcarinus, in dem die Sehbahn endet,
- der primäre **auditorische Cortex** (Area 41) in den Gyri temporales transversi als Ende der Hörbahn.

Die übrigen Rindenregionen werden als **Assoziationsareale** bezeichnet.

Unimodale Assoziationsareale grenzen an primäre Rindenfelder. In ihnen wird die eingegangene Information interpretiert. So grenzen z. B. die Areae 18 und 19 an die Sehrinde. In ihnen werden Farbe, Form und Bewegung der visuellen Eindrücke analysiert und optische Erinnerungen (Gesichter, Buchstaben) abgespeichert. Im prämotorischen und im supplementären motorischen Cortex (Area 6) in der Umgebung des Motocortex werden komplexe Bewegungsmuster vorbereitet.

In **multimodalen Assoziationsarealen** werden verschiedene Sinnesmodalitäten zusammengeführt. Beispielsweise werden im präfrontalen Cortex, welcher den größten Teil des Frontallappens einnimmt, unterschiedliche sensible Informationen miteinander verglichen, ihre Bedeutung kognitiv eingeordnet und als Antwort Handlungsstrategien entworfen. Im sensorischen Sprachzentrum wird den akustischen Impulsen des gehörten Wortes eine semantische Bedeutung zugeordnet, die sich aus der Erinnerung an bestimmte sensible Erfahrungen ergibt.

Hemisphärendominanz

Die meisten primären Rindenareale liegen auf der kontralateralen Hemisphäre. Die hier ein- oder ausgehende Information (z. B. eine Bewegung des rechten Daumens) wird dann über das Corpus cal-

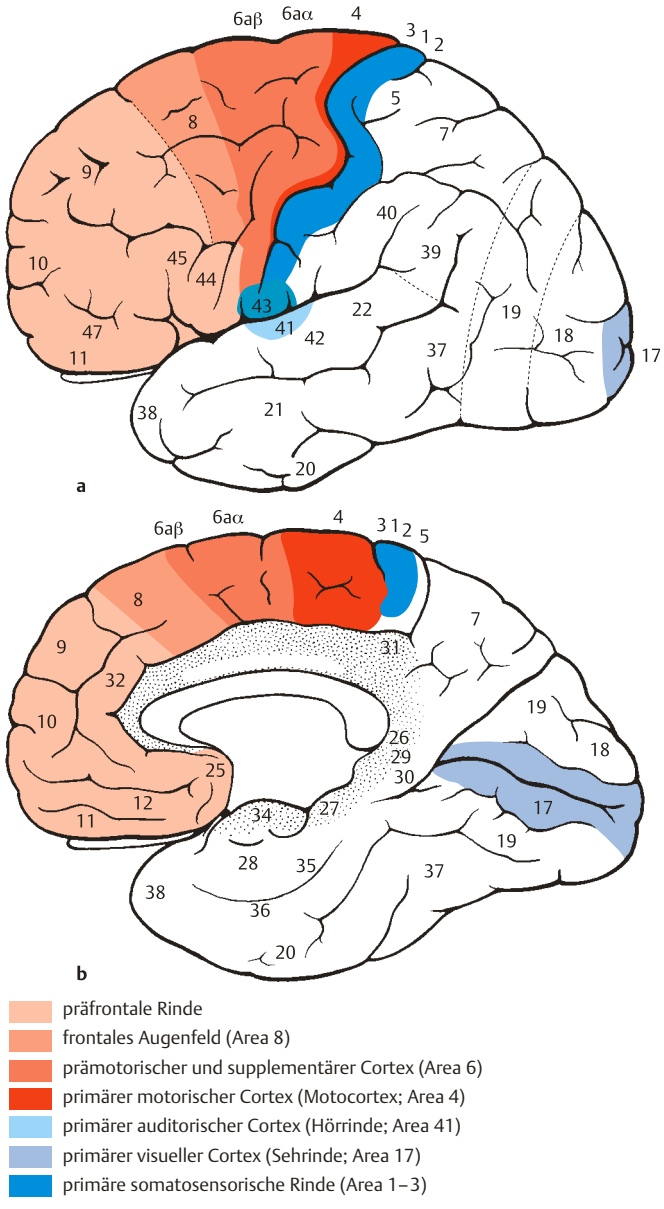


Abb. 19.24 Rindenfelder nach Brodmann. a von lateral, **b** von medial. (aus Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

losum der Großhirnrinde der Gegenseite vermittelt. Bestimmte komplexere Aufgaben sind bei den meisten Menschen **lateralisiert**, also nur auf einer Seite repräsentiert. So befinden sich die Sprachzentren, insbesondere für lexikalische und grammatische Fähigkeiten, bei fast allen Rechtshändern und den meisten Linkshändern auf der linken Seite. Das **motorische Sprachzentrum** (Broca) ist für Sprachbildung notwendig und liegt in der Pars opercularis und der Pars triangularis des Gyrus frontalis inferior (Area 44 und 45), das **sensorische Sprachzentrum** (Wernicke) für das Sprachverständnis befindet sich im hinteren Gyrus temporalis superior (Area 22).

Die rechte Hemisphäre ist hingegen wichtig für Körpersprache sowie Rhythmus, Betonung und emotionale Aspekte von Sprachbildung (Broca-Zentrum) und Sprachverständnis (Wernicke-Zentrum). Außerdem ist das Gefühl für Raum und Dreidimensionalität in der Regel auf der rechten Großhirnhälfte repräsentiert.

19.6 Systeme und Bahnen

19.6.1 Somatosensibilität

Epikritische Sensibilität

Die **epikritische Sensibilität** umfasst den **Tastsinn**, mit dessen Hilfe Dinge durch Betasten unterschieden werden können. Ihre aufsteigenden Bahnen verlaufen ipsilateral im **Hinterstrang** des Rückenmarks (**Fasciculus gracilis** und **cuneatus**) und kreuzen erst in der Medulla oblongata zur Gegenseite. Nach Umschaltung im Thalamus (**Nucleus ventralis posterolateralis**) enden sie im somatosensorischen Cortex (**Gyrus postcentralis**), der somatotop organisiert ist. Epikritische Afferenzen vom Kopf werden dem **Gyrus postcentralis** über den **Nucleus principalis n. trigemini** und den **Nucleus ventralis posteromedialis thalami** zugeleitet.

Der **epikritische Tastsinn** umfasst 3 Sinnesqualitäten: **Berührung**, **Druck** und **Vibration**. Die entsprechenden Rezeptoren liegen in der Haut (Merkel-Scheiben, Meissner-Tastkörper) und Unterhaut (Pacini-Tastkörper), s. ▶ Tab. 18.2.

Der Berührungssinn ermöglicht, sehr feine mechanische Reize wahrzunehmen. Er beinhaltet 2-Punkte-Diskrimination, Stereognosie (die Fähigkeit, Gegenstände allein durch Betasten zu erkennen) und Graphästhesie (die Fähigkeit, auf die Haut gemalte Zahlen und Buchstaben zu erkennen). Wegen dieser Fähigkeit, Dinge zu unterscheiden, wird dieser Sinn auch als „epikritisch" (unterscheidend) bezeichnet.

Die **Tastbahn** besteht aus 3 hintereinandergeschalteten Neuronensystemen (▶ **Abb. 19.25**). Das **1. Neuron** ist eine pseudounipolare Nervenzelle, deren Perikaryon im **Spinalganglion** oder in den sensiblen Ganglien der Hirnnerven liegt.

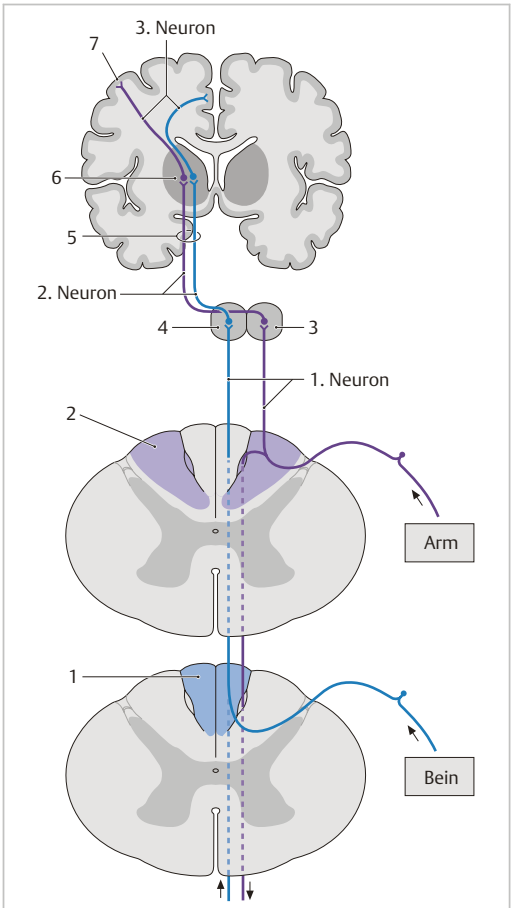


Abb. 19.25 Hinterstrangbahnen und ihre Umschaltstationen.
1 Fasciculus gracilis
2 Fasciculus cuneatus
3 Nucleus cuneatus
4 Nucleus gracilis
5 Lemniscus medialis
6 Thalamus (VPL)
7 Gyrus postcentralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Sensibilität von Rumpf, Hals und Extremitäten

Bei der Sensibilität aus **Rumpf, Hals und Extremitäten** leitet ein peripherer Fortsatz des 1. Neurons die Erregung von den Rezeptoren über periphere Nerven zum Spinalnerv. Ein zentraler Fortsatz zieht über die hintere Wurzel ins Rückenmark und

Die rechte Hemisphäre ist hingegen wichtig für Körpersprache sowie Rhythmus, Betonung und emotionale Aspekte von Sprachbildung (Broca-Zentrum) und Sprachverständnis (Wernicke-Zentrum). Außerdem ist das Gefühl für Raum und Dreidimensionalität in der Regel auf der rechten Großhirnhälfte repräsentiert.

19.6 Systeme und Bahnen

19.6.1 Somatosensibilität

Epikritische Sensibilität

Die **epikritische Sensibilität** umfasst den **Tastsinn**, mit dessen Hilfe Dinge durch Betasten unterschieden werden können. Ihre aufsteigenden Bahnen verlaufen ipsilateral im **Hinterstrang** des Rückenmarks (**Fasciculus gracilis** und **cuneatus**) und kreuzen erst in der Medulla oblongata zur Gegenseite. Nach Umschaltung im Thalamus (**Nucleus ventralis posterolateralis**) enden sie im somatosensorischen Cortex (**Gyrus postcentralis**), der somatotop organisiert ist. Epikritische Afferenzen vom Kopf werden dem **Gyrus postcentralis** über den **Nucleus principalis n. trigemini** und den **Nucleus ventralis posteromedialis thalami** zugeleitet.

Der **epikritische Tastsinn** umfasst 3 Sinnesqualitäten: **Berührung**, **Druck** und **Vibration**. Die entsprechenden Rezeptoren liegen in der Haut (Merkel-Scheiben, Meissner-Tastkörper) und Unterhaut (Pacini-Tastkörper), s. ▶ Tab. 18.2.

Der Berührungssinn ermöglicht, sehr feine mechanische Reize wahrzunehmen. Er beinhaltet 2-Punkte-Diskrimination, Stereognosie (die Fähigkeit, Gegenstände allein durch Betasten zu erkennen) und Graphästhesie (die Fähigkeit, auf die Haut gemalte Zahlen und Buchstaben zu erkennen). Wegen dieser Fähigkeit, Dinge zu unterscheiden, wird dieser Sinn auch als „epikritisch" (unterscheidend) bezeichnet.

Die **Tastbahn** besteht aus 3 hintereinandergeschalteten Neuronensystemen (▶ **Abb. 19.25**). Das **1. Neuron** ist eine pseudounipolare Nervenzelle, deren Perikaryon im **Spinalganglion** oder in den sensiblen Ganglien der Hirnnerven liegt.

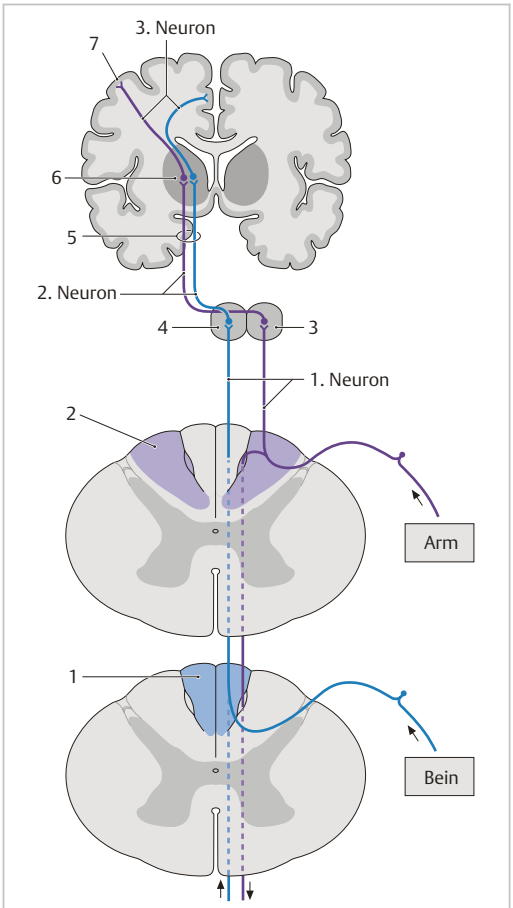


Abb. 19.25 Hinterstrangbahnen und ihre Umschaltstationen.
1 Fasciculus gracilis
2 Fasciculus cuneatus
3 Nucleus cuneatus
4 Nucleus gracilis
5 Lemniscus medialis
6 Thalamus (VPL)
7 Gyrus postcentralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Sensibilität von Rumpf, Hals und Extremitäten

Bei der Sensibilität aus **Rumpf, Hals und Extremitäten** leitet ein peripherer Fortsatz des 1. Neurons die Erregung von den Rezeptoren über periphere Nerven zum Spinalnerv. Ein zentraler Fortsatz zieht über die hintere Wurzel ins Rückenmark und

weiter in den **Hinterstrang**. Neu hinzutretende Axone legen sich hierbei der aufsteigenden Bahn von lateral an. Der Hinterstrang ist somit somatotop gegliedert. Die Fasern aus dem kokzygealen Segment liegen am weitesten medial im **Fasciculus gracilis**[1], weiter lateral verlaufen Axone aus höheren Segmenten. Während der Fasciculus gracilis im gesamten Rückenmark zu finden ist, ist der **Fasciculus cuneatus**[2] unterhalb von Th 3 nicht angelegt, da er nur Fasern aus höheren Segmenten enthält.

Da die Fasern im ipsilateralen Hinterstrang aufsteigen, führen **Rückenmarkverletzungen** zum Ausfall der **epikritischen Sensibilität** auf der *gleichen* Seite. Weil Verletzungen des Rückenmarks meist die lateralen Anteile betreffen, bleibt die Sensibilität in den sakralen Segmenten häufig erhalten.

Im Hinterstrang ziehen die zentralen Axone des 1. Neurons in die Medulla oblongata und enden hier am **Nucleus gracilis**[4] und **Nucleus cuneatus**[3], wo die Perikarya des **2. Neurons** liegen. Nach synaptischer Umschaltung kreuzen die Axone des 2. Neurons in der Schleifenkreuzung (**Decussatio lemniscorum**) zur Gegenseite und ziehen im **Lemniscus medialis**[5] zum **Nucleus ventralis posterolateralis** (VPL) des Thalamus[6]. In diesem spezifischen somatosensiblen Thalamuskern liegen die Perikarya des **3. Neurons**, mit denen die Axone des 2. Neurons eine Synapse bilden. Axone des 3. Neurons ziehen über die hinteren Schenkel der **Capsula interna** zum primären somatosensorischen Cortex, der im **Gyrus postcentralis**[7] und dem angrenzenden Teil des Lobulus paracentralis liegt (Areae 1, 2 und 3).

Der primäre somatosensorische Cortex ist somatotop gegliedert (▶ **Abb. 19.26**): Jede Körperregion ist auf einem spezifischen Cortexareal repräsentiert. Dabei entspricht die Ausdehnung auf dem Cortex nicht dem Anteil an der Körperoberfläche, sondern der sensiblen Innervationsdichte, sodass Finger und Kopf entsprechend groß repräsentiert sind. Die schematische Darstellung eines Menschen, bei der die Körperregionen proportional ihrer Repräsentation auf den Gyrus postcentralis projiziert sind, wird als **sensorischer Homunculus** bezeichnet. Hierbei „hängen die Beine über die Mantelkante", d. h., sie sind auf der medialen Oberfläche[1] des primären somatosensorischen Cortex repräsentiert, der Kopf dagegen in der Nähe des Sulcus lateralis[13].

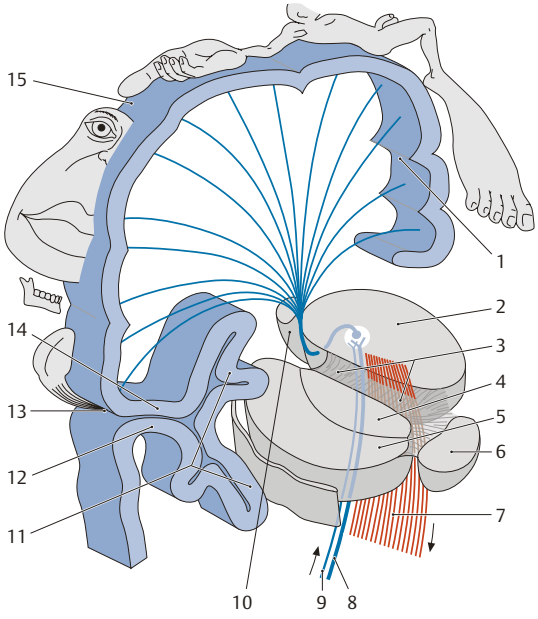


Abb. 19.26 Verlauf der somatosensiblen Bahnen im Endhirn. Der sensorische Homunculus zeigt, dass die kortikale Repräsentation des Körpers nicht der Oberfläche der einzelnen Körperteile entspricht. Gesicht, Zunge, Hände und Füße sind deutlich stärker vertreten als der Rest des Körpers.
1 Lobulus paracentralis
2 Thalamus (VPL, VPM)
3 Capsula interna
4 Pallidum
5 Putamen
6 Nucleus caudatus, Caput
7 Tractus pyramidalis
8 Lemniscus medialis
9 Tractus spinothalamicus
10 Nucleus caudatus, Cauda
11 Inselrinde
12 Operculum temporale
13 Sulcus lateralis
14 Operculum parietale
15 Gyrus postcentralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **sekundäre somatosensorische Cortex** befindet sich lateral, etwas posterior des primären somatosensorischen Cortex am Oberrand des Sulcus lateralis (Sylvii), also im Operculum parietale (▶ **Abb. 19.24**: Areae 40 und 43). Er integriert taktile Informationen beider Körperhälften und spielt eine besondere Rolle bei der Schmerzempfindung (s. u.).

Der **somatosensorische Assoziationscortex** liegt unmittelbar hinter dem primären somatosensorischen Cortex im Lobulus parietalis superior (Areae 5 und 7). Er erhält Afferenzen aus dem primären somatosensorischen Cortex, dem visuellen, motorischen und vestibulären System und stellt Informationen über die Außenwelt in Beziehung zur Stellung des Körpers im Raum (**Körpergefühl**). Dies ist wichtig bei der Ausführung komplexer Bewegungen, aber auch beim Ertasten von Gegenständen.

Verletzungen somatosensorischer Assoziationsareale führen zu einer **Astereognosie**, der Unfähigkeit, Dinge durch Ertasten zu erkennen. Zu diesem Krankheitsbild gehört auch der Verlust des Gefühls für die Stellung der kontralateralen Körperseite im Raum. Bei ausgedehnten Verletzungen im oberen Parietallappen leugnen die Patienten sogar die Existenz einer Körperhälfte (**Asomatognosie**). Propriozeptive und andere sensorische Informationen, die für die präzise Ausführung von Bewegungen notwendig sind, werden über den somatosensorischen Assoziationscortex auch an motorische Rindenareale übermittelt. Deshalb kann es bei Verletzungen des Parietallappens auch zu **Apraxien** (S. 559) kommen.

Sensibilität der Kopfregion (▶ Abb. 19.27)

Die Tastempfindung vom Kopf wird nicht über das Rückenmark, sondern über 4 Hirnnerven vermittelt, nämlich N. trigeminus (V), N. facialis (VII), N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X). Der **N. trigeminus** leitet die Sensibilität aus Gesichtshaut, Augapfel, Nasennebenhöhlen, Nasen-, Mund- und vorderer Zungenschleimhaut, Zähnen und Zahnfleisch zum Gehirn. **N. facialis**, **N. glossopharyngeus** und **N. vagus** innervieren Paukenhöhle, äußeren Gehörgang, Zungenwurzel, Pharynx, Larynx und oberen Oesophagus somatosensibel. Die Somata des **1. Neurons** (pseudounipolare Nervenzellen) liegen im den entsprechenden sensiblen Hirnnervenganglien: **Ganglion trigeminale Gasseri**[1] (N. V), **Ganglion geniculi** (N. VII), **Ganglion (petrosum) superius** (N. IX) und **Ganglion (jugulare) superius** (N. X). Sensible Afferenzen aus allen 4 Hirnnerven ziehen über den zentralen Fortsatz zu den entsprechenden Hirnnervenkernen des N. trigeminus. Die Afferenzen für die epikritische Sensibilität aus dem Kopfbereich enden am **Nucleus principalis n. trigemini**[4], der wegen seiner Lage in der Brücke auch als **Nucleus pontinus n. trigemini** bezeichnet wird, und bilden hier eine Synapse mit dem **2. Neuron**.

Axone des 2. Neurons kreuzen auf Höhe der Brücke zur Gegenseite, legen sich als **Lemniscus trigeminalis**[13] dem Lemniscus medialis an (**lemniskales System**) und ziehen zum **Nucleus ventralis posteromedialis**[14], dem spezifischen Thalamuskern für die Somatosensibilität des Kopfes. Nach Umschaltung auf das hier gelegene **3. Neuron** ziehen dessen Axone über die **Capsula interna** in die lateralen Anteile des **Gyrus postcentralis** (▶ **Abb. 19.26**).

Schmerz und Temperaturempfindung

Schmerz und Temperaturempfindung verlaufen in einer gemeinsamen Bahn. Die erste Umschaltung findet bereits auf Rückenmarkebene im **Hinterhorn** statt, anschließend **kreuzen** die Fasern **segmental** in der **Commusura alba**. Die aufsteigenden Bahnen verlaufen kontralateral im **neospinothalamischen Trakt** und enden nach Umschaltung im **Nucleus ventralis posterolateralis** des Thalamus im somatosensorischen Cortex (**Gyrus postcentralis**). Der **paleospinothalamische** und der **spinoretikuläre Trakt** vermitteln die **affektive** Komponente des Schmerzes, ein erhöhtes Aufmerksamkeitsniveau und vegetative Reaktionen. Schmerz- und Temperaturafferenzen vom Kopf erreichen den Gyrus postcentralis über den **Nucleus spinalis n. trigemini** und den **Nucleus ventralis posteromedialis thalami.**

Schmerz, die sensible und emotionale Erfahrung eines tatsächlichen oder potenziellen Gewebescha-

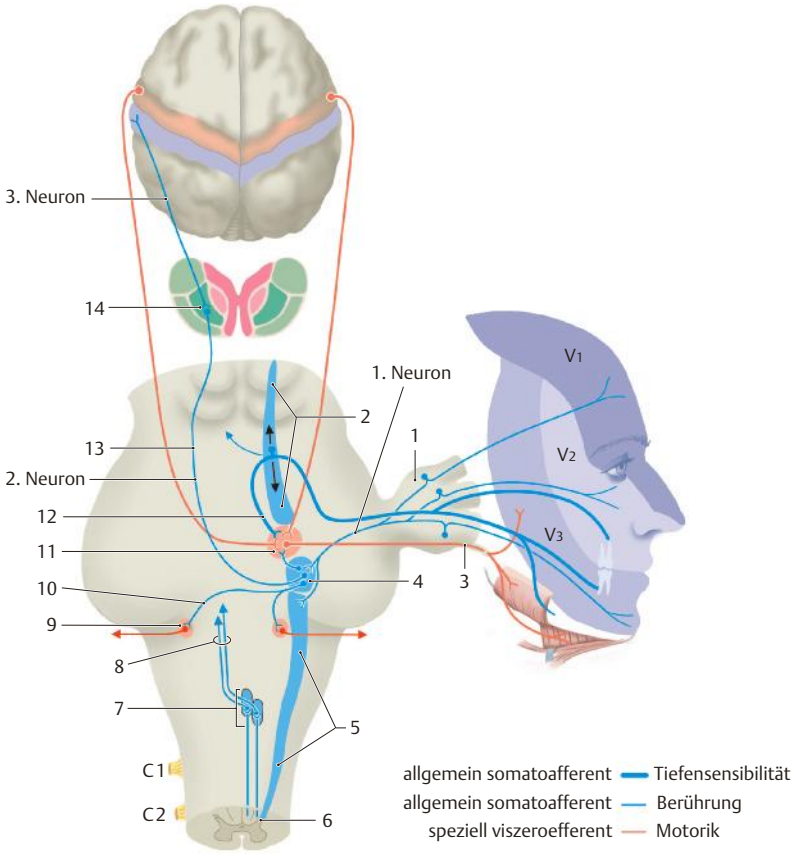


Abb. 19.27 Mechanorezeption, Nozizeption und Propriozeption des Kopfes mit Afferenzen über den N. trigeminus (blau) sowie motorischer Trigeminusanteil (rot).

1 Ganglion trigeminale
2 Nucleus mesencephalicus n. trigemini
3 Radix motoria n. trigemini zur Kaumuskulatur, zum M. mylohyoideus und zum vorderen Bauch des M. digastricus
4 Nucleus principalis n. trigemini
5 Nucleus spinalis n. trigemini
6 Substantia gelatinosa
7 Nucleus cuneatus und gracilis
8 Lemniscus medialis
9 Nucleus n. facialis
10 Blinzelreflex, Kornealreflex
11 Nucleus motorius n. trigemini
12 Masseterreflex
13 Lemniscus trigeminalis
14 Thalamus, Nucleus ventralis posteromedialis

(nach Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

dens, ist ein wichtiges Warnsignal des Körpers. Freie Nervenendigungen reagieren auf Veränderungen der Temperatur (**Thermorezeptoren**) und auf potenziell schädigende Reize (**Nozizeptoren**), wobei **mechanische Nozizeptoren** durch scharfe nadelstichartige Reize erregt werden und den umschriebenen, gut lokalisierbaren, scharfen, stechenden Schmerz vermitteln, während zerstörende mechanische, thermische und chemische Reize **polymodale Nozizeptoren** stimulieren und einen dumpfen, ziehenden oder brennenden Schmerz hervorrufen.

Schmerz an Rumpf, Hals und Extremitäten (▶ Abb. 19.28)

Schmerzimpulse aus Rumpf, Hals und Extremitäten werden über das afferente Axon des **1. Neurons**, dessen Perikaryon wie bei der epikritischen Sensibilität im Spinalganglion liegt, über periphere Nerven zum Spinalnerv geleitet. Grundsätzlich wird der scharfe Schmerz von dünnen myelinisierten **Aδ-Fasern** geleitet und der dumpfe Schmerz von unmyelinisierten **C-Fasern**. Das zentrale Axon zieht über die hintere Wurzel des Spinalnervs ins Rückenmark, gibt hier feine Äste (Kollateralen) ab, die in der oberflächlichen Randzone des Rücken-

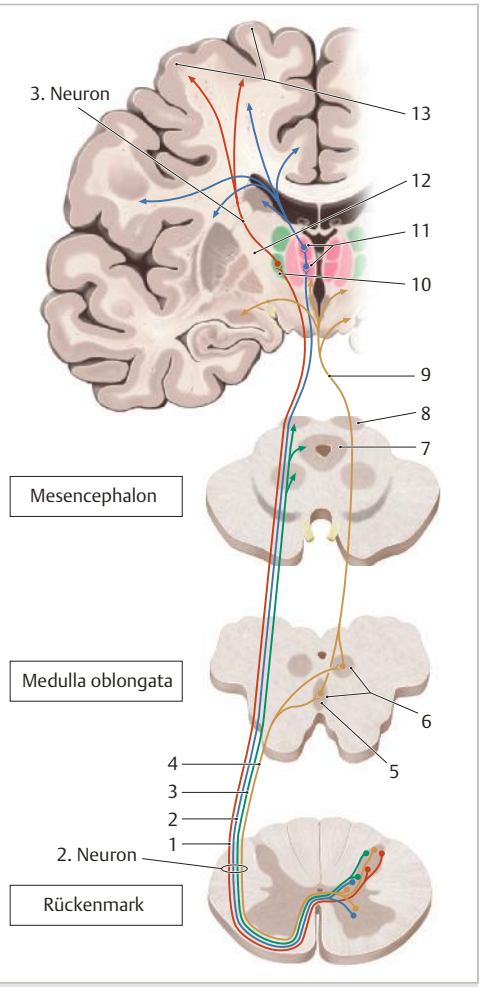


Abb. 19.28 Schmerzbahnen aus Rumpf und Extremitäten (Tractus spinothalamicus).
1 Tractus spinothalamicus, neospinothalamischer Teil (rot)
2 Tractus spinothalamicus, paleospinothalamischer Teil (blau)
3 Tractus spinomesencephalicus (grün)
4 Tractus spinoreticularis (gelb)
5 Nucleus raphes magnus
6 Formatio reticularis
7 zentrales Höhlengrau
8 Nucleus pretectalis
9 retikulothalamische Fasern
10 Thalamus, Nucleus ventralis posterolateralis
11 Thalamus, mediale und intralaminäre Kerne
12 Capsula interna
13 Gyrus postcentralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014 [nach Dietrich E. Lorke])

marks, dem Lissauer-Trakt, einige Segmente auf- und abwärtsziehen. Im Gegensatz zur epikritischen Sensibilität enden die Fasern aber im **Hinterhorn**, vor allem in Rexed-Lamina I, II und IV–VI, wo bereits die erste synaptische Umschaltung auf das **2. Neuron** stattfindet.

Schon an dieser 1. Umschaltstelle im Hinterhorn kann die Schmerzweiterleitung beeinflusst werden. So kann chronischer Schmerz zu einer Verstärkung der Schmerzempfindung (**Hyperalgesie**) führen, weil die Reizschwelle der Nozizeptoren herabgesetzt (periphere Sensibilisierung, **primäre Hyperalgesie**) oder die Erregbarkeit nozizeptiver Hinterhornneurone erhöht ist (zentrale Sensibilisierung, **sekundäre Hyperalgesie**). Letzteres kommt häufig bei chronischen Entzündungen vor („Schmerzgedächtnis"). Andererseits kann auf Höhe der Hinterhornneurone die Schmerzweiterleitung auch gehemmt werden (S. 543).

Schmerz umfasst eine sensorisch-diskriminatorische Komponente („wo und wie stark tut etwas weh") und eine affektive Komponente („Schmerz ist unangenehm und führt zu emotionalen und vegetativen Reaktionen"). Beide Komponenten werden unterschiedlich weitergeleitet. Die **sensorisch-diskriminatorische** Komponente, die auch als spitzer, scharfer, schneller Schmerz empfunden wird, wird über den (phylogenetisch neuen) **neospinothalamischen Trakt**[1] weitergeleitet. Die **affektive** Komponente, auch als langsamer dumpfer Schmerz beschrieben, verläuft im (phylogenetisch älteren) **paleospinothalamischen Trakt**[2].

Fasern, die den **schnellen Schmerz** (diskriminatorische Schmerzkomponente) und den **Temperatursinn** vermitteln, kreuzen nach Umschaltung im Hinterhorn (Lamina I und IV–VI) auf gleicher Höhe in der **Commissura alba** zur Gegenseite und werden über den neospinothalamischen **Tractus spinothalamicus** geleitet, der im Vorderseitenstrang liegt. Neu hinzutretende Fasern legen sich dabei den restlichen Fasern von medial her an, sodass der Tractus spinothalamicus somatotop gegliedert ist: sakrale Fasern liegen lateral, also oberflächennah, zervikale Fasern medial. Der Tractus spinothalamicus steigt im lateralen Teil von Medulla oblongata und Pons auf und nähert sich hierbei dem (epikritischen) Lemniscus medialis. Beide Bahnen enden gemeinsam im **Nucleus ventralis**

posterolateralis[10] des Thalamus und werden hier auf das **3. Neuron** umgeschaltet. Anschließend ziehen Axone des 3. Neurons über die **Capsula interna**[12] zum **primären somatosensorischen Cortex**[13]. Hier werden schneller Schmerz und Temperatursinn exakt lokalisiert und die Schmerzintensität sowie Wärme und Kälte wahrgenommen. Entscheidende Bedeutung für die Schmerzwahrnehmung hat außerdem der sekundäre somatosensorische Cortex (Areae 40 und 43, s. ▶ **Abb. 19.24**). Er integriert nozizeptive Impulse mit anderen sensorischen (z. B. visuellen, akustischen) Informationen und schätzt so das Ausmaß der Bedrohung für den Gesamtorganismus ab.

Schwache Tastreize werden zum Teil auch über den Tractus spinothalamicus zum Thalamus geleitet. Bei Verletzung des Hinterstrangs bleibt deswegen eine grobe, nicht genau lokalisierbare und daher nicht unterscheidende Restsensibilität erhalten. Diese im Vorderseitenstrang geleitete Sensibilität wurde früher auch als „ursprünglich" (**protopathisch**) bezeichnet.

Fasern für Schmerz und Temperatursinn verlaufen somit bis zum Eintritt ins Hinterhorn und später wieder vom Thalamus zum Cortex gemeinsam mit Fasern für die epikritische Sensibilität. Zwischen Hinterhorn und Thalamus verlaufen sie aber getrennt voneinander: Schmerz und Temperatur werden kontralateral im Vorderseitenstrang weitergeleitet, epikritische Sensibilität bis zur Medulla oblongata ipsilateral im Hinterstrang, anschließend kontralateral im Lemniscus medialis.

Da die Schmerzfasern im kontralateralen Vorderseitenstrang aufsteigen, führen **Rückenmarkverletzungen** zum Ausfall der Schmerzempfindung auf der Gegenseite.

Bei einer Schädigung der Commissura alba kommt es zu einer **dissoziierten Empfindungsstörung**: Schmerz und Temperaturempfindung fallen aus, während die epikritische Sensibilität erhalten bleibt. Eine dissoziierte Empfindungsstörung findet sich unter anderem bei Durchblutungsstörungen der **A. spinalis anterior** (S. 590) und bei der **Syringomyelie**, bei der der Zentralkanal pathologisch erweitert ist (die Form einer Flöte annimmt, griech. syrinx). Hierdurch fallen die kreuzenden Fasern der Commissura alba aus.

Unerträgliche Schmerzen infolge eines Krebsleidens wurden früher durch eine **anterolaterale Kordotomie** behandelt. Hierbei wird der antero-laterale Quadrant des Rückenmarks durchtrennt, sodass die aufsteigenden Schmerzfasern im Vorderseitenstrang unterbrochen werden. Heute blockiert man die Schmerzweiterleitung eher pharmakologisch, indem man Opioide mit einer Medikamentenpumpe intradural injiziert.

Langsamer Schmerz (affektive Komponente) wird über das **paleospinothalamische**[2] und das **spinoreticulothalamische**[4] System geleitet (▶ **Abb. 19.28**). Beide Bahnen haben ihr **2. Neuron** in den tiefen Laminae (V–VIII) des **Hinterhorns**. Nach Umschaltung kreuzen die Fasern segmental in der **Commissura alba** zur Gegenseite und ziehen zusammen mit den Axonen des neospinothalamischen Trakts im **kontralateralen Vorderseitenstrang** aufwärts. Der paleospinothalamische Trakt gibt Kollateralen zur Formatio reticularis ab, der spinoreticulothalamische Trakt schaltet in der **Formatio reticularis**[6] (Locus caeruleus, verschiedene Raphekerne) synaptisch um, bevor er den Thalamus erreicht.

Die Stimulation der Formatio reticularis erklärt die Weckwirkung von Schmerzreizen und den erhöhten Sympathikotonus (z. B. schneller Herzschlag), der als Schmerzfolge auftritt.

Beide Trakte enden in den **medialen** und **intralaminären** (unspezifischen) **Thalamuskernen**[11]. Hier bilden sie eine weitere Synapse, und Axone des **3. Neurons** projizieren anschließend in zahlreiche Hirnregionen wie Teile des limbischen Systems und ausgedehnte, weit voneinander entfernte Rindenareale. Verbindungen über den Gyrus cinguli und die Inselrinde vermitteln das **Unangenehme** am Schmerz. Die Erregung des limbischen Systems ist die Grundlage der **affektiven Komponente** des Schmerzes (Angst, Depression, Ärger) und die Stimulation ausgedehnter Rindenareale führt zu erhöhter **Aufmerksamkeit**.

Somit vermittelt der neospinothalamische Trakt, der in den lateralen Thalamuskernen umschaltet, die sensorisch-diskriminatorische Komponente des Schmerzes, während der paleospinothalamische Trakt über den medialen Thalamus zieht und die affektiv-emotionale Konponente vermittelt.

Bei Verletzungen des Gyrus cinguli oder der **Inselregion** ist das Schmerzgefühl erhalten, der Schmerz wird aber nicht als unangenehm empfunden (**Schmerz-Asymbolie**). Die Patienten sind sich dieses Defizits nicht bewusst, zum Teil lachen sie sogar über schmerzhafte Reize.

Schmerz aus der Kopfregion (▶ Abb. 19.29)

Nozizeption und Temperaturempfindung aus dem Kopf werden wie die Tastempfindung über die 4 Hirnnerven N. trigeminus (V), facialis (VII), glossopharyngeus (IX) und vagus (X) zum Gehirn geleitet. Wie bei der epikritischen Sensibilität liegen die Zellkörper des **1. Neurons** im Ganglion trigeminale Gasseri[4] (N. V), Ganglion geniculi (N. VII), Ganglion (petrosum) superius (N. IX) und Ganglion (jugulare) superius (N. X). Über den zentralen Fortsatz der pseudounipolaren Nervenzellen werden die Schmerzimpulse zum **Nucleus spinalis n. trigemini**[5–7] geleitet, der dem Hinterhorn des Rückenmarks bei der spinalen Nozizeption entspricht. Er erstreckt sich als langes, schlankes Kerngebiet vom zervikalen Rückenmark über die Medulla oblongata bis in die untere Brücke und ist somatotop gegliedert. Hier liegen die Perikarya des **2. Neurons**.

Nach Umschaltung im Nucleus spinalis n. trigemini kreuzen die Axone auf unterschiedlicher Höhe der Medulla oblongata zur Gegenseite, ver-

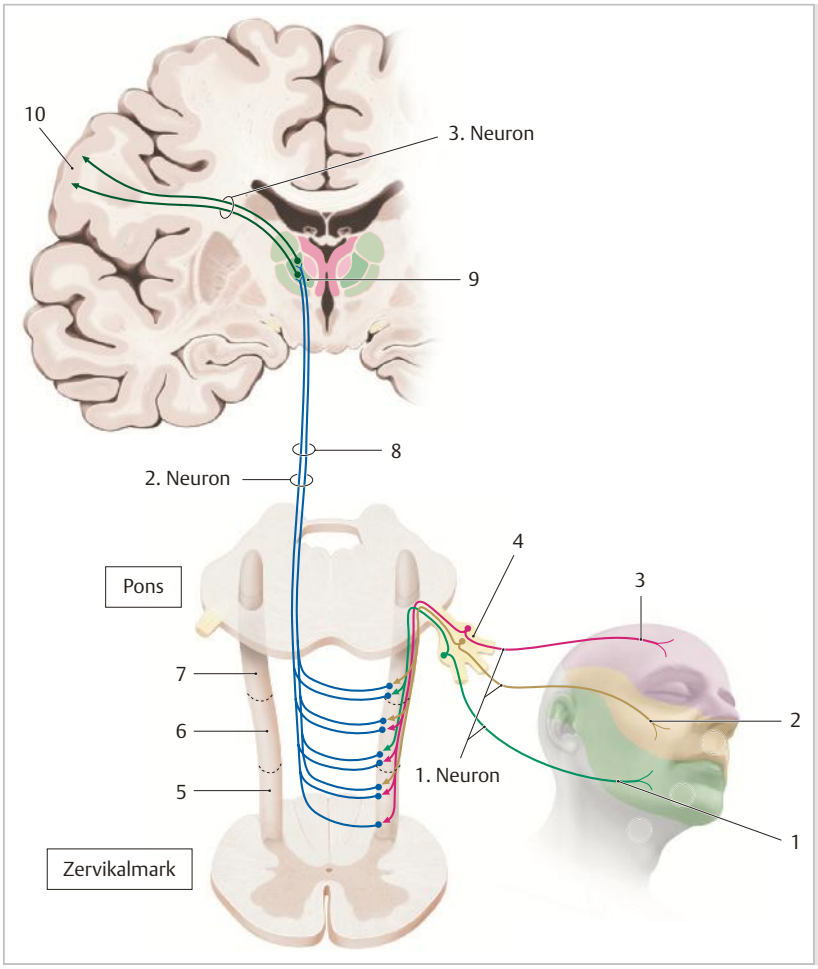


Abb. 19.29 Schmerzbahn im Versorgungsgebiet des N. trigeminus.
1 N. mandibularis (V_3)
2 N. maxillaris (V_2)
3 N. ophthalmicus (V_1)
4 Ganglion trigeminale
5 Nucleus spinalis n. trigemini, Pars caudalis
6 Nucleus spinalis n. trigemini, Pars interpolaris
7 Nucleus spinalis n. trigemini, Pars oralis
8 Tractus trigeminothalamicus
9 Thalamus, Nucleus ventralis posteromedialis
10 primärer somatosensorischer Cortex
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014 [nach Dietrich E. Lorke])

binden sich als **Tractus trigeminothalamicus**[8] mit den Fasern des Tractus spinothalamicus und enden im **Nucleus ventralis posteromedialis**[9], wo auf das **3. Neuron** umgeschaltet wird. Wie bei der epikritischen Sensibilität endet die Schmerzbahn vom Kopf in den lateralen Anteilen des **Gyrus postcentralis**[10] (primärer somatosensorischer Cortex) und im sekundären somatosensorischen Cortex (Areae 40, 43).

Schmerzhemmende Systeme (▶ Abb. 19.30)

Schmerz ist ein wichtiges Warnsignal für den Körper zur Entlastung verletzter Körperteile. Er ist aber auch in bestimmten Gefahrensituationen potenziell schädlich, weil die Betroffenen beispielsweise davon abgehalten werden könnten, zu flüchten oder sich zur Wehr zu setzen. Das schmerzunterdrückende antinozizeptive System hat die Aufgabe, dies zu verhindern.

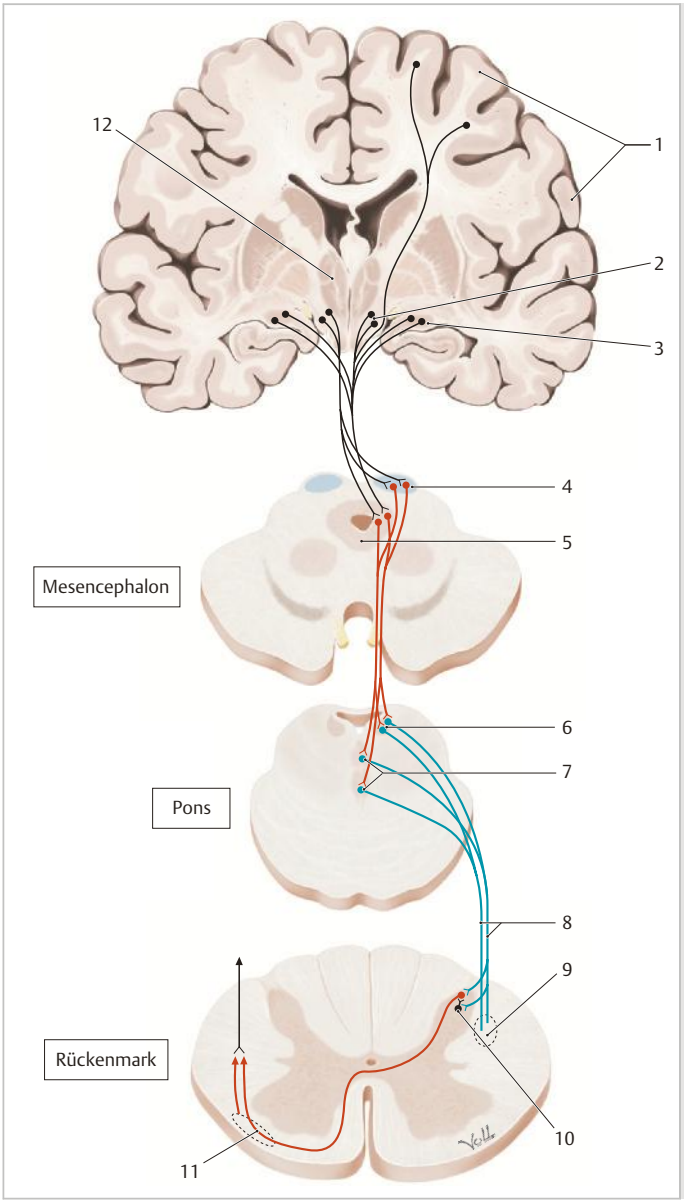


Abb. 19.30 Absteigendes schmerzhemmendes System.
1 präfrontaler Cortex
2 Hypothalamus
3 Corpus amygdaloideum
4 Nucleus pretectalis anterior
5 zentrales Höhlengrau
6 Locus caeruleus
7 Raphekerne
8 absteigende noradrenerge und serotoninerge Fasern
9 dorsaler Seitenstrang
10 hemmendes Interneuron in Lamina II
11 spinothalamisches Projektionsneuron
12 Thalamus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014 [nach Dietrich E. Lorke])

Vor allem auf Rückenmarkebene, aber auch im Thalamus, kann die Schmerzempfindung beeinflusst werden. Die Lamina II (Substantia gelatinosa) des Hinterhorns (S. 512) enthält im Unterschied zur Lamina I hauptsächlich **Interneurone**[10], die Schmerzimpulse hemmen können. Erregt werden diese Interneurone von Kollateralen dicker myelinisierter Axone der epikritischen Sensibilität, aber auch von Aδ-Schmerzfasern. Ihre Axone bilden vor allem inhibitorische Synapsen mit den Projektionsneuronen[11] der Schmerzweiterleitung im Hinterhorn.

Auf der Existenz dieser inhibitorischen Interneurone in der Substantia gelatinosa des Hinterhorns fußt die **„Gate-control"-Hypothese**. Diese nimmt an, dass die Stimulation dünner C-Fasern die spinothalamischen Projektionsneurone[11] im Hinterhorn aktiviert, aber inhibitorische Interneurone in der Substantia gelatinosa hemmt und so das „Tor" für die Schmerzweiterleitung offenhält. Dicke Aα- und Aβ-Fasern von Mechanorezeptoren aus Haut und Bewegungsapparat aktivieren dagegen diese inhibitorischen Interneurone, hemmen dadurch die Schmerzleitung im Hinterhorn und schließen so das Tor zur Schmerzempfindung. Diese Theorie liefert eine Erklärung für die bekannte Erfahrung, dass Reiben einer verletzten Körperstelle eine schmerzreduzierende Wirkung hat.

Die **transkutane Nervenstimulation** macht sich dieses Phänomen für die klinische Schmerztherapie zunutze: Elektrische Impulse werden durch die Haut appliziert und stimulieren vor allem großkalibrige Afferenzen peripherer Nerven. Diese erregen im Hinterhorn inhibitorische Interneurone, welche die Schmerzweiterleitung hemmen.

Das inhibitorische System wird zusätzlich von absteigenden Bahnen[8] aus dem Gehirn beeinflusst (▶ **Abb. 19.30**). **Serotoninerge** Fasern aus dem Nucleus raphes magnus[7] und **noradrenerge** Fasern aus dem Locus caeruleus[6], 2 Kerne der Formatio reticularis, projizieren auf spinale Hinterhornneurone, hemmen sie und wirken so inhibitorisch auf die Schmerzweiterleitung.

Klinisch nutzt man die **schmerzhemmende Wirkung von Serotonin und Noradrenalin** bei bestimmten chronischen Schmerzzuständen, indem man Medikamente gibt, die den **Rücktransport** von **Serotonin** und **Noradrenalin** in die Nervenzelle **hemmen**, dadurch die Konzentration dieser Neurotransmitter im synaptischen Spalt erhöhen und so schmerzreduzierend wirken.

Nucleus raphes magnus und Locus caeruleus wiederum werden vom mesencephalen **zentralen Höhlengrau**[5] stimuliert, das eine zentrale Rolle im schmerzhemmenden System spielt. Das zentrale Höhlengrau wiederum wird aktiviert von Fasern aus dem limbischen System (v. a. Corpus amygdaloideum[3]), dem Hypothalamus[2], dem präfrontalen Cortex[1] und dem Rückenmark.

In ähnlicher Weise wie im Hinterhorn kann auch auf Ebene des Thalamus die Schmerzweiterleitung beeinflusst werden.

Opioide unterdrücken die Schmerzempfindung, indem sie die zentralen schmerzhemmenden Systeme aktivieren. Sie hemmen die Schmerzweiterleitung im Thalamus, erregen das zentrale Höhlengrau sowie den Nucleus raphes magnus und hemmen auf Rückenmarkebene das im Hinterhorn gelegene 2. Neuron der Schmerzbahn.

Infarkte im ventroposterioren Anteil des Thalamus führen zum Verlust der Tast- und Temperaturempfindung sowie der Propriozeption auf der Gegenseite bei erhaltener Schmerzempfindung (**Thalamussyndrom**). Oberhalb einer Schwelle werden Reize als unangenehm und oft als schmerzhaft wahrgenommen. Schwere Schmerzzustände können auch spontan auftreten (**Thalamusschmerz**), was mit einem Ausfall schmerzhemmender Fasern und einer Übererregung geschädigter Neurone erklärt wird.

Propriozeption

Die **Propriozeption** (Tiefensensibilität) vermittelt Informationen über den Bewegungsapparat und beinhaltet den Stellungs-, Bewegungs- und Kraftsinn. Die bewusste Propriozeption erreicht den somatosensorischen Cortex zusammen mit den epikritischen Afferenzen über die **Hinterstrangbahn**. Propriozeptive Informationen, die für die unbewusste Bewegungskoordination benötigt werden, gelangen über die Kleinhirnseitenstrangbahnen **Tractus spinocerebellaris anterior** und **posterior** zum Kleinhirn.

Propriozeption an Rumpf, Hals und Extremitäten (▶ Abb. 19.31)

Die Propriozeption umfasst den Stellungs-, Bewegungs- und Kraftsinn. Auch mit geschlossenen Augen wissen wir, ob unser Arm erhoben oder gesenkt ist (Stellung), wie schnell wir den Arm bewegen und welches Gewicht wir anheben (Kraft). Die zugehörigen Rezeptoren finden sich als Muskelspindeln, Golgi-Sehnenorgane sowie Ruffini- und Vater-Pacini-Körperchen in der quergestreiften Skelettmuskulatur und im periartikulären Bindegewebe. Da diese Rezeptoren im Unterschied zum Tastsinn nicht in der Haut, sondern tiefer liegen, wird diese Sensibilität auch als **Tiefensensibilität** bezeichnet. Im peripheren Nerv, der die Tiefensensibilität leitet und auch die zugehörige Muskulatur motorisch innerviert, verläuft das periphere Axon bis zum Spinalganglion (pseudounipolare Nervenzelle, **1. Neuron**), das zentrale Axon zieht über die Hinterwurzel ins Rückenmark. Von hier aus gibt es 2 Wege der Weiterleitung:

- Die Fasern, die die **bewusste Propriozeption** vermitteln, haben den gleichen Verlauf wie die epikritische Sensibilität, d. h. sie ziehen im **Hinterstrang** zu Nucleus gracilis und Nucleus cuneatus, schalten hier um (**2. Neuron**), kreuzen, verlaufen dann weiter im Lemniscus medialis zum Nucleus ventralis posterolateralis thalami (**3. Neuron**) und enden nach weiterer Umschaltung im **Gyrus postcentralis** (s. ▶ Abb. 19.25).
- Außerdem wird die propriozeptive Information über die Kleinhirnseitenstrangbahnen (**Tractus spinocerebellaris anterior** und **posterior**, ▶ Abb. 19.31) zum Cerebellum geleitet, wo sie eine wichtige Bedeutung für die unbewusste Bewegungskoordination hat (Laufen, Rad fahren).

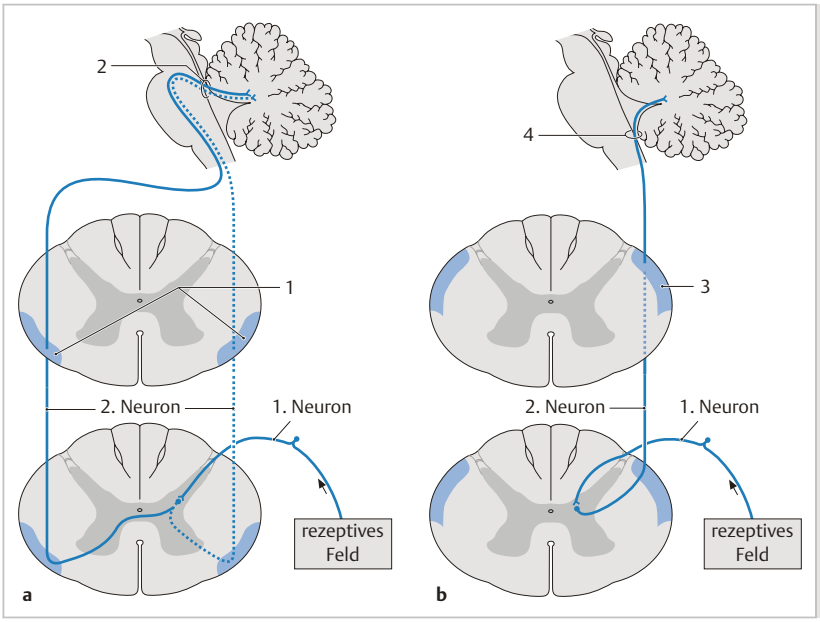


Abb. 19.31 Kleinhirnseitenstrangbahnen: Tractus spinocerebellaris anterior (**a**) und posterior (**b**).
1 Tractus spinocerebellaris anterior
2 Pedunculus cerebellaris superior
3 Tractus spinocerebellaris posterior
4 Pedunculus cerebellaris inferior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2006)

19

Schädigungen der Hinterstränge (**Hinterstrangsyndrome**) infolge von Vitamin-B_{12}-Mangel (**funikuläre Myelose**), einer Lues des Rückenmarks (**Tabes dorsalis**) oder einer Kompression von außen führen zum Verlust des Lagesinns, des Vibrationsempfindens, des Diskriminationsvermögens und der Stereognosie. Bei der funikulären Myelose kommen aufgrund eines Untergangs der Markscheiden sowohl im Hinterstrang als auch in der Pyramidenbahn Zeichen einer spastischen Lähmung hinzu.

Der **Tractus spinocerebellaris anterior** (▶ **Abb. 19.31a**[1]) beginnt in Lamina V–VII des Hinterhorns (2. Neuron), kreuzt zum überwiegenden Teil zur Gegenseite und erreicht das Cerebellum über den oberen Kleinhirnstiel (**Pedunculus cerebellaris superior**[2]), zum Teil nach erneuter Kreuzung in der oberen Kleinhirnstielkreuzung (Decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum).

Der **Tractus spinocerebellaris posterior** (▶ **Abb. 19.31b**[3]) beginnt im Hinterhorn, wo innerhalb der Lamina VII im **Nucleus thoracicus** auf das 2. Neuron umgeschaltet wird. Anschließend verläuft der Tractus spinocerebellaris posterior ohne zu kreuzen nach kranial und zieht über den unte-

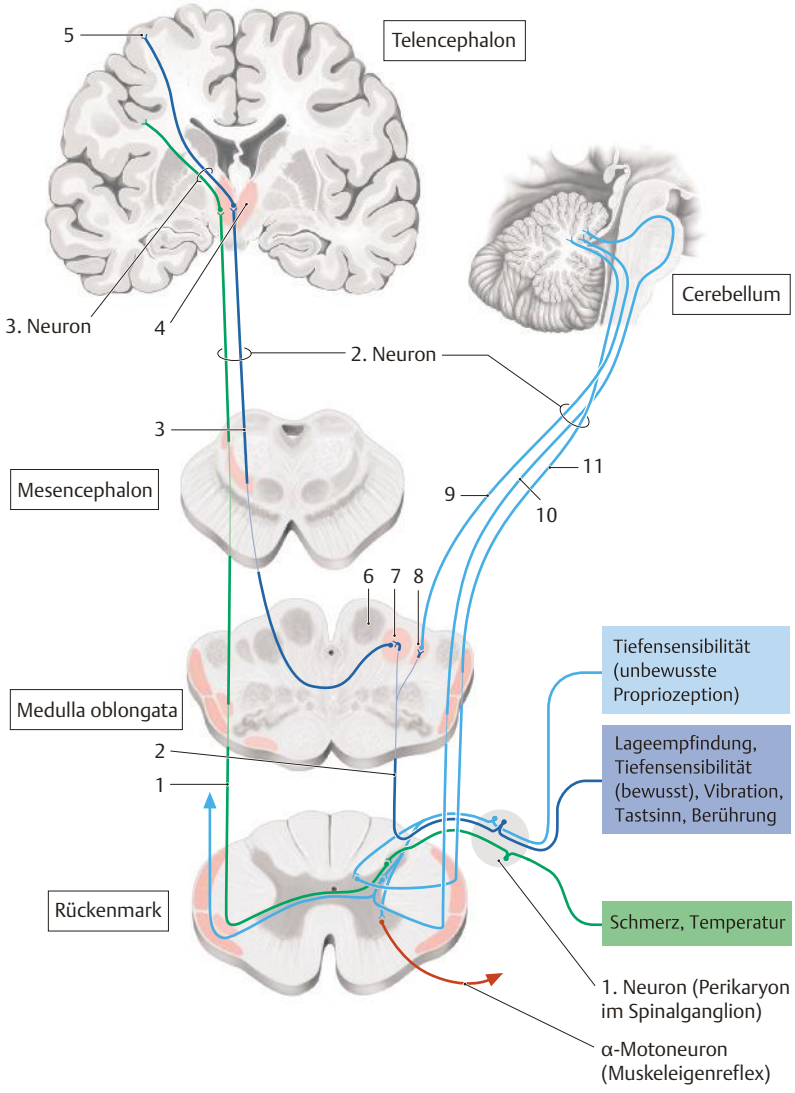


Abb. 19.32 Zusammenfassung der somatosensiblen Bahnen. Die bewusste Propriozeption verläuft nicht über die spinocerebellären Bahnen, sondern im Hinterstrangsystem (s. auch ▶ **Abb. 19.25**).

1 Tractus spinothalamicus
2 Hinterstrang
3 Lemniscus medialis
4 Thalamus (VPL)
5 somatosensorischer Cortex (Gyrus postcentralis)
6 Nucleus gracilis (zweites Neuron: epikritische Sensibilität, untere Körperhälfte
7 Nucleus cuneatus (zweites Neuron: epikritische Sensibilität, obere Körperhälfte)
8 Nucleus cuneatus accessorius
9 Fibrae cuneocerebellares
10 Tractus spinocerebellaris anterior
11 Tractus spinocerebellaris posterior

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ren Kleinhirnstiel (**Pedunculus cerebellaris inferior**[4]) ins Cerebellum. Dieser Trakt vermittelt dem Cerebellum vor allem propriozeptive Informationen aus der **unteren Extremität** und dem Rumpf.

Propriozeptive Fasern aus der **oberen Extremität** ziehen zuerst über den Hinterstrang zum **Nucleus cuneatus accessorius** (▶ **Abb. 19.32**[8]), wo sie auf das 2. Neuron umschalten und dann als **Fibrae cuneocerebellares**[9] ebenfalls über den unteren Kleinhirnstiel ins Cerebellum ziehen.

Tractus spinocerebellaris anterior und posterior sind somatotop gegliedert. Beide Trakte unterscheiden sich dadurch, dass der **Tractus spinocerebellaris posterior** Informationen von einzelnen Muskeln oder synergistischen Muskelgruppen erhält sowie orts- und modalitätsspezifische (Stellung, Bewegung, Kraft) Informationen vermittelt, die zur Feinkoordination von Bewegungen individueller Muskeln nötig sind. Der **Tractus spinocerebellaris anterior** hingegen führt Fasern aus größeren Körperregionen und ist für die Information über die Stellung der gesamten Extremität zuständig. Eine **zusammenfassende Übersicht** über die somatosensiblen Bahnen aus Rumpf, Hals und Extremitäten gibt ▶ **Abb. 19.32**.

Propriozeption der Kopfregion

Die Propriozeption aus der Kopfregion wird über die Hirnnerven N. trigeminus (V), facialis (VII), glossopharyngeus (IX) und vagus (X) zum **Nucleus mesencephalicus n. trigemini** geleitet (s. ▶ **Abb. 19.27**[2]). Allerdings ist diese sensible Bahn insofern eine Ausnahme, weil die Perikaya des 1. Neurons in diesem Fall *nicht* in den entsprechenden Ganglien der Hirnnerven, sondern im Nucleus mesencephalicus n. trigemini liegen. Von hier wird die bewusste Propriozeption zusammen mit dem Tractus trigeminothalamicus zum somatosensorischen Cortex geleitet. Außerdem ziehen Fasern zum Cerebellum (zur unbewussten Bewegungskoordination) und zum Nucleus motorius n. trigemini[11] (zur Verschaltung des Masseter-Reflexes).

Besondere Bedeutung hat die Propriozeption für das Kiefergelenk, denn sie kontrolliert, mit welcher Kraft zugebissen wird. Rezeptoren finden sich im Zahnhalteapparat und in der Kaumuskulatur.

Eine **zusammenfassende Übersicht** über die **somatosensiblen Bahnen** gibt ▶ **Abb. 19.32**.

19.6.2 Somatomotorisches System

Das somatomotorische System ist in Form von **Rückkoppelungsschleifen** (Reflexbögen) organisiert, die jede Bewegung mit Informationen aus sensiblen Afferenzen abgleichen und entsprechend anpassen, sodass Störungen unmittelbar kompensiert werden können. Einfache motorische Abläufe werden über spinale Reflexbögen (Muskeleigenreflex, Fremdreflexe) geregelt, komplexere Regelkreise schließen den zerebralen Cortex, die Basalkerne, das Cerebellum, das vestibuläre System und weitere sensible Systeme ein. Im **präfrontalen Cortex** werden **Handlungsstrategien** entworfen, durch den **supplementär motorischen Cortex** und den **prämotorischen Cortex** werden **Bewegungsprogramme** aus den **Basalkernen** und dem **Cerebellum** abgerufen, die **Pyramidenbahn** zieht von der Rinde zu den Motoneuronen und leitet die **Bewegungsausführung** ein.

Auf Rückenmarkebene führen **Eigen-** und **Fremdreflexe** zu einfachen motorischen Antworten auf sensible Reize.

Die **Pyramidenbahn** zieht von den motorischen Rindenarealen zu Motoneuronen in Hirnstamm und Rückenmark. Sie kreuzt weitgehend in den Pyramiden. Daher führt eine Verletzung der Pyramidenbahn zu einer kontralateralen spastischen Lähmung.

Cortex, Basalkerne und Thalamus bilden Rückkoppelungsschleifen zur Steuerung **grober Bewegungsabläufe**. Bedeutend sind die direkte und indirekte striato-pallido-thalamische sowie die striato-nigro-striatale Schleife. **Striatum** und **Pallidum** sind GABAerg, wirken also hemmend. **Dopaminerge** Fasern aus der **Substantia nigra** beeinflussen die direkte und indirekte Schleife unterschiedlich – insgesamt aktivieren sie die Motorik. Schädigung der Basalkerne führt zu verminderter (**Parkinson**) oder überschießender (**Chorea, Hemiballismus**) Motorik.

Das **Cerebellum** ist in mehrere Regelkreise zur Kontrolle der **Feinmotorik** eingeschaltet, die Rückenmark, Vestibulariskerne und Motocortex einschließen. Erkrankungen des Kleinhirns äußern sich in Störungen von **Gleichgewicht** und **Bewegungskoordination** (**Ataxie**).

Der **präfrontale Cortex** umfasst den größten Teil des Frontallappens. In ihm sind komplexe kognitive Funktionen lokalisiert und er steuert das Sozialverhalten. Der **supplementäre motorische** und der **prämotorische Cortex** liegen unmittelbar vor dem Gyrus precentralis. Sie bereiten zusammengesetzte Bewegungen vor.

Spinale Reflexe (▶ Abb. 19.33)

Der einfachste Reflexbogen ist der monosynaptische **Muskeleigenreflex**. Die Muskelspindeln[1] in der quergestreiften Skelettmuskulatur werden erregt, wenn sich die Länge des Muskels ändert. Ein Zug an einem Muskel führt zu einem Impuls, der über den peripheren Nerv (afferente Ia-Fasern[3]) zum Rückenmark geleitet wird. Hier bilden diese Afferenzen eine Synapse mit den α-Motoneuronen[6] des gleichen Muskels („Eigenreflex") und erregen diesen. Zug an einem Muskel wird also mit dessen Kontraktion beantwortet.

Parallel kommt es über inhibitorische Interneurone auch zu einer Hemmung der α-Motoneurone der Antagonisten. Somit handelt es sich beim „monosynaptischen Reflex" eigentlich um einen oligosynaptischen Reflex.

Bekanntestes Beispiel ist der **Patellarsehnenreflex**, bei dem ein Schlag auf die Sehne des M. quadriceps femoris zu einer Dehnung dieses Muskels führt, die mit seiner Kontraktion beantwortet wird. Der Muskeleigenreflex hat die Aufgabe, eine bestimmte Körperstellung beizubehalten, er ist also ein Haltereflex.

Weitere funktionell bedeutende spinale Reflexe sind der **Golgi-Sehnenreflex** (Hemmung eines Muskels durch Zug an seiner Sehne), und der **Flexorreflex**, bei dem Schmerzreize zu einer reflektorischen Beugung der gereizten Extremität führen. Hier handelt es sich um **polysynaptische** Schutzreflexe, zu denen auch der **Bauchdeckenreflex** gehört.

Propriospinale Neurone sind Binnenzellen des Rückenmarks, die die Aktivität der Motoneuronen integrieren. Ihre Axone ziehen als Grundbündel im Fasciculus proprius, der am Rand der grauen Substanz liegt (s. ▶ Abb. 19.8), auf- und abwärts und ermöglichen so das motorische Zusammenspiel unterschiedlicher Segmente.

Verletzungen motorischer Vorderhornzellen oder ihrer Axone führen zu einer **schlaffen Lähmung**.

Pyramidenbahn (▶ Abb. 19.34)

Willkürbewegungen sind nur über eine Beeinflussung der spinalen Reflexe (s. o.) möglich. Absteigende Bahnen kontrollieren die zahlreichen spinalen Reflexe und ermöglichen so komplexe koordinierte Bewegungen.

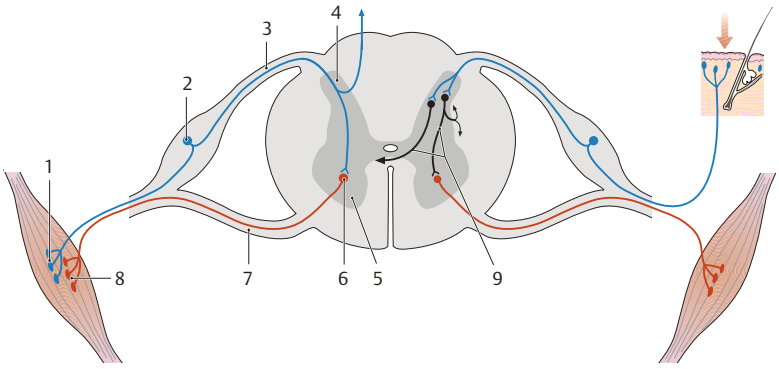


Abb. 19.33 Spinale Reflexbögen. Links monosynaptischer Eigenreflex, rechts polysynaptischer Fremdreflex.
1 Muskelspindeln
2 pseudounipolares Perikaryon im Spinalganglion
3 Hinterwurzel mit Ia-Faser
4 Hinterhorn
5 Vorderhorn
6 α-Motoneuron
7 Vorderwurzel
8 motorische Endplatten
9 Interneurone
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

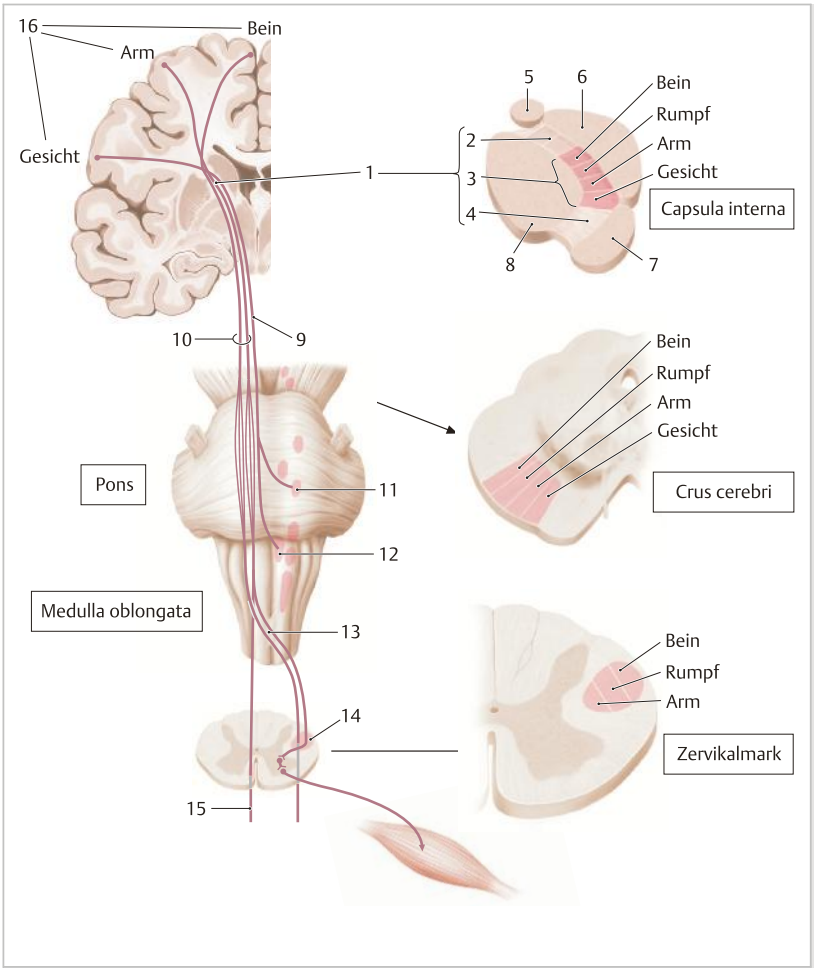


Abb. 19.34 Pyramidenbahn. Verlauf und somatotope Anordnung.
1 Capsula interna
2 Fibrae temporopontinae
3 Pyramidenbahn (im Genu und Crus posterius der Capsula interna)
4 Tractus frontopontinus
5 Nucleus caudatus, Cauda
6 Thalamus
7 Nucleus caudatus, Caput
8 Putamen
9 Fibrae corticonucleares
10 Fibrae corticospinales
11 Kerngebiet des N. facialis
12 Kerngebiet des N. hypoglossus
13 Decussatio pyramidum
14 Tractus corticospinalis lateralis
15 Tractus corticospinalis anterior
16 oberes Motoneuron
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die wichtigste motorische Bahn ist die Pyramidenbahn, die Impulse aus dem Neocortex (**oberes Motoneuron**[16]) auf motorische Hirnnervenkerne (Fibrae corticonucleares[9]) und spinale Motoneurone (Fibrae[10] und Tractus corticospinales[14, 15]) überträgt. Die Zellkörper der oberen Motoneurone liegen im **primären motorischen Cortex** (Motocortex), der den Gyrus precentralis und den anterioren Lobulus paracentralis umfasst (Area 4). Der Gyrus precentralis ist ähnlich dem Gyrus postcentralis somatotop gegliedert (motorischer Homunculus). Weitere Fasern der Pyramidenbahn stammen aus dem prämotorischen und supplementären motorischen Cortex (Area 6).

Man unterscheidet 2 Anteile der oberen Pyramidenbahn:

- Die Fibrae corticonucleares[9] verlaufen vom Motocortex zum Hirnstamm, kreuzen hier zum größten Teil und enden in den Hirnnervenkernen. Sie steuern die Willkürmotorik des Kopfes.
- Die Fibrae corticospinales[10] verlaufen vom Motocortex zur Medulla oblongata, kreuzen hier größtenteils und ziehen als Tractus corticospinales im Rückenmark weiter nach kaudal. Sie steuern die Willkürmotorik von Rumpf und Extremitäten.

Fibrae corticonucleares

Die Axone der oberen Motoneurone für die Bewegung von Kopf und Hals ziehen als Fibrae corticonucleares über Knie und hinteren Schenkel der Capsula interna[3] sowie die Crura cerebri zu Brücke und Medulla oblongata, wo sie größtenteils zur Gegenseite kreuzen. Schließlich enden sie in den branchialmotorischen Kernen von N. trigeminus (V) und N. facialis[11] (VII), im motorischen Nu-

cleus hypoglossus[12] (XII) sowie im branchialmotorischen Nucleus ambiguus (IX und X).

Diejenigen Fasern, die die mimische Muskalatur der unteren Gesichtshälfte innervieren, kreuzen auf die Gegenseite, während die übrigen Hirnnervenkerne sowohl gekreuzte als auch ungekreuzte Fasern erhalten.

Die somatomotorischen Fasern zur Innervation von M. sternocleidomastoideus und M. trapezius stammen aus den Vorderhörnern der zervikalen Rückenmarkssegmente C 1–5 (Nucleus spinalis n. accessorii). Sie ziehen neben dem Rückenmark nach kranial und bilden den spinalen Anteil des N. accessorius (▶ **Abb. 19.12**[11]). Allerdings verlaufen die kortikonukleären Fasern für den M. trapezius gekreuzt, während die für den M. sternocleidomastoideus nicht kreuzen.

Einseitige Verletzungen kortikonukleärer Fasern werden in der Regel durch ungekreuzte Fasern kompensiert und führen daher zu keinen – oder beim Nucleus hypoglossus nur zu vorübergehenden – Ausfällen. Die Stirn kann also bei einseitiger Läsion des oberen Motoneurons weiterhin beidseits gerunzelt werden (**zentrale Fazialisparese**). Lippe und Wange sind jedoch gelähmt, da die kortikonukleären Fasern zur Innervation der mimischen Muskulatur der unteren Gesichtshälfte den Nucleus n. facialis nur gekreuzt erreichen.

Der **Cornealreflex** (▶ **Abb. 19.27**[10]), ein wichtiger Schutzreflex, der das Auge vor Austrocknung schützt, verläuft über den N. facialis. Berührungsreize der Cornea werden über den N. ophthalmicus zum Nucleus principalis n. trigemini[4] geleitet, in dem umgeschaltet wird. Der Trigeminuskern sendet Fasern zum Fazialiskern[9], der wiederum über den N. facialis den M. orbicularis oculi innerviert und einen reflektorischen Lidschluss bewirkt.

Die Hirnnervenkerne zur Innervation der **äußeren Augenmuskeln** (Nucleus oculomotorius, trochlearis und abducens) werden nicht vom Motocortex, sondern vom frontalen Augenfeld angesteuert, s. Kapitel visuelles System (S. 568).

Fibrae corticospinales

Die Axone der kortikalen Motoneurone für die Bewegung von Rumpf und Extremitäten werden als Fibrae corticospinales bezeichnet. Sie ziehen zunächst zusammen mit den Fibrae corticonucleares über den hinteren Schenkel der Capsula interna und die Crura cerebri zum Hirnstamm. In der Brücke verlaufen sie locker verteilt und nicht mehr als einheitlicher Faserzug, bündeln sich aber in der Medulla oblongata wieder und kreuzen in den Pyramiden zu etwa 85 % zur Gegenseite. Die Kreuzungsstelle wird als **Decussatio pyramidum** (▶ **Abb. 19.34**[13]) bezeichnet.

Tractus corticospinales

Die gekreuzten Fasern bilden den **Tractus corticospinalis lateralis**[14] im Seitenstrang des Rückenmarks. Sie leiten die Erregungsimpulse zu den motorischen Vorderhornzellen der zu bewegenden Muskeln. Eine Aktivierung von α-Motoneuronen bewirkt unmittelbar eine Muskelkontraktion. Die gleichzeitige Aktivierung der γ-Motoneurone (**α-γ-Koppelung**) erhöht die Empfindlichkeit der Muskelspindeln durch eine Kontraktion der intrafusalen (in der Spindel gelegenen) Muskulatur und bewirkt so über eine Stimulation des Muskeleigenreflexes indirekt ebenfalls eine Muskelkontraktion (Servomechanismus, γ-Schleife). Außerdem hemmt die Pyramidenbahn über inhibitorische Interneurone die Motoneurone der Antagonisten.

Die ungekreuzten Pyramidenbahnfasern ziehen im Vorderstrang des Rückenmarks als **Tractus corticospinalis anterior**[15] kaudalwärts und kreuzen erst auf Höhe der zu innervierenden Motoneurone.

Im Unterschied zu den *oberen* Motoneuronen im Motocortex werden α- und γ-Motoneurone auch als **untere Motoneurone** bezeichnet.

Die Ursache einer halbseitigen Lähmung (**Hemiparese, Hemiplegie**) liegt bei Läsionen oberhalb der Pyramidenkreuzung (Verletzung, Ischämie oder Blutung) auf der *kontralateralen* Seite, während sie bei Schäden unterhalb der Pyramidenkreuzung auf der *ipsilateralen* Seite zu finden ist.

Bei einer einseitigen Läsion der Pyramidenbahn im Hirnstamm kranial der Pyramidenkreuzung können neben den absteigenden Fasern auch Hirnnervenkerne oder ihre Wurzeln ipsilateral geschädigt werden (**gekreuzte Hirnstamm-Syndrome**). Hierbei findet sich aufgrund der Verletzung der Pyramidenbahn eine **kontralaterale spastische** Hemiparese, kombiniert mit einer **ipsilateralen schlaffen** Lähmung im Bereich eines **Hirnnervs**, die auf der Verletzung des unteren Moto-

neurons (Hirnnervenkern) beruht. So führt beispielsweise eine ausgedehnte Läsion der Crura cerebri, die auch die Wurzelfasern des N. oculomotorius einschließt, zum **Weber-Syndrom**, gekennzeichnet durch eine kontralaterale spastische Hemiparese sowie ipsilaterale Augenmuskellähmungen.

Beidseitige Infarkte in der ventralen Brücke können durch die Unterbrechung der absteigenden Bahnen zu einem **Locked-in-Syndrom** führen, bei dem es nicht nur zu einer Tetraplegie, sondern auch zum Ausfall der Gesichts- und Zungenmuskulatur kommt. Infolge dessen sind die Patienten zwar wach, können aber nur durch vertikale Augenbewegungen kommunizieren.

Eine halbseitige Rückenmarkverletzung führt aufgrund einer Durchtrennung der auf- und absteigenden Bahnen zu Symptomen unterhalb der Verletzungsstelle. Neben einer ipsilateralen *spastischen* Lähmung gehört hierzu ein Ausfall der epikritischen Sensibilität auf der gleichen Seite sowie der Schmerz- und Temperaturempfindung auf der Gegenseite (**Brown-Séquard-Syndrom**; ▶ **Abb. 19.35**). Außerdem tritt auf Höhe der Läsion aufgrund der Zerstörung motorischer Vorderhornzellen ipsilateral eine *schlaffe* Lähmung auf.

Bei der **amyotrophen Lateralsklerose** kommt es zu einem langsam fortschreitenden Untergang sowohl des oberen als auch des unteren Motoneurons. Als Folge treten klinisch sowohl Zeichen einer **schlaffen** als auch einer **spastischen** Lähmung nebeneinander auf.

Basalkerne (▶ Abb. 19.36)

Unter dem Begriff „Basalkerne“ (Nuclei basales), auch als „Basalganglien“ bezeichnet, fasst man das telencephale **Striatum**, das sich aus **Nucleus caudatus**[8] und **Putamen**[9] zusammensetzt, und das diencephale **Pallidum**[10, 11] zusammen. Funktionell eng verbunden mit den Basalkernen sind der diencephale **Nucleus subthalamicus**[15], Teile des **Thalamus**[18, 19] und die mesencephale **Substantia nigra**[13, 14].

Wegen ihrer engen funktionellen Verbindung rechnen manche Autoren den Nucleus subthalamicus und die Substantia nigra ebenfalls zu den Basalkernen. Der früher verwendete Begriff „Basalganglien“ ist irreführend, da man unter „Ganglien“ Ansammlungen von Neuronen im *peripheren* Nervensystem versteht.

Ebenfalls zu den Basalkernen gerechnet werden das **Claustrum**, dem aufgrund seiner ausgedehnten reziproken Verbindungen mit dem gesamten Cortex wahrscheinlich eine wichtige Bedeutung bei der Entstehung des Bewusstseins zukommt, und das **Corpus amygdaloideum**, welches Teil des limbischen Systems ist (S. 577).

Die Basalkerne spielen eine entscheidende Rolle bei der Willkürmotorik. Sie erhalten Afferenzen[7] aus dem gesamten zerebralen Cortex einschließlich des limbischen Systems, führen diese Informationen wie ein Trichter zusammen und integrieren sie. Über den Thalamus projizieren sie zum Motocortex zurück und ermöglichen so, dass Bewegungen von verschiedenen Rindenarealen eingeleitet werden können. Ihnen kommt die Aufgabe zu, gewollte Bewegungen zu bahnen und ungewollte zu

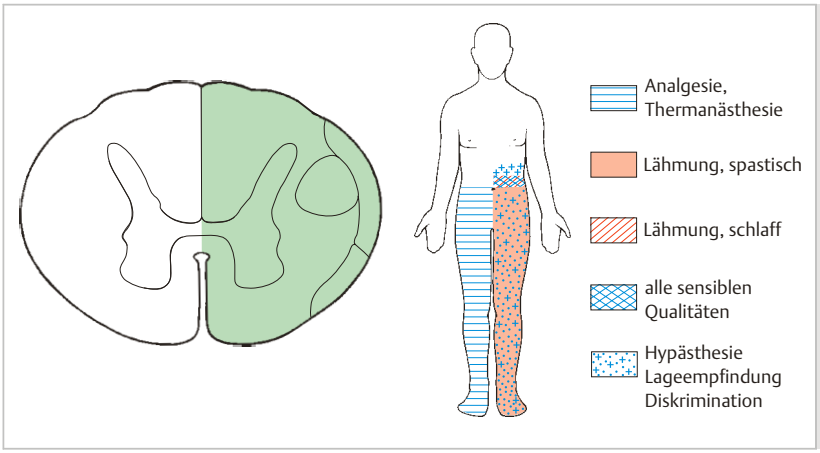


Abb. 19.35 Syndrom der spinalen Halbseitenläsion (Brown-Séquard-Syndrom). Bei einer Läsion der linken Seite des Rückenmarks auf Nabelhöhe (grün gefärbter Bereich) kommt es zu den rechts dargestellten Störungen der Motorik und Sensibilität. (aus Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

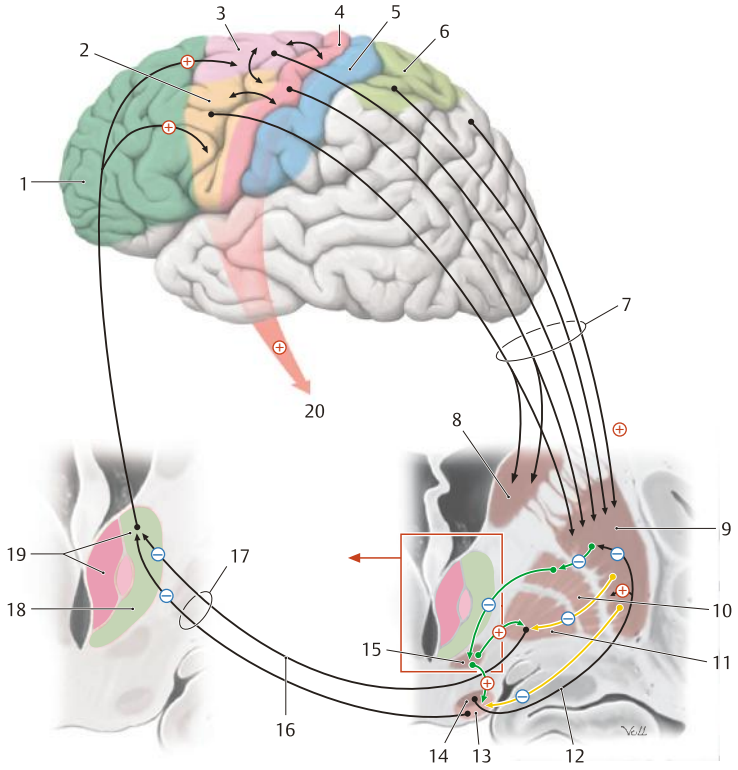


Abb. 19.36 Wichtige Schaltkreise der Basalkerne. Nach Integration und Verarbeitung kortikaler und subkortikaler Informationen werden diese über den Thalamus zu motorischen Cortexarealen geleitet. Die beiden möglichen Wege zur Weiterleitung aus dem Striatum sind mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet (direkter Weg = gelb, indirekter Weg = grün).

1 präfrontaler Cortex
2 prämotorischer Cortex
3 supplementärer motorischer Cortex
4 primärer motorischer Cortex (Gyrus precentralis)
5 primärer somatosensorischer Cortex (Gyrus postcentralis)
6 posteriorer parietaler Cortex, somatosensorischer Assoziationscortex, Areae 5 und 7
7 Tractus corticostriatalis
8 Nucleus caudatus
9 Putamen
10 Pallidum externum
11 Pallidum internum
12 dopaminerge nigrostriatale Fasern
13 Substantia nigra, Pars reticularis
14 Substantia nigra, Pars compacta
15 Nucleus subthalamicus
16 Ansa lenticularis
17 Fasciculus thalamicus
18 Nucleus ventralis anterior und vorderer Nucleus ventralis lateralis
19 Thalamus
20 kortikale Efferenzen zu Hirnstamm und Rückenmark (Pyramidenbahn)

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

hemmen. Gleichzeitig spielen sie beim Erlernen von Bewegungsabläufen eine Rolle, indem sie **Bewegungsprogramme** speichern. Sie bereiten Bewegungen vor und passen das Ausmaß der Bewegungen an die aktuellen Anforderungen an, die ihnen über sensible Afferenzen vermittelt werden. Indem sie der Hirnrinde Rückmeldung über Bewegungsabläufe geben, beeinflussen sie außerdem auch komplexere kortikale Prozesse wie Kognition und Emotionen.

Ursprünglich wurde angenommen, dass die Basalkerne ihre Funktion unabhängig von der Pyra-

midenbahn ausüben und dass sie für unwillkürliche Bewegungen verantwortlich seien. Deswegen wurde der Begriff „**extrapyramidales motorisches System**“ geprägt. Inzwischen weiß man jedoch, dass die Basalkerne als **Rückkoppelungsschleifen** funktionieren und im Zusammenspiel mit der Pyramidenbahn eine wichtige Rolle bei der Willkürmotorik spielen, weshalb dieser Begriff veraltet ist.

Die **direkte striato-pallido-thalamische Schleife** (schwarz/**gelb** in ▶ **Abb. 19.36**) verläuft vom Cortex zum Thalamus. Neurone aus dem gesamten Cortex senden aktivierende glutamaterge Fasern[7] in das **Striatum**[8, 9], welches hemmend (GABAerg, **gelber Pfeil**) auf das **Pallidum internum**[11] wirkt. Dieses wiederum hemmt über die GABAerge Ansa lenticularis[16] den **Nucleus ventralis anterior**[18] und den vorderen **Nucleus ventralis lateralis** des Thalamus, welche aktivierend in die motorischen Cortexareale (Motocortex[4], prämotorischer[2] und supplementärer motorischer[3] Cortex) zurückprojizieren. Der Nucleus ventralis anterior des Thalamus steht tonisch unter einem hemmenden Einfluss des Pallidum internum, wodurch verhindert wird, dass der Cortex unnötig durch den Thalamus aktiviert wird. Die direkte Schleife vermindert diese Hemmung (Desinhibition), hat also insgesamt eine **aktivierende** Wirkung auf die Motorik. Sie dient dazu, die Hemmung erwünschter Bewegungen aufzuheben; das heißt, sie ermöglicht erwünschte Bewegungen. Die inhibitorischen GABAergen Projektionsneurone im Striatum stehen unter inhibitorischer Kontrolle durch cholinerge Interneurone.

Die **indirekte striato-pallido-thalamische Schleife** (schwarz/**grün** in ▶ **Abb. 19.36**) verläuft ebenfalls von Cortex über Striatum[8, 9] und Pallidum internum[11] zum Thalamus. Allerdings sind hier zusätzlich **Pallidum externum**[10] (inhibitorisch) und **Nucleus subthalamicus**[15] (aktivierend) zwischen Striatum und Pallidum internum geschaltet. Es liegen also 2 inhibitorische Neurone (Striatum und Pallidum externum) vor dem Nucleus subthalamicus, der wiederum das inhibitorische Pallidum internum aktiviert. Diese Schleife wirkt somit über den Nucleus subthalamicus insgesamt **hemmend** auf den Nucleus ventralis anterior des Thalamus und somit auch auf den Cortex. Sie hat die Bedeutung, unerwünschte Bewegungen zu beenden oder zu unterdrücken.

Die **striato-nigro-striatale Schleife** verbindet Striatum und Substantia nigra (Pars compacta[14]) reziprok miteinander, wobei die **Pars compacta** der **Substantia nigra** mit **dopaminergen** Fasern[12] in das Striatum zurückprojiziert. Dopamin bindet im Striatum an 2 verschiedene Dopaminrezeptoren und beeinflusst die direkte und die indirekte Schleife unterschiedlich. In der **direkten** Schleife finden sich bevorzugt **exzitatorische** D 1-Rezeptoren, sodass Dopamin diese aktiviert, im **indirekten** Weg überwiegen hingegen **inhibitorische** D 2-Rezeptoren, sodass dieser gehemmt wird. Da die direkte Schleife insgesamt erregend ist und die indirekte Schleife insgesamt hemmend, **wirkt Dopamin** somit über beide Wege **aktivierend** auf die Motorik. Die Wirkung dopaminerger Fasern auf die Motorik besteht also darin, die Hemmung thalamokortikaler Projektionen zu vermindern und so Bewegungen zu bahnen, die vom Cortex initiiert wurden.

Im Gegensatz zur Pars compacta besitzt die **Pars reticularis**[13] der Substantia nigra ähnliche Verbindungen wie das Pallidum internum und kann deshalb auch als kaudal verlagerter Anteil des Pallidum internum angesehen werden.

Neben diesen somatomotorischen Schleifen sind die Basalkerne auch in okulomotorische und limbische Regelkreise eingeschaltet.

Bei Erkrankungen der Basalkerne kommt es zu groben Störungen der Bewegungsabläufe, entweder in Form überschießender (Hyperkinese) oder verminderter motorischer Aktivität (Akinese).



Bei der **Parkinson-Erkrankung** degenerieren die **dopaminergen** Neurone in der Pars compacta der **Substantia nigra**. Infolge dessen wird der (erregende) direkte Weg weniger aktiviert und der (inhibitorische) indirekte Weg weniger gehemmt – die Motorik ist also insgesamt vermindert (**Akinese**). Parkinson-Patienten haben Probleme, erwünschte Bewegungen einzuleiten und auszuführen, aber auch einmal begonnene Bewegungen zu unterbrechen. Außerdem kommt es typischerweise zu einem grobschlägigen **Tremor** und zu einem erhöhten Muskeltonus (**Rigor**). Durch Gabe von L-DOPA, einer Vorstufe von Dopamin, werden diese Symptome deutlich gebessert.

Bei der **Chorea** (griech.: Tanz) kommt es zu Schädigung oder Untergang vor allem der zur **indirekten** Schleife gehörenden GABAergen Neurone im **Striatum**, entweder genetisch bedingt (**Chorea Huntington**) oder aufgrund einer entzündlich-rheumatischen Erkrankung (**Chorea Sydenham**). Dadurch nimmt die Hemmung des Pallidum externum ab. Dies hat eine verstärkte Hem-

mung des Nucleus subthalamicus zur Folge, der dann seine aktivierende Wirkung auf das Pallidum internum nur noch unzureichend ausüben kann. Somit kommt es zu abrupt einschießenden unwillkürlichen Bewegungen (**Hyperkinese**), die vor allem das Gesicht (Grimassieren) und die obere Extremität betreffen. Der Name „Veitstanz" rührt daher, dass Patienten mit Chorea Sydenham im Mittelalter zur Kapelle des heiligen Veit pilgerten, um Heilung zu erbitten.

Physiologischerweise aktiviert der **Nucleus subthalamicus** das Pallidum internum. Sein Untergang führt daher zu einer verminderten Hemmung der Motorik durch das Pallidum internum und somit zu ungewollten Bewegungen, die plötzlich mit großer Kraft und Geschwindigkeit einschießen, vor allem die proximalen Gelenke des Arms betreffen und an Wurfbewegungen erinnern (**Ballismus**, griech. ballein: werfen). Bei einseitiger Läsion des Nucleus subthalamicus sind diese Bewegungen auf die Gegenseite beschränkt (**Hemiballismus**).

Cerebellum

Das Kleinhirn (**Cerebellum**; ▸ **Abb. 19.37**) bildet den dorsalen Anteil des Rhombencephalons und füllt den größten Teil der hinteren Schädelgrube. Es besteht aus dem schlanken Wurm (**Vermis**[14]) in der Mitte und den paarigen ausgedehnten **Hemisphären**. Zwei wichtige Fissuren unterteilen Vermis und Hemisphären in 3 Lappen:

- die Fissura prima[2] trennt den Lobus anterior[1] vom Lobus posterior[4],
- die Fissura posterolateralis[5] den Lobus posterior vom Lobus flocculonodularis[9].

Weitere Fissuren unterteilen sowohl Wurm als auch Hemisphären in zahlreiche Kleinhirnläppchen (**Lobuli**), von denen die Kleinhirntonsille (**Tonsilla cerebelli**[6]) klinisch eine Rolle spielt.

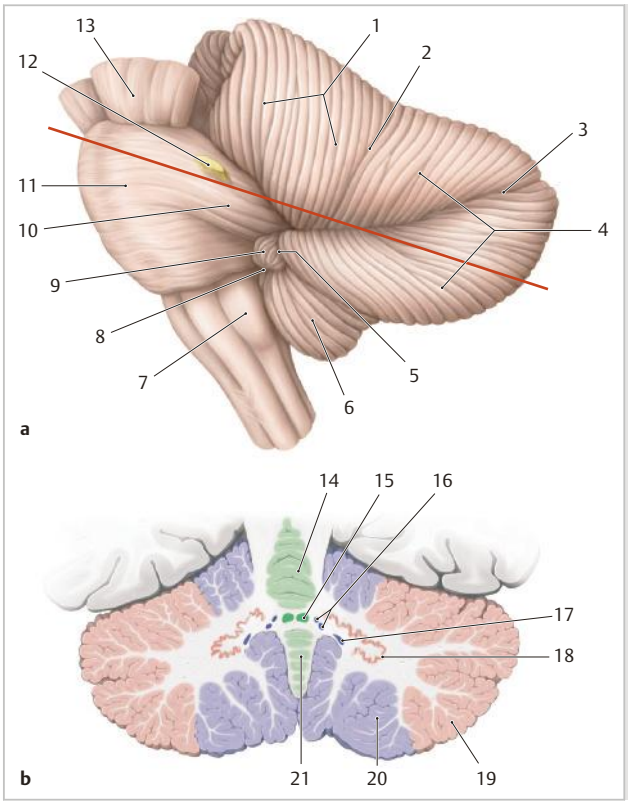


Abb. 19.37 Kleinhirn und Hirnstamm.
a Ansicht von links. **b** Schnitt durch die oberen Kleinhirnstiele (Schnittebene s. **a**)
1 Lobus cerebelli anterior
2 Fissura prima
3 Fissura horizontalis
4 Lobus cerebelli posterior
5 Fissura posterolateralis
6 Tonsilla cerebelli
7 Oliva
8 Angulus pontocerebellaris
9 Flocculus
10 Pedunculus cerebellaris medius
11 Pons
12 N. trigeminus
13 Pedunculus cerebri
14 Vermis cerebelli
15 Nucleus fastigii
16 Nuclei globosi
17 Nucleus emboliformis
18 Nucleus dentatus
19 Pars lateralis
20 Pars intermedia
21 Pars mediana
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der untere Teil der Hemisphären, die Kleinhirntonsillen, liegen in unmittelbare Nachbarschaft der Medulla oblongata. Bei erhöhtem Hirndruck werden sie in das Foramen occipitale magnum gepresst und können dabei die Medulla oblongata einklemmen (**„untere Einklemmung "**), was durch Druck auf Atem- und Kreislaufzentren zum Tod durch Atemversagen führen kann.

Funktionell sind der Lobus flocculonodularis und die angrenzenden Wurmanteile hauptsächlich mit den Vestibulariskernen verbunden und werden deshalb auch als **Vestibulocerebellum** bezeichnet. Der restliche Teil des Wurms und die angrenzenden Anteile der Hemisphären werden wegen ihrer Verbindungen mit dem Rückenmark zum **Spinocerebellum** zusammengefasst. Der größte Teil der **Kleinhirnhemisphären** erhält seine Afferenzen hauptsächlich aus dem zerebralen Cortex nach Umschaltung in den Brückenkernen und wird **Pontocerebellum** oder **Cerebrocerebellum** genannt. Die große funktionelle Bedeutung des Cerebellums wird aus der Tatsache ersichtlich, dass es zwar nur etwa 10 % des gesamten Hirnvolumens ausmacht, aber über 50 % seiner Neuronen enthält.

Kleinhirnstiele (▶ Abb. 19.38)

Das Kleinhirn ist mit der Medulla oblongata über den unteren Kleinhirnstiel (**Pedunculus cerebellaris inferior**[2]) verbunden. Dieser enthält Fasern, die aus den kaudalen Anteilen des ZNS und den Vestibulariskernen kommen oder dorthin zurückziehen. Dies sind Tractus vestibulocerebellaris, Tractus spinocerebellaris posterior, Tractus cuneocerebellaris, Tractus reticulocerebellaris, Tractus olivocerebellaris, Tractus cerebellovestibularis und Tractus cerebelloreticularis.

Der mittlere Kleinhirnstiel (**Pedunculus cerebellaris medius**[8]) verbindet Kleinhirn und Brücke. Er enthält den Tractus pontocerebellaris.

Mit dem Mesencephalon ist das Kleinhirn über den oberen Kleinhirnstiel (**Pedunculus cerebellaris superior**[1]) verbunden. In ihm verlaufen Bahnen zu den kranialen Anteilen des ZNS, wie Tractus cerebellorubralis und Tractus cerebellothalamicus. Einzige Ausnahme ist der Tractus spinocerebellaris anterior[9], der entgegen dieser Regel über den oberen Kleinhirnstiel zieht.

Aufbau und Verschaltung des Cerebellums (▶ Abb. 19.39)

Histologisch kann man eine Kleinhirnrinde (**Cortex cerebelli**[7–9]), ein Marklager (**Medulla**[6]) und 4 tiefe Kleinhirnkerne[3] (**Nucleus dentatus**, **emboliformis**, **fastigii** und **globosus**, s. ▶ Abb. 19.37[15–18]) unterscheiden. Nucleus emboliformis und globosus werden auch zum **Nucleus interpositus** zusammengefasst.

Die Kleinhirnrinde ist dreischichtig. Außen befindet sich die Molekularschicht (**Stratum moleculare**[9]), darunter die **Purkinjezellschicht** (Stratum purkinjense oder ganglionare[8]) und innen die Körnerzellschicht (**Stratum granulosum**[7]). Zwei

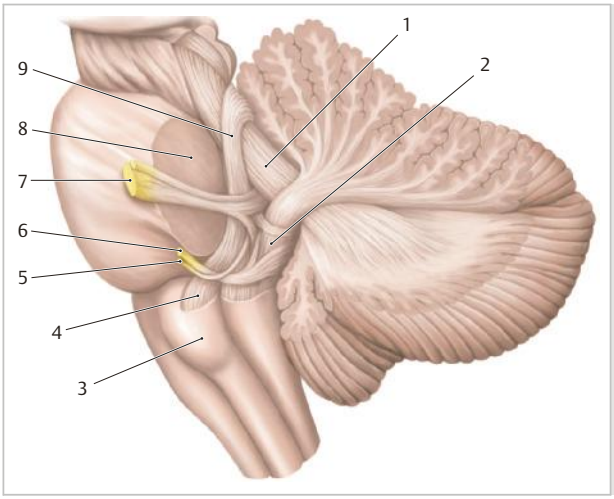


Abb. 19.38 Kleinhirnstiele. Ansicht von links. Kranialer und lateraler Teil des Cerebellums mit Teilen des Pedunculus cerebellaris medius entfernt.
1 Pedunculus cerebellaris superior
2 Pedunculus cerebellaris inferior
3 Oliva
4 Tractus tegmentalis centralis
5 N. facialis
6 N. vestibulocochlearis
7 N. trigeminus
8 Pedunculus cerebellaris medius
9 Tractus spinocerebellaris anterior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

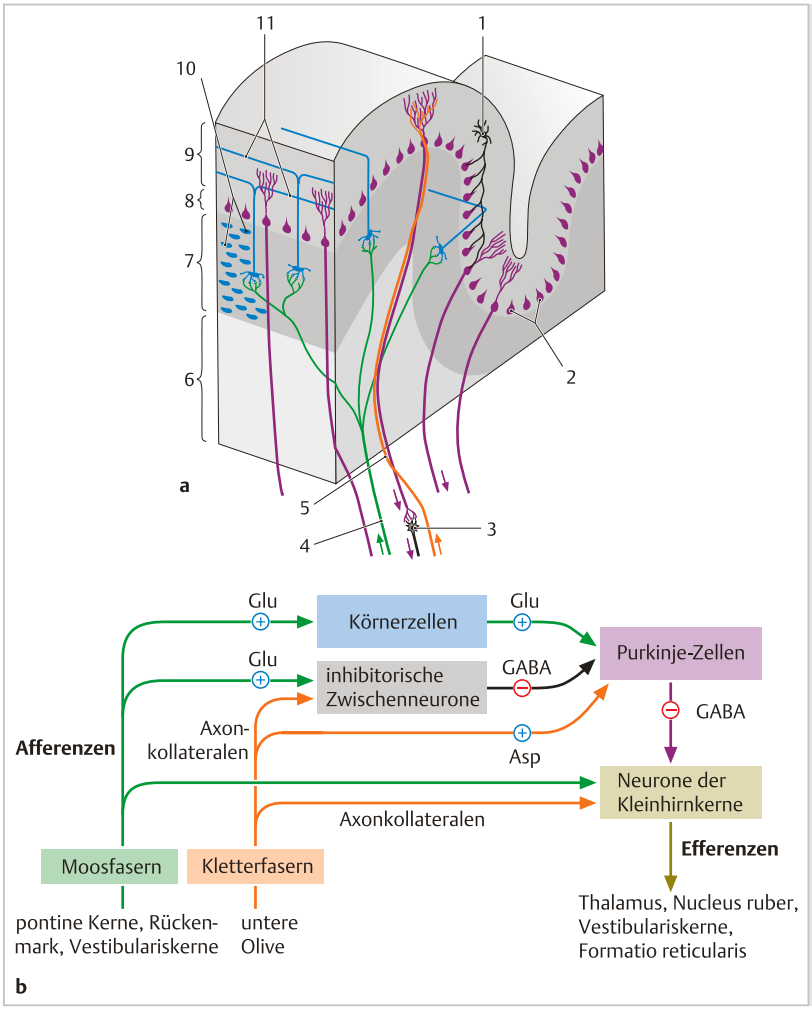


Abb. 19.39 Aufbau (a) und Verschaltung (b) der Kleinhirnrinde (Glu: glutamaterg, Asp: aspartaterg).
1 Korbzelle
2 Purkinje-Zellen (violett)
3 Neurone in tiefen Kleinhirnkernen, z. B. Nucleus dentatus
4 Moosfasern (grün)
5 Kletterfasern (rot)
6 Marklager
7 Stratum granulosum
8 Stratum ganglionare
9 Stratum moleculare
10 Körnerzellen (blau)
11 Parallelfasern (blau)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Hauptafferenzen erreichen den zerebellaren Cortex: Moosfasern[4] und Kletterfasern[5].

Moosfasern[4] kommen aus Rückenmark (Tractus spinocerebellaris anterior und posterior), Vestibulariskernen (Tractus vestibulocerebellaris) und Brückenkernen (Tractus pontocerebellaris) und ziehen in das Stratum granulosum, wo sie mit **Körnerzellen**[10] glutamaterge erregende Synapsen bilden. Axone der Körnerzellen ziehen in die Molekularschicht, wo sie sich T-förmig verzweigen und wegen ihres Faserverlaufs parallel zur Oberfläche als **Parallelfasern**[11] bezeichnet werden. In der Molekularschicht bilden Parallelfasern exzitatorische Synapsen mit den Dendriten der **Purkinjezellen**[2], die wie Obstbäume im Spalier angeordnet sind. Eine Parallelfaser erregt somit sukzessive eine Purkinjezelle nach der anderen. Diese gleichmäßige Abfolge von Purkinjezell-Erregungen, einem Metronom vergleichbar, ermöglicht dem Kleinhirn, zeitliche Abläufe abzuschätzen und hierauf basierend Bewegungen zu koordinieren.

Die Axone der Purkinjezellen sind die einzigen Efferenzen aus dem zerebellaren Cortex. Sie sind GABAerg, also inhibitorisch, und enden an den tiefen Kleinhirnkernen. Fasern aus dem Vestibulocerebellum ziehen zum Nucleus fastigii, können aber als einzige Ausnahme auch direkt an den Vestibulariskernen enden. Fasern aus dem Spinocerebellum schalten hauptsächlich im Nucleus globosus und im Nucleus emboliformis um, die auch zum Nucleus interpositus zusammengefasst werden, und Purkinjezellaxone aus dem Pontocerebellum enden im Nucleus dentatus.

Moosfasern erregen außerdem inhibitorische Interneurone in der Molekularschicht (**Korbzellen**[1] und **Sternzellen**), deren Aufgabe wahrscheinlich darin besteht, die Erregung der Purkinjezellen schnell wieder zu beenden (Signalverschärfung).

Kletterfasern[5] stammen aus der unteren Olive und ziehen in die Molekularschicht, wo sie einzelne Dendriten der Purkinjezellen aspartaterg erregen.

Funktion des Cerebellums (▶ Abb. 19.40)

Das Cerebellum speichert **Bewegungsprogramme**, koordiniert Bewegungen und hält das Gleichgewicht. Um diese Aufgaben zu erfüllen, erhält es Afferenzen aus allen für die Motorik wichtigen Gehirnregionen und projiziert mit seinen Efferenzen wieder dorthin zurück. Im Gegensatz zu den Basalkernen beeinflusst es nicht die groben Bewegungsabläufe, sondern ermöglicht vor allem **feinmotorische** Fertigkeiten wie Klavierspielen oder Sprechen.

Das **Vestibulocerebellum** spielt eine wichtige Rolle bei der Regulation von **Gleichgewicht** und von **Augenbewegungen**. Fasern aus der Pars vestibularis n. vestibulocochlearis, die dem Kleinhirn Informationen über Stellung und Bewegungen des Kopfes vermitteln, ziehen direkt oder nach Umschaltung in den Vestibulariskernen[9] als **Tractus vestibulocerebellaris** über den unteren Kleinhirnstiel in den Lobus flocculonodularis (Vestibulocerebellum). Von hier ziehen Efferenzen (Tractus cerebellovestibularis[6]) entweder direkt oder nach Umschaltung im Nucleus fastigii[8] über den unteren Kleinhirnstiel zurück zu den Vestibulariskernen[9]. Da diese Fasern inhibitorisch sind (GABAerge Axone der Purkinjezellen), führt ein Ausfall des Vestibulocerebellums zu einer Übererregung der Vestibulariskerne, die sich klinisch als Schwindel, Nystagmus sowie Stand- und Gangunsicherheit äußert.



Durch übermäßigen Alkoholgenuss werden die Purkinjezellen geschädigt und können daher ihren hemmenden Einfluss auf die Vestibulariskerne nicht mehr ausüben. Die hieraus resultierende Übererregung der Vestibulariskerne führt dazu, dass das Bett sich wie ein Karussell zu drehen scheint, wenn die Betroffenen sich hinlegen.

Propriozeptive Afferenzen aus dem Rückenmark erreichen das **Spinocerebellum** über den oberen (Tractus spinocerebellaris anterior[10]) und den unteren Kleinhirnstiel (Tractus spinocerebellaris posterior, Tractus cuneocerebellaris). Des Weiteren werden Informationen aus Hautrezeptoren über den Tractus spinoreticularis den **präzerebellaren retikulären Kernen** vermittelt. Diese Kerne erhalten außerdem Afferenzen aus der Großhirnrinde und projizieren ebenfalls ins Spinocerebellum. Efferenzen aus diesem Kleinhirnteil ziehen nicht direkt ins Rückenmark zurück, sondern nach Umschaltung im Nucleus interpositus[7] entweder vorher über den oberen Kleinhirnstiel in den Nucleus ruber[20] (**Tractus cerebellorubralis**[5]) oder über den unteren Kleinhirnstiel in die Formatio reticularis (**Tractus cerebelloreticularis**). Von hier aus verlaufen sie nach Umschaltung über rubrospinale[14], rubroretikuläre und retikulospinale[13] Fasern in das Rückenmark und beeinflussen die Motorik. Der **Nucleus ruber** ist darüber hinaus aber auch über die zentrale Haubenbahn (Tractus tegmentalis centralis[2]) mit der unteren Olive[15] verbunden und ist daher über die olivozerebellaren Fasern[16] in einen Reflexbogen zum zerebellaren Cortex eingeschaltet. Das Spinocerebellum hat die Aufgabe, die **Körperhaltung** an die jeweiligen Bewegungen anzupassen. Bei Schädigungen des Spinocerebellum sind ebenfalls Stand und Gang beeinträchtigt.

Fasern aus der Großhirnrinde erreichen das **Pontocerebellum** über kortikopontine Bahnen[1] (Tractus fronto-, parieto-, occipito- und temporopontinus) und nach Umschaltung in den Brückenkernen[3] über den im mittleren Kleinhirnstiel verlaufenden **Tractus pontocerebellaris**[19]. Dieser Kleinhirnteil wird somit im Voraus über jede von der Großhirnrinde geplante Bewegung informiert und kann über Efferenzen, die über den Nucleus dentatus[17] des Kleinhirns und den Nucleus ventralis lateralis des Thalamus zum zerebralen Cortex zurückziehen[21], unmittelbar korrigierend auf die Motorik einwirken. Die Funktion des Pontocerebellum besteht vor allem darin, Bewegungen – besonders sehr rasch aufeinanderfolgende – zu **koordinieren** und schnelle Bewegungsabläufe zu erlernen. Eine Schädigung dieses Kleinhirnteils führt zu einer gestörten Bewegungskoordination (**Ataxie**): Die Sprache ist langsam, abgehackt und undeutlich, Bewegungsabläufe werden nicht mehr glatt ausgeführt, sondern in ihre Einzelbewegungen zerlegt, und bei zielgerichteten Bewegungen kommt es zu zunehmendem Zittern (Intentionstremor).

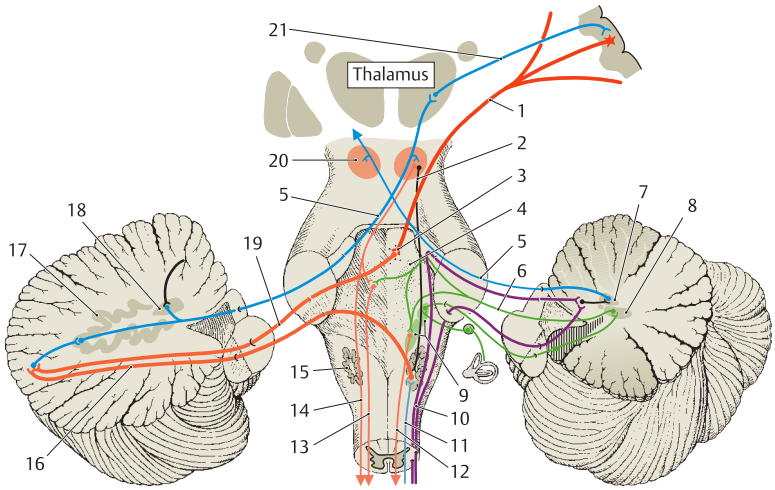


Abb. 19.40 Afferente und efferente Verbindungen des Kleinhirns und tiefe Kleinhirnkerne. Grün: Vestibulocerebellum; violett: spinozerebellare Afferenzen; dunkelrot: ponto- und olivozerebellare Afferenzen; dunkelblau: spino- und pontozerebellare Efferenzen.

1 Tractus corticopontinus
2 Tractus tegmentalis centralis
3 Nuclei pontis
4 Formatio reticularis
5 Tractus cerebellorubralis und Tractus cerebellothalamicus
6 Tractus cerebellovestibularis
7 Nucleus emboliformis und Nucleus globosus
8 Nucleus fastigii
9 Nuclei vestibulares
10 Tractus spinocerebellaris anterior und posterior
11 Tractus spinoolivaris
12 Tractus vestibulospinalis
13 Tractus reticulospinalis
14 Tractus rubrospinalis
15 Oliva, unterer Olivenkomplex
16 Tractus olivocerebellaris
17 Nucleus dentatus
18 Nucleus emboliformis
19 Tractus pontocerebellaris
20 Nucleus ruber
21 Tractus thalamocorticalis
(nach Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

Im Gegensatz zu den oben genannten Bahnen ziehen Fasern aus dem **unteren Olivenkomplex** (Hauptkerngebiet: **Nucleus olivaris inferior**[15]) als Kletterfasern in alle 3 funktionellen Kleinhirnanteile. Im ventralen Teil der geschlossenen Medulla oblongata gelegen, stellt die untere Olive eine wichtige Umschaltstation am Eingang ins Cerebellum dar. Sie erhält Afferenzen aus praktisch allen für die Motorik wichtigen Zentren: Rückenmark[11], Formatio reticularis, Nucleus ruber (über die zentrale Haubenbahn: Tractus tegmentalis centralis[2]), Striatum und Großhirnrinde. Efferenzen aus der unteren Olive kreuzen und erreichen als **Tractus olivocerebellaris**[16] über die unteren Kleinhirnstiele den gesamten zerebellaren Cortex.

Grundsätzlich beeinflusst eine Kleinhirnhälfte die Motorik auf der **gleichen Körperseite**, denn die meisten efferenten Bahnen kreuzen zweimal. So kreuzen z. B. sowohl der Tractus cerebellorubralis[5] als auch der Tractus rubrospinalis[14].

Isolierte Schädigungen einzelner Kleinhirnanteile sind selten. Meist betreffen Erkrankungen Vestibulo-, Spino- und Pontocerebellum gemeinsam. Die **multiple Sklerose** ist eine Autoimmunerkrankung, bei der die Markscheiden im zentralen Nervensystem zunehmend untergehen. Charakteristischerweise tritt diese Demyelinisierung zuerst im Sehnerv auf (Optikusneuritis), später kommt es auch zu Markscheidenverlust im Kleinhirn und im Rückenmark. Die zerebellaren Symptome der multiplen Sklerose werden nach ihrem Erstbeschreiber als **Charcot-Trias** (Intentionstremor, skandierte Sprache, Nystagmus) zusammengefasst.

Motorisch wichtige Cortexareale

Wie Bewegung entsteht, ist letztlich eine philosophische Frage, die neuroanatomisch nur eingeschränkt beantwortet werden kann. Im Wachzustand erreichen die Großhirnrinde zahlreiche sensorische Informationen von außen (visuell, akustisch) und von innen (somatosensorisch). Hinzu kommen Afferenzen aus dem limbischen und dem motorischen System. Der **präfrontale Cortex** (▶ **Abb. 19.36**[1]) speichert kurzfristig diese teils divergierenden Impulse (**Arbeitsgedächtnis**), ordnet sie ein und überführt sie in geordnetes Verhalten. Er umfasst nahezu den gesamten anterioren, vor dem prämotorischen Cortex gelegenen Frontallappen und lässt sich in einen orbitalen und einen lateralen Anteil untergliedern.

- Die orbitale Region (**orbitofrontaler Cortex**) besteht aus den Gyri orbitales und der medialen Oberfläche des Frontallappens. Sie hat enge Verbindung mit dem limbischen System und reguliert vor allem **Sozial- und Sexualverhalten**. Hierzu gehört insbesondere die Fähigkeit, solche Triebe und Emotionen zu kontrollieren, die zu sozial inakzeptablem Verhalten führen würden.
- Der laterale Anteil (**dorsolaterale präfrontale Region**) umfasst im Wesentlichen den Gyrus frontalis superior und medius. Er ist verantwortlich für Konzentration, Beurteilung der aktuellen Situation, Problemlösung, **Handlungsstrategien**, Entscheidungen und Planung von Bewegung.

Bei der **Pick-Erkrankung** degenerieren die Nervenzellen im präfrontalen Cortex. Als Folge kommt es zu einem Verlust von Initiative, Ehrgeiz, Verantwortungsgefühl und Voraussicht. Eine ähnliche Symptomatik tritt auch auf, wenn der präfrontale Cortex durch eine Verletzung oder einen Tumor geschädigt wird. Bekannt geworden ist der Fall des Phineas Gage, eines amerikanischen Eisenbahnbauarbeiters, dem eine Eisenstange bei einer Explosion das Frontalhirn durchstieß. Dieser Patient zeigte weder Sprachstörungen noch motorische oder sensible Ausfälle. Allerdings veränderte sich seine Persönlichkeit auffällig: Der vorher verantwortungsvolle, fleißige Arbeiter wurde nachlässig, ungeduldig und rücksichtslos und konnte keiner geregelten Arbeit mehr nachgehen.

Nachdem im präfrontalen Cortex ein Handlungsplan entwickelt worden ist, werden über die Area 6 (**supramotorische Rinde**) die erforderlichen Bewegungsprogramme abgerufen. Die Area 6 (▶ **Abb. 19.24**) liegt im Frontallappen unmittelbar vor dem Gyrus precentralis und wird unterteilt in einen medialen, auf der Innenfläche des Frontallappens liegenden Anteil (**supplementärer motorischer Cortex**, s. ▶ **Abb. 19.36**[3]) und einen lateralen Anteil (**prämotorischer Cortex**, s. ▶ **Abb. 19.36**[2]). In der Area 6 werden komplexe Bewegungsmuster vorbereitet und erlernte Bewegungen abgerufen. Dieses Areal ist eng mit dem System der Basalkerne verbunden, sendet also Efferenzen zum Striatum und erhält Afferenzen aus dem Nucleus ventralis anterior und lateralis des Thalamus (▶ **Abb. 19.36**[18]). Außerdem werden der Area 6 Informationen über die Körperstellung aus dem somatosensorischen Assoziationscortex (Area 5 und 7, s. ▶ **Abb. 19.36**[6]) vermittelt.

Der supplementäre motorische Cortex ist bereits vor der Ausführung von Willkürbewegungen erregt (Bereitschaftspotenzial). Wenn man an eine Bewegung denkt, ist nur der supplementäre motorische Cortex aktiv. Wenn man eine Bewegung ausführt, zusätzlich auch der Motocortex. Wichtigste Efferenz des supramotorischen Cortex ist zwar die primäre motorische Rinde, doch er gibt auch direkte Fasern zur Pyramidenbahn ab (Bewegungsausführung). Während im Motocortex Einzelbewegungen repräsentiert sind, werden in der prämotorischen Rinde und im supplementären motorischen Cortex komplexe Bewegungsabläufe abgerufen.

Als **Apraxie** wird eine gestörte Ausführung erlernter Bewegungen bezeichnet, ohne dass eine Lähmung vorliegt. Häufig ist eine Schädigung des prämotorischen Cortex oder des somatosensorischen Assoziationscortex die Ursache.

Unter **Agraphie** versteht man die Unfähigkeit zu schreiben bei erhaltener Sprachfähigkeit. Wenn sie mit **Alexie** (Unfähigkeit zu lesen) kombiniert ist, liegt eine Schädigung des linken **Gyrus angularis** zugrunde.

Das **frontale Augenfeld** (Area 8) liegt im Gyrus frontalis medius unmittelbar vor dem prämotorischen Cortex und bewirkt willkürliche Augenbewegungen zur Gegenseite (s. ▶ **Abb. 19.45**).

Das **motorische Sprachzentrum** (Broca) liegt in der Pars opercularis und der Pars triangularis des Gyrus frontalis inferior (Areae 44 und 45). Es wird bereits bei der Vorstellung von Wörtern aktiviert und ist für die Sprachbildung notwendig (s. ▶ **Abb. 19.24**).

19.6.3 Vestibuläres System (▶ Abb. 19.41)

Die **Vestibulariskerne** erhalten Afferenzen aus dem Gleichgewichtsorgan, Rückenmark, Cerebellum und visuellen System. Sie senden efferente Fasern zu Cerebellum, Rückenmark, medialem Längsbündel, Thalamus sowie zur Großhirnrinde und beeinflussen so Stützmotorik und Augenbewegungen. Störungen des vestibulären Systems äußern sich als Schwindel und Nystagmus.

Das vestibuläre System dient dazu, dem Gehirn Informationen über die Stellung des Körpers im Raum zu vermitteln, um auf Änderungen schnell mit Ausgleichsbewegungen reagieren zu können. Im Zentrum des Gleichgewichtssystems stehen die 4 jeweils paarigen **Vestibulariskerne**[17]: Nucleus vestibularis superior, inferior, lateralis und medialis. Sie erhalten ihre **Afferenzen** hauptsächlich aus 4 verschiedenen Quellen:

- Informationen über Stellung und Bewegung des Kopfes vom **Vestibularisapparat** im Innenohr[6–8],
- **propriozeptive** Afferenzen aus der Muskulatur über das Rückenmark[26],
- **visuelle** Information von den Augen[1],
- rückläufige Fasern aus dem **Cerebellum**[3].

Der Vestibularisapparat (**Labyrinthus vestibularis**) umfasst die Maculaorgane von Utriculus[7] und Sacculus[8], welche die Stellung des Kopfes im Raum registrieren (**statisches** Labyrinth), und die Bogengänge[6], welche Bewegungen des Kopfes erfassen (**kinetisches** Labyrinth). Beide Teile des Labyrinths dienen dazu, das Gleichgewicht zu halten. Das kinetische Labyrinth hat darüber hinaus die Aufgabe, Augenbewegungen mit Drehungen des Kopfes zu koordinieren.

Afferenzen zu den Vestibulariskernen sind Fasern aus dem **Vestibularisapparat**, die über die Pars vestibularis[5] des N. vestibulocochlearis (VIII) zur Brücke ziehen, in die sie am Übergang von Medulla oblongata und Pons eintreten. Sie enden zum größten Teil an den Vestibulariskernen[17], nur wenige der Fasern ziehen weiter zum Vestibulocerebellum[4].

Propriozeptive Afferenzen[26], vor allem aus der Halsmuskulatur, erreichen die Vestibulariskerne über das Rückenmark. Zusammen mit Afferenzen aus der Sehbahn[1] ermöglichen sie dem Vestibularissystem zu unterscheiden, ob sich nur der Kopf bewegt oder der ganze Körper. Außerdem sind die Vestibulariskerne über einen Regelkreis mit dem Cerebellum verbunden: **Vestibulozerebellare Fasern**[4] ziehen ins Cerebellum und GABAerge hemmende Fasern aus dem Cerebellum[3] projizieren zu den Vestibulariskernen zurück.

Efferenzen aus den Vestibulariskernen ziehen ins Rückenmark, wo sie als **Tractus vestibulospinalis**[10] vor allem diejenigen Motoneuronen beeinflussen, die der Schwerkraft entgegenwirken und die Körperhaltung stabilisieren, um das Gleichgewicht zu halten. Das System erregt Extensoren und hemmt Flexoren, sodass z. B. die Füße fest an den Boden gepresst werden. Über den *absteigenden* Teil des medialen Längsbündels (**Fasciculus longitudinalis medialis**[11]) ziehen Fasern außerdem ins zervikale Rückenmark, wo sie die Halsmuskulatur erregen und so die Kopfstellung im Sinne der Gleichgewichtsregulation anpassen. Weitere Efferenzen ziehen über den *aufsteigenden* Teil des medialen Längsbündels zu den für **Augenbewegungen** zuständigen Hirnnervenkernen des N. oculomotorius[23], trochlearis[21] und abducens[18]. Diese Verschaltung bewirkt, dass eine leichte Drehung des Kopfes zu einer Bewegung der Augen in umgekehrte Richtung führt und so ein fixiertes Objekt „im Auge behalten wird" (**vestibulookulärer Reflex**).

Das **Puppenaugenphänomen** tritt auf, wenn dieser vestibulookuläre Reflex nicht mehr durch willkürliche Augenbewegungen unterdrückt wird. Bei Patienten, die im Koma liegen und deren Innenohr, Vestibulariskerne, mediales Längsbündel und Hirnnervenkerne zur Innervation der äußeren Augenmuskeln intakt sind, führen passive Kopfbewegungen zu gegenläufigen Augenbewegungen.

Fasern, die von den Vestibulariskernen zum **Nucleus solitarius** und zum **Nucleus dorsalis n. vagi**[13] ziehen, sind wahr-

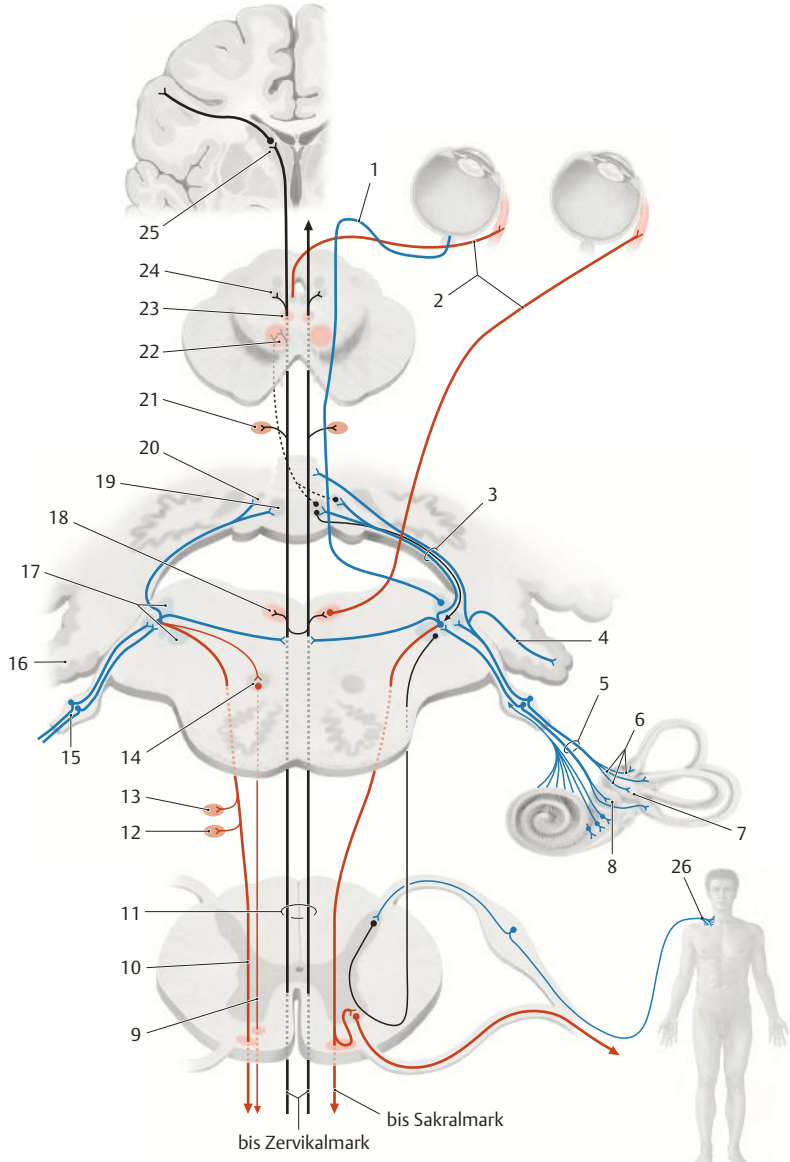


Abb. 19.41 Vestibuläres System.

1 visuelle Afferenzen über den N. opticus
2 N. abducens
3 Fasciculus uncinatus mit cerebellovestibulären Faser (schwarz)
4 vestibulocerebellare Fasern
5 N. vestibularis
6 Cristae ampullares
7 Utriculus
8 Sacculus
9 Tractus reticulospinalis
10 Tractus vestibulospinalis
11 Fasciculus longitudinalis medialis
12 Nucleus n. accessorii
13 Nucleus dorsalis n. vagi
14 Formatio reticularis
15 Ganglion vestibulare
16 Lobus flocculonodularis
17 Nuclei vestibulares
18 Nucleus n. abducentis
19 Nucleus fastigii
20 Nucleus globosus
21 Nucleus n. trochlearis
22 Nucleus ruber
23 Nucleus n. oculomotorii
24 Nucleus interstitialis (Cajal)
25 Thalamus, Nucleus ventralis posteromedialis
26 Afferenzen aus der Halsmuskulatur

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

scheinlich dafür verantwortlich, dass eine Erregung des Vestibularissystems unter bestimmten Umständen zu Übelkeit und Erbrechen führt (Seekrankheit).

Weitere Efferenzen ziehen zum Nucleus ventralis posteromedialis des **Thalamus**[25] und von dort weiter zum somatosensorischen **Cortex** (Spitze des Sulcus intraparietalis) und vermitteln ein bewusstes Gefühl für Gleichgewicht.

Störungen des Gleichgewichtssystems äußern sich als **Schwindel**. Er tritt auf, wenn es zu einem Ungleichgewicht zwischen den unterschiedlichen (vestibulären, zerebellaren, visuellen und somatosensorischen) Afferenzen zu den Vestibulariskernen kommt. So konnen eine Übererregung der Bogengänge (Karussell), eine Kleinhirnschädigung oder auch Erkrankungen der Halswirbelsäule zu Schwindelgefühl führen. Vestibuläre Störungen führen außerdem zu **Übelkeit** und **Nystagmus,** der darauf beruht, dass ein vestibulookulärer Reflex Augenbewegungen zu einer Seite auslöst (langsame Nystagmuskomponente), die durch schnelle Rückholbewegungen wieder ausgeglichen werden.

19.6.4 Hörbahn (▶ Abb. 19.42)

Akustische Signale werden über den N. vestibulocochlearis zu den beiden Cochleariskernen geleitet. Fasern aus dem **Nucleus cochlearis anterior** schalten gekreuzt und ungekreuzt im **oberen Olivenkomplex** um (Funktion: räumliches Hören, Stapedius- und Tensor-tympani-Reflex, olivokochleäres Bündel). Axone des **Nucleus cochlearis posterior** ziehen direkt in den **Lemniscus lateralis** und weiter zum **Colliculus inferior**. Das **Corpus geniculatum mediale** ist der spezifische Thalamuskern der Hörbahn. Von hier zieht die **Hörstrahlung** über die Capsula interna zur **primären Hörrinde** im Temporallappen. Dorsal von ihr liegt das **sensorische Sprachzentrum.**

Der Hörsinn gehört zu den wichtigsten sensorischen Systemen. Er ist eng mit Sprachbildung und -verständnis verbunden. Schallwellen werden in der **Cochlea** (S. 491) in Aktionspotenziale umgewandelt, die über die Pars cochlearis[5] des **N. vestibulocochlearis** (VIII) zur Brücke geleitet werden. Die zugehörigen Perikaryen sind bipolare, im Ganglion spirale cochleae[4] gelegene Neurone. Zusammen mit der Pars vestibularis ziehen die Hörfasern im Felsenbein durch den inneren Gehörgang (Meatus acusticus internus) zum Kleinhirnbrückenwinkel, wo sie in den Hirnstamm eintreten und an den beiden Cochleariskernen (**Nucleus cochlearis anterior**[6] und **posterior**[7]) enden, die den unteren Kleinhirnschenkeln wie Satteltaschen aufliegen.

Der Nucleus cochlearis posterior liegt posterolateral vom unteren Kleinhirnstiel und bildet am Boden des Recessus lateralis des IV. Ventrikels das **Tuberculum acusticum**.

Die Hörbahn enthält eine Gruppe von Kerngebieten, in denen *alle Fasern* umgeschaltet werden (Cochleariskerne[6,7], Colliculi inferiores[14], Corpus geniculatum mediale[15]) und solche, in denen *nur einzelne Fasern* Synapsen bilden (oberer Olivenkomplex[9], Nuclei lemnisci lateralis[11]).

Nach Umschaltung im **Nucleus cochlearis anterior**[6] ziehen die meisten Fasern zum *ipsilateralen* oberen Olivenkern (**Nucleus olivaris superior**[9]) und zu dem medial von ihm gelegenen Nucleus corporis trapezoidei[8], wo sie größtenteils umgeschaltet werden. Von diesen Kernen, die zusammen „oberer Olivenkomplex" genannt werden, ziehen die Fasern im Lemniscus lateralis[12] weiter zum Mesencephalon.

Einige Fasern kreuzen jedoch in der Brücke und ziehen zum *kontralateralen* oberen Olivenkomplex. Diese kreuzenden Fasern haben in ihrer Gesamtheit die Form eines Trapezes und werden deshalb als Trapezkörper (**Corpus trapezoideum**) bezeichnet. Da die oberen Olivenkerne also ipsi- und kontralaterale Afferenzen erhalten, können sie Intensität und zeitliches Eintreffen der Impulse beider Seiten verrechnen, wodurch räumliches Hören ermöglicht wird. Aufgrund der Umschaltung im Nucleus olivaris superior nennt man dieses System die **indirekte Hörbahn**.

Die meisten Fasern aus dem **Nucleus cochlearis posterior**[7] *kreuzen* auf die Gegenseite, ziehen *ohne* Umschaltung am oberen Olivenkomplex vorbei und verlaufen ebenfalls im Lemniscus lateralis ins Mesencephalon. Dort enden sie in den Colliculi inferiores[14]. Da sie nicht im Olivenkomplex umgeschaltet werden, bezeichnet man diese Fasern als **direkte Hörbahn**.

Einseitige **Verletzungen der Hörbahn** *oberhalb* der Cochleariskerne führen zu einer nur geringen Beeinträchtigung des Hörvermögens, da der Lemniscus lateralis sowohl gekreuzte als auch ungekreuzte Fasern enthält.

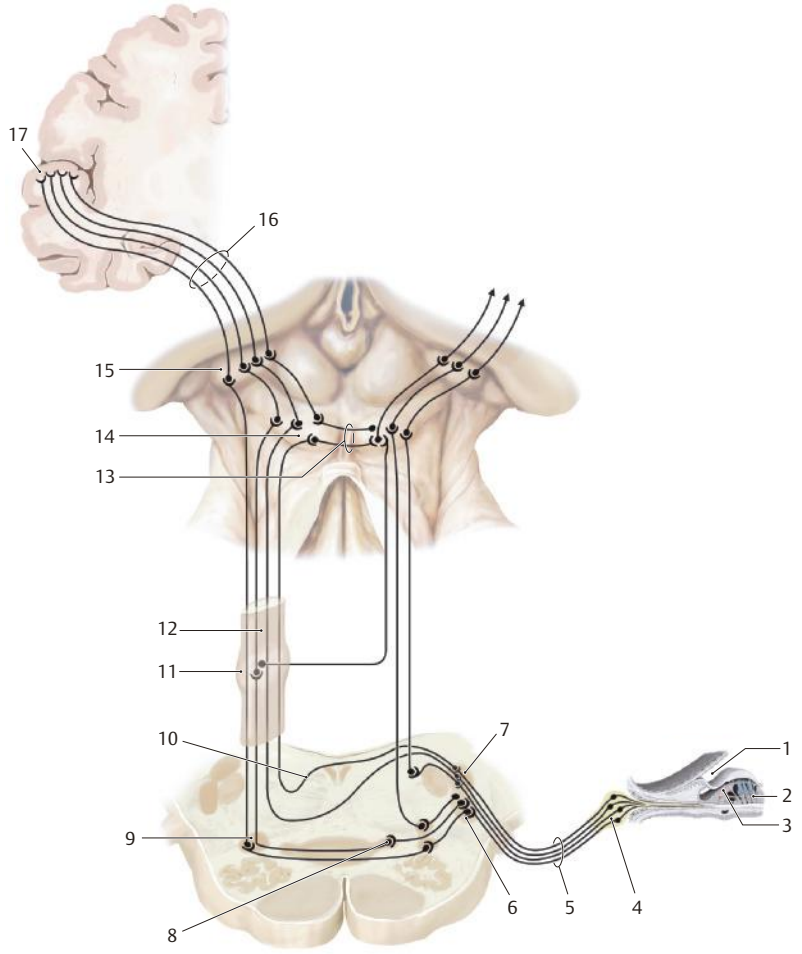


Abb. 19.42 Hörbahn.
1 Ductus cochlearis
2 Corti-Organ
3 innere Haarzellen
4 Ganglion spirale cochleae
5 N. cochlearis
6 Nucleus cochlearis anterior
7 Nucleus cochlearis posterior
8 Nucleus corporis trapezoidei
9 Nucleus olivaris superior
10 Striae medullares
11 Nuclei lemnisci lateralis
12 Lemniscus lateralis
13 Kommisur der Colliculi inferiores
14 Nucleus colliculi inferioris
15 Nucleus corporis geniculati medialis
16 Radiatio acustica
17 Gyri temporales transversi (Area 41)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die nächste Station der Hörbahn ist das **Corpus geniculatum mediale**[15], der spezifische Thalamuskern des akustischen Systems. Nach synaptischer Umschaltung in diesem Kern verlaufen die Hörfasern über die im hinteren Teil der Capula interna (sublentiform) gelegene Hörstrahlung (**Radiatio acustica**[16]) zur **primären Hörrinde**[17] (Gyri temporales transversi, Heschl-Querwindungen, Area 41 und 42), die sich am Boden des Sulcus lateralis (Sylvii) befindet. In ihrer Umgebung im Gyrus temporalis superior liegt der **sekundäre auditorische Cortex** für die Wahrnehmung von Klangmustern. Eine besondere Rolle spielen diejenigen Bereiche, die für das Sprachverständnis von Bedeutung sind. Sie liegen auf der für die Sprache dominanten Hemisphäre im **Wernicke-Sprachzentrum** (Area 22). Dieses sensorische Sprachzentrum ist über eine bogenförmige Assoziationsbahn (Fasciculus arcuatus = Fasciculus longitudinalis superior, ▶ **Abb. 19.21**[4]) mit dem motorischen Sprachzentrum (Broca, Area 44 und 45) verbunden, das im Frontallappen liegt (s. ▶ **Abb. 19.24**).

Oberer Olivenkomplex und Colliculi inferiores sind in wichtige **Reflexkreise** eingeschaltet:

- Efferente Fasern aus dem oberen Olivenkomplex ziehen im **olivokochleären Bündel** (▶ **Abb. 19.43**[1]) ins Innenohr zurück. Sie verlaufen zuerst in der Pars vestibularis des N. vestibulocochlearis, wechseln dann im Meatus acusticus internus zur Pars cochlearis (Oort-Anastomose) und ziehen weiter zum **Corti-Organ**. Hier vermindern sie auf zweierlei Weise die Empfind-

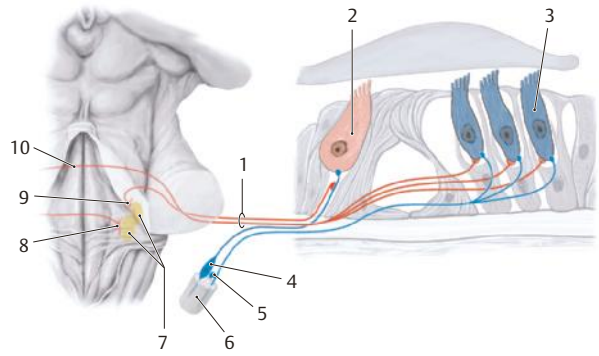


Abb. 19.43 Olivokochleäres Bündel. Efferente Fasern (rot) stammen aus dem oberen Olivenkomplex, afferente Fasern (blau) ziehen durch den N. cochlearis zu den Nuclei cochleares.
1 laterales olivokochleäres Bündel
2 innere Haarzelle
3 äußere Haarzelle
4 Typ-I-Ganglienzelle
5 Typ-II-Ganglienzelle
6 N. cochlearis
7 obere Olive
8 mediales Neuron
9 laterales Neuron
10 mediales olivokochleäres Bündel
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

lichkeit des Innenohrs: Einerseits hemmen sie die afferenten Neuriten der sensorischen inneren Haarzellen[2] (ungekreuzte Fasern der lateralen Neurone), zum anderen hemmen sie die Aktivität der als Signalverstärker wirkenden äußeren Haarzellen[3] (kreuzende Fasern der medialen Neurone) und vermindern so die Schwingungen der Tektorialmembran (S. 492) (s. ▶ **Abb. 19.43**). Es handelt sich hierbei also um einen Schutzreflex, der die Cochlea über einen Rückkopplungsmechanismus gegen zu laute Geräusche schützt.

Die Wirkungen der Efferenzen aus der Olive können als **otoakustische Emissionen** abgeleitet werden.

- Axone aus dem oberen Olivenkomplex ziehen zum motorischen Trigeminuskern (Innervation des M. tensor tympani) und zum Fazialiskern (**Stapediusreflex**) und führen so bei lauten Geräuschen zu einer reflektorischen Kontraktion des **M. tensor tympani** und **M. stapedius**, welche die Schwingungen des **Trommelfells** dämpfen und so die empfindlichen Strukturen der Cochlea vor mechanischer Schädigung schützen.
- In seinem Verlauf gibt der Lemniscus lateralis Fasern zur **Formatio reticularis** im Hirnstamm ab, die mit dem **Aufwachen** als Reaktion auf laute Geräusche in Verbindung gebracht werden.
- Von den Colliculi inferiores ziehen Fasern in die **Colliculi superiores** und von dort weiter zu Motoneuronen, die Augenmuskeln und Halsmuskulatur innervieren. Sie bewirken ein reflektorisches Hinwenden zu der Schallquelle.

19.6.5 Visuelles System

Axone der retinalen Ganglienzellen bilden den **N. opticus**, dessen mediale Anteile im **Chiasma opticum** zur Gegenseite kreuzen. Über den **Tractus opticus** ziehen die Axone weiter zum **Corpus geniculatum laterale** des Thalamus. Die **Radiatio optica** endet in der primären Sehrinde (Area 17) auf der Innenseite des Okzipitallappens.

Willkürliche Augenbewegungen werden im **frontalen Augenfeld** initiiert, welches ein **mesencephales** (vertikales) und ein **pontines** (horizontales) **Blickzentrum** zur Koordination der Augenmuskeln ansteuert. Die **Konvergenzreaktion** beinhaltet Akkommodation, Pupillenverengung und Zusammenführung der Augen (Adduktion); sie wird vom Mesencephalon (**Area pretectalis**) gesteuert. Der **Fixationsreflex** (Augen folgen unwillkürlich einem bewegten Objekt) ist im **okzipitalen** reflektorischen Blickzentrum verschaltet. Fasern zur Verengung der Pupillen bei Lichteinfall (**Pupillenreflex**) verlaufen über die Sehbahn und den Tractus opticus zur **Area pretectalis**, welche die parasympathischen Oculomotoriuskerne beider Seiten aktiviert. Der **Tractus retinohypothalamicus** passt den endogenen 24-Stunden-Rhythmus an die äußeren Lichtbedingen an.

Die Sehbahn (▶ Abb. 19.44)

Die Sehbahn beginnt in den 3 hintereinandergeschalteten Neuronen der **Retina** (S. 479): Von den Rezeptoren (Stäbchen und Zapfen) wird die Reizantwort über die bipolaren Zellen an die Ganglienzellen übertragen, deren Axone an der Papilla n. optici (blinder Fleck, ▶ Abb. 17.39[6]) als Sehnerv (**N. opticus**[1]) den Augapfel verlassen.

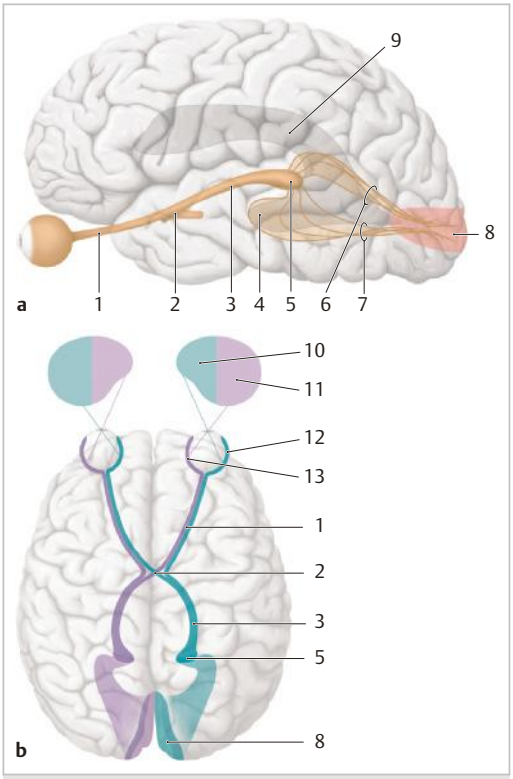


Abb. 19.44 Sehbahn. a Ansicht von links, **b** Repräsentation der Gesichtsfelder in der Sehrinde.
1 N. opticus
2 Chiasma opticum
3 Tractus opticus
4 Meyer-Schleife
5 Corpus geniculatum laterale
6 Sehstrahlung für das untere Gesichtsfeld
7 Sehstrahlung für das obere Gesichtsfeld
8 primärer visueller Cortex (Area striata, Area 17)
9 Seitenventrikel
10 nasales Gesichtsfeld des rechten Auges
11 temporales Gesichtsfeld des rechten Auges
12 temporale Retina
13 nasale Retina
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Als Teil des Diencephalons ist der Sehnerv von Hirnhäuten umgeben. Die Pia mater liegt ihm unmittelbar auf und ist durch eine Ausstülpung des Subarachnoidalraums von der Arachnoidea mater getrennt. Die äußerste Schicht bildet die Dura mater. Alle 3 meningealen Schichten gehen am Augapfel in das Bindegewebe der Sklera über. Intrakranielle Drucksteigerungen (Hirndruck) setzen sich daher bis zum Sehnerv fort, behindern seinen venösen Abfluss und führen so zu einer Schwellung seiner Austrittsstelle (**Stauungspapille**).

An der Sehnervenkreuzung (**Chiasma opticum**[2]) ziehen die medialen Fasern der Sehnerven zur Gegenseite. Auf diese Weise werden Axone aus der linken Retinahälfte beider Augen, die also das rechte Gesichtsfeld abbilden (violett), im linken Tractus opticus zusammengeführt und umgekehrt.

Der **Tractus opticus**[3] zieht bogenförmig um das Crus cerebri und endet am spezifischen Thalamuskern der Sehbahn, dem **Corpus geniculatum laterale**[5], das am Unterrand des Pulvinar liegt (4. Neuron). Nach Umschaltung ziehen die Sehfasern über die Sehstrahlung (**Radiatio optica**[6, 7]), die in den hinteren unteren (retrolentiformen und sublentiformen) Anteilen der Capsula interna verläuft, zur **primären Sehrinde**[8]. Diese liegt an der medialen Oberfläche des Okzipitallappens in der Umgebung des **Sulcus calcarinus** (Area 17) und wird wegen ihres charakteristischen histologischen Aufbaus (der weiße Gennari-Streifen ist mit bloßem Auge gerade noch erkennbar) auch als **Area striata** bezeichnet. Während die Sehstrahlung für das untere Gesichtsfeld[8] einen relativ direkten Verlauf nimmt, ziehen die Fasern aus der unteren Retinahälfte, die also das obere Gesichtsfeld[7] repräsentieren, zuerst nach vorne und dann durch den Temporallappen bogenförmig um das Unterhorn des Seitenventrikels herum (**Meyer-Schleife**[4]) zur kaudalen Sehrinde.

Aufgrund des beschriebenen Verlaufs der Sehbahn wird das rechte Gesichtsfeld in der linken Hirnhälfte abgebildet und umgekehrt. Die untere Retinahälfte (oberes Gesichtsfeld) projiziert in die Anteile unterhalb des Sulcus calcarinus[7], die obere (unteres Gesichtsfeld) oberhalb[6]. Das Zentrum der Retina, die Stelle des schärfsten Sehens, ist am okzipitalen Pol der Sehrinde repräsentiert und nimmt einen relativ großen Bereich ein.

Bei **Läsion eines Sehnervs** kommt es zur **Erblindung** des Auges auf der gleichen Seite (**Amaurose**), bei Verletzungen eines **Tractus opticus**, der Sehstrahlung oder der Sehrinde fällt das Gesichtsfeld auf der Gegenseite aus (kontralaterale **homonyme Hemianopsie**).

Das Chiasma opticum liegt am Unterrand des Diencephalons in unmittelbarer Nachbarschaft des Hypophysenstiels. Hypophysentumoren können deshalb die kreuzenden Fasern schädigen und zu einem Ausfall der beiden seitlichen Gesichtsfelder führen (**bitemporale Hemianopsie**), der sich klinisch als „Scheuklappenblindheit" äußert. Temporallappenläsionen schädigen die Meyer-Schleife und führen zu einem Ausfall der kontralateralen Hälfte des oberen Gesichtsfeldes (Quadranten-Anopsie: „pie in the sky").

Der visuelle Assoziationscortex umfasst neben dem gesamten Okzipitallappen auch angrenzende Teile des Parietal- und Temporallappens. Er dient der Erkennung von Objekten und der Wahrnehmung von Form, Farbe und Bewegung. So befindet sich zum Beispiel auf der Innenfläche des Okzipitallappens, also dorsal des Sulcus parietooccipitalis, eine Hirnregion zur Erkennung von Gesichtern (Area 37, Gyrus fusiformis).

Konjugierte Augenbewegungen (▶ Abb. 19.45)

Grundsätzlich sind 2 Arten von Augenbewegungen möglich: Vergenzbewegungen und konjugierte Augenbewegungen. Bei **Vergenzbewegungen** wechseln die Augen vom Blick in die Ferne zu nahen Objekten (Konvergenz) oder umgekehrt (Divergenz). Bei **konjugierten Augenbewegungen** bewegen sich beide Augen in die gleiche Richtung, also nach lateral, medial, oben oder unten. Des Weiteren können die Augen **willkürlich** auf ein bestimmtes Ziel gerichtet werden oder unwillkürlich ein bestimmtes Objekt im Auge behalten („**Fixationsreflex**"). Willkürliche Augenbewegungen verlaufen ruckartig und schnell (**Sakkaden**, innerhalb von 20–50 ms), reflektorische **Folgebewegungen** langsam und gleichmäßig.

Bei **horizontalen Augenbewegungen** müssen der ipsilaterale M. rectus lateralis[2] und der kontralaterale M. rectus medialis[1] kontrahiert sowie deren Antagonisten gehemmt werden. Die hieran beteiligten Hirnnervenkerne (Nucleus n. abducentis[VI] und Nucleus n. oculomotorii[III]) werden also gemeinsam über das **horizontale Blickzentrum** angesteuert. Es liegt in der Brücke und wird als paramediane pontine Formatio reticularis (PPRF) oder **pontines Blickzentrum** bezeichnet. Über das mediale Längsbündel (**Fasciculus longitudinalis medialis**[6]) ist es mit den Okulomotorius- und Abduzenskernen verbunden und steuert den Blick zur gleichen Seite. Dieses mediale Längsbündel verbindet die Augenmuskel-, Halsmuskel- und Vestibulariskerne miteinander und koordiniert ihre Funktion. Es verläuft in der Nähe der Mittellinie ventral von Aquädukt, zentralem Höhlengrau und IV. Ventrikel durch den gesamten Hirnstamm und das obere Rückenmark. Das mediale Längsbündel spielt eine wichtige Rolle bei der Koordination der Augenbewegungen und vermittelt außerdem Antworten auf vestibuläre Reize (z. B. vestibulookulärer Reflex).

Vertikale Augenbewegungen erfordern das Zusammenspiel mehrerer Augenmuskeln, die alle entweder vom N. oculomotorius oder vom N. trochlearis innerviert werden. Ihre Hirnnervenkerne werden vom **vertikalen Blickzentrum** gesteuert, das im kranialen Mesencephalon in den rostralen Anteilen des medialen Längsbündels liegt und deshalb auch etwas umständlich als **Nucleus interstitialis rostralis fasciculi longitudinalis medialis** bezeichnet wird.

Zwei Hirnnervenkerne sind maßgeblich dafür verantwortlich, die Blickrichtung beizubehalten. Bei horizontalen Blickbewegungen der **Nucleus prepositus n. hypoglossi** im pontinen Blickzentrum, bei vertikalen Blickbewegungen der **Nucleus interstitialis Cajal**[9].

Tumoren der Epiphyse (Corpus pineale) können durch Druck auf das rostrale Mesencephalon zu einer vertikalen Blickparese führen, bei der die Augen nicht mehr nach oben bewegt werden können (**Parinaud-Syndrom**). Häufig ist sie mit einer Schädigung der Area pretectalis (Konvergenzschwäche, Ausfall des Pupillenreflexes) kombiniert.

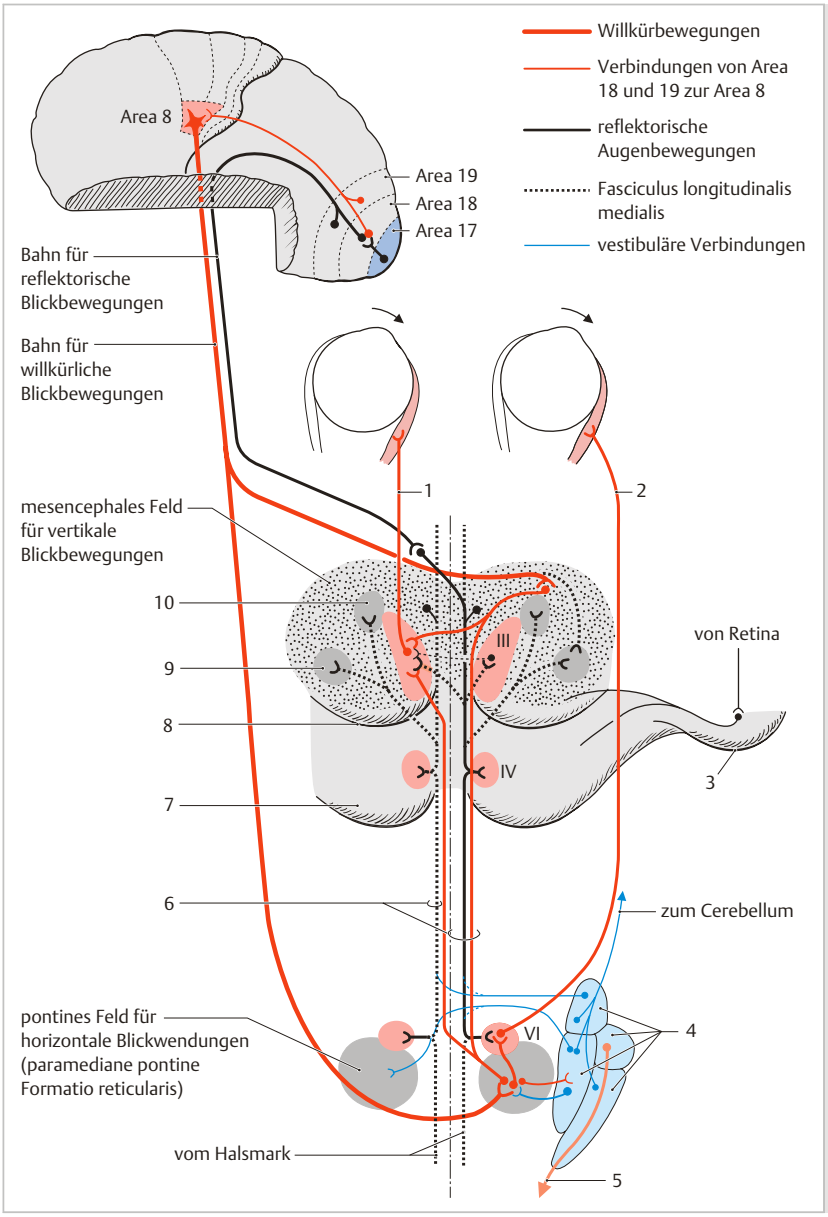


Abb. 19.45 Verschaltungen für konjugierte Augenbewegungen. In Area 18 und 19 befindet sich das reflektorische Blickzentrum, in Area 17 der primäre visuelle Cortex (Area striata).

1 N. oculomotorius
2 N. abducens
3 Corpus geniculatum laterale
4 Nuclei vestibulares
5 Corpus geniculatum Tractus vestibulospinalis
6 Corpus geniculatum Fasciculus longitudinalis medialis
7 Colliculus inferior
8 Colliculus superior
9 Corpus geniculatum Nucleus interstitialis (Cajal)
10 Corpus geniculatum Nucleus Darkschewitsch

(nach Bähr, Frotscher, Duus' Neurologisch-topische Diagnostik, Thieme; 2014)

Konvergenzreaktion (▶ Abb. 19.46)

Beim Blick auf nahe Objekte werden die beiden Augen zusammengeführt (Mm. recti mediales[15]), die Linsen akkommodieren (Mm. ciliares[14]) und die Pupillen verengen sich (Mm. sphincteres pupillae[13]). Hierfür werden der somatomotorische[8] und der viszeromotorische (Edinger-Westphal[7]) Okulomotoriuskern gemeinsam durch ein Konvergenzzentrum angesteuert, das in der Area pretectalis[6] des Mesencephalons liegt.

In diese Neuronenkette sind möglicherweise auch die Colliculi superiores und der kleine, zwischen den beiden Okulomotoriuskernen gelegene Perlia-Kern (Nucleus Perlia[9]) eingeschaltet.

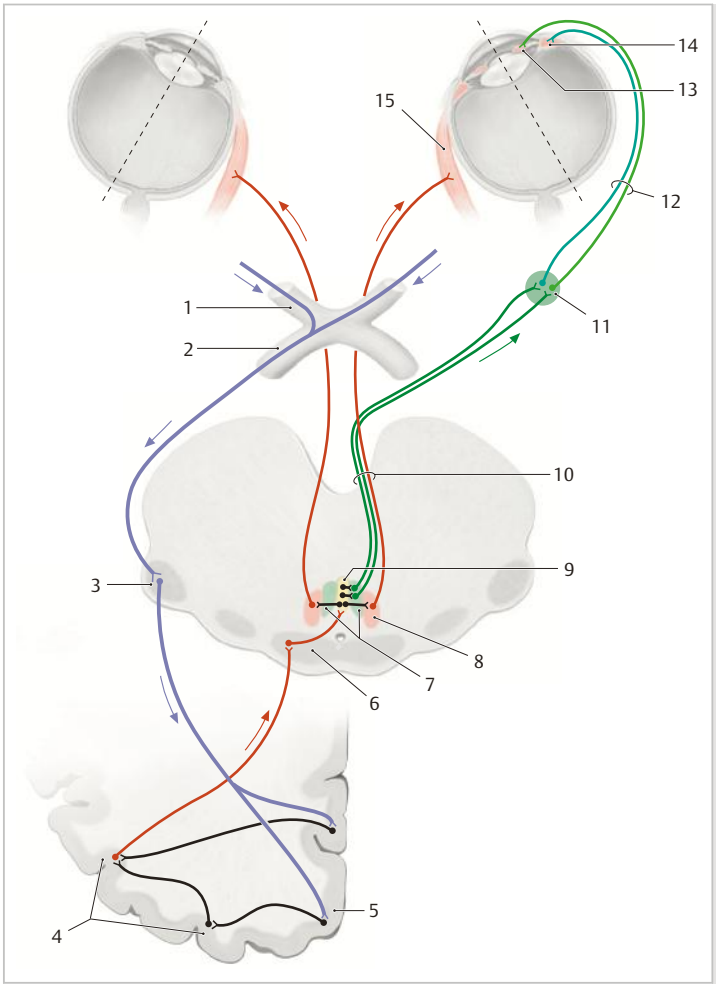


Abb. 19.46 Konvergenzreaktion. Fixationsreflex, wenn sich der Betrachter einem Objekt nähert.
1 N. opticus
2 Tractus opticus
3 Corpus geniculatum laterale
4 reflektorisches Blickzentrum (Area 18 und 19)
5 Area 17
6 Area pretectalis
7 Nuclei accessorii n. oculomotorii (Edinger-Westphal)
8 Nucleus n. oculomotorii (innerviert M. rectus medialis)
9 Nucleus Perlia
10 N. oculomotorius
11 Ganglion ciliare
12 Nn. ciliares breves
13 M. sphincter pupillae
14 M. ciliaris
15 M. rectus medialis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Willkürliche Augenbewegungen

Das Rindenareal, das willkürliche Augenbewegungen steuert, liegt im Frontallappen ventral des prämotorischen Cortex' im Gyrus frontalis medius und wird **frontales Augenfeld** genannt (Area 8, s. ▶ **Abb. 19.45**). Von hier ziehen Fasern zu den mesencephalen (vertikalen) und pontinen (horizontalen) Blickzentren, wobei die Fasern auf die Gegenseite kreuzen, und initiieren konjugierte Augenbewegungen in die entsprechende Richtung. In diesen Trakt sind auch der Nucleus caudatus und die Colliculi superiores eingeschaltet, wo unwillkürliche Augenbewegungen unterdrückt werden. Eine Stimulation des frontalen Augenfelds auf einer Seite führt zu Sakkaden in die Gegenrichtung.

Auch der posteriore parietale Cortex spielt eine wichtige Rolle dafür, dass ein bestimmtes Objekt die Aufmerksamkeit des Betrachters erregt und er dort hinblickt.

Wenn bei einem Schlaganfall das **frontale Augenfeld geschädigt** wird, blickt der Patient zur Seite des Infarkts („der Patient sieht sich die Verletzung an").

Fixationsreflex (▶ Abb. 19.46)

An den visuellen Assoziationscortex grenzt das **okzipitoparietale** (reflektorische) **Blickzentrum**. Es dient dazu, ein Objekt unwillkürlich im Blickfeld zu behalten (zu „fixieren"), wenn entweder das Objekt oder der Betrachter sich bewegt. Die Afferenzen dieses Fixationsreflexes verlaufen über die Sehbahn bis zur primären Sehrinde (Area 17[5]) und weiter zum reflektorischen Blickzentrum[4] in seiner Umgebung. Von hier ziehen Fasern kaudalwärts zu den Blickzentren im Hirnstamm, den je nach erforderlicher Augenbewegung unterschiedliche Impulse erreichen:

- zum mesencephalen Blickzentrum, wenn sich das Objekt in vertikaler Richtung bewegt,
- zum pontinen Blickzentrum, wenn sich das Objekt in horizontaler Richtung bewegt,
- zum Konvergenzzentrum[6], wenn sich das Objekt auf den Betrachter zubewegt.

Pupillenreflex (▶ Abb. 19.47)

Das Auge verfügt über zahlreiche Mechanismen, die seine Empfindlichkeit reflektorisch an unterschiedliche Lichtverhältnisse anpassen.

Bei starkem Lichteinfall verengt sich die Pupille (**Miosis**). Der afferente Schenkel dieses Reflexbogens läuft bis zum Tractus opticus[2] über die Sehbahn. Vor Eintritt in das Corpus geniculatum laterale[3] zweigen aber einige Fasern ab, ziehen ins Mesencephalon zur **Area pretectalis**[5] und nach Umschaltung weiter zum **Nucleus accessorius n. oculomotorii** (**Edinger-Westphal**)[6]. Dessen parasympathische Efferenzen verlaufen im N. oculomotorius (III)[7], werden im Ganglion ciliare[8] umgeschaltet und innervieren den M. sphincter pupillae[10]. Da die Fasern dieses Reflexbogens im Chiasma opticum zum Teil zur Gegenseite kreuzen und auch von der Area pretectalis Axone zu beiden Edinger-Westphal-Kernen ziehen, kommt es beim Lichteinfall in ein Auge nicht nur hier zur Pupillenverengung (**direkte Lichtreaktion**), sondern auch im gegenseitigen Auge (**konsensuelle Lichtreaktion**).

Bei Dunkelheit erweitern sich die Pupillen reflektorisch (**Mydriasis**). Dieser Reflexbogen läuft über eine Bahn, die vom Tractus opticus zum Nucleus suprachiasmaticus im Hypothalamus zieht. Von dort deszendieren Fasern zum sympathischen Steuerungszentrum im Seitenhorn der Rückenmarkssegmente C 8–Th 3 (Centrum ciliospinale). Die peripheren sympathischen Fasern ziehen von hier über den Halsgrenzstrang wieder aufwärts, wo sie im Ganglion cervicale superius umgeschaltet werden, erreichen den Plexus carotideus und über den N. ophthalmicus das Auge.

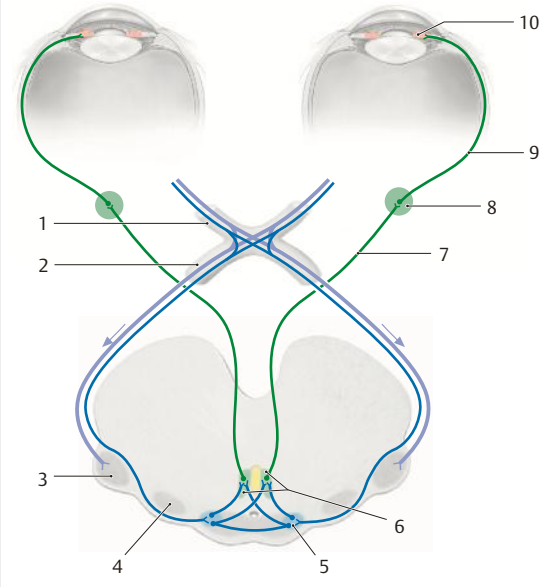


Abb. 19.47 Pupillenreflex.
1 N. opticus
2 Tractus opticus
3 Corpus geniculatum laterale
4 Corpus geniculatum mediale
5 Area pretectalis
6 Nuclei accessorii n. oculomotorii
7 N. oculomotorius (parasympathische Anteile)
8 Ganglion ciliare
9 Nn. ciliares breves
10 M. sphincter pupillae
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **Pupillenreflex** ist ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel. Je nachdem, auf welcher Seite der direkte oder der konsensuelle Pupillenreflex ausgefallen ist und ob sich die Pupille bei Konvergenz verengt, kann man zwischen einer Schädigung des Auges, seines Sehnervs, des Mesencephalons oder des N. oculomotorius unterscheiden.

So kann bei Ausfall eines Auges oder eines Sehnervs (Amaurosis) auf der geschädigten Seite kein Pupillenreflex mehr ausgelöst werden. Allerdings verengt sich die Pupille bei Lichteinfall ins andere Auge (intakte konsensuelle Pupillenreaktion bei **amaurotischer Pupillenstarre**).

Tractus retinohypothalamicus

Ein kleiner Teil der Axone verlässt die Sehbahn am Chiasma opticum und zieht in den Hypothalamus zum Nucleus suprachiasmaticus (S. 526). Auf diese Weise wird der vom Nucleus suprachiasmaticus vorgegebene endogene 24-Stunden-Rhythmus an die äußeren Lichtbedingen angepasst, sodass z. B. bei einer Zeitumstellung oder einer Reise in eine andere Zeitzone („jet lag") die innere Uhr an den neuen Tag-Nacht-Rhythmus angeglichen wird. Die innere Uhr wird also vom Hell-dunkel-Wechsel synchronisiert.

19.6.6 Geschmackssinn (► Abb. 19.48)

Gustatorische Fasern ziehen mit dem **N. facialis,** N. **glossopharyngeus** und N. **vagus** (1. Neuron im peripheren Ganglion) zum **Nucleus solitarius** (2. Neuron) und über die **zentrale Haubenbahn** zum **Nucleus ventralis posteromedialis** des Thalamus (3. Neuron). Der gustatorische Cortex erstreckt sich vom kaudalen Gyrus postcentralis bis zur **Inselrinde**.

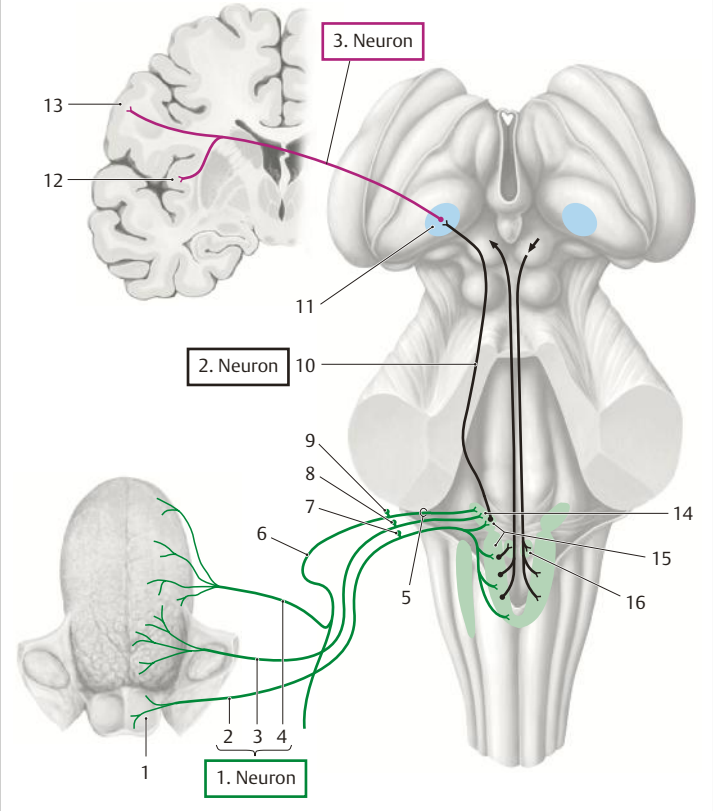


Abb. 19.48 Geschmacksbahn.
1 Epiglottis
2 N. vagus
3 N. glossopharyngeus
4 N. lingualis
5 N. facialis
6 Chorda tympani
7 Ganglion inferius (nodosum)
8 Ganglion inferius (petrosum)
9 Ganglion geniculi
10 Tractus tegmentalis centralis
11 Nucleus ventralis posteromedialis thalami
12 Insel
13 Gyrus postcentralis
14 Pars gustatoria nucl. solitarii
15 Nucleus solitarius
16 Nucleus dorsalis n. vagi
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2006)

Geschmacksknospen in der Zunge reagieren auf die Sinnesqualitäten süß, sauer, salzig, bitter und umami (Geschmack von Glutamat). Drei verschiedene periphere Nerven, deren Perikarya das **1. Neuron** der Geschmacksbahn darstellen, leiten diese sensorischen Afferenzen zum Gehirn:

- Geschmacksfasern aus den vorderen zwei Dritteln der Zunge werden über den **N. lingualis**[4] der **Chorda tympani**[6] zugeleitet (▶ **Abb. 17.44**[21]). Sie ziehen weiter mit dem **N. facialis** (VII)[5], dessen sensorische Perikarya im Ganglion geniculi[9] liegen, zum Kleinhirnbrückenwinkel, wo sie in die Brücke eintreten.
- Geschmacksfasern vom hinteren Zungendrittel verlaufen über den **N. glossopharyngeus** (IX)[3], wobei die Zellkörper vor allem im sensiblen Ganglion inferius (petrosum)[8] liegen.
- Sensorische Afferenzen aus dem Bereich der Epiglottis[1] werden über den **N. vagus**[2] geleitet, dessen sensorische Perikarya im Ganglion inferius (nodosum)[7] liegen.

Alle 3 Nerven enden im rostralen Teil (Pars gustatoria[14]) des **Nucleus solitarius**. Hier findet die erste Umschaltung statt (bei den peripheren Ganglien handelt es sich um sensible Ganglien, in denen nicht umgeschaltet wird). Die Axone der Neurone im Nucleus solitarius (**2. Neuron**) ziehen ungekreuzt über die zentrale Haubenbahn (**Tractus tegmentalis centralis**[10]) zum Thalamus und enden hier, genauso wie die somatosensiblen Trigeminusfasern aus dem Gesicht, am **Nucleus ventralis posteromedialis**[11]. Anschließend projizieren die Geschmacksfasern (**3. Neuron**) zum gustatorischen Cortex, der im Gyrus postcentralis[13] etwas kaudal des Bereichs liegt, auf dem die allgemeine Somatosensibilität der Zunge repräsentiert ist und der sich bis zur **Inselrinde**[12] erstreckt.

Vom Nucleus solitarius zweigen Fasern zum Nucleus salivatorius und zum Nucleus dorsalis n. vagi[16] ab, welche die Speichel- und Magensaftsekretion beim Essen anregen.

19.6.7 Olfaktorisches System (▶ Abb. 19.49)

Gerüche erregen Sinneszellen in der Riechschleimhaut, deren Fortsätze als **Fila olfactoria** den **Bulbus olfactorius** erreichen. Nach Umschaltung zieht die Riechbahn über den **Tractus olfactorius** und die **Stria olfactoria lateralis** zur primären olfaktorischen Rinde (**piriformer Cortex:** Uncus, angrenzender Gyrus parahippocampalis, Limen insulae, Tuberculum olfactorium) sowie zum **limbischen** System (Amygdala, Hippocampus).

Der Geruchssinn vermittelt nicht nur Information über die Zusammensetzung der Atemluft, sondern ist auch entscheidend am Schmecken beteiligt, weckt häufig Erinnerungen und ist mit Gefühlen verbunden. Die Sinneszellen befinden sich in der Riechschleimhaut[1] (**Pars olfactoria tunicae mucosae nasi**), einem etwa 2,5 cm^2 großen Bereich im hinteren Dach der Nasenhöhle mit einem stark verdickten Epithel, das aus Riech-, Stütz- und Basalzellen aufgebaut ist. Da Riechzellen nur etwa 2–3 Monate leben, werden sie kontinuierlich aus dem Stammzellpool der Basalzellen nachgebildet. In dieses Epithel sind **Geruchsdrüsen** (Bowman-Drüsen) eingelassen, die ein muköses Sekret bilden, das die Epitheloberfläche bedeckt und in dem sich die Geruchsstoffe lösen.

Bei den olfaktorischen Rezeptorzellen (**1. Neuron**) handelt es sich um primäre Sinneszellen. Zur Nasenhöhle hin besitzen sie lange Zilien, auf deren Oberfläche die Geruchsrezeptoren liegen. Bislang sind etwa 3 000 verschiedene Rezeptormoleküle bekannt, wobei wahrscheinlich jede Sinneszelle nur mit jeweils einem bestimmten Typ ausgestattet ist. Nur gelöste Geruchsstoffe können an die Rezeptormoleküle binden und eine Depolarisation bewirken. Auf der Gegenseite tragen die Sinneszellen ein unmyelinisiertes Axon. Etwa 20 **Fila olfactoria**[2] (Nn. olfactorii; I), in denen Hunderte dieser Axone gebündelt sind, ziehen durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale in die vordere Schädelgrube zum **Bulbus olfactorius**[3], wo sie Synapsen („olfaktorische Glomerula") mit dessen Mitralzellen und Büschelzellen bilden (**2. Neuron**). Hier findet bereits die erste Signalverarbeitung zur Identifizierung unterschiedlicher Gerüche statt.

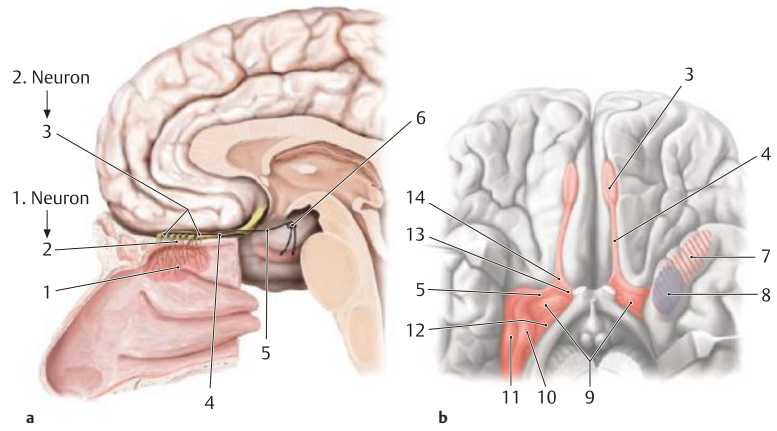


Abb. 19.49 Riechbahn (Tractus olfactorius) im Medianschnitt von links (**a**) und von basal (**b**). In (**b**) ist der Temporallappen auf der linken Seite nach lateral geklappt, sodass das Limen insulae sichtbar wird.

1 Riechschleimhaut
2 Fila olfactoria
3 Bulbus olfactorius
4 Tractus olfactorius
5 Stria olfactoria lateralis
6 Uncus, darunter Corpus amygdaloideum
7 Uncus und angrenzender Gyrus parahippocampalis
8 Corpus amygdaloideum (in der Tiefe)
9 Substantia perforata anterior
10 Gyrus semilunaris
11 Gyrus ambiens im Limen insulae
12 Stria diagonalis
13 Stria olfactoria medialis
14 Trigonum olfactorium
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der Bulbus olfactorius ist eine Besonderheit, da er zwar Teil des zentralen Nervensystems ist, aber trotzdem lebenslang Fortsätze von neu gebildeten Rezeptorzellen in ihn einwachsen und Synapsen bilden.

Die Fortsätze der Mitral- und Büschelzellen ziehen als **Tractus olfactorius**[4] an der Unterfläche des Frontallappens und teilen sich hier in eine **Stria olfactoria lateralis**[5] und **medialis**[13]. Die Aufteilungsstelle des Tractus olfactorius in die beiden olfaktorischen Striae wird als **Trigonum olfactorium**[14] bezeichnet. Hinter dem Trigonum olfactorium liegt die **Substantia perforata anterior**[9], in deren Tiefe sich das **Tuberculum olfactorium** befindet.

Die frühere Annahme, dass die sehr viel dünnere Stria olfactoria medialis Geruchsempfindungen an die Septumkerne vermittelt, hat sich nicht bestätigt.

Die Riechbahn verläuft über die **Stria olfactoria lateralis** auf 3 verschiedenen Wegen weiter:

- Zum **Nucleus olfactorius anterior** im Trigonum olfactorium[14]. Hier schalten die Fasern um und ziehen anschließend über die Commissura anterior zum **Bulbus olfactorius** der Gegenseite. Aufgabe dieser **rückläufigen** Fasern ist es wahrscheinlich, die Empfindlichkeit des Geruchssystems für bestimmte Gerüche anzupassen.
- Zur **primären olfaktorischen Rinde**, die auch als **piriformer Cortex** bezeichnet wird. Sie umfasst Rindengebiete im Bereich des **Uncus**[7], den angrenzenden Teil des **Gyrus parahippocampalis**, die vorderen unteren Anteile der Inselrinde (**Limen insulae**[11]) und das **Tuberculum olfactorium**.
- Zu **limbischen Hirnregionen.** Fasern, die zur **Amygdala** [8] ziehen, vermitteln emotionale Aspekte des Geruchs; Axone zum **entorhinalen Cortex** projizieren weiter in den **Hippocampus** und ermöglichen, bestimmte Gerüche im Gedächtnis abzuspeichern. Fasern zu den **Habenulae** vermitteln wahrscheinlich Motivationsaspekte von Gerüchen, also Ablehnung, Vermeidung oder Zuneigung.

Sowohl vom piriformen Cortex als auch von Amygdala und entorhinalem Cortex ziehen Fasern weiter – entweder direkt, oder unter Umschaltung im

Thalamus – zum **orbitofrontalen Cortex**. Hier werden Gerüche bewusst wahrgenommen.

Die Geruchsbahn unterscheidet sich von anderen sensiblen Bahnen, weil hier Fasern auch ohne Umschaltung im Thalamus den Cortex erreichen können.

Der piriforme Cortex ist wahrscheinlich dafür verantwortlich, dass Gerüche bestimmte Erinnerungen wachrufen. Hierzu gehören auch der **Gyrus ambiens**[11] im Limen insulae (auch präpiriformer Cortex genannt) und der **Gyrus semilunaris**[10] zwischen Uncus und Limen insulae. Die Rinde in diesem Bereich wird wegen ihrer Nähe zur Amygdala auch als periamygdaler Cortex bezeichnet. In der Insel liegen der gustatorische und der olfaktorische Cortex in unmittelbarer Nachbarschaft, sodass beide Sinne beim Schmecken integriert werden können.

Ein Verlust des Geruchssinns (**Anosmie**) tritt nach Schädigung der Riechschleimhaut auf, z. B. infolge eines Schnupfens. Weitere Ursachen sind Verletzungen der Fila olfactoria infolge einer Fraktur des Os ethmoidale sowie Druck auf Bulbus oder Tractus olfactorius aufgrund eines Tumors in der vorderen Schädelgrube.

Patienten mit Verletzungen des orbitofrontalen Cortex' nehmen Gerüche zwar noch wahr, sind aber nicht mehr dazu in der Lage, sie zu identifizieren.

19.6.8 Limbisches System (▶ Abb. 19.50)

Das limbische System liegt an der Grenze zwischen Telencephalon und Diencephalon. Es umfasst neben **Amygdala** und **Septumkernen** den **Papez-Kreis**, dem folgende Strukturen angehören: **Hippocampus**, **Fornix**, **Corpus mammillare**, **Tractus mamillothalamicus**, **vordere Thalamuskerne**, **Gyrus cinguli** und **Gyrus parahippocampalis**. Das limbische System steht in enger Beziehung zur Riechbahn, zum Hypothalamus und zur Formatio reticularis. Es steuert **Triebe** und spielt eine wichtige Rolle bei **Lernen** und für das **Gedächtnis**.

Von der Vorstellung ausgehend, dass jeder Großhirnlappen ein primäres Rindenareal enthält und die damit verbundene Information verarbeitet (Lobus frontalis: Motocortex und Bewegungsplanung; Lobus parietalis: primäre somatosensorische Rinde und Körperfühlsphäre; Lobus occipitalis: primäre Sehrinde und Verarbeitung optischer Signale; Lobus temporalis: primäre Hörrinde und akustische Informationsverarbeitung), wurden ursprünglich diejenigen Teile am Rand des Telencephalon als limbischer Lappen (**Lobus limbicus**) zusammengefasst, die mit der **Riechbahn** in Verbindung stehen. Man ging davon aus, dass dieser limbische Lappen vor allem der Verarbeitung von Geruchsempfindungen dient. Später erkannte man, dass diese limbischen Hirnareale eng mit den vorderen Thalamuskernen und dem **Hypothalamus** verbunden sind, einer Hirnregion, die eine maßgebliche Bedeutung bei der Entstehung von **Trieben** wie Hunger und Sexualität hat, und dass auch der Mandelkern (Amygdala), die Septumkerne und die Habenulae diesem „limbischen System" zuzurechnen sind. Die beschriebenen Verbindungen werden nach ihrem Erstbeschreiber als „**Papez-Kreis**" bezeichnet: Im Zentrum steht der Hippocampus[9], der über den Fornix[4] mit den diencephalen Corpora mammillaria[5] verbunden ist. Diese wiederum projizieren über den Tractus mamillothalamicus[16] in die vorderen Thalamuskerne[17]. Von dort aus ziehen Fasern über das im Gyrus cinguli[1] gelegene Fasersystem (Cingulum[18]) und den Gyrus parahippocampalis[8] zurück zum Hippocampus, sodass sich ein kreisförmig verschaltetes Neuronensystem ergibt. Ausgedehnte reziproke Verbindungen zwischen dem Gyrus cinguli und dem gesamten übrigen Cortex ermöglichen einen engen Informationsaustausch zwischen neokortikalen und limbischen Hirnregionen.

Da es sich um einen historisch entstandenen Begriff handelt, umfasst das limbische System **Rindenareale** (Hippocampus[9], Gyrus parahippocampalis[8], Gyrus cinguli[1], Indusium griseum[3]), **Bahnen** (Fornix[4], Tractus mamillothalamicus[16], Cingulum[18], Stria longitudinalis medialis und lateralis) und **Kerngebiete** (Amygdala[10], Corpus mammillare[5], Nucleus accumbens, Septumkerne[6], Habenula[20]) mit unterschiedlichen Funktionen. Sie haben aber dennoch verschiedene Gemeinsamkeiten:

- Lage an der Grenze zwischen Telencephalon und Diencephalon,
- funktionelle Beteiligung an der Entstehung von Affekten und Trieben sowie bei Lernen und Gedächtnis,
- enge Verbindung zum olfaktorischen System, die sich in Redewendungen wie „ich kann jemanden nicht riechen" widerspiegeln,
- vergleichsweise einfacher histologischer Aufbau (mehrheitlich allokortikal).

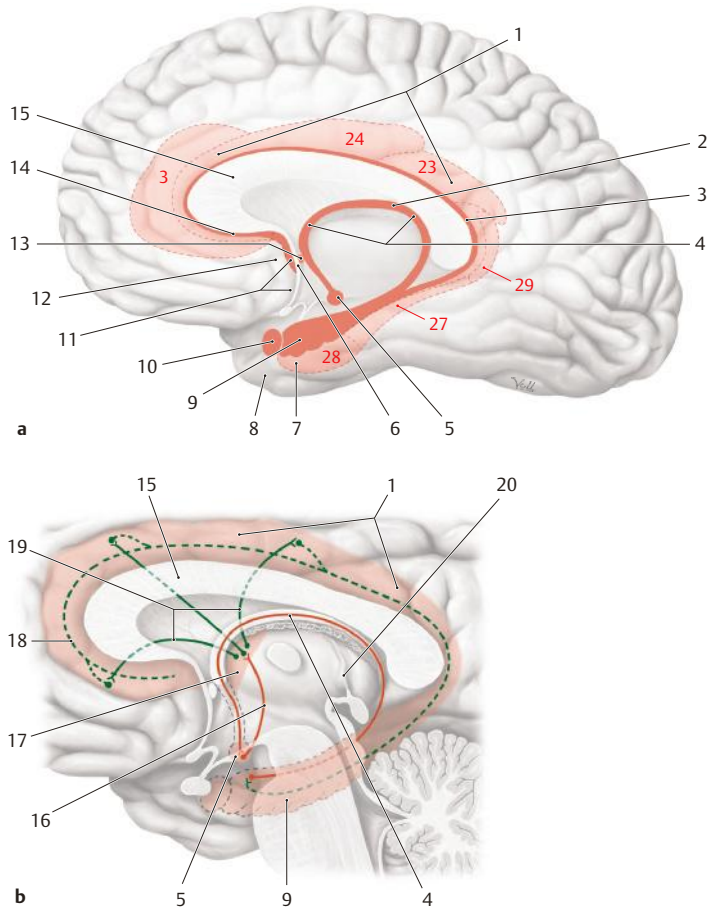


Abb. 19.50 Limbisches System (**a**) und **Papez-Kreis** (**b**). Ansicht auf die rechte Hirnhälfte von medial. **a** Strukturen des limbischen Systems. Die roten Zahlen im limbischen System bezeichnen Brodmann-Areale. **b** Verbindungen zwischen den Kerngebieten und Bahnen des limbischen Systems, die in ihrer Gesamtheit von Papez als Neuronenkreis postuliert wurden.

1 Gyrus cinguli
2 Commisura fornicis
3 Indusium griseum
4 Fornix
5 Corpus mammillare
6 Area septalis
7 Regio entorhinalis
8 Gyrus parahippocampalis
9 Hippocampus
10 Corpus amygdaloideum
11 Area paraolfactoria
12 Gyrus paraterminalis
13 Commissura anterior
14 Area subcallosa
15 Corpus callosum
16 Tractus mammillothalamicus
17 Nuclei anteriores thalami
18 cingulohippocampale Fasern (Cingulum)
19 Tractus thalamocingularis
20 Habenula

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die funktionell am besten charakterisierten limbischen Hirnregionen sind der **Hippocampus**[9] mit Gyrus parahippocampalis[8], die **Amygdala**[10] und der **Nucleus accumbens**. Nur ungenaue Vorstellungen hat man dagegen über die Aufgaben der **Habenulae** (s. Epithalamus), die wahrscheinlich Motivationsaspekte von sensiblen Informationen, wie zu erwartende Belohnung und Bestrafung, vermitteln. Ebenfalls unklar ist die Funktion des **Indusium griseum**[8] („Grauschleier", s. auch ▶ **Abb. 19.51**[11]), einer dünnen Schicht grauer Substanz, welche die Oberfläche des Corpus callosum[15] (s. auch ▶ **Abb. 19.51**[11]) bedeckt und dessen Neurone durch 2 dünne Faserbündel (**Stria longitudinalis medialis** und **lateralis**) miteinander verbunden sind. Wahrscheinlich ist es ein phylogenetisches Überbleibsel des dorsalen Hippocampus.

Hippocampus (▶ Abb. 19.51)

Die Hippocampusformation liegt im Lobus temporalis am Boden des Unterhorns des Seitenventrikels und besteht aus **Gyrus dentatus**, **Cornu ammonis**, **Subiculumkomplex** und **entorhinalem Cortex**. Sie hat die Aufgabe, Information aus dem Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis zu überführen.

Der Hippocampus[7] entsteht während der Entwicklung durch Wachstum des medialen Randes des Lobus temporalis. Hierbei dehnt sich der Hippocampus in Richtung auf das Unterhorn des Seiten-

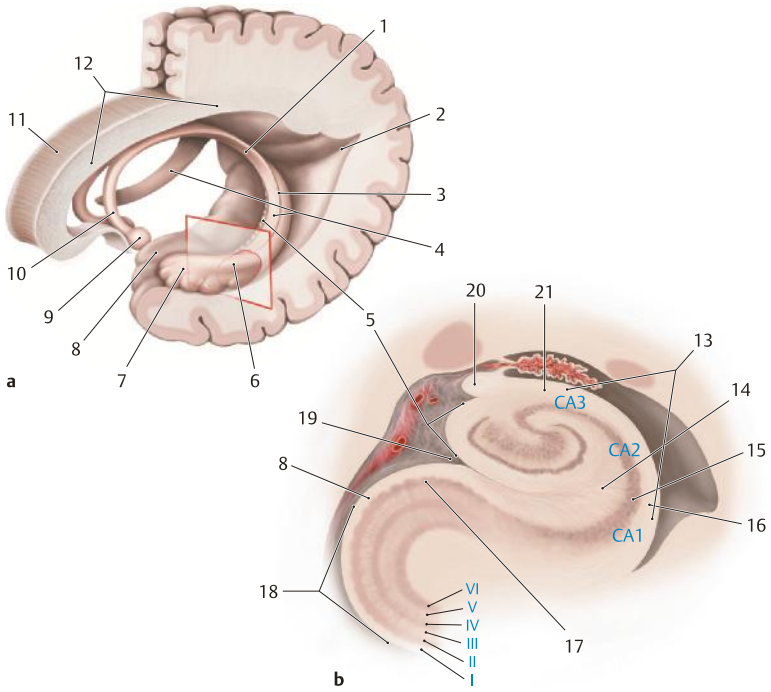


Abb. 19.51 Linker Hippocampus und **Fornix. a** nach Entfernung des Lobus temporalis und Eröffnung des Seitenventrikels. **b** Frontalschnitt (Schnitteben s. **a**).

1 Corpus fornicis
2 Hinterhorn des Seitenventrikels
3 Taenia fornicis
4 Crus fornicis
5 Gyrus dentatus
6 Pes hippocampi
7 Hippocampus
8 Gyrus parahippocampalis
9 Corpus mammillare
10 Columna fornicis
11 Indusium griseum
12 Corpus callosum
13 Cornu ammonis
14 Stratum moleculare
15 Stratum pyramidale
16 Stratum oriens
17 Subiculum
18 entorhinaler Cortex
19 Sulcus hippocampalis = Fissura hippocampi
20 Fimbria hippocampi
21 Alveus

(a: nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2009 b: nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ventrikels aus und rollt sich schneckenförmig ein. Daher ist im erwachsenen Gehirn der größte Teil des Hippocampus vom angrenzenden Gyrus parahippocampalis[8] verdeckt und nur ein dünner Streifen in der Ansicht von medial erkennbar. Dieser Anteil erinnert in seinem Aussehen an eine Reihe kleiner Zähne und wird daher als **Gyrus dentatus**[5] bezeichnet. Der größte Teil des Hippocampus wird erst nach Eröffnung des Unterhorns der Seitenventrikel sichtbar, dessen Boden er bildet. In der Aufsicht ähnelt er einem Seepferdchen (griech.: Hippocampus).

Der **histologische** Aufbau ist am besten im Frontalschnitt erkennbar. Der Gyrus dentatus[5] besteht aus dicht gepackten Körnerzellen. Der übrige Teil des Hippocampus ist aus 3 Schichten aufgebaut, die in einem Bogen um den Gyrus dentatus ziehen. Da diese Region im Querschnitt Ähnlichkeit mit den Widderhörnern des ägyptischen Gottes Amun (griech.: Ammon) besitzt, heißt sie Ammonshorn (**Cornu ammonis**[13]).

Die innerste, den Sulcus hippocampalis[19] umgebende Schicht des Cornu ammonis wird von der Molekularschicht (**Stratum moleculare**[14]) gebildet und enthält hauptsächlich Synapsenfelder und nur wenige Zellen. Sie setzt sich in die Molekularschicht des Isocortex fort. Die Pyramidenschicht (**Stratum pyramidale**[15]) enthält große pyramidenförmige Projektionsneurone (Pyramidenzellen). Das **Stratum oriens**[16] gleicht der innersten Schicht des Neocortex und enthält Axone, Dendriten und Interneurone. An der Grenze zum Seitenventrikel liegt eine Ansammlung von Axonen, die dem neokortikalen Marklager entspricht und als **Alveus**[21] bezeichnet wird. Der Alveus setzt sich nach medial in die Fimbria hippocampi[20] fort, deren Fasern in den Crura fornicis[4] weiterziehen. Das Cornu ammonis (CA) wird in 3 Bereiche untergliedert: CA1, CA2 und CA3, wobei CA3 neben dem Gyrus dentatus liegt. Die an das Cornu ammonis angrenzenden Rindenareale liegen bereits im Gyrus parahippocampalis[8] und werden als Subiculumkomplex (Subiculum[17], Presubiculum, Parasubiculum) und entorhinaler Cortex[18] bezeichnet. Hier geht der dreischichtige Aufbau (Allocortex) allmählich in den sechsschichtigen Aufbau des Neocortex (Isocortex) über. Gyrus dentatus, Cornu ammonis, Subiculumkomplex und entorhinaler Cortex werden zur **Hippocampusformation** zusammengefasst.

Der Hippocampus erhält seine wichtigsten **Afferenzen** aus dem **entorhinalen Cortex**, der Teil der primären Riechrinde ist, aber auch Assoziationsfasern aus dem temporalen Neocortex erhält. Dieser wiederum steht mit praktisch dem gesamten übrigen Neocortex in Verbindung – einschließlich der sensorischen Assoziationsgebiete. Auf diese Weise vermittelt der entorhinale Cortex dem Hippocampus Informationen über die gesamten Aktivitäten der Großhirnrinde.

Weitere wichtige Afferenzen erreichen den Hippocampus über den Fornix: **Cholinerge** Fasern aus den basalen Vorderhirnkernen (Nucleus basalis Meynert, Nuclei des diagonalen Bandes von Broca und mediale Septumregion), **dopaminerge** Fasern aus der Area tegmentalis ventralis, **noradrenerge** Fasern aus dem Locus caeruleus und **serotoninerge** Fasern aus den Raphekernen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Beeinflussung der Hippocampusfunktion, insbesondere im Schlaf (S. 580).

Aus dem entorhinalen Cortex „perforieren“ Fasern den Sulcus hippocampalis[19] (**Tractus perforans**) und bilden Synapsen mit den Körnerzellen des Gyrus dentatus[5]. Deren Axone, Moosfasern genannt, formen hauptsächlich Synapsen mit Pyramidenzellen in CA3. Die Axone dieser Pyramidenzellen verlassen über den Alveus[21] den Hippocampus, sie bilden aber auch Kollateralen (Schaffer-Kollateralen), die an anderen Pyramidenzellen enden, unter anderem in CA1 und im Subiculum[17].

Diese Verbindungen ermöglichen kreisförmige Erregungen innerhalb des Hippocampus, die wahrscheinlich entscheidend für die Gedächtniskonsolidierung sind.

Efferenzen ziehen über den Fornix[1] vor allem zu den Corpora mammillaria[9] (Papez-Kreis), aber auch zur Septumregion und zum Thalamus.

Die zentrale **Funktion des Hippocampus** besteht darin, Information aus dem Kurzzeitgedächtnis ins **Langzeitgedächtnis** zu überführen. Besondere Bedeutung scheint der Hippocampus beim **Ortsgedächtnis** zu spielen. So sind spezifische Hippocampus-Neuronen („site neurons“) erregt, wenn sich Tiere an einem bestimmten Ort aufhalten. Des Weiteren wurde bei Londoner Taxifahrern eine signifikante Vergrößerung des Hippocampus festgestellt. Außerdem dient er der Auswahl, welche Ereignisse für unwichtig erachtet und verworfen werden und welche „aus der Norm fallen“ und daher ins Gedächtnis übernommen werden. In der Regel erinnern wir uns nicht daran, welche Menschen wir auf dem Heimweg gesehen haben, es sei denn, wir sind einer besonderen Person begegnet.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen **deklarativem** (explizitem) und **prozeduralem** (implizitem) **Gedächtnis**. Unter deklarativem Gedächtnis versteht man die Erinnerung an Fakten und Ereignisse; das prozedurale Gedächtnis beinhaltet motorisches und emotionales Lernen. Während der Hippocampus entscheidend dafür ist, Ereignisse ins deklarative Gedächtnis zu überführen, spielen das Kleinhirn, die ihm vorgeschaltete untere Olive und das Striatum eine entscheidende Rolle beim Erwerb motorischer Fertigkeiten, also für das prozedurale Gedächtnis.

Die Erregungsübertragung wird an manchen Synapsen effektiver, wenn die präsynaptische Terminale wenige Sekunden lang mit hoher Frequenz erregt ist. Dieses Phänomen, als „long-term potentiation“ bezeichnet, ist auch eine typische Eigenschaft der Schaffer-Kollateralen und Moosfasern des Hippocampus. Hierbei kommt es sowohl zu präsynaptischen (vermehrte Transmitterausschüttung) als auch zu postsynaptischen Veränderungen (erhöhter Einbau von Rezeptormolekülen). Diese verbesserte Erregungsübertragung ist wahrscheinlich Grundlage der Gedächtniskonsolidierung.

Möglicherweise spielen in diesem Zusammenhang auch kreisförmige Hippocampus-Erregungen eine Rolle. Sowohl Neuronenkreise innerhalb des Hippocampus als auch der Papez-Kreis könnten hierfür die Grundlage bilden.

Wenn Menschen durch einen Unfall oder bestimmte Medikamente ihr Bewusstsein verlieren, vergessen sie manchmal alle Ereignisse, die unmittelbar vorher geschehen sind (**retrograde Amnesie**), die Erinnerung an ältere Gedächtnisinhalte bleibt jedoch erhalten. Dieser Ausfall spricht dafür, dass es sich beim Kurzzeitgedächtnis um einen funktionellen Zustand handelt, der noch nicht strukturell fixiert ist wie im Langzeitgedächtnis.

Bei permanenter **Schädigung des Hippocampus** (z. B. durch Blutung oder Sauerstoffmangel) sind die Patienten unfähig, neue deklarative Gedächtnisinhalte abzuspeichern (**anterograde Amnesie**). Ihr Bewusstsein bleibt auf dem Stand vor dem Ereignis. Eine ähnliche Symptomatik kann auch durch Läsion von Teilen des Papez-Kreises hervorgerufen werden. Beidseitige Schädigungen der **Corpora mammillaria** infolge von Vitamin-B_1-Mangel oder Alkoholmissbrauch mit einem Ausfall des Kurzzeitgedächtnisses werden als **Korsakow-Syndrom** bezeichnet. Bewegend ist die Schilderung eines Korsakow-Patienten, dem ein Spiegel vorgehalten wird und der (für Sekunden) erkennen muss, dass er 20 Jahre älter ist, als er gedacht hatte.

Bei der **Alzheimer-Erkrankung** kommt es zum Neuronenuntergang im gesamten Gehirn. Zuerst sind Neurone im Hippocampus und im entorhinalen Cortex sowie cholinerge Neurone des basalen Vorderhirns betroffen. Erst im weiteren Krankheitsverlauf gehen auch Neurone in neokortikalen Hirnregionen unter. Entsprechend kommt es frühzeitig zu Ausfällen des Kurzzeitgedächtnisses, später ist auch das Langzeitgedächtnis betroffen. Ob die Symptome auf dem Ausfall der cholinergen Afferenzen oder auf dem Zelltod in der Hippocampusformation selbst beruhen, ist noch nicht endgültig geklärt. Entsprechend umstritten ist die therapeutische Gabe von Medikamenten, die den Azetylcholingehalt des Gehirns erhöhen.

Amygdala

Die Amygdala liegt vor dem Unterhorn des Seitenventrikels und ermöglicht **emotionales Lernen**.

Der Mandelkern (Corpus amygdaloideum, **Amygdala**; ▶ **Abb. 19.50**[10]) umfasst mehrere Neuronengruppen, die rostral von der Spitze des Unterhorns des Seitenventrikels und der Cauda nuclei caudati liegen und bis an den Uncus heranreichen. Wie der Hippocampus erhält auch die Amygdala zahlreiche Afferenzen aus der Großhirnrinde und der Formatio reticularis. Besonders ausgedehnt sind Fasern von der Riechbahn und aus Hirnzentren, die an der Schmerzverarbeitung beteiligt sind.

Die wichtigste efferente Bahn ist die **Stria terminalis**, welche von der Amygdala bogenförmig an der Grenze zwischen Thalamus und Nucleus caudatus verläuft und im **Hypothalamus** endet. Weitere Fasern ziehen in den Hirnstamm, wo sie **vegetative Reaktionen** auslösen. Die Amygdala spielt eine entscheidende Rolle bei **emotionalem Lernen**. Sie ordnet bestimmten Ereignissen eine affektive Bedeutung zu. Am besten untersucht ist dies für Angstreaktionen: Die Amygdala ermöglicht es, dass bestimmte Reize, die gehäuft in Verbindung mit Schmerz auftreten, nach einer Weile Angst auslösen.

Ein **Ausfall der Amygdala** tritt selten isoliert auf, sondern ist meist Folge ausgedehnter Schädigungen beider Temporallappen. Betroffene Patienten verlieren die Fähigkeit, Neues zu erlernen und reagieren nicht mehr mit Furcht oder Ärger auf angst- oder wutauslösende Situationen. Bei Tieren kommt es außerdem zu Hypersexualität und zum Bestreben, Dinge in den Mund zu nehmen (**Klüver-Bucy-Syndrom**).

Chronische Angstzustände können durch die Gabe von **Benzodiazepinen** behandelt werden, die die Wirkung des inhibitorischen Neurotransmitters GABA vor allem in der Amygdala und in anderen Teilen des limbischen Systems verstärken.

Nucleus accumbens

Eine Erregung des neben den Septumkernen gelegenen Nucleus accumbens durch **dopaminerge** Fasern aus der **Area tegmentalis ventralis** ruft ein Gefühl von Euphorie hervor.

Der Nucleus accumbens, auch als ventrales Striatum bezeichnet, ist der rostroventrale limbische Anteil des Striatums. Er liegt im Frontallappen am Boden des Vorderhorns des Seitenventrikels ventral (unterhalb) der Septumkerne und wird lateral von Nucleus caudatus und Putamen begrenzt und medial sowie cranial von den Septumkernen. Er gilt als das **„Euphorie-Zentrum"**, denn seine Aktivierung ruft ein Gefühl höchsten Wohlbefindens hervor. Wenn Tiere die Möglichkeit haben, diesen Kern durch Elektroden selbst zu reizen, stimulieren sie ihn bis zur eigenen Erschöpfung. Erregt wird der Nucleus accumbens vor allem durch **Dopamin**, welches von Fasern ausgeschüttet wird, die aus der **Area tegmentalis ventralis** (▶ Abb. 19.14[8]; ▶ Abb. 19.52[18]) des Mesencephalons stammen. Der Nucleus accumbens ist Teil eines Belohnungssystems; er wird durch anregende Reize, wie Nahrungsaufnahme, Sex und die Betrachtung angenehmer Bilder, stimuliert und verstärkt Verhalten, das zu seiner Stimulation führt.

Auch die Aktivierung des präfrontalen Cortex' führt zu Erregung des Nucleus accumbens. So kann auch das Planen bestimmter Handlungen Euphorie hervorrufen.

Verschiedene Substanzen (Kokain, Amphetamine, Opioide) erhöhen die Dopaminfreisetzung im Nucleus accumbens. Dies spielt eine Rolle bei der Entstehung von Drogenabhängigkeit.

19.6.9 Formatio reticularis (▶ Abb. 19.52)

Die Formatio reticularis erstreckt sich netzartig durch den gesamten Hirnstamm und steuert Motorik, vegetative Funktionen sowie Schlaf- und Wachzustand. Sie besteht hauptsächlich aus Kerngebieten am Eingang des Cerebellums (**präzerebellare Kerne**), horizontalem und vertikalem **Blickzentrum**, **Atem-**, **Kreislauf-** und **Brechzentrum** sowie Kerngebieten, die durch ihren spezifischen Neurotransmittergehalt ausgezeichnet sind. Hierzu gehören der **noradrenerge** Locus caeruleus (bewirkt Wachzustand und erhöhte Aufmerksamkeit), die **serotoninergen** Raphekerne (stimmungsaufhellend, wichtig für Tiefschlaf), die **dopaminerge** Area tegmentalis ventralis (wirkt euphorisierend) und 2 **cholinerge** Kerne im Tegmentum (bewirken Wachzustand und fördern Lernen und Gedächtnis). Für den **Wachzustand** sind außerdem die **glutamatergen** intralaminären Thalamuskerne, der **histaminerge** hypothalamische Nucleus tuberomamillaris und das **cholinerge** basale Vorderhirn von Bedeutung. **GABAerge** Fasern aus der ventrolateralen Area preoptica und aus dem Nucleus reticularis thalami spielen eine wichtige Rolle beim **Tiefschlaf**. Im **Tractus reticulospinalis** absteigende Fasern beeinflussen die **Motorik**.

Die Formatio reticularis wurde ursprünglich als netzförmige Ansammlung von Neuronen und Nervenfasern im Hirnstamm beschrieben, die zwischen den bekannten Hirnnervenkernen und Trakten liegen, anatomisch nicht näher charakterisiert waren, aber eine wichtige Aufgabe bei der Entstehung des **Schaf- und Wachzustands** und bei der Regulation **vegetativer Funktionen** haben. Inzwischen sind zahlreiche zur Formatio reticularis gehörende Kerngebiete charakterisiert worden, die entweder aufgrund ihrer Funktion definiert wurden oder sich durch bestimmte Neurotransmitter auszeichnen.

Zu den **funktionell charakterisierten Neuronengruppen** gehören die **präzerebellaren retikulären Kerne** Nucleus reticularis lateralis, reticularis paramedianus und pontinus reticulotegmentalis. Sie projizieren ins Cerebellum und sind dort behandelt worden (S. 554). Weiterhin gehören hierzu Kerngebiete zur Regulation der **Augenbewegungen** (S. 566) wie die paramediane pontine Formatio reticularis, das pontine horizontale Blickzentrum, oder der Nucleus prepositus n. hypoglossi. Neuronen, die die Atmung regulieren (**Atemzentrum**), verteilen sich in der Formatio reticularis über einen weiten Bereich zwischen Medulla oblongata und Pons. Beschrieben sind inspiratorische[12] und exspiratorische[13] Neuronengruppen sowie ein ihnen übergeordnetes pneumotaktisches Zentrum[6], das den Atemrhythmus vorgibt. Des

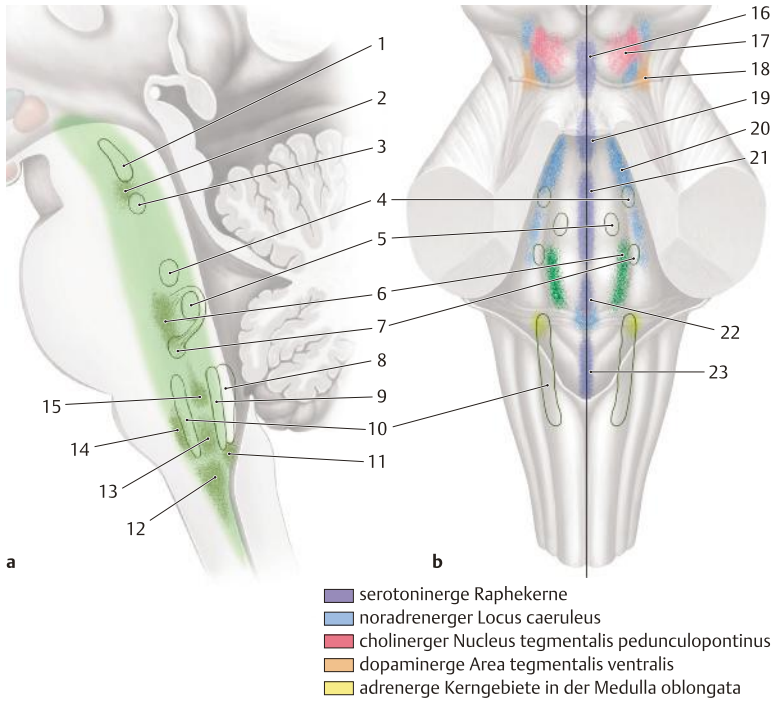


Abb. 19.52 Formatio reticularis. a Lage der Formatio reticularis (hellgrün) und wichtiger vegetativer Regulationszentren (dunkelgrün). **b** Kerngebiete und Neurotransmitter.

1 Nucleus n. oculomotori
2 optische Raumorientierung, übergeordnete vegetative Koordination der Nahrungsaufnahme
3 Nucleus n. trochlearis
4 Nucleus motorius n. trigemini
5 Nucleus n. abducentis
6 pneumotaktisches Kerngebiet
7 Nucleus n. facialis
8 Nucleus dorsalis n. vagi
9 Nucleus n. hypoglossi
10 Nucleus ambiguus
11 Area postrema
12 Kerngebiet für Inspiration
13 Kerngebiet für Exspiration
14 vasomotorische Kontrolle
15 Kerngebiet für Schlucken
16 Nucleus raphes posterior
17 Nucleus pedunculopontinus tegmentalis
18 Area tegmentalis ventralis
19 Nucleus raphes medianus
20 Locus caeruleus
21 Nucleus raphes pontis
22 Nucleus raphes magnus
23 Nucleus raphes obscurus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Weiteren gehören zur Formatio reticularis Kerngebiete in der Medulla oblongata, die die Herzfrequenz herabsetzen und den Blutdruck senken sowie solche, die eine gegenteilige Wirkung haben. In ihrer Gesamtheit werden sie als **Kreislaufzentrum**[14] bezeichnet. Das Kreislaufzentrum steht unter dem Einfluss absteigender Fasern aus dem Hypothalamus, die im medialen Vorderhirnbündel (Fasciculus medialis telencephali) verlaufen.

Bei der **Area postrema**[11] handelt es sich um einen dünnen Streifen von Nervengewebe am kaudalen Rand des Bodens des IV. Ventrikels in der Nähe des Obex. Hier fehlt die Blut-Hirn-Schranke, die im übrigen Zentralnervensystem den Übertritt vieler Substanzen ins Gehirn verhindert. Die Area postrema ist eng mit dem Nucleus solitarius verbunden. Bestimmte Substanzen können hier Brechreiz auslösen (**Brechzentrum**).

Zur Formatio reticularis wird außerdem häufig das zentrale Höhlengrau (**Substantia grisea centralis**, periaquäduktales Grau) gerechnet, der Bereich des Mesencephalons in unmittelbarer Umgebung des Äquädukts (S. 520). Eine Reizung dieses Kerngebiets ruft ein Gefühl von Angst hervor, hat aber auch eine schmerzunterdrückende Wirkung (▶ **Abb. 19.30**[5]).

Kerngebiete mit spezifischen Neurotransmittern (▶ **Abb. 19.52**) spielen eine besondere Rolle für die Aufmerksamkeit und bei der Regulation des Schlaf-Wach-Zustands. Neuronen, die **Noradrenalin** als Überträger nutzen (noradrenerg), befinden sich vor allem im **Locus caeruleus**[20], einem Kerngebiet in der kranialen Brücke. Sie besitzen zahlreiche Axone, die in das gesamte Zentralnervensystem projizieren. Noradrenalin wird besonders im **Wachzustand** freigesetzt und bewirkt eine Erregung des gesamten zerebralen Cortex. Hierdurch wird die Aufmerksamkeit erhöht. Weitere Wirkungen sind eine Hemmung der Schmerzweiterleitung und eine Verstärkung spinaler Reflexe. In der Medulla oblongata finden sich außerdem kleinere **adrenerge** Kerngebiete.

Serotoninerge Neuronengruppen liegen in Medulla oblongata, Brücke und Mesencephalon beidseits der Mittellinie und werden als **Raphekerne**[16, 19, 21–23] bezeichnet (raphe, griech.: Naht). Auch ihre stark verzweigten Axone ziehen in das gesamte Zentralnervensystem. Eine Serotoninfreisetzung wirkt **stimmungsaufhellend**, außerdem wird Serotonin während des Tiefschlafs freigesetzt.

Selektive Hemmstoffe der Serotoninwiederaufnahme („selective serotonin reuptake inhibitors", SSRI) verlängern die Wirkung von freigesetztem Serotonin im synaptischen Spalt. Sie werden zur Therapie von **Depressionen** eingesetzt.

Das wichtigste **dopaminerge** Kerngebiet ist die **Area tegmentalis ventralis**[18], die sich im mesencephalen Tegmentum befindet. Sie projiziert vor allem ins limbische System (Amygdala, Hippocampus) und in den Hypothalamus (**mesolimbische Fasern**). Von besonderem Interesse sind Fasern, die in den Nucleus accumbens ziehen, wo Dopaminfreisetzung eine euphorisiernde Wirkung hat.

Neuroleptika werden bei hochgradiger Unruhe und Schizophrenie eingesetzt. Sie blockieren **Dopamin-Rezeptoren** im Gehirn.

Während **Azetylcholin** der wichtigste Neurotransmitter im peripheren Nervensystem ist, gibt es im Gehirn nur relativ wenige cholinerge Kerngebiete. Zwei von ihnen liegen an der Grenze von Brücke und Tegmentum: **Nucleus pedunculopontinus tegmentalis**[17] und **Nucleus dorsolateralis tegmentalis**.

Weitere bedeutende cholinerge Kerngebiete, die allerdings nicht zur Formatio reticularis gerechnet werden, befinden sich im **basalen Vorderhirn** (Nucleus basalis Meynert, Nuclei des diagonalen Bandes von Broca und mediale Septumregion).

Auch cholinerge Neurone projizieren in zahlreiche weit voneinander entfernt liegende Hirnregionen. Aktiv sind sie im **Wachzustand** und im **REM-Schlaf**, aber nicht im Tiefschlaf. Außerdem spielen sie eine wichtige Rolle für Lernen und Gedächtnis.

In ihrer Gesamtheit bezeichnet man die Fasern aus der Formatio reticularis, die den Wachzustand hervorrufen, als „**aszendierendes retikuläres aktivierendes System**" (ARAS). Die meisten dieser Axone verlaufen in der zentralen Haubenbahn. Nur wenn der zerebrale Cortex durch das ARAS aktiviert wird, sind wir wach.

Eine **Unterbrechung des aszendierenden retikulären aktivierenden Systems** infolge einer Schädigung der medialen Anteile des Hirnstamms führt zu irreversiblem Koma.

Neben der Formatio reticularis sind auch verschiedene diencephale Kerngebiete am Zustandekommen des Schlaf-Wach-Rhythmus beteiligt. Die **intralaminären Thalamuskerne** sind eine wichtige Verbindung zwischen dem ARAS und dem zerebralen Cortex. Neurone im **lateralen Hypothalamus**, die **Orexin** (Hypokretin) produzieren, projizieren zum cholinergen Nucleus pedunculopontinus tegmentalis und aktivieren ihn. Ein Orexinmangel führt zu anfallsweisen kurzen Schlafattacken (Narkolepsie).

Ebenfalls Teil des Hypothalamus ist der **Nucleus tuberomammillaris**, dessen Axone durch die Abgabe von **Histamin** im Thalamus und im zerebra-

len Cortex eine **wachmachende** Wirkung ausüben. Da manche Antihistaminika Rezeptoren (H1) für Histamin blockieren, machen sie **schläfrig**.

Somit haben **noradrenerge** Fasern aus dem Locus caeruleus, **histaminerge** Fasern aus dem tuberomamillären hypothalamischen Kern, **cholinerge** Fasern aus dem basalen Vorderhirn und **glutamaterge** Fasern aus den intralaminären Kernen des Thalamus eine **wachmachende Wirkung**.

Der hypothalamische **Nucleus suprachiasmaticus** wirkt als innere Uhr, die den 24-stündigen Schlaf-Wach-Rhythmus erzeugt (**zirkadianer Rhythmus**). Er projiziert einerseits zu den orexinbildenden Zellen des lateralen Hypothalamus (wachmachend), andererseits regt er über eine Stimulation des Sympathicus die Epiphyse (Corpus pineale) zur Melatoninproduktion an (schlafinduzierend).

Für den **Tiefschlaf** am wichtigsten sind **serotoninerge** Fasern aus den Raphekernen. Ebenfalls eine wichtige Rolle spielen auch **GABAerge** Fasern, die entweder aus der ventrolateralen **Area preoptica** stammen und den Nucleus tuberomamillaris und das ARAS hemmen, oder aus dem **Nucleus reticularis thalami** kommen und die Weiterleitung sensibler Information im Thalamus blockieren.

Da **Benzodiazepine** die Wirkung von GABA verstärken, können sie als **Schlafmittel** eingesetzt werden.

Mehrere dieser Kerngebiete sowie die vor allem motorische Funktionen erfüllende **zentrale retikuläre Kerngruppe** senden absteigende Fasern ins Rückenmark, die als **Tractus reticulospinalis** im Vorderseitenstrang verlaufen. Sie erzeugen einfache Bewegungsmuster und regulieren den Muskeltonus, wobei sie vor allem γ-Motoneuronen sowohl aktivierend als auch hemmend beeinflussen. Hemmende Fasern sorgen dafür, dass beim Träumen (REM-Schlaf) die Muskulatur nicht bewegt wird. Zu den retikulospinalen Fasern gehören auch die serotoninergen und noradrenergen Axone aus den Raphekernen und dem Locus caeruleus, die Teil des schmerzhemmenden Systems sind (S. 543).

19.7 Meningen und Blutgefäße

19.7.1 Dura mater

Das empfindliche Zentralnervensystem wird von einer knöchernen Umhüllung (Schädel und Wirbelsäule) und der dreischichtigen Gehirn- und Rückenmarkhaut (**Meninx**) geschützt. Deren äußerste Schicht ist die **Dura mater**, darunter liegt die dünne **Arachnoidea mater**. Die **Pia mater** bildet die innerste Schicht. Die Dura mater enthält neben den venösen Sinus die meningealen Gefäße. **Epidurale Blutungen** sind Folge von Verletzungen der **A. meningea media**.

Die innere Oberfläche von Schädelknochen und Wirbelkanal wird von dem festen **Periost** ausgekleidet. Darunter liegt die harte Hirnhaut (**Pachymeninx** oder **Dura mater**), die aus straffem, kollagenem Bindegewebe besteht.

Einige Autoren bezeichnen das Periost auch als äußere Schicht der Dura mater (Stratum periostale oder Lamina externa) und die eigentliche Dura mater als Stratum meningeale oder Lamina interna durae matris.

Im **Schädel** (▶ **Abb. 19.53**) sind Periost[6] und Dura mater[7] fest miteinander verwachsen. Nur an den Stellen, wo sie von den venösen Blutleitern (Sinus durae matris) durchzogen werden, sind beide voneinander getrennt. An mehreren Stellen zieht die Dura mater in die Tiefe und bildet Septen (**Duraduplikaturen**, ▶ **Abb. 19.61**). Die größte Duplikatur, die sichelförmige **Falx cerebri**[13] (lat.: Sichel), liegt in der Fissura longitudinalis cerebri zwischen den beiden Großhirnhemisphären. Das **Tentorium cerebelli**[7] trennt wie ein Zelt (lat.: tentorium) Okzipitallappen und Kleinhirn. Weitere Duraduplikaturen sind die **Falx cerebelli**, die zwischen beiden Kleinhirnhemisphären liegt, und das **Diaphragma sellae**[11], welches die Sella turcica bedeckt und eine kleine Öffnung für den Hypophysenstiel besitzt.

Bei **raumfordernden Prozessen im Schädel** (Hirnschwellung, Blutungen, Tumoren) kann der mediale Anteil des Schläfenlappens (üblicherweise der Uncus, s. ▶ **Abb. 19.23**) unter das Tentorium cerebelli gedrückt und hier eingeklemmt werden (**obere Einklemmung**, transtentoriale oder Un-

len Cortex eine **wachmachende** Wirkung ausüben. Da manche Antihistaminika Rezeptoren (H1) für Histamin blockieren, machen sie **schläfrig**.

Somit haben **noradrenerge** Fasern aus dem Locus caeruleus, **histaminerge** Fasern aus dem tuberomamillären hypothalamischen Kern, **cholinerge** Fasern aus dem basalen Vorderhirn und **glutamaterge** Fasern aus den intralaminären Kernen des Thalamus eine **wachmachende Wirkung**.

Der hypothalamische **Nucleus suprachiasmaticus** wirkt als innere Uhr, die den 24-stündigen Schlaf-Wach-Rhythmus erzeugt (**zirkadianer Rhythmus**). Er projiziert einerseits zu den orexinbildenden Zellen des lateralen Hypothalamus (wachmachend), andererseits regt er über eine Stimulation des Sympathicus die Epiphyse (Corpus pineale) zur Melatoninproduktion an (schlafinduzierend).

Für den **Tiefschlaf** am wichtigsten sind **serotoninerge** Fasern aus den Raphekernen. Ebenfalls eine wichtige Rolle spielen auch **GABAerge** Fasern, die entweder aus der ventrolateralen **Area preoptica** stammen und den Nucleus tuberomamillaris und das ARAS hemmen, oder aus dem **Nucleus reticularis thalami** kommen und die Weiterleitung sensibler Information im Thalamus blockieren.

Da **Benzodiazepine** die Wirkung von GABA verstärken, können sie als **Schlafmittel** eingesetzt werden.

Mehrere dieser Kerngebiete sowie die vor allem motorische Funktionen erfüllende **zentrale retikuläre Kerngruppe** senden absteigende Fasern ins Rückenmark, die als **Tractus reticulospinalis** im Vorderseitenstrang verlaufen. Sie erzeugen einfache Bewegungsmuster und regulieren den Muskeltonus, wobei sie vor allem γ-Motoneuronen sowohl aktivierend als auch hemmend beeinflussen. Hemmende Fasern sorgen dafür, dass beim Träumen (REM-Schlaf) die Muskulatur nicht bewegt wird. Zu den retikulospinalen Fasern gehören auch die serotoninergen und noradrenergen Axone aus den Raphekernen und dem Locus caeruleus, die Teil des schmerzhemmenden Systems sind (S. 543).

19.7 Meningen und Blutgefäße

19.7.1 Dura mater

Das empfindliche Zentralnervensystem wird von einer knöchernen Umhüllung (Schädel und Wirbelsäule) und der dreischichtigen Gehirn- und Rückenmarkhaut (**Meninx**) geschützt. Deren äußerste Schicht ist die **Dura mater**, darunter liegt die dünne **Arachnoidea mater**. Die **Pia mater** bildet die innerste Schicht. Die Dura mater enthält neben den venösen Sinus die meningealen Gefäße. **Epidurale Blutungen** sind Folge von Verletzungen der **A. meningea media**.

Die innere Oberfläche von Schädelknochen und Wirbelkanal wird von dem festen **Periost** ausgekleidet. Darunter liegt die harte Hirnhaut (**Pachymeninx** oder **Dura mater**), die aus straffem, kollagenem Bindegewebe besteht.

Einige Autoren bezeichnen das Periost auch als äußere Schicht der Dura mater (Stratum periostale oder Lamina externa) und die eigentliche Dura mater als Stratum meningeale oder Lamina interna durae matris.

Im **Schädel** (▶ **Abb. 19.53**) sind Periost[6] und Dura mater[7] fest miteinander verwachsen. Nur an den Stellen, wo sie von den venösen Blutleitern (Sinus durae matris) durchzogen werden, sind beide voneinander getrennt. An mehreren Stellen zieht die Dura mater in die Tiefe und bildet Septen (**Duraduplikaturen**, ▶ **Abb. 19.61**). Die größte Duplikatur, die sichelförmige **Falx cerebri**[13] (lat.: Sichel), liegt in der Fissura longitudinalis cerebri zwischen den beiden Großhirnhemisphären. Das **Tentorium cerebelli**[7] trennt wie ein Zelt (lat.: tentorium) Okzipitallappen und Kleinhirn. Weitere Duraduplikaturen sind die **Falx cerebelli**, die zwischen beiden Kleinhirnhemisphären liegt, und das **Diaphragma sellae**[11], welches die Sella turcica bedeckt und eine kleine Öffnung für den Hypophysenstiel besitzt.

Bei **raumfordernden Prozessen im Schädel** (Hirnschwellung, Blutungen, Tumoren) kann der mediale Anteil des Schläfenlappens (üblicherweise der Uncus, s. ▶ **Abb. 19.23**) unter das Tentorium cerebelli gedrückt und hier eingeklemmt werden (**obere Einklemmung**, transtentoriale oder Un-

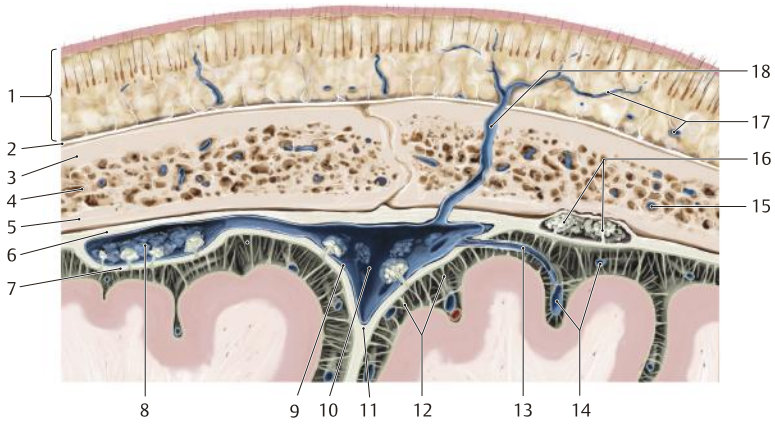


Abb. 19.53 Hirnhäute und Arachnoidalzotten.

1 Kopfhaut
2 Galea aponeurotica
3 Lamina externa des Schädels
4 Diploe
5 Lamina interna des Schädels
6 Periost (Dura mater, Stratum periostale)
7 Dura mater (Stratum meningeale)
8 Granulationes arachnoideae Pacchioni
9 Sinusendothel
10 Sinus sagittalis superior
11 Falx cerebri
12 Arachnoidalsepten = Trabekel
13 Brückenvene
14 Vv. superiores cerebri
15 Vv. diploicae
16 Foveola granularis
17 Venen der Kopfhaut
18 V. emissaria
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

cus-Hernie). Erstes klinisches Zeichen ist eine Pupillenerweiterung kombiniert mit einem Verlust des Pupillenreflexes infolge einer Druckschädigung der im N. oculomotorius verlaufenden parasympathischen Fasern. In ähnlicher Weise können auch der Gyrus cinguli unter die Falx cerebri (**Cingulum-Hernie**) oder die Kleinhirntonsillen in das Foramen occipitale magnum (**untere Einklemmung**, Tonsillen-Hernie) gedrückt werden.

Blutversorgung. Dura mater, Periost und benachbarter Schädelknochen werden von 3 Arterien versorgt, die im Periost verlaufen:

- Die kleinere **A. meningea anterior** ist ein Ast der A. ethmoidalis anterior, die aus der A. ophthalmica (S. 627) entspringt.
- Klinisch am bedeutsamsten ist die **A. meningea media**, ein Ast der A. maxillaris (S. 625), die von der A. carotis externa abgeht. Sie tritt durch das Foramen spinosum in die Schädelhöhle.
- Die relativ unbedeutende **A. meningea posterior** kommt aus der A. pharyngea ascendens (S. 624), einem Ast der A. carotis externa.

Da Schädelknochen, Periost und Dura mater fest miteinander verwachsen sind, ist ein relativ hoher Druck erforderlich, um sie voneinander zu trennen. **Epidurale Hämatome** treten meist infolge von Frakturen im Schläfenbereich auf, die zu Verletzungen der **A. meningea media** führen. Die Patienten können infolge des Traumas anfangs kurzfristig bewusstlos sein, werden dann wieder wach (symptomfreies Intervall) und verlieren später mit fortschreitender Blutung wieder ihr Bewusstsein.

Innervation. Die Dura mater ist relativ schmerzempfindlich. Oberhalb des Tentorium cerebelli wird sie von Fasern aus allen 3 Trigeminusästen sensibel innerviert (Rami meningei), unterhalb von Ästen des N. vagus und der oberen 3 Spinalner-

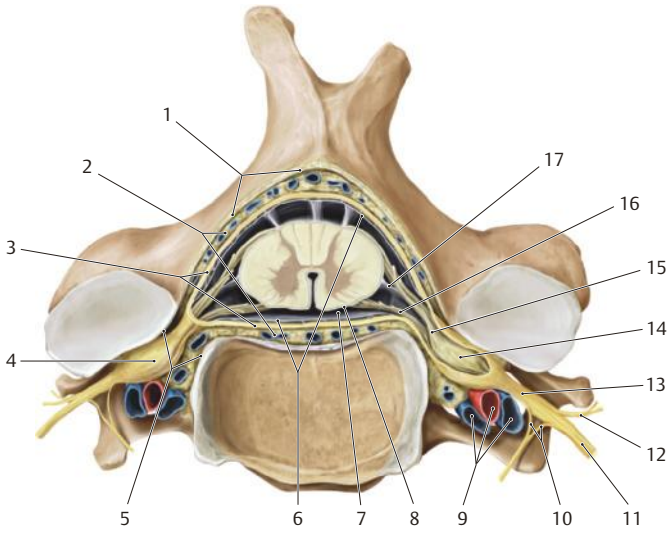


Abb. 19.54 Rückenmarkhäute im Bereich der Halswirbelsäule.
1 periostale Auskleidung des Wirbelkanals
2 Epiduralraum (Spatium epidurale) mit Fettgewebe und Venenplexus (Plexus venosus vertebralis internus)
3 Dura mater spinalis
4 Duraaussackung (Wurzeltasche)
5 Foramen intervertebrale
6 Arachnoidea mater spinalis
7 Subarachnoidalraum (Spatium subarachnoideum)
8 Pia mater spinalis
9 A. und Vv. vertebrales
10 Rr. communicantes
11 R. ventralis
12 R. dorsalis
13 N. spinalis
14 Ganglion spinale
15 Radix posterior des Spinalnervs
16 Radix anterior des Spinalnervs
17 Lig. denticulatum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

ven, welche durch den Canalis n. hypoglossi in die hintere Schädelgrube ziehen. Die Dura mater um das Rückenmark versorgen rückläufige Fasern aus allen Spinalnerven sensibel.

Aufgrund der dichten sensiblen Innervation führt eine Entzündung der Hirnhäute (**Meningitis**) zu starken Kopfschmerzen, die sich verstärken, wenn die Meningen gedehnt werden, z. B. bei Kopfbeugung (**Nackensteife**).

Im **Wirbelkanal** (▶ **Abb. 19.54**) sind Periost[1] und Dura mater[3] durch den Epiduralraum (**Spatium epidurale**[2]) voneinander getrennt, welcher Fettgewebe und die inneren Venenplexus enthält. Er beginnt am Foramen occipitale magnum und durchzieht den gesamten Wirbelkanal. An den Austrittsstellen der Spinalnerven aus dem Wirbelkanal vereinigen sich Dura mater und Periost wieder und bilden taschenförmige Umhüllungen[4] um die Spinalganglien. Auch das sensible Ganglion trigeminale ist von einer solchen Duratasche umgeben.

Bei einer **Epiduralanästhesie** (= Periduralanästhesie) wird ein Anästhetikum zwischen Periost und Dura mater gespritzt, z. B. durch den Hiatus sacralis. Das Anästhetikum bleibt im Bereich der Injektionsstelle, sodass die betäubende Wirkung auf diejenigen Spinalnerven beschränkt ist, die in dieser Gegend aus dem Duraschlauch austreten.

19.7.2 Leptomeninx (▶ Abb. 19.55)

Die **Arachnoidea mater** folgt in ihrem Verlauf der Dura mater, während die **Pia mater** der Hirnoberfläche anliegt. Der **Subarachnoidalraum** enthält **Liquor cerebrospinalis**. An einigen Stellen ist er zu **Zisternen** erweitert.

Die weiche Hirnhaut (**Leptomeninx**[1,2]) besteht aus der Spinngewebshaut (**Arachnoidea mater**[6]) und

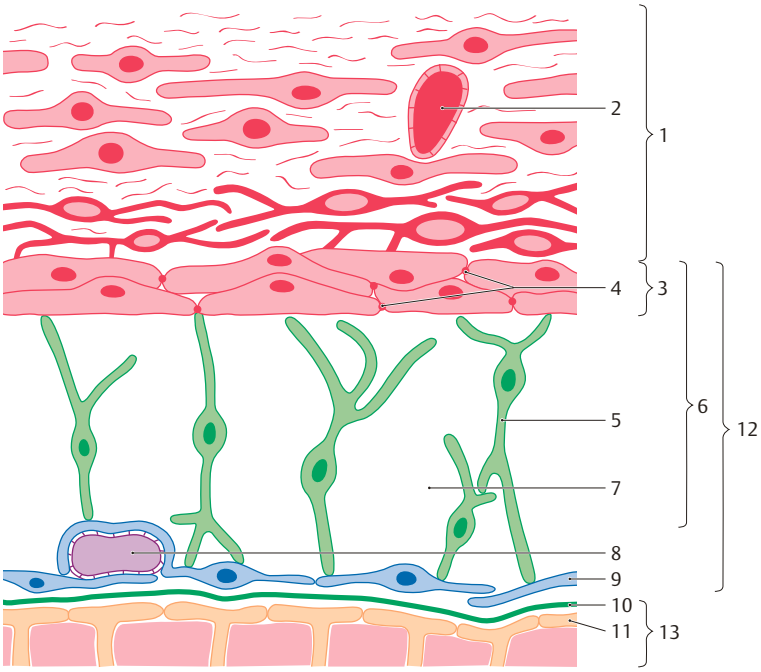


Abb. 19.55 Dura mater und Leptomeninx.

1 Dura mater
2 Meningealarterie
3 Neurothel
4 Tight Junctions zwischen den Neurothelzellen
5 Trabekel (Arachnoidalsepten)
6 Arachnoidea mater
7 Subarachnoidalraum mit Liquor cerebrospinalis
8 Brückenvene
9 Pia mater
10 Basalmembran
11 Gliagrenzmembran aus Astrozyten-Endfüßen
12 Leptomenix
13 Cortex cerebri

der **Pia mater**[9]. Die **Arachnoidea mater** ist eine feine Bindegewebsschicht, die der Innenfläche der Dura mater eng anliegt. Infolgedessen trennt beide nur ein sehr enger Spalt – es existiert also kein echter Subduralraum. Die **Pia mater** besteht aus einer dünnen, epithelähnlichen Lage von Bindegewebszellen, die der Gehirnoberfläche unmittelbar aufliegen und ihr ein glänzendes Aussehen verleihen.

Die beiden Bestandteile der Leptomenix entstehen ursprünglich aus einer einzigen Schicht. Während der Entwicklung bilden sich flüssigkeitsgefüllte Hohlraume, die später zum **Subarachnoidalraum**[7] zusammenfließen. Die Entstehung aus einer gemeinsamen Anlage ist noch daran erkennbar, dass Arachnoidea mater und Pia mater durch feine Bindegewebsfasern (Trabekel[5]) miteinander verbunden sind.

Im Bereich der venösen Sinus und entlang anderer Hirn- und Rückenmarkvenen stülpt sich die Arachnoidea mater mit Teilen des Subarachnoidalraums in das Sinuslumen und bildet die **Arachnoidalzotten** (**Granulationes arachnoideae Paccioni**, s. ▶ **Abb. 19.53**[8]), in denen der Liquor cerebrospinalis rückresorbiert wird. Sie sind am Rand des Sinus sagittalis superior als kleine Körnchen makroskopisch erkennbar.

Meningeome sind langsam wachsende, in der Regel gutartige Tumoren, die von Zellen der Arachnoidea mater ausgehen. Sie sind die häufigsten Hirntumoren und treten meist in der Nähe der großen venösen Sinus auf.

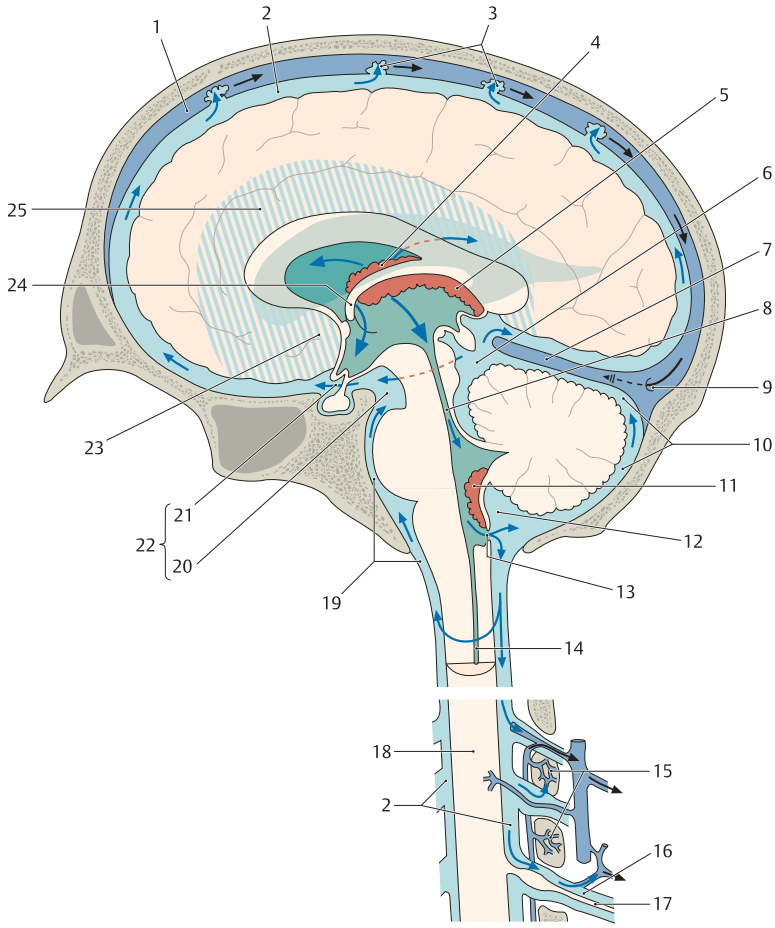


Abb. 19.56 Liquorzirkulation und Zisternen.

1 Sinus sagittalis superior
2 Subarachnoidalraum
3 Granulationes arachnoideae
4 Plexus choroideus im Seitenventrikel
5 Plexus choroideus im III. Ventrikel
6 Cisterna ambiens
7 Sinus rectus
8 Aqueductus mesencephali
9 Confluens sinuum
10 Cisterna vermis
11 Plexus choroideus im IV. Ventrikel
12 Cisterna cerebellomedullaris
13 Apertura mediana
14 Canalis centralis
15 Plexus venosus vertebralis
16 Perineuralscheiden
17 N. spinalis
18 Rückenmark
19 Cisterna pontomedullaris
20 Cisterna interpeduncularis
21 Cisterna chiasmatica
22 Cisternae basales
23 Cisterna laminae terminalis
24 Foramen interventriculare
25 Cisterna interhemispherica
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Der **Subarachnoidalraum** (**Spatium subarachnoideum**) ist mit **Liquor cerebrospinalis** gefüllt. Da die Arachnoidea mater zusammen mit der Dura mater der Schädelinnenfläche anliegt, die Pia mater in ihrem Verlauf jedoch der Gehirnoberfläche folgt, entstehen an den Stellen, wo sich Schädelinnenfläche und Gehirnoberfläche voneinander entfernen, Erweiterungen des Subarachnoidalraums, die als Zisternen (**Cisternae subarachnoideae**) bezeichnet werden (▶ **Abb. 19.56**). Die größte und bedeutendste ist die **Cisterna cerebellomedullaris**[12] im Winkel zwischen Kleinhirn und Medulla oblongata. Weitere Zisternen sind die Cisterna interpeduncularis[20] in der Fossa interpeduncularis, die Cisterna fossae lateralis im Sulcus lateralis (Sylvii) und die Cisterna ambiens[6] zwischen Splenium corporis callosi und Kleinhirn.

Da das Rückenmark etwa auf Höhe des 2. Lendenwirbels endet, der Durasack sich aber bis zum 2. sakralen Segment erstreckt, befindet sich im unteren Lumbalbereich in der Umgebung der Cauda equina eine weitere Zisterne, die **Cisterna lumbalis**. Sie lässt sich relativ leicht punktieren, um Liquor cerebrospinalis zu gewinnen (**Lumbalpunktion**). Sehr viel seltener wird die Cisterna cerebellomedullaris punktiert (**Subokzipitalpunktion**).

Eine **Lumbalpunktion** nimmt man unterhalb des Endes des Rückenmarks (Conus medullaris) vor, also unterhalb des 2. Lendenwirbels. Üblicherweise wird hierzu bei LWK 3/4 oder 4/5 punktiert. Zur Orientierung dient die Verbindungslinie zwischen den Oberrändern der Darmbeinschaufeln. Diese schneidet die Wirbelsäule bei LWK 4.

An den Stellen, an denen Blutgefäße ins Zentralnervensystem eintreten oder es verlassen, zieht die Pia mater mit den Gefäßen in die Tiefe und formt ihre äußerste adventitielle Schicht. Ein perivaskulärer subpialer Spalt (**Virchow-Robin-Raum**) trennt die Pia von der Membrana limitans externa des Gehirns.

19.7.3 Arterielle Versorgung

Arteriell wird das Gehirn über 2 jeweils paarige Gefäße versorgt, die **A. vertebralis** und die **A. carotis interna**. Die **A. vertebralis** versorgt Hirnstamm und Cerebellum sowie über die **A. cerebri posterior** den hinteren Pol der Temporal- und Okzipitallappen. Endäste der A. carotis interna sind die **A. cerebri anterior**, welche die medialen Anteile der Großhirnrinde versorgt, sowie die **A. cerebri media**, welche die **Aa. centrales anterolaterales** zur Versorgung von Basalkernen und Capsula interna abgibt, und dann zur lateralen Großhirnrinde zieht. Über **A. communicans anterior** und die beiden **Aa. communicantes posteriores** sind A. carotis interna und A. cerebri posterior beider Seiten zu einem Anastomosenkreis verbunden, dem **Circulus arteriosus cerebri**, welcher bei Verengung einer Hirnarterie eine Blutversorgung über Kollateralen ermöglicht. Das **Rückenmark** wird von der unpaaren **A. spinalis anterior** und der paarigen **A. spinalis posterior** versorgt, die aus der A. vertebralis entspringen und segmentale Zuflüsse aus den **Aa. radiculares** erhalten.

Vertebrobasiläres Stromgebiet (▶ Abb. 19.57)

Nach ihrem Abgang aus der A. subclavia verläuft die **A. vertebralis**[14] durch die Foramina transversaria der oberen 6 Halswirbel nach kranial. Über der Massa lateralis des Atlas wendet sie sich nach medial und zieht auf Höhe des Foramen occipitale magnum durch die Membrana atlantooccipitalis posterior, die Dura mater sowie die Arachnoidea mater in den Subarachnoidalraum. Ventral der Medulla oblongata zieht sie weiter nach kranial und gibt die **A. inferior posterior cerebelli**[15] zum Kleinhirn ab. Am Unterrand der Brücke vereinigen sich die beiden Vertebralarterien zur unpaaren **A. basilaris**[11].

Die A. basilaris verläuft ventral der Brücke und gibt die **A. inferior anterior cerebelli**[16], die **Aa. pontis**[9] zur Brücke sowie die **A. superior cerebelli**[10] ab. Die **A. labyrinthi** zur Versorgung des Innenohrs kann ein Ast der A. basilaris oder der A. inferior anterior cerebelli sein. An der Grenze zum Mesencephalon teilt sich die A. basilaris in die paarige **A. cerebri posterior**[18, 19] auf, die um das Mes-

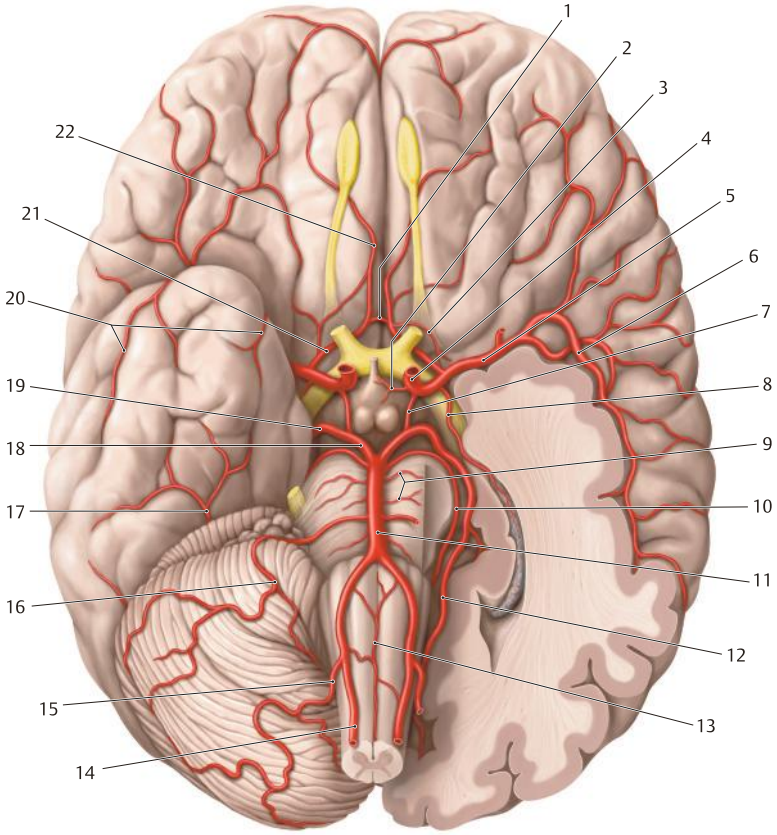


Abb. 19.57 Ursprung der großen Hirnarterien an der Hirnbasis und ihre Verbindungen zum **Circulus arteriosus cerebri** (Willisii).

1 A. communicans anterior
2 A. hypophysialis superior
3 A. recurrens (Heubneri)
4 A. carotis interna
5 A. cerebri media, Pars sphenoidalis, Segmentum M1
6 A. cerebri media, Pars insularis, Segmentum M2
7 A. communicans posterior
8 A. choroidea anterior
9 Aa. pontis
10 A. superior cerebelli
11 A. basilaris
12 A. occipitalis medialis, Segmentum P4
13 A. spinalis anterior
14 A. vertebralis
15 A. inferior posterior cerebelli
16 A. inferior anterior cerebelli
17 A. occipitalis lateralis, Segmentum P3
18 A. cerebri posterior, Pars precommunicalis, Segmentum P1
19 A. cerebri posterior, Pars postcommunicalis, Segmentum P2
20 Rr. temporales
21 A. cerebri anterior, Pars precommunicalis, Segmentum A1
22 A. cerebri anterior, Pars postcommunicalis, Segmentum A2

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 201)

encephalon herum zur medialen Hirnoberfläche unterhalb des Splenium corporis callosi zieht. Unmittelbar nach ihrer Aufteilung bilden die beiden hinteren Hirnarterien über die **A. communicans posterior**[7] eine Anastomose mit der A. carotis interna[4].

Die wichtigsten Äste der A. cerebri posterior sind die A. quadrigeminalis und kurze Äste zur

Versorgung des Mittelhirns, die **Rr. temporales**[20] zur Versorgung des vorderen Temporallappens, die **Aa. occipitales medialis**[12] und **lateralis** zur Versorgung des Okzipitallappens, der **R. calcarinus** zur Sehrinde und die **Rr. choroidei posteriores** medialis und lateralis, die unter das Corpus callosum ziehen und die Plexus choroidei der Seitenventrikel (Pars centralis) und des III. Ventrikels versorgen sowie die hinteren Teile von Mesencephalon und Thalamus (s. a. ▶ **Abb. 19.59**).

Ein **Verschluss der A. basilaris** ist wegen des Ausfalls von Atem- und Kreislaufzentren in der Regel tödlich. Versorgungsstörungen im vertebrobasilären Stromgebiet gehen aufgrund einer Schädigung von Cerebellum und Innenohr häufig mit Schwindel und Ataxie einher. Bei Befall der ventralen Brücke mit den hier verlaufenden motorischen Bahnen kommt es zum **Locked-in-Syndrom** (S. 551). Typisch sind auch **gekreuzte Lähmungen**, bei denen aufgrund der Schädigung der Pyramidenbahn eine kontralaterale spastische Hemiparese der Extremitäten auftritt, die mit einer ipsilateralen schlaffen Lähmung im Bereich eines oder mehrerer motorischer Hirnnervenkerne kombiniert ist.

Infarkte im Versorgungsgebiet der A. cerebri posterior sind eher selten, weil bei Verengung der A. basilaris die Durchblutung in der Regel durch die Anastomose über die A. communicans posterior weiter gewährleistet bleibt (Circulus arteriosus cerebri). Symptome sind, abhängig von der Lokalisation, Mittelhirnsymptome, **homonyme Hemianopsie** zur Gegenseite durch Ausfall der Sehrinde und Gedächtnisstörungen, die in der Regel vorübergehend sind, weil nur eine beidseitige Hippocampusschädigung dauerhafte Ausfälle hervorruft.

Stromgebiet der Arteria carotis interna

Nach ihrem Abgang aus der **A. carotis communis** (Pars cervicalis; ▶ **Abb. 19.58**) zieht die **A. carotis interna** durch den **Canalis caroticus** (Pars petrosa) in die mittlere Schädelgrube, wo sie seitlich vom Dorsum sellae liegt. Anschließend knickt sie nach vorne ab, verläuft durch den **Sinus cavernosus**,

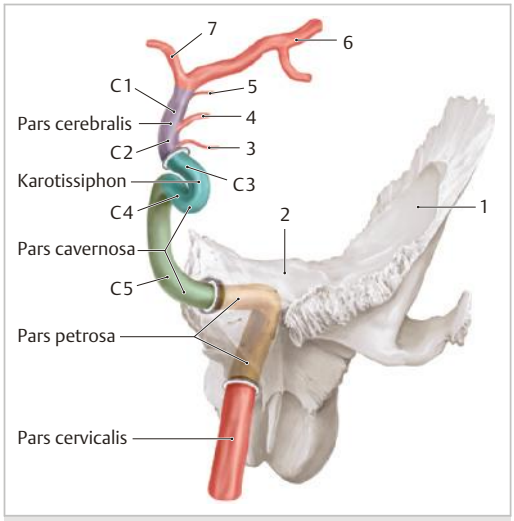


Abb. 19.58 Abschnitte der A. carotis interna. Neben der anatomischen Gliederung in die 4 Abschnitte Pars cervicalis, petrosa, cavernosa und cerebralis wird der intrakranielle Abschnitt der A. carotis interna klinisch in die 5 Segmente C 1–5 unterteilt.
1 Os temporale
2 Pars petrosa ossis temporalis
3 A. ophthalmica
4 A. communicans posterior
5 A. choroidea anterior
6 A. cerebri media
7 A. cerebri anterior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 201)

biegt dann nach oben und zieht lateral vom Processus clinoideus anterior kranialwärts (Pars cavernosa). Hier gibt sie die **A. hypophysialis inferior** zur Versorgung des Hypophysenhinterlappens ab. Anschließend tritt sie durch Dura mater und Arachnoidea mater in den Subarachnoidalraum, verläuft unter dem N. opticus wieder nach dorsal (Pars cerebralis) und teilt sich dann unter der Substantia perforata anterior in ihre beiden Endäste **A. cerebri anterior**[7] und **A. cerebri media**[6]. Dieser beschriebene S-förmige Verlauf wird als **Karotissiphon** bezeichnet. In ihrem letzten Teilstück (Pars cerebralis) gibt die A. carotis interna die **A. hypophysialis superior** für das Hypophysen-Pfortadersystem (S. 526), die **A. ophthalmica**[3] in die Orbita, die **A. communicans posterior**[4] zur Verbindung mit der A. cerebri posterior und die **A. choroidea anterior**[5] ab. Die A. choroidea anterior versorgt die basalen Großhirnanteile in der Umgebung des

Hippocampus und den Plexus choroideus im Unterhorn der Seitenventrikel, wo sie mit den Rr. choroidei posteriores anastomosiert (s. ▶ **Abb. 19.59**).

Stromgebiet der Arteria cerebri anterior

Die A. cerebri anterior zieht oberhalb des N. opticus nach medial, wo sie über die **A. communicans anterior** mit der A. cerebri anterior der Gegenseite verbunden ist. Unmittelbar vorher gibt sie die **A. striata medialis** ab, die auch als A. recurrens Heubneri (▶ **Abb. 19.57**[3]) bezeichnet wird, welche die vorderen Teile vom Striatum und Capsula interna versorgt. Anschließend zieht die A. cerebri anterior in der Fissura longitudinalis nach vorne und weiter über das Corpus callosum, wo sie sich in die über dem Balken verlaufende **A. pericallosa** und die im Sulcus cinguli liegende **A. callosomarginalis** aufteilt. Die A. cerebri anterior versorgt vor allem die mediale Seite des Frontal- und Parietallappens sowie das Corpus callosum. Hierzu gehören der supplementäre motorische Cortex und der Gyrus cinguli sowie die medialen Anteile des primären motorischen und somatosensorischen Cortex (▶ **Abb. 19.59**).

Ein **Infarkt im Versorgungsgebiet der A. cerebri anterior** hat eine Lähmung und sensible Ausfälle im kontralateralen Bein zur Folge, da die Beine auf der medialen Oberfläche des sensorischen und motorischen Cortex repräsentiert sind (s. ▶ **Abb. 19.26**).

Stromgebiet der Arteria cerebri media

Die A. cerebri media zieht nach lateral in den Sulcus lateralis (Sylvii) und gibt in ihrem Verlauf **Aa. centrales anterolaterales** (Aa. lenticulostriatae) zur Versorgung von Striatum, Pallidum und Capsula interna ab. Im Sulcus lateralis (Sylvii) zweigen Arterien zur Versorgung der **Insel** (Aa. insulares) sowie der Außenfläche von **Frontallappen** (A. frontobasalis lateralis, A. prefrontalis, A. sulci precentralis, A. sulci centralis), **Parietallappen** (A. sulci postcentralis, Aa. parietales anterior und posterior) und **Temporallappen** (Rr. temporales) ab (▶ **Abb. 19.59**).

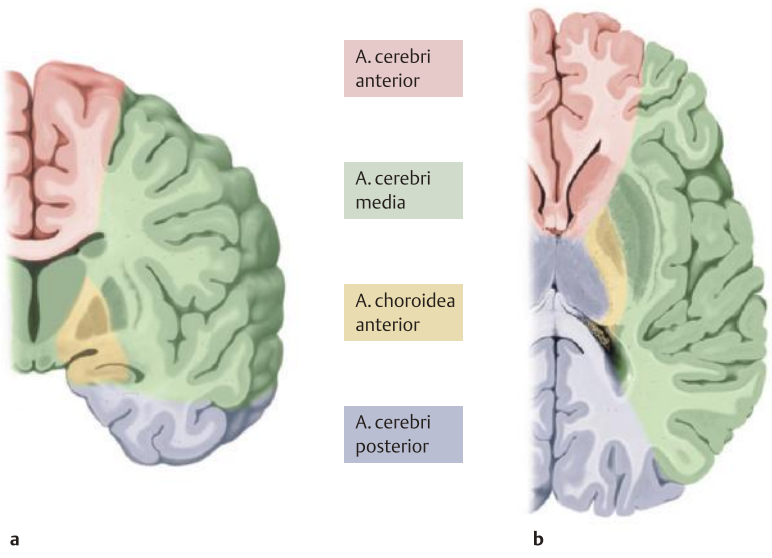


Abb. 19.59 Versorgungsgebiete der großen Hirnarterien. Frontalschnitt auf Höhe der Corpora mammillaria (**a**) und Horizontalschnitt auf Höhe der Capsula interna (**b**). (nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die kräftigste **A. centralis anterolateralis** wurde von Charcot als „Arterie der **Hirnblutungen**“ bezeichnet, da sie bei Bluthochdruck besonders leicht reißt. Blutungen betreffen die Basalkerne und die Capsula interna, wo sie zu kontralateralen spastischen Lähmungen und Sensibilitätsausfällen führen können.

Durchblutungsstörungen der A. cerebri media haben ebenfalls eine kontralaterale spastische Lähmung und Sensibilitätsausfälle zur Folge, die in diesem Fall **Gesicht** und **Arme** betreffen. Liegt der Ausfall auf der sprachdominanten Seite, so tritt außerdem eine **Aphasie** auf. Wenn die Sehstrahlung mitbetroffen ist, kommt es zusätzlich zu einer **Hemianopsie** zur Gegenseite.

Circulus arteriosus cerebri (Willisii)

Die Stromgebiete der beiden Aa. carotides internae und der A. basilaris sind an der Hirnbasis über die A. communicans anterior und die beiden Aa. communicantes posteriores zu einem Anastomosenkreis miteinander verbunden (Circulus arteriosus cerebri [Willisii]; s. ▶ **Abb. 19.57** und ▶ **Abb. 20.5**). Er ermöglicht, dass einzelne Gehirnteile über Umgehungskreisläufe versorgt werden können, wenn eine Arterie verengt ist. Außerdem bilden auch die kortikalen Arterien zahlreiche Anastomosen, sodass die Versorgung von Teilen der Großhirnrinde durch andere Gefäße übernommen werden kann.

An Abzweigungen in der Nähe des Circulus arteriosus cerebri, insbesondere im Bereich der A. communicans anterior, können angeborene Gefäßerweiterungen mit Wandschwäche (**Aneurysmen**) auftreten. Sie sind symptomlos, können aber bei Anstrengung reißen und in den Subarachnoidalraum bluten, wo sich das Blut relativ gut ausbreiten kann. Solche **Subarachnoidalblutungen** führen durch Reizung der Meningen zu einem plötzlichen, vernichtenden Kopfschmerz und Nackensteifigkeit.

Rückenmarkarterien (▶ Abb. 19.60)

Die beiden Aa. vertebrales[2] geben kurz vor ihrer Vereinigung zur A. basilaris[1] 2 Aa. spinales anteriores ab, die zum Rückenmark zurück ziehen und sich Y-förmig zur unpaaren **A. spinalis anterior**[3] verbinden. Diese begleitet das gesamte Rückenmark am Vorderrand der Fissura mediana anterior und versorgt über Endarterien, die Aa. sulcocommissurales, Vorderhörner, Vorderseitenstrang, Teile der Hinterhörner sowie die Vorderwurzeln der Spinalnerven.

Die beiden **Aa. spinales posteriores**[4] entspringen entweder aus der A. vertebralis oder aus der A. inferior posterior cerebelli. Sie bleiben paarig, verlaufen dorsal an der Grenze zwischen Hinterwurzeln und Seitensträngen und versorgen die Hinterhörner und Hinterstränge. Das Blut aus den Aa. vertebrales reicht nur zur Versorgung des oberen Zervikalmarks. Deswegen erhalten die Spinalarterien Zuflüsse aus Segmentarterien[5], die am Hals aus den **Aa. vertebrales**[2] und den **Aa. cervicales ascendentes**[6], im Brustbereich aus den **Aa. intercostales posteriores**[8] und im Lendenbereich aus den **Aa. lumbales**[10] entspringen. Diese **Rr. spinales**[5] versorgen die Wirbel und geben außerdem je eine **A. radicularis posterior** und **anterior** ab, welche die hinteren und vorderen Wurzeln der Spinalnerven begleiten und zum Rückenmark ziehen. Die meisten dieser Aa. radiculares sind nur dünn und versorgen lediglich die Nervenwurzeln. Etwa 6 vordere und 7 hintere **Aa. radiculares** auf jeder Seite sind dicker und bilden Zuflüsse zur A. spinalis anterior bzw. posterior. Die kräftigste A. radicularis anterior befindet sich üblicherweise in der unteren Brust- oder oberen Lendenregion und wird als **A. radicularis magna**[9] (**Adamkiewicz**) bezeichnet.

Durchblutungsstörungen im Versorgungsgebiet der **A. spinalis anterior** führen durch Schädigung der Vorderhörner zu schlaffen Lähmungen und durch Untergang der kreuzenden Fasern in der Commissura alba zu einem Ausfall der Schmerz- und Temperaturempfindung. Die Lokalisation der Symptome hängt von der Höhe der Schädigung ab. Infarkte der Aa. spinales posteriores sind seltener und gehen mit Störungen der epikritischen Sensibilität und der Propriozeption (Ausfall der Hinterstränge) kaudal der Schädigung einher.

19.7.4 Venöser Abfluss (▶ Abb. 19.61)

Oberflächliche und tiefe Venen drainieren das Blut aus dem Gehirn in die zwischen Periost und Dura mater liegenden **Sinus durae matris**: Sinus sagittalis superior und inferior, Sinus rectus, Sinus transversus sowie Sinus sigmoideus. Letzterer mündet in die V. jugularis interna. Über den **Sinus cavernosus** fließt das Blut aus der Orbita ab. Verletzungen der Brückenvenen können zu **Subduralblutungen** führen.

Im Gegensatz zum übrigen Körper haben die Hirnvenen weder Klappen noch Muskulatur. Man unterscheidet zwischen oberflächlichen und tiefen Venen.

Die **oberflächlichen Venen** (**Vv. superficiales cerebri**) verlaufen zusammen mit den Arterien in den Hirnfurchen, sind größer und zahlreicher als die Arterien und drainieren das Blut aus Hirnrinde und weißer Substanz. Zu ihnen gehören die 8–12 **Vv. superiores cerebri**, die sich vor allem in den Sinus sagittalis superior[1] und inferior[2] entleeren, sowie die **V. media superficialis cerebri**, deren Blut über den Sinus cavernosus[20] abfließt. Als **Brückenvenen** bezeichnet man die kurze Strecke, die diese Venen zwischen Arachnoidea mater und Dura mater verlaufen, bevor sie in die venösen Sinus einmünden (s. ▶ Abb. 19.53[13]).

Ein **Schütteltrauma**, bei dem der Kopf eines Säuglings nach vorne und hinten schlägt und jeweils in der Extremposition abrupt gebremst wird, kann zu Abrissen der Brückenvenen und zu **Subduralblutungen** führen.

Die wichtigsten **tiefen Venen** (**Vv. profundae cerebri**, s. ▶ Abb. 20.17) sind V. interna cerebri, V. basalis und V. magna cerebri[29] (Galen). Die paarige **V. interna cerebri** verläuft im Dach des III. Ventrikels, nimmt das Blut aus Thalamus, Striatum, Plexus choroideus und Septum pellucidum auf und drainiert in die V. magna cerebri. Die ebenfalls paarige **V. basalis** beginnt in der Gegend der Substantia perforata, zieht um die Crura cerebri und

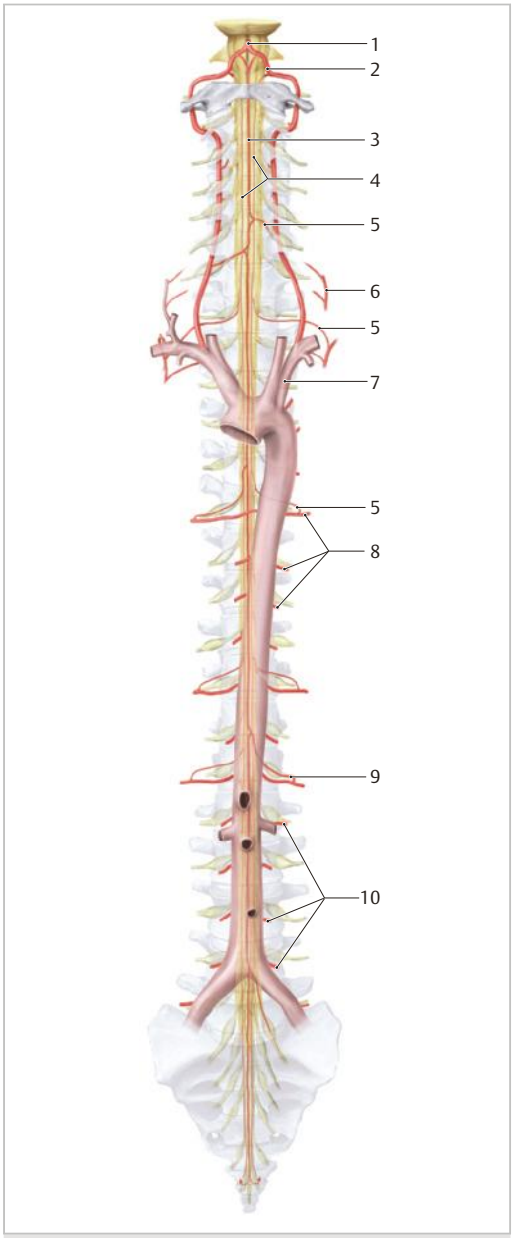


Abb. 19.60 Arterienversorgung des Rückenmarks.
1 A. basilaris
2 A. vertebralis
3 A. spinalis anterior
4 Aa. spinales posteriores
5 Segmentarterien = Rr. spinales
6 A. cervicalis ascendens
7 A. subclavia
8 Aa. intercostales posteriores
9 A. radicularis magna
10 Aa. lumbales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 201)

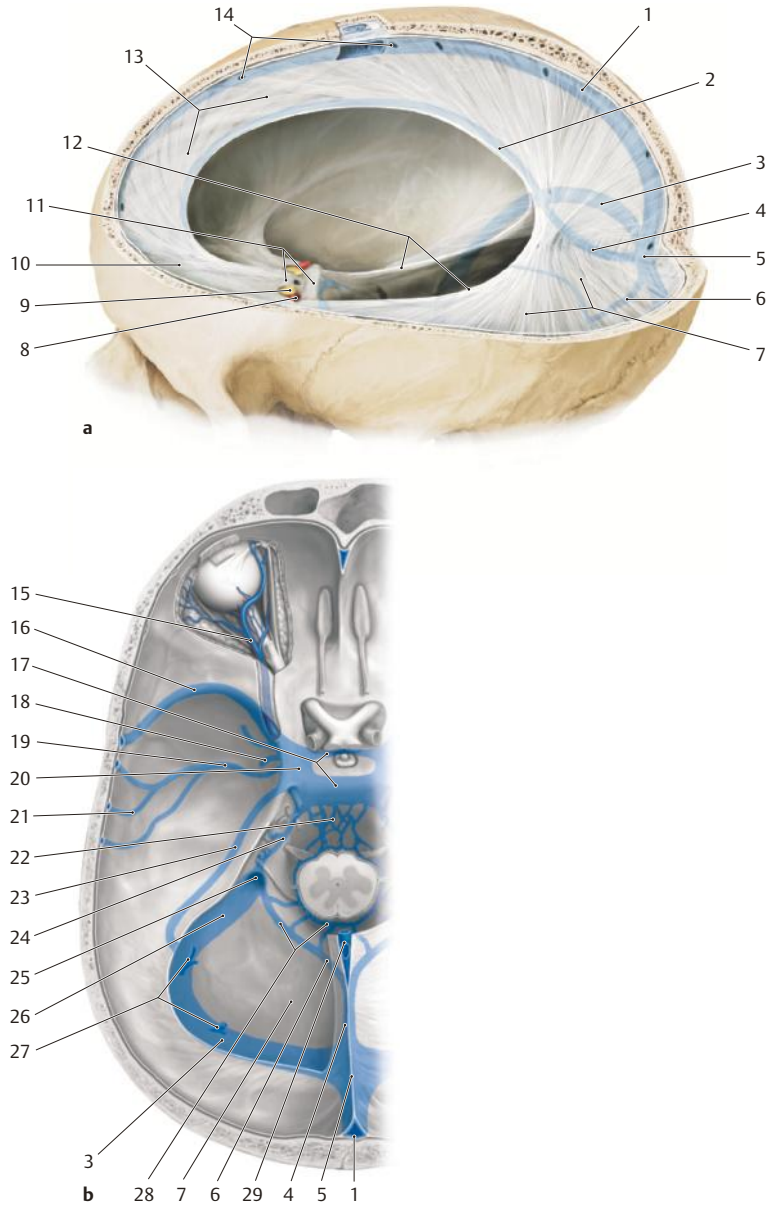


Abb. 19.61 Duraduplikaturen und venöse Sinus von schräg links vorn (**a**) und von oben (**b**).

1 Sinus sagittalis superior
2 Sinus sagittalis inferior
3 Sinus transversus
4 Sinus rectus
5 Confluens sinuum
6 Sinus occipitalis
7 Tentorium cerebelli
8 A. carotis interna
9 N. opticus
10 Crista galli
11 Diaphragma sellae
12 Incisura tentorii
13 Falx cerebri
14 Einmündungen der Brückenvenen
15 V. ophthalmica superior
16 Sinus sphenoparietalis
17 Sinus intercavernosus ant. und post.
18 Plexus venosus foraminis ovalis
19 Sinus petrosquamosus
20 Sinus cavernosus
21 V. meningea media
22 Plexus basilaris
23 Sinus petrosus superior
24 Sinus petrosus inferior
25 Foramen jugulare
26 Sinus sigmoideus
27 Vv. inferiores cerebri
28 Sinus marginalis
29 V. magna cerebri
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

endet ebenfalls in der V. magna cerebri. Sie erhält Zuflüsse aus den medialen und unteren Anteilen von Frontal- und Temporallappen, Inselrinde, Hypothalamus, und Mesencephalon. Die unpaare **V. magna cerebri**[29] liegt unter dem Splenium corporis callosi und mündet in den Sinus rectus[4].

Die weitlumigen venösen Blutleiter (**Sinus durae matris**) verlaufen zwischen Periost und Dura mater. Am Unterrand der Falx cerebri[13] zwischen den beiden Hemisphären liegt der **Sinus sagittalis inferior**[2], der in den **Sinus rectus**[4] mündet. Der **Sinus sagittalis superior**[1] verläuft am Oberrand der Falx cerebri. Die Stelle, wo sich der Sinus sagittalis

superior mit dem Sinus rectus vereinigt, wird als **Confluens sinuum**[5] bezeichnet, der auch Blut aus dem kleineren, am Rand der Falx cerebelli liegenden Sinus occipitalis[6] aufnimmt. Vom Confluens sinuum fließt das Blut über den paarigen, am Innenrand des **Tentorium cerebelli**[7] verlaufenden **Sinus transversus**[3] in den S-förmigen **Sinus sigmoideus**[26], der sich nach Durchtritt durch das Foramen jugulare[25] in die **V. jugularis interna** fortsetzt. Der Zusammenfluss von Sinus sagittalis superior und Sinus rectus variiert interindividuell stark; in der Mehrzahl der Fälle entleert sich der Sinus sagittalis superior hauptsächlich in den rechten Sinus transversus, während der Sinus rectus vor allem über den linken Sinus transversus abfließt. Daher ist die rechte V. jugularis interna in der Regel dicker als die linke.

Das Blut aus der V. ophthalmica superior[15] und der V. media superficialis cerebri, zum Teil auch aus der V. ophthalmica inferior gelangt in den **Sinus cavernosus**[20]. Dieser besteht aus Venengeflechten auf beiden Seiten des Körpers des Os sphenoidale, die am Vorder- und Hinterrand des Diaphragma sellae[11] miteinander verbunden sind. Der Sinus cavernosus entleert sich über 2 am Ober- und Unterrand der Pars petrosa ossis temporalis verlaufende Sinus: über den **Sinus petrosus superior**[23] in den Sinus transversus und über den **Sinus petrosus inferior**[24] in die V. jugularis interna. Der Sinus cavernosus wird von der A. carotis interna und dem N. abducens durchzogen; außerdem verlaufen der N. oculomotorius, N. trochlearis, N. ophthalmicus und der N. maxillaris in seiner lateralen Wand.

Als **Vv. emissariae** werden Venen bezeichnet, welche die Sinus durae matris mit Venen außerhalb der Schädelhöhle verbinden. Hierzu gehören die Vv. ophthalmicae, vor allem aber diejenigen Vv. emissariae, die den Processus mastoideus und das Os parietale durchziehen, sowie die Diploevenen (**Vv. diploicae**), die in der Spongiosa des Schädelknochens liegen und sowohl in die Sinus durae matris als auch in die Venen der äußeren Kopfschwarte drainieren (s. ▶ **Abb. 19.53**[15, 18]).

Der venöse Abfluss aus dem **Rückenmark** verläuft über die Venenplexus im Epiduralraum (s. ▶ **Abb. 19.54**[2]).

Gerinnungsstörungen, eine Mittelohrentzündung oder auch Verletzungen können zu einer **Sinusthrombose** führen, deren typische Symptome Kopfschmerzen, Krampfanfälle und fortschreitende neurologische Defizite sind.

Bei Infektionen im Gesicht können Erreger über die orbitalen Venen, die Vv. ophthalmicae und die V. angularis in den Sinus cavernosus gelangen und eine **septische Kavernosusthrombose** hervorrufen. Durch einen gestörten venösen Abfluss kommt es dann zu Druck auf N. oculomotorius (III), N. trochlearis (IV) und N. abducens (VI) mit Augenmuskellähmungen und geröteten, hervortretenden Augen (Exophthalmus).

Verletzungen können zu einer Verbindung zwischen A. carotis interna und Sinus cavernosus führen (**arteriovenöse Fistel**), die mit einem pulsierenden Exophthalmus und einer Augenrötung einhergeht.

Wenn bei einem Schädel-Hirn-Trauma Venen, insbesondere Brückenvenen, verletzt werden, kommt es zu einer **Subduralblutung**. Aufgrund des niedrigen Drucks in den Venen entwickeln sich klinische Symptome nur langsam, es kommt häufig zu einem symptomfreien Intervall (bis zu 2 Wochen) zwischen dem anfänglichen Bewusstseinsverlust und der blutungsbedingten Hirndrucksymptomatik.

19.7.5 Liquorzirkulation (▶ Abb. 19.56)

Der **Liquor cerebrospinalis** wird in den **Plexus choroidei** gebildet, durchströmt die Hirnventrikel (**innere Liquorräume**) und fließt dann in den **Subarachnoidalraum** (**äußere Liquorräume**), wo er Hirn und Rückenmark umgibt und hauptsächlich in den **Granulationes arachnoideae** rückresorbiert wird.

Die Gehirn- und Rückenmarkflüssigkeit (**Liquor cerebrospinalis**) dient vor allem dem mechanischen Schutz. Da das Gehirn im Liquor schwimmt, wird sein effektives Gewicht von 1500 g auf nur 50 g reduziert. Ohne den Liquor

würde jeder Schritt zu einer Gehirnerschütterung führen. Der konstante Flüssigkeitsstrom des Liquors im Ventrikelsystem und an der Hirnoberfläche dient außerdem der Versorgung des Hirns mit Nährstoffen und der Entsorgung von Abfallprodukten.

Hauptproduktionsorte des Liquor cerebrospinalis sind die **Plexus choroidei**, Einstülpungen von Kapillaren in das Ventrikelsystem mit zahlreichen Zotten zur Oberflächenvergrößerung. Sie sind zu den Ventrikeln hin von **Plexusepithelzellen** ausgekleidet, spezialisierten Ependymzellen, die durch Tight Junctions miteinander verbunden sind. Nur bestimmte Substanzen können diese **Blut-Liquor-Schranke** passieren. Das Gesamtvolumen des Liquors beträgt etwa 150 ml, von denen sich etwas weniger als ein Viertel in den Ventrikeln befindet. Täglich werden etwa 500 ml Liquor produziert, sodass der Liquor etwa viermal täglich erneuert wird.

Plexus choroidei (▶ **Abb. 19.56**[4, 5, 11]) befinden sich an folgenden Stellen:

- am Boden der Pars centralis und im Dach des Unterhorns der Seitenventrikel[4],
- im Dach des III. Ventrikels[5],
- in der Hinterwand des IV. Ventrikels unterhalb des Kleinhirns[11].

Aus den **Seitenventrikeln** fließt der Liquor cerebrospinalis durch eine halbmondförmige Öffnung zwischen Fornix und vorderem Thalamus (**Foramen interventriculare Monroi**[24]) in den **III. Ventrikel**. Über den **Aqueductus mesencephali**[8] gelangt er weiter in den **IV. Ventrikel**. Das Ventrikelsystem setzt sich in den Zentralkanal im unteren „geschlossenen" Teil der Medulla oblongata und im Rückenmark fort.

Unterhalb des Cerebellums im Bereich des **Velum medullare inferius** stülpt sich ein Plexus choroideus in den IV. Ventrikel vor[11]. Zu beiden Seiten bildet der IV. Ventrikel laterale Ausziehungen, die **Recessus laterales** (s. ▶ **Abb. 19.15**[39]), an deren Ende sich jeweils eine Öffnung befindet, die **Apertura lateralis** (Luschkae). Auf Höhe des Obex befindet sich eine weitere Öffnung, die **Apertura mediana**[13] (Magendi). Durch diese 3 Aperturen verlässt der Liquor die inneren Liquorräume (Ventrikel) und gelang über die Aperturae laterales in die **Cisterna pontocerebellaris** und über die Apertura mediana in die **Cisterna cerebellomedullaris**[12], beides Erweiterungen des Subarachnoidalraums (äußere Liquorräume). Im Subarachnoidalraum umspült der Liquor cerebrospinalis Gehirn und Rückenmark. Er wird vor allem an den Arachnoidalzotten (**Granulationes arachnoideae**[3]; ▶ **Abb. 19.53**[8]), aber auch entlang der **Perineuralscheiden**[16] der peripheren Nerven (Spinal- und Hirnnerven) in das venöse System rückresorbiert.



Die **Liquordiagnostik** spielt vor allem bei Verdacht auf eine Meningitis eine wichtige Rolle zum Nachweis von Erregern und Leukozyten. Bei einer Subarachnoidalblutung finden sich Erythrozyten im Liquor, die multiple Sklerose führt zu Veränderungen seiner Proteinzusammensetzung.

Eine Vermehrung des Liquor cerebrospinalis wird als **Hydrocephalus** bezeichnet. Abflussstörungen an den Engstellen (Aquädukt, Aperturen) aufgrund von Tumoren, Blutungen oder Entzündungen führen zu einer Erweiterung der Ventrikel (**Hydrocephalus internus**). Eine Vergrößerung des Subarachnoidalraums (**Hydrocephalus externus**) findet sich vor allem bei einer Verminderung der Hirnmasse (Atrophie). Verklebungen der Arachnoidalzotten infolge von Meningitis oder Subarachnoidalblutung führen zur Störungen der Liquorrückresorption und haben eine Erweiterung der inneren und der äußeren Liquorräume zur Folge (**Hydrocephalus malresorptivus**).

Eine Form des angeborenen Hydrozephalus ist das **Arnold-Chiari-Syndrom**, bei dem die hintere Schädelgrube zu klein ausgebildet ist, sodass die Kleinhirntonsillen in das Foramen occipitale magnum gepresst werden und die Liquorzirkulation behindern können. Es ist häufig mit einer Spina bifida kombiniert.

Frakturen des Os ethmoidale, Os sphenoidale oder des Felsenbeins mit einer **Zerreißung der Hirnhäute** (**offene Hirnverletzung**) können zu einem Liquorfluss aus Nase oder Ohr führen (**Liquorfistel**). Hierbei besteht die Gefahr einer Infektion (Meningitis).

Teil 5

Anhang

20 Systematik der Muskeln und Leitungsbahnen *596*

20 Systematik der Muskeln und Leitungsbahnen

Nach: H. Frick, H. Leonhardt, D. Starck (unter Mitwirkung von W. Kuhnel, R. Putz): Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Band 2, 4. Aufl., Thieme 1992

20.1 Systematik der quergestreiften Muskeln

I = Innervation [Segmentbezug, mod. nach Hansen u. Schliack]
U = Ursprung
A = Ansatz
F = Funktion

20.1.1 Muskulatur der oberen Extremität

Muskulatur des Schultergürtels: dorsale Muskeln

M. trapezius
I: N. accessorius, Plexus cervicalis [C 2–4]
U: Linea nuchalis oder superior, Protuberantia occipitalis externa, Lig. nuchae, Processus spinosi des 2.–7. Halswirbels und des 1.–12. Brustwirbels
A: *Pars descendens:* laterales Drittel der Clavicula; *Pars transversa:* Acromion; *Pars ascendens:* Spina scapulae
F: Der *Gesamtmuskel* dreht die Scapula so, dass der Angulus inferior nach lateral geschwenkt wird und die Cavitas glenoidalis nach lateral kranial blickt (Voraussetzung für die Elevation des Arms). Die *Pars descendens* zieht die Scapula nach kranial und etwas nach medial, dreht dabei den Angulus lateralis etwas nach medial kranial, wirkt einem abwärts gerichteten Zug des Arms entgegen (Koffer tragen). Bei fixiertem Schultergürtel dreht die Pars descendens Kopf und Halswirbelsäule nach der Gegenseite, bei beidseitiger Kontraktion wird die Halswirbelsäule gestreckt. Die *Pars transversa* adduziert die Scapula, die *Pars ascendens* zieht sie nach medial kaudal

M. levator scapulae
I: N. dorsalis scapulae [C 3–5]
U: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 1.–4. Halswirbels
A: Angulus superior scapulae
F: zieht die Scapula nach medial kranial, streckt bei festgestelltem Schultergürtel die Halswirbelsäule

M. rhomboideus
I: N. dorsalis scapulae [C 4, 5]
U: Processus spinosi des 6. Hals- bis 4. Brustwirbels
A: Margo medialis scapulae (kaudal der Spina scapulae)
F: zieht die Scapula nach medial kranial, dreht den Angulus inferior nach medial, fixiert gemeinsam mit dem M. serratus anterior die Scapula am Thorax

M. serratus anterior
I: N. thoracicus longus [C 5–7 (8)]
U: 1.-8. (9.) Rippe
A: Margo medialis scapulae (Unterfläche), Angulus superior und Angulus inferior scapulae
F: *Gesamtmuskel* schiebt die Scapula auf dem Thorax nach lateral und ventral, hält sie gemeinsam mit dem M. rhomboideus an der Brustwand. Die *Pars inferior* dreht den Angulus inferior nach lateral kranial, sodass die Cavitas glenoidalis schräg nach oben blickt (Voraussetzung für die Elevation des Arms). Bei festgestelltem Schultergürtel können die aufsteigenden kaudalen Zacken die Rippen heben (Inspiration)

Muskulatur des Schultergürtels: ventrale Muskeln

M. subclavius
I: N. subclavius [C(4) 5, 6]
U: 1. Rippe (Knochen-Knorpel-Grenze)
A: Clavicula (laterales Drittel der Unterfläche)
F: zieht die Clavicula zum Sternum, leistet also Widerstand gegen Zug nach lateral, kann die Clavicula nur geringfügig senken. Schutzpolster für die Vasa subclavia

M. pectoralis minor
I: Nn. pectorales medialis und lateralis [C 6–8 (Th 1)]
U: 3.–5. Rippe (lateral der Knochen-Knorpel-Grenze)
A: Processus coracoideus
F: senkt die Scapula, kippt sie nach vorn und schwenkt den nach ventrolateral gedrehten Angulus inferior zurück. Wirkt bei festgestelltem Schultergürtel als Rippenheber (zusätzlicher Inspirationsmuskel)

Muskulatur des Schultergelenks: Rotatorenmanschette

M. infraspinatus
I: N. suprascapularis [C 4–6]
U: Fossa infraspinata
A: Tuberculum majus humeri (mittlere Facette)
F: wichtigster Außenrotator des Schultergelenks; spannt die Gelenkkapsel. Bei seitwärts erhobenem Arm kann sich der M. infraspinatus an der Abduktion beteiligen, bei herabhängendem Arm ist der M. infraspinatus ein schwacher Adduktor

M. teres minor
I: N. axillaris [C 5, 6]
U: Margo lateralis scapulae

A: Tuberculum majus humeri (hintere Facette), Kapsel des Schultergelenks
F: rotiert im Schultergelenk auswärts, spannt die Gelenkkapsel, kann bei der Abduktion des Oberarms mitwirken

M. supraspinatus
I: N. suprascapularis [C 4–6]
U: Fossa supraspinata
A: Tuberculum majus humeri (vordere Facette)
F: unterstützt den M. deltoideus bei der Abduktion des Oberarms, rotiert aus der Normalstellung geringfügig auswärts, bei antevertiertem Arm etwas einwärts; spannt die Gelenkkapsel

M. subscapularis
I: N. subscapularis [C 5, 6 (7,8)]
U: Fossa subscapularis
A: Tuberculum minus humeri
F: wichtigster Innenrotator des Schultergelenks, spannt die Gelenkkapsel, unterstützt die Adduktion des Oberarms

Muskulatur des Schultergelenks: ventrale Gruppe

M. pectoralis major
I: Nn. pectorales medialis und lateralis [C 5–8]
U: *Pars clavicularis:* Clavicula (sternale Hälfte); *Pars sternocostalis:* Sternum, (1.) 2.–7. Rippenknorpel; *Pars abdominalis:* vorderes Blatt der Rektusscheide
A: Crista tuberculi majoris humeri (Pars clavicularis distal, Pars abdominalis proximal)
F: adduziert den Arm (besonders kraftvoll aus der Elevationsstellung), rotiert ihn einwärts. Die *Pars clavicularis* wirkt bei der Anteversion mit, die *Pars abdominalis* kann die Schulter senken. Bei fixiertem Arm zieht der Gesamtmuskel den Rumpf an den Arm (Treppensteigen, Klettern), die *Pars sternocostalis* kann die Rippen heben (zusätzlicher Inspirationsmuskel)

M. coracobrachialis
I: N. musculocutaneus [C 6, 7]
U: Processus coracoideus
A: Humerus (Facies anterior medialis, etwas proximal von und in Höhe der Tuberositas deltoidea)
F: Haltemuskel, der den Kontakt der Gelenkflächen im Schultergelenk sichert und den Arm in die Normalstellung zurückzuführen hilft. Außerdem wirkt er bei der Anteversion mit

Muskulatur des Schultergelenks: dorsale Gruppe

M. deltoideus
I: N. axillaris [C 4–6]
U: Clavicula (laterales Drittel), Acromion, Spina scapulae (Unterrand)
A: Tuberositas deltoidea
F: Die *Pars acromialis* abduziert den Oberarm, hilft in Normalstellung mit, die Last des Arms zu tragen. Bei herabhängendem Arm wirkt die *Pars clavicularis* als schwacher Innenrotator, die *Pars spinalis* als schwacher Außenrotator. Letztere beide Muskelteile unterstützen die Adduktion. Bei über 60° abduziertem Arm unterstützen sie die Pars acromialis bei der Abduktion. Gemeinsam mit der Pars acromialis führt die Pars clavicularis den Arm nach vorn (Anteversion), die Pars spinalis nach hinten (Retroversion)

M. latissimus dorsi
I: N. thoracodorsalis [C 6–8]
U: Processus spinosi des 7.–12. Brustwirbels und Lig. supraspinale, Processus spinosi des 1.–5. Lendenwirbels und Fascia thoracolumbalis, Os sacrum (Facies dorsalis), Crista iliaca (dorsales Drittel), (9.) 10.–12. Rippe, häufig auch Ursprungszacke vom Angulus inferior scapulae
A: Crista tuberculi minoris (wie auch M. teres major)
F: adduziert den Arm, rotiert ihn einwärts und beteiligt sich an der Retroversion. Bei fixiertem Arm kann der Muskel den Rumpf an den Arm heranziehen (Treppensteigen, Klettern) sowie mit der lateralen Randpartie die Brustkyphose verstärken, d. h. als zusätzlicher Exspirationsmuskel wirken

M. teres major
I: N. thoracodorsalis, gelegentlich auch N. subscapularis [C 5–7 (8)]
U: Angulus inferior scapulae
A: mediales Feld des Sulcus intertubercularis, angrenzend an die Crista tuberculi minoris humeri
F: adduziert den Arm, führt ihn nach hinten (Retroversion) und wirkt bei der Innenrotation mit

Muskulatur des Ellenbogengelenks: Extensoren

M. triceps brachii
I: N. radialis [C 6–8]
U: *Caput longum:* Tuberculum infraglenoidale scapulae; *Caput mediale:* Facies posterior humeri (medial und distal des Sulcus nervi radialis); *Caput laterale:* Facies posterior humeri (lateral und proximal des Sulcus nervi radialis)
A: Olecranon
F: *Gesamtmuskel* streckt das Ellenbogengelenk Das *Caput longum* kann den nach vorn erhobenen Arm nach hinten ziehen sowie bei der Adduktion im Schultergelenk mitwirken

M. articularis cubiti (abgrenzbare tiefe Fasern des M. triceps brachii)
A: Kapsel des Ellenbogengelenks

M. anconaeus
I: N. radialis [C 7, 8]
U: Epicondylus lateralis humeri, Kapsel des Ellenbogengelenks, Lig. collaterale radiale

A: Facies posterior ulnae (proximales Viertel)
F: hilft bei der Streckung im Ellenbogengelenk mit, verhindert eine Einklemmung der Gelenkkapsel

Muskulatur des Ellenbogengelenks: Flexoren

M. biceps brachii
I: *N.* musculocutaneus [C 5, 6]
U: *Caput longum:* Tuberculum supraglenoidale scapulae; *Caput breve:* Processus coracoideus
A: Tuberositas radii, Fascia antebrachii (über die Aponeurosis musculi bicipitis brachii)
F: *Gesamtmuskel* supiniert den Unterarm und beugt im Ellenbogengelenk. Das *Caput longum* unterstützt die Abduktion, das *Caput breve* die Adduktion im Schultergelenk

M. brachialis
I: N. musculocutaneus [C 5, 6]
U: Facies anteriores medialis und lateralis humeri (distal der Tuberositas deltoidea)
A: Tuberositas ulnae
F: beugt im Ellenbogengelenk

Muskulatur des Unterarms und der Hand: radiale Muskeln

M. brachioradialis
I: N. radialis [C 5, 6 (7)]
U: Margo lateralis humeri (proximal vom Epicondylus lateralis), Septum intermusculare brachii laterale
A: Processus styloideus radii
F: beugt im Ellenbogengelenk, supiniert bei gestrecktem Unterarm aus der Pronationsstellung geringgradig, proniert bei gebeugtem Arm aus der Supinationsstellung bis zur Mittelstellung

M. extensor carpi radialis longus
I: N. radialis [C(5) 6, 7]
U: Margo lateralis humeri (distal vom Ursprung des M. brachioradialis), Septum intermusculare brachii laterale
A: Os metacarpale II (Basis)
F: wirkt bei der Beugung des Ellenbogengelenks und bei der Dorsalextension der Hand mit, abduziert die Hand (gemeinsam mit dem M. flexor carpi radialis) nach radial. Proniert geringfügig bei gebeugtem Unterarm aus äußerster Supinationsstellung

M. extensor carpi radialis brevis
I: R. profundus nervi radialis [C(5) 6, 7]
U: Epicondylus lateralis humeri, Lig. anulare radii
A: Os metacarpale III (Processus styloideus)
F: flektiert die Hand dorsalwärts (Extension), geringe Mitwirkung bei der Radialabduktion der Hand

Muskulatur des Unterarms und der Hand: Extensoren

M. extensor carpi ulnaris
I: R. profundus nervi radialis [C(6) 7, 8]
U: *Caput humerale:* Epicondylus lateralis humeri, Lig. collaterale radiale; *Caput ulnare:* Facies posterior ulnae, Fascia antebrachii
A: Os metacarpale V (Basis)
F: wirkt auch bei der Dorsalextension, vor allem aber bei der Ulnarabduktion der Hand mit, spannt sich bei der Radialabduktion des Daumens reflektorisch an und verhindert dadurch, dass die Hand durch die Daumenbewegung ebenfalls nach radial abduziert wird

M. extensor digitorum
I: R. profundus nervi radialis [C 6–8]
U: Epicondylus lateralis humeri, Ligg. collaterale radiale und anulare radii, Fascia antebrachii
A: Dorsalaponeurosen des 2.–5. Fingers
F: streckt Hand- und Fingergelenke, spreizt die geschlossenen und adduziert die gespreizten Finger auf eine Mittelstellung

M. extensor digiti minimi
I: R. profundus nervi radialis [C(6) 7, 8]
U: gleicher Ursprung wie der M. extensor digitorum, nur durch ein Sehnenblatt getrennt
A: Dorsalaponeurose des 5. Fingers
F: streckt den 5. Finger

M. supinator
I: R. profundus nervi radialis [C(5) 6, 7]
U: Epicondylus lateralis humeri, Ligg. collaterale radial und anulare radii, Crista musculi supinatoris ulnae
A: Facics anterior radii (zwischen Tuberositas radii und Insertionsfeld des M. pronator teres)
F: supiniert unabhängig von der Stellung des Ellenbogengelenks in den Radioulnargelenken

M. abductor pollicis longus
I: R. profundus nervi radialis [C 6–8]
U: Facies posterior radii, Membrana interossea antebrachii (jeweils 2. und 3. Viertel), Facies posterior ulnae (nahe Margo interosseus)
A: Os metacarpale I (Basis)
F: abduziert die Hand und den Daumen nach radial, reponiert den opponierten Daumen, beugt etwas in den Handgelenken

M. extensor pollicis brevis
I: R. profundus nervi radialis [C 6–8]
U: Facies posterior radii, Membrana interossea antebrachii (distal an den M. abductor pollicis longus anschließend)
A: Grundphalanx des Daumens (Basis)
F: abduziert radialwärts in den Handgelenken und im Karpometakarpalgelenk I, wirkt bei der Reposition des Daumens mit, streckt im Daumengrundgelenk

M. extensor pollicis longus
I: R. profundus nervi radialis [C 6–8]
U: Facies posterior ulnae (distal vom M. abductor pollicis longus), Membrana interossea antebrachii (distales Viertel)
A: Endphalanx des Daumens
F: streckt den Daumen und adduziert ihn zum Zeigefinger, wirkt bei der Reposition des opponierten Daumens mit. Der Beitrag zu Dorsalextension und Radialabduktion der Hand ist gering

M. extensor indicis
I: R. profundus nervi radialis [C 6–8]
U: Facies posterior ulnae (distales Viertel)
A: Dorsalaponeurose des Zeigefingers
F: streckt den Zeigefinger und hilft bei der Dorsalextension der Hand mit

Muskulatur des Unterarms und der Hand: Flexoren

M. pronator teres
I: N. medianus, gelegentlich zusätzlich über den N. musculocutaneus [C 6, 7]
U: *Caput humerale:* Epicondylus medialis humeri, Septum intermusculare brachii mediale; *Caput ulnare:* Facies medialis ulnae (zwischen Processus coronoideus und Tuberositas ulnae)
A: Facies lateralis radii (mittleres Drittel)
F: beugt im Ellenbogengelenk und wirkt bei gebeugtem Unterarm als kräftiger Pronator

M. flexor carpi radialis
I: N. medianus [C 6–8]
U: Epicondylus medialis humeri, Fascia antebrachii
A: Basis des Os metacarpale II (und oft auch III)
F: beugt die Hand und abduziert sie zusammen mit dem M. extensor carpi radialis longus radialwärts, proniert den Unterarm (besonders wirkungsvoll bei gestrecktem Ellenbogengelenk)

M. flexor carpi ulnaris
I: N. ulnaris [C 7, 8, Th 1]
U: *Caput humerale:* Epicondylus medialis humeri, Septum intermusculare brachii mediale; *Caput ulnare:* Olecranon, Margo posterior ulnae (erstes und zweites Drittel). Fascia antebrachii
A: Os pisiforme, über das Lig. pisohamatum am Os hamatum, über das Lig. pisometacarpale am Os metacarpale V
F: beugt die Hand und abduziert sie gemeinsam mit dem M. extensor carpi ulnaris ulnarwärts

M. palmaris longus
I: N. medianus [C 7, 8, Th 1]
U: Epicondylus medialis humeri, Fascia antebrachii
A: Palmaraponeurose
F: fehlt bei ca. 20 % der Menschen, spannt die Palmaraponeurose und unterstützt die Palmarflexion der Hand

M. flexor digitorum superficialis
I: N. medianus [C 7, 8, Th 1]
U: *Caput humeroulnare:* Epicondylus medialis humeri, Processus coronoideus ulnae; *Caput radiale:* Facies anterior radii (distal vom Ansatz des M. pronator teres)
A: Basis der Mittelphalangen des 2.–5. Fingers
F: beugt in den Handgelenken sowie in Grund- und Mittelgelenken des 2.–5. Fingers. Die Beugewirkung im Ellenbogengelenk ist unbedeutend

M. flexor digitorum profundus
I: *radialer Anteil des Muskels:* N. interosseus antebrachii anterior (N. medianus), *ulnarer Anteil des Muskels:* N. ulnaris [C 7, 8, Th 1]
U: Facies anterior und medialis ulnae (erstes und zweites Drittel), Membrana interossea antebrachii (proximale Hälfte), Fascia antebrachii
A: Basis der Endphalangen des 2.–5. Fingers
F: beugt in den Handgelenken und allen Gelenken des 2.–5. Fingers

M. flexor pollicis longus
I: N. interosseus antebrachii anterior (N. medianus) [C 6–8]
U: Facies anterior radii (von der Tuberositas radii bis zum proximalen Rand des M. pronator quadratus)
A: Basis der Endphalanx des Daumens
F: beugt die Hand und beide Daumenglieder, kann die Hand geringgradig nach radial abduzieren und wirkt bei der Opposition des Daumens mit

M. pronator quadratus
I: N. interosseus antebrachii anterior (N. medianus) [C 6–8, (Th 1)]
U: Facies anterior ulnae (distales Viertel)
A: Facies anterior radii (distales Viertel)
F: proniert den Unterarm, unabhängig von der Stellung des Ellenbogengelenks

Handmuskulatur: Muskeln des Daumenballens

M. abductor pollicis brevis
I: N. medianus [C(6) 7]
U: Retinaculum flexorum, Tuberculum ossis scaphoidei
A: radiales Sesambein in der Kapsel des Daumengrundgelenks, Grundphalanx (radialer Rand der Basis) und Dorsalaponeurose des Daumens
F: abduziert und beugt im Karpometakarpalgelenk I, dreht dabei das Os metacarpale I radialwärts, kann über die Dorsalaponeurose im Grundgelenk beugen und im Endgelenk strecken

M. opponens pollicis
I: N. medianus [C 6, 7]
U: Retinaculum flexorum, Tuberculum ossis trapezii
A: Radialseite des Os metacarpale I

F: adduziert und opponiert den Daumen, wobei das Os metacarpale I ulnarwärts gedreht wird

M. flexor pollicis brevis
I: *Caput superficiale:* N. medianus; *Caput profundum:* R. profundus nervi ulnaris [C 6, 7]
U: *Caput superficiale:* Retinaculum flexorum; *Caput profundum:* Ossa trapezium, trapezoideum, capitatum und metacarpale I (Basis)
A: radiales Sesambein in der Kapsel des Daumengrundgelenks. Grundphalanx (radialer Rand der Basis) und Dorsalaponeurose des Daumens
F: opponiert im Karpometakarpalgelenk I, beugt im Grundgelenk des Daumens und hilft bei der Streckung der Endphalanx mit. Je nach Ausgangsstellung kann der oberflächliche Kopf den Daumen abduzieren, der tiefe Kopf adduzieren

M. adductor pollicis
I: R. profundus nervi ulnaris [C 8, Th 1]
U: *Caput obliquum:* Ossa capitatum und metacarpale II (Basis), Lig. carpi radiatum; *Caput transversum:* Os metacarpale III (Plantarfläche)
A: ulnares Sesambein in der Kapsel des Daumengrundgelenks, Grundphalanx (ulnarer Rand der Basis) und Dorsalaponeurose des Daumens
F: adduziert den Daumen an den Zeigefinger, opponiert ihn und unterstützt die Beugung im Grundgelenk, hilft über die Dorsalaponeurose bei der Streckung im Endgelenk des Daumens mit

Handmuskulatur: Muskeln des Kleinfingerballens

M. palmaris brevis
I: R. superficialis nervi ulnaris [C 8, Th 1]
U: Palmaraponeurose (Ulnarrand)
A: Haut des Kleinfingerballens
F: festigt den Fettkörper des Kleinfingerballens und schützt Vasa ulnaria und N. ulnaris

M. abductor digiti minimi
I: R. profundus nervi ulnaris [C(7) 8, Th 1]
U: Os pisiforme, Lig. pisohamatum, Retinaculum flexorum
A: Grundphalanx (Ulnarrand der Basis) und Dorsalaponeurose des 5. Fingers
F: abduziert den 5. Finger bei gestrecktem Grundgelenk, beugt die Grundphalanx, hilft über die Dorsalaponeurose bei der Streckung von Mittel- und Endgelenk des 5. Fingers

M. flexor digiti minimi brevis
I: R. profundus nervi ulnaris [C(7) 8, Th 1]
U: Hamulus ossis hamati, Retinaculum flexorum
A: Grundphalanx (Palmarfläche der Basis) und Dorsalaponeurose des 5. Fingers
F: beugt 5. Finger im Grundgelenk, streckt über die Dorsalaponeurose Mittel- und Endphalanx

M. opponens digiti minimi
I: R. profundus nervi ulnaris [C(7) 8, Th 1]
U: Hamulus ossis hamati, Retinaculum flexorum
A: Os metacarpale V (Ulnarrand)
F: hebt das Os metacarpale V palmarwärts an und vertieft so die Wölbung der Hohlhand (Wasserschöpfen)

Handmuskulatur: Muskeln der mittleren Kammer

Mm. lumbricales
I: N. medianus (I, II), N. ulnaris (III, IV) [C 8, Th 1]
U: Sehnen des M. flexor digitorum profundus (radiale Seite)
A: Dorsalaponeurosen des 2.–5. Fingers
F: beugen die Grundphalangen, strecken Mittel- und Endgelenke des 2.–5. Fingers

Mm. interossei palmares
I: R. profundus nervi ulnaris [C 8, Th 1]
U: Os metacarpale II (Ulnarseite), Ossa metacarpi IV und V (Radialseite)
A: Dorsalaponeurosen des 2., 4. und 5. Fingers (I: von radial; II, III: von ulnar)
F: beugen den 2., 4. und 5. Finger im Grundgelenk, strecken in den Mittel- und Endgelenken, adduzieren den betreffenden Finger zur Mittelfingerachse hin (schließen die gespreizten Finger)

Mm. interossei dorsales
I: R. profundus nervi ulnaris [C 8, Th 1]
U: zweiköpfig, jeweils an den einander zugewandten Seitenflächen der Ossa metacarpi I/II, II/III, III/IV und IV/V
A: Dorsalaponeurosen des 2.–4. Fingers (I, II: von radial; III, IV: von ulnar)
F: beugen den 2.–4. Finger jeweils im Grundgelenk, strecken in den Mittel- und Endgelenken, spreizen den 2.–4. Finger von der Mittelfingerachse weg

20.1.2 Muskulatur der unteren Extremität

Hüftmuskulatur: Flexoren

M. iliopsoas
I: Rr. anteriores der Nn. lumbales I–IV, zum M. iliacus auch der N. femoralis [L 1–4]
U: *M. psoas major:* Seitenflächen des 12. Brust- und des 1.–4. Lendenwirbels, Processus costales aller Lendenwirbel; *M. iliacus:* Fossa iliaca, Kapsel des Hüftgelenks (extrapelviner Kopf)
A: Trochanter minor
F: beugt kraftvoll im Hüftgelenk, beteiligt sich an der Adduktion des Oberschenkels und (je nach Ausgangsstellung, Grad der Femurtorsion und des Collum-Diaphysen-Winkels) an Außen- oder Innenrotation. Bei fixiertem Bein zieht der

Muskel die Lendenwirbelsäule seitwärts (einseitige Kontraktion) oder neigt Becken und Lendenwirbelsäule nach vorn (beidseitige Kontraktion)

M. psoas minor
I: Rr. anteriores der Nn. lumbales I–III [L 1–3]
U: Seitenflächen des 12. Brust- und des 1. Lendenwirbels
A: Iliopsoasfaszie, Arcus iliopectineus, Eminentia iliopubica
F: Mitwirkung bei der Vorwärtsbeugung des Rumpfes unerheblich, Muskel fehlt bei etwa der Hälfte der Menschen

Hüftmuskulatur: Extensoren

M. gluteus maximus
I: N. gluteus inferior [L 5, S 1, 2]
U: Ala ossis ilii (hinter der Linea glutealis posterior), Ossa sacrum und coccygis (jeweils Randbereich der Facies dorsalis), Lig. sacrotuberale, Fascia thoracolumbalis
A: Fascia lata, Tractus iliotibialis (kranialer Muskelteil); Tuberositas glutealis, Septum intermusculare femoris laterale (kaudaler Muskelteil)
F: streckt im Hüftgelenk, verhindert bei festgestelltem Oberschenkel, dass das Becken nach vorn kippt; rotiert im Hüftgelenk auswärts und kann mit dem kranialen Teil abduzieren, mit dem kaudalen adduzieren

Hüftmuskulatur: Abduktoren

M. gluteus medius
I: N. gluteus superior [L 4, 5, S 1]
U: Ala ossis ilii (zwischen Crista iliaca, Linea glutealis anterior und Linea glutealis posterior)
A: Trochanter major (Außenfläche der Spitze)
F: abduziert den Oberschenkel und verhindert zusammen mit dem M. gluteus minimus in der Standbeinphase das Absinken des Beckens zur Spielbeinseite. Der vordere Muskelteil beugt im Hüftgelenk und rotiert einwärts, der hintere streckt das Hüftgelenk und rotiert den Oberschenkel nach außen

M. gluteus minimus
I: N. gluteus superior [L 4, 5, S 1]
U: Ala ossis ilii (zwischen Linea glutealis anterior und Linea glutealis inferior)
A: Trochanter major (laterale Kante der Vorderfläche)
F: abduziert den Oberschenkel und verhindert zusammen mit dem M. gluteus medius in der Standbeinphase das Absinken des Beckens zur Spielbeinseite. Der vordere Muskelteil beugt im Hüftgelenk und rotiert einwärts, der hintere Muskelteil streckt und rotiert auswärts

M. tensor fasciae latae
I: N. gluteus superior [L 4, 5, S 1]
U: Spina iliaca anterior superior
A: Fascia lata, Condylus lateralis tibiae (über den Tractus iliotibialis)
F: spannt die Fascia lata, rotiert den Oberschenkel einwärts, abduziert bei gestrecktem Hüftgelenk, kann bei der Beugung mitwirken. Bei gestrecktem Kniegelenk hilft er, die Streckstellung zu fixieren, bei gebeugtem Knie wirkt er als schwacher Außenrotator der Tibia

Hüftmuskulatur: Adduktoren

M. adductor longus
I: R. anterior des N. obturatorius [L 2–4]
U: Os pubis (unterhalb der Crista pubica bis zur Symphyse)
A: Labium mediale der Linea aspera (mittleres Drittel)
F: adduziert den Oberschenkel, hilft beugen und außenrotieren. Die zur Membrana vastoadductoria tretenden Faserzüge können einwärts rotieren

M. adductor brevis
I: R. anterior des N. obturatorius [L 2–4]
U: Ramus inferior ossis pubis (Vorderfläche)
A: Labium mediale der Linea aspera (proximales Drittel)
F: adduziert im Hüftgelenk, rotiert auswärts und unterstützt die Beugung

M. adductor magnus
I: R. posterior des N. obturatorius, der am Tuberculum adductorium ansetzende Muskelteil zusätzlich vom Tibialisanteil des N. ischiadicus [L 3–5]
U: Ramus inferior ossis pubis, Ramus ossis ischii (Vorderfläche), Tuber ischiadicum
A: Labium mediale der Linea aspera, Tuberculum adductorium femoris. *M. adductor minimus* (oberster Muskelteil): Tuberositas glutealis
F: adduziert den Oberschenkel, kann – je nach Ursprung vor oder hinter der Beugeachse – im Hüftgelenk beugen oder strecken bzw. das Becken nach vorn oder nach hinten neigen. Die zur Linea aspera ziehenden Faserbündel rotieren auswärts, die in die Membrana vastoadductoria einstrahlenden Fasern und (in den meisten Stellungen) die am Tuberculum adductorium ansetzende Muskelportion rotieren einwärts

M. pectineus
I: N. femoralis, zusätzlich innerviert von einem variablen Ast des R. anterior des N. obturatorius [L 2, 3 (4)]
U: Ramus superior ossis pubis (zwischen Eminentia iliopubica und Tuberculum pubicum)
A: Linea pectinea femoris
F: adduziert im Hüftgelenk, hilft bei Beugung und Außenrotation des Oberschenkels mit

Hüftmuskulatur: Außenrotatoren

M. quadratus femoris
I: N. musculi quadrati femoris, gelegentlich zusätzlich oder ausschließlich über den Tibialisanteil des N. ischiadicus [L 5, S 1, 2]

U: Tuber ischiadicum (lateraler Rand)
A: Crista intertrochanterica
F: rotiert im Hüftgelenk auswärts und hilft bei der Adduktion mit

M. obturatorius internus und Mm. gemelli
I: N. musculi obturatoris interni (M. gemellus inferior vom N. musculi quadrati femoris), gelegentlich auch (seltener ausschließlich) über N. pudendus oder N. ischiadicus [L 5, S 1, 2]
U: *M. obturatorius internus:* Membrana obturatoria (Innenfläche) und knöcherner Rahmen des Foramen obturatum; *M. gemellus superior:* Spina ischiadica; *M. gemellus inferior:* Tuber ischiadicum
A: Fossa trochanterica
F: rotieren das Femur auswärts, wirken in Normalstellung als schwache Strecker und Adduktoren, bei gebeugtem Oberschenkel als Abduktoren

M. obturatorius externus
I: R. posterior des N. obturatorius [L 2–4]
U: Membrana obturatoria (Außenfläche), knöcherner Rahmen des Foramen obturatum (mediokaudaler Umfang)
A: Fossa trochanterica
F: rotiert den Oberschenkel auswärts, kann bei der Adduktion mitwirken und helfen, den gebeugten oder gestreckten Oberschenkel in die Normalstellung zu führen

M. piriformis
I: N. musculi piriformis [L 5, S 1, 2]
U: Facies pelvica ossis sacri (lateral und zwischen den Foramina sacralia anteriora)
A: Trochanter major (Innenfläche der Spitze)
F: kann (in Normalstellung) den Oberschenkel auswärts rotieren, hilft bei der Abduktion und geringgradig bei der Retroversion. Bei festgestelltem Bein dreht er das Becken, sodass die Hüfte der Gegenseite nach hinten geführt wird

Oberschenkelmuskulatur: Extensoren

M. quadriceps femoris
I: N. femoralis [L 2–4]
U: *M. rectus femoris:* Spina iliaca anterior inferior, Oberrand der Hüftpfanne, Kapsel des Hüftgelenks; *M. vastus medialis:* Labium mediale der Linea aspera (2. und 3. Drittel), Endsehnen der Mm. adductores longus und magnus; *M. vastus lateralis:* Basis des Trochanter major, Labium laterale der Linea aspera; *M. vastus intermedius:* Femur (Vorderfläche, von der Linea intertrochanterica bis zur Grenze zwischen mittlerem und distalem Drittel des Femurschafts)
A: Patella (als Sesambein in die gemeinsame Endsehne eingelagert), über Lig. patellae an der Tuberositas tibiae, über Retinacula patellae beidseits der Tuberositas tibiae.
F: Streckmuskel des Kniegelenks, bei dessen Ausfall eine aktive Streckung unmöglich wird. Haltefunktion bei der Kniebeuge. Der M. rectus femoris kann im Hüftgelenk beugen, bei festgestelltem Oberschenkel mithelfen, das Becken nach vorn zu neigen. M. articularis genus verhindert eine Einklemmung der Kapsel bei Streckung des Kniegelenks

M. articularis genus (distale Muskelbündel des M. vastus intermedius)
A: Kapsel des Kniegelenks

Oberschenkelmuskulatur: Flexoren

M. biceps femoris
I: N. ischiadicus (Tibialisanteil: Caput longum, Fibularisanteil: Caput breve) [L 5, S 1, 2]
U: *Caput longum:* Tuber ischiadicum (Hinterfläche); *Caput breve:* Labium laterale der Linea aspera (mittleres Drittel)
A: Caput fibulae, Sehnenfasern zum Condylus lateralis tibiae und zur Fascia cruris
F: beugt im Kniegelenk und rotiert die Tibia auswärts. Der lange Bizepskopf hilft bei der Streckung im Hüftgelenk mit

M. semimembranosus
I: Tibialisanteil des N. ischiadicus [L 5, S 1, 2]
U: Tuber ischiadicum (Hinterfläche, lateral vom Ursprung des langen Bizepskopfes)
A: Condylus medialis tibiae, hintere Kapselwand des Kniegelenks, Lig. popliteum obliquum, Faszie des M. popliteus
F: streckt im Hüftgelenk, beugt im Kniegelenk und rotiert die Tibia einwärts

M. semitendinosus
I: Tibialisanteil des N. ischiadicus [L 5, S 1, 2]
U: Tuber ischiadicum (Hinterfläche, medial vom Ursprung des langen Bizepskopfes)
A: Corpus tibiae (über Pes anserinus medial der Tuberositas tibiae)
F: streckt im Hüftgelenk, beugt im Kniegelenk und wirkt bei der Innenrotation der Tibia mit

M. sartorius
I: N. femoralis [L 2, 3]
U: Spina iliaca anterior superior
A: Corpus tibiae (über den Pes anserinus, medial der Tuberositas tibiae), Fascia cruris
F: beugt im Hüftgelenk, abduziert den Oberschenkel und rotiert ihn geringgradig nach außen. Bei gebeugtem Knie rotiert er den Unterschenkel einwärts

M. gracilis
I: R. anterior des N. obturatorius [L 2–4]
U: Ramus inferior ossis pubis (mediale Kante, distal der Symphyse)
A: Corpus tibiae (über den Pes anserinus, medial der Tuberositas tibiae), Fascia cruris
F: adduziert bei gestrecktem Knie im Hüftgelenk und hilft bei der Beugung mit. Im Kniegelenk kann der Muskel den Unterschenkel beugen und bei der Innenrotation mitwirken

M. popliteus
I: N. tibialis [L 5, S 1]
U: Condylus lateralis femoris (Außenfläche), Kapsel des Kniegelenks
A: Facies posterior tibiae (proximal der Linea musculi solei)
F: rotiert bei gebeugtem Knie den Unterschenkel einwärts, im Kniegelenk ist er ein wenig effektiver Beuger (!)

Unterschenkelmuskulatur: vordere Muskelgruppe (Extensoren)

M. tibialis anterior
I: N. fibularis profundus [L 4, 5]
U: Condylus lateralis tibiae, Facies lateralis tibiae (1. und 2. Drittel), Fascia cruris
A: Os cuneiforme I und Os metatarsale I
F: wirkt bei der Dorsalflexion (Extension) des Fußes mit, hilft bei der Supination (und Adduktion), zieht bei fest aufgesetztem Fuß den Unterschenkel gegen den Fußrücken

M. extensor digitorum longus
I: N. fibularis profundus [L 5, S 1]
U: Condylus lateralis tibiae, Margo anterior fibulae, Membrana interossea cruris (proximales Viertel), Septum intermusculare anterius cruris, Fascia cruris
A: Dorsalaponeurosen der 2.–5. Zehe
F: extendiert den Fuß dorsalwärts, proniert im unteren Sprunggelenk, beteiligt sich an der Streckung der 2.–5. Zehe. Bei aufgesetztem Fuß nähert er den Unterschenkel dem Fußrücken an

M. fibularis [peroneus] tertius (variabler, mehr oder minder abgegliederter distaler Muskelanteil)
A: Basis des Os metatarsale V (auch IV)

M. extensor hallucis longus
I: N. fibularis profundus [L 5, S 1]
U: Facies medialis fibulae, Membrana interossea cruris (jeweils 2. und 3. Viertel)
A: Endphalanx der Großzehe (Sehnenzipfel zur Grundphalanx)
F: unterstützt die Dorsalflexion (Extension) des Fußes, streckt die Großzehe in Grund- und Endgelenk, wirkt kaum auf das untere Sprunggelenk, zieht bei aufgesetztem Fuß den Unterschenkel gegen den Fußrücken

Unterschenkelmuskulatur: laterale Muskelgruppe

M. fibularis [peroneus] longus
I: N. fibularis superficialis [L 5, S 1 (2)]
U: Caput fibulae, Facies lateralis fibulae (proximale Hälfte), Septum intermusculare anterius und posterius cruris, Fascia cruris
A: Tuberositas ossis metatarsalis I (und II), Os cuneiforme II (Plantarfläche)
F: senkt die Fußspitze (Plantarflexion) oder zieht bei aufgesetztem Fuß den Unterschenkel nach hinten. Hauptfunktion ist die Pronation (Senken des medialen Fußrands und damit gekoppelt Abduktion der Fußspitze) bzw. die Eversion. Gemeinsam mit dem M. tibialis posterior sichert der Muskel die Querwölbung des Mittelfußes

M. fibularis [peroneus] brevis
I: N. fibularis superficialis [S 1]
U: Facies lateralis fibulae (distale Hälfte), Septum intermusculare anterius und posterius cruris
A: Tuberositas ossis metatarsalis V
F: proniert (und abduziert) den Fuß, hilft bei der Plantarflexion mit

Unterschenkelmuskulatur: dorsale Muskelgruppe (Flexoren)

M. gastrocnemius
I: N. tibialis [(L 5), S 1, 2]
U: Facies poplitea femoris (proximal des Condylus lateralis: *Caput laterale,* proximal des Condylus medialis: *Caput mediale)*
A: Tuber calcanei (Hinterfläche, über die Achillessehne gemeinsam mit der Sehne des M. soleus)
F: flektiert (bei gestrecktem Kniegelenk) den Fuß kraftvoll plantarwärts, supiniert (und adduziert) ihn. Die Beugewirkung im Kniegelenk ist gering

M. soleus
I: N. tibialis [S 1, 2]
U: Caput fibulae, Facies posterior fibulae (proximales Drittel), Arcus tendineus musculi solei, Facies posterior tibiae (Linea musculi solei)
A: Tuber calcanei (Hinterfläche, über die Achillessehne gemeinsam mit der Sehne des M. gastrocnemius)
F: flektiert den Fuß kraftvoll plantarwärts, supiniert und adduziert ihn, sichert beim aufrechten Stand die Streckung des Kniegelenks, indem er den Unterschenkel nach hinten zieht

M. plantaris
I: N. tibialis [S 1, 2]
U: Facies poplitea femoris (proximal vom Condylus lateralis)
A: Tuber calcanei (über die Achillessehne), seltener Plantaraponeurose
F: bildet einen Schutzbügel über den Vasa tibialia posteriora, die er bei der Beugung im Kniegelenk vor der Einklemmung bewahrt

M. tibialis posterior
I: N. tibialis [L(4) 5, S 1]
U: Membrana interossea cruris (Hinterfläche, bis an die Grenze zum distalen Viertel), angrenzende schmale Areale

von Tibia und Fibula, Bindegewebsblatt zwischen oberflächlichen und tiefen Flexoren
A: Tuberositas ossis navicularis, Ossa cuneiformia I–III (Plantarfläche), Basen der Ossa metatarsi II–IV
F: supiniert und adduziert den Fuß, wirkt bei der Plantarflexion mit. Gemeinsam mit dem M. fibularis longus verspannt er die Querwölbung des Mittelfußes

M. flexor hallucis longus
I: N. tibialis [L 5, S 1, 2]
U: Facies posterior fibulae (2. und 3. Drittel), Membrana interossea cruris, Septum intermusculare posterius cruris
A: Endphalanx der Großzehe, Sehnenzipfel zu den Endphalangen der 2. und 3. (seltener 4.) Zehe
F: senkt die Fußspitze (Plantarflexion), supiniert (und adduziert) den Fuß, ermöglicht beim Gehen das Abwickeln des Fußes über die Großzehe. Beim Stand verspannt er die Längswölbung des Fußes und verhindert das Absinken des Sustentaculum tali nach medial und plantar

M. flexor digitorum longus
I: N. tibialis [L 5, S 1, 2]
U: Facies posterior tibiae (distal der Linea musculi solei), Sehnenarkade zur Fibula in der Faszie des M. tibialis posterior (proximal des Chiasma crurale)
A: Endphalangen der 2.–5. Zehe
F: beteiligt sich an der Plantarflexion, supiniert und adduziert den Fuß und beugt die Zehen II–V, die dadurch beim Abwickeln an den Boden gepresst werden. Als Haltemuskel verspannt er die Längswölbung des Fußes

Fußmuskulatur: Muskeln am Fußrücken

M. extensor hallucis brevis
I: N. fibularis profundus [L 5, S 1]
U: Calcaneus (Dorsalfläche), Lig. talocalcaneum interosseum
A: Grundphalanx der Großzehe
F: flektiert die Grundphalanx der Großzehe dorsalwärts (Extension)

M. extensor digitorum brevis
I: N. fibularis profundus [L 5, S 1]
U: Calcaneus (dorsolaterale Fläche)
A: Dorsalaponeurosen der 2.–4. (5.) Zehe
F: extendiert die Grundphalangen der 2.–4. (5.) Zehe dorsalwärts

Fußmuskulatur: Muskeln der Fußsohle im Großzehenfach

M. abductor hallucis
I: N. plantaris medialis [S 1, 2]
U: Tuber calcanei (Processus medialis), Retinaculum musculorum flexorum, Plantaraponeurose
A: mediales Sesambein in der Kapsel des Grundgelenks der Großzehe, Grundphalanx der Großzehe (Basis)
F: abduziert die Grundphalanx der Großzehe nach medial, beugt sie und hilft mit, die Längswölbung des Fußes zu verspannen

M. flexor hallucis brevis
I: N. plantaris medialis (Caput mediale), N. plantaris lateralis (Caput laterale) [S(1) 2, 3]
U: Ossa cuneiformia I–III, Lig. calcaneocuboideum plantare, Sehne des M. tibialis posterior
A: *Caput mediale:* mediales Sesambein in der Kapsel des Grundgelenks der Großzehe, Grundphalanx der Großzehe (Basis); *Caput laterale:* laterales Sesambein in der Kapsel des Grundgelenks der Großzehe, Grundphalanx der Großzehe (Basis)
F: beugt die Grundphalanx der Großzehe, verspannt die Längswölbung des Fußes

M. adductor hallucis
I: N. plantaris lateralis [S(1) 2, 3]
U: *Caput obliquum:* Os cuboideum und Os cuneiforme III, Lig. plantare longum und Lig. calcaneocuboideum plantare, Ossa metatarsi II–V (Basis); *Caput transversum:* Zehengrundgelenke III–V, Lig. metatarsale transversum profundum
A: laterales Sesambein in der Kapsel des Grundgelenks der Großzehe, Grundphalanx der Großzehe (Basis)
F: adduziert die Großzehe an die 2. Zehe, hilft mit, die Grundphalanx der Großzehe zu beugen. Bedeutsamer ist die Beteiligung an der Längsverspannung des Fußes (Caput obliquum) und an der Querverspannung des Vorderfußes (Caput transversum)

Fußmuskulatur: Muskeln der Fußsohle im Kleinzehenfach

M. abductor digiti minimi
I: N. plantaris lateralis [S(1) 2, 3]
U: Tuber calcanei (Processus lateralis), Plantaraponeurose, Tuberositas ossis metatarsalis V
A: Grundphalanx der 5. Zehe
F: kann die Grundphalanx der 5. Zehe plantarflektieren und – vor allem bei Kindern (noch) – abspreizen. Der Muskel verspannt den Fuß an der Lateralseite in Längsrichtung

M. flexor digiti minimi brevis
I: N. plantaris lateralis [S(1) 2, 3]
U: Os metatarsale V (Basis), Lig. plantare longum, Sehnenscheide des M. fibularis longus
A: Grundphalanx der 5. Zehe
F: beugt die Grundphalanx der 5. Zehe, wirkt durch den Zug am Lig. plantare longum an der Längsverspannung des Fußes mit

M. opponens digiti minimi
I: N. plantaris lateralis [S(1) 2, 3]

U: Lig. plantare longum, Sehnenscheide des M. fibularis longus
A: Os metatarsale V (lateraler Rand)
F: zieht den 5. Mittelfußknochen plantarwärts, wirkt einer Verbreiterung des belasteten Vorderfußes entgegen

Fußmuskulatur: Muskeln der Fußsohle im Mittelfach

M. flexor digitorum brevis
I: N. plantaris medialis [S 1, 2 (3)]
U: Tuber calcanei (Plantarfläche), Plantaraponeurose
A: Mittelphalangen der 2.–5. Zehe
F: beugt Grund- und Mittelgelenke der 2.–5. Zehe, verspannt die Längswölbung des Fußes

M. quadratus plantae [M. flexor accessorius]
I: N. plantaris lateralis [S(1) 2, 3]
U: Calcaneus (Plantarfläche)
A: Sehne(n) des M. flexor digitorum longus
F: korrigiert die Zugrichtung der Endsehnen des M. flexor digitorum longus jeweils in Richtung der Achse des betreffenden Zehenstrahls

Mm. lumbricales
I: N. plantaris medialis (I [II]), N. plantaris lateralis (II–IV) [S 1–3]
U: Sehnen des M. flexor digitorum longus (*M. lumbricalis I*: einköpfig, vom medialen Rand der Sehne für die 2. Zehe, *Mm. lumbricales II–IV:* zweiköpfig, jeweils von den einander zugekehrten Rändern der Sehnen zur 3.–5. Zehe)
A: Grundphalangen der 2.–5. Zehe. Einstrahlung in die jeweilige Dorsalaponeurose nicht regelmäßig
F: beugen die Grundphalangen der 2.–5. Zehe. Eine Streckung in den Mittel- und Endgelenken ist nur möglich, wenn sich Sehnenfasern in gut ausgebildete Dorsalaponeurosen fortsetzen

Mm. interossei plantares
I: N. plantaris lateralis [S 1–3]
U: Ossa metatarsi III–V (Plantarfläche), Lig. plantare longum
A: Grundphalangen der 3.–5. Zehe (Medialseite der Basis)
F: beugen die 3.–5. Zehe jeweils im Grundgelenk, führen diese Zehen an die 2. Zehe heran

Mm. interossei dorsales
I: N. plantaris lateralis [S 1–3]
U: zweiköpfig, an den einander zugewandten Seitenflächen der Ossa metatarsi I/II, II/III, III/IV und IV/V, Lig. plantare longum
A: Grundphalangen der 2.–4. Zehe (Basis, *Grundphalanx I*: mediale Seitenfläche, *Grundphalangen II–IV:* laterale Seitenflächen)
F: beugen jeweils im Grundgelenk der 2.–4. Zehe, können (beim Erwachsenen meist nur eingeschränkt) die Zehen von der 2. Zehe wegspreizen. Streckung der Mittel- und Endgelenke nur bei Einstrahlung der Sehnenfasern in die Dorsalaponeurosen möglich

20.1.3 Rückenmuskulatur

Autochthone Rückenmuskulatur: lateraler Trakt des M. erector spinae

M. longissimus dorsi
I: laterale Zweige der Rr. posteriores der Nn. cervicales, thoracici und lumbales [C 1–8, Th 1–12, L 1–5]
U, A: Der *„Brust"teil* des Muskels geht aus der mit dem M. iliocostalis lumborum gemeinsamen Ursprungsportion des sakrospinalen Systems hervor. Akzessorische Zacken kommen von den Processus mamillares der beiden kranialen Lendenwirbel und den Processus transversi der kaudalen Brustwirbel. *Hals- und Kopfteil* entspringen an den Processus transversi aller Brustwirbel und der unteren Halswirbel. Der Muskel inseriert mit dem *„Brust"teil* zweifach: medial in Brust- und Lendenregion an Querfortsätzen und deren Homologa, lateral an den Rippen und Rippenhomologa. *Hals- und Kopfteil* inserieren nur „lateral" an den Tubercula posteriora der Halswirbelquerfortsätze bzw. am Processus mastoideus

M. longissimus thoracis
U: gemeinsam mit dem M. iliocostalis lumborum über die – an der Crista iliaca, dem Os sacrum, an den Processus spinosi der Lendenwirbel und an der Fascia thoracolumbalis fixierte – Ursprungsaponeurose des sakrospinalen Systems, akzessorische Ursprünge an den Processus mamillares des 2. und 1. Lendenwirbels und den Processus transversi des 12.–6. Brustwirbels
A: *mediale Insertion:* Processus mamillaris des 5. Lendenwirbels, Processus accessorii des 4.–1. Lendenwirbels und Proccessus transversi aller Brustwirbel; *laterale Insertion:* Processus costarii des 4.–1. Lendenwirbels, tiefes Blatt der Fascia thoracolumbalis, 12.–2. Rippe (Dorsalfläche, medial vom Angulus costae und vom M. iliocostalis)

M. longissimus cervicis
U: Processus transversi des 6.–1. Brustwirbels, zusätzliche Zacken von den Wurzeln der Querfortsätze des (7.) 6.–3. Halswirbels
A: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 5.–2. Halswirbels

M. longissimus capitis
U: Processus transversi des 3. Brust- bis 3. Halswirbels
A: Processus mastoideus
F: neigt den entsprechenden Wirbelsäulenbereich seitwärts und dreht zur gleichen Seite. Der M. longissimus thoracis senkt die Rippen, der M. longissimus capitis neigt und dreht den Kopf zur kontrahierten Seite. Bei beidseitiger Kontraktion wird die Wirbelsäule gestreckt, der Kopf dorsalflektiert

M. splenius
I: laterale Zweige der Rr. posteriores der Nn. cervicales (I) II–IV (V, VI) [C(1) 2–4 (5, 6)]
U, A: Die Muskelzüge verlaufen spinotransversal von den Processus spinosi der Hals- und der oberen Brustwirbel zu den Querfortsätzen der oberen Halswirbel bzw. zum Processus mastoideus. Sie umschlingen die autochthonen Nackenmuskeln

M. splenius capitis :
U: Lig. nuchae (ab 3. Halswirbel), Processus spinosi des 7. Hals- bis 3. Brustwirbels
A: Processus mastoideus

M. splenius cervicis :
U: Processus spinosus des 3.– (5.) 6. Brustwirbels, Lig. supraspinale
A: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 1., 2. (3.) Halswirbels
F: neigt und dreht den Kopf bzw. Hals nach der gleichen Seite, beugt sie (bei beidseitiger Kontraktion) dorsalwärts

Mm. levatores costarum
I: laterale Zweige der Rr. posteriores der Nn. cervicalis VIII und thoracici I–X (XI), zusätzlich Äste der Nn. intercostales für die Muskeln des unteren Thorax [C 7, Th 1–10 (11)]
U, A: Die Muskeln ziehen von den Processus transversi als *Mm. levatores costarum breves* jeweils zur kaudal folgenden, als *Mm. levatores costarum longi* (fehlen im mittleren Thorakalbereich) etwas steiler abwärts zur übernächsten Rippe
U: Processus transversi des 7. Hals- und des 1.–10. (11.) Brustwirbels
A: 1.–12. Rippe (Dorsalfläche, medial vom Angulus costae), als seltene Variante Processus costalis des 1. Lendenwirbels
F: Funktion nicht eindeutig bekannt, beteiligen sich (bei beidseitiger Kontraktion) an der Streckung der Wirbelsäule

Mm. intertransversarii anteriores
I: Rr. anteriores der entsprechenden Nn. spinales [unisegmentale Zuordnung zu den Rückenmarksegmenten der betreffenden Spinalnerven]
U, A: Die Muskeln verbinden im Prinzip jeweils Rippenhomologa von 2 einander folgenden Wirbeln. Im Lendenbereich ziehen sie dorsal der Rr. anteriores der entsprechenden Lumbalnerven. Die Mm. intertransversarii anteriores cervicis verlaufen dagegen ventral der Rr. anteriores der Zervikalnerven, die Faserbündel der Pars lateralis der Mm. intertransversarii posteriores cervicis dorsal davon. Sie lassen sich präparatorisch nicht eindeutig von der jeweiligen Pars medialis der gleichnamigen Muskeln abgrenzen, die von Zweigen der Rr. posteriores innerviert wird

Mm. intertransversarii posteriores cervicis, Pars lateralis
U: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 1.–6. Halswirbels
A: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 2.–7. Halswirbels
F: wirken bei der Seitwärtsneigung der Wirbelsäule mit

Mm. intertransversarii anteriores cervicis
U: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 1.–6. Halswirbels
A: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 2.–7. Halswirbels

Mm. intertransversarii laterales lumborum
U: Processus transversus des 12. Brustwirbels, Processus costales und accessorii des 1.–5. Lendenwirbels
A: Processus costales des 1.–5. Lendenwirbels, Tuberositas iliaca

Mm. intertransversarii posteriores
I: laterale Zweige der Rr. posteriores der entsprechenden Nn. spinales [unisegmentale Zuordnung zu den Rückenmarksegmenten der betreffenden Spinalnerven]
U, A: Die kleinen Muskeln verbinden die Processus transversi einander folgender Wirbel bzw. angrenzende Areale im Wirbelbogenbereich. An der Brustwirbelsäule sind in der Regel nur 3 Mm. intertransversarii ausgebildet

Mm. intertransversarii posteriores cervicis, Pars medialis
U: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 1.–7. Halswirbels
A: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 2.–7. Halswirbels, Processus transversus des 1. Brustwirbels
F: wirken bei der Seitwärtsneigung der Wirbelsäule mit

Mm. intertransversarii thoracis
U: Processus transversi des 10.–12. Brustwirbels
A: Processus transversi des 11. und 12. Brustwirbels, Processus accessorius und mamillaris des 1. Lendenwirbels

Mm. intertransversarii mediales lumborum
U: Processus accessorii des 1.–4. Lendenwirbels
A: Processus mamillares des 2.–5. Lendenwirbels

M. iliocostalis
I: laterale Zweige der Rr. posteriores der Nn. cervicalis VIII (nicht regelmäßig), Nn. thoracici I–XII und N. lumbalis I [(C 8), Th 1–12, L 1]
U, A: Ursprungszacken kommen von medial (von der mit dem M. longissimus thoracis gemeinsamen Ursprungsaponeurose des sakrospinalen Systems und den Rippen), Ansatzsehnen ziehen nach lateral zu den Rippen bzw. den Rippenhomologa der Halswirbel

M. iliocostalis cervicis
U: 7.– (4.) 3. Rippe (Dorsalfläche, medial vom Angulus costae)
A: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 6.–(4.) 3. Halswirbels
F: besitzt ein günstiges Drehmoment für die Seitwärtsneigung der Wirbelsäule in Brust- und Halsbereich. Lenden- und Brustteil können die Rippen senken (Exspiration) und mithelfen, den Thorax nach der gleichen Seite zu drehen. Bei fixierter Halswirbelsäule kann der M. iliocostalis cervicis bei der Rippenhebung (Inspiration) mitwirken. Eine beidseitige Kontraktion führt zu einer Streckung in den entsprechenden Wirbelregionen

M. iliocostalis thoracis
U: 12.–7. Rippe (Dorsalfläche, medial des Angulus costae)
A: 7. (6.) –1. Rippe (Angulus costae)

M. iliocostalis lumborum
U: Crista iliaca (dorsales Drittel), Os sacrum (Facies dorsalis), Processus spinosi der Lendenwirbel, Fascia thoracolumbalis
A: 12.–7. Rippe (Angulus costae)

Autochthone Rückenmuskulatur: medialer Trakt des M. erector spinae

Mm. interspinales
I: mediale Zweige der Rr. posteriores der entsprechenden Nn. spinales [unisegmentale Zuordnung zu den Rückenmarksegmenten der betreffenden Spinalnerven]
U, A: Die (paarigen) Muskeln verbinden (regelhaft nur an Hals- und Lendenwirbelsäule) die Processus spinosi von jeweils 2 einander folgenden Wirbeln. Sie ziehen von der Kaudalfläche der Dornfortsatzhälfte des kranialen Wirbels zur Kranialfläche der Dornfortsatzhälfte des kaudalen Wirbels

Mm. interspinales cervicis
U: 2.–7. Halswirbel
A: 3. Hals- bis 1. Brustwirbel

Mm. interspinales thoracis (häufig nur schwach oder gar nicht ausgebildet):
U: 1., 2. und 11., 12. Brustwirbel
A: 2., 3. und 12. Brust- und 1. Lendenwirbel

Mm. interspinales lumborum
U:1.–5. Lendenwirbel
A: 2. Lendenwirbel bis 1. Kreuzwirbeldorn
F: helfen mit, die Wirbelsäule zu strecken

M. spinalis
I: mediale Zweige der Rr. posteriores der entsprechenden Nn. spinales [Rückenmarksegmente der betreffenden Spinalnerven]
U, A: Die Faserbündel verbinden (regelhaft zwischen 2. Lenden- und 2. Halswirbel) als dünner, paariger Strang die Processus spinosi, wobei sie mindestens 1 Wirbel überspringen. Die Dornfortsätze des 9. Brust- und des 5. Halswirbels bleiben meist frei

M. spinalis thoracis
U: (3.) 2. Lenden- bis (11.) 10. Brustwirbel
A: (10., 9.) 8.–2. Brustwirbel

M. spinalis cervicis
U: (4., 3.) 2. Brust- bis 6. Halswirbel
A: (6., 5.) 4.–2. Halswirbel

M. spinalis capitis (selten, variabel)
U: obere Brustwirbel, Halswirbel
A: Os occipitale (nahe oder an der Protuberantia occipitalis externa)
F: neigt den betreffenden Abschnitt der Wirbelsäule seitwärts, streckt bei beidseitiger Kontraktion, sichert die normale Krümmung der Wirbelsäule

Mm. rotatores
I: mediale Zweige der Rr. posteriores der entsprechenden Nn. spinales [unisegmentale Zuordnung zu den Rückenmarksegmenten der betreffenden Spinalnerven]
U, A: Die Muskeln ziehen (regelhaft an der Brustwirbelsäule) transversospinal von den (Wurzeln der) Processus transversi zu den Basen der Processus spinosi und zu angrenzenden Wirbelbogenflächen. Als *Mm. rotatores breves* treten sie zum nächsthöheren, als *Mm. rotatores longi* (nicht regelmäßig ausgebildet) zum übernächsten Wirbel

Mm. rotatores thoracis
U:12.–2. Brustwirbel
A: 11.–1. Brust- und 7. Halswirbel

Mm. rotatores cervicis et lumborum (selten, unregelmäßig)
U: Gelenkfortsätze einzelner Halswirbel bzw. Processus mamillares von Lendenwirbeln
A: Processus spinosi von Hals- und Lendenwirbeln
F: drehen die Brustwirbelsäule (Hals-, Lendenwirbelsäule) zur Gegenseite

M. multifidus
I: mediale Zweige der Rr. posteriores der Nn. cervicales III–VIII, thoracici I–XII, lumbales I–V (und sacralis I) [C 3–8, Th 1–12, L 1–5 (S 1)]
U, A: Die Muskelzüge verlaufen transversospinal von den Processus transversi (Brustwirbel) bzw. ihren Homologa und benachbarten Ursprungsorten (Kreuzbein, Lenden-, Halswirbel) zu Processus spinosi kranial gelegener Wirbel. Die tiefen Muskelbündel überspringen 2 Wirbel, die oberflächlichen 3–5 Wirbel. Das Ursprungsareal erstreckt sich vom 4. Kreuz- bis zum (5.) 4. Halswirbel, der Insertionsbereich vom 5. Lenden- bis zum 2. Halswirbel
U: Facies dorsalis ossis sacri, Ligg. sacroiliaca posteriora, Crista iliaca (dorsaler Abschnitt), Processus mamillares der Lendenwirbel, Processus transversi der Brustwirbel, kaudale Gelenkfortsätze des 7.–(5.) 4. Halswirbels
A: 5.–1. Lendenwirbel, 12.–1. Brustwirbel, 7.–2. Halswirbel
F: dreht die Wirbelsäule zur Gegenseite, streckt (bei beidseitiger Kontraktion) die entsprechende Region der Wirbelsäule

M. semispinalis
I: mediale (beim M. semispinalis capitis auch laterale) Zweige der Rr. posteriores der Nn. cervicales I–VI (VII) und thoracici (III) IV–VI [C 1–6 (7), Th(3) 4–6, Th 11, 12]
U, A: Die Muskelzüge verlaufen transversospinal von den Processus transversi zu Processus spinosi bzw. dem homologen Ort am Os occipitale. Die Muskelbündel überspring-

gen mindestens 5, meist 6–7 Wirbel. Das Ursprungsareal erstreckt sich vom (12.) 11. Brust- bis zum 3. Halswirbel, der Insertionsbereich vom (4.) 3. Brust- bis zum 2. Halswirbel und zum Planum nuchale

M. semispinalis thoracis
U: (12.) 11.–7. (6.) Brustwirbel
A: (4.) 3. Brust- bis 6. Halswirbel

M. semispinalis cervicis
U: (7.) 6.–(3.) 2. Brustwirbel
A: 6.–2. Halswirbel

M. semispinalis capitis
U: (8.) 6. Brust- bis 3. Halswirbel
A: Os occipitale (zwischen Linea nuchalis inferior und Linea nuchalis superior, mediale Hälfte)
F: Die Mm. semispinales thoracis und cervicis drehen Brust- und Halswirbelsäule zur Gegenseite, bei beidseitiger Kontraktion strecken sie. Der M. semispinalis capitis dreht den Kopf zur Gegenseite, beidseitige Kontraktion bewirkt eine kraftvolle Dorsalflexion (Streckung) des Kopfes

Autochthone Rückenmuskulatur: kurze Nackenmuskeln

M. rectus capitis posterior major
I: N. suboccipitalis [C 1, 2]
U: Processus spinosus axis
A: Linea nuchalis inferior (mittleres Drittel)
F: dreht und neigt den Kopf nach der gleichen Seite, beugt ihn (bei beidseitiger Kontraktion) dorsalwärts

M. rectus capitis posterior minor
I: N. suboccipitalis [C 1, 2]
U: Tuberculum posterius atlantis
A: Linea nuchalis inferior (mediales Drittel)
F: dreht und neigt den Kopf geringgradig zur gleichen Seite, hilft (bei beidseitiger Kontraktion) bei der Dorsalflexion des Kopfes mit

M. obliquus capitis superior
I: N. suboccipitalis [C 1, 2]
U: Tuberculum posterius des Atlasquerfortsatzes
A: Linea nuchalis inferior (laterales Drittel)
F: neigt den Kopf zur gleichen Seite, hilft (bei beidseitiger Kontraktion) bei der Dorsalflexion des Kopfes mit

M. obliquus capitis inferior
I: N. suboccipitalis [C 1, 2]
U: Processus spinosus axis
A: Processus transversus atlantis (dorsale Spange)
F: dreht den Atlas (und damit den Kopf) nach der gleichen Seite.

Autochthone Rückenmuskulatur: prävertebrale Halsmuskeln

M. rectus capitis anterior
I: R. anterior des N. cervicalis I (selten auch II) [C 1 (2)]
U: Massa lateralis atlantis
A: Pars basilaris ossis occipitalis (vor dem Foramen magnum, medial vom vorderen Umfang des Condylus occipitalis)
F: hilft bei der Seitwärtsneigung des Kopfs mit, beteiligt sich bei beidseitiger Kontraktion an der Ventralflexion des Kopfs

M. rectus capitis lateralis
I: Rr. anteriores der Nn. cervicales I, II [C 1, 2]
U: Vorderrand des Processus transversus atlantis
A: Processus jugularis ossis occipitalis
F: neigt den Kopf nach der gleichen Seite

M. longus capitis
I: Rr. anteriores der Nn. cervicales I–III [C 1–3]
U: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 3.–6. Halswirbels
A: Pars basilaris ossis occipitalis (lateral vom Tuberculum pharyngeum)
F: beugt den Kopf nach vorn

M. longus colli
I: Rr. anteriores der Nn. cervicales II–VI [C 2–6]
U: Körper des 5. Hals- bis 3. Brustwirbels, Tubercula anteriora der Querfortsätze des 2.–5. Halswirbels
A: vordere Spangen der Querfortsätze des 5.–7. Halswirbels, Körper des 2.–4. Halswirbels, Tuberculum anterius atlantis
F: kann die Halswirbelsäule geringgradig nach der gleichen Seite drehen und (bei beidseitiger Kontraktion) ventralwärts beugen

Eingewanderte Rückenmuskulatur

M. latissimus dorsi (S. 177)

M. trapezius (S. 172)

M. levator scapulae (S. 171)

M. rhomboideus (S. 171)

M. serratus posterior superior
I: Rr. anteriores der Nn. thoracici I–IV, gelegentlich auch des N. cervicalis VIII [(C 8), Th 1–4]
U: Processus spinosi des 6. und 7. Hals- sowie des 1. und 2. Brustwirbels
A: 1.–4. Rippe (lateral vom Angulus costae)
F: hebt die Rippen, wirkt bei der Inspiration mit

M. serratus posterior inferior
I: Rr. anteriores der Nn. thoracici IX–XI (XII) [Th 9–11 (12)]
U: Processus spinosi des 11. und 12. Brust- sowie des 1. und 2. Lendenwirbels
F: wirkt einer Verengerung der unteren Thoraxapertur (Zug des Zwerchfells) entgegen, hilft somit bei der Inspiration mit

20.1.4 Ventrale und laterale Rumpfmuskulatur

Muskulatur des Brustkorbs

Mm. intercostales externi
I: Nn. intercostales I–XI [Th 1–11]
U: 1.–11. Rippe (Unterrand, vom Tuberculum costae bis nahe Knochen-Knorpel-Grenze. Faserverlauf schräg abwärts von dorsal kranial nach ventral kaudal)
A: 2.–12. Rippe (Oberrand der kaudal folgenden Rippe)
F: verspannen die Interkostalräume, können die Rippen heben und bei der Inspiration mitwirken

Mm. intercostales interni
I: Nn. intercostales I–XI [Th 1–11]
U: 2.–12. Rippe (Oberrand, vom sternalen Ende des Rippenknorpels bis zum Angulus costae. Faserverlauf schräg aufwärts von dorsal kaudal nach ventral kranial)
A: 1.–11. Rippe (Unterrand der nächsthöheren Rippe)
Die Vasa intercostalia posteriora und der N. intercostalis grenzen – etwa zwischen Rippenwinkel und Knorpel-Knochen-Grenze der Rippen – als tiefe Schicht der Mm. intercostales interni die Mm. intercostales intimi ab.
Als Mm. subcostales werden (vorwiegend) unisegmental innervierte Derivate der Mm. intercostales interni bezeichnet, die an der Innenfläche der dorsalen Thoraxwand (meist) im kaudalen Bereich ausgebildet sein können und 1–2 Rippen überspringen
F: verspannen die Interkostalräume, können die Rippen senken und somit exspiratorisch wirken

M. transversus thoracis
I: Nn. intercostales II–VI [Th 2–6]
U: Corpus sterni und Processus xiphoideus (Seitenrand der Dorsalfläche), 6. (7.) Rippenknorpel (sternales Ende)
A: 2.–6. Rippenknorpel (Hinterfläche, nahe Knorpel-Knochen-Grenze)
F: zieht die Rippenknorpel abwärts, wirkt exspiratorisch

Diaphragma
I: N. phrenicus [C 3–5]
U: *Pars lumbalis:* Körper des 1.–3. (rechts 4.) Lendenwirbels, Ligg. arcuatum mediale und arcuatum laterale; *Pars costalis:* Knorpel der 6.–12. Rippe (Innenfläche); *Pars sternalis:* Processus xiphoideus (Dorsalfläche), Aponeurose des M. transversus abdominis (hinteres Blatt der Rektusscheide)
A: Centrum tendineum
F: wichtigster Inspirationsmuskel, vergrößert den Längsdurchmesser des Thorax um 1,5 Wirbelhöhen

Bauchmuskulatur: oberflächliche Bauchmuskeln

M. obliquus externus abdominis
I: Rr. anteriores der Nn. thoracici V–XII, oft auch des N. lumbalis I [Th 5–12 (L 1)]
U: 5.–12. Rippe (Außenfläche)
A: Crista iliaca (Labium externum), Lig. inguinale, Tuberculum pubicum. Crista pubica, Linea alba
F: dreht den Rumpf zur Gegenseite, neigt (zusammen mit dem M. obliquus internus abdominis) den Thorax seitwärts oder hebt den seitlichen Beckenrand an. Bei beidseitiger Kontraktion wirkt der Muskel bei der Vorwärtsbeugung des Rumpfes oder der Anhebung des vorderen Beckenrands, bei der Exspiration und bei der Bauchpresse mit

M. obliquus internus abdominis
I: Rr. anteriores der Nn. thoracici VIII–XII, Äste der Nn. iliohypogastricus, ilioinguinalis, genitofemoralis [Th 8–12, L 1, 2]
U: Fascia thoracolumbalis (oberflächliches Blatt), Crista iliaca (Linea intermedia), Lig. inguinale (laterale Hälfte)
A: (9.) 10.–12. Rippe (Unterrand der Rippenknorpel), Linea alba. Unterste Bündel schließen sich beim Mann als M. cremaster dem Samenstrang an und vermögen den Hoden geringgradig anzuheben, bei der Frau ziehen sie mit dem Lig. teres uteri zum äußeren Leistenring
F: dreht den Rumpf zur gleichen Seite, neigt (zusammen mit dem M. obliquus externus abdominis) den Thorax seitwärts oder hebt den seitlichen Beckenrand an. Bei beidseitiger Kontraktion wirkt der Muskel bei der Vorwärtsbeugung des Rumpfes oder der Anhebung des vorderen Beckenrands, bei der Exspiration und bei der Bauchpresse mit

M. transversus abdominis
I: Rr. anteriores der Nn. thoracici V–XII, Äste der Nn. iliohypogastricus, ilioinguinalis, genitofemoralis [Th 5–12, L 1, 2]
U: (5., 6.) 7.–12. Rippe (Innenfläche der Rippenknorpel), Processus costales der Lendenwirbel (über das tiefe Blatt der Fascia thoracolumbalis), Crista iliaca (Labium internum), Lig. inguinale (laterales Drittel)
A: Linea alba. Unterste Bündel schließen sich beim Mann als M. cremaster dem Samenstrang an und können den Hoden geringgradig anheben, bei der Frau ziehen sie mit dem Lig. teres uteri zum äußeren Leistenring
F: dreht den Rumpf zur gleichen Seite, verengt die untere Thoraxapertur, wirkt (vor allem bei beidseitiger Kontraktion) bei der Exspiration und der Bauchpresse mit

M. rectus abdominis
I: Rr. anteriores der Nn. thoracici (V, VI) VII–XII, gelegentlich auch des N. lumbalis I [Th(5, 6) 7–12 (L 1)]

U: 5.–7. Rippe (Vorderfläche der Rippenknorpel), Processus xiphoideus
A: Crista pubica, Symphysis pubica
F: beugt (vor allem bei beidseitiger Kontraktion) die Wirbelsäule, indem er den Thorax kaudalwärts zieht, oder nähert den vorderen Beckenrand der unteren Thoraxapertur. Der Muskel wirkt bei der Exspiration mit und kann bei der Seitwärtsneigung des Rumpfes mithelfen

M. pyramidalis
I: variabel, meist N. subcostalis [Th(11) 12 (L 1, 2)]
U: Crista pubica, Symphysis pubica (ventral vom Ansatz des M. rectus abdominis)
A: Linea alba
F: der variable, bei über 15 % der Menschen fehlende Muskel spannt die Linea alba an

Bauchmuskulatur: tiefer Bauchmuskel

M. quadratus lumborum
I: N. subcostalis, Rr. anteriores der Nn. lumbales I–III [Th 12, L 1–3]
U: Crista iliaca (Labium externum), Lig. iliolumbale
A: *ventraler Anteil:* 12. Rippe; *dorsaler Anteil:* Processus costales des 4.–1. Lendenwirbels, 12. Rippe
F: zieht die 12. Rippe abwärts und wirkt bei der Lateralflexion des Rumpfes mit. Bei fixiertem Thorax hebt er den seitlichen Beckenrand an

20.1.5 Muskulatur des Beckenbodens

Muskeln im Diaphragma pelvis

M. levator ani
I: Rr. anteriores der Nn. sacrales (II) III, IV, gelegentlich zusätzliche Zweige der Nn. rectales inferiores [S(2) 3, 4]
F: verspannt den Beckenboden, trägt und hält die Eingeweide, trägt entscheidend zum Analverschluss bei **(M. puborectalis)**. Durch die Kontraktion der Levatorschenkel kann beim Mann die Prostata angehoben, bei der Frau die Vagina verengt werden

M. pubococcygeus
U: Os pubis (Innenfläche, vordere zwei Drittel einer Linie, die nahe der Symphysis pubica beginnt und zur Spina ischiadica führt), Arcus tendineus musculi levatoris ani
A: Centrum tendineum perinei (prärektales Faserbündel), Faszie der Prostata *(M. levator prostatae)* bzw. Wand der Vagina *(M. pubovaginalis),* M. sphincter ani externus, Durchflechtung mit Faserzügen der Gegenseite hinter der Flexura perinealis recti *(M. puborectalis),* Os coccygis (Seitenrand)

M. iliococcygeus
U: hinteres Drittel der für den M. pubococcygeus beschriebenen Ursprungslinie, Arcus tendineus musculi levatoris ani
A: Lig. anococcygeum, Os coccygis (Seitenrand)

M. sacrococcygeus ventralis und
M. sacrococcygeus dorsalis
U, A: rudimentäre Muskelzüge, die vor bzw. hinter der Sakrokokzygealverbindung vom Kreuzbein zum Steißbein ziehen

M. ischiococcygeus (M. coccygeus)
I: Rr. anteriores der Nn. sacrales III, IV (V) [S 3, 4 (5)]
U: Spina ischiadica (Innenfläche)
A: Os sacrum (kaudaler Teil), Os coccygis (jeweils Innenfläche)
F: der rudimentäre, oft weitgehend sehnige Muskel kann das Lig. sacrospinale entlasten

Muskeln in der Membrana perinei

M. transversus perinei superficialis
I: Nn. perineales (N. pudendus) [S(2) 3 (4)]
U: Tuber ischiadicum, Ramus ossis ischii (oft einheitlicher Ursprung mit dem M. ischiocavernosus)
A: Centrum tendineum perinei
F: spannt den Damm etwas an, ist bei der Frau meist rückgebildet, nach einer Geburt oft nicht mehr darstellbar

M. transversus perinei profundus
I: N. clitoridis bzw. dorsalis penis oder Nn. perineales des N. pudendus [S(2) 3 (4)]
U: Bindegewebshülle der Vasa pudenda interna, Ramus ossis ischii
A: Durchflechtung mit Faserbündeln der Gegenseite, Centrum tendineum perinei, Faszie der Prostata bzw. Wand der Vagina
F: verspannt den Beckenboden im Schambeinwinkel, wo er das Levatortor, die schwache Stelle des Diaphragma pelvis, zur Oberfläche hin abdeckt. Der (bei der Frau meist schwächer als beim Mann ausgebildete) Muskel unterstützt den M. sphincter urethrae beim Verschluss der Harnblase, der genau genommen ein Verschluss der Harnröhre ist. Beide Muskeln werden auch unter der Bezeichnung *M. compressor urethrae* zusammengefasst

M. sphincter urethrae
I: N. clitoridis bzw. dorsalis penis oder Nn. perineales (N. pudendus) [S(2) 3 (4)]
U, A: Oberflächliche Faserbündel gehen vom Lig. transversum perinei und den Faszienschichten des Diaphragma urogenitale aus, durchflechten sich vor der Urethra mit Fasern der Gegenseite oder ziehen seitlich an der Harnröhre vorbei zum Centrum tendineum perinei. Bei der Frau heften sie sich auch an der Wand der Vagina an, *M. sphincter urethrovaginalis.* Tiefe Züge entspringen von der Bindegewebsscheide der Vasa pudenda interna und umgreifen als ringförmige Muskelzüge die Pars membranacea urethrae

F: bewirkt gemeinsam mit dem M. transversus perinei profundus den Verschluss der Harnblase

Oberflächliche Dammmuskeln

M. bulbospongiosus
I: Nn. perineales (N. pudendus) [S(3) 4]
U: Centrum tendineum perinei, beim Mann zusätzlich von einer medianen Raphe an der Unterfläche des Corpus spongiosum penis
A: bei der Frau bedeckt der durch den Scheidenvorhof von seinem Partner der Gegenseite getrennte Muskel den Bulbus vestibuli und die Glandula vestibularis major. Seine Sehnenfasern heften sich am Corpus cavernosum clitoridis an und durchflechten sich auf dem Rücken des Corpus clitoridis mit Fasern der Gegenseite.
Beim Mann umgreift der Muskel den Bulbus penis und inseriert an der Membrana perinei, am Corpus spongiosum penis und – weiter peripher als der M. ischiocavernosus – am Corpus cavernosum penis (Seitenfläche), wobei Sehnenfasern in den die Vasa dorsalia penis bedeckenden Teil der Fascia penis profunda einstrahlen.
F: bei der Frau dürfte die Muskelkontraktion vermehrt Blut in den vorderen Teil des Bulbus vestibuli treiben und die Glandula vestibularis major entleeren. Außerdem verengt der Muskel beim Orgasmus den Scheideneingang.
Beim Mann komprimiert der Muskel den Bulbus, drängt Blut in das Corpus spongiosum penis und presst den Inhalt der Harnröhre (Urin, Ejakulat) aus.

M. ischiocavernosus
I: Nn. perineales (N. pudendus) [S(3) 4]
U: Ramus ossis ischii
A: bedeckt das Crus clitoridis bzw. Crus penis, inseriert beim Mann an der Tunica albuginea des Corpus cavernosum penis (Seiten- und Unterfläche)
Bei der Frau ist der Muskelbauch reduziert, die Sehnenfasern enden großenteils am Crus clitoridis (Seiten- und Unterfläche). Beim Mann bilden einige Sehnenfaserbündel mit Sehnenzügen des Muskels der Gegenseite am Dorsum penis eine Sehnenschlinge.
F: drängt Blut in den jeweiligen Schwellkörper und verstärkt die Erektion

M. sphincter ani externus
I: Nn. rectales inferiores des N. pudendus [S(3) 4]

Pars subcutanea
U, A: oberflächlich im Bindegewebe der Dermis und Subcutis vor und hinter dem Anus

Pars superficialis
U: Centrum tendineum perinei
A:Lig. anococcygeum

Pars profunda
U, A: 3–4 cm hohe Muskelschlinge, die vom Centrum tendineum perinei um den Canalis analis zum Centrum tendineum zieht und am kranialen Rand mit dem M. levator ani in Verbindung steht
F: verengt den Analkanal mit willkürlich wechselndem Tonus zu einem sagittal gerichteten Spalt und wirkt wesentlich an dessen Verschluss mit.

20.1.6 Muskulatur des Kopfes

Augenmuskulatur: Muskeln des Augapfels

M. rectus superior
I: R. superior des N. oculomotorius
U: Anulus tendineus communis
A: Bulbus oculi vor dem Aequator (oberer Umfang der Sclera, 7–8 mm hinter dem Rand der Cornea)
F: dreht den Augapfel hauptsächlich nach oben (Blickhebung), adduziert ihn und rotiert die obere Bulbushälfte einwärts

M. rectus inferior
I: R. inferior des N. oculomotorius
U: Anulus tendineus communis
A: Bulbus oculi vor dem Aequator (unterer Umfang der Sclera, etwa 6 mm hinter dem Rand der Cornea)
F: dreht den Augapfel hauptsächlich nach unten (Blicksenkung), adduziert ihn und rotiert die obere Bulbushälfte auswärts

M. rectus medialis
I: R. inferior des N. oculomotorius
U: Anulus tendineus communis
A: Bulbus oculi vor dem Aequator (medialer Umfang der Sclera, knapp 6 mm hinter dem Rand der Cornea)
F: adduziert den Augapfel

M. rectus lateralis
I: N. abducens
U: Anulus tendineus communis und Ala minor (untere Wurzel)
A: Bulbus oculi vor dem Aequator (lateraler Umfang der Sclera, etwa 7 mm hinter dem Rand der Cornea)
F: abduziert den Augapfel

M. obliquus superior
I: N. trochlearis
U: Corpus ossis sphenoidalis (medial vom Anulus tendineus communis), Periorbita und Durascheide des N. opticus
Hypomochlion: Trochlea, fixiert in der Fovea (oder an der Spina) trochlearis
A: Bulbus oculi hinter dem Aequator (hinterer, oberer, temporaler Quadrant der Sclera)
F: dreht den Augapfel (vor allem) nach unten (Blicksenkung), abduziert ihn und rotiert die obere Bulbushälfte einwärts

M. obliquus inferior
I: R. inferior des N. oculomotorius
U: Lamina orbitalis maxillae (unmittelbar lateral der Incisura lacrimalis)

A: Bulbus oculi hinter dem Aequator (hinterer, unterer, temporaler Quadrant der Sclera)
F: dreht den Augapfel hauptsächlich nach oben (Blickhebung), abduziert ihn und rotiert die obere Bulbushälfte auswärts

Augenmuskulatur: Muskeln der Augenlider

M. levator palpebrae superioris
I: R. superior des N. oculomotorius
U: Ala minor ossis sphenoidalis (oberer Umfangdes Canalis opticus, außerhalb des Anulus tendineus communis), Durascheide des N. opticus
A: *Lamina superficialis:* Bindegewebe des Oberlids, nahe Lidrand; *Lamina profunda:* Tarsus des Oberlids
F: hält und hebt das Oberlid

M. orbicularis oculi (S. 613)

Muskulatur der Gehörknöchelchen

M. tensor tympani
I: N. musculi tensoris tympani (N. mandibularis)
U: Semicanalis musculi tensoris tympani (vor allem obere Wand), Cartilago tubae auditivae (nahe Pars ossea)
Hypomochlion: Processus cochleariformis
A: Manubrium mallei (Basis)
F: reguliert durch Zug am Hammerstiel die Spannung des Trommelfells

M. stapedius
I: N. stapedius (N. facialis)
U: Hohlraum der Eminentia pyramidalis
A: Caput stapedis
F: dämpft die Schwingungen der Fußplatte des Steigbügels in der Fenestra vestibuli

Kaumuskulatur

M. temporalis
I: Nn. temporales profundi (N. mandibularis)
U: Fossa temporalis, Fascia temporalis
A: Processus coronoideus mandibulae
F: hebt den Unterkiefer (Kieferschluss, Adduktion). Die Fasern des hinteren Drittels können den vorgeschobenen Kiefer zurückziehen

M. masseter
I: N. massetericus (N. mandibularis)
U: *Pars superficialis:* vordere zwei Drittel des Arcus zygomaticus (Unterrand); *Pars profunda:* hinteres Drittel des Arcus zygomaticus (Innenfläche)
A: *Pars superficialis:* Angulus mandibulae (Außenfläche); *Pars profunda:* Ramus mandibulae (Außenfläche), Tuberositas masseterica
F: hebt den Unterkiefer (Kieferschluss). Die Pars superficialis hilft auf der Balanceseite bei der Mahlbewegung mit, indem sie den Unterkiefer etwas schräg nach vorn führt

M. pterygoideus medialis
I: N. pterygoideus medialis (N. mandibularis)
U: Fossa pterygoidea des Os sphenoidale
A: Angulus mandibulae (Innenfläche)
F: hebt (bei beidseitiger Kontraktion) den Unterkiefer (Kieferschluss), hilft (bei einseitiger Kontraktion) auf der Balanceseite bei der Mahlbewegung mit, indem er den Unterkiefer etwas schräg nach vorn führt

M. pterygoideus lateralis
I: N. pterygoideus lateralis (N. mandibularis)
U: *oberer Kopf:* Ala major ossis sphenoidalis (Unterfläche bis zur Crista infratemporalis); *unterer Kopf:* Lamina lateralis des Processus pterygoideus (Außenfläche)
A: Processus condylaris mandibulae (Fovea pterygoidea), Sehnenfasern des oberen Kopfes zusätzlich an der Kapsel und am Discus articularis des Kiefergelenks
F: der untere Kopf zieht (bei beidseitiger Kontraktion) den Unterkiefer nach vorn und kann bei Lähmung der Mundbodenmuskulatur allein den Kiefer öffnen. Der obere Kopf kontrahiert sich zeitgleich mit den Schließmuskeln. Bei einseitiger Kontraktion führt der Muskel den Kiefer bei der Mahlbewegung auf der Balanceseite schräg nach vorn

Mimische Muskulatur: Muskeln der Kopfschwarte (M. epicranius)

M. occipitofrontalis
I: *Venter occipitalis:* R. occipitalis des N. auricularis posterior; *Venter frontalis:* Rr. temporales des N. facialis
U: *Venter occipitalis:* Linca nuchalis suprema: *Venter frontalis:* Haut einer Stirnhälfte (Gegend der Augenbraue), teils Durchflechtung der Muskelbündel mit Fasern von M. procerus, M. corrugator und M. depressor supercilii sowie lateralen Bündeln des M. orbicularis oculi
A: Galea aponeurotica
F: kann mit dem vorderen Bauch die Brauen hochziehen (Ausdruck der Aufmerksamkeit) und die Stirn runzeln, wobei der hintere Bauch die Kopfhaut fixiert. Manche Menschen können die Kopfhaut auch nach hinten verschieben

M. parietooccipitalis
I: Rr. temporales des N. facialis
U: Haut der Schläfengegend, Fascia temporalis
A: Galea aponeurotica
F: der mehr oder minder rudimentäre Muskel kann die Kopfhaut fixieren helfen

Mimische Muskulatur: Muskeln um die Lidspalte

M. orbicularis oculi
I: Rr. temporales und Rr. zygomatici des N. facialis

Pars palpebralis
U: Lig. palpebrale mediale, Wand des Tränensacks, angrenzende Knochenareale des Processus frontalis maxillae und des Os lacrimale. Fasern bedecken die beiden Tarsi und den Konjunktivalsack
A: Lig. palpebrale laterale

Pars orbitalis
U: Pars nasalis ossis frontalis, Os lacrimale, Wand des Tränensacks, Processus frontalis maxillae, Lig. palpebrale mediale. Faserbündel schließen sich der Pars palpebralis peripher an
A: Lig. palpebrale laterale. Lateral davon vereinigen sich die Faserzüge der oberen und der unteren Hälfte zu einem Ringmuskel, Randmuskelzüge strahlen in benachbarte mimische Muskeln ein

Pars lacrimalis
U: Os lacrimale (ein Teil der Fasern umgreift die Tränenröhrchen)
A: teils Wand der Tränenkanälchen (Canaliculi lacrimales), teils Rand von Ober- und Unterlid
F: *Pars palpebralis:* schließt die Lidspalte, verteilt beim Lidschlag die Tränenflüssigkeit. *Pars orbitalis:* schiebt bei festem Lidschluss die Haut über die Augenlider, glättet die Stirnhaut, wirkt bei der Mimik mit. *Pars lacrimalis:* fördert den Tränenfluss, indem sie die Tränenkanälchen erweitert oder verengt

M. corrugator supercilii
I: vorderer R. temporalis des N. facialis
U: Pars nasalis ossis frontalis (oberhalb der Sutura frontomaxillaris, bedeckt von der Pars orbitalis des M. orbicularis oculi)
A: Haut des mittleren Drittels der Augenbraue (oberflächliche, schräge Faserbündel, die den Venter frontalis des M. occipitofrontalis durchbrechen), Galea aponeurotica (tiefe, steile Faserzüge)
F: zieht bei der (beidseitigen) Kontraktion die Augenbrauen in Richtung Nasenwurzel, sodass senkrechte Hautfalten auf der Stirn (oft mit einer tiefen, medianen Furche) entstehen

M. depressor supercilii
I: vorderer R. temporalis des N. facialis
U: mediale Abspaltung der Pars orbitalis des M. orbicularis oculi
A: Haut des medialen Drittels der Augenbraue
F: erzeugt tiefe Querfalten über der Nasenwurzel zwischen den beiden Augenbrauen

Mimische Muskulatur: Muskeln um den Mund

M. orbicularis oris
I: Rr. buccales und R. marginalis mandibularis des N. facialis
U: senkrechter Bindegewebsstreifen in der Schleimhaut und „Muskelknoten" lateral des Angulus oris
A: Durchflechtungszone des Muskels (Faserfilz) und Haut im mittleren Drittel der Ober- und der Unterlippe
F: verengt und schließt die Mundspalte, bestimmt Form und Spannungszustand der Lippen

M. buccinator
I: Rr. buccales des N. facialis
U: Processus alveolaris maxillae (Basis, Gegend des 1. Molaren), Sehnenbogen vom Processus pyramidalis ossis palatini zum Hamulus pterygoideus, Raphe pterygomandibularis, Pars alveolaris mandibulae (Basis, Gegend des 2. bis 3. Molaren)
A: (nach Faserüberkreuzung) senkrechter Bindegewebsstreifen in der Schleimhaut und „Muskelknoten" lateral des Angulus oris, Randzonen des M. orbicularis oris der Ober- und der Unterlippe
F: verengt den Mundhöhlenvorhof, schiebt Nahrungsteile zwischen die Zahnreihen, presst Luft oder Flüssigkeit durch die Mundspalte (Blasen, Pfeifen, Spucken)

M. depressor labii inferioris
I: R. marginalis mandibularis des N. facialis
U: Basis mandibulae (vom Tuberculum mentalelateralwärts bis auf Höhe der distalen Fläche des 1. Molaren, teilweise bedeckt vom M. depressor anguli oris), Faserverbindungen mit dem Platysma
A: Haut des Kinnwulstes und der Unterlippe, tiefe Bündel auch zur Schleimhaut der Unterlippe
F: zieht die Unterlippe abwärts und nach lateral (Ausdruck der Unlust)

M. depressor anguli oris
I: R. marginalis mandibularis des N. facialis
U: Basis mandibulae (nahe Unterrand, vom Tuberculum mentale lateralwärts bis auf Höhe der distalen Fläche des 1. Molaren)
A: „Muskelknoten" lateral des Angulus oris, Haut des Mundwinkels und der Oberlippe
F: zieht den Mundwinkel abwärts, streckt den oberen Teil der Nasolabialfurche (Ausdruck der Unzufriedenheit oder der Trauer)

M. transversus menti
I: vermutlich R. marginalis mandibularis des N. facialis
U, A: Inkonstante, quer verlaufende Muskelfaserbündel unter dem Kinn zwischen rechtem und linkem M. depressor anguli oris
F: runzelt die Kinnhaut

M. risorius
I: Rr. buccales des N. facialis
U: Fascia parotidea, Wangenhaut
A: Angulus oris („Muskelknoten"), Haut der Oberlippe
F: verbreitert die Mundspalte, erzeugt das „Lachgrübchen" der Wange

M. mentalis
I: R. marginalis mandibularis des N. facialis
U: Corpus mandibulae (Fossa mentalis an der Basis der Juga alveolaria vom 1. Schneidezahn bis zum Eckzahn)
A: Kinnhaut unterhalb des Sulcus mentolabialis. Ein Teil der Faserbündel kreuzt zur Gegenseite
F: hebt die Kinnhaut, verursacht das „Kinngrübchen", stülpt gemeinsam mit dem unteren Teil des M. orbicularis oris die Unterlippe vor („Flunsch" der Kinder)

M. levator anguli oris
I: Rr. zygomatici des N. facialis
U: Fossa canina
A: Angulus oris („Muskelknoten")
F: zieht den Mundwinkel nach oben und geringgradig medialwärts

M. levator labii superioris
I: Rr. zygomatici des N. facialis
U: Maxilla (Ursprungslinie beginnt dicht unter dem medialen Ende des Margo infraorbitalis und zieht oberhalb des Foramen infraorbitale nach lateral abwärts auf die Vorderfläche des Processus zygomaticus)
A: Haut der Oberlippe
F: hebt die Oberlippe, vertieft gemeinsam mit M. levator labii superioris alaeque nasi und M. zygomaticus minor die Nasolabialfurche („Weinen")

M. levator labii superioris alaeque nasi
I: Rr. zygomatici des N. facialis
U: Processus frontalis maxillae
A: Haut des Nasenflügels und der Oberlippe, tiefe Bündel zum seitlichen und hinteren Umfang des Nasenlochs
F: hebt den Nasenflügel und die Oberlippe

M. zygomaticus major
I: Rr. zygomatici des N. facialis
U: Os zygomaticum (nahe Sutura zygomaticotemporalis)
A: Haut der Oberlippe, Angulus oris („Muskelknoten")
F: zieht den Mundwinkel nach außen und oben (eigentlicher „Lachmuskel")

M. zygomaticus minor
I: Rr. zygomatici des N. facialis
U: Os zygomaticum (Außenfläche, medial vom Ursprung des M. zygomaticus major)
A: Haut der Oberlippe, variable Faserzüge zum Nasenflügel
F: zieht die Oberlippe nach oben und hinten, vertieft die Nasolabialfurche

Mimische Muskulatur: Muskeln um die Nasenöffnung

M. nasalis
I: Rr. buccales des N. facialis
U: Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahns und des Eckzahns des Oberkiefers
A: *Pars alaris:* Nasenflügel; *Pars transversa:* Cartilago nasi lateralis (Verbindung mit der Sehnenplatte des Muskels der Gegenseite, „Dorsalaponeurose" der Nase)
F: Die Pars alaris erweitert, die Pars transversa verengt das Nasenloch

M. depressor septi
I: Rr. buccales des N. facialis
U: Jugum alveolare des mittleren Schneidezahns des Oberkiefers
A: Cartilago alaris major (Übergang des medialen in den lateralen Schenkel), Haut der Nasenscheidewand und des hinteren Umfangs des Nasenlochs
F: zieht die Nasenspitze abwärts

M. procerus
I: Rr. buccales des N. facialis
U: Dorsum nasi (Os nasale und/oder Cartilago nasi lateralis)
A: Haut der Glabella
F: zieht die Stirnhaut zur Nasenwurzel, erzeugt eine Querfalte zwischen den beiden Augenbrauen

Mimische Muskulatur: Muskeln des äußeren Ohrs

M. auricularis anterior
I: Rr. temporales des N. facialis
U: Fascia temporalis
A: Vorderrand der Cartilago auricularis (Spina helicis = nach vorn gerichtetes Höckerchen am Anfangsteil der Ohrleiste)
F: kann die Ohrmuschel nach vorn ziehen

M. auricularis superior
I: Rr. temporales des N. facialis (vorderer Teil) und R. auricularis des N. auricularis posterior
U: Galea aponeurotica
A: Hinterwand der Cartilago auricularis (an der durch Scapha und Fossa triangularis vorgewölbten Fläche)
F: kann die Ohrmuschel nach oben ziehen

M. auricularis posterior
I: R. auricularis des N. auricularis posterior
U: Processus mastoideus, Seitenteil der Linea nuchalis superior
A: Hinterwand der Cartilago auricularis (an der durch die Cavitas conchalis vorgewölbten Fläche)
F: kann die Ohrmuschel nach hinten ziehen

Zungenmuskulatur: Binnenmuskeln der Zunge

M. longitudinalis superior
I: N. hypoglossus
U, A: unpaare Muskelschicht unmittelbar unter der Aponeurosis linguae (von der Zungenwurzel bis zur Zungenspitze)
F: hilft mit, die Zunge zu verkürzen und zu verbreitern, aber auch die Zungenspitze zu heben

M. longitudinalis inferior
I: N. hypoglossus
U, A: paariger Längsmuskel nahe der Zungenunterfläche (von der Zungenwurzel bis zur Zungenspitze, zwischen dem lateral verlaufenden M. hyoglossus und dem medial gelegenen M. genioglossus, spitzenwärts vom M. styloglossus bedeckt)
F: hilft mit, die Zunge zu verkürzen und den Zungenrücken in Längsrichtung zu wölben

M. transversus linguae
I: N. hypoglossus
U, A: quer verlaufende, vom Septum linguae zur Aponeurosis linguae am Zungenrand, teils auch ohne Unterbrechung von Seitenrand zu Seitenrand der Zunge ziehende Muskelfasern
F: verschmälert die Zunge und streckt sie dadurch

M. verticalis linguae
I: N. hypoglossus
U, A: von der Unterfläche der Zunge zur Aponeurosis lingualis verlaufende Fasern
F: plattet die Zunge ab, die zur Zungenmitte gelegenen Faserzüge erzeugen eine Längsrinne. Kombiniert mit dem M. transversus linguae verlängert er die Zunge, sodass die Zungenspitze aus der Mundspalte herausgestreckt werden kann

Zungenmuskulatur: Außenmuskeln der Zunge

M. genioglossus
I: N. hypoglossus
U: Spina mentalis mandibulae
A: Aponeurosis linguae (von der Zungenspitze bis zum Zungengrund)
F: kann je nach den an der Kontraktion beteiligten Faserbündeln die Zunge nach vorn schieben, sie vom Munddach weg nach unten ziehen, zur Gegenseite führen oder die Zungenspitze senken

M. hyoglossus
I: N. hypoglosus
U: Cornu majus und angrenzendes Teilstück des Corpus ossis hyoidei
A: Aponeurosis lingualis (vom Zungengrund bis zur Zungenspitze, lateral von M. genioglossus und M. longitudinalis inferior)
F: führt bei fixiertem Zungenbein die Zunge nach hinten, zieht den Zungenrücken abwärts und senkt bei einseitiger Kontraktion den Zungengrund

M. styloglossus
I: N. hypoglossus
U: Processus styloideus ossis temporalis (Vorderkante), gelegentlich übergreifend auf das Lig. stylomandibulare oder auf das Lig. stylohyoideum
A: Seitenrand der Zunge (vom hinteren Gaumenbogen bis zur Zungenspitze), von wo jeweils Fasern nach medial umbiegen
F: biegt bei einseitiger Kontraktion die Zunge zur gleichen Seite und hebt den Zungenrand an. Bei beidseitiger Kontraktion führt er die Zunge wie an einem Zügel nach hinten oben. Hilft außerdem mit, die Zungenspitze zu heben

M. chondroglossus
I: N. hypoglossus
U: Cornu minus ossis hyoidei
A: Aponeurosis lingualis
F: hilft mit, die Zunge nach hinten zu ziehen, den Zungenrücken abzuplatten und bei einseitiger Kontraktion den Zungenrand zu senken

Muskulatur des Gaumensegels und der Gaumenbögen

M. tensor veli palatini
I: N. musculi tensoris veli palatini (N. mandibularis)
U: Fossa scaphoidea an der Wurzel der Lamina medialis des Processus pterygoideus, Ala major ossis sphenoidalis (Unterfläche), Tuba auditoria (membranöse Außenwand)
A: Aponeurosis palatina
F: spannt das Gaumensegel und hebt es bis in Höhe seines Hypomochlions, des Hamulus pterygoideus, erweitert das Lumen der Tuba auditiva durch Zug an der membranösen Wand

M. levator veli palatini
I: Plexus pharyngeus (Nn. glossopharyngeus und vagus), möglicherweise auch Beteiligung von Fasern des N. facialis
U: Pars petrosa ossis temporalis (Unterfläche vor dem Canalis caroticus), Cartilago tubae auditivae (Unterrand)
A: Aponeurosis palatina
F: spannt und hebt das Gaumensegel, das er beim Schluckakt an die hintere Rachenwanddrückt, erweitert das Lumen der Tuba auditiva, indem er mit dem verdickten Muskelbauch den Tubenknorpel im Bereich des Torus tubarius abdrängt

M. uvulae
I: Plexus pharyngeus (N. vagus), nach anderen Angaben über den N. facialis
U: Aponeurosis palatina
A: Schleimhaut an der Spitze der Uvula palatina
F: verkürzt und verdickt (als paariger Muskel) das Zäpfchen

M. palatoglossus
I: N. glossopharyngeus
U: Aponeurosis palatina
A: M. transversus linguae
F: hebt den Zungengrund oder zieht das Gaumensegel abwärts. Die Mm. palatoglossi beider Seiten und der M. transversus linguae bilden einen Muskelring, der den Isthmus faucium verengen kann und beim Schluckakt den Bissen abkneift

M. palatopharyngeus (S. 617)

20.1.7 Muskulatur des Halses

Halsmuskulatur: oberflächliche Schicht

Platysma
I: R. colli des N. facialis
U: Basis mandibulae, Gesichtshaut, Fascia parotidea, „Muskelknoten" am Angulus oris
A: Haut von Brust und Schulter (Insertionslinie führt vom Knorpel der 2. Rippe oder vom 3. Interkostalraum zum Acromion)
F: beeinflusst das Mienenspiel, staucht bei plötzlicher (unwillkürlicher) Kontraktion die Halshaut und zieht den Unterkiefer abwärts

M. sternocleidomastoideus
I: N. accessorius, Rr. anteriores der Nn. cervicales II, III (IV) [C 2, 3 (4)]
U: Manubrium sterni (Oberrand), Extremitas sternalis claviculae
A: Processus mastoideus. Seitenrand der Linea nuchalis superior
F: neigt den Kopf zur gleichen Seite, dreht ihn zur Gegenseite und kippt ihn (bei beidseitiger Kontraktion) nach hinten

Halsmuskulatur: infrahyoidale Muskulatur

M. sternohyoideus
I: Ansa cervicalis [C 1–3 (4)]
U: Manubrium sterni (Dorsalfläche), Articulatio sternoclavicularis (Gelenkkapsel)
A: Corpus ossis hyoidei (Unterrand)
F: zieht das Zungenbein abwärts

M. omohyoideus
I: Ansa cervicalis [C 1–3 (4)]
U: Margo superior scapulae (medial der Incisura scapulae), Lig. transversum scapulae superius
A: Corpus ossis hyoidei
F: zieht das Zungenbein abwärts, spannt die Lamina pretrachealis der Halsfaszie und fördert damit den Blutabfluss in der V. jugularis interna

M. sternothyroideus
I: Ansa cervicalis [C 1–3 (4)]
U: Manubrium sterni (Dorsalfläche)
A: Linea obliqua der Cartilago thyroidea
F: zieht den Schildknorpel abwärts, bestimmt zusammen mit dem M. thyrohyoideus den Abstand des Schildknorpels vom Zungenbein

M. thyrohyoideus
I: R. thyrohyoideus ansae cervicalis [C 1, 2]
U: Linea obliqua der Cartilago thyroidea
A: Corpus ossis hyoidei (laterales Drittel) und Cornu majus (ventrale Hälfte)
F: zieht bei fixiertem Zungenbein den Schildknorpel kranialwärts, regelt gemeinsam mit dem M. sternothyroideus die Stellung des Kehlkopfs zwischen Sternum und Zungenbein

M. levator glandulae thyroideae
variable Abspaltung oberflächlicher Faserbündel des M. thyrohyoideus, die vom Kaudalteil des Muskels, vom Schildknorpel oder vom Zungenbein zum Isthmus der Glandula thyroidea oder zu einem Lobus pyramidalis treten

Halsmuskulatur: suprahyoidale Muskulatur

M. mylohyoideus
I: N. mylohyoideus (N. alveolaris inf. aus N. mandibularis)
U: Linea mylohyoidea mandibulae
A: Corpus ossis hyoidei, mediane Raphe zwischen Mandibula und Os hyoideum
F: kann das Zungenbein heben oder den Unterkiefer abwärts ziehen, bildet ein muskulöses Widerlager für die Zunge

M. digastricus
I: *Venter posterior:* R. digastricus des N. facialis; *Venter anterior:* N. mylohyoideus
U: Incisura mastoidea (Venter posterior), Fossa digastrica (Venter anterior).
A: Zwischensehne durch sehnige Schleife an Corpus und Cornu majus ossis hyoidei gefesselt
F: kann das Zungenbein heben oder den Unterkiefer senken

M. stylohyoideus
I: R. stylohyoideus des N. facialis
U: Processus styloideus ossis temporalis (Außenfläche des Basisteils)
A: Corpus und Cornu majus ossis hyoidei. Der Muskelbauch spaltet sich ansatznah, die beiden Teilzüge umfassen die Zwischensehne des M. digastricus
F: zieht das Zungenbein nach hinten oben

M. geniohyoideus
I: Rr. anteriores der Nn. cervicales I und II [C 1, 2]
U: Spina mentalis mandibulae
A: Corpus ossis hyoidei
F: zieht das Zungenbein nach vorn

Halsmuskulatur: Skalenusgruppe

M. scalenus anterior
I: Rr. anteriores der Nn. cervicales (IV) V–VII (VIII) [C(4) 5–7 (8)]
U: Tubercula anteriora der Querfortsätze des 3.–6. Halswirbels
A: Tuberculum musculi scaleni anterioris der 1. Rippe
F: hebt bei fixierter Halswirbelsäule die 1. Rippe und erweitert somit den Thorax (Inspirationsmuskel), zieht bei einseitiger Kontraktion die Halswirbelsäule seitwärts und wirkt bei deren Beugung mit

M. scalenus medius
I: Rr. anteriores der Nn. cervicales (III) IV–VIII, teils auch N. dorsalis scapulae [C(3) 4–8]
U: Processus transversi des 3.–7. Halswirbels, akzessorische Zacken von den Querfortsätzen von Atlas und Axis
A: 1. Rippe dorsal vom Sulcus arteriae subclaviae, gelegentlich auch 2. Rippe (Außenfläche)
F: Rippenheber und -halter wie der M. scalenus anterior, kann die Halswirbelsäule seitwärts neigen

M. scalenus posterior
I: R. anterior des N. cervicalis VII oder VIII [C 7 oder C 8]
U: Tubercula posteriora der Querfortsätze des 5. und 6. Halswirbels
A: 2. Rippe, manchmal auch 3. Rippe (Außenfläche)
F: Rippenheber und -halter, kann bei festgestellten Rippen die Halswirbelsäule etwas seitwärts neigen und geringgradig zur gleichen Seite drehen

M. scalenus minimus
I: R. anterior des N. cervicalis VIII [C 8]
U: Tuberculum anterius des Querfortsatzes des (6. und) 7. Halswirbels
A: Innenrand der 1. Rippe (dorsal vom M. scalenus anterior, trennt die A. subclavia vom Plexus brachialis in der Skalenuslücke), Membrana suprapleuralis
F: der inkonstante Muskel kann den M. scalenus anterior unterstützen und hilft, die Pleurakuppel zu verspannen

Halsmuskulatur: prävertebrale Halsmuskeln

M. rectus capitis anterior (S. 608)
M. rectus capitis lateralis (S. 608)
M. longus capitis (S. 608)
M. longus colli (S. 608)

Rachenmuskulatur: Schlundschnürer

M. constrictor pharyngis superior
I: Plexus pharyngeus (N. glossopharyngeus)
U: inkonstante *Pars petropharyngea:* Pars petrosa ossis temporalis; *Pars pterygopharyngea:* Lamina medialis des Processus pterygoideus (Hinterrand), Hamulus pterygoideus; *Pars buccopharyngea:* Raphe pterygomandibularis; *Pars mylopharyngea:* Linea mylohyoidea der Mandibula; *Pars glossopharyngea:* M. transversus linguae, Mundschleimhaut
A: Raphe pharyngis
F: schnürt gemeinsam mit dem horizontalen Faserzug des M. palatopharyngeus die Rachenwand am unteren Ende des Nasenrachenraums zum Passavant-Ringwulst ein, dem sich das Gaumensegel anlegt (Abschluss des Epipharynx beim Schluckakt)

M. constrictor pharyngis medius
I: Plexus pharyngeus (N. glossopharyngeus und N. vagus)
U: *Pars chondropharyngea:* Cornu minus ossis hyoidei; *Pars ceratopharyngea:* Cornu majus ossis hyoidei
A: Raphe pharyngis (zweites und drittes Viertel)
F: schnürt den Rachenraum ein, sodass der Bissen durch die kaudalwärts fortschreitende Einengung des Lumens zum Oesophagus gedrängt wird

M. constrictor pharyngis inferior
I: Plexus pharyngeus (N. vagus), N. laryngeus superior
U: *Pars thyropharyngea:* Cartilago thyroidea (Außenfläche, dorsal der Linea obliqua); *Pars cricopharyngea:* Cartilago cricoidea (Seitenfläche); inkonstante *Pars tracheopharyngea:* Cartilago trachealis 1 (Seitenfläche)
A: Raphe pharyngis (mittleres und kaudales Drittel)
F: führt die wellenförmig (metachron) fortschreitende Einschnürung der mittleren und unteren Etage des Rachenraums und damit den Transport des Bissens zum Oesophagus fort. Da die Raphe pharyngis Fixpunkt ist, bewirkt die Kontraktion der großenteils schräg zur Ansatzstelle aufsteigenden Fasern auch eine Verkürzung des unteren Pharynx

Rachenmuskulatur: Schlundheber

M. palatopharyngeus
I: Plexus pharyngeus (N. glossopharyngeus)
U: Aponeurosis palatina, Hamulus pterygoideus
A: Cartilago thyroidea (Hinterrand), dorsale Pharynxwand (annähernd zirkuläres Bündel lumenwärts vom M. constrictor pharyngis superior, schräg absteigende Züge in die Hinterwand der unteren Pharynxetage)
F: engt den Isthmus faucium ein, indem er den hinteren Gaumenbogen zur Mitte hin vorschiebt, hebt den Pharynx an und verkürzt die Rachenwand. Das „Ringfaserbündel" drängt die Pharynxwand dem gespannten und angehobenen Gaumensegel entgegen

M. salpingopharyngeus
I: Plexus pharyngeus (N. glossopharyngeus)
U: Cartilago tubae auditivae (Unterfläche des freien Endes)
A: seitliche Pharynxwand
F: unterstützt die beiden anderen kräftigeren Schlundheber

M. stylopharyngeus
I: R. musculi stylopharyngei des N. glossopharyngeus
U: Processus styloideus ossis temporalis (Hinterwand des basisnahen Anteils)
A: Cartilago thyroidea (Ober- und Hinterrand), Tela submucosa des Mesopharynx. Der Muskel tritt zwischen M. constrictor pharyngis superior und medius an die Innenfläche des Muskelrohrs
F: hebt den Pharynx und zieht ihn über den Bissen hinweg. Die zur Tela submucosa der mittleren Pharynxetage tretenden Faserzüge verlaufen bei der Schlundhebung zunehmend flacher, fast transversal, sodass sie den Mesopharynx erweitern können (besonders ausgeprägt beim Würgen)

Kehlkopfmuskulatur: äußerer Kehlkopfmuskel

M. cricothyroideus
I: R. externus des N. laryngeus superior (N.vagus)
U: Arcus cartilaginis cricoideae (Außenfläche, nahe Medianlinie)
A: Cartilago thyroidea (Unterrand der Lamina bis zum Vorderrand des Cornu inferius)
F: kippt bei festgestelltem Schildknorpel den Ringknorpel um die quere Gelenkachse und verändert so die Spannung der Stimmfalte

Kehlkopfmuskulatur: innere Kehlkopfmuskeln

M. cricoarytaenoideus posterior
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Lamina cartilaginis cricoideae (Hinterfläche)
A: Processus muscularis der Cartilago arytaenoidea
F: dreht den Stellknorpel um eine vertikale Achse nach außen und kippt ihn etwas seitwärts, sodass sich die Spitzen der Processus vocales voneinander entfernen. Die Stimmritze wird erweitert

M. ceratocricoideus
Der Muskel ist in etwa 25 % der Fälle als laterale Abspaltung des M. cricoarytaenoideus posterior nachweisbar und verbindet die Ringknorpelplatte mit dem unteren Horn des Schildknorpels

M. cricoarytaenoideus lateralis
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Arcus cartilaginis cricoideae (Oberrand des Seitenteils)
A: Processus muscularis der Cartilago arytaenoidea
F: dreht den Stellknorpel um eine vertikale Achse einwärts, sodass sich die Spitzen der Processus vocales einander nähern. Die Pars intermembranacea der Stimmritze wird verengt bzw. geschlossen

M. thyroarytaenoideus
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Cartilago thyroidea (Innenfläche der Lamina, nach lateral an den M. vocalis anschließend)
A: Cartilago arytaenoidea (Vorder-Seitenfläche)
F: unterstützt den M. cricoarytaenoideus lateralis bei der. Einwärtsdrehung des Stellknorpels und damit beim Verschluss der Pars intermembranacea der Stimmritze

M. thyroepiglotticus (Pars thyroepiglottica des M. thyroarytaenoideus)
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Cartilago thyroidea (Innenfläche der Lamina, anschließend an den M. thyroarytaenoideus)
A: Cartilago epiglottica, Membrana quadrangularis
F: nicht bekannt, ein Verschluss des Kehlkopfeingangs durch den M. thyroepiglotticus und M. aryepiglotticus ist nicht möglich

M. vocalis
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Cartilago thyroidea (Rückfläche des Schildknorpelbugs)
A: Processus vocalis (Spitze) und Fovea oblonga der Cartilago arytaenoidea
F: regelt (durch isometrische Kontraktion) die Spannung der Stimmfalte und damit deren Schwingungsfähigkeit

M. arytaenoideus obliquus
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Cartilago arytaenoidea (Hinterfläche)
A: Cartilago arytaenoidea der Gegenseite (Hinterfläche, nahe der Spitze)
F: verengt die Pars intercartilaginea der Stimmritze, indem er die beiden Knorpel einander nähert und gegeneinander kippt

M. aryepiglotticus (Pars aryepiglottica des M. arytaenoideus obliquus)
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Apex cartilaginis arytaenoideae (oder Fortsetzung von Faserzügen aus dem M. arytaenoideus obliquus)
A: Cartilago epiglottica, Plica aryepiglottica
F: nicht bekannt

M. arytaenoideus transversus
I: N. laryngeus inferior (N.vagus)
U: Cartilago arytaenoidea (basales und mittleres Drittel der Hinterfläche)
A: Cartilago arytaenoidea der Gegenseite (entsprechende Fläche)
F: nähert die Stellknorpel einander an und verengt dadurch die Pars intercartilaginea der Stimmritze.

20.2 Systematik der Arterien

20.2.1 Truncus pulmonalis

Der Arterienstamm der Lunge, **Truncus pulmonalis** (▶ **Abb. 20.1**[1]) entspringt in Höhe der Sternalinsertion der 3. linken Rippe aus dem Conus arteriosus des rechten Ventrikels. Er ist knapp 5 cm lang und zieht intraperikardial – etwas nach links gerichtet – kranial- und dorsalwärts zur T-förmigen *Bifurcatio trunci pulmonalis*[2], wo er sich in Höhe des 2. linken Interkostalraums (= Höhe des 4.–5. Brustwirbels) in die beiden *Aa. pulmonales* teilt.

Das Epikard schlägt ventral in Höhe der Teilungsstelle in das Perikard um, dorsal meist etwas tiefer noch im Bereich des Truncus pulmonalis, sodass das Lig. arteriosum in der Regel außerhalb des Perikards liegt.

Die rechte Lungenarterie (**A. pulmonalis dextra**[3]) ist etwas länger und weitlumiger als die linke. Sie zieht hinter der Pars ascendens aortae und der V. cava superior, vor dem Oesophagus und dem Bronchus principalis dexter, zum Hilum der rechten Lunge und teilt sich zunächst entweder in 3 Äste zu den Lungenlappen oder in 2 Äste, von denen sich der untere zu Mittel- und Unterlappen aufzweigt. Die A. pulmonalis dextra entsendet:

- *Rr. lobi superioris*, aus denen als Segmentarterien der *R. apicalis*[5], die *Rr. anteriores*[7] *ascendens* und *descendens* sowie die *Rr. posteriores*[6] *ascendens* und *descendens* zu den 3 Oberlappensegmenten hervorgehen,
- *Rr. lobi medii*, die als *R. lateralis*[8] und *R. medialis*[9] zu den beiden Mittellappensegmenten treten,
- *Rr. lobi inferioris*, wobei der *R. superior (apicalis) lobi inferioris*[14] zum apikalen Segment des Unterlappens zieht, die Segmentarterien der 4 basalen Segmente[10-13] (als *R. basalis anterior, lateralis, medialis* und *posterior*) aus der *Pars basalis*[4], dem Endast der rechten Lungenarterie, entspringen.

Die linke Lungenarterie (**A. pulmonalis sinistra**[15]) verläuft vor der Pars descendens aortae und dem linken Hauptbronchus quer zum Hilum der linken Lunge und teilt sich meist in je einen Gefäßstamm zu Ober- und Unterlappen.

Von der linken Lungenarterie oder der Bifurcatio trunci pulmonalis zieht zum Kaudalende des Aortenbogens als derber Bindegewebsstrang das *Lig. arteriosum*[27], ein Relikt des Ductus arteriosus.

Die A. pulmonalis sinistra zweigt sich auf in:

- *Rr. lobi superioris*, aus denen zu den Oberlappensegmenten folgende Segmentarterien hervorgehen: *R. apicalis*[17], *R. posterior*[18], *R. anterior*[19] *ascendens* und *descendens* sowie *R. lingularis*[20] *superior* und *inferior*.
- *Rr. lobi inferioris*, wobei der *R. superior*[25] zum Spitzensegment des linken Unterlappens, die sich aus der Pars basalis[16] abzweigenden *Rr. basales*[21–24] (*anterior, lateralis, medialis* und *posterior*) zu den basalen Segmenten treten.

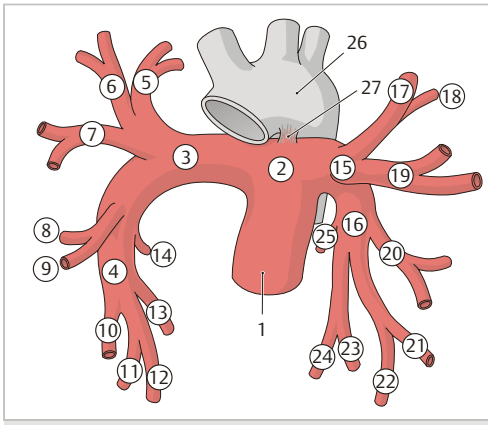


Abb. 20.1 Astfolge des Truncus pulmonalis.
Ansicht von ventral.
1 Truncus pulmonalis
2 Bifurcatio trunci pulmonalis
3 **A. pulmonalis dextra**
4 Pars basalis
5–14 *Äste der A. pulmonalis dextra*
5–7 *Rr. lobi superioris*
5 R. apicalis
6 R. posterior
7 R. anterior
8, 9 *Rr. lobi medii*
8 R. lateralis
9 R. medialis
10–14 *Rr. lobi inferioris*
10 R. basalis anterior
11 R. basalis lateralis
12 R. basalis posterior
13 R. basalis medialis
14 R. superior
15 **A. pulmonalis sinistra**
16 Pars basalis
17–25 *Äste der A. pulmonalis sinistra*
17–20 *Rr. lobi superioris*
17 R. apicalis
18 R. posterior
19 R. anterior
20 R. lingularis
21–25 *Rr. lobi inferioris*
21 R. basalis anterior
22 R. basalis lateralis
23 R. basalis posterior
24 R. basalis medialis
25 R. superior
26 Arcus aortae
27 Lig. arteriosum
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

20.2.2 Aorta

Die **Aorta** (▶ **Abb. 20.2**) geht aus dem linken Ventrikel als Pars ascendens aortae (**Aorta ascendens**[2]) hervor. Sie entspringt innerhalb des Perikards hinter dem linken Sternalrand in Höhe des 3. Interkostalraums und ist etwa 5 cm lang. Die Aorta ascendens zieht intraperikardial kranialwärts bis in Höhe des 2. rechten Sternokostalgelenks. Als einzige Äste gibt sie nahe ihrem Ursprung die paarigen *Aa. coronariae*[8] ab. Der Aortenursprung ist an den Taschenklappen zum *Bulbus aortae*[1] ausgeweitet, der von 3 Ausbuchtungen der Aortenwand (*Sinus aortae*) hervorgerufen wird. An der Perikardumschlagstelle setzt sich die Aorta ascendens in den Aortenbogen fort.

Der Aortenbogen (**Arcus aortae**[3]) erreicht mit seinem Scheitel die Höhe der Sternalinsertion der linken 1. Rippe und ist 5–6 cm lang. Er kreuzt hinter dem Manubrium sterni und der V. brachiocephalica sinistra die Medianebene unter spitzem Winkel von rechts nach links, sodass er bei der Projektion auf die Brustwand (Röntgenaufnahme im sagittalen Strahlengang) verkürzt erscheint. Der Aortenbogen zieht über die Teilungsstelle der Trachea bzw. über den linken Hauptbronchus hinweg und an der linken Wand des Oesophagus vorbei zur linken Seite der Brustwirbelsäule, wo er sich in Höhe des 4. Brustwirbels in die Aorta descendens fortsetzt. Die Äste des Arcus aortae versorgen Hals, Kopf, beide oberen Extremitäten und das Zwerchfell sowie Organe im Brustraum.

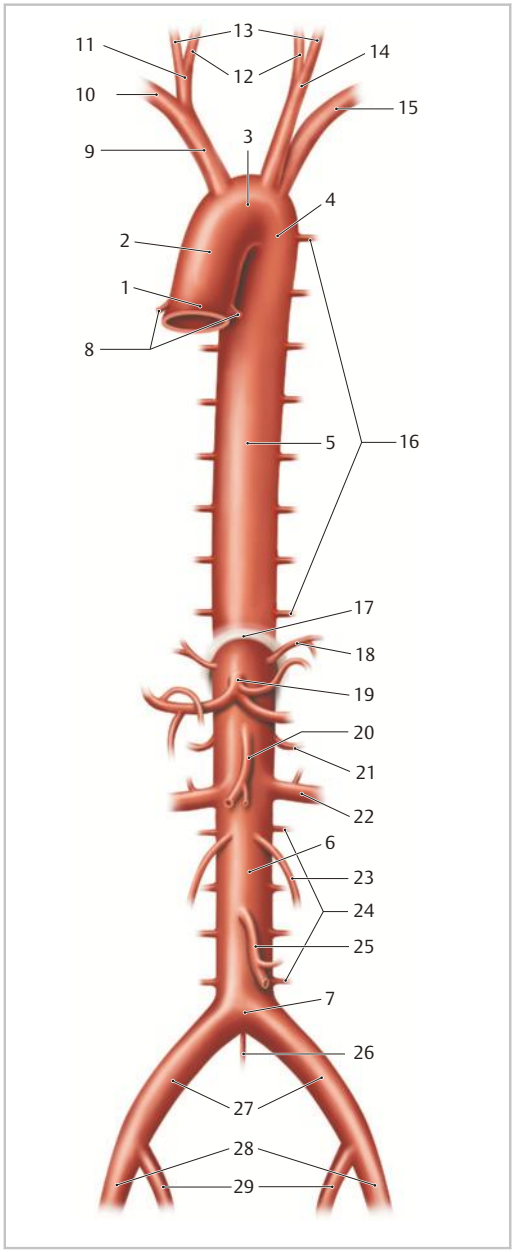


Abb. 20.2 Gliederung und Astfolge der Aorta.
1 Bulbus aortae
2 Pars ascendens aortae
3 Arcus aortae
4 Isthmus aortae
5, 6 *descendens aortae*
5 Pars thoracica aortae (s. ▶ **Abb. 20.9**)
6 Pars abdominalis aortae (s. ▶ **Abb. 20.10**)
7 Bifurcatio aortae
8 Aa. coronariae (s. ▶ **Abb. 20.3**)
9 Truncus brachiocephalicus
10 A. subclavia dextra
11 A. carotis communis dextra
12 A. carotis interna
13 A. carotis externa (s. ▶ **Abb. 20.4**)
14 A. carotis communis sinistra
15 A. subclavia sinistra
16 Aa. intercostales posteriores
17 Lig. arcuatum medianum, Umrandung des Hiatus aorticus
18 A. phrenica inferior sinistra
19 Truncus coeliacus (s. ▶ **Abb. 20.11**)
20 A. mesenterica superior (s. ▶ **Abb. 20.12**)
21 A. suprarenalis media sinistra
22 A. renalis sinistra
23 A. testicularis/ovarica sinistra
24 Aa. lumbales
25 A. mesenterica inferior (s. ▶ **Abb. 20.13**)
26 A. sacralis mediana
27 A. iliaca communis
28 A. iliaca externa (s. ▶ **Abb. 20.15**)
29 A. iliaca interna (s. ▶ **Abb. 20.14**)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die Pars descendens aortae (**Aorta descendens**) verläuft vom Unterrand des 4. Brustwirbels bis zum Zwerchfell (Hiatus aorticus, etwa 12. Brustwirbel) als 17–20 cm lange Pars thoracica aortae (**Aorta thoracica**[5]). Ihre Fortsetzung im Bauchraum, die Pars abdominalis aortae (**Aorta abdominalis**[6]), zieht bis in Höhe des 4. (beim alten Menschen auch 5.) Lendenwirbels abwärts (Länge etwa 13–14 cm). Hier teilt sie sich an der *Bifurcatio aortae*[7] in die linke und rechte *A. iliaca communis*[27].

Die Aorta thoracica entsendet *parietale* Äste (segmental angeordnet, paarig) zu Brustwand und Zwerchfell sowie *viszerale* Äste (teils paarig, teils unpaar) zu den Eingeweiden im Mediastinum (S. 635). Die Aorta abdominalis (S. 636) gibt *parietale dorsale* Äste (paarig) zu Zwerchfell und Bauchwand, *viszerale laterale* Äste (paarig) zu paarig ausgebildeten Eingeweiden des Bauchraums und *viszerale ventrale* Äste (unpaar) zu den unpaaren Eingeweiden in Bauch- und Beckenraum (Magen-Darm-Trakt und Derivate) ab.

Aus der dorsalen Wand der Bifurkation geht als kaudale Fortsetzung der Bauchaorta die **A. sacralis mediana**[26] hervor. Sie zieht über das Promontorium hinweg an der Facies pelvica des Kreuzbeins abwärts und endet vor der Steißbeinspitze im Corpus coccygeum.

Dieses Steißknötchen (**Corpus coccygeum**) ist ein Knäuel dünnwandiger Gefäße mit epitheloiden Wandzellen (teils arteriovenöse Anastomosen) von knapp 3 mm Durchmesser. Das Blut wird über die V. sacralis mediana abgeleitet. Die epitheloiden Zellen sind modifizierte glatte Muskelzellen der Gefäßwand.

Die A. sacralis mediana entsendet als *parietale* Äste (paarig) die *A. lumbalis ima* (A. lumbalis V) und mit der A. sacralis lateralis anastomosierende *Rr. sacrales laterales* als *viszerale* Äste mehrere kleine Zweige zur dorsalen Wand des Rectum.

Äste der Aorta ascendens

Die beiden *Herzkranzarterien* (**Aa. coronariae**, ▶ **Abb. 20.3**) entspringen aus dem rechten bzw. linken Sinus aortae in Höhe des freien Rands der Taschenklappen oder etwas kranial davon. Die linke Kranzarterie (A. coronaria sinistra[12]) ist meist etwas kräftiger als die rechte (A. coronaria dextra[2]). Die beiden Arterien versorgen Vorhof- und Kammerwand ihrer jeweiligen Seite und gemeinsam die Scheidewand. Allerdings überschneiden sich die Versorgungsgebiete in individuell unterschiedlichem Ausmaß. Selbst beim Normal-Versorgungstyp des Herzens (knapp 50 % der Fälle) führt die rechte Kranzarterie einem Teil der linken Ventrikelhinterwand Blut zu und die linke Kranzarterie einem Teil der Facies sternocostalis des rechten Ventrikels. Sinusknoten, Atrioventrikularknoten und His-Bündel werden meist von Ästen der rechten Kranzarterie versorgt. Beide Kranzarterien entsenden Zweige zum Perikard und Vasa vasorum zur Pars ascendens aortae. Die Koronararterien sind trotz zahlreicher Anastomosen zwischen feinen Ästen funktionelle Endarterien.

Varianten hinsichtlich Ursprung, Aufzweigung und Zuordnung der Versorgungsgebiete sind relativ häufig. Oft entspringt die A. coni arteriosi separat aus der Aorta, seltener ist ein einheitlicher Ursprung beider Koronararterien oder ein selbstständiger Ursprung der beiden Äste der A. coronaria sinistra. Der hier beschriebene Verzweigungsmodus ist in etwa 60 % der Fälle ausgebildet.

Die **A. coronaria dextra**[2] gelangt zwischen rechtem Herzohr und Truncus pulmonalis in das rechte Teilstück des Sulcus coronarius, zieht um den Margo dexter des Herzens und biegt auf der Facies diaphragmatica spitzenwärts um. Der Endast, *R. interventricularis posterior*[10] , verläuft meist im gleichnamigen Sulcus. Seine Aufzweigungen anastomosieren an der Herzspitze mit feinen Zweigen des R. interventricularis anterior aus der linken Kranzarterie. Die A. coronaria dextra gibt folgende Äste ab:

- *R. coni arteriosi*[4] zur Wand des Conus arteriosus,
- *R. nodi sinuatrialis*[3] zu einem Gefäßgeflecht in der rechten Vorhofwand um die Mündung der V. cava superior, von dem in 55 % der Fälle Zweige zum Sinusknoten treten,
- *Rr. atriales*[5] zum rechten Vorhof,
- *Rr. ventriculares*[6] zur rechten Kammer, darunter der *R. marginalis dexter*[7] zum Grenzbereich von Facies sternocostalis und Facies diaphragmatica des rechten Ventrikels,
- *R. atrialis intermedius* zur Hinterwand des rechten Vorhofs nahe der Einmündung der V. cava inferior,
- *R. interventricularis posterior*[10] als Endast, dessen Zweige beide Ventrikel versorgen und der mehrere kurze *Rr. interventriculares septales*[11] in den hinteren Teil des Kammerseptums entsendet (ausgenommen den Bereich nahe der Herzspitze),
- *R. nodi atrioventricularis*[8] (bei oder kurz nach dem Eintritt in den Sulcus interventricularis posterior) zum Atrioventrikularknoten.

Die **A. coronaria sinistra**[12] teilt sich nach kurzem Verlauf zwischen Truncus pulmonalis und linkem Herzohr in den *R. interventricularis anterior*[17], der im Sulcus interventricularis anterior die Incisura apicis cordis erreicht, und den *R. circumflexus (sinister)*[15], der in den linken Teil des Sulcus coronarius einbiegt, den linken Herzrand umrundet und zur Facies diaphragmatica zieht. In etwa 20 % der Fälle geht der *R. interventricularis posterior* aus dem linken R. circumflexus hervor (Links-Versorgungstyp). Die A. coronaria sinistra entsendet:

- über den R. interventricularis anterior:
  - *R. coni arteriosi*[18] nach rechts zur Wand des Conus arteriosus,
  - *Rr. laterales*[19], [20] nach links zur Vorderwand des linken Ventrikels,
  - *Rr. interventriculares septales*[11]: treten in die vorderen zwei Drittel des Kammerseptums ein und versorgen auch dessen apikalen Teil;

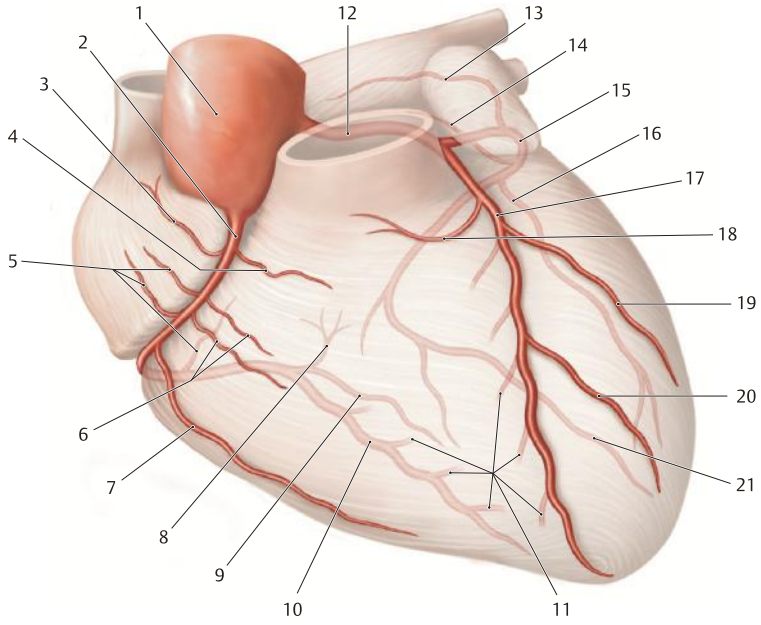


Abb. 20.3 Astfolge der Aa. coronariae.

1 Bulbus aortae
2 **A. coronaria dextra**
3 R. nodi sinuatrialis
4 R. coni arteriosi
5 Rr. atriales
6 Rr. ventriculares
7 R. marginalis dexter
8 R. nodi atrioventricularis
9 Ramus posterolateralis dexter
10 R. interventricularis posterior
11 Rr. interventriculares septales
12 **A. coronaria sinistra**
13 R. atrialis anterior (R. nodi sinuatrialis)
14 R. atrialis intermedius
15 R. circumflexus
16 R. marginalis sinister
17 R. interventricularis anterior
18 R. coni arteriosi
19 R. lateralis I
20 R. lateralis II
21 R. posterolateralis sinister
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- über den R. circumflexus:
  - *R. atrialis anterior*[13]: versorgt die Vorderflache des linken Herzohrs und kann bis zum Sinusknoten ziehen,
  - *R. marginalis sinister*[16] zur Facies pulmonalis des linken Ventrikels,
  - *R. atrialis intermedius*[14] zur Hinterwand des linken Vorhofs,
  - den variablen *R. posterior ventriculi sinistri* = Ramus posterolateralis sinister[21]; versorgt gemeinsam mit dem R. posterolateralis dexter die Facies diaphragmatica beider Ventrikel,
  - *R. nodi sinuatrialis*: versorgt in 45 % der Fälle den Sinusknoten mit Blut,
  - den inkonstanten *R. nodi atrioventricularis,* der gelegentlich dem AV-Knoten Blut zuführt,
  - variable *Rr. atriales* zur Vorhofwand.

Äste des Arcus aortae

Der **Truncus brachiocephalicus** (▶ **Abb. 20.2**[9]) entspringt am Anfang des Aortenbogens und teilt sich nach kurzem Verlauf hinter dem rechten Sternoklavikulargelenk in die **A. carotis communis dextra** und in die **A. subclavia dextra**.

Die fast immer unpaare **A. thyroidea ima**, in 10 % der Fälle ausgebildet, geht meist aus dem Truncus brachiocephalicus, seltener aus dem Aortenbogen, der rechten A. carotis communis, A. subclavia oder A. thoracica interna hervor. Sie zieht vor der Trachea zum Isthmus der Glandula thyroidea und gibt Äste an den kaudalen Teil beider Schilddrüsenlappen, an Trachea und Thymus ab.

Die **A. subclavia sinistra** (▶ Abb. 20.2[15]) geht in Höhe der Bandscheibe zwischen 3. und 4. Brustwirbel etwas lateral und dorsal (gelegentlich auch gemeinsam mit) der A. carotis communis sinistra aus dem Aortenbogen hervor. Die linke A. subclavia beginnt weiter dorsal als die rechte und ist etwas länger.

Die **A. carotis communis sinistra** (▶ Abb. 20.2[14]) entspringt im Mittelstück des Aortenbogens. Der Ursprung und die thorakale Gefäßstrecke bis in Höhe des Sternoklavikulargelenks der rechten und der linken A. carotis communis sind unterschiedlich – am Hals stimmt der Gefäßverlauf überein.

Aufzweigung der A. carotis communis (▶ Abb. 20.2). Beidseits zieht die A. carotis communis, vom M. sternocleidomastoideus bedeckt, lateral von Trachea und Schilddrüse nach kranial und teilt sich in der *Bifurcatio carotidis* in Höhe der Prominentia laryngea in A. carotis externa und A. carotis interna. Normalerweise gibt die A. carotis communis keine Äste ab. Als seltene Varianten gehen die A. thyroidea superior oder die A. laryngea superior aus ihr hervor.

Astfolge der A. carotis externa (▶ Abb. 20.4). Die A. carotis externa[3] verzweigt sich am Hals, in der Zunge, an der Rachenwand sowie im Gesicht und versorgt den größten Teil des knöchernen Schädels und der Dura mater. Sie zieht, vom M. stylohyoideus und dem hinteren Bauch des M. digastricus überdeckt, aus dem Trigonum caroticum in die Fossa retromandibularis, verläuft in der Glandula parotidea kranialwärts und teilt sich in Höhe des Collum mandibulae in die beiden Endäste, die *A. temporalis superficialis*[12] und die *A. maxillaris*[11] . Kranial vom Zungenbein wird sie vom N. hypoglossus überkreuzt.

Außer den beiden Endästen unterscheidet man nach der Lage der Abgangsstelle vordere Äste, einen medialen Ast und hintere Äste. **Vordere Äste** der A. carotis externa sind:

- Die **A. thyroidea superior**[4] entspringt meist als erster Ast aus der A. carotis externa und zieht im Bogen abwärts zum Schilddrüsenlappen. In etwa 20 % der Fälle kommt sie aus der Bifurcatio carotidis, in 10 % aus der A. carotis communis.
  Die A. thyroidea superior gibt folgende Äste ab:
  - *R. infrahyoideus*: vereinigt sich vor dem Zungenbeinkörper mit dem Ast der Gegenseite,
  - *R. sternocleidomastoideus*: tritt in den gleichnamigen Muskel ein,
  - *A. laryngea superior*[5]: zieht durch die Membrana thyrohyoidea zur Kehlkopfschleimhaut (obere Hälfte) und zu den inneren Kehlkopfmuskeln,
  - *R. cricothyroideus* zum M. cricothyroideus, anastomosiert vor dem Lig. cricothyroideum medianum mit dem Ast der Gegenseite und sendet 1–2 Zweige zur Schleimhaut im vorderen Bereich der Cavitas infraglottica,
  - *R. glandularis anterior* für den vorderen Anteil der Schilddrüse,
  - *R. glandularis lateralis* für den seitlichen Drüsenteil,
  - *R. glandularis posterior* für den oberen Drüsenpol (Vorder- und Hinterfläche).
- Die **A. lingualis**[6] entspringt in Höhe der A. pharyngea ascendens vorn aus der A. carotis externa, in etwa 20 % der Fälle gemeinsam mit der A. facialis über den *Truncus linguofacialis*, dringt hinter der Spitze des großen Zungenbeinhorns, bedeckt vom M. hyoglossus, in die Zunge

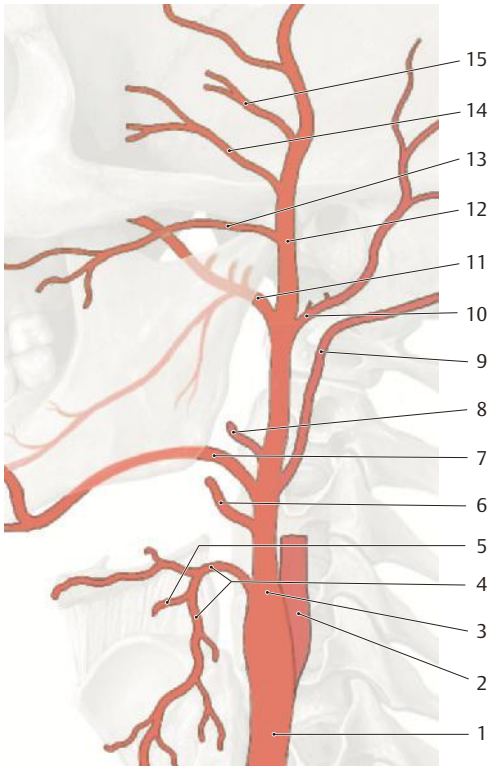


Abb. 20.4 Astfolge der A. carotis externa.
1 A. carotis communis
2 A. carotis interna
3 **A. carotis externa**
4 A. thyroidea superior
5 A. laryngea superior
6 A. lingualis
7 A. facialis
8 A. pharyngea ascendens
9 A. occipitalis
10 A. auricularis posterior
11 A. maxillaris
12 A. temporalis superficialis
13 A. transversa faciei
14 A. zygomaticoorbitalis
15 A. temporalis media
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

und läuft nahe der Zungenunterfläche stark geschlängelt zur Zungenspitze.
Die A. lingualis gibt folgende Äste ab:
- *R. suprahyoideus*: anastomosiert vor dem Zungenbeinkörper mit dem R. infrahyoideus der A. thyroidea superior und mit dem Ast der Gegenseite,
- *A. sublingualis*: entspringt am Vorderrand des M. hyoglossus, zieht zwischen M. mylohyoideus und Glandula sublingualis nach vorn und versorgt Drüse, benachbarte Schleimhaut, Muskeln und Zahnfleisch,
- *Rr. dorsales linguae*: ziehen zu Zungengrund und Zungenrücken,
- *A. profunda linguae*: verläuft als Endast zwischen M. genioglossus und M. longitudinalis inferior zur Zungenspitze und kommuniziert mit der Arterie der Gegenseite nur durch kapilläre Anastomosen.

- Die **A. facialis**[7] hat ihren Ursprung unmittelbar über der A. lingualis (oder mit dieser gemeinsam aus dem *Truncus linguofacialis)*. Sie wird vom hinteren Bauch des M. digastricus, vom M. stylohyoideus und von der Glandula submandibularis bedeckt und zieht vor dem Ansatz des M. masseter und vor der V. facialis über den Unterrand der Mandibula zum Gesicht, wo sie die mimische Muskulatur versorgt.
  Die A. facialis gibt folgende Äste ab:
  - *A. palatina ascendens*: kommt in 20 % der Fälle direkt aus der A. carotis externa, in 8 % aus der A. pharyngea ascendens und steigt zwischen M. styloglossus und M. stylopharyngeus an der Pharynxwand zu den Gaumenbögen, zur Gaumentonsille und zum Gaumensegel auf,
  - *R. tonsillaris*: kann auch aus der A. palatina ascendens abgehen und verläuft durch die Pharynxwand zu Tonsilla palatina und Zungengrund,
  - *Rr. glandulares* zur Glandula submandibularis,
  - *A. submentalis*: zieht an der Unterfläche des M. mylohyoideus zum Kinn, gibt Zweige an benachbarte Muskeln ab und anastomosiert häufig durch den Mundboden hindurch mit der A. sublingualis,
  - *A. labialis inferior* zur Unterlippe, anastomosiert – bedeckt vom M. orbicularis oris – mit der Arterie der Gegenseite und besitzt Verbindungen zur A. submentalis und A. mentalis,
  - *A. labialis superior* zur Oberlippe, steht schleimhautnah mit der Arterie der Gegenseite in Verbindung, anastomosiert mit den Aa. transversa faciei und infraorbitalis und gibt den *R. septi nasi* zur Nasenscheidewand (Kiesselbach-Plexus) sowie einen Ast zum Nasenflügel ab,
  - *R. lateralis nasi* zur Seitenfläche der Nase und zum Nasenrücken, anastomosiert mit Ästen der A. labialis superior und der A. dorsalis nasi,
  - *A. angularis*: Endast im medialen Augenwinkel, steht über die A. dorsalis nasi mit der A. ophthalmica in der Orbita in Verbindung.

Medialer Ast der A. carotis externa:
- Die **A. pharyngea ascendens**[8] geht oberhalb der A. thyroidea superior nach medial aus der A. carotis externa hervor, in 20 % auch aus der A. occipitalis, und steigt an der seitlichen Pharynxwand medial des M. stylohyoideus bis zur Schädelbasis auf. Die A. pharyngea ascendens gibt folgende Äste ab:
  - *Rr. pharyngeales*: häufig 2 Äste zur Rachenwand und in variablem Umfang zur Tuba auditiva und Tonsilla palatina,
  - *A. tympanica inferior*: zieht gemeinsam mit dem N. tympanicus durch den Canaliculus tympanicus zur medialen Wand der Paukenhöhle,
  - *A. meningea posterior*: Endast, verläuft seitlich an der A. carotis interna vorbei durch das Foramen jugulare (gelegentlich auch durch das Foramen lacerum, den Canalis caroticus oder den Canalis hypoglossi) zu Dura und Diploe der hinteren Schädelgrube.

Hintere Äste der A. carotis externa sind:
- Die **A. occipitalis**[9] geht aus der Hinterwand der A. carotis externa hervor, läuft unter dem hinteren Bauch des M. digastricus, medial des Processus mastoideus und bedeckt von M. splenius capitis und M. longissimus capitis zum Hinterhaupt. Sie durchbohrt dabei den Ursprung des M. trapezius und anastomosiert in der Kopfschwarte mit Zweigen der A. auricularis posterior und A. temporalis superficialis. Die A. occipitalis gibt folgende Äste ab:
  - *R. mastoideus*: zieht durch das Foramen mastoideum zu Diploe und Dura der hinteren Schädelgrube sowie zu den Cellulae mastoideae,
  - *R. auricularis* zur Hinterfläche der Ohrmuschel,
  - *Rr. sternocleidomastoidei*: meist 2 Äste zum gleichnamigen Muskel,
  - *R. meningeus*: inkonstanter Ast, der durch das Foramen parietale zu Dura und Knochen der hinteren Schädelgrube tritt,
  - *R. descendens*: zieht unter dem M. splenius capitis abwärts und versorgt benachbarte Muskeln,
  - *Rr. occipitales*: durchbohren den M. trapezius und verzweigen sich stark geschlängelt in der Kopfschwarte des Hinterhaupts.
- Die **A. auricularis posterior**[10] entspringt dorsal aus der A. carotis externa, zieht unter der Glandula parotidea – über den M. stylohyoideus hinweg – auf dem Processus mastoideus hinter die Ohrmuschel. Sie gibt neben Ästen zu Muskeln, die sich an Processus mastoideus und Processus styloideus anheften, folgende Äste ab:
  - R. parotideus zur Glandula parotidea,
  - A. stylomastoidea: begleitet den N. facialis im Canalis facialis bis zum Hiatus canalis nervi petrosi majoris, versorgt dort die Dura mater und gibt zuvor Äste zu Mittel- und Innenohr ab,
  - A. tympanica posterior: zieht aus dem Facialiskanal mit der Chorda tympani zur Paukenhöhle und sendet Rr. mastoidei zu den Cellulae mastoideae sowie den R. stapedialis zum M. stapedius,

- R. auricularis: versorgt die Rückseite und – mit perforierenden Zweigen – teils auch die Vorderfläche der Ohrmuschel sowie die Muskeln des äußeren Ohrs,
- R. occipitalis: verbindet sich auf dem Processus mastoideus mit Ästchen der A. occipitalis.

Endäste der A. carotis externa:

- Die **A. temporalis superficialis**[12], der oberflächliche, schwächere Endast der A. carotis externa, zieht zwischen Kiefergelenk und äußerem Gehörgang – bedeckt von der Glandula parotidea – über die Wurzel des Jochbogens auf die Fascia temporalis und verzweigt sich in der Schläfenregion. Die A. temporalis superficialis gibt folgende Äste ab:
  - *Rr. parotidei* zur Glandula parotidea,
  - *A. transversa faciei*[13]: zieht – anfänglich noch von der Glandula parotidea bedeckt – unterhalb des Jochbogens horizontal über den M. masseter zur Wange,
  - *Rr. auriculares anteriores* zur Ohrmuschel und zum äußeren Gehörgang,
  - *A. zygomaticoorbitalis*[14]: gelangt oberhalb des Jochbogens auf der Fascia temporalis zum seitlichen Augenwinkel,
  - *A. temporalis media*[15]: durchbohrt dicht oberhalb des Jochbogens die Schläfenfaszie und tritt in den M. temporalis ein,
  - *R. frontalis*: vorderer Endast, der auf der Fascia temporalis schräg über die Schläfengegend nach vorn aufsteigt, die Kopfschwarte versorgt und mit der Arterie der Gegenseite sowie mit A. supraorbitalis und A. supratrochlearis aus der A. carotis interna anastomosiert,
  - *R. parietalis*: zieht nahezu rechtwinklig zum R. frontalis nach hinten zur Schläfengegend aufwärts, gibt Zweige in die Kopfschwarte ab und verbindet sich mit der Arterie der Gegenseite sowie mit Ästchen der A. auricularis posterior und der A. occipitalis.
- Die **A. maxillaris**[11], der stärkere Endast der A. carotis externa, tritt hinter dem Unterkieferast und durch die Kaumuskeln in die Fossa infratemporalis. Man unterscheidet in ihrem Verlauf einen retromandibulären, einen intermuskulären und einen in der Fossa pterygopalatina gelegenen Abschnitt. Im **ersten, retromandibulären Abschnitt** (Pars mandibularis) gibt die A. maxillaris folgende Äste ab:
  - *A. auricularis profunda*: zieht aufwärts zum Kiefergelenk, zum äußeren Gehörgang und mit Zweigen zur Schleimhaut der Paukenhöhle und zum Trommelfell,
  - *A. tympanica anterior*: zieht als Begleitarterie der Chorda tympani durch die Fissura petrotympanica in die Paukenhöhle,
  - *A. alveolaris inferior*: sendet – nach Abgabe des *R. mylohyoideus* in den Sulcus mylohyoideus unter den M. mylohyoideus – im Canalis mandibulae *Rr. dentales* und *Rr. peridentales* zu Zähnen und Zahnhalteapparat des Unterkiefers und tritt mit ihrem Endast, der *A. mentalis*, durch das Foramen mentale nach außen in den Weichteilmantel an Kinn und Unterlippe,
  - *A. meningea media*: ein kräftiges Gefäß, das extrakranial den *R. meningeus accessorius* in das Versorgungsgebiet der A. pterygomeningea abgeben kann, durch das Foramen spinosum in die mittlere Schädelgrube zwischen Dura und Knochen gelangt, den dünnen *R. petrosus* zum Felsenbein und die schwache *A. tympanica superior* in die Paukenhöhle entsendet und sich anschließend an der Innenfläche der Schädelseitenwand in den starken *R. frontalis* für Dura und Knochen der vorderen Schädelgrube und in den *R. parietalis* für Dura und Knochen im Bereich von Scheitelbein und Hinterhauptsbein gabelt. Vom R. frontalis tritt ein *R. orbitalis* durch die Fissura orbitalis superior in die Augenhöhle. Er kann durch einen *R. anastomoticus [cum arteria lacrimali]* mit der A. lacrimalis in Verbindung stehen.
  - Anstelle des R. meningeus accessorius aus der A. meningea media kann auch die *A. pterygomeningea* aus dem ersten Abschnitt der A. maxillaris entspringen. Ihre extrakranialen Ästchen führen den Mm. pterygoidei und dem M. tensor veli palatini, dem großen Keilbeinflügel und dem Processus pterygoideus sowie der Tuba auditiva Blut zu. Nach Eintritt in die Schädelhöhle durch das Foramen ovale gibt die A. pterygomeningea feine Zweige zum Ganglion trigeminale und zur benachbarten Dura ab.
- Im **zweiten, intermuskulären Abschnitt** (Pars pterygoidea) gehen aus der A. maxillaris hervor:
  - *A. masseterica*: tritt durch die Incisura mandibulae zum M. masseter
  - *Rr. pterygoidei* für die Mm. pterygoidei,
  - *A. temporalis profunda anterior* und *posterior* aufwärts zur Fossa temporalis und zu den tiefen Teilen des M. temporalis,
  - *A. buccalis*: verläuft auf dem M. buccinator nach vorn abwärts, verzweigt sich am Muskel und an der Wangenschleimhaut und anastomosiert mit Ästen der A. facialis.
- Im **dritten Abschnitt** (Pars pterygopalatina), der hinter dem Tuber maxillae und in der Fossa pterygopalatina liegt, entsendet die A. maxillaris folgende Äste:
  - *A. alveolaris superior posterior*: entspringt am Tuber maxillae, zieht häufig mit mehreren Zweigen lateralwärts zur Facies infratemporalis hinter den Processus zygomaticus, tritt durch Foramina alveolaria in die Maxilla ein und versorgt mit *Rr. dentales* und *peridentales* Prämolaren und Molaren, Knochen und Zahnfleisch des Oberkiefers sowie die Schleimhaut der Kieferhöhle,
  - *A. infraorbitalis*: tritt durch die Fissura orbitalis inferior am Boden der Orbita in Sulcus und Canalis infraorbitalis ein und gibt *Aa. alveolares superiores anteriores* mit *Rr. dentales* und *peridentales* zu Frontzähnen, Knochen und Zahnfleisch im Oberkiefer ab,
  - *A. palatina descendens*: gibt nach hinten in den Canalis palatovaginalis den feinen, in der Regel aus der A. canalis pterygoidei entspringenden *R. pharyngeus* zur Pharynxschleimhaut ab, zieht im Canalis palatinus major gaumenwärts und sendet die *A. palatina major* durch die gleichnamige Öffnung nach vorn bis zum Zahnfleisch der Frontzähne sowie die *Aa. palatinae minores* an den weichen Gaumen,

- *A. sphenopalatina*: tritt durch das Foramen sphenopalatinum in den hinteren Teil der Nasenhöhle ein und versorgt mit *Aa. nasales posteriores laterales* einen großen Teil der Schleimhaut der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen, mit *Rr. septales posteriores* die Schleimhaut der Nasenscheidewand (Kiesselbach-Plexus), wobei der lange untere Zweig (*A. nasopalatina*) durch den Canalis incisivus mit der A. palatina major anastomosiert,
- *A. canalis pterygoidei*: entspringt gelegentlich auch aus der A. palatina descendens, zieht dorsalwärts durch den Canalis pterygoideus zur Tube und mit dem *R. pharyngeus* zur Schleimhaut der oberen Pharynxetage.

Astfolge der A. carotis interna. Die A. carotis interna versorgt den größten Teil des Gehirns, die Hypophyse, den Inhalt der Orbita, die Stirn, an die Orbita grenzende Teile des Gesichts sowie die Schleimhaut der Siebbeinzellen, der Stirnhöhle und von Teilen der Nasenhöhle. Sie beginnt an der Bifurcatio carotidis mit einer Erweiterung (Sinus caroticus), die auch die Karotisgabel mit einbeziehen kann. Als *Pars cervicalis* zieht die Arterie zunächst lateral, bald jedoch dorsal und medial von der A. carotis externa – ohne Äste abzugeben – neben der Rachenwand kranialwärts zur Unterseite der Schläfenbeinpyramide (s. ▶ **Abb. 19.57**). Als *Pars petrosa* gelangt sie in einem nach vorn und medial gerichteten Bogen durch den Canalis caroticus zur Felsenbeinspitze und über das durch Faserknorpel verschlossene Foramen lacerum in die mittlere Schädelgrube. Als *Pars cavernosa* verläuft sie im Sulcus caroticus an der Seitenfläche des Keilbeinkörpers, umschlossen vom Sinus cavernosus, und bildet den S-förmig gekrümmten Karotissiphon. An der medialen Seite des Processus clinoideus anterior tritt die A. carotis interna durch die Dura, entsendet als *Pars cerebralis* u. a. die **A. ophthalmica** (zur Orbita), wendet sich aufwärts zur Hirnbasis und liefert den Großteil der Zuflüsse des **Circulus arteriosus cerebri** (▶ **Abb. 20.5**). Die A. carotis interna[4] teilt sich – nach Abgabe der **A. communicans posterior**[7], dem seitlichen Teilstück des Circulus arteriosus, und der **A. choroidea anterior**[6] (zum Plexus choroideus des Unterhorns des Seitenventrikels) – in die **A. cerebri anterior**[2], [3] und **A. cerebri media**[5] zum Endhirn.

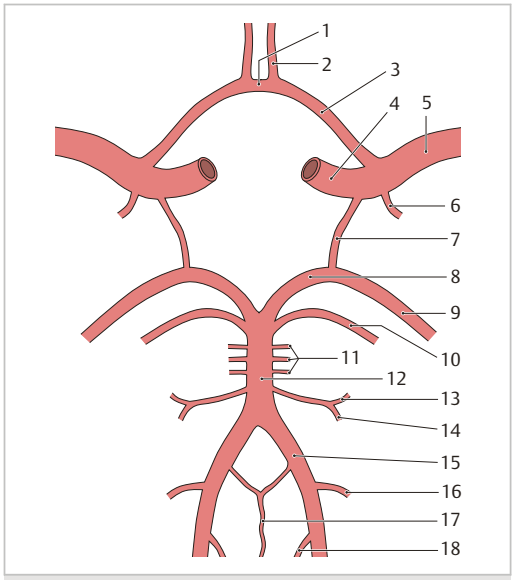


Abb. 20.5 Aufbau des Circulus arteriosus cerebri und **intrakranielle Astfolge der A. vertebralis.**
1 A. communicans anterior
2 **A. cerebri anterior, Pars postcommunicalis**
3 **A. cerebri anterior, Pars precommunicalis**
4 A. carotis interna
5 **A. cerebri media**
6 A. choroidea anterior
7 A. communicans posterior
8 **A. cerebri posterior, Pars precommunicalis**
9 **A. cerebri posterior, Pars postcommunicalis**
10 A. superior cerebelli
11 Aa. pontis und mesencephalicae
12 A. basilaris
13 A. labyrinthi
14 A. inferior anterior cerebelli
15 A. vertebralis
16 A. inferior posterior cerebelli
17 A. spinalis anterior
18 A. spinalis posterior
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Als Äste der A. carotis interna entspringen aus der **Pars petrosa**:
- *Aa. caroticotympanicae* zur Paukenhöhle,
- der inkonstante *R. pterygoideus*: begleitet den N. canalis pterygoidei durch den Kanal an der Basis des Flügelfortsatzes und anastomosiert mit einem Ast der A. palatina major.

Aus der **Pars cavernosa** der A. carotis interna gehen hervor:
- *R. basalis tentorii* über die Oberkante der Felsenbeinpyramide hinweg nach hinten zum Tentorium cerebelli,
- *R. marginalis tentorii* zum Tentorium cerebelli nahe der Incisura tentorii,
- *R. meningeus* über den kleinen Keilbeinflügel hinweg zur Dura der vorderen Schädelgrube,
- *R. sinus cavernosi* zur Wand des Sinus cavernosus,
- *A. hypophysialis inferior*: ihre Zweige bilden einen Arterienring um die Neurohypophyse und anastomosieren mit feinen Ästen der A. hypophysialis superior,
- *R. ganglionis trigeminalis* zum Ganglion trigeminale,
- ein oder mehrere *Rr. nervorum* zu N. trigeminus und N. trochlearis.

Aus der **Pars cerebralis** der A. carotis interna zweigen folgende Gefäße ab:
- **A. hypophysialis superior** zum ventralen Teil des Hypothalamus, zu Infundibulum und Hypophysenstiel, wobei ein langer Ast (Trabekelarterie) vor dem Hypophysenstiel

absteigt, durch die Adenohypophyse hindurchtritt und Kapillarschlingen im Zwischenstück der Neurohypophyse speist (die Adenohypophyse erhält Blut über die Portalgefäße),
- **R. clivi** in den Bereich des Clivus.
- Die **A. ophthalmica** geht aus der nach vorn gerichteten Konvexität der letzten Krümmung des Karotissiphons hervor. Sie zieht unter dem N. opticus durch den Canalis opticus in die Orbita, wendet sich (in über 85 % der Fälle spiralig über den N. opticus hinweg) von lateral nach medial und läuft, begleitet vom N. nasociliaris, unter dem M. obliquus superior an der medialen Wand der Orbita entlang zum medialen Augenwinkel. Die Äste der A. ophthalmica versorgen teils die Wand und die Umgebung der Orbita sowie die Tränendrüse, teils den Augapfel und die äußeren Augenmuskeln. Die A. ophthalmica gibt folgende Äste ab:
  - *A. lacrimalis:* zieht gemeinsam mit dem N. lacrimalis am Oberrand des M. rectus lateralis zur Tränendrüse, sendet den *R. meningeus recurrens* durch die Fissura orbitalis superior in die Schädelhöhle zurück (wo er über den *R. anastomoticus [cum arteria meningea media]* mit deren R. frontalis anastomosieren kann), führt über *Rr. zygomatici* (durch die Foramina zygomaticotemporale und zygomaticofaciale) der Fossa temporalis und der Jochbeingegend Blut zu und versorgt mit Endästen (*Aa. palpebrales laterales*) den seitlichen Teil von Ober- und Unterlid,
  - *A. supraorbitalis*: verläuft auf dem M. levator palpebrae superioris unter dem Orbitadach, tritt durch die Incisura supraorbitalis zu Haut und Muskeln der Stirn und kann am Oberrand der Orbita den *R. diploicus* zum Os frontale und zur Schleimhaut der Stirnhöhle entsenden,
  - *A. ethmoidalis posterior*: zieht über den M. obliquus superior und durch das Foramen ethmoidale posterius zur Wand der hinteren Siebbeinzellen und gibt meist auch Zweige zu Nasenscheidewand und Dura ab,
  - *A. ethmoidalis anterior*: verläuft gemeinsam mit dem N. ethmoidalis anterior durch das Foramen ethmoidale anterius und gibt Zweige zur Schleimhaut der vorderen und der mittleren Siebbeinzellen sowie der Stirnhöhle ab. Dann steigt sie unter die Dura der vorderen Schädelgrube auf, zweigt hier den R. meningeus anterior für einen kleinen Bezirk der benachbarten Dura ab und gelangt anschließend durch die Lamina cribrosa in die Nasenhöhle. Dort zweigt sie sich auf in *Rr. septales anteriores* zum vorderen Teil der Nasenscheidewand (Kiesselbach-Plexus), *Rr. nasales anteriores laterales* zur Schleimhaut der vorderen Seitenwand der Nasenhöhle sowie in einen im Sulcus ethmoidalis des Os ethmoidale verlaufenden, meist an der Knorpel-Knochen-Grenze zum Nasenrücken tretenden *R. nasalis externus*,
  - *Aa. palpebrales mediales*: entspringen unter der Trochlea des M. obliquus superior, steigen hinter dem Tränensack ab und treten in Ober- und Unterlid ein. Sie bilden mit Ästen der Aa. palpebrales laterales (aus der A. lacrimalis) 2 Gefäßbögen (*Arcus palpebralis superior* und *Arcus palpebralis inferior*), anastomosieren mit Aufzweigungen benachbarter Arterien und geben *Aa. conjunctivales posteriores* zur Tunica conjunctiva palpebrarum ab,
  - *A. supratrochlearis*: zieht als aufsteigender Endast der A. ophthalmica medial von der A. supraorbitalis durch die Incisura frontalis zu Haut, Muskeln und Pericranium der Stirnregion und steht mit dem Arteriennetz der Kopfschwarte in Verbindung,
  - *A. dorsalis nasi [A. nasi externa]*: tritt als absteigender Endast zwischen Trochlea des M. obliquus superior und Lig. palpebrale mediale aus der Orbita, zweigt einen Ast zum Tränensack ab, durchbohrt den M. orbicularis oculi, anastomosiert mit der A. angularis (aus der A. facialis) und zieht am Nasenrücken abwärts,
  - *A. centralis retinae*: verlässt als erster (und relativ dünner) Ast nach Eintritt in die Orbita die A. ophthalmica, tritt etwa 10 mm vom Augapfel entfernt seitlich unten in den N. opticus ein und gelangt in diesem zur Netzhaut,
  - *Aa. ciliares posteriores breves*: 10–15 Zweige, die in der Umgebung der Austrittsstelle des N. opticus aus dem Bulbus oculi durch die Sclera ziehen, Choroidea und Corpus ciliare versorgen und den Circulus arteriosus iridis major erreichen,
  - *Aa. ciliares posteriores longae*: eine laterale und eine mediale Arterie, die am hinteren Umfang des Augapfels durch die Sclera treten, zwischen Sclera und Choroidea zu Corpus ciliare und Circulus arteriosus iridis major verlaufen,
  - *Aa. musculares* zu den äußeren Augenmuskeln. Sie gehen (häufig) über einen gemeinsamen Stamm direkt aus der A. ophthalmica und/oder aus ihren großen Ästen hervor. Aus den vorderen Muskelästen treten *Aa. ciliares anteriores* nahe dem Kornearand durch die Sklera zu Choroidea, Corpus ciliare und Circulus arteriosus iridis major. Sie versorgen mit *Aa. episclerales* die oberflächlichen Skleraschichten und mit *Aa. conjunctivales anteriores* die Bindehaut des Augapfels.
- **A. communicans posterior** (▶ **Abb. 20.5**[7]): Sie ist 10–15 mm lang, entspringt medial vom Processus clinoideus anterior aus der Hinterwand der A. carotis interna, zieht auf dem N. oculomotorius okzipitalwärts, anastomosiert mit der A. cerebri posterior[8] (aus der A. basilaris[12]) und bildet das seitliche Teilstück des Circulus arteriosus. Die A. communicans posterior kann ein- oder beidseitig (jeweils in etwa 10 % der Fälle) sehr dünn sein oder fehlen. Sie kann aber auch so kräftig sein, dass die A. cerebri posterior als Ast der A. carotis interna erscheint. Aus der A. communicans posterior gehen hervor:
  - der *R. chiasmaticus* zum Chiasma opticum,
  - der *R. nervi oculomotorii* zum N. oculomotorius (III),
  - der *R. thalamicus*, der von basal an den Thalamus herantritt,
  - der *R. hypothalamicus* zum Hypothalamus,
  - der *R. caudae nuclei caudati* zum Schwanz des Nucleus caudatus.
- **A. choroidea anterior**[6], manchmal doppelt ausgebildet, entspringt in 78 % der Fälle direkt aus der A. carotis interna, sonst aus der A. cerebri media. Sie unterkreuzt den

Tractus opticus, zieht seitlich am Crus cerebri vorbei an die laterale Seite des Corpus geniculatum laterale, gelangt durch die Fissura choroidea am Unterhorn des Seitenventrikels in die Tela choroidea und kann bis in die Nähe des Foramen interventriculare aufsteigen. Die A. choroidea anterior entsendet:

- *Rr. choroidei ventriculi lateralis* in den Plexus choroideus des Seitenventrikels,
- *Rr. choroidei ventriculi tertii* zum Plexus choroideus des III. Ventrikels,
- *Rr. substantiae perforatae anterioris* durch die Substantia perforata anterior bis zur Capsula interna,
- *Rr. tractus optici* zum Tractus opticus,
- *Rr. corporis geniculati lateralis* zum Corpus geniculatum laterale,
- *Rr. capsulae internae* zum hinteren Schenkel der Capsula interna,
- *Rr. globi pallidi* zum Globus pallidus,
- *Rr. caudae nuclei caudati* zum Schwanz des Nucleus caudatus,
- *Rr. tuberis cinerei* zum Tuber cinereum (Hinterwand des Infundibulums),
- *Rr. nucleorum hypothalamicorum* von basal zu den Hypothalamuskernen,
- *Rr. substantiae nigrae* durch das Crus cerebri in die Substantia nigra,
- *Rr. nuclei rubris* ebenfalls durch das Crus cerebri zum Nucleus ruber,
- Rr. corporis amygdaloidei zum Mandelkern.

- **A. cerebri anterior**[2], [3], vorderer Endast der A. carotis interna, geht am medialen Ende des Sulcus lateralis cerebri aus deren Teilungsstelle oberhalb und seitlich vom Processus clinoideus anterior hervor. Als *Pars precommunicalis*[3] zieht die Arterie über den Tractus opticus stirn- und medianwärts zur Fissura longitudinalis cerebri. Sie steht dicht vor dem Chiasma opticum durch die unpaare *A. communicans anterior*[1] mit der A. cerebri anterior der Gegenseite in Verbindung und verläuft danach als *Pars postcommunicalis*[2] *[A. pericallosa]* zwischen den Stirnlappen über das Balkenknie und auf der Dorsalfläche des Balkens nach hinten. Dabei treten zentrale Äste in die Basis der Großhirnhemisphäre ein, kortikale Zweige an deren mediale Fläche. Rindenäste zu Stirn- und Scheitellappen greifen auch über die Mantelkante hinweg auf die obersten Windungen der seitlichen Hemisphärenfläche über. Die A. cerebri anterior gibt folgende Äste ab:
  - bis zu 12 *Aa. centrales*. Die *Aa. centrales [thalamostriatae] anteromediales* und *A. centralis brevis* treten durch die Substantia perforata anterior zu den vorderen Kerngebieten des Hypothalamus und zum vorderen Anteil des Infundibulums, die *A. centralis longa* [*A. recurrens*] versorgt das Caput nuclei caudati sowie rostrale Teile von Putamen, Globus pallidus und Capsula interna. Variable Ästchen der Aa. centrales verlaufen zum Rostrum corporis callosi, zu Bulbus und Tractus olfactorius und zum Trigonum olfactorium,
  - die *A. communicans anterior*[1] ist unpaar, etwa 4 mm lang und in 10 % der Fälle doppelt angelegt. Sie verbindet über dem Sulcus prechiasmaticus des Keilbeins die Aa. cerebri anteriores beider Seiten und entsendet einige *Rr. centrales anteromediales* in die basale Fläche des Großhirns,
  - *A. frontobasalis [R. orbitofrontalis]* medialis zur Basalfläche des Stirnlappens,
  - die *A. callosomarginalis* zweigt *Rr. frontales (anteromedialis, mediomedialis, posteromedialis)* zur medialen Fläche und zur Mantelkante des Stirnhirns ab, außerdem die als *R. cingularis* im Sulcus cinguli verlaufenden Gefäßstrecke,
  - *A. paracentralis* zum Lobulus paracentralis,
  - *A. precunealis* zur medialer Fläche und Mantelkante des Scheitellappens,
  - *A. parietooccipitalis* zur Rinde in der Umgebung des gleichnamigen Sulcus.
- **A. cerebri media**[5], der stärkere und seitwärts gerichtete Endast der A. carotis interna, setzt deren Verlauf unmittelbar fort. Die Arterie zieht zunächst parallel zum kleinen Keilbeinflügel 1–2 cm zur Seite (Pars sphenoidalis), tritt anschließend – häufig schon gedoppelt oder in 3 Äste geteilt – von unten in den Sulcus lateralis cerebri ein und verläuft in starken Schlängelungen auf die Insel (Pars insularis). Die Äste biegen dann annähernd rechtwinklig ab und laufen um die Opercula herum auf die Großhirnkonvexität, wo sie sich in der weiteren Umgebung des Sulcus lateralis aufteilen, die Mantelkante jedoch nicht erreichen. Von der Pars insularis treten Äste zur Rinde der Insel, zu basalen Teilen des Stirnlappens und zum Schläfenlappen, von der nachfolgenden Pars terminalis zu Frontal- und Parietallappen. Die A. cerebri media entsendet:
  - *Aa. centrales [thalamostriatae, lenticulostriatae] anterolaterales*: 3–20 dünne Äste, verlassen die A. cerebri media kurz hinter der Endgabelung der A. carotis interna, steigen durch die Substantia perforata anterior schräg nach hinten auf und versorgen mit *Rr. laterales* und *mediales* den Mittelteil der Capsula interna, die benachbarten Basalganglien, Capsula externa, Claustrum und Capsula extrerna sowie das Corpus striatum und Teile des Thalamus,
  - *Aa. insulares* zum Lobus insularis,
  - *A. frontobasalis [R. orbitofrontalis] lateralis* zu den seitlichen Gyri orbitales und zum Gyrus frontalis inferior,
  - *Aa. temporales (anterior, intermedia, posterior)* zum Operculum temporale und zu den Gyri temporales,
  - *A. sulci precentralis* zur Pars opercularis des Gyrus frontalis inferior und zur Rinde des Stirnlappens in der Umgebung des Sulcus precentralis; gibt die *A. triangularis* zur Pars triangularis des Gyrus frontalis inferior ab,
  - *A. sulci centralis* zu den Gyri precentralis und postcentralis,
  - *A. sulci postcentralis* zum Gyrus postcentralis und zum angrenzenden Scheitellappen,
  - *A. parietalis anterior* und *posterior* zum Lobulus parietalis inferior,
  - *A. gyri angularis* in den Rindenbereich des gleichnamigen Gyrus.

- **Astfolge der A. subclavia** (▶ **Abb. 20.6**). Die A. subclavia[3] führt Blut zu einem Teil des Halses, zur vorderen Brustwand, zum Schultergürtel und zum Arm. Sie versorgt außerdem den okzipitalen Teil des Gehirns und das Halsmark. Die A. subclavia verläuft ventral und kaudal der Wurzeln des Plexus brachialis durch die von M. scalenus anterior[14] und medius[13] begrenzte Skalenuslücke, zieht im Sulcus arteriae subclaviae über die 1. Rippe hinweg und gelangt unter der Clavicula hindurch, vom M. subclavius bedeckt, in die Tiefe des Trigonum clavipectorale. Ab dem Außenrand der 1. Rippe wird sie als *A. axillaris* bezeichnet.

Von den Ästen der A. subclavia entspringen in der Regel die *A. vertebralis*[1] und *A. thoracica interna*[5] in der ersten Verlaufsstrecke, der *Truncus thyrocervicalis*[10] und der *Truncus costocervicalis*[6] nahe dem M. scalenus anterior. Sie variieren aber hinsichtlich Ursprung und Verzweigung erheblich.

Die **A. vertebralis**[1] zieht als *Pars prevertebralis* zwischen den Mm. scalenus anterior und longus colli kranialwärts zum 6. (ausnahmsweise 7. oder 5.) Halswirbel, steigt als *Pars transversaria [cervicalis]* durch die Foramina processus transversi VI (VII, V)–I zum Atlas auf, verläuft als *Pars atlantica* im Sulcus arteriae vertebralis hinter der Massa lateralis nach medial und dringt durch die Membrana atlantooccipitalis posterior in den Subarachnoidalraum ein. Sie tritt als *Pars intracranialis* durch das Foramen magnum in die hintere Schädelgrube und vereinigt sich auf dem Clivus, am Unterrand der Brücke, mit der A. vertrebralis der Gegenseite zur unpaaren A. basilaris.

- **Extrakranielle Äste** der A. vertebralis sind:
  - *Rr. spinales [radiculares]* durch die Foramina intervertebralia und entlang der beiden Spinalnervenwurzeln zum Rückenmark,
  - *Rr. musculares* zu den tiefen Halsmuskeln.
- **Intrakranielle Äste** der A. vertebralis sind:
  - *Rr. meningei (anterior* und *posterior)* am vorderen bzw. hinteren Umfang des Foramen magnum zur Dura mater der hinteren Schädelgrube, zum Knochen und zur Falx cerebelli,
  - *A. spinalis posterior* zum Rückenmark, sie zweigt allerdings häufiger aus der A. inferior posterior cerebelli ab. Sie gibt je einen feinen Längsstamm vor und hinter der Reihe der dorsalen Spinalnervenwurzeln ab, außerdem Zweige zur A. spinalis anterior und sie nimmt aus segmentalen Rr. spinales Blut auf,
  - *A. spinalis anterior*: vereinigt sich in Höhe des Unterrandes der Oliven mit der Arterie der Gegenseite zu einem unpaaren, vor der Fissura mediana anterior abwärts verlaufenden Gefäß (s. ▶ **Abb. 20.5**). Die A. spinalis anterior erhält Zuflüsse von Rr. spinales der A. vertebralis, der A. cervicalis ascendens und der Segmentalarterien (bis zur A. lumbalis I) und kommuniziert mit der paarigen A. spinalis posterior. Äste gibt die A. spinalis anterior zu Medulla oblongata, Rückenmark und Cauda equina ab,
  - *A. inferior posterior cerebelli*: windet sich nach dorsal um die Olive, entlässt häufig die *A. spinalis posterior*, zieht zur Unterfläche des Kleinhirns und verzweigt sich am hinteren unteren Kleinhirnteil,
  - *R. choroideus ventriculi quarti* zum Plexus choroideus des IV. Ventrikels und *R. tonsillae cerebelli* zur Kleinhirntonsille und zum Nucleus dentatus, sofern diese Äste nicht aus der A. inferior posterior cerebelli entspringen,

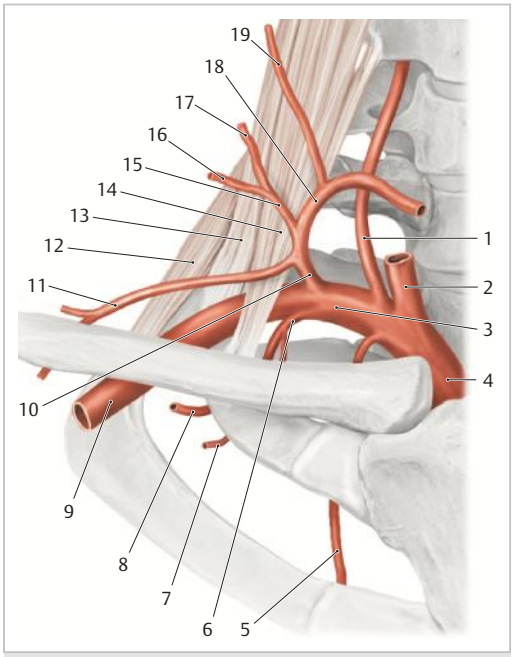


Abb. 20.6 Astfolge der A. subclavia.
1 A. vertebralis
2 A. carotis communis
3 A. subclavia
4 Truncus brachiocephalicus
5 A. thoracica interna
6 Truncus costocervicalis
7 A. intercostalis suprema
8 A. cervicalis profunda
9 A. axillaris
10 Truncus thyrocervicalis
11 A. suprascapularis
12 M. scalenus posterior
13 M. scalenus medius
14 M. scalenus anterior
15 A. transversa cervicis
16 A. dorsalis scapulae (R. profundus)
17 A. cervicalis superficialis (R. superficialis)
18 A. thyroidea inferior
19 A. cervicalis ascendens
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- *Rr. medullares mediales* und *laterales* zur Medulla oblongata.

Die **A. basilaris** (▶ **Abb. 20.5**[12]) entsteht aus der Vereinigung der beiden Aa. vertebrales, die gelegentlich streckenweise nur unvollständig verschmelzen (Inselbildung, partielle Septierung des Lumens). Sie verläuft im Sulcus basilaris vom Unterrand der Brücke bis zu deren Oberrand, wo sie sich in ihre beiden Endäste, die *Aa. cerebri posteriores,* teilt. Die *A. basilaris* zweigt beidseits folgende Äste ab:

- *A. inferior anterior cerebelli*: verzweigt sich an Unter- und Seitenfläche des Kleinhirns und entsendet (meist) die dünne, lange *A. labyrinthi (R. meatus acustici interni)* durch Porus und Meatus acusticus internus zum Innenohr,
- *Aa. pontis*: dringt mit zahlreichen Ästchen tief in die Brücke ein,
- *Aa. mesencephalicae* zum Mittelhirn,
- *A. superior cerebelli*: entspringt kurz vor der Endaufteilung der A. basilaris, zieht unmittelbar unterhalb vom N. oculomotorius um den Pedunculus cerebri herum und erreicht hinter dem N. trochlearis die vom Tentorium cerebelli bedeckte Kleinhirnoberfläche.

Die **A. cerebri posterior** (▶ **Abb. 20.5**[8]) geht als paariges Gefäß am Oberrand der Brücke vor dem N. oculomotorius aus der Endgabel der A. basilaris hervor (*Pars precommunicalis*) und anastomosiert nach 5–10 mm langem Verlauf mit der *A. communicans posterior* (aus der A. carotis interna oder aus der A. cerebri media). Die anschließende *Pars postcommunicalis* der A. cerebri posterior zieht um das Crus cerebri herum auf die Dorsalseite des Mittelhirns in die Furche zwischen vorderem und hinterem Hügel der Vierhügelplatte (*Mittelhirnstrecke*). Die folgende *Pars terminalis* [*corticalis*] teilt sich oberhalb des Tentorium cerebelli in Äste zur medialen und zur konvexen Oberfläche des Okzipitalhirns sowie zur basalen Fläche des Schläfenlappens (*Großhirnstrecke*). Aus der A. cerebri posterior entspringen:

- aus der **Pars precommunicalis**:
  - *Aa. centrales posteromediales*: ziehen durch die Substantia perforata posterior zum vorderen Thalamusgebiet, zur Wand des III. Ventrikels und zum Globus pallidus;
- aus der **Pars postcommunicalis**:
  - *Aa. centrales posterolaterales*: versorgen das Crus cerebri, den hinteren Teil des Thalamus, die Lamina tecti, das Corpus pineale und das Corpus geniculatum mediale,
  - *Rr. thalamici* zu hinteren Kerngebieten des Thalamus,
  - *Rr. pedunculares* zum Crus cerebri,
  - *Rr. choroidei posteriores* (*mediales* und *laterales*): führen dem Corpus geniculatum laterale Blut zu, treten auf das Dach des III. Ventrikels, verzweigen sich in den Plexus choroidei des III. Ventrikels und des Seitenventrikels und geben Äste an den Fornix ab,
- aus der Pars terminalis [corticalis]:
  - die *A. occipitalis lateralis* mit *Rr. temporales* (*anteriores, intermedii mediales, posteriores*) zum Uncus sowie zum Gyrus hippocampi und zum Gyrus occipitotemporalis medialis und lateralis,
  - die *A. occipitalis medialis* mit folgenden Ästen:
    - *R. corporis callosi dorsalis* zum Splenium des Balkens,
    - *R. parietalis* an die mediale Fläche und zur Mantelkante des Schläfenhirns,
    - *R. parietooccipitalis* zu Precuneus und Cuneus,
    - *R. calcarinus* zur Area striata,
    - *R. occipitotemporalis* vor allem zur medialen Fläche des Hinterhauptlappens.

Die **A. thoracica interna** (▶ **Abb. 20.6**[5]) entspringt aus der Konkavität der ersten Verlaufsstrecke der A. subclavia. Sie verläuft etwa 1 cm vom Sternalrand entfernt in der Fascia endothoracica zwerchfellwärts, wird kaudal vom Knorpel der 3. Rippe durch den M. transversus thoracis von der Pleura costalis nach vorn abgedrängt und teilt sich im 6. Interkostalraum, nahe dem Rippenbogen, in die beiden Endäste, die *A. musculophrenica* zu den kostalen Muskelzügen des Zwerchfells und der seitlichen Bauchmuskeln und die *A. epigastrica superior,* die nahe (seltener in) der Larrey-Spalte den Brustraum verlässt und durch das hintere Blatt der Rektusscheide zum M. rectus abdominis tritt. Die A. thoracica interna gibt ab:

- zu den Eingeweiden:
  - *Rr. mediastinales* in das vordere Mediastinum und zur Pleura mediastinalis,
  - *Rr. thymici* zum Thymus,
  - *Rr. tracheales* und *Rr. bronchiales* zur Trachea und zu den Bronchien (Anastomosen mit Rr. bronchiales aus der Aorta);
- zum Zwerchfell:
  - *A. pericardiacophrenica*: begleitet den N. phrenicus zwischen Pleura mediastinalis und Perikard zum Zwerchfell und zweigt Äste zum Perikard ab;
- zur Brustwand:
  - *Rr. sternales* zum Sternum und zum M. transversus thoracis,
  - *Rr. perforantes*: treten in den oberen 5 Interkostalräumen durch die Brustwand, verzweigen sich an der Vorderfläche des Sternums, im M. pectoralis major und in der Brusthaut und senden Rr. mammarii mediales zur Brustdrüse,
  - *Rr. intercostales anteriores* in den oberen 5–6 Interkostalräumen, anastomosieren mit den Aa. intercostales posteriores und deren Rr. collaterales,
  - *R. costalis lateralis* (häufige Variante): verlässt die A. thoracica interna hinter dem 1. Rippenknorpel, zieht an der Hinterfläche der vorderen Brustwand schräg abwärts und verbindet sich mit Interkostalarterien,
  - *A. musculophrenica*: lateraler Endast, verläuft längs der kostalen Ursprungszacken des Zwerchfells, sendet *Rr. intercostales anteriores* in die unteren Interkostalräume und gibt Äste zum Zwerchfell sowie zu den Ursprüngen der seitlichen Bauchmuskeln ab;
- zur Bauchwand:
  - *A. epigastrica superior*: medialer Endast, zieht an der Hinterfläche des M. rectus abdominis abwärts.

Der **Truncus thyrocervicalis**[10] geht als kurzer, gemeinsamer Ursprungsstamm der *A. thyroidea inferior, A. transversa cervicis* und *A. suprascapularis* aus der A. subclavia hervor.

- Die **A. thyroidea inferior**[18] setzt den Gefäßstamm des Truncus thyrocervicalis fort, kreuzt in bogenförmigem Verlauf hinter dem zum Kopf ziehenden Gefäß-Nerven-Strang des Halses nach medial und läuft anschließend hinter dem Schilddrüsenlappen abwärts. Sie entsendet:
  - *Rr. musculares* (direkt oder über ihre Äste) zu den unteren Zungenbeinmuskeln sowie zum M. longus colli, M. scalenus anterior und M. constrictor pharyngis inferior,
  - *Rr. pharyngeales, Rr. oesophageales* und *Rr. tracheales* zur Wand von Pharynx, Oesophagus und Trachea,
  - die *A. laryngea inferior*: geht oft von der Höhe der Arterienbiegung ab, zieht hinter der Trachea aufwärts, durchbohrt den M. constrictor pharyngis inferior nahe seines Ursprungs am Kehlkopf und führt dem unteren Teil des Kehlkopfs Blut zu,
  - *Rr. glandulares* zur Schilddrüse.
- Die **A. cervicalis ascendens**[19]: steigt medial vom N. phrenicus unter dem tiefen Blatt der Halsfaszie auf dem M. scalenus anterior – äußerstenfalls bis zur Schädelbasis – auf, versorgt benachbarte Muskeln und schickt *Rr. spinales* durch die Foramina intervertebralia zum Rückenmark,
- Die **A. transversa cervicis [colli]**[16] variiert stark in Ursprung, Verlauf und Aufteilung, sodass die topographischen Beziehungen nicht einheitlich sind. Sie entspringt in der Regel – nach der A. suprascapularis und vor der A. thyroidea inferior – aus dem Truncus thyrocervicalis, häufig aber auch direkt aus der A. subclavia lateral oder noch in der Skalenuslücke. Die Arterie versorgt dorsal gelegene Muskeln des Schultergürtels (insbesondere obere Anteile des M. trapezius und die Mm. rhomboidi) sowie lange Nackenmuskeln. Die A. transversa cervicis teilt sich in:
  - *R. superficialis*[18]: tritt mit dem N. accessorius unter den vorderen oberen Rand des M. trapezius, kann als *A. cervicalis superficialis* aber auch selbstständig aus dem Truncus thyrocervicalis hervorgehen und verläuft dann vor dem M. scalenus anterior und dem Plexus brachialis,
  - *R. ascendens* zu langen Nackenmuskeln,
  - *R. profundus*[17]: zieht mit dem N. dorsalis scapulae parallel zum medialen Rand der Scapula, mit einem *R. descendens* abwärts zu den Mm. rhomboidi und M. latissimus dorsi; geht als *A. dorsalis scapulae* sehr häufig auch direkt aus der A. subclavia hervor.
- Die **A. suprascapularis**[12], erster Ast des Truncus thyrocervicalis, verläuft dorsal vom M. sternocleidomastoideus über den M. scalenus anterior und weiter lateral über den Plexus brachialis hinweg. Schließlich gelangt sie, vom seitlichen Teil des mittleren Blatts der Halsfaszie (Fascia omoclavicularis) bedeckt, hinter der Clavicula zum Oberrand der Scapula. Sie tritt meist *über* das Lig. transversum scapulae superius in die Fossa supraspinata und zieht am Collum scapulae, unter dem Lig. transversum scapulae inferius, in die Fossa infraspinata, wo sie mit der A. circumflexa scapulae (aus der A. subscapularis) kommuniziert (Scapula-Anastomose).
  Die A. suprascapularis entsendet außer Ästen zu benachbarten Muskeln, zum Akromioklavikular- und zum Schultergelenk, zu Clavicula und Scapula den *R. acromialis*. Dieser durchbohrt den acromialen Ansatz des M. trapezius, verzweigt sich an der Haut über dem Acromion und steht mit Ästen der A. thoracoacromialis und A. circumflexa humeri posterior in Verbindung.

Der **Truncus costocervicalis**[6] geht als gemeinsamer Ursprungsstamm der *A. cervicalis profunda*[9] und der *A. intercostalis suprema*[8] hinter dem M. scalenus anterior, links auch an dessen ventromedialem Rand, aus der Hinterwand der A. subclavia hervor.

- Die *A. cervicalis profunda*[9], häufig eine kräftige Arterie, tritt zwischen dem Querfortsatz des 7. Halswirbels und dem Hals der 1. Rippe nach dorsal in den M. semispinalis ein und läuft an dessen Dorsalseite aufwärts. Sie anastomosiert mit der A. occipitalis (tiefer Ast des R. descendens) und der A. vertebralis, entsendet einen *R. spinalis* in das Foramen intervertebrale zwischen 7. Hals- und 1. Brustwirbel und versorgt die Nackenmuskeln.
- Die *A. intercostalis suprema*[8] zieht hinter der Pleura costalis, vor dem Hals der 1. und 2. Rippe abwärts, steht mit der A. intercostalis posterior III in Verbindung und bildet mit ihren Ästen den hinteren Teil des Arterienbogens im 1. und 2. Interkostalraum. Die A. intercostalis suprema gibt die *A. intercostalis posterior prima* und *secunda* ab, die in den entsprechenden Interkostalräumen ventralwärts ziehen. Zuvor geben sie je einen *R. dorsalis* zu Rückenmuskulatur und -haut ab, von diesem tritt ein *R. spinalis* durch das jeweilige Foramen intervertebrale in den Wirbelkanal zu Rückenmarkshäuten und Rückenmark. Die A. intercostalis posterior secunda kann statt aus der A. intercostalis suprema auch aus der Aorta kommen.

Astfolge der A. axillaris (▶ **Abb. 20.7**). Die A. axillaris[2] setzt am lateralen Rand der 1. Rippe die A. subclavia als Hauptschlagader des Arms fort. Am Unterrand des M. pectoralis major (vordere Achselfalte) geht sie in die *A. brachialis*[11] über. Im Folgenden wird der „Normaltyp" des Aufzweigungsmusters der A. axillaris beschrieben. Allerdings ist dieses Muster sehr variabel. Der M. pectoralis minor kreuzt vor der A. axillaris und gliedert so deren Gefäßverlauf in 3 Abschnitte:

In der **proximalen Achselstrecke** zieht die Arterie medial des M. pectoralis minor, liegt dem M. serratus anterior auf und wird von der Fascia clavipectoralis bedeckt. Die Trunci des Plexus brachialis verlaufen hier kranial und dorsal des Gefäßes. Als Äste der A. axillaris entspringen hier:

- *A. thoracica superior*[3]: ein kleines, variables Gefäß zu den Muskeln im 1. und im 2. Interkostalraum sowie zum M. pectoralis major und minor, M. subclavius und M. serratus anterior (obere Zacken),

- *A. thoracoacromialis*[4]: entspringt als kräftiges Gefäß am Oberrand des M. pectoralis minor im Übergangsbereich zur mittleren Achselstrecke, tritt mit der V. cephalica durch die Fascia clavipectoralis und verzweigt sich im Trigonum clavipectorale (Mohrenheim-Grube) in:
  - *R. acromialis* durch den M. deltoideus zum *Rete acromiale* auf dem Acromion (Anastomosen mit R. deltoideus, A. suprascapularis und A. circumflexa humeri posterior) und zum Akromioklavikulargelenk gelangt,
  - *R. clavicularis* zu M. subclavius und Sternoklavikulargelenk,
  - *R. deltoideus* zum M. pectoralis major und M. deltoideus sowie zur darüber gelegenen Haut,
  - *Rr. pectorales*[5] zu M. pectoralis major und minor,
- 2–3 in der Lage variable *Rr. subscapulares* zum M. subscapularis.

Im **mittleren Streckenteil** unterkreuzt die A. axillaris den M. pectoralis minor, wird von den Stämmen des Plexus brachialis umgeben und von den Zinken der Medianusgabel umfasst. Ast der A. axillaris in der mittleren Achselstrecke:

- *A. thoracica lateralis* (Ursprung kann nach proximal oder distal verschoben sein): verläuft auf dem M. serratus anterior – unabhängig vom N. thoracicus longus – abwärts und versorgt den M. serratus anterior sowie den M. pectoralis major und minor, anastomosiert mit Ästen der A. transversa cervicis, A. subscapularis und den Aa. intercostales posteriores. Bei der Frau gibt die A. thoracica lateralis außerdem *Rr. mammarii laterales* zur Brustdrüse ab.

In der **distalen Verlaufsstrecke** schließt sich die Arterie dem M. coracobrachialis an und liegt auf dem M. subscapularis und der Ansatzsehne des M. latissimus dorsi. In diesem Bereich gibt sie folgende Äste ab:

- *A. subscapularis*[14]: zieht die im Bindegewebskörper der Axilla längs des lateralen Randes des M. subscapularis eine kurze Strecke nach kaudal, sendet kleine Äste zum gleichnamigen Muskel und teilt sich in:
  - *A. thoracodorsalis*[8] (zu M. latissimus dorsi, M. teres major, M. subscapularis und M. serratus anterior),
  - *A. circumflexa scapulae*[13] durch die mediale Achsellücke zur Fossa infraspinata, Anastomosen mit der A. suprascapularis,
- *A. circumflexa humeri anterior*[15]: dieses schwache Gefäß wendet sich unter dem M. coracobrachialis um das Collum chirurgicum humeri zum Sulcus intertubercularis humeri und versorgt den M. deltoideus sowie die Kapsel des Schultergelenks,
- *A. circumflexa humeri posterior*[16]: zieht mit dem N. axillaris durch die laterale Achsellücke, umgreift den Humerus von dorsal, verzweigt sich am M. deltoideus, am langen und am lateralen Trizepskopf, am M. teres major und minor sowie an der Gelenkkapsel und anastomosiert mit Arterien in der Schultergegend.

Astfolge der A. brachialis (▶ **Abb. 20.8**). Die A. brachialis[1] (Fortsetzung der A. axillaris ab dem Unterrand des M. pectoralis major) verläuft im Sulcus bicipitalis medialis, beidseits flankiert von einer V. brachialis. Sie liegt relativ oberflächlich, nur von Haut und Faszie bedeckt, ehe sie sich

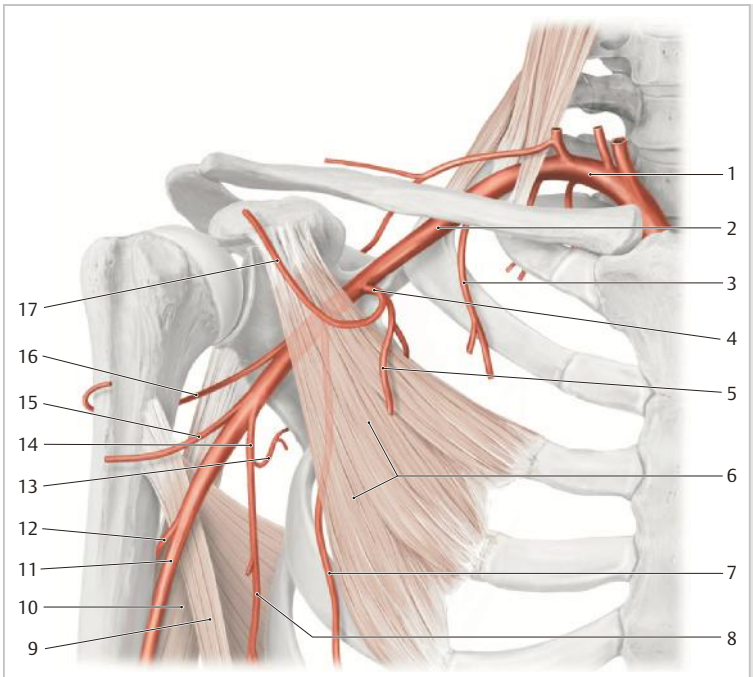


Abb. 20.7 Astfolge der A. axillaris.
1 A. subclavia (s. ▶ **Abb. 20.6**)
2 A. axillaris
3 A. thoracica superior
4 A. thoracoacromialis
5 R. pectoralis
6 M. pectoralis minor
7 A. thoracica lateralis
8 A. thoracodorsalis
9 M. latissimus dorsi
10 M. triceps brachii, Caput longum
11 A. brachialis
12 A. profunda brachii
13 A. circumflexa scapulae
14 A. subscapularis
15 A. circumflexa humeri anterior
16 A. circumflexa humeri posterior
17 R. acromialis, clavicularis, deltoideus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

in die Ellenbogengrube einsenkt. Hier wird sie von der Aponeurosis musculi bicipitis überbrückt, die sie von der epifaszialen V. mediana cubiti trennt. Etwa 1 cm distal des Gelenkspalts des Ellenbogengelenks, also in Höhe des Collum radii, teilt sich die A. brachialis in die *A. radialis*[7] und in die *A. ulnaris*[4] auf.

Die A. brachialis liegt proximal an der medialen Seite des Humerus, distal auf der Ventralseite, in der Mitte einer Linie, die beide Epikondylen des Humerus verbindet. Der N. medianus windet sich in einer langgezogenen Spirale von der lateralen zur medialen Seite des Gefäßes, er überkreuzt die Arterie etwa in Höhe der Insertion des M. coracobrachialis.

Als *Varianten* seien erwähnt:
- die Ausbildung einer *A. brachialis superficialis,* die bereits in der Achselhöhle abzweigt und ventral der Medianusgabel und des N. medianus verläuft,
- ein „hoher Ursprung" der A. radialis (seltener der A. ulnaris) am Oberarm,
- bei Auftreten eines Processus supracondylaris die Verlagerung des distalen Teilstücks der Arterie zum Epicondylus medialis humeri, wobei sie durch den (oder hinter dem) M. pronator teres verläuft.

Die A. brachialis gibt (außer Muskelästen zur Oberarmmuskulatur) die A. profunda brachii und die Aa. collaterales ulnares superior und inferior ab.
- Die **A. profunda brachii**[10] entspringt am Unterrand des M. teres major und zieht, überdeckt vom langen Kopf des M. triceps brachii, zusammen mit dem N. radialis durch den Sulcus nervi radialis des Humerus. Die A. profunda brachii entsendet *Aa. nutrientes [nutriciae] humeri* hinter der Tuberositas deltoidea in den Humerus und den *R. deltoideus* zwischen langem und lateralem Trizepskopf zum M. deltoideus.
  Schließlich teilt sich die A. profunda brachii in 2 Endäste:
  - *A. collateralis media*[9]: steigt im Caput mediale des M. triceps brachii ab und anastomosiert hinter dem Epicondylus lateralis humeri mit der A. interossea recurrens,
  - *A. collateralis radialis*: tritt mit dem N. radialis durch das Septum intermusculare brachii laterale, zieht zwischen M. brachialis und M. brachioradialis vor dem lateralen Epicondylus abwärts und verbindet sich mit der A. recurrens radialis[8].
- Die **A. collateralis ulnaris superior**[2] geht – gelegentlich auch gemeinsam mit der A. profunda brachii – aus dem proximalen Abschnitt der A. brachialis hervor, schließt sich dem N. ulnaris an und verläuft dorsal vom Septum intermusculare brachii mediale zum *Rete articulare cubiti.*
- Die **A. collateralis ulnaris inferior**[3] verlässt die A. brachialis nahe der Ellenbogengrube, zieht stark geschlängelt über den M. brachialis ulnarwärts, anastomosiert über einen vorderen Ast mit dem R. anterior der A. recurrens ulnaris und gelangt mit einem dorsalen Ast zum *Rete articulare cubiti.*

Die **A. radialis**[7], der (meist) schwächere Endast der A. brachialis, setzt die Richtung der A. brachialis am Unterarm fort und verläuft an seiner radialen Seite zwischen M. brachioradialis und M. flexor carpi radialis brevis zur Handwurzel. Sie wendet sich um das Os trapezium zur lateralen Seite des Handrückens, erreicht unter den Sehnen von M. abductor pollicis longus und M. extensor carpi radialis den 1. Zwischenknochenraum der Mittelhand und tritt zwischen den beiden Köpfen des M. interosseus dorsalis I auf die Palmarseite der Hand. Mit ihrem Endast speist sie den **Arcus palmaris profundus,** der 1 cm proximal des Arcus

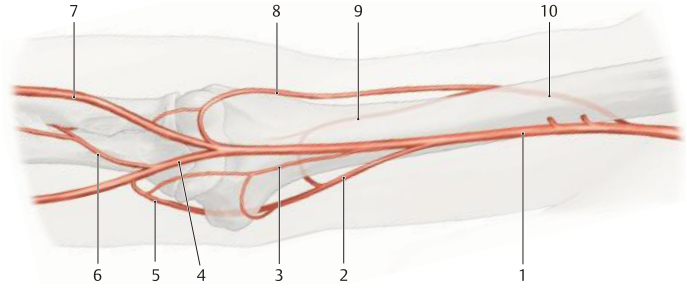


Abb. 20.8 Astfolge der A. brachialis.
1 A. brachialis
2 A. collateralis ulnaris superior
3 A. collateralis ulnaris inferior
4 A. ulnaris
5 A. recurrens ulnaris
6 A. interossea communis
7 A. radialis
8 A. recurrens radialis
9 A. collateralis media
10 A. profunda brachii
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

palmaris superficialis den Basen der Mittelhandknochen aufliegt. Er entsendet an seiner konvexen Seite 3–4 *Aa. metacarpales palmares*, die in etwa 30 % der Fälle mit den Aa. digitales palmares communes, in 10 % mit Aa. digitales palmares propriae kommunizieren.

Nach dorsal treten vom Arcus palmaris profundus durch den 2.–4. Zwischenknochenraum 3 *Rr. perforantes* zu den Aa. metacarpales dorsales, nach proximal feine rückläufige Zweige zu den Handwurzelknochen und zum Rete carpale palmare.

Die A. radialis gibt außer Muskelästen zur radialen Seite des Unterarms folgende Äste ab:

- **A. recurrens radialis**: zweigt in der Fossa cubiti ab, zieht zwischen den R. superficialis und R. profundus des N. radialis lateralwärts und steigt hinter dem M. brachioradialis, ventral von M. supinator und M. brachialis auf. Sie versorgt diese Muskeln, anastomosiert mit der A. collateralis radialis und kann durch feine Ästchen mit dem Rete articulare cubiti in Verbindung stehen.
- **R. carpalis palmaris**: das kleine Gefäß nahe dem Unterrand des M. pronator quadratus verbindet sich mit dem gleichnamigen Ästchen der A. ulnaris, bildet das *Rete carpale palmare* und versorgt die Skelettelemente und Kapseln der Handgelenke.
- **R. palmaris superficialis** zur Daumenballenmuskulatur, kommuniziert in etwa 35 % der Fälle mit dem oberflächlichen Hohlhandbogen.
- **R. carpalis dorsalis** zum *Rete carpale dorsale*. Von ihm gehen längs der Mm. interossei dorsales II–IV drei *Aa. metacarpales dorsales* aus, die sich jeweils in zwei *Aa. digitales dorsales* zu den einander zugewandten dorsalen Rändern des 2.–5. Fingers (bis zu den Mittelphalangen) aufzweigen.
- **A. metacarpalis dorsalis I**: teilt sich in *Aa. digitales dorsales* für die benachbarten dorsalen Ränder von Daumen und Zeigefinger.
- **A. princeps pollicis**: verläuft unter dem Caput obliquum des M. adductor hallucis und zweigt sich in 2 *Aa. digitales palmares propriae* zu den palmaren Rändern des Daumens auf.
- **A. radialis indicis** zum radialen palmaren Rand des Zeigefingers, kann auch aus der A. princeps pollicis oder aus einem der beiden Hohlhandbögen entspringen.

Die **A. ulnaris**[4] zieht unter dem M. pronator teres hindurch nach ulnar und erreicht auf dem M. flexor digitorum profundus absteigend die Handwurzel. Sie verläuft dort mit dem N. ulnaris radial vom Os pisiforme zur Hohlhand, liegt auf dem Retinaculum flexorum und bildet den **Arcus palmaris superficialis**. Dieser erhält auch Blut aus der A. radialis über den R. palmaris superficialis. Auf seiner konvexen Seite gehen die *A. digitalis palmaris propria* für die Ulnarseite des 5. Fingers und meist drei *Aa. digitales palmares communes* hervor. Sie teilen sich in Höhe der Basen der Grundphalangen jeweils in zwei *Aa. digitales palmares propriae* zu den einander zugewandten palmaren Rändern des 2.–5. Fingers, die sich nicht nur an der Palmarfläche, sondern auch auf der Dorsalseite der Endphalangen und der distalen Hälfte der Mittelglieder verzweigen.

- In der Fossa cubiti zweigt die **A. recurrens ulnaris**[5] ab. Sie zieht zwischen den M. pronator teres und M. brachialis aufwärts und steht über den vor dem Epicondylus medialis humeri verlaufenden *R. anterior* mit der A. collateralis inferior, über den im Sulcus nervi ulnaris hinter dem medialen Epicondylus aufsteigenden *R. posterior* mit der A. collateralis ulnaris superior in Verbindung.
- **A. interossea communis**[6] **:** teilt sich unmittelbar nach ihrem Ursprung, etwa in Höhe des Oberrandes des M. pronator teres, in die *A. interosseae anterior* und *posterior.*
  - Die *A. interossea anterior* zieht auf der Membrana interossea antebrachii zum Rete carpale palmare, erreicht mit einem dorsalen Ast durch die Membrana interossea antebrachii auch das Rete carpale dorsale und gibt bereits ursprungsnah die *A. comitans nervi mediani* mit Ästen zur Muskulatur und zu beiden Unterarmknochen ab.
  - Die meist schwächere *A. interossea posterior* durchbohrt die Membrana interossea antebrachii, gibt die unter dem M. anconaeus zum Rete articulare cubiti verlaufende *A. interossea recurrens* ab und gelangt zum Rete carpale dorsale.
- **R. carpalis palmaris:** verlässt die A. ulnaris am distalen Rand des M. pronator quadratus und speist das Rete carpale palmare.
- **R. carpalis dorsalis:** entspringt nahe dem Os pisiforme, gelegentlich auch weiter proximal, zieht unter der Sehne des M. flexor carpi ulnaris um die Handwurzel zum Rete carpale dorsale und entsendet nahe dem Ursprung einen kleinen Zweig längs der Ulnarseite des 5. Mittelhandknochens zum ulnaren Rand der Dorsalfläche des Kleinfingers.
- **R. palmaris profundus**: häufig doppelt ausgebildet, zweigt radial vom Os pisiforme von der A. ulnaris ab, tritt mit dem R. profundus des N. ulnaris zwischen M. abductor und M. flexor digiti minimi brevis in den Kleinfingerballen und zieht hinter dem (oder durch den) Ursprung des M. opponens digiti minimi zum Arcus palmaris profundus.

Äste der Aorta thoracica

Die Aorta thoracica gibt Rumpfwandäste zu Brustwand und Zwerchfell sowie Eingeweideäste zu Bronchialbaum, Perikard, Oesophagus und in das hintere Mediastinum ab.

Rumpfwandäste (▶ **Abb. 20.9**). Die **Aa. intercostales posteriores III–XI**[3] entspringen in der Regel als paarige Äste (sehr selten aus einem gemeinsamen Ursprungsstämmchen für ein Gefäßpaar oder 2 kraniokaudal folgende Arterien) aus der Hinterwand der Aorta thoracica. Die rechten hinteren Interkostalarterien sind etwas länger als die linken, da sie die Wirbelkörper queren. Sie verlaufen dorsal von Oesophagus, Ductus thoracicus und V. azygos, die linken dorsal von V. hemiazygos bzw. V. hemiazygos accessoria. Beiderseits kreuzen die Gefäße in Höhe des Rippenkopfs dorsal den Grenzstrang, geben den *R. dorsalis* ab und zie-

hen schräg durch den hinteren Teil des Interkostalraums zum Unterrand der jeweiligen Rippe nahe dem Rippenwinkel. Jede Interkostalarterie verläuft vom Angulus costae im Sulcus costae bis zur mittleren Axillarlinie, ventral davon längs des unteren Rippenrandes. Nahe dem Rippenwinkel gibt sie den *R. collateralis*[4] ab, der am Oberrand der folgenden Rippe ventralwärts zieht. Im vorderen Teil des Interkostalraums anastomosieren Hauptstamm und R. collateralis jeweils mit einem R. intercostalis anterior der A. thoracica interna bzw. musculophrenica. Die unteren Interkostalarterien treten über den Rippenbogen hinweg in die muskulöse Bauchwand und verlaufen zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis.

Bis zum Rippenwinkel ist die A. intercostalis posterior in die Fascia endothoracica eingebettet. Dann tritt sie für eine kurze Strecke zwischen M. intercostalis internus und externus, ehe sie in den M. intercostalis internus eindringt, sich dem N. intercostalis anschließt und nach innen den M. intercostalis intimus abgrenzt.

Der *R. dorsalis* zieht zwischen Wirbelkörper und Lig. costotransversarium superius dorsalwärts, gibt den *R. spinalis* in den Wirbelkanal (mit Ästen zu Wirbel, Rückenmarkshäuten und Rückenmark) ab und versorgt die Rückenmuskulatur mit medialen und lateralen Zweigen, die Rückenhaut mit einem *R. cutaneus medialis* und einem *R. cutaneus lateralis*.

Der *R. cutaneus lateralis* des Hauptstamms verlässt die A. intercostalis posterior an der seitlichen Rumpfwand und teilt sich in einen vorderen und einen hinteren Zweig zur seitlichen Brusthaut. Bei der Frau treten die vorderen Äste der Rr. cutanei laterales II–IV als *Rr. mammarii laterales* zur Brustdrüse und sind während der Stillzeit relativ kräftig.

Die **A. subcostalis**[5] verläuft kaudal der 12. Rippe. Sie ist die letzte „Interkostal"arterie und hat im Prinzip den gleichen Verlauf wie ihre kranialen Homologa. Die A. subcostalis kreuzt dorsal von Grenzstrang und Nn. splanchnici, gibt ebenfalls einen *R. dorsalis* (mit *R. spinalis*) ab und zieht unter dem Lig. arcuatum laterale vor dem M. quadratus lumborum und hinter der Niere ventrolateralwärts. Sie durchbohrt die Ursprungsaponeurose des M. transversus abdominis und gelangt zwischen diesem und dem M. obliquus internus abdominis in die ventrale Bauchwand.

Die **Aa. phrenicae superiores**[6] kommen als kleine Ästchen aus dem kaudalen Teil der Brustaorta, verzweigen sich an der thorakalen Fläche von Pars lumbalis und Pars costalis des Zwerchfells und anastomosieren mit Ästen der Aa. pericardiacophrenica und musculophrenica.

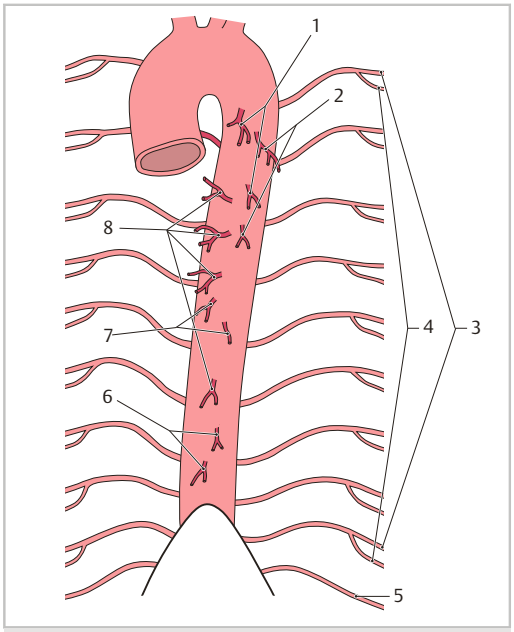


Abb. 20.9 Astfolge der Aorta thoracica. hellrot: Rumpfwandäste dunkelrot: Eingeweideäste
1 Rr. bronchiales
2 Rr. mediastinales
3 Aa. intercostales posteriores III–XI
4 Rr. collaterales
5 A. subcostalis
6 Aa. phrenicae superiores
7 Rr. pericardiaci
8 Rr. oesophageales
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Eingeweideäste (▶ **Abb. 20.9**). Die **Rr. bronchiales**[1] variieren hinsichtlich Zahl, Ursprung und Größe. Unmittelbar aus der Aorta thoracica entspringen oft nur 2 Bronchialäste zum linken Hauptbronchus. Die obere linke Bronchialarterie geht in Höhe des 5. Brustwirbels, die untere etwas unterhalb der Bifurcatio tracheae ab. Der häufig einzige *R. bronchialis dexter* stammt meist aus der 3. (seltener 4.) rechten hinteren Interkostalarterie, gelegentlich aus dem linken Bronchialast oder aus einem beiden gemeinsamen Ursprungsstämmchen. Die Rr. bronchiales verzweigen sich jederseits längs den Aufzweigungen des Hauptbronchus (bis einschließlich der Bronchioli), versorgen die Bronchialwand und die bindegewebigen Septen der Lunge sowie die bronchopulmonalen Lymphknoten, anastomosieren mit Zweigen der A. pulmonalis und geben Äste zu Perikard und Oesophagus ab.

Die **Rr. pericardiaci**[7], einige wenige dünne Ästchen, treten an die Hinterwand des Pericards.

Die 4–5 **Rr. oesophageales**[8] ziehen von der Vorderfläche der Aorta thoracica zur Wand des Oesophagus, wo sie mit Rr. oesophageales der A. thyroidea inferior, A. phrenica inferior und A. gastrica sinistra anastomosieren.

Die **Rr. mediastinales**[2] verzweigen sich als variable, feine Gefäße an den Lymphknoten und im Bindegewebe des hinteren Mediastinums.

Äste der Aorta abdominalis

Die Aorta abdominalis entsendet als paarige dorsale Rumpfwandäste die *A. phrenica inferior* und *Aa. lumbales*. Die paarigen lateralen Eingeweideäste haben sich aus Urnierenarterien entwickelt und versorgen Organe, die in enger Nachbarschaft der Urniere entstanden sind, die *unpaaren* ventralen Eingeweideäste den Darmkanal und seine Derivate.

Rumpfwandäste (▶ **Abb. 20.10**). Die **A. phrenica inferior**[1] entspringt beidseits (selten mit einem gemeinsamen Ursprungsstämmchen) an der Vorderfläche der Aorta abdominalis nach deren Durchtritt durch den Hiatus aorticus, gelegentlich auch aus dem Truncus coeliacus. Die rechte Arterie kreuzt hinter der V. cava inferior, die linke zieht medial der linken Nebenniere lateral vom Oesophagus aufwärts. Beide Gefäße verzweigen sich an der Unterfläche des Zwerchfells und anastomosieren mit Ästen der unteren Interkostalarterien und der A. musculophrenica und A. pericardiacophrenica. Die rechte A. phrenica inferior gibt feine Zweige zur Wand der V. cava inferior, zu Leber und Pancreas, die linke zu Oesophagus und Milz ab. Außerdem geben beide zur Nebenniere die *A. suprarenalis superior* mit meist 2–3 Ästchen ab.

Die **Aa. lumbales**[9], 4 paarige Segmentalarterien (das 5. Paar stammt aus der A. sacralis mediana), gehen in Höhe des 1.–4. Lendenwirbelkörpers an der Hinterfläche der Aorta abdominalis ab. Sie entsenden jeweils einen *R. dorsalis* zu Rückenmuskeln und -haut, der einen *R. spinalis* zum Wirbelkanal abgibt. Der Hauptast verläuft hinter dem M. psoas major und dem Plexus lumbalis, bei den 3 kranialen Arterien auch hinter dem M. quadratus lumborum, lateral- und ventralwärts.

Die Aa. lumbales durchbohren die Ursprungsaponeurose des M. transversus abdominis und gelangen zwischen diesem und dem M. obliquus internus abdominis in die ventrale Bauchwand. Dort bestehen zahlreiche Anastomosen mit Ästen der A. epigastrica inferior, mit den unteren Aa. intercostales posteriores und der A. subcostalis sowie mit Ästen der A. iliolumbalis und A. circumflexa ilium profunda.

Paarige Eingeweideäste (▶ **Abb. 20.10**). Die **A. suprarenalis media**[4] entspringt in Höhe oder etwas kaudal der A. mesenterica superior und zieht rechts hinter der V. cava inferior, beidseits vor dem Ganglion coeliacum zur jeweiligen Nebenniere.

Die **A. renalis**[6] geht in Höhe des 1.–2. Lendenwirbels nahezu rechtwinklig von der Aorta abdominalis ab. Sie zieht auf der rechten Seite hinter der V. cava inferior, der rechten V. renalis und dem Pancreaskopf, links hinter der linken V. renalis, dem Pancreaskörper und der V. lienalis zum Nierenhilum, wo sie sich in den *R. anterior* (zum oberen, zum vorderen oberen, zum vorderen unteren sowie zum unteren Nierensegment) und den *R. posterior* (zum großen hinteren Nierensegment) aufzweigt. Die A. renalis entsendet folgende Äste:

- meist mehrere *Aa. suprarenales inferiores*[5] zur Nebenniere,
- *Rr. capsulares [perirenales]* zu Nierenkapsel und Umgebung der Niere,
- *Rr. ureterici*[7] zum distalen Nierenbecken und dem oberen Ureteranteil.

Zusätzliche Nierenarterien entspringen nicht selten als aberrierende Arterien aus der A. renalis oder als akzessorische Arterien aus der Aorta. Sie treten häufiger zum oberen als zum unteren Nierenpol.

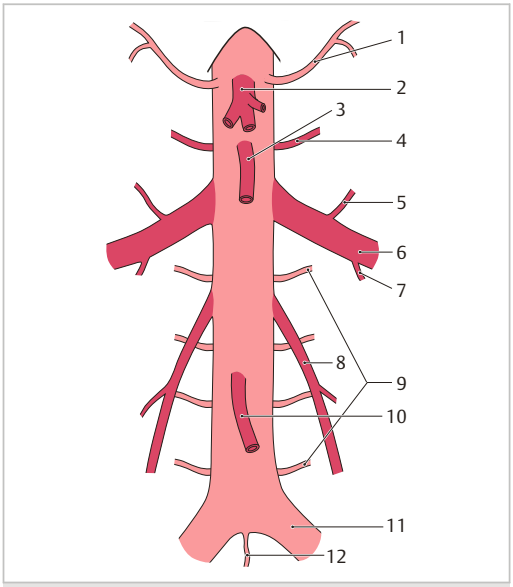


Abb. 20.10 Astfolge der Aorta abdominalis. hellrot: Rumpfwandäste dunkelrot: Eingeweideäste
1 A. phrenica inferior
2 Truncus coeliacus (s. ▶ **Abb. 20.11**)
3 A. mesenterica superior (s. ▶ **Abb. 20.12**)
4 A. suprarenalis media
5 A. suprarenalis inferior
6 A. renalis
7 R. uretericus
8 A. ovarica bzw. testicularis
9 Aa. lumbales I–IV
10 A. mesenterica inferior (s. ▶ **Abb. 20.13**)
11 A. iliaca communis
12 A. sacralis mediana

Die **A. ovarica**[8] bei der Frau geht kaudal der A. renalis etwa in Höhe des 2. Lendenwirbels paarig aus der ventralen Aortenwand hervor, zieht rechts ventral über die V. cava inferior hinweg und verläuft beidseits als langer, dünner Gefäßstrang auf dem M. psoas major kaudalwärts. Sie überkreuzt den N. genitofemoralis, den Ureter sowie den peripheren Teil der A. iliaca communis. Dann wendet sie sich medialwärts, überkreuzt die Vasa iliaca externa und erreicht von der Seitenwand des kleinen Beckens aus das Mesovarium über das Lig. suspensorium ovarii, wobei sie erneut – jetzt von lateral nach medial – über den Ureter hinwegzieht. Im Mesovarium entsendet sie einen Ast unmittelbar zum Ovar und bildet über einen weiteren Ast mit dem R. ovaricus der A. uterina die Ovarial-Arkade, die Zweige zum Hilum ovarii abgibt. Außerdem anastomisiert die A. ovarica über *Rr. tubarii* (zur Ampulla tubae) mit dem gleichnamigen Ast der A. uterina, der in der Mesosalpinx verläuft.

Außerdem zweigt die A. ovarica *Rr. ureterici* zum mittleren Teilstück des Ureters ab.

Die **A. testicularis**[8] beim Mann stimmt hinsichtlich Ursprung und Verlauf bis nahe dem Rand des kleinen Beckens mit der A. ovarica (s. o.) überein. Sie gelangt im Samenstrang durch den Leistenkanal, wo sie feine Zweige an den M. cremaster abgibt, zum Hoden. Als Äste der A. testicularis ziehen *Rr. ureterici* zum mittleren Teilstück des Ureters und *Rr. epididymales* zum Nebenhoden.

Unpaare Eingeweideäste. Der nur wenig über 1 cm lange **Truncus coeliacus** (▶ **Abb. 20.11**) verlässt die Aorta abdominalis an ihrer Vorderwand bereits im Hiatus aorticus und teilt sich – entgegen den meisten Lehrbuchangaben nur in 25 % der Fälle – in 3 Äste (Tripus Halleri): die *A. gastrica sinistra*[2], *A. hepatica communis*[10] und *A. splenica [lienalis]*[4]. Fast doppelt so häufig zweigt jedoch zunächst nur die A. gastrica sinistra ab und der verbleibende Hauptstamm teilt sich etwas weiter distal in die A. hepatica communis und A. splenica auf.

Die **A. gastrica sinistra**[2] gelangt in der oberen Plica gastropancreatica an der Grenze von Vestibulum und Bursa omentalis zur Pars cardiaca des Magens und gibt *Rr. oesophageales* ab, die in der Wand des Oesophagus durch den Hiatus oesophageus aufsteigen. Sie versorgt die Kardiaregion und zieht an der kleinen Kurvatur des Magens pyloruswärts, zweigt Äste zur angrenzenden Vorder- und Hinterwand des Magenkörpers ab und anastomosiert meist mit der A. gastrica dextra.

Die **A. hepatica communis**[10] verläuft in der unteren Plica gastropancreatica und entlang des Tuber omentale des Pancreas nach rechts. Sie teilt sich oberhalb des Pylorus im Grenzbereich zur Pars superior duodeni in die *A. hepatica propria*[11] (zu Leber, extrahepatischen Gallenwegen und zur kleinen Kurvatur des Magens) und die *A. gastroduodenalis*[8] (zu Duodenum, Pancreas und großer Kurvatur des Magens.

Die A. hepatica communis kann aber auch aus der A. mesenterica superior, sehr selten aus der A. gastrica sinistra oder direkt aus der Aorta entspringen. Häufiger ist die Ausbildung *akzessorischer Leberarterien* aus der A. gastrica sinistra oder A. mesenterica superior. Die *A. gastroduodenalis* geht gelegentlich aus der A. mesenterica superior oder dem Truncus coeliacus hervor.

Die **A. hepatica propria**[11] zieht im Lig. hepatoduodenale, zunächst mehr medial, dann ventral der V. portae schräg nach rechts aufwärts und teilt sich nahe der Leberpforte in einen rechten und einen linken Ast zu dem entsprechenden Leberlappen. Sie gibt folgende Gefäße ab:

- *A. gastrica dextra*[9]: kann auch aus der A. hepatica communis oder der A. gastroduodenalis hervorgehen und gibt gelegentlich die *A. supraduodenalis* zur Pars superior duodeni. Die A. gastrica dextra zieht rückläufig zum rechten Teil der kleinen Kurvatur des Magens (in der Regel Anastomose mit der A. gastrica sinistra),
- *R. dexter*: kreuzt den Ductus choledochus meist dorsal, zweigt die *A. cystica* zur Gallenblase und eine *A. lobi caudati* zum Lobus caudatus ab und teilt sich in die *A. segmenti anterioris* und *A. segmenti posterioris* zum vorderen und zum hinteren Segment des rechten Leberlappens,
- *R. sinister* zum linken Leberlappen, gibt ebenfalls eine *A. lobi caudati* sowie die *A. segmenti medialis* und *A. segmenti lateralis* zum medialen und zum lateralen Lebersegment ab,
- *R. intermedius* zum Lobus quadratus: kann sowohl aus dem rechten als auch aus dem linken Ast der A. hepatica propria abgehen.

Die **A. gastroduodenalis**[8] steigt hinter dem Pylorus oder der Pars superior duodeni ab und teilt sich an dem jeweiligen Unterrand in ihre Endäste, die *A. gastroomentalis [gastroepiploica] dextra*[7] (verläuft im Lig. gastrocolicum) und die *A. pancreaticoduodenalis superior anterior*[18]. Aus der A. gastroduodenalis gehen hervor:

- die inkonstante *A. supraduodenalis* zur Pars superior duodeni, sofern das Gefäß nicht aus der A. hepatica communis bzw. propria oder aus der A. gastrica dextra stammt,
- *A. pancreaticoduodenalis superior posterior*[19]: unterkreuzt hinter dem Pancreaskopf den Ductus choledochus vor dessen Eintritt in das Duodenum und gibt *Rr. pancreatici* zum Pancreaskopf, *Rr. duodenales* zum Duodenum sowie kleine Ästchen zum Ductus choledochus ab. Schließlich anastomosiert die A. pancreaticoduodenalis superior posterior und mit dem hinteren Zweig der A. pancreaticoduodenalis inferior,
- *Aa. retroduodenales* zur Hinterfläche von Duodenum und Pancreas,
- *A. gastroomentalis dextra*[7] , der stärkere Endast der A. gastroduodenalis: zieht etwa eine Fingerbreite von der großen Kurvatur des Magens entfernt im Omentum majus der A. gastroomentalis sinistra entgegen und anastomosiert mit ihr; sendet zahlreiche *Rr. gastrici* zu Vorder- und Hinterwand von Pars pylorica und Corpus gastricum sowie *Rr. omentales* in das Omentum majus,

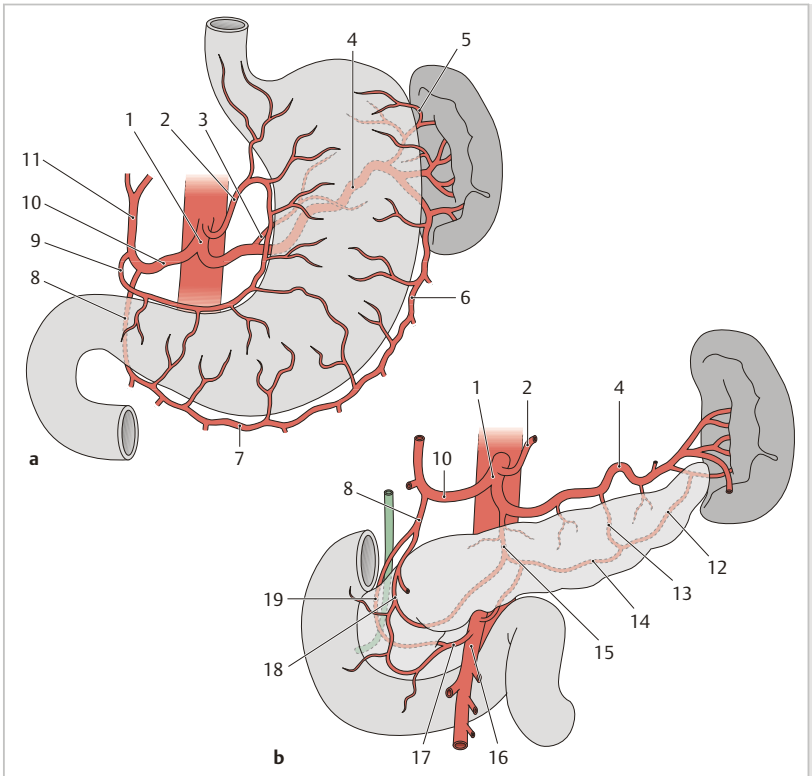


Abb. 20.11 Astfolge des Truncus coeliacus.
a Versorgung des Magens, **b** Versorgung des Pancreas.
1 Truncus coeliacus
2 **A. gastrica sinistra**
3 A. gastrica posterior
4 **A. splenica [lienalis]**
5 Aa. gastricae breves
6 A. gastroomentalis sinistra
7 A. gastroomentalis dextra
8 A. gastroduodenalis
9 A. gastrica dextra
10 **A. hepatica communis**
11 A. hepatica propria
12 A. caudae pancreatis
13 A. pancreatica magna
14 A. pancreatica inferior
15 A. pancreatica dorsalis
16 A. mesenterica superior (s. ▶ **Abb. 20.12**)
17 A. pancreaticoduodenalis inferior, R. anterior
18 A. pancreaticoduodenalis superior anterior
19 A. pancreaticoduodenalis superior posterior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- *A. pancreaticoduodenalis superior anterior*[18]: steigt zwischen Pars descendens duodeni und Vorderfläche des Pancreaskopfes ab, zweigt *Rr. pancreatici* und *Rr. duodenales* ab und anastomosiert mit dem vorderen Ast der A. pancreaticoduodenalis inferior.

Die **A. splenica**[4], der stärkste Ast des Truncus coeliacus, führt Blut zu Milz, Pancreas, Magen und Omentum majus. Sie verläuft stark geschlängelt am Oberrand des Pancreaskörpers nach links und gelangt durch das Lig. splenorenale zum Milzhilum, in das sie mit mehreren *Rr. splenici* eintritt. Die A. splenica entsendet folgende Äste:

- zahlreiche *Rr. pancreatici* zu Körper und Schwanz des Pancreas:
  - *A. pancreatica dorsalis*[15] (aus dem Anfangsteil der A. splenica, als Variante auch aus der A. mesenterica superior oder der A. hepatica communis): steigt die hinter dem Pancreas ab und anastomosiert über meist 2 im Drüsenkörper oder als *A. prepancreatica* durch die Incisura pancreatis auf die ventrale Seite des Pancreas verlaufende rechte Äste mit der A. pancreaticoduodenalis superior anterior; nach links am Unterrand der Drüse zweigt sie die *A. pancreatica inferior*[14] zum Pancreasschwanz ab,
  - *A. pancreatica magna*[13] aus der Mittelstrecke der A. splenica, teilt sich auf der Pancreashinterfläche auf,
  - *A. caudae pancreatis*[12]: tritt in den Pancreasschwanz ein und steht mit Ästen der A. pancreatica magna in Verbindung,
- *A. gastrica posterior*[3] (in etwa 60 % der Fälle): geht im Grenzbereich von Pancreaskopf und -körper nach kranial ab, steigt in der Hinterwand der Bursa omentalis auf, erreicht über das Lig. gastrophrenicum nahe der Incisura cardiaca den Magen und zweigt sich an Fundus gastricus, Regio cardiaca und am abdominalen Oesophagus auf,
- *A. gastroomentalis [gastroepiloica] sinistra*[6]: gelangt über das Lig. gastrosplenicum in das Omentum majus, wo sie

nahe der großen Kurvatur des Magens der A. gastroomentalis dextra entgegenzieht und *Rr. gastrici* zu Vorder- und Hinterwand des Corpus gastricum sowie *Rr. omentales* ins Omentum majus abgibt,
- 5–7 *Aa. gastricae breves*[5] über das Lig. gastrosplenicum zum Fundus gastricus,
- *Rr. splenici* als funktionelle Endarterien zur Milz.

Die **A. mesenterica superior** (▶ **Abb. 20.12**), zweiter unpaarer Eingeweideast der Aorta abdominalis, entspringt etwa 1 cm kaudal des Abgangs des Truncus coeliacus in Höhe des 1. Lendenwirbels aus der Vorderwand der Aorta. Sie steigt hinter dem Pancreaskörper abwärts, wird ursprungsnah von der V. splenica überkreuzt, zieht (an der linken Seite der V. mesenterica superior) durch die Incisura pancreatis, tritt über die Pars horizontalis duodeni in die Radix mesenterii ein und verläuft im Mesenterium in einem nach links konvexen Bogen zum terminalen Ileum. Die Arterie versorgt den Pancreaskopf, den Dünndarm (mit Ausnahme der Pars superior duodeni) und den Dickdarm bis nahe an die Flexura coli sinistra. Die A. mesenterica superior gibt folgende Gefäße ab:
- *A. pancreaticoduodenalis inferior*[2] zu Pancreaskopf (einschließlich Processus uncinatus) und Duodenum, die gelegentlich auch aus der ersten A. jejunalis hervorgeht und sich sogleich teilt in den hinter dem Pancreaskopf aufsteigenden *R. posterior* (Anastomose mit der A. pancreaticoduodenalis superior posterior) und den über dessen Vorderfläche ziehenden *R. anterior* (Anastomose mit der A. pancreaticoduodenalis superior anterior),
- 10–16 *Aa. jejunales*[9] zum Jejunum und *Aa. ileales*[8] zum Ileum (ausgenommen den zäkumnahen Endabschnitt), die durch quere Arterienbögen, die in mehreren Reihen hintereinander folgen (Gefäßarkaden), miteinander in Verbindung stehen,
- *A. colica media*[3], die im Mesocolon transversum das Querkolon erreicht und über ihren rechten Ast mit der A. colica dextra, über den linken Ast (gelegentlich auch über eine eigenständige *A. marginalis coli*) mit der A. colica sinistra aus der A. mesenterica inferior in Verbindung steht; Drummond- und Riolan-Anastomosen (Colonarterien bilden meist nur eine Arkadenreihe),
- *A. colica dextra*[4], manchmal doppelt ausgebildet oder aus einem gemeinsamen Ursprungsstamm mit der A. ileocolica. Die A. colica dextra zieht zum Colon ascendens und anastomosiert über einen absteigenden Ast mit dem R. colicus der A. ileocolica, über einen aufsteigenden Ast mit der A. colica media, wobei zur rechten Colonflexur eine mehr oder weniger selbstständige *A. flexura dextra* treten kann,
- *A. ileocolica*[5]: verläuft hinter dem Peritoneum über den rechten Ureter und die Vasa ovarica (testicularia) dextra hinweg in die rechte Darmbeingrube und teilt sich auf in:
  - *R. colicus* zum Colon ascendens (gelegentlich 2 Äste, Anastomose mit der A. colica dextra),
  - *A. caecalis anterior*: zieht in der Plica caecalis vascularis zur Vorderfläche des Caecums,
  - *A. caecalis posterior*: tritt hinter der Einmündung des Ileum zur dorsalen Wand des Caecums,

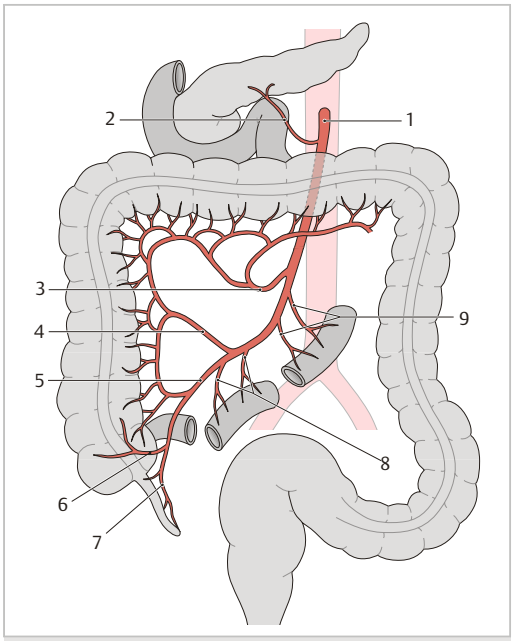


Abb. 20.12 Astfolge der A. mesenterica superior.
1 A. mesenterica superior
2 A. pancreaticoduodenalis inferior
3 A. colica media
4 A. colica dextra
5 *A. ileocolica*
6 A. caecalis anterior und posterior
7 A. appendicularis
8 Aa. ileales
9 Aa. jejunales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

  - *A. appendicularis*[7]: steigt hinter dem terminalen Ileum ab und erreicht in der Mesoappendix den Wurmfortsatz,
  - *R. ilealis* zum Endstück des Ileums, wendet sich längs dem terminalen Ileum nach links und anastomosiert mit dem Endast der A. mesenterica superior.

Die **A. mesenterica inferior** (▶ **Abb. 20.13**[1]) entspringt 3–4 cm oberhalb der Bifurcatio aortae, etwa in Höhe des 3.(–4.) Lendenwirbelkörpers und ist schwächer als die A. mesenterica superior. Sie zieht zunächst vor, dann links der Aorta abdominalis abwärts und zweigt retroperitoneal die *A. colica sinistra*[2] zum linken Drittel des Colon transversum und zum Colon descendens sowie die *Aa. sigmoideae*[5] zum Colon sigmoideum ab. Der Stamm der Arterie setzt sich als *A. rectalis superior*[7] in das kleine Becken fort und versorgt die Muskelwand des Rectums im oberen Teil und die Schleimhaut bis zu den Columnae anales.

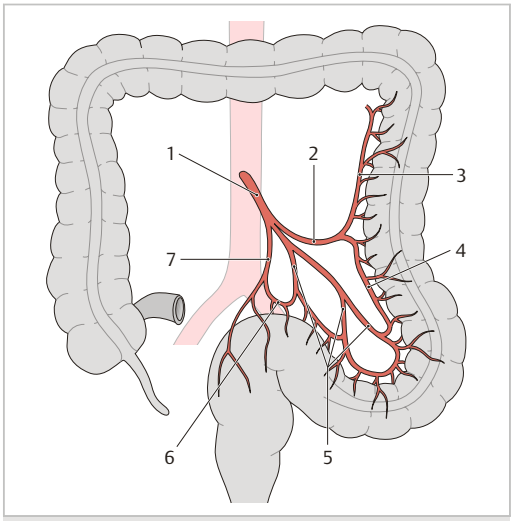


Abb. 20.13 Astfolge der A. mesenterica inferior.
1 A. mesenterica inferior
2 A. colica sinistra
3 R. ascendens
4 R. descendens
5 Aa. sigmoideae
6 A. sigmoidea ima
7 A. rectalis superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **A. colica sinistra**[2] teilt sich in einen zur linken Colonflexur (Anastomose mit der A. colica media; Riolan- und Drummond-Anastomosen) und zum proximalen Teilstück des Colon descendens aufsteigenden Ast, *R. ascendens,* und in einen absteigenden Zweig, der zum distalen Teil des Colon descendens zieht und mit der obersten A. sigmoidea anastomosiert. Gefäßstamm oder beide Äste kreuzen ventral vom linken Ureter und von den Vasa testicularia (ovarica) sinistra. Beide Arterienäste stehen durch einen darmnah gelegenen Gefäßbogen miteinander in Verbindung, von dem ebenso wie von ihren Anastomosen Ästchen zu Colon transversum bzw. Colon descendens ausgehen.

Die 2–3 **Aa. sigmoideae**[5] bilden im Mesocolon sigmoideum eine Arkade, die mit der A. colica sinistra und mit der A. rectalis superior anastomosiert und von der Äste zum terminalen Colon descendens und zum Colon sigmoideum treten.

Die **A. rectalis superior**[7] überkreuzt auf dem Weg ins kleine Becken A. und V. iliaca communis, gibt eine als *A. sigmoidea ima*[6] bezeichnete Anastomose zum Gefäßbogen der Aa. sigmoideae ab und teilt sich in Höhe des 3. Kreuzwirbels in 2 Zweige, die zunächst beidseits am Rectum absteigen. Auf halber Strecke gliedern sie sich in feine Ästchen auf, die durch die Muskelschicht des Rectums in die Tela submucosa eindringen und sich analwärts bis in Höhe des M. sphincter ani internus ausbreiten, also bis in das Versorgungsgebiet der A. rectalis media und inferior.

Zwischen den Aufzweigungen der A. rectalis superior und den Ästen der A. rectalis media (aus der A. iliaca interna) bzw. inferior (aus der A. pudenda interna) bestehen feine, für die Blutversorgung des oberen Rectums allerdings meist nicht ausreichende Anastomosen. Bei einer Unterbindung der A. rectalis superior vor dem Abgang der A. sigmoidea ima kann dagegen über deren Verbindung mit dem Gefäßbogen der Aa. sigmoideae der proximale Teil des Rectums in der Regel ausreichend mit Blut versorgt werden.

Aufzweigung der A. iliaca communis. An der Bifurcatio aortae in Höhe des 4., im Alter auch 5. Lendenwirbelkörpers etwas links der Medianebene teilt sich die Aorta in die beiden Aa. iliacae communes. Diese schließen einen nicht ganz symmetrischen Winkel von im Mittel 65 ° (beim Mann) bis 75° (bei der Frau) ein. Sie ziehen jeweils – vom Peritoneum bedeckt – nach lateral und kaudal an den medialen Rand des M. psoas major. Die rechte A. iliaca communis ist 5–6 cm lang und zieht über die Wurzel der V. cava inferior und die Endabschnitte der beiden Vv. iliacae communes hinweg. Die linke A. iliaca communis ist 4–5 cm lang und tritt von lateral vor die linke V. iliaca communis.

Die Aa. iliacae communes gabeln sich am Oberrand der Articulatio sacroiliaca in die postnatal kräftigere *A. iliaca externa* (zu Rumpfwand und Bein) und in die *A. iliaca interna* (zu Beckeneingeweiden und Beckengürtel). Nahe dieser Teilungsstelle wird die A. iliaca communis, die nur feine Zweige in die Umgebung (Peritoneum, Ureter, Lymphknoten, M. psoas) abgibt, vom Ureter überkreuzt.

Astfolge der A. iliaca interna (▶ **Abb. 20.14**). Die A. iliaca interna[1] tritt vor der gleichnamigen Vene über die Linea terminalis an den Oberrand des Foramen ischiadicum majus und teilt sich in 60 % der Fälle in 2 Haupt äste. Der kräftigere *vordere* Stamm gibt 1–3 *Rumpfwandäste* zur ventrolateralen Beckenwand und zu den Muskeln der Adduktorengruppe, zu Beckenboden, Genitoanalregion und Gesäßgegend sowie 7–11 *Eingeweideäste* zu Beckenorganen ab. Der *hintere* Stamm entsendet nur 4–6 *Rumpfwandäste* zur dorsolateralen Beckenwand.

Die Äste des vorderen Arterienstamms verlaufen mit Ausnahme der A. glutea inferior ventral des Plexus sacralis, die Äste des hinteren Stamms treten zwischen den Plexuswurzeln hindurch.

Aufzweigungsmuster und Astfolge der A. iliaca interna variieren erheblich, die periphere Zuordnung der Äste ist dagegen recht konstant. In 10 % der Fälle gehen die Äste nur von einem Hauptstamm ab, in 30 % der Fälle sind mehr als 2 Hauptäste vorhanden.

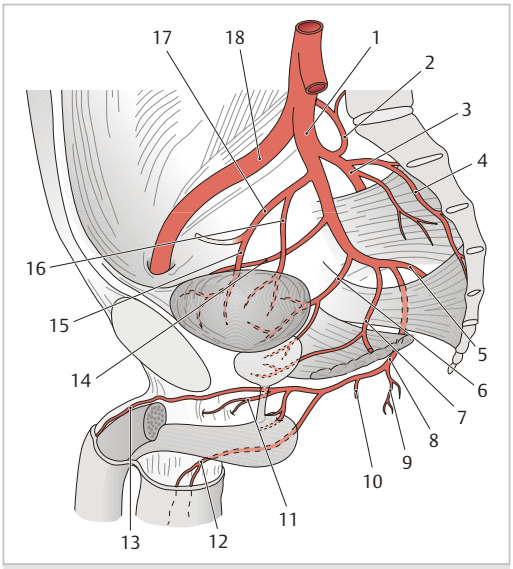


Abb. Astfolge der A. iliaca interna. Beim Mann, Ansicht von links.
1 A. iliaca interna
2 A. iliolumbalis
3 A. glutea superior
4 A. sacralis lateralis
5 A. glutea inferior
6 A. vesicalis inferior
7 A. rectalis media
8 A. pudenda interna
9 A. rectalis inferior
10 A. perinealis
11 A. profunda penis
12 R. scrotales posteriores
13 A. dorsalis clitoridis bzw. A. dorsalis penis
14 A. obturatoria
15 A. vesicalis superior
16 A. ductus deferentis
17 A. umbilicalis
18 A. iliaca externa
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Die **A. obturatoria**[14] verläuft kaudal des N. obturatorius und kranial der gleichnamigen Vene an der Seitenwand des kleinen Beckens auf (medial) der Fascia obturatoria zum Oberrand des Foramen obturatum, tritt durch den Canalis obturatorius und versorgt mit dem *R. anterior* die Muskeln der Adduktorengruppe und die Haut des äußeren Genitales, mit dem *R. posterior* die tiefe Schicht der äußeren Hüftmuskeln und den Femurkopf *(R. acetabularis)*.
Die A. obturatoria entsendet innerhalb des kleinen Beckens:

- Äste zu M. iliacus (Anastomose mit der A. iliolumbalis) und M. obturatorius internus sowie zum Os ilium,
- *R. pubicus*, der an der Hinterfläche des Ramus superior ossis pubis zur Symphyse zieht und über einen Seitenast mit dem R. pubicus der A. epigastrica inferior anastomosiert *(A. obturatoria accessoria* in über 20 % der Fälle),

Im Canalis obturatorius zweigt sich die A. obturatoria auf in:

- *R. anterior*, der außen auf der Membrana obturatoria zum Vorderrand des Foramen obturatum zieht, Äste zu M. obturatorius externus, M. pectineus, den Mm. adductores und dem M. gracilis abgibt (Anastomosen mit der A. circumflexa femoris medialis) und mit feinen Zweigen die Haut des äußeren Genitales erreicht,
- *R. posterior*, der dem Hinterrand des Foramen obturatum folgt, längs des Ramus ossis ischii mit dem R. anterior in Verbindung steht, sich an den am Tuber ischiadicum angehefteten Muskeln verzweigt (Anastomosen mit der A. glutea inferior) und außerdem den *R. acetabularis* durch die Incisura acetabuli in das Fettpolster der Fossa acetabuli und über das Lig. capitis femoris zum Schenkelkopf entsendet.

Die **A. pudenda interna**[8] führt Blut zum Endabschnitt des Rectums, zu den äußeren Geschlechtsorganen und zu den Muskeln und der Haut des Damms. Sie ist beim Mann wegen des etwas ausgedehnteren Versorgungsgebiets kräftiger ausgebildet als bei der Frau. Die A. pudenda interna entspringt in über 50 % der Fälle aus einem mit der A. glutea inferior gemeinsamen Ursprungsstamm *(Truncus pudendoglutealis inferior)*, der sich oft erst außerhalb des Foramen ischiadicum majus teilt. Liegt die Teilungsstelle dagegen höher, dann verlässt die A. pudenda interna das kleine Becken oft zusammen mit der A. glutea inferior und dem N. pudendus durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus. Schließlich biegt sie um die Spina ischiadica und tritt durch das Foramen ischiadicum minus in die laterale Wand der Fossa ischioanalis. Hier zieht sie in dem durch eine Duplikatur der Fascia obturatoria begrenzten Canalis pudendalis (Alcock-Kanal) an der medialen Seite von Tuber ischiadicum und Ramus ossis ischii entlang zum Spatium perinei profundum, dann oberflächlich von der Membrana perinei symphysenwärts. Die *A. pudenda interna* entsendet folgende Gefäße:

- *A. rectalis inferior*[9] zum terminalen Rectum und zum Analkanal, zum M. levator ani, zum Fettgewebe in der Fossa ischioanalis und zur Haut der Analregion,
- *A. perinealis*[10]: entspringt am Hinterrand des Diaphragma urogenitale (S. 318), zweigt sich an M. ischiocavernosus, M. bulbospongiosus und M. transversi perinei auf sowie beim Mann mit *Rr. scrotales posteriores* im hinteren Bereich der Skrotalhaut, bei der Frau mit *Rr. labiales posteriores* im dorsalen Teil der großen Schamlippe,
- *A. urethralis* zur Urethra, beim Mann zu Bulbus penis und Corpus spongiosum penis, bei der Frau zum Bulbus vestibuli,
- *A. bulbi penis* beim Mann zum Bulbus penis, M. transversus perinei profundus und zur Glandula bulbourethralis,

- *A. bulbi vestibuli [vaginae]* bei der Frau zum Bulbus vestibuli, M. transversus perinei profundus und zur Glandula vestibularis major,
- *A. dorsalis penis*[13] beim Mann, gelangt unter der Symphyse auf die Dorsalfläche des Penis, verläuft subfaszial zwischen der unpaaren V. dorsalis penis (median) und dem N. dorsalis penis (lateral) zur Glans penis, zweigt Äste zu Corpus cavernosum penis, Glans penis und Preputium penis ab und anastomosiert mit der A. profunda penis,
- deutlich schwächere *A. dorsalis clitoridis* bei der Frau, versorgt bei prinzipiell gleichartigem Verlauf Corpus, Glans und Preputium clitoridis,
- *A. profunda penis* beim Mann, stärkster Endast der A. pudenda interna, dringt von medial in das jeweilige Crus penis ein und zieht im Corpus cavernosum penis nach vorn,
- entsprechend schwache *A. profunda clitoridis* bei der Frau zum Corpus cavernosum clitoridis.

Die **A. glutea inferior**[5] kann selbstständig oder auch zusammen mit der A. glutea superior aus der A. iliaca interna hervorgehen, entspringt jedoch meist aus einem mit der A. pudenda interna gemeinsamen Ursprungsstamm *(Truncus pudendoglutealis inferior).* Die Arterie verläuft vor dem M. piriformis abwärts und gelangt dabei zwischen den Rr. anteriores des 2. und 3. (seltener 1. und 2. oder distal vom 3.) N. sacralis zur infrapiriformen Abteilung des Foramen ischiadicum majus. Sie tritt in der Mitte einer Linie, die Spina iliaca posterior superior und Tuber ischiadicum verbindet, aus dem kleinen Becken, zieht mit dem N. cutaneus femoralis posterior zwischen Tuber ischiadicum und Trochanter major abwärts und verzweigt sich in dem subglutealen Bindegewebslager an Muskeln und Haut der Glutealregion.

Die A. glutea inferior anastomosiert mit A. glutea superior, A. obturatoria, A. circumflexae femoris und den Aa. perforantes und gib intrapelvine Äste ab zu M. piriformis, M. coccygeus und M. levator ani sowie zum Fundus der Harnblase, zum Samenbläschen und zur Prostata. Extrapelvin entsendet sie Zweige zu M. gluteus maximus (kaudale zwei Drittel), M. obturatorius internus, Mm. gemelli, M. quadratus femoris und zur ischiokruralen Muskulatur und zur Gesäßhaut. Außerdem zweigt sie die *A. comitans nervi ischiadici* ab, die den N. ischiadicus bis in den distalen Bereich des Oberschenkels begleiten kann.

Die **A. iliolumbalis**[2], der 1. Ast aus dem dorsalen Hauptstamm, zieht vor der Articulatio sacroiliaca und dem Truncus lumbosacralis schräg aufwärts zum medialen Rand des M. psoas major. Die A. iliolumbalis zweigt sich auf in:

- *R. lumbalis*: versorgt den M. psoas major und M. quadratus lumborum, anastomosiert mit der A. lumbalis IV und sendet durch das letzte Foramen intervertebrale (zwischen 5. Lendenwirbel und Kreuzbein) einen *R. spinalis* in den Wirbelkanal zur Cauda equina,
- *R. iliacus*: gelangt hinter dem M. psoas major zur Darmbeingrube (Fossa iliaca), führt dem M. iliacus und dem Os ilium Blut zu (Anastomose mit der A. obturatoria), bildet über einen der Crista iliaca parallel verlaufenden Ast mit einem Zweig der A. circumflexa ilium profunda einen Gefäßkranz (Muskeläste zu Gesäß- und Bauchmuskeln) und anastomosiert mit der A. glutea superior und A. circumflexa femoris lateralis.

Die meist 2 **Aa. sacrales laterales**[4] ziehen ventral der Rr. anteriores der Sakralnerven, lateral des Grenzstrangs und medial der Foramina sacralia anteriora auf der Facies pelvica des Kreuzbeins abwärts (*Rr. musculares* zu M. piriformis, M. coccygeus und M. levator ani). Die obere Arterie tritt meist in das 1. oder 2. vordere Kreuzbeinloch. Das untere Gefäß steht durch mediale Äste mit der A. sacralis mediana und – vor dem Steißbein – mit der gleichnamigen Arterie der Gegenseite in Verbindung. Laterale Äste gelangen durch die Foramina sacralia auf die Dorsalseite des Kreuzbeins (die obere Arterie anastomosiert mit der A. glutea superior) und verzweigen sich an den dort gelegenen Bändern, den Ursprüngen der langen Rückenmuskeln und am M. gluteus maximus. Die durch das Kreuzbein hindurchtretenden Äste der *Aa. sacrales lalerales* entsenden *Rr. spinales* in den Sakralkanal.

Die **A. glutea superior**[3] ist in der Regel der stärkste Zweig und gleichzeitig der Endast der A. iliaca interna. Als Variante kann die Arterie aus einem mit der A. glutea inferior gemeinsamen Stamm oder aus der A. pudenda interna entspringen. Sie verläuft zwischen Truncus lumbosacralis und R. anterior des 1. Sakralnervs (seltener zwischen den Rr. anteriores der Nn. sacrales I und II) zur suprapiriformen Abteilung des Foramen ischiadicum majus und gibt im kleinen Becken Äste zu M. piriformis, M. obturatorius internus und M. levator ani sowie eine *A. nutriens* zum Darmbein ab. Am Oberrand der Incisura ischiadica major tritt sie aus dem kleinen Becken aus (Grenze des medialen zum mittleren Drittel einer Linie, die Spina iliaca posterior superior und Trochanter major verbindet) und teilt sich auf in:

- *R. superficialis*, dessen Äste in den M. gluteus medius und in die Unterfläche des M. gluteus maximus eintreten (Anastomose mit der A. glutea inferior) sowie durch die Ursprungssehne dieses Muskels die Haut über dem Kreuzbein erreichen (Anastomosen mit den Aa. sacrales laterales),
- *R. profundus* zu den kleinen Gesäßmuskeln. Dessen *R. superior* zieht am Oberrand des M. gluteus minimus bis zur Spina iliaca anterior superior und zum M. tensor fasciae latae und steht mit der A. circumflexa ilium profunda und der A. circumflexa femoris lateralis (R. ascendens) in Verbindung. Der *R. inferior* kreuzt den M. gluteus medius, sendet Zweige durch den Muskel zur Kapsel des Hüftgelenks und anastomosiert mit beiden Aa. circumflexae femoris und der A. glutea inferior.

Die **A. umbilicalis**[17], der erste Zweig des vorderen Hauptasts, führt in der Fetalzeit desoxygeniertes Blut über den Nabelstrang zur Placenta. Postnatal obliteriert das jenseits des Abgangs der A. vesicalis superior gelegene, an der Hinterfläche der vorderen Bauchwand zum Nabel ziehende Teilstück (Pars occlusa) zum Lig. umbilicale mediale. Der

durchgängig bleibende proximale Anteil (Pars patens) gibt *Rr. ureterici* zum Harnleiter und beim Mann die *A. ductus deferentis* zum Samenleiter ab. Die *A. ductus deferentis* kann auch aus einem der Äste der A. vesicalis superior oder der A. vesicalis inferior hervorgehen und begleitet den Ductus deferens durch den Leistenkanal (Anastomose mit der A. testicularis). Letztlich setzt sich die A. umbilicalis fort in die *A. vesicalis superior*, die mit mehreren Ästen zum Scheitel und Körper der Harnblase zieht.

Die **A. uterina** gelangt im kaudalen Bereich des Lig. latum oberhalb des Lig. cardinale uteri zur Cervix uteri. Sie überkreuzt etwa 2 cm von der Cervix entfernt den Ureter, biegt nach kranial um und zieht am lateralen Rand des Uterus in stark geschlängeltem Verlauf zum Tubenwinkel. Sie gibt Seitenzweige zu Vorder- und Hinterfläche des Uterus ab, die mit entsprechenden Ästen der Gegenseite anastomosieren. Ihre schleimhautnahen Endaufzweigungen in der Uterusmuskulatur sind korkenzieherartig gewunden (*Rr. helicini*). Sie entsendet:

- *Rr. vaginales*: zur Vagina, zweigen meist vor der Überkreuzung des Ureters von der A. uterina ab, sodass der Ureter von einer Gefäßgabel umfasst wird. Die Rr. vaginales stehen mit den Aa. vaginales und Ästen der A. rectalis media und inferior in Verbindung und können an der Vorder- und/oder Hinterwand der Vagina unpaare Längsanastomosen bilden (*Aa. azygoi vaginae*),
- *R. ovaricus*: anastomosiert im Lig. ovarii proprium und über das Mesovarium mit der A. ovarica (Ovarial-Arkade),
- *R. tubarius*: verläuft in der Mesosalpinx längs der Tube und steht ebenfalls mit einem Ast der A. ovarica in Verbindung.

Die **A. vesicalis inferior**[6] entspringt nicht selten aus einem mit der A. rectalis media gemeinsamen Arterienstämmchen aus dem vorderen Hauptast der A. iliaca interna und steigt zum Blasengrund ab (Anastomosen mit der Arterie der Gegenseite). Sie versorgt auch den blasennahen Teil des Ureters und entsendet beim Mann *Rr. prostatici* zu Prostata und Glandula vesiculosa. Die A. ductus deferentis kann ebenfalls aus der A. vesicalis inferior kommen. Bei der Frau kann sie die *A. vaginalis* zur Scheide abgeben.

Die häufig doppelte **A. vaginalis** geht meist aus der A. vesicalis inferior hervor oder entspringt selbstständig aus der A. iliaca interna. Sie zieht abwärts zur Vagina, anastomosiert mit den Rr. vaginales der A. uterina sowie mit Ästen der A. rectalis media und inferior und speist die Aa. azygoi vaginae.

Die **A. rectalis media**[7], die oft gemeinsam mit der A. vesicalis inferior aus der A. iliaca interna abzweigt, verästelt sich an der Ampulla recti und am M. levator ani. Sie anastomosiert mit der A. rectalis superior und inferior. Bei der Frau gibt die A. rectalis media *Rr. vaginales* zum unteren Teil der Scheide, beim Mann Zweige zu Prostata und Glandula vesiculosa ab.

Astfolge der A. iliaca externa (▶ **Abb. 20.15**). Die A. iliaca externa[1] zieht von der Gabelung der A. iliaca communis am medialen Rand des M. psoas major zunächst vor, dann lateral der V. iliaca externa auf der Fascia iliaca abwärts, tritt unter dem Lig. inguinale – in der Mitte einer Linie, die Spina iliaca anterior superior und Symphyse verbindet – durch die Lacuna vasorum aus dem Becken und setzt sich am Oberschenkel als *A. femoralis* fort. Sie gibt außer feinen Zweigen zum M. psoas und zu benachbarten Lymphknoten nur die *A. epigastrica inferior* zur vorderen Bauchwand sowie die *A. circumflexa ilium* profunda zu den seitlichen Bauchmuskeln ab.

Die **A. epigastrica inferior**[2] entspringt dicht oberhalb des Lig. inguinale, zieht in der Plica umbilicalis lateralis nach kranial und tritt durch das hintere Blatt der Rektusscheide an die dorsale Fläche des M. rectus abdominis, dem sie – ebenso wie den seitlichen Bauchmuskeln – Blut zuführt. Sie anastomosiert oberhalb des Nabels mit der A. epigastrica superior (aus der A. thoracica interna) und der A. subcostalis. Die A. epigastrica inferior entsendet:

- *R. pubicus*[3] nahe dem Anulus femoralis: zieht längs dem oberen Schambeinast symphysenwärts und steht über den *R. obturatorius* mit dem R. pubicus der A. obturatoria in Verbindung,
- beim Mann *A. cremasterica*: entspringt nahe dem Anulus inguinalis profundus, zieht mit dem Samenstrang durch den Leistenkanal ins Scrotum, führt dem M. cremaster und den übrigen Hüllen des Samenstrangs Blut zu und anastomosiert mit der A. testicularis,
- bei der Frau die schwächere *A. ligamenti teretis uteri*: begleitet das Lig. teres uteri (klin.: Lig. rotundum) durch den Leistenkanal in das Labium majus pudendi.

Die **A. circumflexa ilium profunda**[15] entspringt gegenüber der A. epigastrica inferior am lateralen Umfang der A. iliaca externa, verläuft hinter dem Leistenband zwischen Fascia transversalis und Fascia iliaca nach lateral zur Spina iliaca anterior superior, anastomosiert auf dieser Wegstrecke mit dem R. ascendens der A. circumflexa femoris lateralis und gibt den *R. ascendens* ab, der im Grenzbereich von ventraler und lateraler Bauchwand zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis aufsteigt (Anastomosen mit Aa. lumbales und der A. epigastrica inferior).

Der Hauptast der A. circumflexa ilium profunda zieht dann, zunächst oberflächlich zur Fascia transversalis, ab der Mitte des Darmbeinkamms auf dem M. transversus abdominis entlang der Crista iliaca dorsalwärts, entsendet Äste zur seitlichen Bauchwand, bildet mit einem Zweig der A. iliolumbalis einen Arterienkranz und anastomosiert mit Ästen der A. glutea superior.

Astfolge der A. femoralis (▶ **Abb. 20.15**). Die *A. femoralis*[5], distale Fortsetzung der A. iliaca externa, zieht – unmittelbar nach dem Austritt aus der Lacuna vasorum nur von Haut und Fascia lata bedeckt – längs durch die von M. iliopsoas und M. pectineus begrenzte Fossa iliopectinea. Sie verläuft hinter dem M. sartorius und vor dem M. vastus

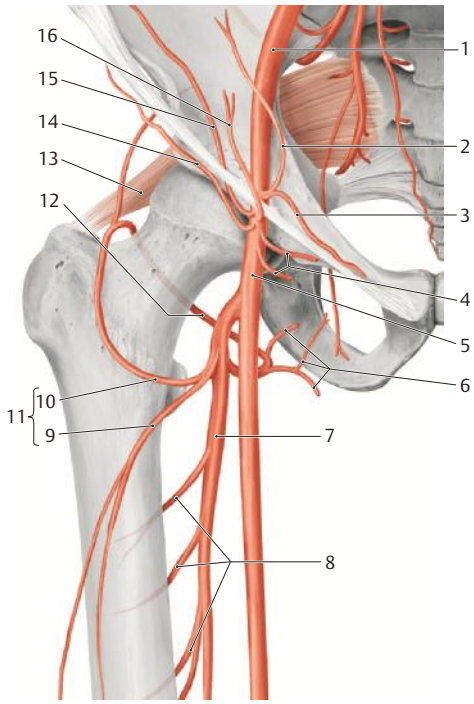


Abb. 20.15 Astfolge der A. iliaca externa und der A. femoralis rechts, Ansicht von ventral.

1 A. iliaca externa
2 A. epigastrica inferior
3 R. pubicus
4 Aa. pudendae externae
5 A. femoralis
6 A. circumflexa femoris medialis, Rr. acetabularis, superficialis, descendens
7 A. profunda femoris
8 Aa. perforantes
9 R. descendens
10 R. ascendens
11 A. circumflexa femoris lateralis
12 A. circumflexa femoris medialis, Rr. profundus, ascendens
13 M. piriformis
14 A. circumflexa ilium superficialis
15 A. circumflexa ilium profunda
16 A. epigastrica superficialis

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

medialis und M. adductor longus nach distal in den Adduktorenkanal, tritt an der Grenze von mittlerem zu distalem Drittel des Femurs durch den Hiatus adductorius in die obere Etage der Kniekehle und führt nunmehr die Bezeichnung *A. poplitea*.

Die A. femoralis gibt Äste zur Haut der vorderen Bauchwand, der Leistengegend und des äußeren Genitales ab, versorgt über die *A. profunda femoris*[7] den Oberschenkel und die tiefen Schichten der Gesäßregion, leitet über die *A. descendens genus* Blut zu Kniegelenk und Unterschenkel und entsendet nicht benannte, kleine Äste zum M. sartorius, M. vastus medialis und zu den Mm. adductores.

Sehr selten kann die A. femoralis fehlen, sodass die A. poplitea Blut über eine kräftig entwickelte A. comitans nervi ischiadici erhält. Extrem selten ist auch eine *A. saphena*, eine „Begleitarterie" der V. saphena magna, die anstelle der A. poplitea und Aa. tibiales die A. femoralis mit den Aa. plantares verbindet.

Die **A. epigastrica superficialis**[16] entspringt aus der A. femoralis etwa 1 cm unterhalb des Leistenbandes, zieht in der oberflächlichen Bauchfaszie bis in Nabelhöhe und anastomosiert mit Zweigen der Aa. epigastricae inferior und superior.

Die **A. circumflexa ilium superficialis**[14] durchbricht die Fascia lata lateral des Hiatus saphenus, verläuft epifaszial parallel zum Lig. inguinale und verzweigt sich an den oberflächlichen Leistenlymphknoten und an der Haut der Leistenregion (Anastomosen mit Ästen der A. circumflexa ilium profunda, A. glutea superior und A. circumflexa femoris lateralis).

Von den meist 2 **Aa. pudendae externae**[4] tritt die „oberflächlichere" durch die Fascia cribrosa im Bereich des Hiatus saphenus nach medial, die „tiefere" erst am medialen Rand des M. adductor longus durch die Fascia lata. Beide Gefäße geben *Rr. inguinales* zur Haut der Leistenregion und des äußeren Genitales ab. Die „tiefere" Arterie, die etwas weiter distal entspringt, verzweigt sich beim Mann mit *Rr. scrotales anteriores* an der Skrotalhaut, bei der Frau mit *Rr. labiales anteriores* am Labium majus (Anastomosen mit Rr. scrotales/labiales posteriores aus der A. pudenda interna).

Die **A. profunda femoris**[7] ist der stärkste Ast der A. femoralis, von dem alle bedeutsamen Arterien des Oberschenkels und zahlreiche Anastomosen zu den Aufzweigungen der A. iliacae externa und interna sowie der A. poplitea ausgehen. Die A. profunda femoris entspringt 3–4 cm unterhalb des Leistenbandes an der lateralen Seite der A. femoralis, zieht dorsolateral (knapp 50 %), dorsal (40 %) oder dorsomedial (10 % der Fälle) der Vasa femoralia an die mediale Seite des Femurs, verläuft medial vom M. vastus medialis auf dem M. pectineus, dem M. adductor brevis und dem M. adductor magnus nach distal und erreicht mit ihrem Endast, meist der *A. perforans III* distal vom Ansatz des M. adductor longus durch den M. adductor magnus die ischiokruralen Muskeln (Anastomose mit der A. poplitea). Die A. profunda femoris entsendet:

- *A. circumflexa femoris medialis*[6, 12]: tritt die an der medialen Seite des Schenkelhalses zwischen M. iliopsoas und M. pectineus in die Tiefe und zweigt sich an der Vorderfläche des M. obturator externus auf in:

- *R. superficialis* zu den am unteren Schambeinast und an der Membrana obturatoria entspringenden Adduktoren, dessen *R. descendens* (Ursprung auch direkt vom Hauptstamm) in der Adduktorengruppe distalwärts zieht,
- *R. profundus* zu den proximalen Anteilen der am Tuber ischiadicum entspringenden Muskeln (Anastomosen mit den Aa. gluteae), dessen *R. ascendens* das Collum femoris umgreift, zur Fossa trochanterica aufsteigt, sich mit dem R. ascendens der A. circumflexa femoris lateralis verbindet und so den Arterienring um den Schenkelhals schließt, während der andere Endast, der *R. transversus,* hinter dem Femur zur Basis des Trochanter major zieht und mit dem R. transversus der A. circumflexa femoris lateralis anastomosiert,
- den variablen *R. acetabularis,* der durch das Lig. transversum acetabuli und im Lig. capitis femoris zum Schenkelkopf gelangt (Verbindungen mit dem gleichnamigen Ast der A. obturatoria);

- *A. circumflexa femoris lateralis*[11]: verläuft unter dem M. sartorius und dem M. rectus femoris nach lateral und teilt sich in:
  - *R. ascendens*: steigt unter dem M. tensor fasciae latae schräg über den Schenkelhals zur Fossa trochanterica auf, gibt Äste zu benachbarten Muskeln und zur Kapsel des Hüftgelenks ab, anastomosiert mit Zweigen der Aa. gluteae und schließt durch die Verbindung mit dem R. ascendens der A. circumflexa femoris medialis den Arterienring um den Schenkelhals für die Blutversorgung von Caput und Collum femoris,
  - *R. transversus*: umgreift distal vom Trochanter major das Femur und anastomosiert mit Ästen der A. circumflexa femoris medialis, A. glutea inferior und A. perforans I,
  - *R. descendens*: tritt unter den M. rectus femoris, verzweigt sich im M. quadriceps femoris und erreicht das Rete articulare genus;
  - meist 3, gelegentlich 4 oder 5 *Aa. perforantes*[8]: Sie treten nahe der Linea aspera durch die Ansatzsehnen von M. adductor brevis und M. adductor magnus, stehen untereinander und mit benachbarten Arterien in Verbindung und versorgen Adduktoren, ischiokrurale Muskeln und den M. gluteus maximus (A. perforans I). Durch das Septum intermusculare femoris laterale können sie von hinten in den M. vastus lateralis eindringen und geben 1–2 *Aa. nutrientes femoris* (aus den Aa. perforantes I und III) ab.
    Der Ursprung und Aufzweigung der A. profunda femoris weisen eine recht hohe Variabilität auf. Die oben beschriebenen Verhältnisse sind in knapp 60 % der Fälle nachweisbar. Eine oder beide Aa. circumflexae femoris können aber – ebenso wie einer ihrer Hauptäste – auch selbstständig aus der A. femoralis hervorgehen. In sehr seltenen Fällen kann die A. circumflexa femoris medialis fehlen und durch Äste der A. obturatoria vertreten werden oder die A. profunda femoris aus der A. iliaca externa entspringen.

Die **A. descendens genus** verlässt die A. femoralis noch im Adduktorenkanal. Sie zweigt nach kurzem Verlauf den *R. saphenus* ab. Dieser durchbricht meist gemeinsam mit dem N. saphenus die Membrana vastoadductoria, verläuft zwischen M. sartorius und M. gracilis an der medialen Seite des Knies abwärts und verzweigt sich im proximalen und medialen Bereich des Unterschenkels an der Haut, wobei er mit der A. inferior medialis genus anastomosiert. Die A. descendens genus zieht im M. vastus medialis weiter, an den sie ebenso wie an den M. adductor magnus Muskeläste abgibt, zum Kniegelenk und speist mit *Rr. articulares* das *Rete articulare genus.*

Die **A. poplitea** setzt die A. femoralis am Adduktorenschlitz distalwärts fort und verläuft – nur geringgradig nach lateral abweichend – durch die Kniekehle. Im oberen Stockwerk liegt sie knochennah, nur durch eine dünne Fettschicht von der Facies poplitea des Femur getrennt, im mittleren Stockwerk verläuft sie gelenknah, unmittelbar auf der durch das Lig. popliteum obliquum verstärkten hinteren Kapselwand. In der unteren Etage zieht die Arterie über die Faszie des M. popliteus hinweg, an dessen Unterrand sie sich im Regelfall in ihre beiden Endäste, die *A. tibialis anterior* und *posterior,* verzweigt.

Nur in etwa 5 % der Fälle teilt sie sich bereits am Oberrand des M. popliteus, wobei die A. tibialis anterior sehr selten ventral des Muskels nach distal verläuft.

Zumindest im unteren Stockwerk der Kniekehle wird die A. poplitea von 2 Begleitvenen flankiert, in der oberen Etage liegt die nunmehr singuläre V. poplitea an der dorsolateralen Seite der Arterie. Der N. tibialis überkreuzt die A. poplitea in der Kniekehle von lateral (proximal) nach dorsomedial (distal).

Die A. poplitea zweigt proximal kurze Muskeläste zu den gelenknahen Anteilen der ischiokruralen Muskeln und zum M. adductor magnus ab. Sie entlässt zu den die Kniekehle distal begrenzenden Muskeln 2 *Aa. surales,* von denen Äste zu Haut und Faszie des Unterschenkels ausgehen, speist das hauptsächlich an der Vorderseite des Kniegelenks ausgebildete *Rete articulare genus* mit je 2 proximalen und distalen *Aa. genus* und versorgt hintere Kapselwand und Ligg. cruciata über die *A. media genus*.

- Die **A. superior lateralis genus** zieht proximal vom Condylus lateralis des Femurs unter der Bizepssehne nach ventral und gibt einen oberflächlichen Ast in den M. vastus lateralis ab (Anastomosen mit dem R. descendens der A. circumflexa femoris lateralis). Nach distal steht sie mit der A. inferior lateralis genus in Verbindung, am Oberrand der Patella quert ein Arterienbogen zur A. superior medialis genus und anastomosiert mit einem R. articularis der A. descendens genicularis.
- Die **A. superior medialis genus** gelangt proximal vom medialen Femurkondylus und vom medialen Gastroknemiuskopf unter dem M. semimembranosus zur Vorderseite des Kniegelenks und zum Rete articulare genus.

- Die **Aa. surales** entsenden Äste jeweils zu einem Gastroknemiuskopf, zum M. plantaris und M. soleus sowie zu Haut und Faszie des Unterschenkels.
- Die **A. media genus** tritt durch das Lig. popliteum obliquum und die Membrana fibrosa der Kapselhinterwand zu den Ligg. cruciata und zur Membrana synovialis.
- Die **A. inferior lateralis genus** quert unter dem lateralen Gastroknemiuskopf den M. popliteus ansatznah, erreicht – bedeckt vom Lig. collaterale fibulare und von der Sehne des M. biceps femoris – die Vorderfläche des Tibiakopfes und steht durch Äste mit A. superior lateralis genus, A. inferior medialis genus und A. recurrens tibialis anterior sowie mit dem R. circumflexus fibularis in Verbindung.
- Die **A. inferior medialis genus** steigt unter dem medialen Kopf des M. gastrocnemius längs dem Oberrand des M. soleus ab, zu dem sie Muskeläste entsendet, zieht unterhalb des Condylus medialis tibiae – bedeckt vom medialen Seitenband – nach vorn und hilft, das Rete articulare genus zu bilden (Verbindungen mit A. recurrens tibialis anterior, A. inferior lateralis genus, A. superior medialis genus und mit dem R. saphenus der A. descendens genicularis).

Die **A. tibialis anterior** gelangt von der Aufzweigung am distalen Rand des M. popliteus durch eine Öffnung proximal der Membrana interossea cruris zur Streckseite des Unterschenkels und zieht in der Tiefe der Extensorenkammer an der lateralen Seite des M. tibialis anterior nach distal. Etwa in Höhe des oberen Sprunggelenks wird die nun oberflächlichere Arterie von der Sehne des M. extensor hallucis longus überkreuzt, am Unterrand des Retinaculum musculorum extensorum inferius tritt sie als *A. dorsalis pedis* auf den Fußrücken. Die A. tibialis anterior zweigt, außer Muskelästen zu den Extensoren am Unterschenkel, ab:

- die inkonstante **A. recurrens tibialis posterior**: entspringt noch auf der Beugeseite des Unterschenkels und zieht – bedeckt vom M. popliteus – zum Rete articulare genus und zur Kapsel der Articulatio tibiofibularis,
- **A. recurrens tibialis anterior**: steigt im M. tibialis anterior auf, zweigt sich an Vorder- und Außenfläche des Kniegelenks auf und anastomosiert über das Rete articulare genus mit anderen Arterien im Gelenkbereich,
- **A. malleolaris anterior lateralis**: verläuft etwas proximal der Malleolengabel unter den Sehnen der langen Zehenstrecker nach lateral zum *Rete malleolare laterale,* dem Arteriennetz auf dem äußeren Knöchel (Anastomosen mit dem R. perforans der A. fibularis und mit aufsteigenden Ästen der A. tarsalis lateralis),
- **A. malleolaris anterior medialis**: kreuzt unter der Sehne des M. tibialis anterior zum *Rete malleolare mediale* auf dem inneren Knöchel, über das sie mit Zweigen der A. tibialis posterior und A. plantaris medialis in Verbindung steht.

Die **A. dorsalis pedis** gelangt am Fußrücken, von Haut und Faszie bedeckt, lateral von der Sehne des M. extensor hallucis longus und vom N. fibularis profundus zum Spatium interosseum metatarsi I, wo sie sich in ihre Endäste, *A. metatarsalis dorsalis I* und *A. plantaris profunda* (zum Arcus plantaris profundus), teilt. Die Aufzweigung (oder die A. metatarsalis dorsalis I) wird vom M. extensor hallucis brevis überkreuzt. Im Tarsometatarsalbereich speisen Äste der A. dorsalis pedis ein früher als *Rete dorsale pedis* bezeichnetes Arteriennetz, zehenwärts verlaufen die *Aa. metatarsales dorsales II–IV*.

- Die **A. tarsalis lateralis** geht in Höhe des Caput tali oder des Os naviculare aus der A. dorsalis pedis hervor, zieht unter dem M. extensor digitorum brevis zum lateralen Fußrand, verzweigt sich auf den distalen Tarsalia und anastomosiert mit Ästen der Aa. arcuata und malleolaris anterior lateralis sowie dem R. perforans der A. fibularis.
- 2–3 **Aa. tarsales mediales** versorgen den medialen Fußrand und können mit dem Rete malleolare mediale in Verbindung stehen.
- Die **A. arcuata** bildet unter den Sehnen von M. extensor digitorum longus und brevis auf den Basen der Mittelfußknochen einen Arterienbogen zur A. tarsalis lateralis. Von seiner konvexen Seite treten 3 schwache *Aa. metatarsales dorsales* auf den Mm. interossei dorsales zum 2.–4. Zwischenknochenraum, die jeweils proximal und distal einen R. perforans aus der entsprechenden A. metatarsalis plantaris aufnehmen. Jede A. metatarsalis dorsalis teilt sich in 2 *Aa. digitales dorsales* zu den einander zugekehrten dorsalen Rändern der 2.–5. Zehe (bis zur Mittelphalanx). Die A. digitalis dorsalis V zur lateralen Seite der Kleinzehe stammt aus der A. tarsalis lateralis oder aus dem Arteriennetz des Fußrückens.
- Die **A. metatarsalis dorsalis I** zieht auf dem M. interosseus dorsalis I nach distal und zweigt sich in die *Aa. digitales dorsales* für den lateralen Rand der Großzehe und den medialen Rand der 2. Zehe auf.
- Die **A. plantaris profunda** gelangt zwischen den beiden Köpfen des M. interosseus dorsalis I zur Plantarseite des Fußes und vereinigt sich mit dem Arcus plantaris profundus aus der A. plantaris lateralis.

Die **A. tibialis posterior** setzt die A. poplitea in die Flexorenkammer des Unterschenkels fort. Sie tritt unter den Sehnenbogen des M. soleus und zieht auf den tiefen Beugern, bedeckt von dem aponeurotischen Bindegewebsblatt und den Wadenmuskeln, nach distal hinter und unter den inneren Knöchel. Hier verläuft die Arterie etwa 2,5 cm vor dem medialen Rand der Achillessehne und eingescheidet zwischen oberflächlichem und tiefem Blatt des Retinaculum musculorum flexorum und teilt sich, meist unter dem Ursprung des M. abductor hallucis, in die *Aa. plantares medialis* und *lateralis* zur Fußsohle und zu den Zehen.

Die A. tibialis posterior verläuft, flankiert von 2 Begleitvenen, nacheinander auf dem M. tibialis posterior und dem M. flexor digitorum longus, dann auf der Tibia. Am Knöchel verläuft sie hinter den Sehnen dieser beiden Muskeln und vor oder medial der Sehne des M. flexor hallucis longus. Der N. tibialis kreuzt bereits im proximalen Drittel des Unterschenkels von der medialen Seite über die Arterie hinweg an deren laterale Seite.

Die Äste der A. tibialis posterior führen Blut zum Rete articulare genus, zu Tibia und Fibula, zu den Gefäßnetzen auf beiden Knöcheln und im Bereich des Calcaneus. Vor allem versorgen sie die oberflächlichen und die tiefen Flexoren am Unterschenkel und die Muskeln der Fußsohle.

- Der **R. circumflexus fibularis**, der 1. Ast der A. tibialis posterior, zieht durch den M. soleus, umgreift das Collum fibulae und findet auf der Vorderfläche des lateralen Tibiakondylus durch Anastomosen mit beiden Aa. inferiores genus sowie der A. recurrens tibialis anterior Anschluss an das Rete articulare genus. Gelegentlich geht der R. circumflexus fibularis aus der A. tibialis anterior hervor.
- Die **A. fibularis** entspringt meist 2–3 cm nach der Aufteilung der A. poplitea, etwas distal vom Sehnenbogen des M. soleus, aus der A. tibialis posterior. Sie verläuft längs der Fibula – zunächst zwischen M. tibialis posterior und M. flexor hallucis longus, dann im oder unter dem M. flexor hallucis longus – abwärts bis zum Calcaneus und versorgt M. soleus, M. tibialis posterior, M. flexor hallucis longus sowie M. fibularis longus und brevis.
  Die A. fibularis kann selten auch direkt aus der A. poplitea oder sehr selten aus einem mit der A. tibialis anterior gemeinsamen Stamm entspringen. Sie ist oft recht kräftig und kann eine schwach ausgebildete oder fehlende A. tibialis posterior ganz oder teilweise ersetzen oder bei Fehlen der A. tibialis anterior die A. dorsalis pedis aus dem R. perforans entspringen lassen.
  Die A. fibularis gibt folgende Gefäße ab:
  - *A. nutriens fibulae* zur Fibula,
  - *R. perforans*: durchbricht die Membrana interossea cruris etwa 5 cm oberhalb des Außenknöchels und verzweigt sich am Tarsus und am Rete malleolare laterale,
  - *R. communicans*: stellt unmittelbar oberhalb der beiden Malleolen auf der Membrana interossea eine Querverbindung zur A. tibialis posterior her (gelegentlich mehrfach ausgebildet),
  - *Rr. malleolares laterales* zum Arteriennetz auf dem äußeren Knöchel,
  - *Rr. calcanei* zur Außenfläche des Calcaneus und zum Rete calcaneum.

Die **A. nutriens tibiae** entspringt ebenfalls in der proximalen Verlaufsstrecke der A. tibialis posterior, gibt kleine Muskeläste ab und tritt in das Foramen nutriens der Tibia unterhalb der Linea musculi solei.

Schwache **Rr. malleolares mediales** umgreifen von hinten den Innenknöchel und speisen das Rete malleolare mediale.

Rr. calcanei verlassen die A. tibialis posterior vor ihrer Aufzweigung in die Aa. plantares, treten durch das Retinaculum musculorum flexorum, verzweigen sich an Haut und Fettgewebe in der Umgebung der Achillessehne sowie an der medialen Fläche des Calcaneus und speisen das *Rete calcaneum.*

Die **A. plantaris medialis**, der meist schwächere Endast der A. tibialis posterior, verläuft mit dem lateral von ihr gelegenen N. plantaris medialis entlang dem medialen Fußrand auf den 1. Mittelfußknochen zu. Sie wird zunächst vom M. abductor hallucis bedeckt und liegt ab Höhe des Os cuneiforme I zwischen diesem Muskel und dem M. flexor hallucis brevis, denen sie – ebenso wie der Haut des medialen Fußrandes – Blut zuführt.

In Höhe der Basis des Os metatarsale I teilt sich die A. plantaris medialis in 2 Äste. Der *R. profundus* kann bei genügender Ausbildung in den Arcus plantaris profundus oder in die A. metatarsalis plantaris I eintreten. Der *R. superficialis* begleitet die Sehne des M. abductor hallucis zur Großzehe.

Er kann sich mit der medialen A. hallucis plantaris verbinden oder sie ersetzen, oberflächliche Äste zu den Aa. metatarsales plantares I–III abgeben oder eine dünne Queranastomose mit einem oberflächlichen Ast der A. plantaris lateralis bilden. Ein solcher **Arcus plantaris superficialis** tritt zwar in etwa 25 % der Fälle auf, ist jedoch nur in 2 % kräftig entwickelt.

Die **A. plantaris lateralis** zieht als meist stärkerer lateraler Endast der A. tibialis posterior mit dem an ihrer medialen Seite gelegenen N. plantaris lateralis zwischen M. flexor digitorum brevis und M. quadratus plantae nach distal und lateral. Sie versorgt Muskeln und Haut am lateralen Fußrand und anastomosiert mit Ästen der A. tarsalis lateralis und A. arcuata. In Höhe der Basis des 5. Mittelfußknochens setzt sich die A. plantaris lateralis in den *Arcus plantaris profundus* fort, der großzehenwärts verläuft, durch die Anastomose mit der A. plantaris profunda den Arterienbogen schließt und plantar die arterielle Versorgung der Zehen übernimmt.

Der **Arcus plantaris profundus** beginnt zwischen dem M. flexor digiti minimi brevis und dem Caput obliquum des M. adductor hallucis. Der nach lateral und distal konvexe Gefäßbogen verläuft mit dem R. profundus des N. plantaris lateralis unter dem letztgenannten Muskel und auf den Mm. interossei nach medial und gelangt in das Spatium interosseum metatarsi I, wo er mit der A. plantaris profunda in Verbindung steht. Von der konvexen Seite des Bogens ziehen die *Aa. metatarsales plantares I–IV* auf den Mm. interossei zehenwärts, geben proximale und distale *Rr. perforantes* durch die Zwischenknochenräume zu den Aa. metatarsales dorsales ab und werden distal davon als *Aa. digitales plantares communes* bezeichnet. Sie teilen sich am distalen Ende ihres Zwischenknochenraums jeweils in 2 *Aa. digitales plantares propriae* für die einander zugewandten Ränder zweier Zehen.

Die **Aa. digitales plantares propriae** anastomosieren über Seitenäste zum Zehenrücken mit den Aa. digitales dorsales und übernehmen auch die Blutversorgung der Endphalangen. Die A. metatarsalis plantaris I gibt in der Regel die mediale *A. hallucis plantaris* ab, die allerdings auch aus dem R. superficialis der A. plantaris medialis hervorgehen kann. Die laterale *A. digitalis plantaris V* entspringt aus dem Anfangsteil des Arcus plantaris profundus.

20.3 Systematik der Venen

20.3.1 Venae pulmonales

Im Regelfall führen aus jeder Lunge eine *obere* und eine *untere Lungenvene,* **V. pulmonalis dextra/sinistra superior** und V. **pulmonalis dextra/sinistra inferior**, also insgesamt 4 Lungenvenen oxygeniertes Blut aus den Kapillarnetzen der Alveolenwände – aber auch intrapulmonal zugeleitetes Blut aus der Wand kleinerer und mittlerer Bronchien – zum linken Vorhof des Herzens.

Im jeweiligen Lungenhilum liegen die Lungenvenen nahe der vorderen und unteren Zirkumferenz. Beide Vv. pulmonales einer Lunge können sich bereits vor der Einmündung in den linken Vorhof zu einem gemeinsamen Stamm vereinigen.

Die **V. pulmonalis dextra superior** sammelt das Blut aus den Oberlappensegmenten über einen kurzen Venenstamm, zu dem sich die *Rr. apicalis, anterior* und *posterior* vereinigen, und aus dem Mittellappen über den *R. lobi medii.* Sie zieht ventral und kaudal der A. pulmonalis dextra hinter der V. cava superior zum linken Vorhof.

Die **V. pulmonalis dextra inferior** nimmt Blut aus dem rechten Unterlappen auf, das ihr über den *R. superior* (aus dem Spitzensegment des Unterlappens) und über die *V. basalis communis,* der Vereinigung der *V. basalis superior* und *inferior,* aus den basalen Segmenten zugeführt wird. Sie kreuzt hinter dem rechten Vorhof zum linken Atrium.

In etwa 10 % der Fälle schließt sich der R. lobi medii der V. pulmonalis dextra inferior an oder tritt selbstständig in den linken Vorhof, sodass dort dann 3 rechte Lungenvenenmünden.

Die **V. pulmonalis sinistra superior** leitet Blut aus dem linken Oberlappen ab und wird gespeist vom *R. apicoposterior, R. anterior* und *R. lingularis*. Sie verläuft ventral und etwas kaudal des linken Hauptbronchus und vor der Aorta thoracalis.

Die **V. pulmonalis sinistra inferior** besitzt die gleichen „Wurzel"venen wie die V. pulmonalis dextra inferior und zieht vor den Bronchien vom lateralen und vom hinteren basalen Segment vorhofwärts.

20.3.2 Venae cordis

Die *Herzvenen* (**Vv. cordis**) münden großenteils in den im Sulcus coronarius an der Facies diaphragmatica – zwischen linkem Vorhof und linker Kammer – gelegenen *Sinus coronarius.* Er erscheint jenseits der Einmündung der V. obliqua atrii sinistri zwar als Fortsetzung der V. coronaria sinistra, ist jedoch als nicht in den rechten Vorhof einbezogenes Relikt des embryonalen Sinus venosus strenggenommen keine Herzvene, sondern ein spezieller Herzabschnitt.

Der **Sinus coronarius** ist etwa 20–30 mm lang, wird mehr oder minder vollständig von Vorhofmuskulatur ummantelt und öffnet sich, am rechten Mündungsrand von der als *Valvula sinus coronarii* bezeichneten Leiste flankiert, zwischen dem Ostium der V. cava inferior und der Valva atrioventricularis dextra in den rechten Vorhof.

Die in den Sinus coronarius eintretenden Herzvenen besitzen an ihrer Mündung meist einfache, gelegentlich rudimentäre Venenklappen. Kleinere Herzvenen öffnen sich unmittelbar in die Binnenräume des Herzens, meist in den rechten Vorhof.

Nahe der Herzspitze verläuft im Sulcus interventricularis zusammen mit dem R. interventricularis anterior der linken Koronararterie die **V. interventricularis anterior**. Diese tritt in den linken Teil des Sulcus coronarius ein und wird nun als **V. cardiaca magna** (oder auch *V. coronaria sinistra*) bezeichnet, welche auf der Dorsalfläche des Herzens in den **Sinus coronarius** übergeht. Über diesen Abflussweg sammelt sich das Blut aus der Vorderwand beider Ventrikel sowie über *Vv. ventriculares* aus der linken Kammerwand (u. a. die *V. marginalis sinistra),* über *Vv. atriales* und die *V. obliqua atrii sinistri* aus der Wand des linken Vorhofs sowie über *Vv. atrioventriculares* aus der linken Vorhof-Kammer-Grenze.

Die **V. ventriculi sinistri posterior** (gelegentlich doppelt vorhanden) führt an der Facies diaphragmatica des Herzens zwischen linkem Herzrand und Sulcus interventricularis posterior Blut aus der Hinterwand des linken Ventrikels zum Sinus coronarius, seltener zur V. coronaria sinistra.

Die **V. cardiaca media** (*V. interventricularis posterior*), die im Bereich der Herzspitze mit der V. interventricularis anterior anastomosieren kann, zieht im Sulcus interventricularis posterior zum Sinus coronarius, vereinigt sich gelegentlich auch mit dem Mündungsteil der V. cardiaca parva zur V. coronaria dextra oder tritt selbstständig in den rechten Vorhof.

Die **V. cardiaca parva** verläuft im rechten Teilstück des Sulcus coronarius, nimmt *Vv. atriales* aus der Wand des rechten Vorhofs, *Vv. atrioventriculares* aus der rechten Vorhof-Kammer-Grenze und *Vv. ventriculares* (u. a. die *V. marginalis dextra)* auf. Sie mündet als **V. coronaria dextra** von rechts in den Sinus coronarius oder selbstständig in das rechte Atrium cordis.

Die meist 3–4 **Vv. ventriculi dextri anteriores** kommen von der Vorderwand der rechten Kammer und treten im Sulcus coronarius unmittelbar in den rechten Vorhof. An ihren Mündungen ist jeweils eine Klappe ausgebildet. Zu dieser Venengruppe zählt auch die *V. marginalis dextra,* sofern sie selbstständig in das Atrium dextrum einmündet.

Vv. cardiacae minimae (Thebesische Venen) führen Blut aus Kapillargebieten des Myokards direkt in Binnenräume des Herzens, vor allem in den rechten Vorhof, aber auch in das linke Atrium, einige wenige in die Ventrikel.

20.3.3 Vena cava superior (▶ Abb. 20.16)

Die V. cava superior[1] (obere Hohlvene), nimmt Blut aus Kopf und Hals, aus beiden oberen Extremitäten und aus dem Brustbereich auf. Sie entsteht im oberen Mediastinum aus der Vereinigung der beiden *Vv. brachiocephalicae*[3], [12] am kaudalen Rand des Knorpels der rechten 1. Rippe und ist etwa 6 cm lang. Die klappenlose Vene verläuft in schwach nach rechts konvexem Bogen dorsal und etwas lateral vom rechten Sternalrand neben der Aorta abwärts. Kurz bevor sie in das Pericard eintritt, nimmt sie an ihrer dorsalen Wand die *V. azygos*[28] auf. Ihre intraperikardiale Verlaufsstrecke ist von Epikard überkleidet und mündet in Höhe des 3. Sternokostalgelenks in den rechten Vorhof.

Die **V. brachiocephalica**[3], [12] geht beidseits hinter dem Sternoklavikulargelenk aus dem Zusammenfluss der *V. jugularis interna*[9], [14] und der *V. subclavia*[5], [15] hervor. Die V. brachiocephalica dextra ist nur etwa 2,5 cm lang und steigt nahe dem rechten Sternalrand fast senkrecht ab. Die aufgrund der asymmetrischen Lage der V. cava superior mit etwa 6 cm bedeutend längere V. brachiocephalica sinistra läuft hinter dem Manubrium sterni schräg auf die Vereinigungsstelle zu.

Die rechte V. brachiocephalica liegt ventrolateral von Truncus brachiocephalicus und N. vagus dexter, im Anfangsteil auch vor dem N. phrenicus und der A. thoracica interna der rechten Seite. Die linke V. brachiocephalica zieht über die Konvexität des Aortenbogens und kreuzt ventral die A. thoracica interna, A. subclavia und A. carotis communis sowie den N. phrenicus und N. vagus der linken Seite, außerdem Trachea und Truncus brachiocephalicus.

Die V. brachiocephalica erhält direkte Zuflüsse aus der Schilddrüse, aus Organen im oberen und hinteren Mediastinum, vom Pericard und vom Bronchialbaum, aus den Venengeflechten der Wirbelsäule, der Hinterhauptsregion und dem Nackenbereich, aus der vorderen Brust- und Bauchwand sowie vom Zwerchfell.

Die oft unpaare (linke) **V. thyroidea inferior**[13] führt der V. brachiocephalica sinistra Blut aus dem **Plexus thyroideus impar** zu, einem Venengeflecht auf dem unteren Teil der Schilddrüse und vor der Trachea, das auch die paarige *V. laryngea inferior*, *Vv. tracheales* und *Vv. oesophageales* aufnimmt. Zusätzlich kann auch eine *V. thyroidea inferior dextra* vom Plexus thyroideus impar in die rechte V. brachiocephalica oder seltener in die V. cava superior münden.

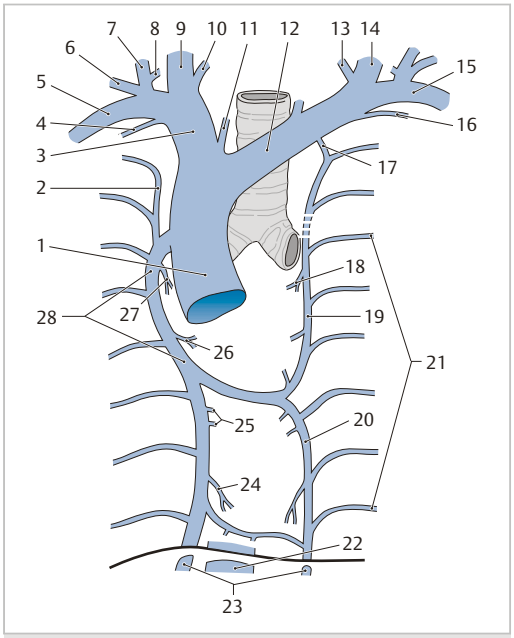


Abb. 20.16 Zuflüsse der V. cava superior.
1 V. cava superior
2 V. intercostalis superior dextra
3 V. brachiocephalica dextra
4 V. intercostalis suprema dextra
5 V. subclavia dextra
6 V. suprascapularis
7 V. jugularis externa
8 V. jugularis anterior
9 V. jugularis interna dextra
10 V. vertebralis
11 V. thyroidea inferior dextra
12 V. brachiocephalica sinistra
13 V. thyroidea inferior sinistra
14 V. jugularis interna sinistra
15 V. subclavia sinistra
16 V. intercostalis suprema sinistra
17 V. intercostalis superior sinistra
18 Vv. mediastinales
19 V. hemiazygos accessoria
20 V. hemiazygos
21 Vv. intercostales posteriores
22 V. cava inferior
23 V. lumbalis ascendens
24 Vv. phrenicae superiores
25 Vv. oesophageales
26 Vv. pericardiales
27 Vv. bronchiales
28 V. azygos
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Von im Mediastinum gelegenen Organen erreichen die Vv. brachiocephalicae zahlreiche kleine Venen als **Vv. thymicae**, **Vv. pericardiacae**, **Vv. pericardiacophrenicae** (Begleitvenen der gleichnamigen Arterien, die auch in die V. thoracica interna und/oder links in die V. intercostalis superior sinistra münden können), **Vv. mediastinales**, **Vv. bronchiales** und **Vv. tracheales** sowie **Vv. oesophageales**.

Die **V. vertebralis**[10] wird aus dem *Plexus venosus suboccipitalis* (zwischen Atlas und Hinterhaupt) und aus der *V. occipitalis* (Begleitvene der A. occipitalis) gespeist. Sie erhält segmentale Zuflüsse aus den Wirbelvenengeflechten, aus dem Halsmark und seinen Häuten sowie aus kleinen Venen der tiefen Nackenmuskeln. Die V. vertebralis tritt in das Foramen transversarium des Atlas ein und umgibt als relativ engmaschiges Venengeflecht die A. vertebralis bis zum Querfortsatz des 6., seltener des 7. Halswirbels. Nach dem Austritt aus dem Foramen transversarium verläuft sie als ansehnliches Gefäß zunächst lateral, dann ventrolateral der A. vertebralis und mündet, mit einem Paar Venenklappen ausgestattet, in das kraniale, hintere Teilstück der V. brachiocephalica.

Zuvor nimmt die V. vertebralis die *V. vertebralis anterior* auf, die aus einem Geflecht vor den Querfortsätzen der oberen Halswirbel hervorgeht und als Begleitvene der A. cervicalis ascendens zwischen M. scalenus anterior und M. longus colli absteigt. In der Regel fließt ihr auch die *V. cervicalis profunda* zu.

Die *V. vertebralis accessoria* kann das Venengeflecht um die A. vertebralis nach kaudal bis zum Querfortsatzloch des 7. Halswirbels fortsetzen. Sie mündet in die V. vertebralis oder steigt hinter der A. subclavia abwärts zur V. brachiocephalica.

Die **V. cervicalis profunda** entsteht subokzipital aus Zuflüssen aus der *V. occipitalis* und Venen der Nackenmuskeln, zieht als Begleitvene der A. cervicalis profunda zwischen M. semispinales capitis und M. cervicis abwärts und gelangt zwischen dem Querfortsatz des 7. Halswirbels und dem Hals der 1. Rippe zur V. vertebralis, seltener zur V. brachiocephalica.

Die bis in Höhe des 3. Rippenknorpels doppelten, mit zahlreichen Venenklappen ausgestatteten **Vv. thoracicae internae** begleiten die A. thoracica interna und deren parietale Äste. Sie beginnen als *Vv. epigastricae superiores,* die mit den Bauchdeckenvenen (*Vv. subcutaneae abdominis*) in Verbindung stehen, und nehmen die *Vv. musculophrenicae* und *Vv. intercostales anteriores* auf.

Die **V. intercostalis suprema**[4, 16] führt beidseits Blut aus dem 1. Interkostalraum zur V. brachiocephalica der entsprechenden Seite oder zur V. vertebralis.

Die **V. intercostalis superior sinistra**[17] **,** zu der sich auf der linken Seite die Vv. intercostales posteriores aus dem 2. und 3., mitunter auch dem 4. Interkostalraum vereinigen, zieht vor dem linken Teilstück des Aortenbogens zwischen dem linken N. vagus und N. phrenicus schräg aufwärts und mündet von hinten in die V. brachiocephalica sinistra. Sie nimmt gewöhnlich eine *V. bronchialis sinistra* auf und steht mit der V. hemiazygos accessoria in Verbindung.

Als **V. azygos**[28] (rechts) bzw. **V. hemiazygos**[19] (links) wird die kraniale Fortsetzung der jeweiligen *V. lumbalis ascendens* bezeichnet, nachdem diese sich in Höhe des 12. Brustwirbelkörpers mit der *V. subcostalis* vereinigt haben. Die Venen des Azygossystems leiten über segmentale Venen Blut aus der Brust- und Bauchwand ab und ermöglichen einen Kollateralkreislauf zwischen V. cava inferior und superior.

Die **V. lumbalis ascendens**[23] nimmt die segmentalen *Vv. lumbales* I und II auf und anastomosiert – über die in die V. cava inferior mündenden Lumbalvenen III und IV – mit der V. cava inferior. Sie steht ferner mit der V. iliaca communis und gelegentlich (vor allem auf der linken Seite) mit der V. renalis in Verbindung. Die V. lumbalis ascendens steigt, bedeckt vom M. psoas major, vor den Processus costales der Lendenwirbel auf und gelangt meist durch den jeweiligen medialen Zwerchfellschenkel in den Brustraum.

Die **V. azygos**[28] zieht auf der rechten Vorderseitenfläche der Brustwirbelkörper – vor den rechten Aa. intercostales posteriores, zwischen N. splanchnicus major (lateral) und Ductus thoracicus sowie Aorta (medial) – bis in Höhe des 4. Thorakalwirbels nach kranial. Ihre bogenförmige Endstrecke, *Arcus venae azygos*, verläuft – rechts von Oesophagus, N. vagus dexter und Trachea – über die rechte Lungenwurzel hinweg zur V. cava superior. Die V. azygos, die meist nur wenige, unvollständig ausgebildete Venenklappen besitzt, nimmt auf folgende Venen auf:

- *Vv. intercostales posteriores dextrae* aus dem 2.–11. Interkostalraum der rechten Brustwand, wobei sich die 2. und 3. (4.) rechte Interkostalvene zunächst zur *V. intercostalis superior dextra*[2] vereinigen,
- *V. hemiazygos* und die häufig selbstständig mündende *V. hemiazygos accessoria*,
- kleine *Vv. phrenicae superiores*[26] von der kranialen Zwerchfellfläche,
- Vv. oesophageales, rechte Vv. bronchiales, Vv. pericardiales und Vv. mediastinales als viszerale Zuflüsse aus dem Mediastinum.

Die **V. hemiazygos**[20] zieht links von der Aorta aufwärts, nimmt die 9.–11. *V. intercostalis posterior sinistra* sowie kleine *Vv. phrenicae superiores, Vv. oesophageales* und *mediastinales* auf und kreuzt in Höhe des 7.–9. Brustwirbelkörpers zur V. azygos, und zwar in der Regel hinter Aorta, Oesophagus und Ductus thoracicus.

Die **V. hemiazygos accessoria**[19] leitet Blut aus der 4. (5.)–8. *V. intercostalis posterior sinistra* ab, nimmt *Vv. bronchiales* auf, kann über die V. intercostalis superior sinistra[17] mit der linken V. brachiocephalica in Verbindung stehen und mün-

det selbstständig oder über die V. hemiazygos in die V. azygos.

Die *Vv. intercostales posteriores*[21] und die *V. subcostalis* nehmen – ebenso wie die *Vv. lumbales* – jeweils einen *R. dorsalis* aus der Rückenmuskulatur und -haut auf. Ihnen fließt Blut aus den Plexus venosi vertebrales über die aus den Foramina intervertebralia austretenden *Vv. intervertebrales* zu, denen auch Blut aus dem Rückenmark und den Rückenmarkshäuten über segmentale *Rr. spinales* zugeführt wird.

Vena jugularis interna

Die **V. jugularis interna**[9], [14], rechts meist stärker als links, entsteht als unmittelbare Fortsetzung des *Sinus sigmoideus* mit einer Erweiterung, dem *Bulbus superior venae jugularis*, im hinteren Fach des Foramen jugulare. Die Vene zieht zunächst dorsal, dann lateral von der A. carotis interna abwärts, verläuft in der Gefäß-Nerven-Scheide ventrolateral von der A. carotis communis und vereinigt sich hinter dem Sternoklavikulargelenk im Venenwinkel mit der V. subclavia zur V. brachiocephalica. Nahe der Mündung ist die V. jugularis interna zum *Bulbus inferior venae jugularis* erweitert, der an seinem kranialen Ende eine ein- oder zweiteilige Venenklappe besitzt.

Die V. jugularis interna zieht medial vom N. accessorius und vom Processus styloideus abwärts, wird von der Glandula parotidea und vom M. sternocleidomastoideus bedeckt und vom hinteren Bauch des M. digastricus sowie vom Venter superior des M. omohyoideus überkreuzt. Projiziert man ihren Verlauf auf die Seitenansicht des Halses, so folgt sie einer Linie, die vom Ohrläppchen zum medialen Ende der Clavicula führt, wobei der Bulbus inferior hinter der Fossa supraclavicularis minor liegt.

Die *V. jugularis interna* sammelt Blut aus dem Versorgungsgebiet der A. carotis communis, d. h. aus dem Gehirn, der Wand der Schädelhöhle, aus dem Gesicht und vom Hals. Außer mehreren kleineren Venen (u. a. *Vv. pharyngeales* aus dem *Plexus pharyngeus* an der Rachenwand und *Vv. thyroideae mediae* aus dem unteren Teil der Schilddrüse) nimmt sie im Trigonum caroticum als größere Sammelvene die *V. facialis* auf, deren mündungsnahe Zuflüsse *(V. retromandibularis, V. comitans nervi hypoglossi, V. thyroidea superior)* aber auch selbstständig in die V. jugularis interna eintreten können. Die zuführenden Venen bilden in der Peripherie, vor allem in der Kopfschwarte, im Gesicht und in der tiefen seitlichen Halsregion, zahlreiche geflechtartige Anastomosen und zeichnen sich durch ein variables Verlaufs- und Mündungsmuster aus.

Die V. jugularis interna nimmt außer der V. facialis folgende Zuflüsse auf:

- *V. aquaeductus cochleae*, die den Aquaeductus cochleae durch den Canaliculus cochleae begleitet und in den Bulbus superior mündet,
- *Plexus venosus canalis hypoglossi*, der mit dem N. hypoglossus im Canalis hypoglossi verläuft und den Plexus basilaris mit dem Bulbus superior oder mit der V. jugularis interna verbindet,
- *Sinus petrosus inferior*, der aus dem Sinus cavernosus ableitet, die *Vv. labyrinthales (labyrinthinae)* aus dem Meatus acusticus internus aufnimmt, durch das vordere Fach des Foramen jugulare zieht und meist erst unterhalb des Bulbus superior in die V. jugularis interna eintritt,
- *Vv. meningeae*, die zusätzlich zu den stärker entwickelten Vv. meningeae mediae Blut aus Dura und Sinus durae matris durch Öffnungen der Schädelbasis direkt oder indirekt der V. jugularis interna zuleiten,
- *Vv. pharyngeae*, die Blut aus dem *Plexus pharyngeus* an der Rachenwand führen,
- *V. lingualis*, häufiger nur die *Vv. dorsales linguae*, in Höhe des großen Zungenbeinhorns als eine der vielfältigen Mündungsvarianten,
- *V. sternocleidomastoidea*, die aus dem M. sternocleidomastoideus zur V. jugularis interna oder zur V. thyroidea superior zieht,
- *Vv. thyroideae mediae*, variable Abflüsse aus dem *Plexus thyroideus impar*, die unterhalb der Mündung der V. facialis direkt in die V. jugularis interna eintreten.

Die **V. facialis** beginnt am medialen Augenwinkel als *V. angularis*, die aus dem Zusammenfluss der *Vv. supratrochleares* mit der *V. supraorbitalis* hervorgeht und mit der *V. ophthalmica superior* der Augenhöhle anastomosiert. Die V. facialis zieht *dorsal* von der A. facialis schräg über den seitlichen Teil des Gesichts zum Unterrand der Mandibula, liegt im Gegensatz zur Arterie meist auf der Kapsel der Glandula submandibularis, vereinigt sich in der Regel kaudal vom Angulus mandibulae mit der *V. retromandibularis* und mündet im Trigonum caroticum in die V. jugularis interna.

Die *V. facialis* sammelt über die Stirnvenen Blut aus der Kopfschwarte und nimmt die oberflächlichen Venen des Gesichts auf, die Äste der A. facialis begleiten. Sie erhält Zufluss aus der Schilddrüse und besitzt zahlreiche Anastomosen mit Venen im Einzugsgebiet der V. retromandibularis. Die V. facialis nimmt auf:

- *Vv. supratrochleares*, die von der medialen Partie der Stirn kommen,
- *V. supraorbitalis*, die Blut von der lateralen Seite der Stirn und von der *V. diploica frontalis* in der Squama frontalis nahe der Medianebene zuführt,
- *Vv. palpebrales superiores* vom Oberlid,
- *Vv. nasales externae* von der Außenseite der Nase,
- *Vv. palpebrales inferiores* vom Unterlid,
- die *V. labialis superior* von der Oberlippe,
- *Vv. labiales inferiores* von der Unterlippe,
- *V. profunda faciei*, die unter dem Jochbein den *Plexus pterygoideus* der seitlichen tiefen Gesichtsregion mit der V. facialis verbindet,
- *Rr. parotidei* aus der Glandula parotidea,
- die *V. palatina externa*, die Blut aus der Pharynxwand und aus der Gegend der Tonsilla palatina – medial vom Unterkieferast – abwärts zur Endstrecke der V. facialis leitet,

- *V. submentalis,* die Blut aus dem Versorgungsgebiet der A. submentalis führt und unter dem Mundboden in die V. facialis mündet,
- *V. thyroidea superior,* die als Begleitvene der A. thyroidea superior vor allem vom kranialen Teil der Schilddrüse kommt und die die *V. laryngea superior* vom Kehlkopf, seltener auch die *V. sternocleidomastoidea* aufnimmt. Die V. thyroidea superior kann auch selbstständig in die V. jugularis interna eintreten, statt in die V. facialis zu münden.

Die **V. retromandibularis** entsteht, bedeckt von der Glandula parotidea, vor der Ohrmuschel durch den Zusammenfluss von Venen der Schläfenregion, der Ohrmuschel, des äußeren Gehörgangs, des Kiefergelenks und des seitlichen Gesichts. Sie zieht in der Tiefe der Glandula parotidea abwärts und mündet in die Endstrecke der V. facialis, kann aber auch selbstständig in die V. jugularis interna eintreten. Unterhalb des Ohrläppchens entsendet die V. retromandibularis meist einen kräftigen Ast schräg nach hinten abwärts, der sich auf dem M. sternocleidomastoideus mit der V. auricularis posterior zur V. jugularis externa vereinigt. Die V. retromandibularis nimmt auf:

- *Vv. temporales superficiales*, Begleitvenen der A. temporalis superficialis, die Blut aus der Kopfschwarte und aus der *V. emissaria parietalis* führen,
- *V. temporalis media* aus dem M. temporalis,
- V. *transversa faciei [facialis]*, die unterhalb des Jochbogens verläuft und mit der V. facialis anastomosiert,
- *Vv. maxillares*, Abflusswege des **Plexus pterygoideus** (zwischen M. temporalis und M. pterygoideus lateralis bzw. zwischen beiden Mm. pterygoidei), der Zuflüsse erhält aus:
  - *Vv. meningeae mediae*, Begleitvenen der A. meningea media,
  - *Vv. temporales profundae*, Begleitvenen der Aa. temporales profundae mit Zufluss aus der V. diploica temporalis anterior,
  - *V. canalis pterygoidei*, Begleitvene der A. canalis pterygoidei,
  - *Plexus venosus foraminis ovalis*, einem Geflecht im Foramen ovale mit Verbindung zum Sinus cavernosus,
  - *Plexus venosus caroticus internus*, einem Geflecht im Canalis caroticus mit Verbindung zum Sinus cavernosus,
  - *Vv. auriculares anteriores*, die vom äußeren Gehörgang und von der Ohrmuschel kommen,
  - *Vv. parotideae* aus der Glandula parotidea,
  - *Vv. articulares* vom Kiefergelenk,
  - *Vv. tympanicae* aus der Paukenhöhle,
  - *V. stylomastoidea*, Begleitvene der gleichnamigen Arterie und des N. facialis mit Blut aus der Paukenhöhle.

Die **Zungenvenen** vereinigen sich selten zu einem einheitlichen Stamm, zur **V. lingualis**, die in die V. jugularis interna mündet und über ihre Zuflüsse mit der V. facialis, aber auch mit der V. retromandibularis und der V. thyroidea superior in Verbindung steht.

Bei selbstständiger Einmündung einzelner Zungenvenen treten die relativ kräftigen *Vv. dorsales linguae* aus dem Venennetz des Zungenrückens oft in die V. jugularis interna, gelegentlich in die V. retromandibularis. Die *V. profunda linguae* verläuft von der Zungenspitze nahe der Schleimhaut der Facies inferior linguae bis zum Vorderrand des M. hyoglossus. Dort vereinigt sie sich mit der *V. sublingualis* von der Glandula sublingualis zur *V. comitans nervi hypoglossi*, Begleitvene des N. hypoglossus, die meist in die V. facialis, gelegentlich direkt in die V. jugularis interna mündet.

Sinus durae matris (▶ **Abb. 20.17**). Die starrwandigen, klappenlosen Blutleiter der Dura mater sammeln das Venenblut des Gehirns. Der Abfluss verläuft zum größten Teil über den *Sinus sigmoideus* in die V. jugularis interna.

Der **Sinus sigmoideus** liegt im Sulcus sinus sigmoidei an der zerebralen Fläche des Processus mastoideus. Er ist die Fortsetzung des **Sinus transversus**[17], der aus dem *Confluens sinuum*[18] abgeht, und mündet in den Bulbus superior v. jugularis[14].

In den Anfangsteil des Sinus sigmoideus mündet der **Sinus petrosus superior**[13], der vom Sinus cavernosus[9] ausgeht und auf der Oberkante der Felsenbeinpyramide entlang zieht. Der **Sinus petrosus inferior**[12] verläuft dagegen am Unterrand der hinteren Pyramidenfläche zum Foramen jugulare, anastomosiert mit dem Plexus basilaris und tritt meist erst extrakranial in die V. jugularis interna ein. Über die *V. emissaria mastoidea* (durch das Foramen mastoideum) steht der Sinus occipitalis mit der V. occipitalis, über die inkonstante *V. emissaria condylaris* durch den Canalis condylaris mit subokzipitalen Venen und mit dem Plexus venosus vertebralis externus in Verbindung.

In den **Confluens sinuum**[18] treten ein:

- **Sinus sagittalis superior**[2], der am Oberrand der Falx cerebri von der Crista galli bis zur Protuberantia occipitalis interna nach hinten zieht, *Lacunae laterales* als seitliche Ausbuchtungen aufweist, *Vv. superficiales cerebri* aufnimmt und über die *V. emissaria parietalis* durch das Foramen parietale mit der V. temporalis superficialis anastomosiert,
- der **Sinus rectus**[19], in den der **Sinus sagittalis inferior**[1] am Unterrand der Falx cerebri, die *V. magna cerebri* und oft auch die *V. superior vermis* münden,
- der gelegentlich paarige **Sinus occipitalis**[16] (im hinteren Rand der Falx cerebelli), der mit dem Venengeflecht um das Foramen magnum, Sinus marginalis[15], und damit auch mit den Plexus venosi vertebrales interni kommuniziert.

Der Confluens sinuum steht außerdem über die häufig ausgebildete *V. emissaria occipitalis* durch eine Öffnung nahe der Protuberantia occipitalis externa mit der V. occipitalis in Verbindung.

Rechter und linker **Sinus cavernosus**[9] (jeweils seitlich der Sella turcica) bilden mit dem vorderen und dem hinteren

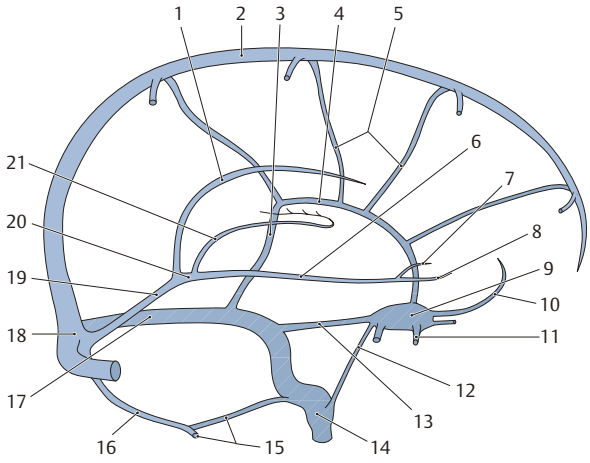


Abb. 20.17 Sinus durae matris und basale Hirnvenen. Linke Hirnhälfte, Ansicht von medial.
1 Sinus sagittalis inferior
2 Sinus sagittalis superior
3 V. anastomotica inferior
4 V. media superficialis cerebri
5 V. anastomotica superior
6 V. basalis
7 V. media profunda cerebri
8 V. anterior cerebri
9 Sinus cavernosus
10 Sinus sphenoparietalis
11 Sinus intercavernosus
12 Sinus petrosus inferior
13 Sinus petrosus superior
14 Bulbus superior venae jugularis
15 Sinus marginalis
16 Sinus occipitalis
17 Sinus transversus
18 Confluens sinuum
19 Sinus rectus
20 V. magna cerebri
21 Vv. internae cerebri
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Sinus intercavernosus[11] einen „Venen"ring um die Hypophyse. Der Sinus cavernosus nimmt auf:
- *Sinus sphenoparietalis*[10] am Hinterrand des kleinen Keilbeinflügels,
- *V. ophthalmica superior* aus der Orbita, Anastomose mit dem Einzugsgebiet der V. facialis,
- *V. ophthalmica inferior* oder zumindest einen Ast dieser Vene, die eine Anastomose mit dem Plexus pterygoideus bildet,
- *V. centralis retinae,* sofern sie nicht in die V. ophthalmica superior mündet,
- *Vv. media superficialis cerebri* und *inferiores cerebri*, basale Abflüsse oberflächlicher Hirnvenen.

Der Sinus cavernosus steht über den *Plexus basilaris* auf dem Clivus und den *Sinus marginalis* mit den inneren Wirbelvenengeflechten sowie über die *V. emissaria foraminis laceri* durch das Foramen lacerum mit dem Plexus pterygoideus in Verbindung.

Vv. cerebri. Die dünnwandigen und klappenlosen Hirnvenen bilden muskelarme, teils muskelfreie Gefäßnetze, die entweder an der Hirnoberfläche in der Pia mater verlaufen und meist eine längere Strecke durch den Subarachnoidalraum ziehen oder subependymal liegen. Sie führen das Blut des Gehirns auf unterschiedlichen Wegen den Sinus durae matris zu und variieren hinsichtlich Zahl, Verlauf und Verbindungen so stark, dass sich nachfolgend nur ein Grundmuster beschreiben lässt. Nach ihren Zuflussgebieten und ihrer Anordnung werden üblicherweise unterschieden:
- *Vv. superficiales cerebri,* die kleine Venen aus der Großhirnrinde und dem angrenzenden Marklager aufnehmen und an der Oberfläche der Großhirnhemisphäre verlaufen,
- *Vv. profundae cerebri* aus basalen und tiefen Teilen des Endhirns sowie aus dem Zwischen- und dem Mittelhirn, die großenteils in der Tiefe oder verdeckt liegen,
- *Vv. cerebelli* vom Kleinhirnwurm und den Hemisphären des Kleinhirns,
- *Vv. trunci encephali,* die Blut aus dem Hirnstamm ableiten.

Zu den oberflächlichen Hirnvenen (**Vv. superficiales cerebri**) zählen:
- 8–15 *Vv. superiores cerebri,* die (regional als *Vv. prefrontales, frontales, parietales* und *occipitales)* in den Sulci cerebrales, teils auch die Furchen kreuzend, über die obere konvexe Fläche des Großhirns zur Mantelkante aufsteigen, wo sie kleine Venen von der medialen Hemisphärenfläche aufnehmen und in den Sinus sagittalis superior, die Vv. occipitales auch in den Sinus transversus einmünden;
- *V. media superficialis cerebri,* die im R. posterior des Sulcus lateralis und im Hauptteil dieser Furche nach basal zieht. Sie steht oft durch die meist über den Scheitellappen verlaufende *V. anastomotica superior* mit dem Sinus sagittalis superior in Verbindung und durch die den Schläfenlap-

pen kreuzende *V. anastomotica inferior* mit dem Sinus transversus. Die V. media superficialis cerebri leitet das Blut aus dem Rinden- und Markbereich der an den Sulcus lateralis grenzenden Großhirnlappen zum Sinus cavernosus, seltener zum Sinus sphenoparietalis ab;
- *Vv. inferiores cerebri,* die als kleine Venen Blut aus der basalen Oberfläche des Großhirns aufnehmen (u. a. als *V. uncialis* vom vorderen Ende des Gyrus hippocampi, die allerdings auch in die V. basalis münden kann) und es den Sinus cavernosus, petrosus superior und transversus, aus den Gyri orbitales über Vv. superiores cerebri auch dem Sinus sagittalis superior zuführen.

Als tiefe Hirnvenen, **Vv. profundae cerebri**, bezeichnet man die *V. magna cerebri* (Galen-Vene) und ihre Zuflüsse aus basalen Teilen des Großhirns, aus der Inselregion, aus dem Plexus choroidei der Seitenventrikel und des III. Ventrikels sowie aus dem Corpus callosum, den Basalkernen und aus dem Zwischen- und dem Mittelhirn.

Die unpaare **V. magna cerebri**[20] entsteht unter dem Balkenwulst aus der Vereinigung der beiden *Vv. internae cerebri.* Der nur 1 cm lange Gefäßstamm steigt hinter dem Splenium corporis callosi, über der Vierhügelplatte, steil aufwärts, nimmt u. a. die paarige *V. basalis* auf und tritt am vorderen Firstende des Kleinhirnzelts in den Sinus rectus ein.

Die **V. interna cerebri**[21] geht beidseits am Foramen interventriculare aus dem Zusammenfluss der *V. thalamostriata superior [V. terminalis]* und *V. choroidea superior* hervor. Sie liegt in der Fissura transversa cerebri und zieht in der Tela choroidea ventriculi tertii nach hinten unter das Splenium corporis callosi, wo sie sich mit der V. interna cerebri der Gegenseite zur V. magna cerebri vereinigt. Die V. interna cerebri nimmt folgende Venen auf:
- *Vv. directae laterales* aus dem Thalamus,
- *V. medialis atrii (ventriculi lateralis)* aus dem Mark des Hinterhauptlappens und des angrenzenden Scheitellappens, die in der medialen Ventrikelwand verläuft, vor dem Abgang des Hinterhorns mündet und meist mündungsnah die V. lateralis atrii (ventriculi lateralis) aus der lateralen Wand des Unterhorns und der unteren Wand des Hinterhorns aufnimmt,
- *V. posterior corporis callosi* von der Unterfläche des Balkenwulsts,
- *V. dorsalis corporis callosi* von der Oberfläche des hinteren Balkenendes.

Die **V. thalamostriata superior** führt Blut aus dem Mark des Scheitellappens, aus dem Nucleus caudatus, der Capsula interna und in variabler Weise aus dem Thalamus. Sie verläuft in der Grenzrinne zwischen Nucleus caudatus und Thalamus in der Stria terminalis nach rostral und medial, biegt hinter der Columna fornicis in engem Bogen okzipitalwärts um und vereinigt sich mit der *V. choroidea superior,* die dem Plexus choroideus des Seitenventrikels in ganzer Länge folgt und Äste vom Hippocampus, Fornix und Corpus callosum aufnimmt. In die V. thalamostriata superior münden:
- zahlreiche *Vv. nuclei caudati* aus dem Nucleus caudatus,
- *V. anterior septi pellucidi* aus dem Mark des Stirnlappens, dem Balkenknie und dem Caput nuclei caudati, die in der medialen Wand des Vorderhorns des Seitenventrikels und im Septum pellucidum nach hinten verläuft,
- *V. posterior septi pellucidi* aus der weißen Substanz im Dach des Seitenventrikels, sofern sie nicht unmittelbar in die V. interna cerebri eintritt.

Die **V. basalis**[6] sammelt Blut aus basalen Teilen des Stirn-, Zwischen- und Mittelhirns, aus der Insel, aus der Substantia perforata anterior und den Basalganglien, aus der weißen Substanz des Schläfenlappens sowie aus dem Plexus choroideus im Unterhorn des Seitenventrikels und der Hippokampusformation.

Die V. basalis entsteht an der Substantia perforata anterior aus dem Zusammenfluss der *V. anterior cerebri*[8] , Begleitvene der gleichnamigen Arterie, und der *V. media profunda cerebri*[7] in der Tiefe des Sulcus lateralis, deren „Wurzeln" die *Vv. insulares* bilden. Die *V. gyri olfactorii* aus der Gegend des Trigonum olfactorium mündet meist in die V. media profunda cerebri, die auch die *V. orbitalis media* von der Unterfläche des Stirnhirns aufnimmt, seltener in die V. anterior cerebri. Die V. basalis kreuzt unter dem Tractus opticus auf dessen mediale Seite, umgreift das Crus cerebri und tritt auf der Dorsalseite des Hirnstamms in die V. magna cerebri, manchmal auch in die V. interna cerebri ein. Zuflüsse zur V. basalis sind:
- *V. uncialis* vom vorderen Ende des Gyrus hippocampi, sofern sie nicht in eine V. inferior cerebri ableitet,
- *Vv. thalamostriatae inferiores,* die an der Substantia perforata anterior austreten, auch in die V. media profunda cerebri münden können und Blut aus den Basalganglien, der Capsula interna und dem Hypothalamus führen,
- *V. ventricularis inferior* aus dem Marklager des Schläfenlappens, die im Dach des Unterhorns des Seitenventrikels verläuft und den Ventrikel durch die Fissura choroidea verlässt,
- *V. choroidea inferior* aus dem Plexus choroideus des Unterhorns des Seitenventrikels, vom Hippocampus und Gyrus dentatus,
- *Vv. pedunculares* aus dem Crus cerebri, dem Tegmentum mesencephalicum und dem Corpus mamillare, die von medial in die V. basilaris eintreten.

Vv. cerebelli von der Oberfläche des Kleinhirnwurms sammeln sich zur unpaaren *V. superior vermis,* die in den Sinus rectus, die V. magna cerebri oder die V. interna cerebri mündet. Von der oberen Kleinhirnhemisphärenfläche ziehen *Vv. superiores cerebelli* nach vorn und medial zum Sinus rectus und zur V. magna cerebri, nach dorsal zum Sinus transversus sowie nach lateral zum Sinus petrosus superior. Die unpaare *V. inferior vermis* verläuft an der Unterfläche des Wurms nach okzipital zum Sinus rectus oder zu einem der beiden Sinus sigmoidei. Von der Unterfläche der Kleinhirnhemisphäre erreichen *Vv. inferiores cerebelli* den Sinus

rectus occipitalis, Sinus sigmoideus und Sinus petrosus inferior. Die *V. precentralis cerebelli* entsteht zwischen Lingula und Lobulus centralis des Kleinhirnwurms und mündet in die V. magna cerebri oder in die V. basalis, die *V. petrosa* zieht aus dem Bereich des Flocculus in den oberen oder den unteren Sinus petrosus.

Die **Vv. trunci encephali** bilden an der Oberfläche des Hirnstamms ein Venennetz, das Zuflüsse aus dem Mittelhirn, der Brücke (*Vv. pontis*) und aus dem verlängerten Mark erhält. Abflüsse führen u. a. zur V. magna cerebri und V. basalis sowie zu benachbarten Sinus durae matris. Zum Rückenmark hin kommunizieren *Vv. medullae oblongatae* mit dem Geflecht der Vv. spinales, nach kranial kann ein bis zur Fossa interpeduncularis reichender Längsvenenstamm (*V. pontomesencephalica anterior*) zur V. petrosa oder V. basalis ableiten. Die *V. recessus lateralis ventriculi quarti* führt Blut aus der Wand dieser seitlichen Ausziehung der Rautengrube zum Sinus petrosus inferior.

Vv. ophthalmicae. Das Blut aus der Orbita wird über 2 große Venen vornehmlich in den Sinus cavernosus abgeleitet, nämlich über die kräftiger entwickelte *V. ophthalmica superior* im oberen Teil der Augenhöhle und über die schwächere *V. ophthalmica inferior* am Boden der Orbita. Beide Vv. ophthalmicae besitzen Anastomosen zu oberflächlichen bzw. tiefen Gesichtsvenen.

Die **V. ophthalmica superior** entspricht in ihrem Verlauf und in ihren Zuflüssen großenteils der A. ophthalmica und deren Verzweigungen. Sie geht, medial des Augapfels hinter dem Oberlid aus einem Venennetz hervor, das durch die V. nasofrontalis mit der V. angularis oder der V. supraorbitalis in Verbindung steht, kreuzt zwischen M. rectus superior und N. opticus nach lateral, zieht – außerhalb des Anulus tendineus communis – durch die Fissura orbitalis superior und mündet in den Sinus cavernosus. In die V. ophthalmica superior münden:

- aus der Umgebung der Orbita und aus der Tränendrüse:
  - die *V. nasofrontalis,* die im medialen Augenwinkel die V. ophthalmica superior mit der V. angularis verbindet,
  - *Vv. ethmoidales,* die durch die Foramina ethmoidalia Blut aus der Schleimhaut der Siebbeinzellen führen,
  - die *V. lacrimalis,* die von der Tränendrüse und seitlichen Anteilen der äußeren Augenmuskeln kommt,
  - *Vv. palpebrales* aus dem Oberlid;
- aus dem Augapfel:
  - *Vv. vorticosae [Vv. choroideae oculi],* 4–5 Venenstämmchen mit Blut aus der Choroidea, die in der Gegend des Bulbusäquators die Sclera durchbrechen,
  - *Vv. ciliares* aus dem Ziliarkörper,
  - *Vv. ciliares anteriores,* die Kammerwasser aus dem Sinus venosus sclerae ableiten und *Vv. sclerales* aus dem hornhautnahen Bereich der Sclera aufnehmen,
  - *V. centralis retinae,* die das Blut aus dem Versorgungsgebiet der A. centralis retinae sammelt, zunächst die Arterie im N. opticus begleitet und dann eine Strecke im Subarachnoidealraum zurücklegt, ehe sie in die V. ophthalmica superior oder direkt in den Sinus cavernosus eintritt,
  - *Vv. episclerales* aus der Sclera bulbi,
  - *Vv. conjunctivales* aus der Augenbindehaut.

Die **V. ophthalmica inferior** entsteht hinter dem unteren Augenlid am Übergang des Bodens in die laterale Wand der Orbita. Sie nimmt Blut aus dem M. rectus inferior und M. obliquus inferior, von der Wand des Tränensacks sowie aus den Augenlidern auf und erhält, wie die A. ophthalmica superior, Zuflüsse aus der Tränendrüse, der Sclera, dem Corpus ciliare und der Choroidea. Über die Fissura orbitalis inferior besteht eine Verbindung zum Plexus pterygoideus. Die V. ophthalmica inferior mündet in die V. ophthalmica superior oder in den Sinus cavernosus, in den zumindest ein Venenast eintritt.

Vena subclavia

Die **V. subclavia** geht in Höhe der 1. Rippe aus der *V. axillaris* hervor, zieht vor dem M. scalenus anterior medialwärts und vereinigt sich hinter dem Sternoklavikulargelenk mit der V. jugularis interna zur V. brachiocephalica. Meist ist mündungsnah ein Klappenpaar ausgebildet. Die V. subclavia sammelt Blut vom Schultergürtel und der oberen Extremität, leitet aber auch – über die *V. jugularis externa* – aus dem Kopf und vom Hals ab.

Die V. subclavia nimmt zusätzlich zur V. jugularis externa von proximal nach distal auf:

- *Vv. pectorales* aus den beiden Brustmuskeln,
- *V. scapularis dorsalis,* Begleitvene der A. dorsalis scapulae oder des R. profundus der A. transversa cervicis, die Blut aus den Mm. rhomboidei führt,
- gelegentlich die *V. thoracoacromialis,* Begleitvene der gleichnamigen Arterie, die jedoch meist in die V. cephalica mündet.

Die **V. jugularis externa** verläuft epifaszial, zwischen Platysma und äußerem Blatt der Halsfaszie, auf dem M. sternocleidomastoideus abwärts und tritt meist in die V. subclavia, gelegentlich in den Venenwinkel oder die V. jugularis interna ein. Paarige Venenklappen sind jeweils oberhalb der Clavicula und nahe der Venenmündung vorhanden. Die V. jugularis externa wird gespeist aus:

- *V. occipitalis,* die auch in die V. cervicalis profunda oder in die V. jugularis interna münden kann und Blut aus der Kopfschwarte des Hinterhaupts, aus der *V. diploica occipitalis* sowie aus den *Vv. emissariae mastoideae* führt,
- *V. auricularis posterior,* die aus der Haut hinter dem Ohr kommt, Zufluss aus der *V. diploica temporalis posterior* erhält und sich hinter der Ohrmuschel mit der V. occipitalis und einem starken Seitenast der V. retromandibularis zur V. jugularis externa vereinigt oder in die V. retromandibularis eintritt,
- *V. jugularis anterior,* die in der Gegend des Zungenbeins aus dem Zusammenfluss von Hautvenen des Mund-

bodens hervorgeht, in der Fossa jugularis mit der Vene der Gegenseite durch den *Arcus venosus jugularis* in Verbindung steht und unter dem M. sternocleidomastoideus zur V. .jugularis externa zieht,
- *V. suprascapularis,* meist doppelt ausgebildete Begleitvene der A. suprascapularis,
- *Vv. transversae cervicis,* Begleitvenen der A. transversa cervicis, die auch direkt in die V. subclavia münden können.

Als **V. axillaris** bezeichnet man an der oberen Extremität die Venenstrecke zwischen Unterrand des M. pectoralis major und Außenfläche der 1. Rippe. Sie geht aus der ulnaren *V. brachialis* hervor, setzt sich in die V. subclavia fort und leitet Blut aus Arm und Brustwand ab.

Die V. axillaris liegt an der medialen Seite der gleichnamigen Arterie und meist etwas oberflächlicher. Zwischen den beiden Gefäßen verlaufen der mediale Faszikel des Plexus brachialis, der N. ulnaris und der N. cutaneus antebrachii medialis, an der medialen Seite der Vene befindet sich der N. cutaneus brachii medialis. Zuflüsse der V. axillaris sind:
- Begleitvenen der Äste der A. axillaris, u. a. die *V. circumflexa humeri anterior* und *V. circumflexa humeri posterior* aus dem Bereich des Collum chirurgicum, die *V. subscapularis,* die aus der *V. thoracodorsalis* und *V. circumflexa scapulae* gespeist wird, und die *V. thoracica lateralis,* die auf dem M. serratus anterior aufwärts zieht,
- *Vv. thoracoepigastricae,* subkutane Venen der ventrolateralen Rumpfwand, die auch über die V. thoracica lateralis münden können, Blut aus dem *Plexus venosus areolaris,* dem Venengeflecht um die Brustwarze, ableiten und an der Bauchwand mit Ästen der Vv. epigastricae superficiales anastomosieren (Anastomose zwischen den Zuflüssen der V. cava inferior und superior),
- die *V. brachialis lateralis,* die schwächer dimensionierte radiale Begleitvene der A. brachialis, die oft hoch in der Achselhöhle mündet,
- die *V. cephalica* proximal des M. pectoralis minor.

Die **tiefen Venen des Arms** (**Vv. profundae membri superioris**) verlaufen als doppelte, vielfach miteinander anastomosierende Begleitvenen subfaszial mit den Arterien. Das Blut aus den beiden venösen Hohlhandbogen und den *Vv. interosseae anteriores* und *posteriores* sammelt sich in den beiden **Vv. ulnares**. Die beiden **Vv. radiales** erhalten ihren Zufluss hauptsächlich aus den *Vv. metacarpales dorsales*. Vv. radiales und Vv. ulnares vereinigen sich in der Ellenbogengrube zu den beiden **Vv. brachiales**, der kräftigeren *V. brachialis ulnaris* und der schwächeren *V. brachialis lateralis*. Die V. brachialis ulnaris setzt sich fort in die V. axillaris, die V. brachialis lateralis mündet oft erst hoch in der Achselhöhle in die V. axillaris.

Die **oberflächlichen Venen des Arms** (**Vv. superficiales membri superiores**) bilden ein epifasziales Hautvenennetz, das am Handrücken besonders deutlich erkennbar ist (*Rete venosum dorsale manus*). Dieses wird gespeist und aufgebaut von den *Vv. metacarpales dorsales,* die wiederum die in Netzform gestalteten dorsalen Fingervenen nach proximal fortsetzen und über klappenlose *Vv. intercapitulares* (zutreffender *Vv. intercapitales* benannt) Blut aus tiefen Hohlhandvenen erhalten. Aus dem oberflächlichen Venennetz fließt das Blut über 2 kräftigere Längsvenen rumpfnah in tiefe Venen ab: über die *V. basilica* in die ulnare V. brachialis und über die *V. cephalica* in die V. axillaris.

Die **V. cephalica** leitet an der radialen Seite aus dem subkutanen Venennetz des Handrückens ab, nimmt Daumenvenen auf, windet sich proximal der Handwurzel auf die Beugeseite des Unterarms und zieht an dessen radialem Rand zur Ellenbeuge. Am Oberarm verläuft sie zunächst an der lateralen Fläche des M. biceps brachii und dann in der Rinne zwischen M. deltoideus und M. pectoralis major, ehe sie unterhalb der Clavicula im Trigonum clavipectorale (Mohrenheim-Grube) in die Tiefe tritt, die Fascia clavipectoralis durchbohrt und in die V. axillaris mündet. Die Oberarmstrecke der V. cephalica kann sehr schwach entwickelt sein, gelegentlich auch fehlen.

Die V. cephalica steht in der Ellenbeuge meist mit der V. basilica durch eine schräg nach ulnar aufsteigende **V. mediana cubiti** in Verbindung, die mit den Vv. brachiales anastomosiert. Außerdem nimmt die V. cephalica folgende Gefäße auf:
- *V. thoracoacromialis,* Begleitvene der gleichnamigen Arterie, sowie die Begleitvene der A. thoracica suprema vor dem Durchtritt durch die Fascia clavipectoralis,
- die inkonstante *V. cephalica accessoria* aus den Venengeflechten an der Streckseite des Unterarms und vom Rete venosum dorsale manus, die distal der Ellenbeuge in die V. cephalica eintritt.

Die **V. basilica** erhält Zuflüsse von der ulnaren Seite des subkutanen Venennetzes des Handrückens und vom Kleinfinger. Ein einheitlicher Längsvenenstamm entsteht auf der Beugeseite des Unterarms oft erst im proximalen Drittel. Die V. basilica schließt sich in der Ellenbogengrube dem Gefäß-Nerven-Strang des Arms an, zieht im Sulcus bicipitalis medialis aufwärts, dringt bei typischem Verlauf in der Mitte des Oberarms am Hiatus basilicus durch die Fascia brachii und mündet in die ulnare V. brachialis.

Am Unterarm gibt es neben der V. cephalica und der V. basilica noch eine dritte kräftige Vene, die **V. mediana antebrachii**. Diese leitet Blut aus dem Arcus venosus palmaris superficialis ab. Sie steigt auf der Beugeseite des Unterarms zwischen den Vv. cephalica und basilica auf und mündet in der Ellenbeuge variabel entweder in die V. cephalica und V. basilica, indem sie sich in 2 Endäste gabelt (*V. mediana cephalica* und *V. mediana basilica*), oder in die V. mediana cubiti, selten kann sie auch direkt und nur in die V. basilica münden.

Zwischen den Venen der oberflächlichen und denen der tiefen Schicht bestehen zahlreiche, teils recht variable **Verbindungen**. Die oberflächlichen Venen entlasten vor allem an Hand und Unterarm die schwächer dimensionierten tiefen Venen.

20.3.4 Vena cava inferior (▶ Abb. 20.18)

Die V. cava inferior[1] führt das Blut aus den unteren Extremitäten, von den Beckenorganen und den Baucheingeweiden sowie aus der Bauchwand dem Herzen zu. Sie entsteht aus der Vereinigung der rechten und linken *V. iliaca communis*[13]. Die V. cava inferior verläuft am rechten Vorderseitenrand der Wirbelkörper nach kranial und entfernt sich dabei etwas von der links von ihr gelegenen Aorta abdominalis. Sie tritt durch das Foramen venae cavae im Centrum tendineum des Zwerchfells in den Brustraum, zieht 1–2 cm durch die Perikardhöhle und mündet in den rechten Vorhof.

Die V. cava inferior wird von der Radix mesenterii überkreuzt, steigt hinter Pars horizontalis duodeni, Caput pancreatis und Pars superior des Duodenum aufwärts und ist im Sulcus venae cavae tief in den Hinterrand der Leber eingebettet. Der V. cava inferior fließen folgende Venen zu:

- *Vv. phrenicae inferiores*[3] , Begleitvenen der A. phrenica inferior, von der Unterseite des lumbalen Zwerchfellanteils, wobei die V. phrenica inferior sinistra häufig doppelt ausgebildet ist und einen Venenast zur linken V. suprarenalis bzw. zur linken V. renalis entsendet,
- *Vv. lumbales III* und *IV,* Begleitvenen der entsprechenden Lumbalarterien,
- *Vv. hepaticae*[2] , kurze, dünnwandige, klappenlose Venen aus der Leber, die im Sulcus venae cavae in die V. cava inferior eintreten und deren Mündungen sich in 2 Gruppen gliedern lassen: in eine obere Gruppe mit 3 größeren Öffnungen für die *V. hepatica dextra* und *sinistra* (aus den jeweiligen Leberlappen) und für die *V. hepatica intermedia* (aus dem Lobus caudatus) sowie in eine untere Gruppe mit in der Zahl variierenden kleinen Lebervenen aus dem Lobus dexter und caudatus,
- *V. renalis*[8] , die im Nierenhilum aus der Vereinigung von meist 2 Nierenvenenästen entsteht, wobei die *linke* Nierenvene mit etwa 7,5 cm dreimal so lang ist wie die rechte. Die V. renalis nimmt *Vv. capsulares* von Nierenkapsel, Nierenbecken und aus der Umgebung der Niere auf sowie die *V. ovarica sinistra*[9] bzw. *V. testicularis sinistra* und die *V. suprarenalis sinistra*[7]. In der Regel kreuzt die V. renalis vor der Aorta. Gelegentlich ist zusätzlich oder allein eine *retroaortäre* Nierenvene ausgebildet,
- *V. suprarenalis dextra* vom Hilum der rechten Nebenniere,
- *V. ovarica dextra*[16] bzw. *V. testicularis dextra* vom rechten Ovar bzw. Hoden, die aus dem *Plexus pampiniformis* hervorgeht. Bei der Frau setzt sich das engmaschige Venengeflecht vom Hilum ovarii in das Lig. latum fort, beim Mann umgibt es die A. testicularis und den Samenstrang.

Die **V. iliaca communis**[13] geht vor dem Sakroiliakalgelenk aus der Vereinigung der V. iliaca interna und externa hervor. Die rechte V. iliaca communis ist kürzer als die linke und zieht ziemlich steil, über den N. obturatorius hinweg, zunächst dorsal, dann etwas lateral der Arterie nach kranial zur Vereinigungsstelle mit der linken V. iliaca communis an der rechten Seite des (4.) 5. Lendenwirbelkörpers. Die schräg verlaufende linke V. iliaca communis liegt peripher medial, dann dorsal von der Arterie. Sie wird von der Wurzel des Mesocolon sigmoideum und von den Vasa rectalia superiora überkreuzt. Auf dem Weg zur V. cava inferior unterkreuzt sie die A. iliaca communis dextra.

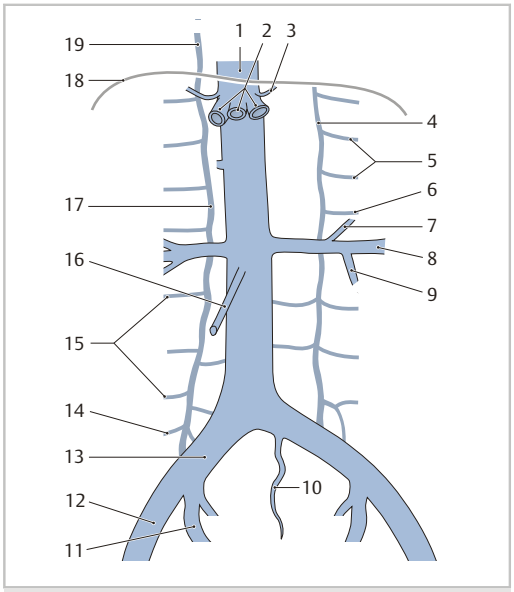


Abb. 20.18 Zuflüsse der V. cava inferior.
1 V. cava inferior
2 Vv. hepaticae
3 V. phrenica inferior
4 V. lumbalis ascendens sinistra (kraniale Fortsetzung: V. hemiazygos)
5 Vv. intercostales posteriores
6 V. subcostalis
7 V. suprarenalis sinistra
8 V. renalis
9 V. ovarica bzw. testicularis sinistra
10 V. sacralis mediana
11 V. iliaca interna
12 V. iliaca externa
13 V. iliaca communis
14 V. iliolumbalis
15 Vv. lumbales
16 V. ovarica bzw. testicularis dextra
17 V. lumbalis ascendens dextra
18 Diaphragma
19 kraniale Fortsetzung: V. azygos
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

In die V. iliaca communis münden:
- *V. iliolumbalis,* Begleitvene der A. iliolumbalis,
- die unpaare *V. sacralis mediana*, die Blut aus dem Plexus venosus sacralis und anderen Venengeflechten des Beckens in die *linke* V. iliaca communis führt.

Vena iliaca interna

Die klappenlose V. iliaca interna, die dorsal und etwas medial der gleichnamigen Arterie vom oberen Umfang des Foramen ischiadicum majus aufsteigt, nimmt (mit Ausnahme der V. iliolumbalis) die Begleitvenen der Äste der A. iliaca interna auf. Aus der Rumpfwand fließen ihr die *Vv. gluteales superiores, gluteales inferiores, obturatoriae, sacrales laterales* und *pudenda interna* zu. Die viszeralen Venenzuflüsse *Vv. vesicales, uterinae* und *rectales mediae* kommen aus dichten, schwellfähigen Venengeflechten, die die Beckenorgane umscheiden und untereinander anastomosieren, sodass sich mehrere Abflusswege ergeben. Als **Rumpfwandvenen** münden in die V. iliaca interna:
- *Vv. gluteae superiores* aus der Gesäßgegend, die durch die suprapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus in den Beckenraum gelangen und sich vor ihrer Mündung (oft) zu einem Gefäßstamm vereinigen,
- *Vv. gluteae inferiores,* die aus der Glutäalregion durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus zur V. iliaca interna ziehen,
- *Vv. obturatoriae,* die Blut aus den Adduktoren des Oberschenkels und aus der Beckenwand durch den Canalis obturatorius der V. iliaca interna oder der V. iliaca communis zuführen,
- *Vv. sacrales laterales,* die vor dem Kreuzbein – seitlich der Foramina sacralia anteriora – aufwärts ziehen und Blut aus dem *Plexus venosus sacralis* leiten, einem vor dem Kreuzbein ausgebreiteten Venengeflecht, das u. a. auch Abflüsse in die Vv. sacralis mediana und rectales mediae besitzt,
- die *V. pudenda interna,* Begleitvene der A. pudenda interna, die aus dem Canalis pudendalis durch das Foramen ischiadicum minus auf die Dorsalseite der Spina ischiadica tritt, durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus in den Beckenraum gelangt und Zuflüsse erhält über:
  - *Vv. rectales inferiores* aus dem unteren Teil des *Plexus venosus rectalis,* aus der Analregion und vom Damm,
  - *Vv. labiales posteriores* bzw. *Vv. scrotales posteriores* aus dem dorsalen Bereich der großen Schamlippen bzw. des Scrotums,
  - *V. bulbi vestibuli* bzw. *V. bulbi penis* aus dem Bulbus vestibuli bzw. Bulbus penis,
  - bei der Frau *Vv. profundae clitoridis* aus den Corpora cavernosa clitoridis, beim Mann *Vv. profundae penis* aus den Wurzeln der Corpora cavernosa und aus dem Corpus spongiosum penis,
  - bei der Frau Zweige der *V. dorsalis profunda clitoridis* aus Corpus und Glans clitoridis, die nach entsprechendem Verlauf den größten Teil des Blutes in den *Plexus venosus vesicalis* entsendet,
  - beim Mann Äste aus der *V. dorsalis profunda penis*, die meist unpaar vom Penisrücken beckenwärts zieht, zwischen Lig. arcuatum pubis und Lig. transversum perinei auf den Beckenboden gelangt und hauptsächlich über den *Plexus venosus prostaticus* ableitet.

Die **Eingeweideäste** der V. iliaca interna sind:
- *Vv. vesicales,* die sich vor der Einmündung in die V. iliaca interna meist zu einem Stamm vereinen, seitlich und oberhalb des Harnblasenkörpers individuell abgrenzbar werden und Blut ableiten aus:
  - *Plexus venosus vesicalis,* der den Blasengrund mit einem starken Venengeflecht umgibt und bei der Frau mit den Vv. uterinae anastomosiert,
  - bei der Frau *Plexus venosus vaginalis*, der die Scheide umgibt und mit den Plexus venosus vesicalis, Plexus venosus uterinus und Plexus venosus rectalis anastomosiert,
  - beim Mann *Plexus venosus prostaticus*, der die Prostata umschließt und mit den Plexus venosi vesicalis und rectalis verbunden ist,
- *Vv. rectales mediae* aus dem Mittelteil des Plexus venosus rectalis,
  - bei der Frau *Vv. uterinae*, die aus dem Bereich der Cervix uteri im basalen Teil des Lig. latum zur Seite ziehen und Blut aus dem *Plexus venosus uterinus* führen, der an der Außenfläche des Uterus, besonders stark an dessen Seitenkante, ausgebildet ist und mit dem Plexus venosus vaginalis und Plexus venosus vesicalis in Verbindung steht.

Vena iliaca externa

Die V. iliaca externa geht in der Lacuna vasorum aus der *V. femoralis* hervor, verläuft im großen Becken zunächst medial, dann dorsal der gleichnamigen Arterie, wird an der medialen Seite vom Ureter und von der A. iliaca interna, außerdem bei der Frau vom Lig. teres uteri und beim Mann vom Ductus deferens gekreuzt und vereinigt sich vor der Articulatio sacroiliaca mit der V. iliaca interna zur V. iliaca communis. Die meist klappenlose V. iliaca externa nimmt 2 Begleitvenen gleichnamiger Arterien auf:
- die *V. epigastrica inferior* dicht oberhalb des Lig. inguinale, die an der Hinterfläche des M. rectus abdominis mit den Vv. epigastricae superiores eine Anastomose zwischen der V. iliaca externa und der V. brachiocephalica bildet, also zwischen dem Drainagegebiet von V. cava superior und inferior. Außerdem steht die V. epigastrica inferior durch den *R. pubicus (V. obturatoria accessoria*) mit den Vv. obturatoriae in Verbindung und kann deren Zuflüsse übernehmen,
- die *V. circumflexa ilium profunda,* die etwa 2 cm oberhalb des Leistenbands, die A. iliaca externa von lateral überkreuzend, in die V. iliaca externa mündet.

Venen des Beins. Am Bein ist wie am Arm neben dem System der **tiefen Venen**, die meist doppelläufig die Arterien begleiten, ein Netz **oberflächlicher Venen** ausgebildet,

das letztlich in 2 kräftige Längsvenen drainiert: in die *V. saphena parva* (zur V. poplitea) und die *V. saphena magna* (zur V. femoralis). Beide Systeme, insbesondere die tiefen Venen, sind – reichlicher als die Venen der oberen Extremität – mit Venenklappen ausgestattet und stehen miteinander durch zahlreiche Anastomosen in Verbindung, wobei am Unterschenkel (nicht im Knöchelbereich) Venenklappen den Blutstrom von den oberflächlichen zu den tiefen Venen richten.

Die **V. femoralis** setzt im Adduktorenschlitz die *V. poplitea* nach proximal fort und ist – wie der proximale Teil der V. poplitea – nur einfach ausgebildet. Sie liegt distal dorsolateral von der A. femoralis, im Adduktorenkanal hinter ihr, im Trigonum femorale an deren medialer Seite und wird in der Lacuna vasorum zur V. iliaca externa. Die *V. femoralis* nimmt (außer Muskelästen) auf

- die epifasziale *V. saphena magna,* die 25–35 mm unterhalb des Leistenbandes durch den Hiatus saphenus in die Tiefe tritt,
- die *V. profunda femoris,* Begleitvene der A. profunda femoris, die etwa 5–12 cm distal vom Lig. inguinale einmündet und von Begleitvenen der Arterienäste, den *Vv. circumflexae mediales femoris, Vv. circumflexae laterales femoris* und *Vv. perforantes,* gespeist wird.

Die **V. saphena magna** beginnt als *V. marginalis medialis* am medialen Fußrand und leitet Blut von der Fußsohle, von den Venennetzen am Fußrücken (*Rete venosum dorsale pedis*) und am inneren Knöchel ab. Sie verläuft *ventral* des Malleolus medialis zur medialen Seite des Unterschenkels, *dorsal* des Condylus medialis des Femurs über das Kniegelenk hinweg und steigt an der medialen Vorderfläche des Oberschenkels zum Hiatus saphenus auf. An Fuß und Unterschenkel wird die V. saphena magna vom N. saphenus, am Knie auch vom R. saphenus der A. descendens genus begleitet.

Die V. saphena magna nimmt an Unter- und Oberschenkel zahlreiche oberflächliche Venen auf. Venen von der medialen und der hinteren Fläche des Oberschenkels können sich zu einer *V. saphena accessoria* vereinigen, die über eine gelegentlich ausgebildete *V. femoropoplitea* mit der V. saphena parva (nahe deren Einmündung in die V. poplitea) kommuniziert. Aus dem Venennetz an der Vorderseitenfläche des Oberschenkels kann Blut aus dem mittleren und dem distalen Drittel über eine auch als *V. cutanea anterior femoris* (*V. saphena accessoria lateralis*) bezeichnete Vene abgeleitet werden, die unterhalb des Hiatus saphenus mündet. Am Unterschenkel bestehen Anastomosen mit der V. saphena parva und über *Vv. perforantes* mit tiefen Venen.

Die V. saphena magna nimmt kurz vor Eintritt in die V. femoralis meist noch Begleitvenen kleiner, oberflächlicher Arterien auf, die ein variables Mündungsmuster zeigen können und gelegentlich auch direkt in die V. femoralis eintreten:

- *V. epigastrica superficialis* aus der Subcutis der vorderen Bauchwand, deren Äste in Nabelhöhe mit den Vv. thoracoepigastricae kommunizieren und so die V. cava inferior mit der V. cava superior verbindet,
- *V. circumflexa ilium superficialis* aus der Haut der Leistenregion,
- *Vv. pudendae externae* vom äußeren Genitale, denen *Vv. labiales anteriores* von der großen Schamlippe bzw. *Vv. scrotales anteriores* vom vorderen Teil des Scrotums zufließen und von denen eine die *Vv. dorsales superficiales clitoridis bzw. Vv. dorsales superficiales penis* aufnimmt.

Die **V. poplitea**, die in der distalen Etage der Fossa poplitea doppelt angelegt ist, geht aus der Vereinigung der *Vv. tibiales posteriores* und *anteriores* hervor und verläuft – zunächst zwischen dem N. tibialis und der in der Tiefe gelegenen A. poplitea, weiter proximal an der dorsolateralen Seite der Arterie – durch die Kniekehle zum Adduktorenschlitz. Sie nimmt außer Muskelästen und den *Vv. surales* und *geniculares* Begleitvenen der Äste der A. poplitea, in der oberen Etage die *V. saphena parva* auf.

Die **V. saphena parva** setzt die *V. marginalis lateralis* am äußeren Fußrand fort und erhält Zuflüsse aus dem *Rete venosum plantare* und aus dem Venennetz am Fußrücken (*Rete venosum dorsale pedis*). Sie zieht *hinter* dem Malleolus lateralis zur Wade, tritt durch die Fascia cruris und mündet zwischen den beiden Gastroknemiusköpfen in die A. poplitea. Am Unterschenkel bestehen Anastomosen zur V. saphena magna und zu tiefen Venen, am Oberschenkel können Verbindungen zur V. saphena accessoria (über die V. femoropoplitea) und zum Einzugsbereich der V. femoralis ausgebildet sein.

Die **Vv. tibiales anteriores** nehmen als Begleitvenen der gleichnamigen Unterschenkelarterie Blut aus deren Versorgungsgebiet auf. Zusammen mit V. saphena magna und parva drainieren sie das *Rete venosum dorsale pedis* am Fußrücken, das mit dem *Arcus venosus dorsalis pedis* in Verbindung steht. Dieser Venenbogen, der hauptsächlich über die Vv. saphenae ableitet, liegt den Mittelfußknochen dorsal auf. In ihn münden die *Vv. metatarsales dorsales,* die von den *Vv. digitales dorsales pedis* gespeist werden und über *Vv. intercapitulares* (*Vv. intercapitales*) Blut aus den plantaren Vv. metatarsales empfangen.

Die **Vv. tibiales posteriores**, Begleitvenen der A. tibialis posterior, nehmen am Unterschenkel Muskeläste und die *Vv. fibulares* auf. Von der Plantarseite des Fußes leiten sie den Teil des Blutes ab, der nicht über die Venen am Fußrücken und die Vv. saphenae abfließt. Die Vv. tibiales posteriores stehen mit dem *Rete venosum plantare* in der Subcutis der Fußsohle in Verbindung. Sie erhalten über die Begleitvenen der A. plantaris medialis und lateralis Blut aus dem *Arcus venosus plantaris* zugeführt, der den gleichnamigen Arterienbogen flankiert. In den Arcus venosus plantaris treten 4 *Vv. metatarsales plantares* ein, zu denen sich je 2 *Vv. digitales plantares* vereinigen.

Die plantaren Zehenvenen gehen aus Venennetzen hervor, die mit den dorsalen Zehenvenen anastomosieren. Die

Vv. metatarsales plantares leiten ihr Blut großenteils über *Vv. intercapitulares* dem Venennetz des Fußrückens zu. Subkutane Venen der Fußsohle stehen an den Zehenwurzeln über einen oberflächlichen plantaren Venenbogen miteinander in Verbindung, der sich am medialen und am lateralen Fußrand in die *V. marginalis medialis* und *lateralis*, die Wurzelvenen der Vv. saphenae, fortsetzt.

20.3.5 Venen der Wirbelsäule und des Rückenmarks

Die Venen der Wirbelsäule (Vv. columnae vertebralis) bilden engmaschige, quervernetzte, klappenlose Längsvenengeflechte. Diese bestehen aus einem vorderen und einen hinteren Plexus an der Außenfläche der Wirbelsäule (*Plexus venosi vertebrales externi*) und ebenso aus einem vorderen und einen hinteren Plexus im Wirbelkanal (*Plexus venosi vertebrales interni*). Diese 4 Plexus stehen untereinander in vielfacher Verbindung und leiten das Blut aus der Wirbelsäule und dem Rückenmark vor allem über folgende Wege ab:

- segmentale Venen: Vv. intercostales posteriores, Vv. intercostales lumbales, segmentale Zuflüsse der Vv. sacrales laterales),
- Längsvenen: V. vertebralis, V. cervicalis profunda, V. azygos, V. hemiazygos, V. hemiazygos accessoria und V. sacralis mediana.

Der weitere Abstrom verläuft sowohl über die V. cava superior als auch die V. cava inferior. Da der Blutstrom in den Wirbelvenenplexus nicht durch Venenklappen gerichtet wird, sind diese leistungsfähige Umgehungsstraßen bei Abflussbehinderungen.

Als **Plexus venosus vertebralis externus anterior** bezeichnet man die feinen Venennetze an der Vorderseitenfläche der Wirbelkörper, die teils vom Lig. longitudinale anterius bedeckt werden. Sie führen Blut aus den Wirbelkörpern (rotes Knochenmark) sowie aus dem vorderen Längsband und stehen über die im Alter erweiterten, von der Dorsalfläche durch die Wirbelkörper zur Vorderseitenfläche tretenden *Vv. basivertebrales* mit den Queranastomosen des Plexus venosus vertebralis internus anterior in Verbindung.

Der **Plexus venosus vertebralis externus posterior** liegt der Außenfläche der Wirbelbögen sowie den Dorn-, Gelenk- und Querfortsätzen auf und reicht kaudal bis zum Kreuzbein. Das Längsgeflecht wird von der autochthonen Rückenmuskulatur bedeckt (an der Halswirbelsäule ist eine zusätzliche „oberflächliche" Venenschicht zwischen den tiefen Nackenmuskeln ausgebildet) und empfängt Blut aus den Wirbelbögen und ihren Fortsätzen, aus dem Bandapparat, aus der Rückenmuskulatur und der Rückenhaut.

Die **Plexus venosi vertebrales interni anterior** und **posterior** bestehen aus epidural gelegenen, paarigen vorderen und hinteren Längsvenenkomplexen, die durch segmentale „Venenringe" – gebildet aus vorderen und hinteren Queranastomosen und beidseitigen „sagittalen" Anastomosen – miteinander in Verbindung stehen. Jeder Längsvenenkomplex ist im Prinzip ein vielfach vernetztes Längsvenenpaar. Die Längszüge des Plexus venosus vertebralis internus anterior liegen auf der Dorsalfläche der Wirbelkörper und der Bandscheiben, und zwar beidseits des hinteren Längsbandes und teils auch von diesem bedeckt. Der Längsvenenkomplex des Plexus venosus vertebralis internus posterior verläuft paramedian auf der Innenfläche der Wirbelbögen. Anastomosen, die durch die Ligg. flava treten, verbinden den inneren und äußeren Plexus venosus vertebralis posterior.

Der Abfluss des Blutes aus den Plexus venosi vertebrales interni und aus den Vv. spinales (vom Rückenmark und den Rückenmarkhäuten), teils auch vom äußeren Wirbelvenenplexus, verläuft über segmentale *Vv. intervertebrales*, die durch die Foramina intervertebralia austreten und in die V. vertebralis, Vv. intercostales posteriores, V. subcostalis, Vv. lumbales und Vv. sacrales laterales münden. Diese Venen sowie die V. cervicalis profunda und die V. sacralis mediana erhalten auch direkte Zuflüsse aus den äußeren Wirbelvenenplexus.

Am kranialen Ende der Wirbelsäule gibt es folgende Verbindungen der Venenplexus:

- vom Plexus venosus vertebralis externus posterior über subokzipitale Venenplexus und Vv. emissariae mit dem Sinus occipitalis und dem Sinus sigmoideus,
- vom Plexus venosus vertebralis internus anterior zum Plexus basilaris,
- vom Plexus venosus vertebralis internus posterior zum Sinus marginalis und Sinus occipitalis.

Die **Vv. spinales anteriores** und **posteriores** bilden feinmaschige Venennetze in der Pia mater spinalis, in denen sich vordere und hintere Längsstämme bilden. Diese nehmen das Blut aus dem Rückenmark auf und leiten es in die Plexus venosi vertebralis interni und die Vv. intervertebrales ab. Am kranialen Ende des Wirbelkanals stehen die Vv. spinales mit der V. vertebralis und den Vv. inferiores cerebelli sowie mit dem Sinus petrosus inferior in Verbindung.

20.3.6 Pfortader (▶ Abb. 20.19)

Die Pfortader (**V. portae**[1]), sammelt das Blut aus Magen, Darm, Milz und Gallenblase. Sie entsteht in Höhe des 2. Lendenwirbels hinter dem Pancreaskopf oder an der Grenze von Pancreaskopf und -körper aus dem Zusammenfluss der *V. mesenterica superior*[21] und der *V. splenica*[10], die nahezu in rechtem Winkel aufeinandertreffen. Die V. portae zieht vor der V. cava inferior leicht schräg nach rechts aufwärts, unterkreuzt die Pars superior duodeni und liegt im Lig. hepatoduodenale dorsal zwischen Ductus choledochus (rechts) und A. hepatica propria (links). Nahe der Leberpforte teilt sie sich in den *R. dexter*, der eine singuläre *V. cystica*[3] aufnehmen kann, und in den längeren *R. sinister*, in den über das Lig. teres hepatis *Vv. paraumbilicales*[2] eintreten. Die V. portae nimmt außerdem noch folgende Zuflüsse auf:

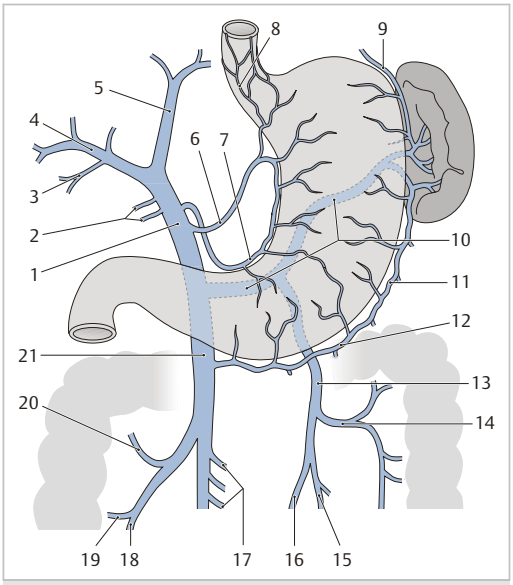


Abb. 20.19 Wurzelvenen der V. portae und deren Zuflüsse.

1 V. portae
2 Vv. paraumbilicales
3 V. cystica
4 R. sinister venae portae hepatis
5 R. dexter venae portae hepatis
6 V. gastrica sinistra
7 V. gastrica dextra
8 Vv. oesophageales
9 Vv. gastricae breves
10 V. splenica
11 V. gastroomentalis sinistra
12 V. gastroomentalis dextra
13 V. mesenterica inferior
14 V. colica sinistra
15 Vv. sigmoideae
16 V. rectalis superior
17 Vv. jejunales
18 V. ileocolica
19 V. colica dextra
20 V. colica media
21 V. mesenterica superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- *V. gastrica sinistra*[6] und *dextra*[7], Begleitvenen der gleichnamigen Arterien, die an der kleinen Kurvatur einen Venenbogen (*V. coronaria gastri*) bilden können,
- *V. prepylorica* aus der Vorderfläche der Pylorusregion, die auch in die V. gastrica dextra münden kann.

Die **V. mesenterica superior**[21] zieht aus dem Bereich der Darmbeingrube im Mesenterium steil kranialwärts, tritt rechts von der A. mesenterica superior durch die Incisura pancreatis hinter den Pancreaskopf und erhält aus deren Versorgungsgebiet Blut. Die V. mesenterica superior nimmt auf:

- *Vv. jejunales*[17] und *Vv. ileales* von Jejunum und Ileum,
- *V. gastroomentalis [gastroepiploica] dextra*[12] von der großen Kurvatur des Magens,
- *Vv. pancreaticae* aus dem Pancreas,
- *Vv. pancreaticoduodenales* aus dem Grenzgebiet von Duodenum und Pancreaskopf,
- *V. ileocolica*[18] aus der Ileozäkalregion, der die *V. appendicularis* vom Wurmfortsatz zufließt,
- *V. colica dextra*[19] vom Colon ascendens,
- *V. colica media*[20] vom Colon transversum.

Die **V. splenica**[10], zu der sich 5–6 Milzvenenäste nahe dem Hilum splenicum im Lig. splenorenale vereinigen, verläuft hinter dem Pancreaskörper – kaudal der A. splenica und im Gegensatz zu ihr ziemlich gestreckt – über die linke Niere oder den Unterrand der linken Nebenniere hinweg nach rechts und erhält Zuflüsse von:

- *Vv. pancreaticae* aus dem Pancreas,
- *Vv. gastricae breves*[9] vom Magenfundus über das Lig. gastrosplenicum,
- die *V. gastroomentalis [gastroepiploica] sinistra*[11] von der großen Kurvatur des Magens über das Lig. gastrosplenicum,
- die *V. mesenterica inferior*[13] (70 % der Fälle), die als *V. rectalis superior* aus dem Plexus venosus rectalis hervorgeht und über ihn mit den Vv. rectales mediae und inferiores anastomosiert. Die V. rectalis superior kreuzt A. und V. iliaca communis sinistra, nimmt *Vv. sigmoideae* vom Colon sigmoideum auf und geht in die *V. mesenterica inferior* über, die links der A. mesenterica inferior auf dem linken M. psoas major aufsteigt, die *V. colica sinistra* vom Colon descendens aufnimmt, links der Flexura duodenojejunalis in der Plica duodenalis superior verläuft und schließlich hinter dem Pancreaskörper in die V. lienalis (splenica) mündet. Die V. mesenterica inferior kann auch in die V. mesenterica superior oder in die Vereinigungsstelle der beiden Wurzelvenen der Pfortader eintreten.

20.4 Systematik der Lymphstämme und Lymphknoten

20.4.1 Lymphstämme (► Abb. 20.20)

Die Lymphe fließt im Prinzip über 2 große Lymphstämme zurück in die Blutbahn. Beide münden in den Angulus venosus ihrer Körperseite. Der *Ductus lymphaticus dexter* leitet Lymphe aus der rechten oberen Körperhälfte (rechte Seite von Kopf, Hals, Brustwand und Brusteingeweiden sowie rechte obere Extremität) und von der Zwerchfellfläche der Leber ab. Der *Ductus thoracicus* ist das Sammelgefäß für die Lymphe aus allen übrigen Körperbereichen.

Der **Ductus lymphaticus [thoracicus] dexter**[6], etwa 1 cm lang und an der Mündung mit einer doppelten Klappe ausgestattet, entsteht am ventromedialen Rand des

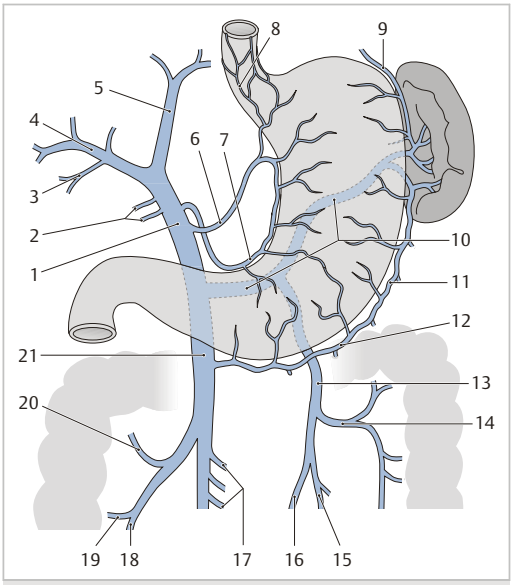


Abb. 20.19 Wurzelvenen der V. portae und deren Zuflüsse.

1 V. portae
2 Vv. paraumbilicales
3 V. cystica
4 R. sinister venae portae hepatis
5 R. dexter venae portae hepatis
6 V. gastrica sinistra
7 V. gastrica dextra
8 Vv. oesophageales
9 Vv. gastricae breves
10 V. splenica
11 V. gastroomentalis sinistra
12 V. gastroomentalis dextra
13 V. mesenterica inferior
14 V. colica sinistra
15 Vv. sigmoideae
16 V. rectalis superior
17 Vv. jejunales
18 V. ileocolica
19 V. colica dextra
20 V. colica media
21 V. mesenterica superior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- *V. gastrica sinistra*[6] und *dextra*[7], Begleitvenen der gleichnamigen Arterien, die an der kleinen Kurvatur einen Venenbogen (*V. coronaria gastri*) bilden können,
- *V. prepylorica* aus der Vorderfläche der Pylorusregion, die auch in die V. gastrica dextra münden kann.

Die **V. mesenterica superior**[21] zieht aus dem Bereich der Darmbeingrube im Mesenterium steil kranialwärts, tritt rechts von der A. mesenterica superior durch die Incisura pancreatis hinter den Pancreaskopf und erhält aus deren Versorgungsgebiet Blut. Die V. mesenterica superior nimmt auf:

- *Vv. jejunales*[17] und *Vv. ileales* von Jejunum und Ileum,
- *V. gastroomentalis [gastroepiploica] dextra*[12] von der großen Kurvatur des Magens,
- *Vv. pancreaticae* aus dem Pancreas,
- *Vv. pancreaticoduodenales* aus dem Grenzgebiet von Duodenum und Pancreaskopf,
- *V. ileocolica*[18] aus der Ileozäkalregion, der die *V. appendicularis* vom Wurmfortsatz zufließt,
- *V. colica dextra*[19] vom Colon ascendens,
- *V. colica media*[20] vom Colon transversum.

Die **V. splenica**[10], zu der sich 5–6 Milzvenenäste nahe dem Hilum splenicum im Lig. splenorenale vereinigen, verläuft hinter dem Pancreaskörper – kaudal der A. splenica und im Gegensatz zu ihr ziemlich gestreckt – über die linke Niere oder den Unterrand der linken Nebenniere hinweg nach rechts und erhält Zuflüsse von:

- *Vv. pancreaticae* aus dem Pancreas,
- *Vv. gastricae breves*[9] vom Magenfundus über das Lig. gastrosplenicum,
- die *V. gastroomentalis [gastroepiploica] sinistra*[11] von der großen Kurvatur des Magens über das Lig. gastrosplenicum,
- die *V. mesenterica inferior*[13] (70 % der Fälle), die als *V. rectalis superior* aus dem Plexus venosus rectalis hervorgeht und über ihn mit den Vv. rectales mediae und inferiores anastomosiert. Die V. rectalis superior kreuzt A. und V. iliaca communis sinistra, nimmt *Vv. sigmoideae* vom Colon sigmoideum auf und geht in die *V. mesenterica inferior* über, die links der A. mesenterica inferior auf dem linken M. psoas major aufsteigt, die *V. colica sinistra* vom Colon descendens aufnimmt, links der Flexura duodenojejunalis in der Plica duodenalis superior verläuft und schließlich hinter dem Pancreaskörper in die V. lienalis (splenica) mündet. Die V. mesenterica inferior kann auch in die V. mesenterica superior oder in die Vereinigungsstelle der beiden Wurzelvenen der Pfortader eintreten.

20.4 Systematik der Lymphstämme und Lymphknoten

20.4.1 Lymphstämme (► Abb. 20.20)

Die Lymphe fließt im Prinzip über 2 große Lymphstämme zurück in die Blutbahn. Beide münden in den Angulus venosus ihrer Körperseite. Der *Ductus lymphaticus dexter* leitet Lymphe aus der rechten oberen Körperhälfte (rechte Seite von Kopf, Hals, Brustwand und Brusteingeweiden sowie rechte obere Extremität) und von der Zwerchfellfläche der Leber ab. Der *Ductus thoracicus* ist das Sammelgefäß für die Lymphe aus allen übrigen Körperbereichen.

Der **Ductus lymphaticus [thoracicus] dexter**[6], etwa 1 cm lang und an der Mündung mit einer doppelten Klappe ausgestattet, entsteht am ventromedialen Rand des

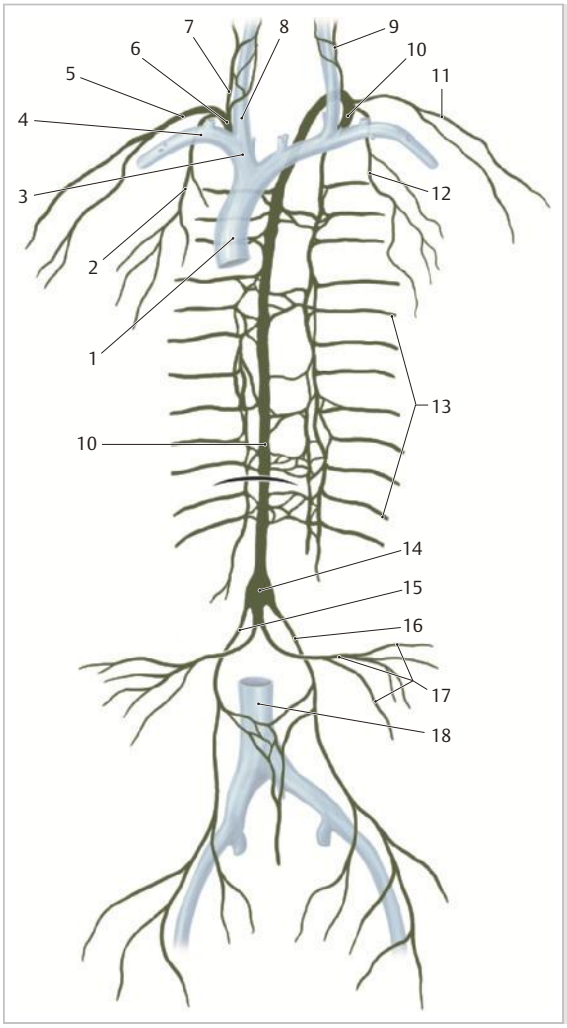


Abb. 20.20 Lymphstämme.
1 V. cava superior
2 Truncus bronchomediastinalis dexter
3 V. brachiocephalica
4 V. subclavia
5 Truncus subclavius dexter
6 Ductus lymphaticus dexter
(Mündung im Angulus venosus dexter)
7 Truncus jugularis dexter
8 V. jugularis interna
9 Truncus jugularis sinister
10 *Ductus thoracicus*
(Mündung im Angulus venosus sinister)
11 Truncus subclavius sinister
12 Truncus bronchomediastinalis sinister
13 Vasa lymphatica intercostalia
14 Cisterna chyli
15 Truncus lumbalis dexter
16 Truncus lumbalis sinister
17 Trunci intestinales
18 V. cava inferior
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

rechten M. scalenus anterior aus der Vereinigung des *rechten Truncus jugularis, subclavius* und *bronchomediastinalis*.

Häufig (nach manchen Autoren in bis zu 80 % der Fälle) münden diese Lymphgefäßstämme jedoch separat in den Venenwinkel oder in eine der beiden Venen, sodass kein Ductus lymphaticus dexter gebildet wird.

Der Milchbrustgang (**Ductus thoracicus**[10]) ist beim Erwachsenen etwa 40 cm lang und mit mehreren Klappen ausgestattet. Eine doppelte Klappe an der Mündungsstelle verhindert, dass Blut in die Lymphbahn zurückströmt. Er geht aus der Vereinigung des rechten und linken *Truncus lumbalis*[15], [16] und der *Trunci intestinales*[17] im Hiatus aorticus hervor. Hier ist der Lymphstamm in der Regel zur *Cisterna chyli* erweitert. die meist vor dem 1. und 2. Lendenwirbelkörper liegt. Mündungsnah nimmt der Ductus thoracicus in der Regel den *linken Truncus jugularis*[9], *subclavius*[11] und *bronchomediastinalis*[12] auf.

Der Ductus thoracicus tritt aus dem Bauchraum durch den Hiatus aorticus in das hintere Mediastinum und steigt zwischen Aorta (links vorn) und V. azygos (rechts) bis in Höhe des 4.–6. Brustwirbels auf. Er verläuft ventral des vorderen Längsbands, vor den rechten Interkostalarterien und vor dem queren Mündungsteil der Vv. hemiazygos bzw. hemiazygos accessoria. Etwa in Höhe des 5. Brustwirbels kreuzt er im oberen Mediastinum die Hinter- und linke Seitenfläche des Oesophagus und zieht steil nach lateral ansteigend – über den Arcus aortae hinweg – bis in Höhe des 7. Halswirbels. Er senkt sich dann vor dem linken M. scalenus anterior als *Arcus ductus thoracici* zur Vereinigungsstelle der linken V. jugularis interna mit der V. subclavia, an die er von hinten herantritt. Der ansteigende Abschnitt des Arcus

ductus thoracici verläuft ventral der Vasa vertebralia sinistra, des N. phrenicus sinister und des linken Truncus thyrocervicalis sowie dorsal von N. vagus, A. carotis communis und V. jugularis interna der linken Seite. Der Bogenscheitel liegt 3–4 cm oberhalb der Clavicula. Der Ductus thoracicus kann am Anfang, in seinem Verlauf und irn Mündungsbereich vielfältige Varianten aufweisen.

Er nimmt auf in der **Pars abdominalis**:
- *Truncus lumbalis dexter*[15] und *sinister*[16], die – gelegentlich auf einer oder beiden Seiten doppelt ausgebildet – die Aa. iliacae communes und die Aorta abdominalis begleiten und Lymphe aus der unteren Extremität und der Rumpfwand unterhalb des Nabels, aus den Becken- und einem Teil der Baucheingeweide führen,
- die *Trunci intestinales*[17] (mitunter auch zu einem einzigen Stamm vereinigt), deren Zuflüsse mit den Ästen der A. mesenterica superior und inferior verlaufen und Lymphe aus dem Magen-Darm-Trakt und der Milz ableiten,
- ein durch das Zwerchfell absteigendes Lymphstämmchen, das Lymphe aus den kaudalen 6–7 Interkostallymphknoten beider Seiten sammelt;

in der **Pars thoracica**:
- *Vasa lymphatica intercostalia*[13] und über ein paariges, aufsteigendes Lymphgefäßstämmchen Lymphe aus den oberen Lumballymphknoten,
- Lymphgefäße aus den Nodi lymphoidei mediastinales posteriores;

in der **Pars cervicalis** nahe der Mündung:
- eine Lymphbahn von den Nodi lymphoidei parasternales der linken Seite,
- den *Truncus bronchomediastinalis sinister*[12] aus der linken Hälfte des Mediastinum (u. a. mit Lymphe aus der linken Lunge), der allerdings häufiger selbstständig in den linken Venenwinkel eintritt,
- den *Truncus subclavius sinister*[11], der die V. subclavia sinistra begleitet und Lymphe aus der linken oberen Extremität zuführt,
- den *Truncus jugularis sinister*[9], der Lymphe von der linken Seite von Kopf und Hals aus den tiefen seitlichen Halslymphknoten ableitet und lateral des mündungsnahen Teilstücks der linken V. jugularis interna verläuft.

20.4.2 Lymphknoten

Tab. 20.1 Lymphknoten an Kopf und Hals (▶ Abb. 20.21).

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei occipitales[1]	Linea nuchalis superior	Haut der Scheitel- und der Hinterhauptsregion und des Nackens	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi
Nodi lymphoidei mastoidei[2]	auf dem Processus mastoideus	Hinterfläche der Ohrmuschel, Kopfhaut in der Nachbarschaft des Processus mastoideus, Cellulae mastoideae	
Nodi lymphoidei parotidei superficiales[3]	auf der Fascia parotidea, vor dem Tragus	Vorderfläche der Ohrmuschel, Haut der Stirn- und der Schläfenregion, lateraler Teil der Augenlider und der Bindehaut	
Nodi lymphoidei parotidei profundi[3]:	unter der Fascia parotidea und in der Glandula parotidea	äußerer Gehörgang, Paukenhöhle, Glandula parotidea, Nasenwurzel, lateraler Teil der Augenlider und der Bindehaut	
• Nodi lymphoidei preauriculares	vor der Auricula		
• Nodi lymphoidei infraauriculares	unterhalb der Auricula		
• Nodi lymphoidei intraglandulares	innerhalb der Glandula parotidea		
Nodi lymphoidei submandibulares[6]	in der Nachbarschaft der Glandula submandibularis	medialer Anteil der Augenlider und der Bindehaut: Stirn, Nase und Nasenhöhle; Haut und Schleimhaut	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi

Tab. 20.1 Fortsetzung

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
		der Lippen und der Wange; Unterschläfengrube; vorderer Abschnitt des Epipharynx, Gaumen; Zähne, Zahnfleisch, Zunge (über inkonstante *Nodi lymphoidei linguales* an der Außenfläche des M. hyoglossus und zwischen den Mm. genioglossi), Mundboden	
inkonstant vorgeschaltete Nodi lymphoidei faciales:			
Nodus buccinatorius[4]	auf dem M. buccinator		
Nodus nasolabialis	unter der Nasolabialfurche		
Nodus malaris	im Wangenbereich		
Nodus mandibularis	auf dem Corpus mandibulae an der V. facialis		
Nodi lymphoidei submentales[5]	zwischen den beiden vorderen Bäuchen der Mm. digastrici	Mitte der Unterlippe, Kinn, Zungenspitze, Mundboden, auch Alveolen und Zahnfleisch der Frontzähne des Unterkiefers	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi, teils über Nodi lymphoidei submandibulares
Nodi lymphoidei retropharyngeales	an Seiten- und Hinterwand des Pharynx in Höhe des Atlas	oberer und mittlerer Schlundbereich, Ohrtrompete, Paukenhöhle, hinterer Teil der Nasenhöhle	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi
Nodi lymphoidei cervicales anteriores:			
Nodi lymphoidei cervicales anteriores superficiales	längs der V. jugularis anterior	Haut der Vorderseite des Halses	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi, teils Nodi lymphoidei cervicales anteriores profundi
Nodi lymphoidei cervicales anteriores profundi:			
• Nodi lymphoidei infrahyoidei	auf der Membrana thyrohyoidea	obere Kehlkopfhälfte, sofern die Lymphe aus diesem Bereich nicht direkt der lateralen Gruppe der tiefen Halslymphknoten zugeleitet wird	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi
• Nodi lymphoidei prelaryngeales	auf dem Lig. cricothyroideum medianum	untere Kehlkopfhälfte, teils Nodi lymphoidei thyroidei	
• Nodi lymphoidei thyroidei	an der Schilddrüse	Schilddrüse	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi (direkt und indirekt), teils Ductus thoracicus
• Nodi lymphoidei pretracheales und paratracheales	vor und seitlich der Trachea, eng benachbart den Vv. thyroideae inferiores	untere Kehlkopfhälfte, Halsteil der Trachea, teils Nodi lymphoidei thyroidei	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi

Tab. 20.1 Fortsetzung

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei cervicales laterales[7]:			
Nodi lymphoidei cervicales laterales superficiales	längs der V. jugularis externa	unterer Teil der Ohrmuschel und der Glandula parotidea, seitliche Halshaut	Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi
Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi superiores und inferiores	längs der V. jugularis interna	aus der Umgebung, von allen Lymphknoten an Kopf und Hals	
• Nodi lymphoidei anteriores	vor der V. jugularis interna		Truncus jugularis
• Nodi lymphoidei laterales	lateral der V. jugularis interna		
• Nodus jugulodigastricus	an der Kreuzung von V. jugularis interna und hinterem Bauch des M. digastricus	Tonsilla palatina, Zungengrund, Rachenwand	
• Nodus juguloomohyoideus	an der Kreuzung von V. jugularis interna und oberem Bauch des M. omohyoideus	Zunge	
• Nodi lymphoidei supraclaviculares	zwischen Clavicula und M. omohyoideus, unter der Lamina pretrachealis der Fascia cervicalis	untere Hals- und Rachengegend; Schilddrüse, Trachea, Oesophagus, Nodi lymphoidei mediastinales anteriores und axillares profundi	Truncus jugularis, Truncus subclavius

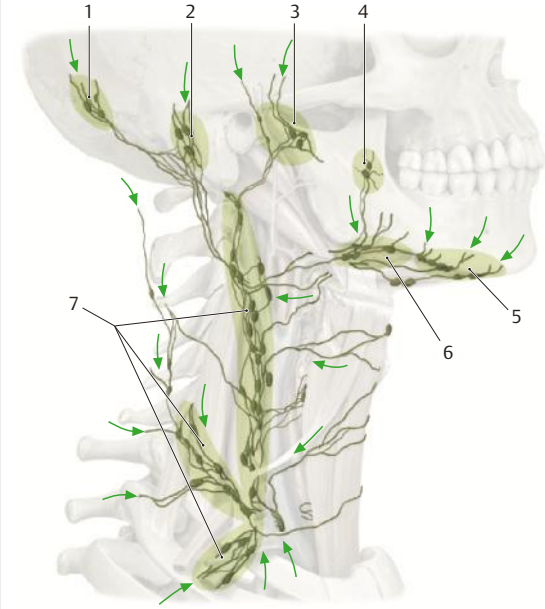
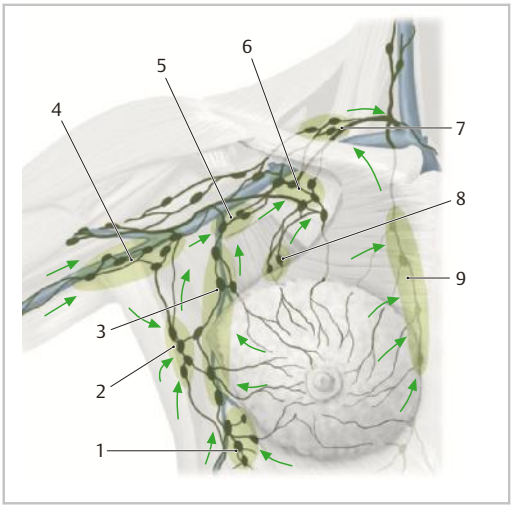


Abb. 20.21 Lymphabflüsse und Lymphknoten an Kopf und Hals.
1 Nodi lymphoidei occipitales
2 Nodi lymphoidei mastoidei
3 Nodi lymphoidei parotidei superficiales und profundi
4 Nodus buccinatorius
5 Nodi lymphoidei submentales
6 Nodi lymphoidei submandibulares
7 Nodi lymphoidei cervicales laterales profundi
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 20.2 Lymphknoten an oberer Extremität und Brustwand (▶ Abb. 20.22).

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei axillares:			
Nodi lymphoidei cubitales	auf der Fascia brachii, medial der V. basilica, als Nodi lymphoidei supratrochleares auch oberhalb des Epicondylus medialis humeri	Haut der Medialseite des Unterarms	Nodi lymphoidei axillares laterales
	tiefe Lymphknoten in der Fossa cubitalis	tiefe Teile der Hand und des Unterarms	
Nodi lymphoidei axillares superficiales:			
• Nodi lymphoidei axillares laterales[2]	am medialen und dorsalen Umfang der V. axillaris, teils oberflächlich zur Fascia axillaris	gesamter Arm (ausgenommen die mit der V. cephalica verlaufenden Lymphgefäße, die in die Nodi lymphoidei axillares centrales oder apicales eintreten)	Plexus lymphaticus axillaris zu Nodi lymphoidei axillares centrales und apicales
• Nodi lymphoidei axillares pectorales[3]	am Unterrand des M. pectoralis minor, auf dem M. serratus anterior längs der Vasa thoracica lateralia	vordere und seitliche Brustwand, zentraler und lateraler Teil der Brustdrüse (teils über Nodi lymphoidei paramammarii am Seitenrand der Mamma), vordere Bauchwand oberhalb des Nabels	
• Nodi lymphoidei axillares subscapulares[4]	zwischen M. subscapularis und M. teres major um die Vasa subscapularia	Haut und Muskeln der unteren Nackenregion; dorsaler Schulterbereich, hintere Brustwand	
• Nodi lymphoidei axillares interpectorales[8]	zwischen den beiden Mm. pectorales	Brustdrüse	Nodi lymphoidei axillares centrales und apicales
• Nodi lymphoidei axillares brachiales	zwischen M. deltoideus und M. pectoralis major, als Nodi lymphoidei axillares deltopectorales [infraclaviculares] längs der V. cephalica im Trigonum clavipectorale	radiale Seite des Arms	Nodi lymphoidei axillares apicales, selten über die Clavicula hinweg zu den Nodi lymphoidei supraclaviculares
Nodi lymphoidei axillares profundi:			
• Nodi lymphoidei axillares centrales[5]	auf der Unterfläche des M. subscapularis	vorgenannte Lymphknoten der Achselhöhle	Nodi lymphoidei axillares apicales
• Nodi lymphoidei axillares apicales[6]	unter dem M. pectoralis minor und unterhalb der Clavicula längs der V. subclavia	alle Nodi lymphoidei axillares	Truncus subclavius



◀ **Abb. 20.22 Lymphabflüsse und Lymphknoten der Achselhöhle und der Brustwand.**
1 Nodi lymphoidei paramammarii
2 Nodi lymphoidei axillares laterales
3 Nodi lymphoidei axillares pectorales
4 Nodi lymphoidei axillares subscapulares
5 Nodi lymphoidei axillares centrales
6 Nodi lymphoidei axillares apicales
7 Nodi lymphoidei supraclaviculares
8 Nodi lymphoidei interpectorales
9 Nodi lymphoidei parasternales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Tab. 20.3 Parietale Lymphknoten des Brustraums.

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei parasternales	längs der Vasa thoracica interna, lateral des Sternalrands	vordere Brustwand, Brustdrüse, Pleura parietalis, vordere Bauchwand oberhalb des Nabels, Zwerchfell, Zwerchfellfläche der Leber	Ductus lymphaticus dexter (rechts), Ductus thoracicus (links) oder direkt in den jeweiligen Venenwinkel
Nodi lymphoidei intercostales	dorsaler Abschnitt der Interkostalräume, nahe den Rippenköpfen	Wand der Interkostalräume, Brustdrüse, Pleura parietalis	Ductus thoracicus, obere Lymphknoten der rechten Seite auch in den Ductus lymphaticus dexter, untere Lymphknoten zur Cisterna chyli
Nodi lymphoidei prevertebrales	zwischen Wirbelsäule und Oesophagus	unmittelbare Umgebung, Nodi lymphoidei intercostales	Ductus thoracicus
Nodi lymphoidei phrenici superiores	hinter der Basis des Processus xiphoideus und hinter der Knochen-Knorpel-Grenze der 7. Rippe	Pleura diaphragmatica, Zwerchfell, Leber	Nodi lymphoidei parasternales, Nodi lymphoidei mediastinales anteriores und posteriores
Nodi lymphoidei prepericardiales	zwischen Sternum und Perikard	Sternum und Vorderfläche des Perikards	Nodi lymphoidei parasternales, Nodi lymphoidei mediastinales anteriores
Nodi lymphoidei pericardiales laterales	zwischen Perikard und Pleura mediastinalis, um den N. phrenicus	Perikard, Pleura mediastinalis, Zwerchfell, Zwerchfellfläche der Leber	

Tab. 20.4 Viszerale Lymphknoten des Brustraums.

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei mediastinales anteriores	im vorderen Mediastinum, ventral des Arcus aortae und um die brachiocephalicae, gelegentlich als Nodus ligamentil artenosi am Lig. arteriosum	Thymus, Perikard, Herz	Truncus bronchomediastinalis
Nodi lymphoidei mediastinales posteriores	im oberen und hinteren Mediastinum	Lunge, Bronchien, Trachea, Oesophagus, Perikard, Herz, Pleura mediastinalis, Zwerchfell, Zwerchfellfläche der Leber	Truncus bronchomediastinalis, Ductus thoracicus
besonders benannt sind:			
• Nodi lymphoidei pulmonales	intrapulmonal an der Teilungsstelle der Lappenbronchien		
• Nodi lymphoidei bronchopulmonales	im Lungenhilum		
• Nodi lymphoidei tracheobronchiales inferiores	an der Bifurcatio tracheae zwischen den beiden Bronchi principales		
• Nodi lymphoidei tracheobronchiales superiores	an der Bifurcatio tracheae zwischen Trachea und rechtem bzw. linkem Bronchus principalis		
• Nodi lymphoidei juxtaoesophageales	neben dem Oesophagus		
• Nodi lymphoidei paratracheales	beidseits der Trachea		
• Nodus arcus venae azygos (inkonstant)	zwischen Arcus venae azygos und Bronchus principalis dexter		

Tab. 20.5 Parietale Lymphknoten des Bauchraums.

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei lumbales [lumbares]		Zwerchfell, hintere Bauchwand, Nebenniere, Niere, Nierenbecken, Harnleiter, Ovar, Eileiter, Fundus und Corpus uteri, Hoden, Nebenhoden, Lymphknoten der unteren Extremität, der Becken- und Bauchwand sowie der Becken- und Bauchorgane	Truncus lumbaris, Truncus intestinalis (für Lymphe aus dem Magen-Darm-Trakt)
Nodi lymphoidei lumbales sinistri:	längs der Aorta abdominalis		
• Nodi lymphoidei aortici laterales	links der Aorta		
• Nodi lymphoidei preaortici	vor der Aorta		
• Nodi lymphoidei postaortici	hinter der Aorta, vor der Wirbelsäule		
Nodi lymphoidei lumbales intermedii	zwischen Aorta und V. cava inferior		
Nodi lymphoidei lumbales dextri:	längs der V. cava inferior		
• Nodi lymphoidei cavales laterales	rechts der V. cava inferior		
• Nodi lymphoidei precavales	vor der V. cava inferior		

Tab. 20.5 Fortsetzung

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
• Nodi lymphoidei postcavales	hinter der V. cava inferior		
Nodi lymphoidei phrenici inferiores	abdominale Zwerchfellfläche, nahe Hiatus aorticus	Zwerchfell, Leber, gelegentlich auch Nebenniere	Ductus thoracicus
Nodi lymphoidei epigastrici inferiores	längs der A. epigastrica inferior	vordere Bauchwand im Versorgungsgebiet der A. epigastrica inferior	Nodi lymphoidei iliaci externi

Tab. 20.6 Viszerale Lymphknoten des Bauchraums.

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei coeliaci	um den Truncus coeliacus, von den Nodi lymphoidei preaortici häufig nicht eindeutig abgrenzbar	Lymphknoten des Magens und des Dünndarms, der Leber, der Gallenblase, des Pancreas und der Milz	Truncus intestinalis
Nodi lymphoidei gastrici sinistri und dextri	längs der Aa. gastricae an der kleinen Kurvatur mit variablem Lymphknotenring an der Cardia (Anulus lymphaticus cardiae)	abdominaler Teil des Oesophagus, Magen im Bereich der kleinen Kurvatur	Nodi lymphoidei coeliaci, Nodi lymphoidei preaortici, Nodi lymphoidei aortici laterales, Truncus intestinalis oder Truncus lumbaris
Nodi lymphoidei gastroomentales dextri und sinistri	längs der Aa. gastroomentales an der großen Kurvatur	Magen, Omentum majus	Nodi lymphoidei pylorici und hepatici, Nodi lymphoidei preaortici (rechter Teil der großen Kurvatur), Nodi lymphoidei pancreatici superiores, Nodi lymphoidei aortici laterales (linker Teil), Truncus intestinalis
Nodi lymphoidei pylorici:	um den Pylorus	Pars pylorica des Magens, Duodenum, Pancreaskopf	Nodi lymphoidei hepatici, Nodi lymphoidei coeliaci, Nodi lymphoidei preaortici
• Nodus suprapyloricus	an der A. gastrica dextra, oberhalb der Pars pylorica		
• Nodi subpylorici	unterhalb der Pars pylorica		
• Nodi retropylorici	hinter der Pars pylorica		
Nodi lymphoidei pancreatici superiores	Oberrand des Pancreaskörpers, längs der A. splenica	Pancreas, Duodenum, Milz (über Nodi lymphoidei splenici [lienales] am Milzhilum)	Nodi lymphoidei aortici laterales, Nodi lymphoidei preaortici (teils über Nodi lymphoidei hepatici, teils über Nodi lymphoidei coeliaci), Truncus intestinalis
Nodi lymphoidei pancreatici inferiores	Unterrand des Pancreaskörpers, mediale Gruppe nahe der A. pancreaticoduodenalis und der V. mesenterica inferior	Pancreas, Duodenum	Nodi lymphoidei aortici laterales, Nodi lymphoidei preaortici, teils auch Nodi lymphoidei mesenterici superiores, Truncus intestinalis
Nodi lymphoidei pancreaticoduodenales superiores und inferiores	zwischen Pancreaskopf und Duodenum längs der Aa. pancreaticoduodenales	Pancreaskopf, Duodenum	Nodi lymphoidei hepatici (obere Gruppe), Nodi lymphoidei mesenterici superiores (untere Gruppe)

Tab. 20.6 Fortsetzung

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei hepatici:	an der Porta hepatis und im Lig. hepatoduodenale	Leber, Lymphknoten der Oberbauchorgane	Nodi lymphoidei coeliaci, Nodi lymphoidei preaortici, Nodi lymphoidei aortici laterales, Truncus intestinalis
• Nodus cysticus	am Collum vesicae biliaris		
• Nodus foraminalis	Lig. hepatoduodenale, am Übergang von Ductus cysticus in Ductus choledochus		
Nodi lymphoidei mesenterici:			
• Nodi lymphoidei mesenterici juxtaintestinales	darmnah im Mesenterium	Jejunum, Ileum	mittlere Gruppe der Mesenteriallymphknoten
• unbenannte mittlere Gruppe der Mesenteriallymphknoten	an den Aa. jejunales und ileales	Nodi lymphoidei mesenterici juxtaintestinales	Nodi lymphoidei mesenterici superiores
• Nodi lymphoidei mesenterici superiores	längs der A. mesenterica superior	mittlere Gruppe der Mesenteriallymphknoten	Nodi lymphoidei coeliaci, Nodi lymphoidei preaortici, Nodi lymphoidei aortici laterales, Truncus intestinalis
Nodi lymphoidei ileocolici:	längs der A. ileocolica und ihrer Äste	terminales Ileum, Caecum, Appendix vermiformis	Nodi lymphoidei mesenterici superiores, Truncus intestinalis
• Nodi lymphoidei praecaecales	längs der A. caecalis anterior		
• Nodi lymphoidei retrocaecales	längs der A. caecalis posterior		
• Nodi lymphoidei appendiculares (inkonstant)	längs der A. appendicularis		
Nodi lymphoidei mesocolici:			
• Nodi lymphoidei paracolici	an (oder in) der Wand von Colon ascendens, transversum und descendens	Colon ascendens, Colon transversum, Colondescendens	Nodi lymphoidei colici dextri und medii, Nodi lymphoidei colici sinistri
• Nodi lymphoidei colici dextri und medii	längs der Aa. colicae dextra und media	Nodi lymphoidei paracolici des Colon ascendens und des Colon transversum	Nodi lymphoidei mesenterici superiores, Truncus intestinalis
• Nodi lymphoidei colici sinistri	längs der A. colica sinistra	Nodi lymphoidei paracolici des Colon descendens	Nodi lymphoidei mesenterici inferiores, Nodi lymphoidei preaortici, Nodi lymphoidei aortici laterales, Truncus intestinalis
Nodi lymphoidei mesenterici inferiores	längs der A. mesenterica inferior	Nodi lymphoidei colici sinistri, Nodi lymphoidei sigmoidei, Nodi lymphoidei rectales superiores	Nodi lymphoidei preaortici, Truncus intestinalis
den Nodi lymphoidei mesenterici inferiores vorgeschaltet sind:			
• Nodi lymphoidei sigmoidei	längs der Aa. sigmoideae	Colon sigmoideum	Nodi lymphoidei mesenterici inferiores

Tab. 20.6 Fortsetzung

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
• Nodi lymphoidei rectales superiores	längs der A. rectalis superior	proximaler Teil des Rectum, Nodi lymphoidei pararectales	Nodi lymphoidei mesenterici inferiores
• Nodi lymphoidei pararectales	zwischen Muskelschicht und Faszie im proximalen Teil des Rectums	proximaler Teil des Rectums	Nodi lymphoidei mesenterici inferiores, teils über Nodi lymphoidei rectales superiores

Tab. 20.7 Parietale Lymphknoten des Beckenraums (▶ Abb. 20.23).

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei iliaci communes[5]:	längs der Vasa iliaca communia bis zur Bifurcatio aortae	Mittelteil des Ureters, gelegentlich auch Harnblase, Nodi lymphoidei iliaci externi und interni	Nodi lymphoidei lumbales, Truncus lumbaris
• Nodi lymphoidei iliaci communes mediales	medial der A. iliaca communis (rechts) bzw. der V. iliaca communis (links)		
• Nodi lymphoidei iliaci communes intermedii	zwischen medialer und lateraler Gruppe, rechts bedeckt von der A. iliaca communis, links zwischen A. und V. iliaca communis		
• Nodi lymphoidei iliaci communes laterales	zwischen A. iliaca communis und M. psoas major		
• Nodi lymphoidei iliaci communes subaortici	unter der Aortengabel, vor dem 5. Lendenwirbelkörper		
• Nodi lymphoidei iliaci communes promontorii	vor dem Promontorium		
Nodi lymphoidei iliaci externi[3]	längs der Vasa iliaca externa	tiefe Schicht der Bauchwand unterhalb des Nabels, Adduktorengruppe, Mittelteil des Ureters, Harnblase, Urethra, Samenleiter, Samenbläschen, Prostata, Cervix uteri, kranialer Teil der Vagina, Corpus und Glans clitoridis/penis, Nodi lymphoidei inguinales profundi und epigastrici inferiores	Nodi lymphoidei iliaci communes
• Nodi lymphoidei iliaci externi mediales	medial der Vasa iliaca externa, am weitesten distal in der Lacuna vasorum der Nodus lacunaris medialis, am weitesten medial die Nodi lymphoidei obturatorii (längs der A. obturatoria)		
• Nodi lymphoidei iliaci externi intermedii	zwischen A. und V. iliaca externa, am weitesten distal der Nodus lacunaris intermedius		
• Nodi lymphoidei iliaci externi laterales	lateral der A. iliaca externa auf dem M. psoas major, am weitesten distal der Nodus lacunaris lateralis		
Nodi lymphoidei iliaci interiliaci	in der von A. iliaca externa und interna gebildeten Gefäßgabel		
Nodi lymphoidei iliaci interni[4]	an der A. iliaca interna und nahe dem Abgang ihrer Äste	Glutealmuskulatur, Beckenwand, tiefe Schicht der Dammregion, pelviner Teil	Nodi lymphoidei iliaci communes

Tab. 20.7 Fortsetzung

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
		des Ureters, Beckenorgane, Pars spongiosa urethrae, Schwellkörper von Harnröhre und Penis, auch Clitoris	
besonders benannt sind:			
• Nodi lymphoidei gluteales superiores	am Ursprung der A. glutea superior		
• Nodi lymphoidei gluteales inferiores	an der A. glutea inferior und am Ursprung der A. pudenda interna		
• Nodi lymphoidei sacrales	längs der A. sacralis lateralis und mediana		

Tab. 20.8 Viszerale Lymphknoten des Beckenraums.

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei paravesicales*:	um die Harnblase	Harnblase, Prostata	Nodi lymphoidei iliaci communes
• Nodi lymphoidei prevesicales*	zwischen Symphyse und Harnblase		
• Nodi lymphoidei postvesicales*	hinter der Harnblase		
• Nodi lymphoidei vesicales lateralis*	an der Grenze von Pars patens und Pars occlusa der A. umbilicalis		
Nodi lymphoidei parauterini	im Lig. latum an der Abzweigung der Rr. vaginales vom Stamm der A. uterina	Cervix uteri	Nodi lymphoidei iliaci externi
Nodi lymphoidei paravaginales	neben der Vagina	kaudaler Teil der Vagina	Nodi lymphoidei iliaci interni
Nodi lymphoidei pararectales [anorectales]	1–2 Lymphknoten der pararektalen Gruppe an der A. rectalis media in Höhe der Spina ischiadica	distaler Teil des Rectums	Nodi lymphoidei iliaci interni

* Die offizielle Bezeichnung dieser Lymphknoten als Nodi lymphoidei para-, pre- und postvesiculares sowie vesiculares laterales ist irreführend, da die Lagebeziehungen zur Vesica urinaria und nicht zur – nur beim Mann ausgebildeten – Glandula vesiculosa charakterisiert werden sollen.

Tab. 20.9 Lymphknoten der unteren Extremität (▶ Abb. 20.23).

Nodi lymphoidei	Lage	Hauptzuflüsse aus	Hauptabfluss in
Nodi lymphoidei inguinales superficiales[1]	epifaszial längs des Lig. inguinale und der V. saphena magna	Haut des Beins, ausgenommen lateraler Fußrand und Wade, Bauchwand unterhalb des Nabels (teils über Nodi lymphoidei epigastrici inferiores), kaudaler Teil des Rückens, Gesäßregion, Damm, Analkanal, Lig. teres uteri und Tubenwinkel, Scheidenvorhof, Labia majora, Vorhofdrüsen, Preputium clitoridis, Glandula bulbourethralis, Preputium penis, Penis- und Skrotalhaut	Nodi lymphoidei inguinales profundi
• Nodi lymphoidei inguinales superficiales superomediales	unterhalb des Lig. inguinale, mediale Gruppe der horizontalen Kette		
• Nodi lymphoidei inguinales superficiales superolaterales	unterhalb des Lig. inguinale, laterale Gruppe der horizontalen Kette		
• Nodi lymphoidei inguinales superficiales inferiores	vertikale Kette am Hiatus saphenus, längs der V. saphena magna		
Nodi lymphoidei inguinales profundi[2]	in der Fossa iliopectinea an der medialen Seite der V. femoralis, am weitesten proximal der Rosenmüller-Lymphknoten im Anulus femoralis	tiefe Teile des Beins, Corpus und Glans penis/clitoridis, Labium minus pudendi, gelegentlich auch Pars spongiosa der männlichen Harnröhre, Nodi lymphoidei popliteales profundi und inguinales superficiales	Nodi lymphoidei iliaci externi
Nodi lymphoidei popliteales superficiales	episfazial an der Durchtrittsstelle der V. saphena parva durch die Fascia poplitea	lateraler Fußrand, Wade	Nodi lymphoidei popliteales profundi
Nodi lymphoidei popliteales profundi	subfaszial in der Fossa poplitea, zwischen A. poplitea und Kapsel des Kniegelenks	tiefe, mit den Arterien verlaufende Lymphbahnen von Fuß, Unterschenkel und Kniegelenk, Nodi lymphoidei popliteales superficiales	Nodi lymphoidei inguinales profundi
vorgeschaltet sind die inkonstanten Lymphknoten:			
• Nodus tibialis anterior	an der A. tibialis anterior		
• Nodus tibialis posterior	an der A. tibialis posterior		
• Nodus fibularis	an der A. fibularis		

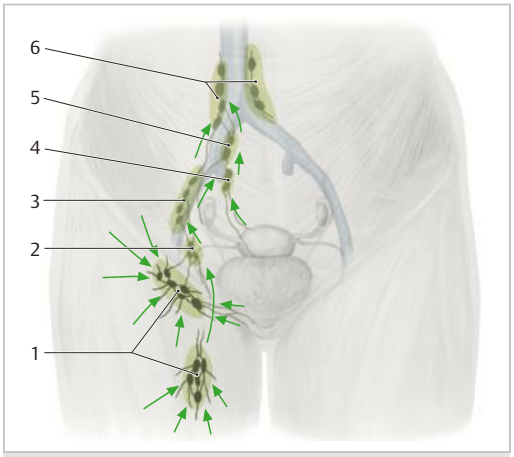


Abb. 20.23 Lymphabflüsse und Lymphknoten in der Leistengegend.
1 Nodi lymphoidei inguinales superficiales
2 Nodi lymphoidei inguinales profundi
3 Nodi lymphoidei iliaci externi
4 Nodi lymphoidei iliaci interni
5 Nodi lymphoidei iliaci communes
6 Nodi lymphoidei lumbales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

20.5 Systematik der Nerven

20.5.1 Hirnnerven und Kopfganglien

Die Hirnnerven sind hinsichtlich ihrer Innervationsgebiete Kopfnerven. Sie breiten sich an Kopf und Hals aus – ausgenommen die parasympathischen Anteile des N. vagus, die bis zu Bauchorganen ziehen.

Die **Nn. olfactorii** (I), etwa 20 Riechnerven, ziehen aus der Riechschleimhaut der oberen Muschel und vom entsprechenden Teil des Nasenseptum durch die Lamina cribrosa zum *Bulbus olfactorius*, wo das 1. Neuron der Riechbahn mit stark verzweigten Kollateralen an den Dendriten des 2. Neurons endet.

Der **N. opticus** (II), eine etwa 4 mm dicke, vorgeschobene Bahn des Zwischenhirns, besteht aus den Axonen des 3. Neurons der Sehbahn. Er verläuft leicht geschlängelt durch die Orbita und zieht anschließend über der A. ophthalmica durch den Canalis opticus in die Schädelhöhe. Vor der Sella turcica, im Sulcus prechiasmaticus des Keilbeins, treten beide Sehnerven in das *Chiasma opticum* ein. Hier kreuzen die Optikusfasern aus den nasalen Netzhauthälften zur Gegenseite. Die *Sehbahn* verläuft weiter im *Tractus opticus*, der unmittelbar hinter dem Pulvinar um den Pedunculus cerebri herum zum 4. Neuron im *Corpus geniculatum laterale* zieht.

Der **N. oculomotorius** (III, ▸ **Abb. 20.24**[2-4]), ein Augenmuskelnerv mit motorischen und präganglionären parasympathischen Nervenfasern, verlässt in der Fossa interpeduncularis mit mehreren Wurzeln die mediale Seite des Hirnschenkels unmittelbar vor der Brücke. Er läuft zwischen A. superior cerebelli und A. cerebri posterior zur Seite, gelangt in die seitliche Wand des Sinus cavernosus und anschließend durch den medialen Winkel der Fissura orbitalis superior in die Orbita, wo er den Ursprung des M. rectus lateralis durchbohrt. Der N. oculomotorius teilt sich in der Orbita in:

- *R. superior*[4], der von unten in den M. levator palpebrae superioris und in den M. rectus superior eintritt,
- *R. inferior*[3], der je einen Zweig an M. rectus medialis, M. rectus inferior und M. obliquus inferior sowie die *Radix parasympathica [oculomotoria]*[7] zum Ganglion ciliare abgibt.

Das parasympathische *Ganglion ciliare*[5], etwa 2 mm lang, liegt hinten seitlich am N. opticus, medial vom M. rectus lateralis, im Fettgewebe der Orbita. Es enthält die Perikaryen der postganglionären parasympathischen Nervenfasern für die inneren Augenmuskeln. Verbindungen des Ganglion ciliare sind:

- die *Radix parasympathica [oculomotoria]*[7] führt präganglionäre parasympathische Fasern aus dem N. oculomotorius zum Ganglion ciliare,
- die *Radix sympathica*[8] führt postganglionäre sympathische Fasern aus dem *Plexus caroticus internus* am Ganglion vorbei,
- *Radix sensoria [nasociliaris]*[9] mit afferenten Fasern aus dem N. nasociliaris, die in den *Nn. ciliares breves* zum Bulbus oculi verlaufen,
- 10–20 kurze *Nn. ciliares breves*[6] verlaufen über und unter dem N. opticus vom *Ganglion ciliare* zum Augapfel. Sie enthalten postganglionäre parasympathische Nervenfasern aus dem Ganglion ciliare, postganglionäre sympathische Nervenfasern aus der Radix sympathica sowie sensible Nervenfasern aus der Radix sensoria.

Der dünne **N. trochlearis** (IV, ▸ **Abb. 20.24**[1]) leitet motorische Fasern zum M. obliquus superior. Der Nerv entspringt als einziger Hirnnerv dorsal aus dem Gehirn – unmittelbar hinter der Vierhügelplatte. Er läuft anschließend seitlich um den Pedunculus cerebri herum, tritt hinter dem N. oculomotorius oben in die seitliche Wand des Sinus cavernosus, zieht durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita, kreuzt über den Ursprung des M. levator palpebrae superioris hinweg nach medial und dringt von oben in den M. obliquus superior ein.

Der **N. trigeminus** (V, ▸ **Abb. 20.25**) führt in seinen 3 kräftigen Hauptästen (N. ophthalmicus, N. maxillaris und N. mandibularis) sensible Fasern aus dem größten Teil des Gesichts, aus der Schleimhaut der Nasenhöhle und der Na-

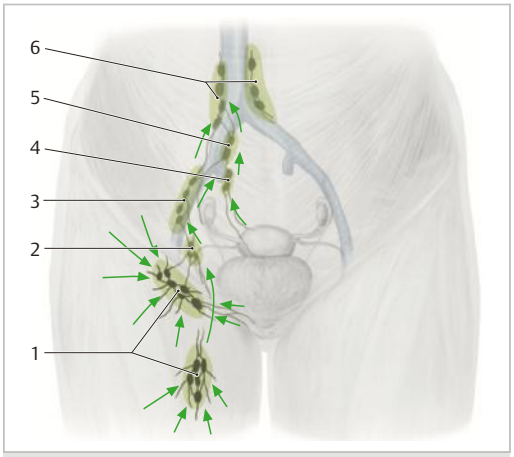


Abb. 20.23 Lymphabflüsse und Lymphknoten in der Leistengegend.
1 Nodi lymphoidei inguinales superficiales
2 Nodi lymphoidei inguinales profundi
3 Nodi lymphoidei iliaci externi
4 Nodi lymphoidei iliaci interni
5 Nodi lymphoidei iliaci communes
6 Nodi lymphoidei lumbales
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

20.5 Systematik der Nerven

20.5.1 Hirnnerven und Kopfganglien

Die Hirnnerven sind hinsichtlich ihrer Innervationsgebiete Kopfnerven. Sie breiten sich an Kopf und Hals aus – ausgenommen die parasympathischen Anteile des N. vagus, die bis zu Bauchorganen ziehen.

Die **Nn. olfactorii** (I), etwa 20 Riechnerven, ziehen aus der Riechschleimhaut der oberen Muschel und vom entsprechenden Teil des Nasenseptum durch die Lamina cribrosa zum *Bulbus olfactorius*, wo das 1. Neuron der Riechbahn mit stark verzweigten Kollateralen an den Dendriten des 2. Neurons endet.

Der **N. opticus** (II), eine etwa 4 mm dicke, vorgeschobene Bahn des Zwischenhirns, besteht aus den Axonen des 3. Neurons der Sehbahn. Er verläuft leicht geschlängelt durch die Orbita und zieht anschließend über der A. ophthalmica durch den Canalis opticus in die Schädelhöhe. Vor der Sella turcica, im Sulcus prechiasmaticus des Keilbeins, treten beide Sehnerven in das *Chiasma opticum* ein. Hier kreuzen die Optikusfasern aus den nasalen Netzhauthälften zur Gegenseite. Die *Sehbahn* verläuft weiter im *Tractus opticus*, der unmittelbar hinter dem Pulvinar um den Pedunculus cerebri herum zum 4. Neuron im *Corpus geniculatum laterale* zieht.

Der **N. oculomotorius** (III, ▸ **Abb. 20.24**[2-4]), ein Augenmuskelnerv mit motorischen und präganglionären parasympathischen Nervenfasern, verlässt in der Fossa interpeduncularis mit mehreren Wurzeln die mediale Seite des Hirnschenkels unmittelbar vor der Brücke. Er läuft zwischen A. superior cerebelli und A. cerebri posterior zur Seite, gelangt in die seitliche Wand des Sinus cavernosus und anschließend durch den medialen Winkel der Fissura orbitalis superior in die Orbita, wo er den Ursprung des M. rectus lateralis durchbohrt. Der N. oculomotorius teilt sich in der Orbita in:

- *R. superior*[4], der von unten in den M. levator palpebrae superioris und in den M. rectus superior eintritt,
- *R. inferior*[3], der je einen Zweig an M. rectus medialis, M. rectus inferior und M. obliquus inferior sowie die *Radix parasympathica [oculomotoria]*[7] zum Ganglion ciliare abgibt.

Das parasympathische *Ganglion ciliare*[5], etwa 2 mm lang, liegt hinten seitlich am N. opticus, medial vom M. rectus lateralis, im Fettgewebe der Orbita. Es enthält die Perikaryen der postganglionären parasympathischen Nervenfasern für die inneren Augenmuskeln. Verbindungen des Ganglion ciliare sind:

- die *Radix parasympathica [oculomotoria]*[7] führt präganglionäre parasympathische Fasern aus dem N. oculomotorius zum Ganglion ciliare,
- die *Radix sympathica*[8] führt postganglionäre sympathische Fasern aus dem *Plexus caroticus internus* am Ganglion vorbei,
- *Radix sensoria [nasociliaris]*[9] mit afferenten Fasern aus dem N. nasociliaris, die in den *Nn. ciliares breves* zum Bulbus oculi verlaufen,
- 10–20 kurze *Nn. ciliares breves*[6] verlaufen über und unter dem N. opticus vom *Ganglion ciliare* zum Augapfel. Sie enthalten postganglionäre parasympathische Nervenfasern aus dem Ganglion ciliare, postganglionäre sympathische Nervenfasern aus der Radix sympathica sowie sensible Nervenfasern aus der Radix sensoria.

Der dünne **N. trochlearis** (IV, ▸ **Abb. 20.24**[1]) leitet motorische Fasern zum M. obliquus superior. Der Nerv entspringt als einziger Hirnnerv dorsal aus dem Gehirn – unmittelbar hinter der Vierhügelplatte. Er läuft anschließend seitlich um den Pedunculus cerebri herum, tritt hinter dem N. oculomotorius oben in die seitliche Wand des Sinus cavernosus, zieht durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita, kreuzt über den Ursprung des M. levator palpebrae superioris hinweg nach medial und dringt von oben in den M. obliquus superior ein.

Der **N. trigeminus** (V, ▸ **Abb. 20.25**) führt in seinen 3 kräftigen Hauptästen (N. ophthalmicus, N. maxillaris und N. mandibularis) sensible Fasern aus dem größten Teil des Gesichts, aus der Schleimhaut der Nasenhöhle und der Na-

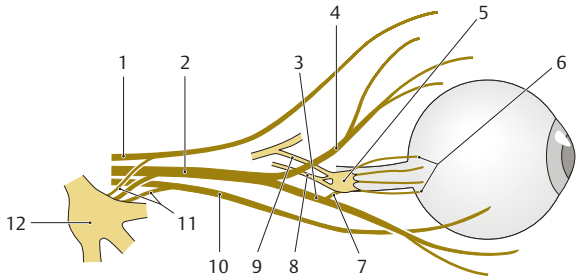


Abb. 20.24 Astfolge und Verbindungen der Augenmuskelnerven.
1 N. trochlearis
2–4 *N. oculomotorius*
3 R. inferior
4 R. superior
5 Ganglion ciliare
6 Nn. ciliares breves
7 Radix parasympathica
8 Radix sympathica
9 Radix sensoria
10 N. abducens
11 afferente Fasern aus den 3 Augenmuskelnerven zum Ganglion trigeminale
12 Ganglion trigeminale
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

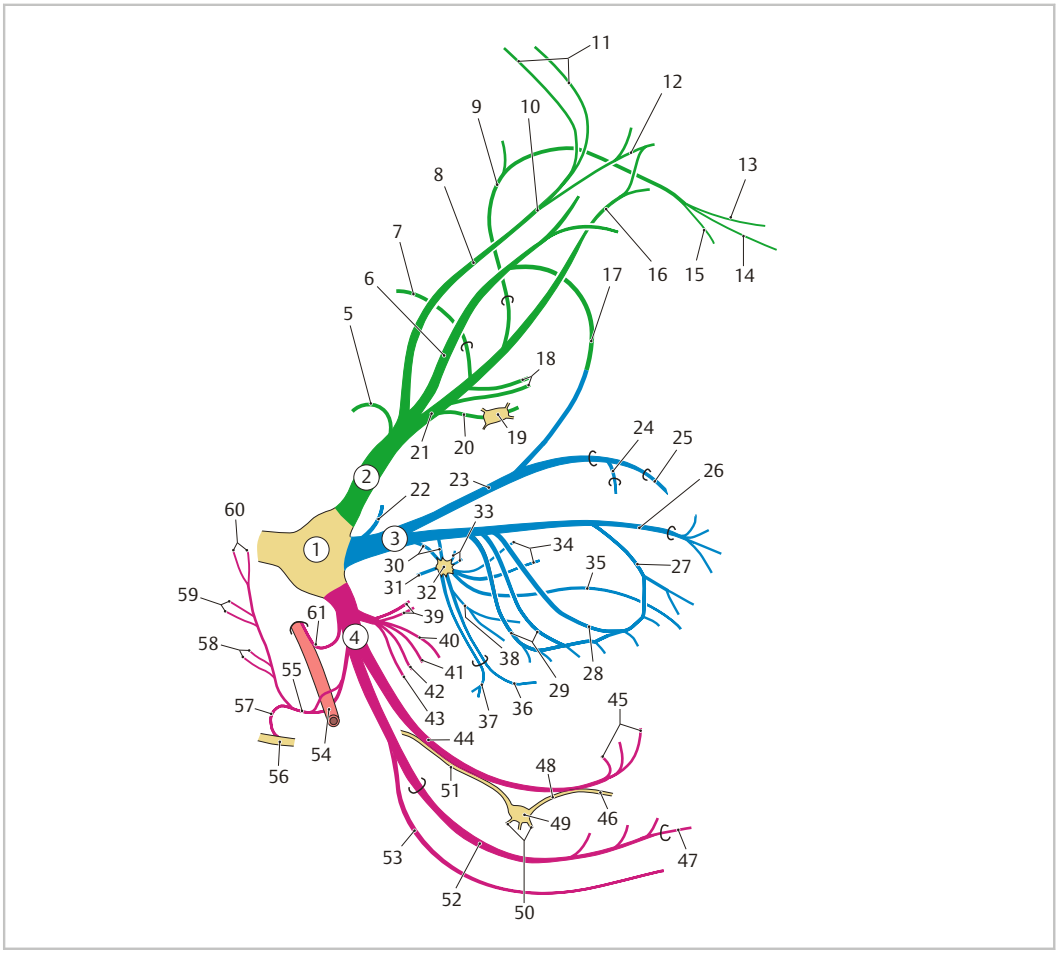
sennebenhöhlen sowie aus der Mundhöhlenschleimhaut und den Zähnen. Aus der schwächeren motorischen Wurzel ziehen mit dem N. mandibularis motorische Fasern hauptsächlich zu den Kaumuskeln und den Muskeln des Mundbodens.

Den N. trigeminus verlässt das Gehirn mit etwa 50 Wurzelfäden (*Radix sensoria* und *Radix motoria*) an der Grenze von Brücke und mittlerem Kleinhirnstiel. An der Impressio trigeminalis der Felsenbeinspitze durchbohrt er die Dura, in der Cavitas trigeminalis liegt das halbmondförmige sensible *Ganglion trigeminale*.

Die *Aufzweigungen* des Nervs werden im Folgenden in ihrer Abfolge von proximal nach distal, im Hinblick auf die sensiblen Anteile also entgegen der Richtung der Erregungsleitung, aufgeführt.

Der **N. ophthalmicus** (V_1) teilt sich beim Durchtritt durch die Fissura orbitalis superlor in:
- *N. lacrimalis,* der an der lateralen Wand der Orbita über den M. rectus lateralis hinweg nach vorn in die Gegend der Tränendrüse und zum lateralen Augenwinkel zieht,
- *N. frontalis,* der auf dem M. levator palpebrae superioris unmittelbar unter dem Dach der Augenhöhle verläuft und sich an deren Margo supraorbitalis aufzweigt,
- *N. nasociliaris* durch den Anulus tendineus communis zur medialen Wand der Orbita.

Der N. ophthalmicus entsendet folgende Äste:
- *R. tentorii [meningeus],* der rückläufig zum Tentorium cerebelli und zur Falx cerebri zieht, noch vor Eintritt in die Orbita,
- *N. lacrimalis* zur Haut des seitlichen Augenwinkels und zur Tunica conjunctiva, dessen *R. communicans (cum nervo zygomatico)* an der seitlichen Wand der Orbita aufsteigt und dem N. lacrimalis postganglionäre parasympathische Fasern aus dem *Ganglion pterygopalatinum* und postganglionäre sympathische Fasern aus dem *Plexus caroticus internus* zuführt, die den N. lacrimalis nach kurzer Strecke wieder verlassen und zur Tränendrüse ziehen,
- *N. frontalis* zur Haut der Stirn und des Oberlids, zur Bindehaut und zur Schleimhaut der Stirnhöhle. Der N. frontalis hat 2 Endäste:
  - *N. supraorbitalis*, dessen *R. lateralis* durch die Incisura supraorbitalis an die Stirn tritt, der *R. medialis* dagegen durch die Incisura frontalis,
  - *N. supratrochlearis*, der oberhalb der Trochlea für die Sehne des M. obliquus superior zur Haut des medialen Augenwinkels gelangt, die er mit einem oberen und einem unteren Zweig versorgt,
- *N. nasociliaris* zur Schleimhaut von Stirnhöhle, Siebbeinzellen und vorderem Teil der Nasenhöhle, der folgende Äste abgibt:
  - *R. communicans (cum ganglio ciliari),* der als Radix sensoria am Ganglion ciliare vorbei sensible Fasern aus dem Augapfel führt,
  - *Nn. ciliares longi,* 2 lange Zweige mit sensiblen Fasern aus Cornea, Iris und Corpus ciliare sowie Sympathicusfasern zum M. dilatator pupillae,
  - *N. ethmoidalis posterior,* der durch das Foramen ethmoidale posterius zur Schleimhaut der Keilbeinhöhle und der hinteren Siebbeinzellen tritt,
  - *N. ethmoidalis anterior,* der durch das Foramen ethmoidale anterius aus der Orbita zurück in die Schädelhöhle unter die Dura der vorderen Schädelgrube gelangt und anschließend durch die Lamina cribrosa mit *Rr. nasales* Haut und Schleimhaut der Nase innerviert, mit dem *R. nasalis externus* die Haut von Nasenrücken und Nasenspitze, mit *Rr. nasales interni* die Nasenschleimhaut im vorderen Nasenbereich (lateral mit *Rr. nasales laterales,* am Septum mit *Rr. nasales mediales)* versorgt,



- *N. infratrochlearis,* der unterhalb der Trochlea zur Haut des medialen Augenwinkels zieht, den Tränensack und die Bindehaut über der Caruncula lacrimalis innerviert sowie *Rr. palpebrales* zu Ober- und Unterlid abgibt.

Der **N. maxillaris** (V_2) gelangt durch das Foramen rotundum in die Fossa pterygopalatina und zweigt sich sofort auf in folgende Äste:

- *N. infraorbitalis,* die kräftige Fortsetzung des Nervenstamms, der durch die Fissura orbitalis inferior in Sulcus und Canalis infraorbitalis eintritt und durch das Foramen infraorbitale in die Weichteile des Gesichts zieht,
- *N. zygomaticus* vom seitlichen Umfang des Nervenstamms, der durch die Fissura orbitalis inferior den am Foramen zygomaticoorbitale beginnen den Knochenkanal in der Seitenwand der Orbita erreicht,
- *Rr. ganglionares (Nn. pterygopalatini),* meist 2 Äste, die in den N. maxillaris am unteren Umfang eintreten, sensible Fasern aus der Schleimhaut des Nasen-, Gaumen- und Rachenbereichs führen sowie postganglionäre Fasern aus dem Ganglion pterygopalatinum und sympathische Fasern (über das Ganglion aus dem N. petrosus profundus) für die Tränendrüse zurück zum N. maxillaris und weiter zum N. zygomaticus leiten.

Der N. maxillaris entsendet:

- *R. meningeus (medius)* intrakraniell, noch vor Eintritt in das Foramen rotundum, zur Dura im vorderen Ausbreitungsgebiet der A. meningea media,
- *N. infraorbitalis,* der die Haut der mittleren Gesichtsetage sowie Schleimhaut und Zähne im Oberkieferbereich versorgt und sich aufteilt in
  - *Nn. alveolares superiores* zum Oberkiefer, die als *Rr. alveolares superiores posteriores* (für die Schleimhaut der seitlichen und der hinteren Wand der Kieferhöhle, für die Molaren und deren bukkales Zahnfleisch), als *R. alveolaris superior medius* (für die Prämolaren) und als *Rr. alveolares superiores anteriores* (für die Schneidezäh-

◀ **Abb. 20.25 Astfolge und Verbindungen des N. trigeminus.** Ansicht von rechts.

2 N. ophthalmicus,
3 N. maxillaris,
4 N. mandibularis
1 Ganglion trigeminale
2 N. ophthalmicus
3 N. maxillaris
4 N. mandibularis
5 R. tentorii
6 N. lacrimalis
7 N. ethmoidalis posterior
8 N. frontalis
9 N. ethmoidalis anterior
10 N. supraorbitalis
11 R. medialis und R. lateralis des N. supraorbitalis
12 N. supratrochlearis
13–15 *Rr. nasales des N. ethmoidalis anterior*
13 R. nasalis externus
14 Rr. nasales interni laterales
15 Rr. nasales interni mediales
16 N. infratrochlearis
17 R. communicans (cum nervo zygomatico)
18 Nn. ciliares longi
19 Ganglion ciliare
20 R. communicans (cum ganglio ciliari)
21 N. nasociliaris
22 R. meningeus (medius)
23 N. zygomaticus
24 R. zygomaticotemporalis des N. zygomaticus
25 R. zygomaticofacialis des N. zygomaticus
26 N. infraorbitalis
27–29 *Nn. alveolares superiores*
27 Rr. alveolares superiores anteriores
28 R. alveolaris superior medius
29 Rr. alveolares superiores posteriores
30 Rr. ganglionares
31 N. canalis pterygoidei
32 Ganglion pterygopalatinum
33–38 *Äste des Ganglion pterygopalatinum*
33 Rr. orbitales
34 Rr. nasales posteriores superiores laterales
35 N. nasopalatinus longus
36 N. palatinus major
37 Nn. palatini minores
38 Rr. nasales posteriores inferiores
39 Nn. temporales profundi
40 N. buccalis
41 N. massetericus
42 N. pterygoideus lateralis
43 N. pterygoideus medialis
44 N. lingualis
45 Rr. linguales
46 N. sublingualis
47 N. mentalis
48 Rr. ganglionares
49 Ganglion submandibulare
50 Rr. glandulares
51 Chorda tympani
52 N. alveolaris inferior
53 N. mylohyoideus
54 A. meningea media
55 N, auriculotemporalis
56 N. facialis (s. ▶ **Abb. 20.26**)
57 Rr. communicantes (cum nervo faciali)
58 N. meatus acustici externi und Rr. membranae tympani(cae)
59 Nn. auriculares anteriores
60 Rr. temporales superficiales
61 R. meningeus (nervi mandibularis)
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

ne und den Eckzahn) über den Zahnwurzeln den *Plexus dentalis superior* bilden. Dieser gibt 2 Äste ab:
  – Rr. dentales superiores zu den Zahnwurzeln,
  – Rr. gingivales superiores zu bukkalem und labialem Zahnfleisch;
  - Rr. palpebrales inferiores, die nach Austritt des N. infraorbitalis durch das Foramen infraorbitale zum Unterlid ziehen,
  - Rr. nasales externi zur äußeren Haut des Nasenflügels,
  - Rr. nasales interni zur Haut des Nasenvorhofs,
  - Rr. labiales superiores zur Haut und Schleimhaut der Oberlippe;
- *N. zygomaticus* zur Haut im Schläfen- und Jochbeinbereich, gegliedert in:
  - *R. zygomaticotemporalis,* der durch das gleichnamige Loch der Facies temporalis des Jochbeins zum vorderen Bereich der Schläfenhaut tritt,
  - *R. zygomaticofacialis,* der durch das Foramen zygomaticofaciale zur Haut über dem Jochbein zieht;
- *Rr. ganglionares* (Astaufzweigung und Versorgungsgebiete s. u. beim Ganglion pterygopalatinum).

Das parasympathische **Ganglion pterygopalatinum** ist ein etwa 4 mm großes, linsenförmiges Knötchen. Es liegt in der Fossa pterygopalatina, nahe am Foramen sphenopalatinum, direkt neben den *Rr. ganglionares*. Das Ganglion enthält die Perikaryen der postganglionären parasympathischen Nervenfasern zur Tränendrüse (über den R. communicans zum N. zygomatico des N. lacrimalis) und zu den kleinen Drüsen der Nase und des Gaumens. Die präganglionären parasympathischen Nervenfasern werden dem Ganglion durch den *N. canalis pterygoidei* zugeführt.

Dieser N. canalis pterygoidei (Radix facialis) entsteht am hinteren Eingang des Canalis pterygoideus durch die Vereinigung von 2 Nerven:

- *N. petrosus major,* eines Zweigs des präganglionären parasympathischen *N. intermedius* (Teil des N. facialis), der am sensiblen Ganglion geniculi abzweigt, durch den Hiatus canalis nervi petrosi majoris auf die Vorderseite der Felsenbeinpyramide und durch das Foramen lacerum zur hinteren Öffnung des Canalis pterygoideus gelangt,
- *N. petrosus profundus,* der sich mit postganglionären, sympathischen Nervenfasern aus dem *Plexus caroticus internus* dem N. petrosus major und dem Ganglion pterygopalatinum anlegt.

Das Ganglion pterygopalatinum verlassen mehrere Äste, die postganglionäre parasympathische Fasern führen. Außerdem ziehen postganglionäre sympathische Fasern aus dem Ganglion cervicale superius und sensible Fasern der Rr. ganglionares (Radix sensoria) entweder ohne Synapse durch das Ganglion oder sie verlaufen an ihm vorbei. Äste aus dem Ganglion pterygopalatinum sind:

- *Rr. orbitales,* 2–3 dünne Ästchen, die durch die Fissura orbitalis inferior in die Orbita und von hier aus durch Knochenkanälchen in die Schleimhaut der hinteren Siebbeinzellen und der Keilbeinhöhle gelangen,
- *Rr. nasales posteriores superiores laterales,* 5–10 dünne Äste, die durch das Foramen sphenopalatinum zur oberen und zur mittleren Nasenmuschel sowie zur Schleimhaut der hinteren Siebbeinzellen ziehen,
- *Rr. nasales posteriores superiores mediales,* die ebenfalls durch das Foramen sphenopalatinum in die Nasenhöhle treten und sich mit 2–3 *Nn. nasopalatini breves* in der Schleimhaut am Dach der Nasenhöhle *(Rr. nasales laterales)* und der Kieferhöhle *(Rr. sinus maxillaris)* verzweigen, während der *N. nasopalatinus longus* einige *Rr. septales nasales* zur Schleimhaut des oberen Teils der Nasenscheidewand abgibt und mit seinem langen Endast am Septum entlang zum Canalis incisivus und durch den Kanal zur vorderen Gaumenschleimhaut und zum Zahnfleisch hinter den oberen Schneidezähnen verläuft,
- *N. palatinus major,* der abwärts durch den Canalis palatinus major und durch das Foramen palatinum majus zur Schleimhaut des harten Gaumens zieht und – bevor er durch das Foramen palatinum majus austritt – *Rr. nasales posteriores inferiores* zur Schleimhaut der unteren Muschel sowie des mittleren und des unteren Nasengangs abgibt,
- *Nn. palatini minores,* die durch gleichnamige Knochenkanälchen hinter dem Canalis palatinus major und durch die Foramina palatina minora zur Schleimhaut des weichen Gaumens ziehen und *Rr. tonsillares* zur Tonsilla palatina führen,
- *N. pharyngeus,* der nach medial hinten zur Schleimhaut der Pars nasalis des Rachens läuft.

Zum **N. mandibularis** (V_3) vereinigen sich seine sensible „Wurzel", deren Fasern zu ihren Perikaryen im Ganglion trigeminale ziehen, und die Radix motoria des N. trigeminus unmittelbar nach Durchtritt durch das Foramen ovale. Der Nerv gibt an der äußeren Schädelbasis zunächst den *R. meningeus* und den *N. pterygoideus medialis* ab, ehe er sich in einen schwächeren vorderen und einen kräftigen hinteren Nervenstamm teilt. Die Äste des vorderen Stamms sind mit Ausnahme des N. buccalis motorisch, der hintere Stamm ist – ausgenommen die Fasern des N. mylohyoideus – sensibel.

Der *R. meningeus [N. spinosus]* gelangt rückläufig mit der A. meningea media durch das Foramen spinosum in die mittlere Schädelgrube, innerviert die Dura im Versorgungsbereich der beiden Arterienäste und entsendet feine Zweige zur Schleimhaut der Keilbeinhöhle und der Cellulae mastoideae (durch die Fissura petrosquamosa).

Der *N. pterygoideus medialis* – oft mehrere Ästchen – verzweigt sich im gleichnamigen Muskel und gibt in der Nähe des Ganglion oticum den *N. musculi tensoris veli palatini* und den *N. musculi tensoris tympani* für die entsprechenden Muskeln ab. Beide Nerven verlaufen ohne Synapse durch das Ganglion oticum, doch wird die ihnen gemeinsame Strecke bis zum Ganglion als *R. communicans (cum nervo pterygoideo mediali)* bezeichnet. Nach ihrem getrennten Austritt aus dem Ganglion werden die beiden Muskelnerven oft zu Unrecht als Äste des Ganglion oticum beschrieben.

Der *vordere* Stamm des N. mandibularis zweigt sich auf in:

- die übrigen *Kaumuskelnerven*:
  - die *Nn. temporales profundi* treten nach kurzem Verlauf in die Unterfläche des M. temporalis ein,
  - der *N. massetericus* zieht über den M. pterygoideus lateralis hinweg durch die Incisura mandibulae zum M. masseter,
  - der *N. pterygoideus lateralis* entspringt häufig gemeinsam mit dem N. buccalis und verläuft zum M. pterygoideus lateralis;
- den *N. buccalis,* der meist zwischen den beiden Köpfen des M. pterygoideus lateralis hindurchtritt, an ihn und an den M. temporalis feine Zweige entsendet, schräg zur Wange absteigt und die Wangenhaut innerviert, mit mehreren Ästen den M. buccinator durchbohrt und Wangenschleimhaut sowie bukkales Zahnfleisch des Unterkiefers in der Gegend der Prämolaren und des 1. Molaren versorgt.

Der *hintere* Stamm teilt sich in:

- *N. auriculotemporalis,* umgreift unter dem Foramen spinosum mit 2 Wurzeln die A. meningea media, zieht hinter dem Collum mandibulae von der Glandula parotidea bedeckt seitwärts und steigt dann vor dem Ohr zur Schläfenregion auf,
- *N. lingualis,* nimmt zwischen M. tensor veli palatini und M. pterygoideus lateralis die *Chorda tympani* (Ast des N. facialis) auf, verläuft zwischen beiden Mm. pterygoidei abwärts und gelangt im Bogen auf die Mundhöhlenseite des M. mylohyoideus, wo er sich auf der Außenfläche des M. hyoglossus in seine Endäste aufteilt,

- *N. alveolaris inferior,* zieht lateral und dorsal vom N. lingualis abwärts, erreicht zwischen Lig. sphenomandibulare und Ramus mandibulae das Foramen mandibulae und tritt in den Canalis mandibulae ein.

Der *N. auriculotemporalis* innerviert vor allem die Haut der hinteren Schläfenregion und des äußeren Ohrs, führt eine kurze Strecke postganglionäre parasympathische Fasern für die Glandula parotidea aus dem benachbarten Ganglion oticum und gibt folgende Äste ab:

- *N. meatus acustici externi,* häufig 2 Ästchen, zur Haut des äußeren Gehörgangs,
- *Rr. membranae tympanicae* zum Trommelfell,
- *Rr. parotidei,* die sensible Fasern und postgangliolläre vegetative Fasern aus dem Gangliol oticum für die Glandula parotidea führen,
- *Rr. communicantes (cum nervo faciali)*, die postganglionäre vegetative Fasern aus dem *Ganglion oticum* für die Glandula parotidea in den N. facialis leiten,
- *Nn. auriculares anteriores* zur Haut der Vorderfläche der Ohrmuschel,
- *Rr. temporales superficiales* zur Haut der hinteren Schläfengegend vor und über dem Ohr.

Der *N. lingualis* ist der sensible Nerv für Zunge, Zahnfleisch des Unterkiefers und Boden der Mundhöhle. Er führt außerdem eine Strecke weit prä-, später postganglionäre parasympathische Fasern sowie Geschmacksfasern für die vorderen zwei Drittel der Zunge. Seine Äste sind:

- *R. communicans (cum chorda tympani),* über den Geschmacksfasern aus den Papillae fungiformes (evtl. auch sensible Fasern) den N. lingualis verlassen und sich der Chorda tympani anschließen,
- *Rr. isthmi faucium,* die mit sensiblen Fasern zur Schleimhaut der Schlundenge und zur Gaumentonsille ziehen,
- *Rr. communicantes (cum nervo hypoglosso),* die dem N. hypoglossus sensible Fasern zuführen,
- der *N. sublingualis,* der am Hinterrand der Glandula sublingualis vom N. lingualis abgeht und seitlich von dieser in die Schleimhaut des Mundbodens und in das Zahnfleisch der Cavitas oris propria im Bereich der vorderen Zähne einstrahlt,
- *Rr. linguales,* die sensible Fasern und Geschmacksfasern der vorderen zwei Drittel der Zungenschleimhaut führen,
- *Rr. ganglionares,* Verbindungen zum Ganglion submandibulare.

Das parasympathische **Ganglion submandibulare**, ein in der Form variables, 3–3,5 mm großes Knötchen, liegt unter dem N. lingualis über der Glandula submandibularis und enthält die Perikaryen der postganglionären parasympathischen *Rr. glandulares* für die Glandula submandibularis und die Glandula sublingualis. Längs der Rr. glandulares zur Glandula sublingualis kommen variable, peripherwärts vorgeschobene Perikaryenansammlungen vor (*Ganglion sublinguale*). Präganglionäre parasympathische Fasern werden dem Ganglion submandibulare über die *Chorda tympani* zugeleitet.

Postganglionäre sympathische Nervenfasern aus dem Ganglion cervicale superius für die Innervation der Gefäßmuskulatur beider Speicheldrüsen ziehen als *R. sympathicus (ad ganglion submandibulare)* aus dem die A. facialis umgebenden Anteil des *Plexus caroticus externus* ohne Synapse durch das Ganglion. Die postganglionären parasympathischen und sympathischen Nervenfasern verzweigen sich in den Glandulae sublingualis und submandibularis oder erreichen über die Rr. ganglionares den N. lingualis, mit dessen sensiblen Fasern sie zu Drüsen der Mundschleimhaut gelangen. Das Ganglion submandibulare enthält als einziges Kopfganglion keine somatosensorischen Fasern.

Der *N. alveolaris inferior* enthält sensible Fasern für die Zähne des Unterkiefers und deren bukkales Zahnfleisch, für die Schleimhaut der Unterlippe und für die Haut von Unterlippe und Kinn sowie motorische Fasern für den Mundboden. Er verzweigt sich in:

- *N. mylohyoideus,* der vor Eintritt des Nervenstamms in den Canalis mandibulae den Sulcus mylohyoideus des Unterkiefers aufsucht, an der Unterfläche des Diaphragma oris nach vorn zieht und den M. mylohyoideus sowie den vorderen Bauch des M. digastricus innerviert,
- *Plexus dentalis inferior,* der *Rr. dentales inferiores* zu den Zähnen des Unterkiefers sowie *Rr. gingivales inferiores* zu deren Zahnfleisch abgibt,
- *N. mentalis,* ein großes Bündel sensibler Fasern, das den Canalis mandibulae durch das Foramen mentale verlässt und mit *Rr. mentales* die Haut des Kinns innerviert, mit *Rr. labiales inferiores* Haut und Schleimhaut der Unterlippe.

Der **N. abducens** (VI, s. ▶ **Abb. 20.24**[10]), motorischer Nerv für den M. rectus lateralis des Augapfels, tritt medial zwischen Hinterrand der Brücke und Pyramide aus dem Gehirn, zieht auf dem Clivus aufwärts und in halber Höhe unter die Dura. Anschließend verläuft er durch den Sinus cavernosus seitlich an der A. carotis interna vorbei zur Fissura orbitalis superior und zieht unterhalb des N. oculomotorius durch die Sehne des M. rectus lateralis hindurch oder über den Muskel selbst auf dessen Innenfläche.

Der **N. facialis** (VII, ▶ **Abb. 20.26**) verlässt das Gehirn im Kleinhirnbrückenwinkel, zieht anschließend über dem N. vestibulocochlearis im Meatus acusticus internus in den Canalis facialis, durchquert das Felsenbein zunächst in lateral-anteriorer Richtung und biegt schließlich rechtwinkelig in lateral-posteriore Richtung um, wobei er das äußeres Fazialisknie (*Geniculum nervi facialis*[2]) bildet. Mit dem Hauptteil seiner Fasern tritt der N. facialis am Foramen stylomastoideum aus der Schädelbasis aus und verzweigt sich extrakraniell, wobei die Gesichtsäste den *Plexus intraparotideus* bilden. Der zweite Fazialisteil, der *N. intermedius,* verlässt den N. facialis im langen Verlauf durch das Felsenbein u. a. als *N. petrosus major*[3] und als *Chorda tympani*[10] .

Der **N. facialis** ist der motorische Nerv für die mimische Muskulatur und andere aus dem 2. Kiemenbogen hervor-

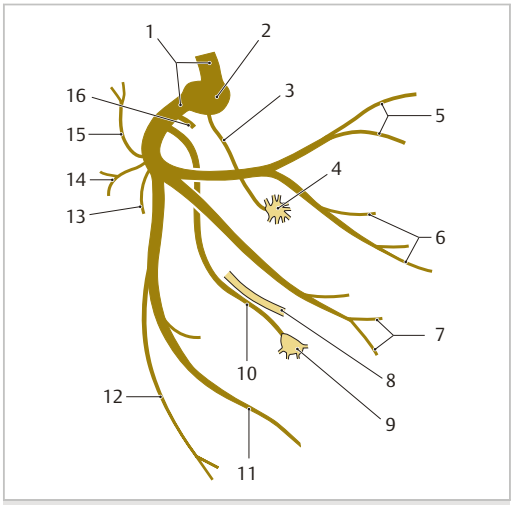


Abb. 20.26 Astfolge und Verbindungen des N. facialis.
1 N. facialis
2 Geniculum nervi facialis und Ganglion geniculi
3 N. petrosus major
4 Ganglion pterygopalatinum
5 Rr. temporales
6 Rr. zygomatici
7 Rr. buccales
8 N. lingualis
9 Ganglion submandibulare
10 Chorda tympani
11 R. marginalis mandibularis
12 R. colli
13 R. stylohyoideus
14 R. digastricus
15 N. auricularis posterior
16 N. stapedius
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

gegangene Muskeln. Vom Hauptteil des N. facialis zweigen folgende Äste ab:

- *N. stapedius*[16], der in der Paukenhöhle in den M. stapedius eintritt,
- *R. communicans (cum plexu tympanico)*, der rückläufig die Schleimhaut der Paukenhöhle erreicht und sich im *Plexus tympanicus* zusammen mit Fasern des N. glossopharyngeus (N. tympanicus) aufzweigt,
- der *R. communicans (cum nervo vago),* der sich nach Abgang der Chorda tympani dem R. auricularis des N. vagus anschließt,
- *N. auricularis posterior*[15], der unter dem Foramen stylomastoideum abzweigt, den *R. auricularis* zum äußeren Gehörgang abgibt und hinter dem Ohr auf dem Processus mastoideus zu den hinteren Ohrmuskeln zieht sowie über den *R. occipitalis* den Venter occipitalis des M. occipitofrontalis innerviert,
- *R. digastricus*[14], der unmittelbar nach Austritt des N. facialis aus der Schädelbasis zum hinteren Bauch des M. digastricus verläuft und den *R. stylohyoideus*[13] zum M. stylohyoideus, den *R. communicans (cum nervo glossopharyngeo)* zum N. glossopharyngeus entsendet,
- *Plexus intraparotideus,* ein weitmaschiges Geflecht motorischer Nervenfasern in einem Bindegewebsspalt der Glandula parotidea, aus dem hervorgehen:
  - *Rr. temporales*[5], die über den Jochbogen aufsteigen und zu den mimischen Muskeln oberhalb der Lidspalte treten,
  - *Rr. zygomatici*[6], die schräg aufsteigen und zu den mimischen Muskeln zwischen Lid- und Mundspalte ziehen,
  - *Rr. buccales*[7], die horizontal zum M. buccinator und zu den mimischen Muskeln im Mundbereich verlaufen,
  - *R. lingualis*[8], ein inkonstanter sensibler Ast, der in die Gegend des Foramen caecum der Zunge zieht,
  - *R. marginalis mandibularis*[11], der etwas oberhalb des Unterkieferrandes schräg zu den mimischen Muskeln unterhalb der Mundspalte absteigt,
  - *R. colli [cervicis]*[12], der steil abwärts hinter dem Angulus mandibulae zum Platysma tritt und dieses – teils über eine Anastomose mit dem *N. transversus colli* des *Plexus cervicalis* – innerviert.

Der **N. intermedius** führt Geschmacksfasern aus den vorderen zwei Dritteln der Zunge, möglicherweise auch sensible Fasern aus der Höhlung der Ohrmuschel und der Paukenhöhle sowie präganglionäre parasympathische Fasern für die Glandulae sublingualis und submandibularis, für die Tränendrüse und die kleinen Drüsen der Nasen- und Mundschleimhaut. Der N. intermedius teilt sich auf in:

- der *N. petrosus major*[3] verlässt als erste Portion präganglionärer parasympathischer Fasern den N. facialis am sensiblen Ganglion geniculi (am äußeren Fazialisknie). Er führt zugleich Geschmacksfasern aus der Gaumenschleimhaut (Unterfläche des weichen Gaumens), tritt im Hiatus canalis nervi petrosi majoris auf die Vorderfläche der Felsenbeinpyramide, zieht dann durch das Foramen lacerum und gelangt im Canalis pterygoideus an der Basis des Processus pterygoideus des Keilbeins zum *Ganglion pterygopalatinum*[4],
- die *Chorda tympani*[10], die – mit Geschmacksfasern aus der Zungenschleimhaut, sensiblen Fasern und der zweiten Portion präganglionärer parasympathischer Fasern – den N. facialis kurz vor dem Foramen stylomastoideum verlässt, durchbricht rückläufig die mediale hintere Wand der Paukenhöhle, zieht in einer Schleimhautfalte in einem nach oben gerichteten Bogen zwischen Hammerstiel und Amboss durch die Cavitas tympani, verlässt anschließend den Schädel durch die Fissura petrotympanica und tritt von hinten in den *N. lingualis*[8] ein,
- *R. communicans (cum plexu tympanico),* erreicht rückläufig die Schleimhaut der Paukenhöhle und verzweigt sich im *Plexus tympanicus* mit Fasern des N. glossopharyngeus (N. tympanicus),

- *R. communicans (cum nervo vago)*, schließt sich nach Abgang der Chorda tympani dem R. auricularis des N. vagus an.

Das *Ganglion geniculi [geniculatum]*[2] enthält Perikaryen der in der Chorda tympani verlaufenden Geschmacksfasern und vermutlich auch sensibler Fasern aus der Schleimhaut der Paukenhöhle und der Ohrtrompete.

Der **N. vestibulocochlearis** (VIII), Gleichgewichts- und Hörnerv, führt afferente Fasern, die als *N. vestibularis* an den Sinneszellen des Gleichgewichtsorgans, als *N. cochlearis* an denen des Hörorgans beginnen. Beide Nerven laufen im Meatus acusticus internus zusammen, verlassen das Felsenbein als N. vestibulocochlearis unter dem N. facialis durch den Porus acusticus internus und treten am Kleinhirnbrückenwinkel in das Rautenhirn ein.

Der **N. vestibularis** enthält das *Ganglion vestibulare*, zu dem in 2 Portionen Nervenfasern von den Rezeptorzellen ziehen:

- die *Pars superior* des Ganglion vestibulare erhält über den *N. utriculoampullaris* Fasern aus dem vorderen und dem seitlichen Bogengang *(N. ampullaris anterior* und *N. ampullaris lateralis)* und aus der Macula utriculi *(N. utricularis)*,
- die *Pars inferior* des Ganglion vestibulare erhält über den *N. ampullaris posterior* Fasern aus dem hinteren Bogengang und über den *N. sacculari*s Fasern aus der Macula sacculi.

Der **N. cochlearis** enthält das *Ganglion spirale cochleare*, zu dem Nervenfasern von den Sensorzellen des Organum spirale ziehen.

Der **N. glossopharyngeus** (IX, ▶ **Abb. 20.27**[1]) tritt seitlich aus der Medulla oblongata aus und verlässt die Schädelhöhe durch das Foramen jugulare, kreuzt extrakraniell auf der Rückseite des M. stylopharyngeus absteigend zur Seite und zieht zwischen M. stylopharyngeus und M. stylogloss us im Bogen zur Zungenwurzel.

In den N. glossopharyngeus eingelagert ist oberhalb des Foramen jugulare das kleine sensible *Ganglion superius*[2] (somatoafferent), und unterhalb davon in der Fossula petrosa das größere, ebenfalls sensible *Ganglion inferius*[4] (viszeroafferent). Aus ihm zweigt als erster Ast des N. glossopharyngeus der **N. tympanicus**[5] ab, der durch den Canaliculus tympanicus in die Paukenhöhle zieht. Der N. tympanicus kann eine Verdickung aufweisen, die von einer Ansammlung sensibler Perikaryen verursacht wird (*Intumescentia tympanica [Ganglion tympanicum]*). Schließlich fächert sich der Nerv in der Schleimhaut der medialen Paukenhöhlenwand zum *Plexus tympanicus*[6] auf.

Der N. tympanicus führt sensible Fasern aus der Schleimhaut der Paukenhöhle und der Ohrtrompete sowie präganglionäre parasympathische Fasern für die Glandula parotidea. Verbindungen bestehen über:

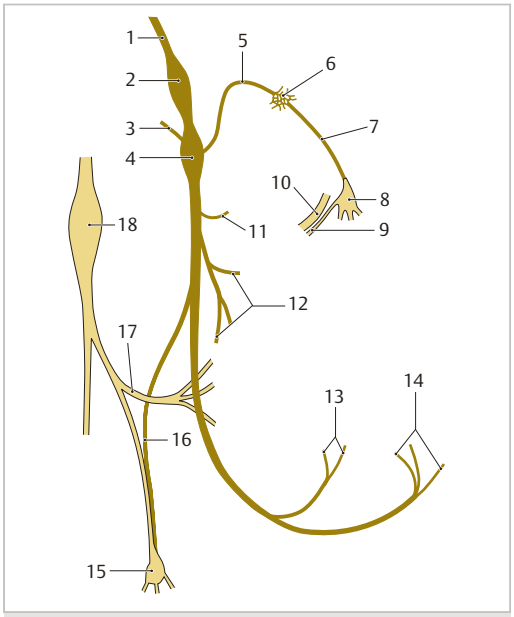


Abb. 20.27 Astfolge und Verbindungen des N. glossopharyngeus.
1 N. glossopharyngeus
2 Ganglion superius
3 R. communicans (cum ramo auricularis nervi vagi)
4 Ganglion inferius
5 N. tympanicus
6 Plexus tympanicus
7 N. petrosus minor
8 Ganglion oticum
9 R. communicans (cum nervo auriculotemporali)
10 N. auriculotemporalis
11 R. musculi stylopharyngei
12 Rr. pharyngei zum Plexus pharyngeus
13 Rr. tonsillares
14 Rr. linguales
15 Glomus caroticum
16 R. sinus carotici
17 Rr. laryngopharyngeales des Grenzstrangs zum Plexus pharyngeus
18 Ganglion cervicale superius
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

- *N. petrosus minor*[7] , der präganglionäre parasympathische Fasern durch die Fissura sphenopetrosa oder das Foramen lacerum (als Variante durch das Foramen ovale oder den Hiatus N. petrosi minoris) zum *Ganglion oticum* leitet,
- *Nn. caroticotympanici*, über die postganglioniäre sympathische Fasern aus dem *Plexus caroticus internus* in den *Plexus tympanicus* gelangen,

- *R. tubarius [tubalis]*, dessen sensible Fasern in die Schleimhaut der Tuba auditoria ziehen.

Das parasympathische **Ganglion oticum**[8], ein plattes, 3–4 mm großes Knötchen, liegt dicht unter dem Foramen ovale an der medialen Seite des N. mandibularis, lateral des M. tensor veli palatini. Das Ganglion enthält die Perikaryen der postganglionären parasympathischen Nervenfasern für die Glandula parotidea. Diese Fasern schließen sich zunächst über den *R. communicans (cum nervo auriculotemporali)*[9] dem N. auriculotemporalis[10] an. Die Verbindung zwischen N. glossopharyngeus und N. auriculotemporalis wird Jacobson-Anastomose genannt.

Die *„sympathische Wurzel"* des Ganglion oticum bilden postganglionäre Fasern aus dem Ganglion cervicale superius, die über den die A. meningea media begleitenden Teil des *Plexus caroticus externus* verlaufen. Sie bilden im Ganglion oticum keine Synapse. Durch das Ganglion oticum treten ohne Unterbrechung als Aufzweigungen des N. mandibularis bzw. der Chorda tympani:

- *N. musculi tensoris veli palatini* zum M. tensor veli palatini,
- *N. musculi tensoris tympani*, steigt nach hinten medial auf zum M. tensor tympani,
- *R. communicans (cum ramo meningeo),* stellt eine sensible Verbindung zum R. meningeus des N. mandibularis her,
- *R. communicans (cum chorda tympani),* leitet vermutlich Geschmacksfasern aus den vorderen zwei Dritteln der Zunge – unter Umgehung der „Mittelohrstrecke" der Chorda tympani – über den N. petrosus minor und den N. canalis pterygoidei zum Ganglion geniculi des N. facialis.

Im *N. glossopharyngeus* verlaufen nach dem Abgang des N. tympanicus motorische Fasern für die Schlundschnürer und den M. stylopharyngeus, außerdem sensible Fasern aus der Schleimhaut des postsulkalen Teils der Zunge, der Gaumenmandel und des Rachens sowie Geschmacksfasern von Blätter- und Wallpapillen.

Der N. glossopharyngeus entsendet bzw. nimmt auf:

- *R. communicans (cum ramo auriculari nervi vagi)*[3], eine dünne Verbindung zwischen dem *Ganglion inferius* des N. glossopharyngeus und dem *R. auricularis* des N. vagus,
- *R. sinus carotici*[16] , ein stärkerer Ast mit afferenten Fasern vom *Sinus caroticus* und vom *Glomus caroticum* (Blutdruckregulation), der Verbindungen zum *Ganglion cervicale superius,* des Truncus sympathicus und zum *N. vagus* besitzt,
- *Rr. pharyngei*[12], mehrere Äste mit efferenten und afferenten Fasern, die gemeinsam mit Ästen des N. vagus und des Truncus sympathicus den *Plexus pharyngeus* bilden,
- *R. musculi stylopharyngei*[11] , der den M. stylopharyngeus innerviert,
- *Rr. tonsillares*[13] , die zur Schleimhaut der Tonsilla palatina und ihrer Umgebung treten,
- *Rr. linguales*[14] , die Geschmacksfasern aus den Papillae vallatae und wahrscheinlich auch sensible Fasern aus dem hinteren Drittel der Zunge führen.

Der **N. vagus** (X, ▶ **Abb. 20.28**) entspringt im Sulcus posterolateralis der Medulla oblongata dicht hinter dem N. glossopharyngeus und verlässt – durch ein Bindegewebsblatt von ihm getrennt – die Schädelhöhle in einer mit dem N. accessorius gemeinsamen Durascheide durch das Foramen jugulare. Er bildet an dieser Stelle das kleine sensible *Ganglion superius*[2] (somatoafferent), etwas weiter kaudal das wesentlich größere, ebenfalls sensible *Ganglion inferius*[4] (viszeroafferent). Am Hals verläuft der N. vagus in der gemeinsamen Gefäß-Nerven-Scheide mit der A. carotis interna (bzw. communis) und der V. jugularis interna abwärts, etwas dorsal zwischen beiden Gefäßen gelegen. Zwischen A. subclavia und V. brachiocephalica, also ventral der A. subclavia und dorsal der V. subclavia, tritt er durch die Apertura thoracis superior und zieht – links vor dem Aortenbogen – hinter dem jeweiligen Hauptbronchus zwerchfellwärts.

Der N. vagus schließt sich im hinteren Mediastinum eng an den Oesophagus an, wobei als Folge der embryonalen Magendrehung der rechte mehr nach hinten, der linke mehr an die Vorderwand des Oesophagus zu liegen kommt. Beide Nn. vagi bilden gemeinsam den *Plexus oesophageus,* aus dem kaudal nahe dem Zwerchfelldurchtritt, der *Truncus vagalis anterior* (zu etwa 90 % Fasern des linken N. vagus) und der *Truncus vagalis posterior* (etwa 90 % Fasern aus dem rechten N. vagus) hervorgehen. Beide Vagusstämme gelangen durch den Hiatus oesophageus in die Bauchhöhle. Der Truncus vagalis anterior verzweigt sich hauptsächlich an Vorderfläche und kleiner Kurvatur des Magens, am Canalis pyloricus und am Anfangsteil des Duodenum sowie zum *Plexus hepaticus* an der Leberpforte, während die Äste des hinteren Vagusstamms vorwiegend zur Rückfläche des Magens (ausgenommen den Pyloruskanal) und zum *Plexus coeliacus* treten.

Der N. vagus ist der wichtigste parasympathische Eingeweidenerv mit einem ausgedehnten Verzweigungsgebiet (vagari = herumschweifen). Er innerviert die quergestreifte Muskulatur an Larynx, Pharynx und Oesophagus, die glatte Muskulatur der Respirationsorgane und des Darmkanals bis etwa zur Flexura coli sinistra (Cannon-Böhm-Punkt) sowie das Herz und Arcus aortae (Blutdruckregulation).

Der N. vagus führt auch sensorische Fasern aus diesen Bereichen sowie von den Barorezeptoren im Arcus aortae (Blutdruckregulation). Die afferenten Fasern aus den Eingeweiden leiten den größten Teil aller Eingeweidesensationen aus seinem Ausbreitungsgebiet. Ferner verlaufen im N. vagus Geschmacksfasern und sensible Fasern aus der Gegend der Vallecula epiglottica sowie sensible Fasern aus der Haut des äußeren Gehörgangs und der Dura der hinteren Schädelgrube. Der N. vagus entsendet:

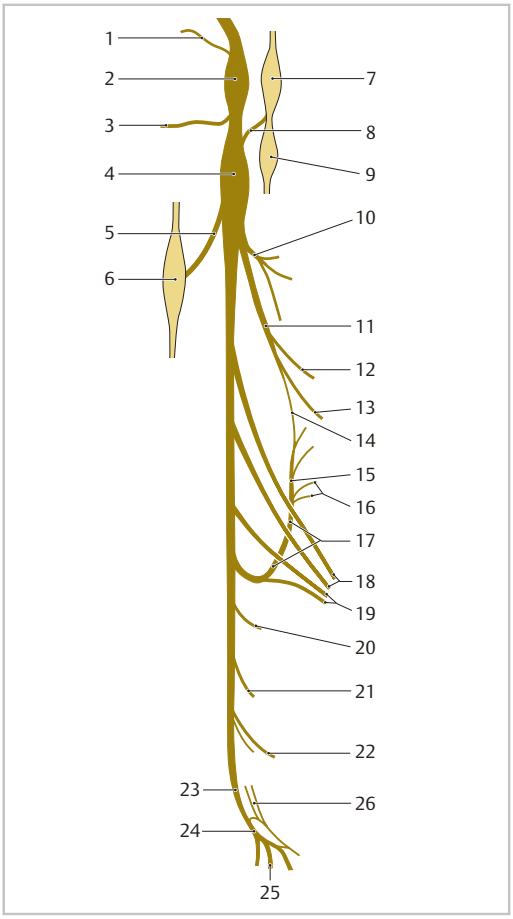


Abb. 20.28 Astfolge und Verbindungen des N. vagus.
1 R. meningeus
2 Ganglion superius des N. vagus
3 R. auricularis
4 Ganglion inferius des N. vagus
5 N. jugularis, Ast aus dem Ganglion cervicale superius zum Ganglion superius des N. vagus und zum Ganglion inferius des N. glossopharyngeus
6 Ganglion cervicale superius
7 Ganglion superius des N. glossopharyngeus
8 R. communicans (cum nervo glossopharyngeo)
9 Ganglion inferius des N. glossopharyngeus
10 Rr. pharyngei
11–14 *N. laryngeus superior*
12 R. externus
13 R. internus
14 R. communicans (cum nervo laryngeo recurrenti)
15 N. laryngeus inferior
16 Rr. tracheales und oesophagei des N. laryngeus recurrens
17 N. laryngeus recurrens
18 Rr. cardiaci cervicales superiores
19 Rr. cardiaci cervicales inferiores
20 Rr. cardiaci thoracici
21 Rr. bronchiales
22 Rr. gastrici und Rr. hepatici
23 Rr. coeliaci
24 Ganglion coeliacum
25 Plexus coeliacus
26 N. splanchnicus major
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

- an Kopf und Hals:
  - *R. meningeus*[1], verläuft rückläufig vom *Ganglion superius* zur Dura der hinteren Schädelgrube im Bereich des Sinus transversus und des Sinus occipitalis,
  - *R. auricularis*[3] , zieht vom *Ganglion superius* aus durch den Canaliculus mastoideus, tritt durch die Fissura tympanomastoidea aus und innerviert einen kleinen Bezirk der hinteren unteren Wand des äußeren Gehörgangs. Der R. auricularis steht außerdem durch den *R. communicans (cum nervo glossopharyngeo)*[8] mit dem N. glossopharyngeus in Verbindung,
  - *Rr. pharyngei*[10] zum *Plexus pharyngeus* in der Wand des Pharynx,
  - *N. laryngeus superior*[11-14] , tritt am *Ganglion inferius* aus, zieht zur Membrana thyrohyoidea abwärts und schickt den motorischen *R. externus* mit Fasern für den M. constrictor pharyngis inferior und M. cricothyroideus außen am Schildknorpel abwärts. Außerdem gibt er den sensiblen *R. internus* durch die Membran zur Schleimhaut der oberen Kehlkopfhälfte ab und ist über den *R. communicans (cum nervo laryngeo recurrenti)* mit dem N. laryngeus inferior verbunden,
  - *Rr. cardiaci cervicales superiores*[18] , die mit efferenten, größtenteils präganglionären Fasern und möglicherweise auch afferenten Fasern zum tiefen Teil des *Plexus cardiacus* und zu den *Ganglia cardiaca* ziehen,
  - *Rr. cardiaci cervicales inferiores*[19] mit efferenten, größtenteils präganglionären Fasern und evtl. auch mit afferenten Fasern rechts zum tiefen, links zum oberflächlichen Anteil des *Plexus cardiacus* und zu den *Ganglia cardiaca,*
  - *N. laryngeus recurrens*[17] , der rechts um die A. subclavia, links um den Aortenbogen in die Rinne zwischen Trachea und Oesophagus tritt. Er entsendet *Rr. tracheales* zur Trachea, *Rr. oesophagei* zum Osesophagus und als Endast den *N. laryngeus inferior* durch den M. constrictor pharyngis inferior hindurch zu den inneren Kehlkopfmuskeln und zur Schleimhaut der unteren Kehlkopfhälfte;

- im Brustbereich:
  - *Rr. cardiaci thoracici*[20], die mit efferenten präganglionären Fasern zum *Plexus cardiacus* ziehen,
  - *Rr. bronchiales*[21], die mit efferenten präganglionären und mit afferenten Fasern zum *Plexus pulmonalis* am Lungenhilum treten;
- im Bauchbereich:
  - aus dem Truncus vagalis anterior:
    - *Rr. gastrici anteriores*[22] zur Vorderfläche und kleinen Kurvatur des Magens,
    - *Rr. hepatici*[22] zum *Plexus hepaticus* in die Leberpforte, von denen ein *R. pyloricus* zur Pars pylorica des Magens abzweigt;
  - aus dem Truncus vagalis posterior:
    - *Rr. gastrici posteriores*[22], zur Rückfläche des Magens,
    - *Rr. coeliaci*[23] zum *Plexus coeliacus* in der Umgebung des Truncus coeliacus,
    - *Rr. renales* zum Plexus renalis an der A. renalis.

Der **N. accessorius** (XI, ▶ **Abb. 20.29**) entspringt mit 2 Wurzelportionen (*Radices craniales [Pars vagalis]*[2] und *spinales [Pars spinalis]*[1]) im Sulcus posterolateralis der Medulla oblongata. Sie bilden vorübergehend einen gemeinsamen Stamm (*Truncus nervi accessorii*[3]), der durch das Foramen jugulare aus der Schädelhöhle austritt und sich alsbald wieder in 2 Faserportionen aufteilt.

Die *Radices craniales* kommen aus dem *Nucleus ambiguus*, möglicherweise auch aus dem *Nucleus dorsalis nervi vagi* am Boden der Rautengrube.

Die Wurzelfäden der *Radices spinales* aus dem *Nucleus n. accessorii* im Vorderhorn des Halsmarks in den Segmenten C 1–6 treten zwischen den vorderen und den hinteren Spinalnervenwurzeln aus, steigen als Strang durch das Foramen magnum in die Schädelhöhle auf und vereinigen sich mit den Radices craniales zum **Truncus nervi accessorii**[3]. Er führt motorische Fasern für den M. trapezius und M. sternocleidomastoideus sowie für den N. vagus. Der Truncus nervi accessorii teilt sich auf in:

- *R. internus*[4], der dem N. vagus zwischen Ganglion superius und Ganglion inferius die Fasern der Radices craniales zuführt,
- *R. externus*[6] mit den gebündelten Fasern der Radices spinales, der schräg absteigt, einen Zweig zum M. sternocleidomastoideus gibt, dann mit *Rr. musculares* von unten in den M. trapezius eintritt und häufig Zuflüsse aus dem Plexus cervicalis erhält, die ihn auch teilweise ersetzen können.

Der **N. hypoglossus** (XII, s. ▶ **Abb. 20.30**[1]), der motorische Zungennerv, tritt ventrolateral zwischen Pyramide und Olive aus der Medulla oblongata und verlässt die Schädelhöhle durch den Canalis nervi hypoglossi. Extrakranial zieht er in einem absteigenden Bogen, bedeckt vom hinteren Bauch des M. digastricus und vom M. stylohyoideus, seitlich vom N. vagus nach vorn, kreuzt lateral über die A. carotis externa und ihre ersten Äste und erreicht über den Hinterrand des M. mylohyoideus die Zunge.

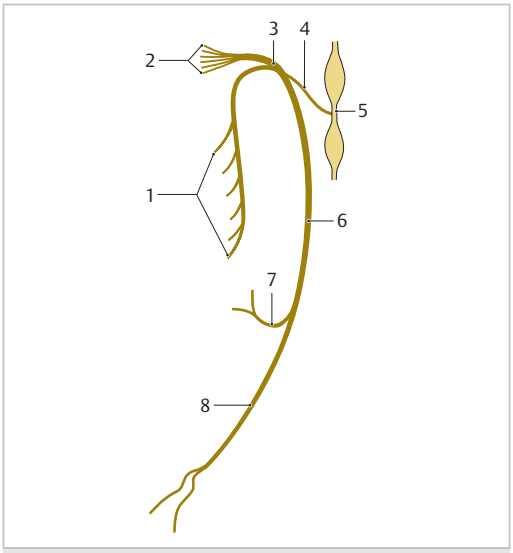


Abb. 20.29 Astfolge des N. accessorius und Verbindung zum N. vagus.
1 Radices spinales
2 Radices craniales
3 Truncus nervi accessorii
4 R. internus
5 N. vagus (Ganglion superius und inferius)
6 R. externus
7 Äste zum M. sternocleidomastoideus
8 Äste zum M. trapezius
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

Der N. hypoglossus verzweigt sich in die *Rr. linguales*, die lateral vom M. hyoglossus in die Zunge eindringen und den M. styloglossus, M. hyoglossus, M. genioglossus sowie die Binnenmuskulatur der Zunge innervieren.

20.5.2 Rückenmarknerven

Die Rückenmarknerven (Spinalnerven, Nn. spinales (s. ▶ **Abb. 19.5**) gehen mit einer dorsalen sensiblen Wurzel (Radix posterior [sensoria]) und mit einer ventralen motorischen Wurzel (Radix anterior [motoria]) in segmentaler Anordnung aus dem Rückenmark hervor. Beide Wurzeln vereinigen sich innerhalb des Durasackes zum **N. spinalis**, wobei die Nervenstrecke zwischen der Vereinigung der beiden Wurzeln und dem Abgang des 1. Astes auch als *Truncus nervi spinalis* bezeichnet wird. Dicht vor der Vereinigungsstelle liegt in der Radix posterior das sensible *Ganglion spinale*, das die Perikaryen der afferenten Fasern der hinteren Wurzel enthält.

Der Spinalnerv selbst ist seiner Faserzusammensetzung nach also gemischt. Die beidseits 31 Spinalnerven werden entsprechend der Segmentierung der Wirbelsäule gegliedert in 8 *Nn. cervicales*, 12 *Nn. thoracici*, 5 *Nn. lumbales*, 5 *Nn. sacrales* und 1 *N. coccygeus*. Der 1. Zervikalnerv tritt zwischen Hinterhaupt und Atlas aus dem Wirbelkanal.

Jeder (etwa 10 mm lange) Spinalnerv teilt sich, nachdem er durch das Foramen intervertebrale den Wirbelkanal verlassen hat, sofort auf in:

- den kleinen *R. meningeus*, der als sensibler Zweig in den Wirbelkanal zurückkehrt und die Meningen versorgt,
- die *Rr. communicantes*, die den Spinalnerv mit dem Truncus sympathicus verbinden. *Rr. communicantes grisei* führen postganglionäre Fasern rückläufig vom Truncus sympathicus zum Spinalnerv, mit dessen Verzweigungen sie zur Peripherie gelangen; *Rr. communicantes albi* leiten in allen Nn. thoracici und in den Nn. lumbales I und II (III) präganglionäre sympathische Fasern aus dem Seitenhorn des Rückenmarks zu den sympathischen Ganglien,
- den *R. posterior*, der sich mit Ausnahme des N. cervicalis I, der Nn. sacrales IV und V sowie des N. coccygeus in einen *R. medialis* und einen *R. lateralis* aufzweigt, die die gesamte autochthone Rückenmuskulatur innervieren und mit regionalen Besonderheiten die Haut des Rückens in einem handbreiten Streifen lateral der Dornfortsatzreihe und im Gesäßbereich versorgen. Die Rr. laterales der dorsalen Äste der Nn. sacrales I–III und der R. posterior des N. coccygeus sind rein sensibel,
- den *R. anterior* für die Innervation der gesamten übrigen somatischen Muskulatur und der übrigen Haut von Rumpf und Extremitäten.

Nervi cervicales I–VII

Dorsale Äste

Besonderheiten zeigen die *Rr. posteriores* der oberen 3 Zervikalnerven:

Der ungeteilte R. posterior des N. cervicalis I, der **N. suboccipitalis**, ist in der Regel rein motorisch und tritt zwischen A. vertebralis und dorsalem Atlasbogen zu den kurzen Nackenmuskeln.

Der R. posterior des 2. Zervikalnervs gibt zunächst einen Muskelast ab, ehe er sich in den kleinen R. lateralis und den kräftigen R. medialis teilt, der als **N. occipitalis major** ein ausgedehntes Innervationsgebiet am Hinterhaupt besitzt. Er gelangt zwischen Axis und M. obliquus capitis inferior unter die Nackenmuskeln und zieht zur Haut, indem er die Ursprungssehne des M. trapezius nahe der Protuberantia occipitalis externa durchbohrt.

Vom medialen Ast des R. posterior des N. cervicalis III zweigt der **N. occipitalis tertius** ab, der häufig am Lig. nuchae eine längere Strecke aufsteigt, ein Innervationsgebiet scheitelwärts des äußeren Hinterhauptshöckers in der Haut des Hinterkopfes erreicht und mit dem N. occipitalis major eine Anastomose bildet.

Ventrale Äste

Die *Rr. anteriores* des 1.–4. Zervikalnervs bilden den *Plexus cervicalis*. Die *Rr. anteriores* des 5.–8. Zervikalnervs setzen gemeinsam mit Fasern aus dem R. anterior des 1. Thorakalnervs den *Plexus brachialis* zusammen.

Der **Plexus cervicalis** (▶ **Abb. 20.30**) entsteht aus bogenförmigen Schlingen, über die die ventralen Äste der Zervikalnerven I–IV miteinander in Verbindung stehen, seitlich der oberen Halswirbel unter dem M. sternocleidomastoideus. Seine Äste verlaufen zwischen den Ursprüngen des M. scalenus anterior und medius bzw. M. levator scapulae in das seitliche Halsdreieck und werden von der Lamina prevertebralis der Fascia cervicalis und vom Gefäß-Nerven-Strang zum Kopf bedeckt.

Der Plexus cervicalis versorgt die Haut hinter dem Ohr, am Kieferwinkel, im vorderen und im seitlichen Halsdreieck bis unterhalb der Clavicula sowie einen Teil des Peritoneums im Oberbauch. Er innerviert die Mm. scaleni, die unteren Zungenbeinmuskeln und das Zwerchfell. Plexusäste beteiligen sich an der Innervation von M. trapezius, M. sternocleidomastoideus und M. levator scapulae.

Die *Hautäste* treten am „Punctum nervosum“ (Erb-Punkt), im mittleren Drittel am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus in Höhe des 3. Halswirbels unter die Halsfaszie. Sie ziehen in divergierenden Richtungen durch das oberflächliche Faszienblatt und durch das Platysma zur Haut.

Der **N. occipitalis minor**[2] (C 2, 3) steigt am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus, von diesem noch eine Strecke weit bedeckt, steil aufwärts zur Haut des Hinterhaupts hinter dem Ohr.

Der **N. auricularis magnus**[3] (C 2, 3) quert dorsal der V. jugularis externa aufsteigend den M. sternocleidomastoideus und verläuft anfänglich noch unter dem Platysma. Er teilt sich hinter dem Angulus mandibulae in den *R. anterior* zur Haut über dem Kieferwinkel und an der Vorderseite der Ohrmuschel und in den *R. posterior* für die Haut unmittelbar hinter der Ohrmuschel und an ihrer Hinterfläche.

Der **N. transversus colli**[4] (C 2, 3) zieht, bedeckt vom Platysma, horizontal über den M. sternocleidomastoideus nach vorn zur Halshaut, wobei er die V. jugularis externa meist unterkreuzt. Er zweigt sich im vorderen Halsdreieck fächerförmig auf, seine Äste durchbrechen das Platysma.

Rr. superiores versorgen die Haut oberhalb des Zungenbeins. Ein Ast verbindet sich mit dem R. colli nervi facialis, von dem er motorische Fasern für den unteren Anteil das Platysmas übernimmt („*Ansa cervicalis superficialis*“). *Rr. inferiores* innervieren die Haut unterhalb des Zungenbeins.

Die **Nn. supraclaviculares**[5] (C 3, 4), häufig 4 Nerven, laufen zunächst auf dem M. scalenus medius, dann seitlich des Hinterrands des M. sternocleidomastoideus im Fettgewebe des lateralen Halsdreiecks unter dem oberflächlichen Blatt

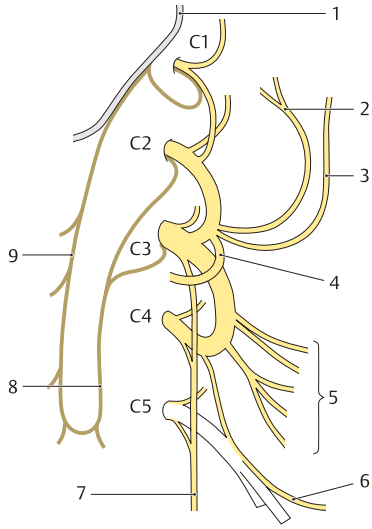


Abb. 20.30 N. hypoglossus und Plexus cervicalis. Kurze, meist aus den Segmentalnerven stammende Äste zu den prävertebralen Muskeln sind nicht dargestellt.
1 N. hypoglossus
2 N. occipitalis minor
3 N. auricularis magnus
4 N. transversus colli
5 Nn. supraclaviculares
6 zum Plexus brachialis
7 N. phrenicus
8 Radix inferior der Ansa cervicalis
9 Radix superior der Ansa cervicalis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

der Halsfaszie fächerförmig abwärts, durchbohren in Claviculanähe das Platysma und erreichen als vordere, mittlere und hintere Gruppe die Haut über der oberen Brust- und der Schulterregion.

Die *Nn. supraclaviculares mediales* innervieren die Haut über dem medialen Drittel der Clavicula bis zum Sternoklavikulargelenk. Die *Nn. supraclaviculares intermedii* versorgen die Haut des mittleren Drittels der Clavicula und der seitlichen Brustwand bis etwa in Höhe der 4. Rippe. Die *Nn. supraclaviculares laterales [posteriores]*, oft nur 1 Nerv, gelangen über den Vorderrand des M. trapezius zur Haut über Acromion und M. deltoideus. Motorische Fasern für den M. trapezius können zum N. accessorius wechseln.

Kurze *Muskeläste* der Rr. anteriores des 1.–4. Zervikalnervs, die nicht an der Plexusbildung teilhaben, ziehen zum M. longus colli und M. longus capitis, zum M. rectus capitis anterior und lateralis sowie zum M. scalenus anterior und medius.

Ein *R. muscularis* (C 3, 4) zum M. trapezius ist variabel. Er tritt häufig selbstständig unterhalb des N. accessorius – und parallel mit ihm verlaufend – zum Muskel, kann aber auch den lateralen Nn. supraclaviculares entspringen. M. sternocleidomastoideus und M. levator scapulae können ebenfalls direkte Muskeläste erhalten.

Die **Ansa cervicalis profunda**[8, 9], eine Schleife aus motorischen Nervenfasern der ventralen Äste der Nn. cervicales I–III, flankiert die V. jugularis interna. Aus ihr gehen Zweige für die Unterzungenbeinmuskeln ab. Die Ansa cervicalis setzt sich zusammen aus:

- *Radix inferior*[8] (C 2, 3), die als „N. cervicalis descendens“ unter dem M. sternocleidomastoideus medial des N. phrenicus schräg von oben lateral nach unten medial über die V. jugularis interna hinwegzieht und sich mit der Radix superior verbindet,
- *Radix superior*[9] (C 1, 2), die sich eine kurze Strecke dem N. hypoglossus anschließt, ihn als „R. descendens nervi hypoglossi“ verlässt, in der Vagina carotica an der medialen Seite der V. jugularis interna absteigt und in variabler Höhe, oft in Höhe der Zwischensehne des M. omohyoideus, in die Radix inferior übergeht.

Der **R. thyrohyoideus** und der Ast zum M. geniohyoideus lösen sich erst hinter dem großen Zungenbeinhorn vom N. hypoglossus und erreichen die gleichnamigen Muskeln.

Der **N. phrenicus**[7] (C 3, 4 (5)), der motorische Zwerchfellnerv, zieht zunächst am Hinterrand des M. scalenus anterior entlang, seitlich von der A. cervicalis ascendens, dann auf der Vorderfläche des Muskels abwärts – bedeckt vom tiefen Blatt der Halsfaszie und begleitet von der gegenläufigen A. cervicalis ascendens. Zwischen A. und V. subclavia tritt der Nerv, medial von der A. thoracica interna, in die obere Thoraxapertur. Im Brustraum verläuft er zusammen mit den Vasa pericardiacophrenica über die Vorderfläche der Pleurakuppel. Er zieht vor dem Lungenhilum zwischen Pleura mediastinalis und Pericard zum Zwerchfell, rechts längs der lateralen Wand von V. cava superior und rechtem Vorhof, links hinter der Herzspitze über die linke Kammer hinweg. Seine Äste sind:

- *R. pericardiacus* zur Vorderseite des Pericards, andere Zweige zur Pleura mediastinalis,
- *Rr. phrenicoabdominales* ziehen rechts durch das Foramen venae cavae, links an variabler Stelle, z. B. am Hiatus oesophageus, durch das Zwerchfell und innervieren sensibel das Peritoneum im Oberbauch (Peritonealüberzug von Leber und Pancreas, Teile des Peritoneums der vorderen Bauchwand). Die Rr. phrenicoabdominales anastomosieren mit dem Plexus coeliacus und stehen über sympathische und/oder sensible Fasern mit dem Ganglion cervicothoracicum und dem 2. Thorakalganglion in Verbindung. Der rechte R. phrenicoabdominalis verzweigt sich bis zum Lig. falciforme und zu V. cava infe-

rior, Gallenblase und Pars pylorica des Magens sowie in der Gegend der rechten Nebenniere.

Nn. phrenici accessorii (C 5, 6) können als zusätzliche „Wurzeln" zum N. phrenicus treten, z. B. in etwa 20 % der Fälle ein Ast aus dem N. subclavius des Plexus brachialis. Auch aus anderen ventralen Spinalnervenästen, äußerstenfalls aus dem 2. Zervikal- oder dem 1. Thorakalnerv, kann ein „Nebenphrenikus" kommen. Er liegt meist lateral vom N. phrenicus und verbindet sich mit ihm in Höhe der oberen Thoraxapertur. Beide Nerven können sich aber auch erst kurz oberhalb des Zwerchfells vereinigen, sodass das Bild eines „doppelten" N. phrenicus entsteht.

Der **Plexus brachialis** (▸ **Abb. 20.31**) setzt sich zusammen aus den Rr. anteriores des 5.–8. Zervikalnervs sowie dem R. anterior eines Teils des 1. Thorakalnervs. Der Plexus befindet sich in der Tiefe des seitlichen Halsdreiecks zwischen den kaudalen Ursprungszacken von M. scalenus anterior und medius. Die Fasern aus den ventralen Spinalnervenästen schließen sich als „Wurzeln" des Plexus brachialis im Ausgang der Skalenuslücke zu 3 Primärsträngen zusammen: *Truncus superior* (C 5, 6)[1], *Truncus medius* (C 7)[2] und *Truncus inferior* (C 8, Th 1)[3]. Die direkten Muskeläste der Trunci bilden die *Pars supraclavicularis* des Plexus brachialis. Die Trunci teilen sich – bereits oberhalb der Clavicula, mitunter auch schon am Abgang von den Rr. anteriores der betreffenden Segmentalnerven – jeweils in einen vorderen und einen hinteren Ast für die Flexoren und Extensoren des Arms. Sie lagern sich beim Übertritt in die Achselhöhle zu Sekundärsträngen (*Fasciculi*[8-10]) um, die sich jeweils *hinter, lateral* und *medial* der A. axillaris anordnen.

Die dorsalen Äste der Trunci vereinigen sich zum *Fasciculus posterior* (C 5–8, Th 1)[9]. Die ventralen Äste von Truncus superior und medius schließen sich zum *Fasciculus lateralis* (C 5–7)[8] zusammen. Die ventralen Äste des Truncus inferior bilden den *Fasciculus medialis* (C 8, Th 1)[10]. Aus den Fasciculi gehen als Äste der *Pars infraclavicularis* kurze Äste zu den Schultermuskeln und lange Äste zur Muskulatur der freien Extremität hervor.

Als Äste der **Pars supraclavicularis** verlassen den Plexus brachialis im seitlichen Halsdreieck:

- *N. dorsalis scapulae* (C 4, 5)[4], gelangt durch den M. scalenus medius unter den M. levator scapulae, zieht parallel zum medialen Scapularand unter den Mm. rhomboidei abwärts und innerviert diese 3 Muskeln,
- *N. thoracicus longus* (C 5–7(8))[7], verläuft durch den M. scalenus medius über die 1. Rippe seitwärts und auf dem M. serratus anterior, den er versorgt. Dann steigt der Nerv etwa in der mittleren Axillarlinie ab,
- *N. subclavius* (C(4) 5, 6)[6], dringt von hinten in den M. subclavius ein und entsendet häufig einen N. phrenicus accessorius zum N. phrenicus,

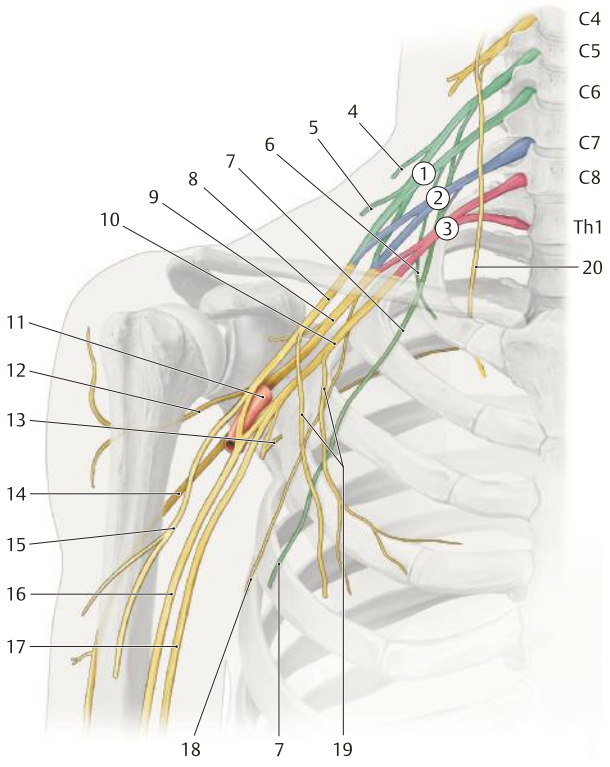


Abb. 20.31 Plexus brachialis. Die A. axillaris ist von den 3 Faszikeln umgeben.
1 Truncus superior
2 Truncus medius
3 Truncus inferior
4–7 Pars supraclavicularis
4 N. dorsalis scapulae
5 N. suprascapularis
6 N. subclavius
7 N. thoracicus longus
8–19 Pars infraclavicularis
8 Fasciculus lateralis
9 Fasciculus posterior
10 Fasciculus medialis
11 A. axillaris
12 N. axillaris
13 N. intercostobrachialis
14 N. radialis
15 N. musculocutaneus
16 N. medianus
17 N. ulnaris
18 N. thoracodorsalis
19 N. pectoralis medialis und N. pectoralis lateralis
20 N. phrenicus (nicht zum Plexus brachialis gehörend)
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- *N. suprascapularis* (C 4–6)[5], verläuft im Trigonum omoclaviculare am seitlichen Rand des Plexus brachialis nach lateral zur Incisura scapulae und tritt unter dem Lig. transversum scapulae superius zum M. supra- und infraspinatus.

Kurze Äste der Pars infraclavicularis. Auch die kurzen Äste des infraclaviculären Teils des Plexus brachialis lassen sich in ventrale (Flexoren-) Äste und dorsale (Extensoren-) Äste gliedern.

- *Ventrale* Äste zur Schultermuskulatur sind:
  - *N. pectoralis*[19] *medialis* (vom medialen Faszikel oder vom Truncus inferior, C 8, Th 1) und der *N. pectoralis lateralis* (aus dem lateralen Faszikel oder je ein Ast aus dem Truncus superior und dem Truncus medius, C 5–7), die vor der A. axillaris abwärts verlaufen, Äste zum M. pectoralis minor abgeben, die Fascia clavipectoralis durchbohren (ein Ast zusammen mit der V. cephalica) und sich im M. pectoralis major aufzweigen.
- *Dorsale* Äste zur Schultermuskulatur sind:
  - *N. subscapularis* (in der Regel 2 Äste aus dem hinteren Faszikel, C 5–7) nach kurzem Verlauf in den M. subscapularis, wobei der laterale Ast meist den M. teres major versorgt,
  - *N. thoracodorsalis*[18] (aus dem Fasciculus posterior, C 6–8) zwischen dorsaler Wand der Axilla und Rumpfwand durch das axilläre Bindegewebe zum M. latissimus dorsi und mit inkonstanten Ästen zum M. teres major.

Lange Äste der Pars infraclavicularis. Bei den langen Ästen des infraclaviculären Teils des Plexus brachialis unterscheidet man ebenfalls ventrale und dorsale Äste:

- Aus dem *Fasciculus lateralis* gehen hervor:
  - *N. musculocutaneus*[15] (C 5–7), der im mittleren Drittel durch den M. coracobrachialis tritt, anschließend unter dem M. biceps brachii und auf dem M. brachialis nach distal zieht, *Rr. musculares* zu allen Flexoren des Oberarms abgibt und mit dem sensiblen Endast (*N. cutaneus antebrachii lateralis*) die Haut an der Radialseite des Unterarms innerviert,
  - *Radix lateralis (nervi mediani)* (C 6, 7), lateraler Teil des N. medianus[16], die sich von lateral um die A. axillaris nach ventral schlingt und mit dem medialen Teil vereinigt.
- Aus dem *Fasciculus medialis* entstehen:
  - *N. cutaneus brachii medialis* (Th 1, 2), gelegentlich doppelt ausgebildet, nimmt in der Achselhöhle oder am Oberarm den *N. intercostobrachialis*[13] auf, durchbricht in Höhe der vorderen Achselfalte die Faszie und versorgt die Haut an der Medialseite des Oberarms von der Achselgrube bis zum Ellenbogen,
  - *N. cutaneus antebrachii medialis* (C 8, Th 1), verläuft am Ende der distalen Achselstrecke an der medialen Seite der A. axillaris, dringt am Oberarm mit der V. basilica durch die Fascia brachii und innerviert mit dem *R. anterior* die Haut an der medialen Beugeseite des Unterarms und mit dem *R. posterior* die Haut in der ulnaren Randzone der Unterarmstreckseite (obere zwei Drittel),
  - *Radix medialis (nervi mediani)* (C 8, Th 1), mediale Zinke der Medianusgabel, die von medial vor die A. axillaris zieht und sich mit der lateralen Gabelzinke zum N. medianus verbindet,
  - *N. ulnaris*[17] (C 6–8, Th 1), verlässt die Achselhöhle an der medialen Seite der A. axillaris, tritt durch das Septum intermusculare brachii mediale in die Extensorenloge am Oberarm und zieht dorsal über den Gelenkspalt des Ellenbogengelenks. Schließlich gelangt der N. ulnaris aus dem Sulcus nervi ulnaris am Epicondylus medialis humeri unter den Sehnenbogen zwischen humeralen und ulnaren Kopf des M. flexor carpi ulnaris, steigt unter diesem Muskel zum proximalen Handgelenk ab und teilt sich auf dem Retinaculum flexorum radial des Os pisiforme in seine beiden Endäste *R. superficialis* und *R. profundus* auf.

Der **N. ulnaris**[17] versorgt die ulnaren Flexoren an Unterarm und Hand sowie die Haut an der Ulnarseite der Hand und der ulnaren Finger. Er gibt am Unterarm folgende Äste ab:

- *Rr. articulares* zur Kapsel des Ellenbogengelenks,
- *Rr. musculares*, gehen proximal nahe des Ellenbogengelenks ab und versorgen den M. flexor carpi ulnaris und den ulnaren Teil des M. flexor digitorum profundus,
- *R. dorsalis nervi ulnaris*, geht etwa in der Mitte des Unterarms ab und verläuft um die Ulna herum zur Streckseite, versorgt die Haut des ulnaren Handrückens sowie mit seinen 2(–3) Endästen (*Nn. digitales dorsales*) die zwei bis zweieinhalb ulnaren Finger bis zum Mittelglied,
- *R. palmaris nervi ulnaris*, geht im distalen Drittel des Unterarms ab und verläuft zur Haut des Kleinfingerballens.

Schließlich teilt sich der N. ulnaris etwa in Höhe des Handgelenks in seine beiden Endäste, den R. superficialis und den R. profundus.

Der *R. superficialis* des N. ulnaris verläuft ulnar des Arcus palmaris superficialis, innerviert den M. palmaris brevis und verzweigt sich dann in Hautäste, nämlich den *N. digitalis palmaris proprius* zum ulnaren Rand des Kleinfingers und den *N. digitalis palmaris communis*, der sich in 2 *Nn. digitales palmares proprii* für die einander zugewandten palmaren Seitenränder des 4. und des 5. Fingers gabelt.

Der *R. profundus* des N. ulnaris begleitet den arteriellen R. palmaris profundus zwischen M. abductor digiti minimi und M. flexor digiti minimi brevis durch den Kleinfingerballen und zieht proximal und unter dem Arcus palmaris profundus daumenwärts. Er gibt *Rr. musculares* an die Muskeln des Hypothenars ab (ausgenommen den M. palmaris brevis), an die ulnaren Mm. lumbricales, den M. adductor pollicis und meist an den tiefen Kopf des M. flexor hallucis brevis sowie an alle Mm. interossei der Hand. Mit sensiblen Zweigen versorgt er Hand- und Fingergrundgelenke.

Der **N. medianus** (C 6–8, Th 1)[16] setzt sich aus 2 Wurzeln zusammen: eine aus dem Fasciculus lateralis, eine aus dem Fasciculus medialis (s. o.). Er versorgt einen wesentlichen Teil der Flexoren am Unterarm und an der Hand sowie die

Haut der Handwurzel, des Daumenballens, der Hohlhand und der Beugeseite der dreieinhalb radialen Finger. Der N. medianus überkreuzt im Sulcus bicipitalis medialis die A. brachialis in einer langen Spiraltour von proximal lateral nach distal medial. Er zieht unter der Aponeurosis musculi bicipitis brachii, aber vor der Ansatzsehne des M. brachialis über das Ellenbogengelenk hinweg, tritt zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres hindurch, verläuft zwischen dem M. flexor digitorum superficialis und profundus zum Handgelenk und gelangt unter dem Retinaculum flexorum zur Hohlhand. Der N. medianus gibt folgende Äste ab:

- *Rr. articulares*, gehen etwa in Höhe des Gelenkspalts ab und ziehen zur Kapsel des Ellenbogengelenks,
- *Rr. musculares*, verlassen den N. medianus in der proximalen Oberarmhälfte und versorgen M. pronator teres, M. flexor carpi radialis, M. palmaris longus und M. flexor digitorum superficialis,
- *N. interosseus [antebrachii] anterior*, geht in Höhe oder distal des M. pronator teres ab und verläuft auf der Membrana interossea antebrachii nach distal. Er versorgt M. flexor pollicis longus, M. flexor digitorum profundus und M. pronator quadratus,
- *R. palmaris nervi mediani*, geht im distalen Unterarmdrittel ab zur lateralen Hohlhand,
- *R. communicans cum nervo ulnari*, verläuft in Höhe der Handwurzel zum N. ulnaris,
- *Rr. musculares,* zweigen unmittelbar distal des Retinaculum flexorum ab und versorgen die Muskeln des Daumenballens mit Ausnahme des M. adductor pollicis und des tiefen Kopfes des M. flexor pollicis brevis.

Schließlich teilt sich der N. medianus in 3 *Nn. digitales palmares communes,* die distal des Karpaltunnels auseinanderweichen und – den Arcus palmaris superficialis unterkreuzend – Äste zu den Mm. lumbricales I und II (gelegentlich auch III) entsenden und sich in die *Nn. digitales palmares proprii* aufzweigen, die die Haut an der Palmarseite der dreieinhalb Finger sensibel versorgen.

Der *N. digitalis palmaris communis I* versorgt mit 3 Hautästen (*Nn. digitales palmares proprii*) palmar beide Seitenränder des Daumens und den radialen Rand des Zeigefingers. Die *Nn. digitales palmares communes II* und *III* teilen sich jeweils in 2 *Nn. digitales palmares proprii* zu den einander zugekehrten palmaren Rändern des 2. und 3. sowie des 3. und 4. Fingers.

Der **Fasciculus posterior**[9] gibt folgende Äste ab:

- *N. axillaris* (C 5, 6)[12], gelangt durch die laterale Achsellücke hinter das proximale Humerusende, innerviert mit *Rr. musculares* M. teres minor und M. deltoideus und versorgt mit dem *N. cutaneus brachii lateralis superior* das über dem M. deltoideus gelegene Hautareal,
- *N. radialis* (C 6–8, Th 1)[14], zieht in Begleitung der A. profunda brachii an die Dorsalseite des Humerus, umgreift im Sulcus (nervi) radialis den lateralen Humerusrand und tritt im Ellenbogenbereich durch das Septum intermusculare brachii laterale in die Flexorenloge ein. Aus dem Sulcus bicipitalis lateralis erreicht der N. radialis die Ellenbogengrube und teilt sich proximal des Gelenkspalts in den *R. superficialis* und den *R. profundus (nervi radialis)*.

Der **N. radialis**[14] versorgt sämtliche Extensoren an Ober- und Unterarm. Mit seinen Hautästen innerviert er die Haut an der Dorsalseite des Arms (ausgenommen die Regio deltoidea) und der Hand (mit Ausnahme der Ulnarseite des Handrückens, der Dorsalseite des 4. und 5. Fingers und der Endglieder des 2. und 3. Fingers). Der N. radialis gibt folgende Äste ab:

- *Rr. articulares* für die Kapsel des Schultergelenks,
- *N. cutaneus brachii posterior*, geht in der Axilla ab zur Haut an der Dorsalseite des Oberarms bis nahe an den Ellenbogen,
- *N. cutaneus brachii lateralis inferior*, zweigt im Radialiskanal ab und zieht durch den lateralen Trizepskopf zur Haut an der dorsolateralen Seite des Oberarms (mittleres und distales Drittel),
- *Rr. musculares*, verlassen den N. radialis vor bzw. bei Eintritt in den Sulcus (nervi) radialis und verlaufen zu den 3 Trizepsköpfen und zum M. anconaeus sowie – nach Durchtritt durch das Septum intermusculare brachii laterale – zum lateralen Teil des M. brachialis (inkonstant) und zum M. brachioradialis und M. extensor carpi radialis longus,
- *N. cutaneus antebrachii posterior*, geht im Radialiskanal oder weiter distal ab und versorgt die Haut im Ellenbogenbereich und an der Dorsalseite des Unterarms.

Der *R. superficialis* des N. radialis steigt vor dem Epicondylus lateralis humeri und hinter dem M. brachioradialis ab, verläuft lateral der A. radialis und zieht über M. supinator, M. pronator teres und M. flexor pollicis longus (Caput radiale) abwärts, ehe er sich etwas distal der Mitte des Unterarms – unter der Sehne des M. brachioradialis – um die laterale Fläche des Radius auf die Streckseite windet, durch die Faszie tritt und sich aufteilt in 4 (–5) *Nn. digitales dorsales,* die Äste zur Haut des radialen Handrückens und zu den dorsalen Rändern der zweieinhalb bis drei radialen Finger abgeben (an Zeige- und Mittelfinger nur bis zum Mittelglied, die Endglieder werden von palmaren Ästen innerviert). Auf dem Handrücken anastomosiert der R. superficialis über den *R. communicans ulnaris* mit dem N. digitalis dorsalis für den Mittel- oder Ringfinger (aus dem R. dorsalis nervi ulnaris).

Der *R. profundus* des N. radialis umgreift das Collum radii im M. supinator, verläuft anschließend zwischen oberflächlichen und tiefen Extensoren und tritt mit seinem Endast, dem *N. interosseus [antebrachii] posterior,* am Unterrand des M. extensor pollicis brevis auf die Dorsalseite der Membrana interossea antebrachii, ehe er sich an der Kapsel der Handgelenke und der 4 radialen Fingergrundgelenke aufzweigt. Er entsendet vor Eintritt in den M. supinator *Rr. musculares* an M. extensor carpi radialis brevis und M. supinator, unmittelbar am Unterrand des M. supinator kurze Äste zu den oberflächlichen Extensoren sowie zu M. abductor pollicis longus und M. extensor pollicis brevis und – weiter dis-

tal – einen sich aufzweigenden R. muscularis zum M. extensor pollicis longus und M. extensor indicis.

20

Nervi thoracici I–XII

Dorsale Äste

Die *Rr. mediales* der dorsalen Äste der Nn. thoracici I–VI sind kräftig entwickelt und dringen zwischen M. multifidus und M. semispinalis thoracis durch die autochthonen Rückenmuskeln, die sie innervieren. Außerdem treten sie durch die Mm. rhomboidei und den M. trapezius und versorgen mit *Rr. cutanei mediales* die Haut beidseits der Dornfortsatzreihe. Bei den unteren 6 Thorakalnerven erschöpfen sich die schwachen medialen Äste der Rr. posteriores meist im M. erector spinae und erreichen nur selten die Haut.

Die *Rr. laterales* der dorsalen Thorakalnervenäste nehmen nach kaudal an Stärke zu und innervieren vor allem M. longissimus thoracis und M. iliocostalis. Während von den N. thoracici I–VI laterale Äste der Rr. posteriores nur unregelmäßig zur Haut gelangen, tritt bei den unteren 6 Thorakalnerven aus dem jeweiligen R. posterior (zwischen M. longissimus thoracis und M. iliocostalis, anschließend den M. serratus posterior inferior und M. latissimus dorsi durchbohrend) ein langer, schräg absteigender *R. cutaneus lateralis* zur Rückenhaut (der 12. Thorakalnerv bis nahe an den Darmbeinkamm).

Ventrale Äste

Von den Nn. thoracici ist der ventrale Ast des *N. thoracicus I* an der Bildung des *Plexus brachialis* beteiligt, der ventrale Ast des *N. thoracicus XII* (*N. subcostalis*) gibt Fasern zum *Plexus lumbalis* ab.

Die *Rr. anteriores* der Nn. thoracici I–XI, die **Nn. intercostales**, verlaufen nahe der Wirbelsäule auf der Innenfläche des M. intercostalis externus, vom Pleuraspalt nur durch die Fascia endothoracica und die Pleura costalis getrennt. Jeder Interkostalnerv tritt am Angulus costae, wo der M. intercostalis internus „beginnt“, in diesen Muskel ein und gliedert – gemeinsam mit den etwas weiter lateral hinzutretenden Vasa intercostalia – nach innen den M. intercostalis intimus ab. Nur der jeweils den äußeren Interkostalmuskel versorgende Nervenast, der beim 1.–4. und 9.–11. Interkostalnerv auch die Fasern für die Mm. serrati posteriores führt, zieht zwischen M. intercostales externus und internus.

Der R. anterior des 12. Thorakalnervs, der **N. subcostalis**, folgt dem Unterrand der 12. Rippe. Er verläuft meist vor dem M. quadratus lumborum, ehe er zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis tritt.

Die Interkostalnerven I–VI bleiben in ihrer Ausbreitung auf die Brustwand begrenzt, kreuzen am vorderen Ende des jeweiligen Interkostalraums ventral die Vasa thoracica interna und den M. transversus thoracis und treten durch die innere Interkostalmuskelschicht und die Membrana intercostalis externa auf die Außenseite der Thoraxwand.

Die Interkostalnerven VII–XI und der N. subcostalis behalten dagegen die schräge Verlaufsrichtung bei, überschreiten die Grenzen ihres Interkostalraums und ziehen (die Nn. intercostales VII–XI durch die Rippenursprünge des Zwerchfells hindurch) in die Bauchwand, wo sie zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis den M. rectus abdominis erreichen (der 10. Interkostalnerv etwa in Nabelhöhe). Dabei kreuzt der 7.–9. Interkostalnerv die Innenfläche der zum Sternum aufsteigenden Rippenknorpel.

Die Interkostalnerven II–XI und der N. subcostalis enden als *Rr. cutanei anteriores pectorales/abdominales*. Die Hautäste zur vorderen Brustwand dringen neben dem Sternum durch die Brustfaszie, die Hautäste zur vorderen Bauchwand durchbohren (oft zweigeteilt) den M. rectus abdominis und das vordere Blatt der Rektusscheide oder treten am lateralen Rektusrand vorbei durch die Aponeurose und durchbrechen die oberflächliche Bauchfaszie. Die Rr. cutanei anteriores teilen sich jeweils in einen medialen und einen lateralen Zweig. Die lateralen Äste der Rr. cutanei anteriores II–IV bilden die *Rr. mammarii mediales* zur Mamma.

Dem N. intercostalis I fehlt in der Regel der vordere und oft auch der laterale Hautast. Diese werden durch die *Nn. supraclaviculares* ersetzt. Der R. cutaneus lateralis kann zur Haut der Axilla ziehen oder sich dem N. intercostobrachialis anschließen.

Die Interkostalnerven und der N. subcostalis versorgen die autochthone Brustmuskulatur, den M. serratus posterior superior und inferior sowie die Bauchmuskeln. Sie innervieren mit seitlichen und vorderen Hautästen Brust- und Bauchhaut, kranial im Anschluss an das Innervationsgebiet der Nn. supraclaviculares und kaudal bis zum Versorgungsgebiet des Plexus lumbalis (N. iliohypogastricus) in der Leistenbeuge.

Die Nn. intercostales II–XI und der N. subcostalis geben außer Rr. musculares und sensiblen Ästen zu Pleura costalis und Peritoneum parietale jeweils folgende Äste ab:

- einen feinen, offiziell nicht benannten *R. collateralis* in den kaudalen Randbereich des entsprechenden Interkostalraums bzw. Versorgungsareals, der zum Hauptast zurückkehren oder als zusätzlicher vorderer Hautast enden kann,
- den *R. cutaneus lateralis pectoralis /abdominalis*, der jeweils in der mittleren Axillarlinie zwischen den Ursprungszacken des M. serratus anterior oder des M. obliquus externus abdominis die Faszie durchbricht und sich in einen vorderen und einen hinteren Zweig zur seitlichen Brust- und Bauchwand teilt, wobei die langen vorderen Äste der Rr. cutanei laterales aus dem 4.–6. Interkostalnerv als *Rr. mammarii laterales* zur Mamma ziehen.

Ein Großteil der Fasern des seitlichen Hautastes des 2. (oft auch 3.) Interkostalnervs bildet den *N. intercostobrachialis*, der durch die Achselhöhle zum N. cutaneus brachii medialis zieht. Der R. cutaneus lateralis des N. subcostalis steigt – etwa 5 cm hinter der Spina iliaca anterior superior – über den Darmbeinkamm zur Haut im vorderen Teil der Gesäßregion ab.

Nervi lumbales I–V

Dorsale Äste

Die Rr. posteriores des 1.–3. Lumbalnervs bilden mit ihren lateralen, vorwiegend sensiblen Zweigen die *Nn. clunium superiores*. Sie innervieren die Haut der kranialen Gesäßgegend, lateral bis zum Trochanter major absteigend.

Ventrale Äste

Der R. anterior des *N. lumbalis V* beteiligt sich am Aufbau des *Plexus sacralis*.

Der **Plexus lumbalis** (▶ **Abb. 20.32**) entsteht – hinter dem und im M. psoas major – aus den Rr. anteriores des 1.–3. Lumbalnervs sowie Faseranteilen der Rr. anteriores des 12. Thorakal- und des 4. Lumbalnervs. Er ist durch den *Truncus lumbosacralis* (Fasern aus dem R. anterior des 4. Lumbalnervs und vorderer Ast des 5. Lumbalnervs) mit dem *Plexus sacralis* zum **Plexus lumbosacralis** verbunden.

Mit Ausnahme des N. obturatorius, der in der lateralen Wand des kleinen Beckens zum Oberschenkel zieht, erreichen die übrigen Nerven des Plexus lumbalis mehr oder weniger steil absteigend Bauchwand und Oberschenkel.

Der **N. iliohypogastricus** (Th 12, L 1)[2] verläuft durch den M. psoas major, lateral davon hinter der Niere, aber vor dem M. quadratus lumborum und gelangt zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis, die er innerviert. Er tritt medial der Spina iliaca anterior superior durch den M. obliquus internus abdominis, durchbohrt die Externusaponeurose und die oberflächliche Bauchfaszie nur wenige Zentimeter oberhalb des äußeren Leistenrings und zieht als *R. cutaneus anterior* zur Haut der Leistenbeuge. Vom Nervenstamm tritt der *R. cutaneus lateralis* bereits oberhalb des Darmbeinkamms zur Haut der seitlichen Hüftregion.

Der etwas schwächere **N. ilioinguinalis** (Th 12, L 1)[3] kann mit dem N. iliohypogastricus aus einem gemeinsamen Stamm hervorgehen, zieht aber meist etwas weiter kaudal und parallel zu ihm vom Seitenrand des M. psoas major zunächst zwischen Nierenlager und M. quadratus lumborum, lateral zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis abwärts, versorgt diese beiden Muskeln und tritt mit sensiblen Fasern durch den äußeren Leistenring zu einem kranial und medial davon gelegenen Hautfeld. Er entsendet bei der Frau *Nn. labiales anteriores* als ventrale Hautäste des Labium majus pudendi, beim Mann *Nn. scrotales anteriores* zur Vorderseite des Scrotums.

Der **N. genitofemoralis** (L 12)[4] dringt durch den M. psoas major und teilt sich auf dessen Vorderseite absteigend in den *R. genitalis* (bei der Frau zur Haut der großen Schamlippe, beim Mann zu M. cremaster und Skrotalhaut) und den *R. femoralis* zur Haut am Oberschenkel in der Nachbarschaft des Hiatus saphenus.

Der **N. cutaneus femoris lateralis** (L 2, 3)[7] kreuzt vom Seitenrand des M. psoas major nach lateral unter die Fascia iliaca, gibt sensible Äste zum Peritoneum der Darmbeingrube ab und zieht nahe der Spina iliaca anterior superior durch das Leistenband oder durch die Lacuna musculorum zur Haut an der lateralen Seite des Oberschenkels.

Der **N. obturatorius** (L 2–4)[5] steigt hinter oder im M. psoas major ab, unterkreuzt an dessen medialem Rand die Vasa iliaca communia bzw. interna und erreicht, über die Linea terminalis hinweg und seitlich vom Ureter verlaufend, den Canalis obturatorius. Er teilt sich beim Eintritt in den Kanal in den *R. posterior* (mit *Rr. musculares* zum M. obturatorius externus sowie zum M. adducctor magnus und brevis und einem *R. articularis* zum Kniegelenk) und in den *R. anterior* (mit Muskelästen zu allen Adduktoren am Oberschenkel – ausgenommen den M. adductor magnus – und einem *R. articularis* zum Hüftgelenk). Sein Endast, der *R. cutaneus*, versorgt ein variables Hautareal an der Innenseite des Oberschenkels oberhalb des Knies. Als *N. obturatorius acessorius* (L 3, 4) zieht nicht selten ein zusätzlicher, eigenständiger Nerv zum M. pectineus und zum Hüftgelenk.

Der **N. femoralis** (L 2–4)[6], der stärkste Ast des Plexus lumbalis, tritt am Seitenrand des M. psoas major, oft von ihm verdeckt, unter die Fascia iliaca, gelangt in der Rinne zwischen M. psoas und M. iliacus durch die Lacuna musculorum zum Oberschenkel und zweigt sich wenige Zentimeter unterhalb des Leistenbandes auf in *Rr. musculares* für die Extensoren am Oberschenkel, in Hautäste (*Rr. cutanei anteriores*) für die distalen drei Viertel der Vorderseite des Oberschenkels und in den *N. saphenus*, einen Hautast für Unterschenkel und Fuß.

Der N. saphenus tritt in den Adduktorenkanal ein, überkreuzt darin die A. femoralis von lateral nach medial, durchbricht in der Mitte des Kanals oder etwas weiter distal gemeinsam mit dem R. saphenus der A. descendens genus die Membrana vastoadductoria und gelangt zwischen M. sartorius und M. gracilis oberhalb des Kniegelenks in die Subcutis. Er gibt den *R. infrapatellaris* zur Haut unterhalb der Patella ab und begleitet die V. saphena magna, wobei er mit *Rr. cutanei cruris mediales* die Haut an der Medialseite von Unterschenkel und Fuß innerviert.

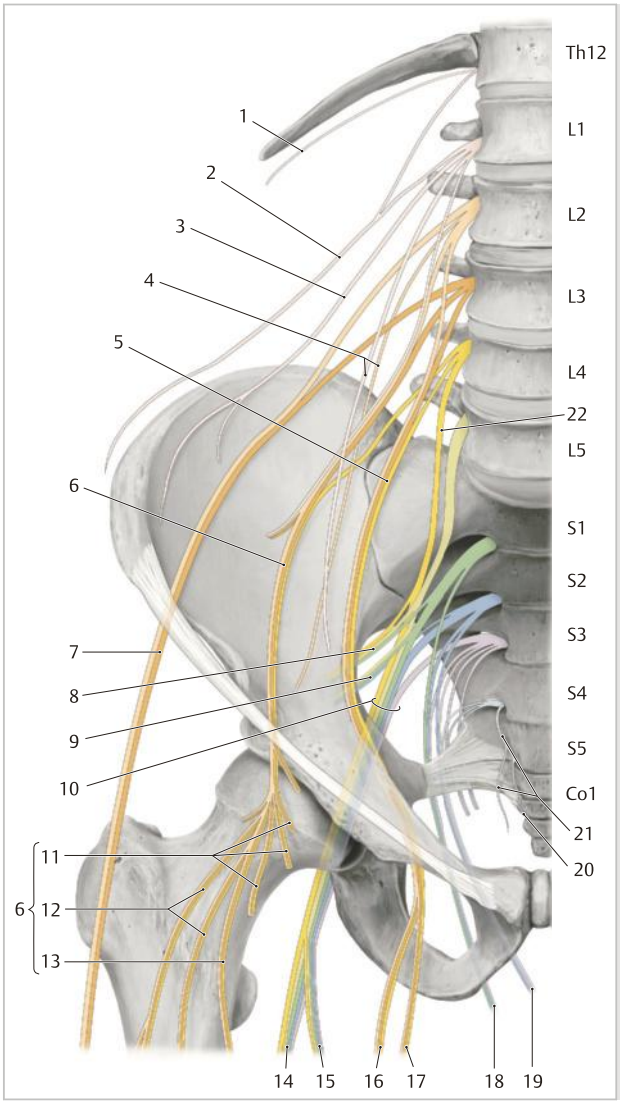


Abb. 20.32 Plexus lumbalis und Plexus sacralis. Ansicht von ventral (Plexus"wurzeln" nach v. Lanz-Wachsmuth).
1 N. subcostalis
2–7 Plexus lumbalis
2 N. iliohypogastricus
3 N. ilioinguinalis
4 N. genitofemoralis
5 N. obturatorius
6 N. femoralis
7 N. cutaneus femoris lateralis
8–10 u. **14–19 Plexus sacralis**
8 N. gluteus superior
9 N. gluteus inferior
10 N. ischiadicus
11 Rr. cutanei femoris anteriores
12 Rr. musculares nervi femoralis
13 N. saphenus
14 N. ischiadicus (N. fibularis communis und N. tibialis)
15 R. muscularis des N. ischiadicus
16 R. posterior des N. obturatorius
17 R. anterior des N. obturatorius
18 N. cutaneus femoris posterior
19 N. pudendus
20 N. coccygeus
21 Plexus coccygeus
22 Truncus lumbosacralis
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

Nervi sacrales I–V

Dorsale Äste

Die Rr. posteriores des 1.–3. Sakralnervs bilden mit ihren lateralen Ästen die *Nn. clunium medii.* Sie durchbohren den M. gluteus maximus und innervieren die kraniomediale Gesäßhaut.

Ventrale Äste

Aus den Rr. anteriores des 5. Lumbal- bis 3. Sakralnervs und von Fasern der Rr. anteriores des 4. Lumbal- und 4. Sakralnervs entsteht der *Plexus sacralis.* Aus den Rr. anteriores des 5. Sakralnervs und des N. coccygeus sowie Fasern aus dem R. anterior des 4. Sakralnervs wird der *Plexus coccygeus* gebildet.

Der **Plexus sacralis** (▶ **Abb. 20.32**) geht aus dem *Truncus lumbosacralis* (Fasern aus dem R. anterior des 4. und 5. Lumbalnervs), den Rr. anteriores des 1.–3. Sakralnervs und einem Faseranteil des R. anterior des 4. Sakralnervs hervor. Der Plexus sacralis entsteht, bedeckt von der Lamina parietalis pelvis, auf dem M. piriformis seitlich der Foramina sacralia anteriora. Die Nerven des Plexus sacralis verlassen – mit Ausnahme des N. musculi piriformis, der sei-

nen Muskel im kleinen Becken erreicht, und des N. gluteus superior, der durch die suprapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum austritt – den subperitonealen Raum durch die infrapiriforme Abteilung. Sie orientieren sich zur Dorsalseite der unteren Extremität.

Der **N. musculi piriformis** (S 1, 2) tritt von vorn in den M. piriformis ein.

Der **N. musculi obturatoris interni** (L 5, S 1, 2) gelangt infrapiriform durch das Foramen ischiadicum majus zum M. obturatorius internus und M. gemellus superior.

Der **N. musculi quadrati femoris** (L 5, S 1, 2) zieht durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus in die Tiefe zum M. quadratus femoris und M. gemellus inferior sowie mit sensiblen Fasern zur Kapsel des Hüftgelenks.

Der **N. gluteus superior** (L 4, 5, S 1)[8], der als einziger Nerv des Plexus das Becken durch die suprapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus verlässt, innerviert den M. gluteus medius, M. gluteus minimus und M. tensor fasciae latae.

Der **N. gluteus inferior** (L 5, S 1, 2)[9] tritt infrapiriform aus und gibt Äste zum M. gluteus maximus und zur Kapsel des Hüftgelenks ab.

Der **N. cutaneus femoris posterior** (S 1–3)[18] verläuft ebenfalls durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus zum Unterrand des M. gluteus maximus und innerviert die Haut an der Rückseite des Oberschenkels (etwa bis zur Kniekehle), mit *Nn. clunium inferiores* die Haut im Bereich der Gefäßfurche und mit *Rr. perineales* Haut am Damm und an der großen Labie bzw. am Scrotum.

Der inkonstante **N. cutaneus perforans** (S 2, 3 [4]), der auch vom N. pudendus abgehen kann, durchbohrt das Lig. sacrotuberale, windet sich um den Unterrand des M. gluteus maximus und erreicht die Haut über dem mediokaudalen Areal dieses Muskels. Sein Versorgungsgebiet kann auch von einem N. clunium inferior übernommen werden.

Als stärkster Nerv nicht nur des Plexus sacralis, sondern des gesamten Körpers, gelangt der **N. ischiadicus** (L 4, 5, S 1–3)[10] durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus zwischen die ischiokruralen Muskeln, die er innerviert, zieht zur Kniekehle und teilt sich auf diesem Weg in seine beiden Hauptäste:

- *N. fibularis communis* für M. fibularis [peroneus] longus und brevis sowie die Strecker an Unterschenkel und Fuß sowie für die sie bedeckende Haut),
- *N. tibialis* für die Beuger an Unterschenkel und Fuß sowie für die Haut im Bereich von Wade, Ferse, Mittelteil der Fußsohle und der dreieinhalb medialen Zehen.

Der **N. fibularis communis** verläuft in der Fossa poplitea – zunächst vom M. biceps femoris bedeckt, dann an seinem tibialen Rand – über das Caput laterale des M. gastrocnemius hinweg und verlässt die Kniekehle in ihrem unteren Stockwerk. Er umgreift die Fibula unterhalb des Fibulakopfes und teilt sich in der Fibularisloge im M. fibularis longus in den *N. fibularis superficialis* und in den *N. fibularis profundus*. Der N. fibularis communis gibt ab:

- *Rr. articulares* zur Kapsel des Kniegelenks,
- den *N. cutaneus surae lateralis* im oberen oder mittleren Drittel der Kniekehle, der auf dem lateralen Kopf des M. gastrocnemius die Faszie durchbricht, mit mehreren Zweigen die Haut an der lateralen Seite des Unterschenkels innerviert und über den *R. communicans fibularis* (selten ein direkter Zweig des N. fibularis communis) mit dem R. cutaneus surae medialis (aus dem N. tibialis) anastomosiert und den *N. suralis* bildet.

Der **N. fibularis superficialis** liegt zunächst unter dem M. fibularis longus, gelangt zwischen M. fibularis [peroneus] longus und brevis und verläuft dann auf dem M. fibularis [peroneus] brevis nach distal. Er gibt *Rr. musculares* an M. fibularis [peroneus] longus und brevis ab und entsendet feine sensible Zweige zur Haut auf der fibularen Seite des distalen Unterschenkels. Vor oder nach dem Durchtritt durch die Fascia cruris im distalen Drittel des Unterschenkels teilt er sich in den kräftigeren *N. cutaneus dorsalis medialis,* der mit dem N. saphenus und N. fibularis profundus in Verbindung steht, und in den schwächeren *N. cutaneus dorsalis intermedius,* der mit dem N. suralis anastomosiert. Beide Nn. cutanei dorsales geben Äste zum Fußrücken und *Nn. digitales dorsales pedis* zu den Zehenrücken ab. Sie treten aus dem medialen Hautast zum medialen Dorsalrand der Großzehe und zu den einander zugekehrten Rändern der 2. und 3. Zehe, aus dem intermediären Ast zu den benachbarten Rändern der 3. und 4. sowie der 4. und 5. Zehe (jeweils bis zum Mittelglied).

Der **N. fibularis profundus** kommt von lateral durch das Septum intermusculare cruris anterius in die Streckerloge, unterkreuzt dort den M. extensor digitorum longus und zieht mit der A. tibialis anterior nach distal. Er entsendet *Rr. musculares* zur vorderen Muskelgruppe am Unterschenkel (Extensoren) und einen *R. articularis* zur Kapsel des oberen Sprunggelenks. Am Fußrücken gibt der N. fibularis profundus zunächst Äste zu den kurzen Zehenstreckern und zu den Gelenkkapseln der Tarsal-, Tarsometatarsal- und Zehengrundgelenke ab. Er liegt dann lateral der A. dorsalis pedis und zweigt sich auf dem M. interosseus dorsalis I in *Nn. digitales dorsales* auf (*N. digitalis dorsalis hallucis lateralis* zum dorsolateralen Rand der Großzehe, *N. digitalis dorsalis digiti secundi medialis* zum dorsomedialen Rand der 2. Zehe).

Der **N. tibialis** verläuft – ziemlich oberflächlich, seitlich der Vasa poplitea – in Längsrichtung durch die Mitte der Fossa poplitea, verlässt die Kniekehle zusammen mit den Vasa tibialia posteriora und zieht unter dem Arcus tendineus musculi solei hindurch in die Bindegewebsschicht zwischen den

Wadenmuskeln und den tiefen Flexoren. Am Unterschenkel kreuzt er von der medialen über die dorsale zur lateralen Seite der A. tibialis posterior und teilt sich hinter und etwas unterhalb des medialen Knöchels unter dem oberflächlichen Blatt des Retinaculum musculorum flexorum in die beiden Endäste, den *N. plantaris medialis* und *N. plantaris lateralis*. Der N. tibialis zweigt ab

- *N. cutaneus surae medialis*, geht in der oberen Etage der Fossa poplitea ab und steigt zwischen den beiden Gastroknemiusköpfen ab. Dann begleitet er die V. saphena parva, verläuft nach der Anastomose mit dem R. cutaneus surae lateralis als *N. suralis* (etwa ab Mitte der Wade epifaszial) hinter den Malleolus lateralis zum Fuß. Er innerviert die Haut an der lateralen Seite des Unterschenkels, über der Achillessehne, am lateralen Knöchel *(Rr. calcanei laterales)* und versorgt mit seinem Endast, dem *N. cutaneus dorsalis lateralis,* die Haut am äußeren Fußrand und am lateralen Rand der 5. Zehe,
- *Rr. articulares* zur Kapsel des Kniegelenks und des Talokruralgelenks,
- *Rr. musculares* gehen in der Kniekehle ab und verlaufen zu beiden Köpfen des M. gastrocnemius und zum M. plantaris, M. popliteus und M. soleus sowie zum M. soleus und den tiefen Flexoren,
- der *N. interosseus cruris* setzt meist den Ast zum M. popliteus fort, entsendet Faserbündel zur Articulatio tibiofibularis superior und in die Markhöhle der Tibia und zieht mit einem langen, dünnen Ast hinter oder in der Membrana interossea cruris zur Syndesmosis tibiofibularis und zum Periost am distalen Tibiaende abwärts,
- *Rr. calcanei mediales,* die durch das oberflächliche Blatt des Retinaculum musculorum flexorum zur Fersenhaut treten.

Der **N. plantaris medialis** unterkreuzt den M. abductor hallucis und innerviert diesen Muskel, die Mm. flexores hallucis brevis und digitorum brevis sowie die Kapseln der Tarsal- und Tarsometatarsalgelenke und zweigt sich in *Nn. digitales plantares communes* auf.

Davon verbleibt der *N. hallucis plantaris medialis* im Großzehenfach, zieht zusammen mit der A. plantaris medialis an die mediale Seite der Großzehe und gibt Äste an den M. flexor hallucis brevis und an die Kapsel des Großzehengrundgelenks ab. Die 3 übrigen Nn. digitales plantares communes gabeln sich im Mittelfach in *Nn. digitales plantares proprii* zu den dreieinhalb medialen Zehen (mit Ästen zu den Zehengelenken und zum M. lumbricalis I, gelegentlich auch II), die die Haut von den einander zugewendeten Zehenrändern aus plantar, an den Endphalangen auch am Zehenrücken, versorgen.

Der **N. plantaris lateralis** zieht unter dem M. flexor digitorum brevis auf dem M. quadratus plantae mit der A. plantaris lateralis an die mediale Seite des M. abductor digiti minimi, gibt Zweige zu beiden Muskeln sowie zum lateralen Teil der Planta pedis ab und zweigt sich in einen oberflächlichen und einen tiefen Ast auf.

Der *R. superficialis* versorgt mit *Nn. digitales plantares communes* bzw. *proprii* die Haut der lateralen Seite der Kleinzehe und der benachbarten plantaren Ränder der 4. und 5. Zehe (die Endglieder auch auf der Dorsalseite). Der N. digitalis plantaris communis IV anastomosiert mit dem 3. plantaren Zehennerv. Der *R. profundus* begleitet den Arcus plantaris profundus auf den Metatarsalia und den Mm. interossei. Er innerviert diese Muskeln, die Mm. lumbricales (II) III und IV sowie den M. flexor digiti minimi brevis, M. opponens digiti minimi, M. adductor hallucis und (meist, sofern nicht vom N. plantaris medialis versorgt) auch den lateralen Kopf des M. flexor hallucis brevis. Zu den lateralen Mm. lumbricales, zum M. flexor digiti minimi brevis und zum M. opponens digiti minimi, vor allem aber zu den Mm. interossei des 4. Zwischenknochenraums können auch Äste des R. superficialis treten.

Der **N. pudendus** (S 2–4)[19], der unterste Ast des Plexus sacralis, verläuft vor dem M. coccygeus durch die infrapiriforme Abteilung des Foramen ischiadicum majus und zieht um die Spina ischiadica durch das Foramen ischiadicum minus in den Canalis pudendalis der Fossa ischioanalis. Sein Endast innerviert mit *Rr. musculares* den M. transversus perinei profundus und superficialis sowie den M. sphincter urethrae, außerdem bei der Frau als *N. dorsalis clitoridis* Schwellkörper, Glans und Haut der Clitoris, beim Mann als *N. dorsalis penis* Corpus cavernosurn penis, Glans penis und Penishaut. Während des Verlaufs durch die Fossa ischioanalis gibt der *N. pudendus* folgende Äste ab:

- *Nn. rectales [anales] inferiores* zum M. sphincter ani externus sowie zur Analhaut,
- *Nn. perineales* zu Muskeln und Haut des Damms, die bei der Frau mit *Nn. labiales posteriores* die Haut der dorsalen Anteile der großen Schamlippe versorgen, beim Mann mit *Nn. scrotales posteriores* die Haut an der Dorsalfläche des Scrotums.

Die Nn. perineales und die Nn. labiales posteriores bzw. Nn. scrotales posteriores können gemeinsam vom N. pudendus abzweigen, gelegentlich sogar zusammen mit den Nn. rectales inferiores aus einem gemeinsamen Nervenstämmchen entspringen.

Nervus coccygeus

Der N. coccygeus ist der letzte Spinalnerv, er tritt aus dem Hiatus sacralis aus.

Dorsaler Ast. Der ungeteilte, rein sensible *R. posterior* des N. coccygeus steht mit den dorsalen Ästen des 4. und 5. Sakralnervs durch Nervenschlingen in Verbindung und beteiligt sich an der Innervation der Haut über dem Steißbein.

Ventraler Ast. Der *R. anterior* des N. coccygeus gelangt um den Seitenrand des Os coccygis und durch den M. coc-

cygeus auf dessen Vorderfläche, wo er zur Bildung des *Plexus coccygeus* beiträgt.

Der **Plexus coccygeus** entsteht aus einem Faseranteil des ventralen Astes des 4. Sakralnervs und aus den Rr. anteriores des 5. Sakralnervs und des N. coccygeus auf der dem Beckeninnern zugewandten Fläche des M. coccygeus. Aus dem Geflecht geht der *N. anococcygeus* hervor, dessen dünne Aufzweigungen durch den Muskel und das Lig. anococcygeum zur Haut zwischen Steißbeinspitze und Analöffnung ziehen.

20.5.3 Vegetatives Nervensystem

Das **vegetative (autonome) Nervensystem** besteht aus viszeralen Nervengeflechten (*Plexus autonomici [viscerales]*) und aus Anhäufungen vegetativer Nervenzellen (*Ganglia plexuum autonomicorum [visceralium]*). Es lässt sich aufgrund morphologischer und funktioneller Charakteristika – wenn auch nicht völlig überschneidungsfrei – unterteilen in den „Parasympathicus" (*Pars parasympathica*) und in den „Sympathicus" (*Pars sympathica*). Es handelt sich um ein rein efferentes System.

Parasympathicus

Der Parasympathicus besteht aus einem *Kopfteil* und einem *Sakralteil*. Aufgrund neuer Untersuchungen wird vermutet, dass der sakrale Anteil des Parasympathicus tatsächlich dem sympathischen Nervensystem zuzuordnen ist. Präganglionäre Fasern aus den parasympathischen Kerngebieten verlassen das ZNS mit *Hirnnerven* (Nn. III, VII, IX und X) und über ventrale Äste der *Nn. sacrales II–IV* (als *Nn. splanchnici pelvici*). Ihre peripheren, aus den Perikaryen des 2. Neurons der efferenten vegetativen Leitung zusammengesetzten Ganglien sind zum kleineren Teil als *Kopfganglien* an Äste von *Hirnnerven* angelehnt, im *Sakralbereich* in *Ganglia pelvica* zusammengefasst. Zum größeren Teil sind die Perikaryen des 2. efferenten Neurons in den *Ganglien der vegetativen Plexus* enthalten, in manchen Fällen befinden sie sich auch im Zielorgan.

Im **Kopfteil** des Parasympathicus (▶ **Abb. 20.33**) leitet der **N. oculomotorius** (III) präganglionäre parasympathische Fasern aus dem Nucleus accessorius n. oculomotorii[34] über die Radix parasympathica[10] zum *Ganglion ciliare*[A], von wo die postganglionären Fasern in den Nn. ciliares breves[9] zum M. ciliaris und M. sphincter pupillae ziehen.

Über den Intermediusanteil des **N. facialis** (VII) und die Chorda tympani[28] treten präganglionäre parasympathische Fasern aus dem Nucleus salivatorius superior[33] zum N. lingualis[15] und weiter über Rr. ganglionares zum *Ganglion submandibulare*[D] (bzw. *Ganglion sublinguale*), die postganglionären Fasern zur Glandula sublingualis und submandibularis. Der N. facialis entlässt ferner am Ganglion geniculi nervi facialis[29] präganglionäre parasympathische Fasern über den N. petrosus major[30] und den N. canalis pterygoidei zum *Ganglion pterygopalatinum*[C]. Die postganglionären Fasern gelangen über die N. zygomaticus[12] und N. lacrimalis[5] zur Tränendrüse.

Der **N. glossopharyngeus** (IX) führt sekretomotorische Fasern aus dem Nucleus salivatorius inferior[32] über den N. tympanicus[26] und den N. petrosus minor[27] zum *Ganglion oticum*[B]. Die postganglionären Fasern zur Glandula parotidea schließen sich für eine kurze Strecke dem N. auriculotemporalis[24] an.

Der **N. vagus** (X) leitet präganglionäre parasympathische Fasern aus dem Nucleus dorsalis nervi vagi[31] über viszerale Äste zu Bronchialsystem, Herz und Intestinaltrakt (bis nahe an die Flexura coli sinistra) zu kleinen Ganglien in organnahen Geflechten (*Plexus pulmonalis* und *cardiacus)* oder zu intramuralen Ganglien in der Wand der Zielorgane (*Plexus myentericus* und *submucosus*).

Der **Sakralteil** des Parasympathicus besteht nach der klassischen Ansicht aus den *Nn. splanchnici pelvici [Nn. erigentes]* und den *Ganglia pelvica*. Die **Nn. splanchnici pelvici** führen die präganglionären Fasern aus dem parasympathischen Kerngebiet der Rückenmarksegmente S 2–4 zu den Ganglia pelvica im *Plexus hypogastricus inferior* (seitlich von Rectum, Samenbläschen und Prostata bzw. Cervix uteri und Fornix vaginae, bis zum hinteren Teil der Harnblase), in denen die Perikaryen des 2. efferenten Neurons liegen. Zielorgane sind Colon (ab terminalem Colon transversum), Rectum, Harnblase, weibliche innere und männliche Geschlechtsorgane sowie die Schwellkörper von Clitoris und Penis.

Da die 1. Neurone (im Seitenhorn des sakralen Rückenmarks) allerdings den gleichen Ursprung haben, wie die sympathischen in den kranialen Anteilen des Rückenmarks, könnte es sich tatsächlich auch um einen Teil des sympathischen Nervensystems handeln.

Sympathicus

Der Sympathicus innerviert – wenn man die segmentalen vegetativen Nervenfasen trotz ihrer cholinergen Synapsen zum Sympathicus rechnet – die glatte Muskulatur in Eingeweiden, Sinnesorganen und Haarmuskeln, Drüsen, Blutgefäße, Herz und Geschlechtsorgane. Die Perikaryen des 1. Neurons liegen im Seitenhorn des Rückenmarks in den Segmenten Th 1–12, L 1–2 (3) und möglicherweise S 2–S 4 (siehe oben). Die präganglionären Fasern treten in den Vorderwurzeln der entsprechenden Thorakal- und Lumbalnerven aus und ziehen als *Rr. communicantes albi* zum Truncus sympathicus (s. ▶ **Abb. 19.5**).

Da Zellen, die den 1. Neuronen im Seitenhorn gleichen, auch in anderen Rückenmarksegmenten vorkommen, kann man darauf schließen, dass präganglionäre vegetative Fa-

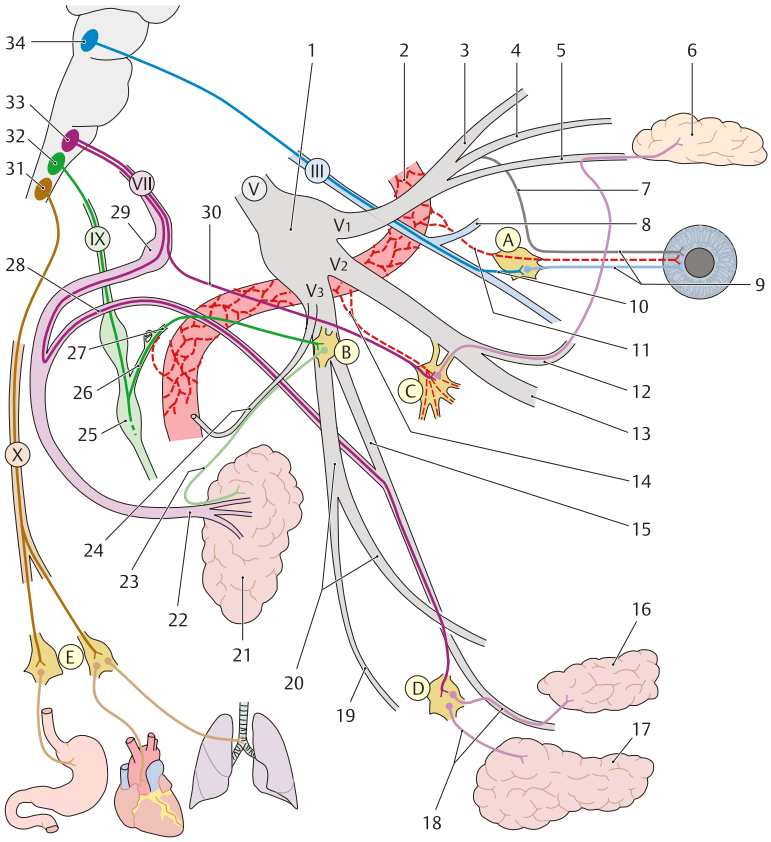


Abb. 20.33 Prä- und postganglionäre Fasern der parasympathischen Kopfganglien und N. vagus. Sensible und postganglionäre sympathische Fasern sind nur unvollständig dargestellt.

III N. oculomotorius
V N. trigeminus
V_1 N. ophthalmicus
V_2 N. maxillaris
V_3 N. mandibularis
VII N. facialis
IX N. glossopharyngeus
X N. vagus
A Ganglion ciliare
B Ganglion oticum
C Ganglion pterygopalatinum
D Ganglion submandibulare
E organnahe Ganglien
1 Ganglion trigeminale
2 A. carotis interna und Plexus caroticus internus
3 N. frontalis
4 N. nasociliaris
5 N. lacrimalis
6 Glandula lacrimalis
7 Radix sensoria
8 R. superior und R. inferior nervi oculomotorii
9 Nn. ciliares breves
10 Radix parasympathica
11 Radix sympathica
12 N. zygomaticus
13 N. infraorbitalis
14 N. petrosus profundus
15 N. lingualis
16 Glandula sublingualis
17 Glandula submandibularis
18 Rr. glandulares
19 N. mylohyoideus
20 N. alveolaris inferior
21 Glandula parotidea
22 Plexus intraparotideus
23 Rr. communicantes (cum nervo faciali)
24 N. auriculotemporalis mit postganglionären parasympathischen Fasern zur Glandula parotidea
25 Ganglion inferius nervi glossopharyngei
26 N. tympanicus
27 N. petrosus minor
28 Chorda tympani
29 Ganglion geniculi
30 N. petrosus major
31 Nucleus dorsalis n. vagi
32 Nucleus salivatorius inferior
33 Nucleus salivatorius superior
34 Nucleus accessorius n. oculomotorii

(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

sern in geringer Zahl auch über ventrale Wurzeln anderer Spinalnerven, vasodilatatorische Fasern vielleicht auch über dorsale Wurzeln das Rückenmark verlassen.

Die Synapsen für die Überleitung der Erregung auf das 2. Neuron liegen meist im Grenzstrang in dem Ganglion des zugehörigen Segments oder in einem Ganglion kranial bzw. kaudal davon, wohin die präganglionären Fasern in den Rr. interganglionares auf- bzw. absteigen. Die Synapsen können jedoch auch auf *Ganglia intermedia* in den Rr. communicantes vorverlagert oder in vom Grenzstrang ausgehende Äste verlagert sein.

Die postganglionären Fasern erreichen das Erfolgsorgan über Spinalnerven, zu denen sie in segmentalen *Rr. communicantes grisei* geleitet werden, über Nerven, die vom Truncus sympathicus ausgehen oder in der Wand von Gefäßen, die in der unmittelbaren Nachbarschaft des Grenzstrangs vorbeiziehen.

Die Spinalnerven Th 1–12 und L 1–2 (3) kommunizieren daher mit dem Grenzstrang durch weiße und graue Verbindungszweige, die sich allerdings beim Menschen makroskopisch kaum unterscheiden lassen; die Zervikalnerven und die kaudalen Spinalnerven (ab L 3) kommunizieren nur durch Rr. communicantes grisei.

Der Grenzstrang (**Truncus sympathicus**, ▶ **Abb. 20.34**) erstreckt sich beidseits der Wirbelsäule als weitgehend einheitlicher Nervenfaser-Ganglien-Strang von der Schädelbasis bis zum Steißbein. Er besteht aus Hals-, Brust-, Lumbal- und Sakralteil. Die *Ganglia trunci sympathici* sind durch längs verlaufende *Rr. interganglionares* verbunden.

Im **Halsteil** des *Truncus sympathicus* (▶ **Abb. 20.35**) liegt das *Ganglion cervicale superius*[1] als platte, spindelförmige, 25–30 mm lange Anschwellung etwa 2 cm unterhalb der Schädelbasis hinter der A. carotis interna im tiefen Blatt der Halsfaszie. Das meist schwach ausgebildete *Ganglion cervicale medium*[4] ist in Höhe des 6. Halswirbels nahe der A. thyroidea inferior in die Lamina prevertebralis der Fascia cervicalis eingelagert. Das *Ganglion cervicale inferius* ist in etwa 80 % der Fälle mit dem 1. Brustganglion zum *Ganglion cervicothoracicum [stellatum]*[5] verschmolzen und grenzt, medial vom M. scalenus anterior, an den hinteren Umfang der A. subclavia. Im Halsteil verlassen den Grenzstrang am **Ganglion cervicale superius**[1]:

- *N. jugularis,* ein Ast zum Ganglion inferius des N. glossopharyngeus und zum Ganglion superius des N. vagus,
- *N. caroticus internus,* der mit postganglionären Fasern an der Wand der A. carotis interna den *Plexus caroticus internus* bildet und über ihn Sympathicusfasern in den Kopf entsendet (u. a. die *Radix sympathica* zum Ganglion ciliare und weiter zum M. dilatator pupillae, den *N. petrosus profundus* zu Tränendrüse und Nasenschleimhaut),
- *Nn. carotici externi,* die mit postganglionären Fasern an der Wand der A. carotis communis den *Plexus caroticus communis* und an der Wand der A. carotis externa den *Plexus caroticus externus* aufbauen und über diese Geflechte Sympathicusfasern in den Kopf abgeben, u. a. den *R. sympathicus* für die Glandula submandibularis und sublingualis sowie die Mundschleimhaut, ferner den Sympathicusast zum Ganglion oticum für die Glandula parotidea,
- *Rr. laryngopharyngei,* die mit postganglionären Fasern in den *Plexus pharyngeus* ziehen,
- *N. cardiacus cervicalis superior*[3] , der mit efferenten postganglionären Fasern in den *Plexus cardiacus*[8] am Aortenbogen einstrahlt;

am **Ganglion cervicale medium**[4]:

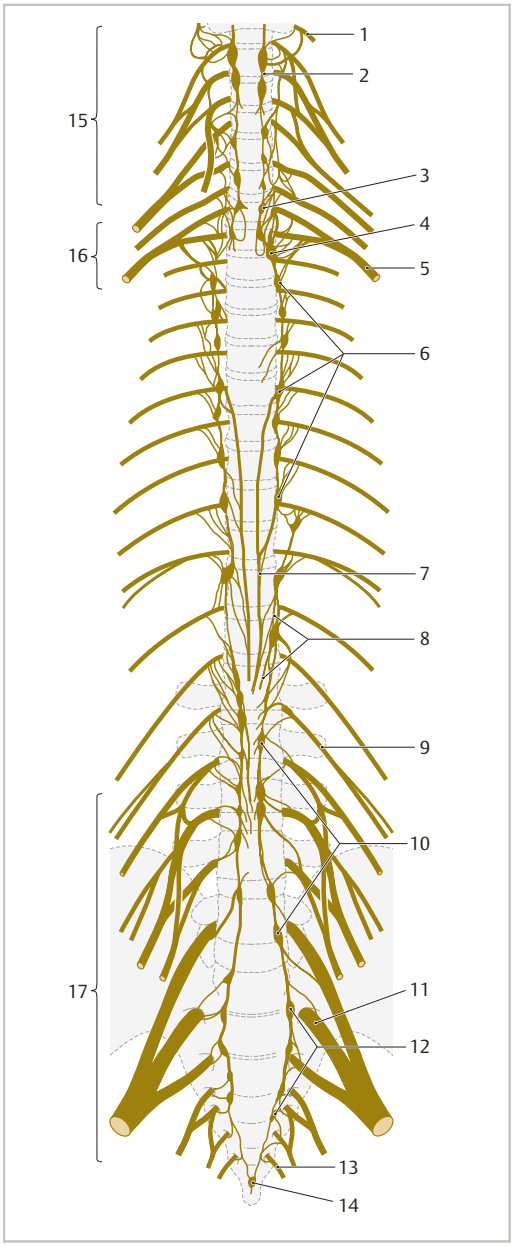
- *N. cardiacus cervicalis medius,* der mit postganglionären Fasern in den tiefen Teil des *Plexus cardiacus* eintritt und auch afferente Fasern aus dem Herzen führt,
- *Ansa subclavia*, ein zusätzlicher R. interganglionaris, der die A. subclavia als Nervenfaserschlinge vorn und unten umgreift und hinter der Arterie zum Ganglion cervicale inferius bzw. Ganglion cervicothoracicum aufsteigt;

am Ganglion cervicale inferius bzw. **Ganglion cervicothoracicum**[5]:

- *N. cardiacus cervicalis inferior*, der mit postganglionären Fasern zum tiefen Anteil des *Plexus cardiacus* zieht und afferente Fasern aus dem Herzen führt,
- *Plexus subclavius,* der sich mit postganglionären Fasern an der Wand der A. subclavia ausbreitet und deren Äste begleitet,
- *N. vertebralis,* der mit prä- und postganglionären Fasern mit der A. vertebralis in das Foramen transversarium des 6. Halswirbels eintritt, aus dem hier gelegenen kleinen *Ganglion vertebrale* postganglionäre Fasern aufnimmt und sich an der Wand der A. vertebralis als *Plexus vertebralis* ausbreitet.

Der **Brustteil** des Truncus sympathicus liegt, von der Pleura costalis bedeckt, mit 11–12 *Ganglia thoracica* in der Fascia endothoracica vor den Rippenköpfen. Von den in der Regel segmental angeordneten Brustganglien schiebt sich das Ganglion thoracicum I (meist zum Ganglion cervicothoracicum verschmolzen) über der Pleurakuppel hinter die A. subclavia. Vom Brustteil des Truncus sympathicus zweigen ab:

- *Rr. cardiaci thoracici*, postganglionäre und afferente Fasern des 2.–4. (5.) Thorakalganglions zum *Plexus cardiacus*, die – ebenso wie die Rr. pulmonales thoracici – zum Oesophagus *Rr. oesophagei* abgeben,
- *Rr. pulmonales thoracici* mit postganglionären Fasern vom 2.–4. Brustganglion zum *Plexus pulmonalis* am Hilum der Lunge,
- *N. splanchnicus major*, präganglionäre Fasern vom 5.–9. (10.) Thorakalganglion, hat in Höhe des 9. (10.) Brustwirbels häufig ein intermediäres *Ganglion thoracicum splanchnicum* eingelagert und erreicht durch das Zwerchfell die *Ganglia coeliaca* und den *Plexus coeliacus*,
- *N. splanchnicus minor,* vom 9.–11. Brustganglion, tritt mit präganglionären Fasern zu den *Ganglia coeliaca* und in



◀ **Abb. 20.34 Übersicht über Truncus sympathicus** und **Plexus cervicalis, brachialis und lumbosacralis.** Im Hals- und Brustbereich sind nur Wirbelkörper, im Lendenbereich auch Processus costarii konturiert.
1 R. anterior des N. cervicalis I
2 Ganglion cervicale superius
3 Ganglion cervicale medium
4 Ganglion stellatum [cervicothoracicum]
5 R. anterior des N. thoracicus I (N. intercostalis I)
6 Ganglia thoracica
7 N. splanchnicus major
8 N. splanchnicus minor
9 R. anterior des N. lumbalis I
10 Ganglia lumbalia
11 R. anterior des N. sacralis I
12 Ganglia sacralia
13 R. anterior des N. coccygeus
14 Ganglion impar
15 Plexus cervicalis
16 Plexus brachialis
17 Plexus lumbosacralis
(nach Frick, Leonhardt, Starck, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Thieme; 1992)

den *Plexus coeliacus* und kann einen selbstständigen *R. renalis* zum *Plexus renalis* entsenden,
- inkonstanter *N. splanchnicus imus* vom 12. Thorakalganglion zum *Plexus renalis*.

Im **Lumbalteil** des Truncus sympathicus (▶ **Abb. 20.34** und ▶ **Abb. 20.36**) liegen jeweils auf der vorderen Seitenfläche der Lendenwirbelsäule meist 4 *Ganglia lumbalia*. Aus dem Lumbalteil des Grenzstrangs stammen die meist 4 *Nn. splanchnici lumbales* mit vorwiegend postganglionären Fasern zum *Plexus aorticus abdominalis* und zum *Plexus hypogastricus superior*. Sie führen auch afferente Fasern.

Der **Sakralteil** des Truncus sympathicus (▶ **Abb. 20.36**) besteht aus 3, gelegentlich auch 4 oder 5 *Ganglia sacralia*[11], die Faserverbindungen zu den Ganglien der Gegenseite besitzen. Aus den 2 oder 3 kranialen Ganglien treten 2–3 *Nn. splanchnici sacrales* mit meist postganglionären Fasern zum *Plexus hypogastricus inferior*[9]. Sie führen auch afferente Fasern. Das letzte Grenzstrangganglion ist unpaar und liegt vor dem Steißbein. In diesem *Ganglion impar*[10] enden die beiden Grenzstrangketten.

Geflechte des vegetativen Nervensystems

Parasympathicus und Sympathicus speisen große Geflechte des vegetativen Nervensystems, die als Verteilerstationen und Sammelbecken vegetativer Nervenfasern auf Brusthöhe als *Plexus aorticus thoracicus*, im Bauch als *Plexus aorticus abdominalis* und am Eingang in das kleine Becken als *Plexus hypogastricus superior* an der Aortenwand und an der Aortengabel ausgebildet sind. Von ihnen gehen kleinere organbezogene Geflechte aus. In die Plexus sind vegetative Ganglien eingelagert.

Der **Plexus aorticus thoracicus**, ein dichtes Fasergeflecht in der Wand der Aorta thoracica, besteht hauptsächlich aus Sympathicusfasern, die in Höhe des 1.–5. Thorakalganglions aus dem Grenzstrang abzweigen. Der Plexus erhält außer-

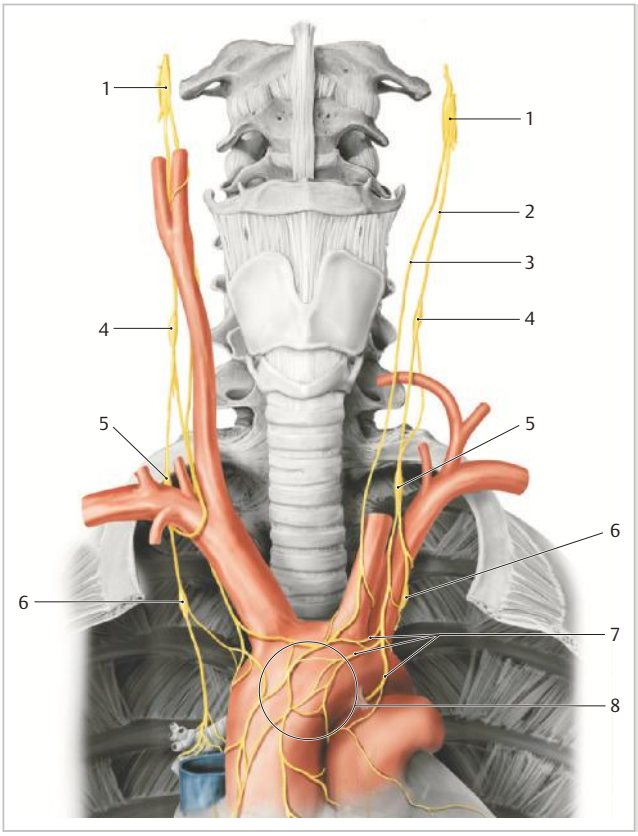


Abb. 20.35 Halsteil des Truncus sympathicus.
1 Ganglion cervicale superius
2 R. interganglionaris
3 N. cardiacus cervicalis superior
4 Ganglion cervicale medium
5 Ganglion cervicothoracicum [stellatum]
6 Ganglion thoracicum II
7 Nn. cardiaci cervicales inferiores
8 Plexus cardiacus
(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

dem afferente Fasern, die in den N. vagus übertreten. Der Plexus aorticus thoracicus ist mit dem *Plexus cardiacus* verbunden.

Der **Plexus cardiacus** (▶ **Abb. 20.35**[8]) erstreckt sich außerhalb des Pericards über die Herzbasis. Er innerviert die Herzkranzgefäße und das Erregungsbildungs- und Erregungsleitungssystem. Die zum Herzen ziehenden Äste des N. vagus und des Truncus sympathicus führen sowohl efferente als auch afferente Fasern, ausgenommen der N. cardiacus cervicalis superior aus dem Ganglion cervicale superius mit ausschließlich (efferenten) postganglionären Fasern. In den Plexus cardiacus und in die Wand der Vorhöfe sind *Ganglia cardiaca* eingelagert, makroskopisch sichtbare Ansammlungen von Ganglienzellen mit Synapsen der efferenten Vagusfasern. Der Plexus cardiacus steht nach beiden Seiten mit dem Plexus pulmonalis in Verbindung.

Der oberflächliche Teil des Plexus cardiacus, zu dem Rr. cardiaci cervicales inferiores des linken N. vagus und der N. cardiacus cervicalis superior aus dem oberen Halsganglion des linken Grenzstrangs treten, liegt unter dem Aortenbogen vor der rechten A. pulmonalis und enthält ein kleines *Ganglion cardiacum* an der rechten Seite des Lig. arteriosum. Der oberflächliche Teil des Plexus cardiacus steht mit dem tiefen Teil in Verbindung und setzt sich in den die A. coronaria dextra begleitenden Plexus mit Zweigen zu rechtem Vorhof und Ventrikel fort.

Der tiefe Teil des Plexus cardiacus liegt vor der Bifurcatio tracheae und über der Aufteilung des Truncus pulmonalis hinter dem aufsteigenden Schenkel des Aortenbogens. Er erhält Fasern aus allen übrigen, zuvor nicht genannten Herzästen des N. vagus und des Truncus sympathicus. Er bildet das Geflecht längs der A. coronaria sinistra zu linkem Vorhof und Ventrikel und steht mit dem rechten Koronarplexus in Verbindung.

Als **Plexus oesophageus** wird das vegetative Geflecht in der Wand des Oesophagus bezeichnet. Er wird gebildet aus folgenden Anteilen:

- im Halsteil die Rr. oesophagei aus dem N. laryngeus recurrens (N. vagus) und sympathische Fasern aus dem Halsgrenzstrang (über den Plexus der A. thyroidea inferior),
- im Brustteil mit parasympathischen Fasern der Plexus oesophageus der Nn. vagi und die Trunci vagales, mit sympathischen Fasern der Brustgrenzstrang und der N. splanchnicus major.

Als **Plexus pulmonalis** ziehen efferente Fasern des N. vagus und des Truncus sympathicus, die als *Rr. pulmonales thoracici* den Grenzstrang vom 2.–4. Brustganglion verlassen, auf beiden Seiten des Lungenhilums, auf der Vorderseite schwächer ausgebildet, zu Bronchial- und Gefäßmuskulatur in die Lunge. Die Aufzweigungen des Plexus, der Fasern aus dem Plexus cardiacus aufnimmt, begleiten die Verästelungen des Bronchialbaums. Afferente Fasern aus Dehnungsrezeptoren im Dienste der Atmungsregulation verlaufen in den Vagusästen.

Der **Plexus aorticus abdominalis**, die kaudale Fortsetzung des Plexus aorticus thoracicus, bedeckt die Aorta abdominalis nicht nur seitlich, sondern umschließt sie als dichtes Geflecht auch an der Vorderwand. Im Plexus aorticus abdominalis und in seiner unmittelbaren Nachbarschaft liegt eine Reihe prävertebraler Ganglien. Postganglionäre Fasern der in diesen Ganglien gelegenen Perikaryen des 2. Neurons bilden – zusammen mit präganglionären Fasern zu organnah gelegenen Ganglien – zahlreiche fast radiär ausstrahlende Ausläufer. Daher trägt der Plexus aorticus abdominalis auch die populäre Bezeichnung „Sonnengeflecht“ (Plexus solaris, Solarplexus). Diese Ausläufer begleiten als nicht immer scharf abgrenzbare kleinere Geflechte die zu den Organen verlaufenden Aortenäste und deren Aufzweigungen.

Der **Plexus coeliacus** (▶ **Abb. 20.36**[1]), ein dichtes Netz vegetativer Fasern im kranialen Teil des abdominalen vegetativen Plexus, umgreift den Truncus coeliacus und den Ursprung der A. mesenterica superior. Er schließt beidseits das unregelmäßig geformte *Ganglion coeliacum* ein, das rechts hinter der V. cava inferior, links hinter der A. lienalis [splenica] liegt. Parasympathische Fasern zu Plexus und Ganglion kommen vom Truncus vagalis posterior, sympathische Fasern aus den Nn. splanchnici (vom 5.–11. Brustganglion), vor allem aus dem N. splanchnicus major. Aus dem Plexus coeliacus zweigen ab:

- ein als *Plexus phrenicus* bezeichnetes feines Geflecht längs der A. phrenica inferior mit eingelagerten *Ganglia phrenica*,
- *Plexus hepaticus* längs der A. hepatica propria zur Leber,
- *Plexus gastrici* verlaufen mit den Aa. gastricae und gastroepiploicae zum Magen (auf der Vorder- und Rückseite nahe der kleinen Kurvatur vorwiegend mit parasympathischen, an der großen Kurvatur überwiegend mit sympathischen Fasern),
- *Plexus lienalis [splenicus]* entlang der A. splenica zur Milz,
- *Plexus pancreaticus* verläuft mit Ästen der A. splenica und der A. gastroduodenalis zum Pancreas,
- *Plexus suprarenalis* vom lateralen Rand des Ganglion coeliacum zur Nebenniere, u. a. mit präganglionären Fasern zum Nebennierenmark,

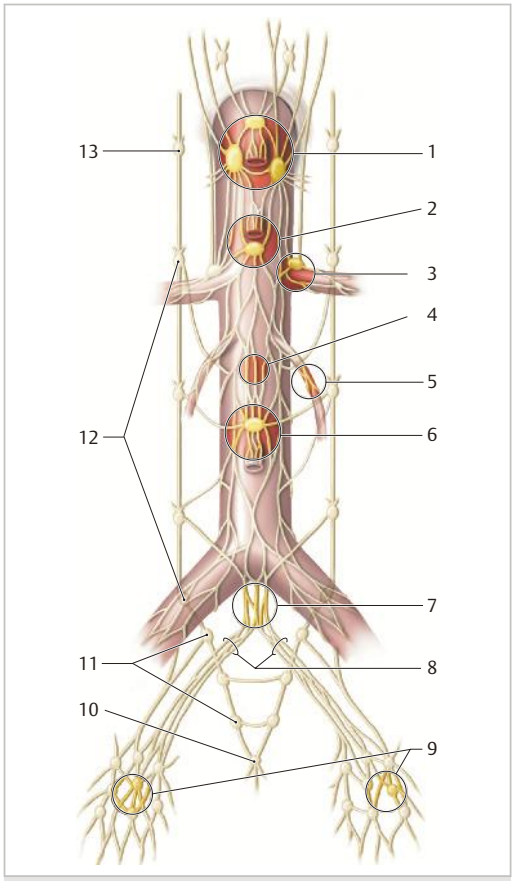


Abb. 20.36 Vegetative Nervengeflechte und Ganglien im Retroperitonealraum. Bauch- und Beckenteil des Truncus sympathicus, Ansicht von ventral.

1 Plexus coeliacus mit Ganglion coeliacum
2 Plexus mesentericus superior mit Ganglion mesentericum superius
3 Plexus renalis mit Ganglion aorticorenale
4 Plexus intermesentericus
5 Plexus ovaricus/testicularis
6 Plexus mesentericus inferior mit Ganglion mesentericum inferius
7 Plexus hypogastricus superior
8 N. hypogastricus (dexter, sinister)
9 Plexus hypogastricus inferior
10 Ganglion impar
11 Ganglia sacralia
12 Ganglia lumbalia
13 Ganglion thoracicum XII

(nach Schünke, Schulte, Schumacher, Prometheus LernAtlas, Thieme; 2014)

- *Plexus mesentericus superior*[2] mit dem *Ganglion mesentericum superius*, der mit den Ästen der A. mesenterica superior zum Dünndarm und zum proximalen Dickdarm zieht.

Kaudal des Plexus coeliacus gehen aus dem *Plexus aorticus abdominalis* hervor:

- *Plexus renalis*[3] längs der A. renalis zur Niere, der den *Plexus uretericus* an den Ureter abgibt und in den die *Ganglia aorticorenalia* und *renalia* eingelagert sind; beide nehmen präganglionäre Fasern aus dem N. splanchnicus minor auf,
- bei der Frau der *Plexus ovaricus*, der mit der A. ovarica zum Ovar verläuft,
- beim Mann der *Plexus testicularis*, der mit der A. testicularis zum Hoden zieht,
- *Plexus mesentericus inferior*[6] mit parasympathischen Fasern aus den *Nn. splanchnici pelvici*, der durch den *Plexus intermesentericus*[4] mit dem Plexus mesentericus superior verbunden ist, den *Plexus rectalis superior* zum Rectum entsendet und mehrere Ganglien enthält, die zusammen als *Ganglion mesentericum inferius* bezeichnet werden,
- *Plexus iliaci*, die beidseits den Plexus aorticus abdominalis auf die Aa. iliacae fortsetzen und am Oberschenkel jeweils vom *Plexus femoralis* abgelöst werden.

Das enterische Nervensystem ist das intramurale, dem Magen-Darm-Trakt eigene vegetative Nervensystem, das sich in *Plexus subserosus, myentericus* und *submucosus* gliedern lässt.

Der **Plexus hypogastricus superior**[7] verbindet den Plexus aorticus abdominalis mit dem zentralen Beckengeflecht, dem *Plexus hypogastricus inferior*. Er ist im oberen Teil unpaar, im unteren Teil bilateral ausgebildet und liegt vor der Bifurcatio aortae und in der von beiden Aa. iliacae communes gebildeten Gefäßgabel etwa in Höhe des 5. Lendenwirbels. Der Plexus hypogastricus superior erhält u. a. Zuflüsse aus den *Nn. splanchnici lumbales* des Sympathicus. Von seinem Kaudalrand ziehen 2 Stränge, *Nn. hypogastrici dexter* und *sinister*, über das Promontorium hinweg in das kleine Becken und treten jeweils in den Plexus hypogastricus inferior ein. Der *Plexus hypogastricus superior* und die *Nn. hypogastrici* geben Zweige zum *Plexus uretericus* und *ovaricus /testicularis*, zum terminalen Colon und zum *Plexus iliacus* ab.

Der **Plexus hypogastricus inferior [Plexus pelvicus]**[9] breitet sich als kräftiger Faserfilz mit parasympathischen und sympathischen Zuflüssen im subperitonealen Bindegewebe jeweils seitlich und vor dem Rectum bis zum hinteren Teil der Harnblase aus. In das Geflecht sind kleine *Ganglia pelvica* eingebettet. Der *Plexus hypogastricus inferior* hat folgende Fortsetzungen:

- *Plexus rectalis medius* und *Plexus rectalis inferior*, die mit der A. rectalis media bzw. A. rectalis inferior zur Wand des Rectums ziehen,
- bei der Frau der *Plexus uterovaginalis*, der in der Plica rectouterina in das subperitoneale Bindegewebe um die Cervix uteri gelangt und sich in Äste für Uterus, Vagina (*Nn. vaginales*), Tube und Ovar aufzweigt, außerdem Fasergeflechte zu den Glandulae vestibulares und *Nn. cavernosi clitoridis* zu den Schwellkörpern der Clitoris,
- beim Mann der *Plexus deferentialis* (beim Mann), ein Geflecht an der Wand des Ductus deferens, sowie der *Plexus prostaticus* mit Nervenästen zu Prostata, Samenbläschen, Ductus ejaculatorius, Urethra, Glandula bulbourethralis und mit *Nn. cavernosi penis* zu den Schwellkörpern des Penis,
- *Plexus vesicales*, die sich beidseits des Fundus' der Harnblase ausbreiten, auch Ästchen zu den Samenbläschen abgeben und den Entleerungsmechanismus der Harnblase steuern.

Sachverzeichnis

A

Abdomen
– Baucheingeweide 254
– Bauchhöhle 254
– Körpergliederung 17
– Peritonealhöhle 260
Abduktion
– Auge 473
– Daumen 188
– Finger 190
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 134
– Kiefergelenk 455, 458
– Schultergelenk 175
Abduzenskern 518–519
Abrasion 449
Abrissfraktur, Sehnen–Knochen–übergang 35
Abstillen 105
Abszess
– analer 282
– odontogener 419
– retropharyngealer 368
Acetabulum 123–124, 133
Achillessehne, Unterschenkelkontur 122
Achselhöhle 199
– Gefäß–Nerven–Strang 200
– Lymphknoten 104–105, 199
Achsellücke
– laterale 176, 201
– mediale 176, 200–201
Acromion 166
– Knochenpunkte 84, 98–99, 165
– MRT-Aufnahme 179
ACTH (adrenokortikotropes Hormon) 526
AC–Gelenk 170
Adamkiewicz–Arterie 590
Adamsapfel 358
Adduktion
– Auge 473
– Daumen 189
– Finger 191
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 134
– Kiefergelenk 455, 458
– Schultergelenk 175
Adduktorengruppe, Oberschenkelkontur 121
Adduktorenkanal 137, 154, 161
Adenohypophyse 526–527
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
– Kraniopharyngeom 507
Aderhaut 478
ADH (antidiuretisches Hormon) 527
– Funktion 527
– Hypothalamus–Hypophysen–System 56
Adhesio interthalamica 520–521
Adipositas 21
Aditus laryngis 386
Aditus orbitalis 467
Adnexe 327
Adnexitis 330
Agger nasi 462
Agraphie 559
Akkommodation 478, 480–481
Akne vulgaris 501
Akromioklavikulargelenk 170
– Gelenkmechanik 170
Akustikusneurinom 517
Akzeleration 19–20
Ala
– major 404–405
– minor 404–405
– nasi 414, 459
– ossis ilii 123
– ossis sacri 88–89
Alcock–Kanal 319
Alexie 559
Allantois 207, 214
Allocortex 507
Allometrie 21
Alterssichtigkeit 481
Alveolarknochen 447
Alveolen 221, 226
Alveolus, dentalis 447
Alveolus dentalis 445
Alveus 576
Alzheimer–Erkrankung 577
Amaurose 566
Amboss 485
Ammonshorn 575
Amnesie
– anterograde 577
– retrograde 577
Amnion 74
Amnionhöhle 73–74
– ZNS–Entwicklung 502
Amphiarthrose 130
– Metakarpalknochen 184
– Mittelfuß 147
Ampulla
– ductus deferentis 347
– duodeni 272
– hepatopancreatica 292, 295
– ossea 489
– recti 277, 282
– tubae uterinae 330, 332
– urethrae 354
Ampulle, epiphrenische 249
Amygdala 577
– Afferenzen 577
– Ausfall 577
– Basalkerne 551
– Efferenzen 577
– limbisches System 574
– Riechbahn 572
α–Amylase, Pancreas 295
Analabszess 282
Analfistel 282
Analkanal 281
– Arterien 283
– Innervation 283
– Karzinom 283
– Körpergliederung 17
– Lymphgefäße 283
– Sphinktersystem 282
– Stockwerke 281
Analmembran 214
Anastomose
– arteriovenöse 43
– Blutgefäße 42
– cavocavale 118
– portokavale 269, 290
– Scapula 631
– Venen der unteren Extremität 155
Anatomie 16
– deskriptive 16
– funktionelle 16
Anenzephalie 502
Angina pectoris 243
Angulus
– costae 100
– infrasternalis 102
– iridocornealis 482
– mandibulae 410
– oculi lateralis 414
– oculi medialis 414
– oris 414
– subpubicus 124
Anosmie 573
ANP (atriales natriuretisches Peptid) 238
Ansa
– cervicalis 686
– cervicalis profunda 363, 376, 396–397
– cervicalis superficialis 361, 376, 397, 399, 685
– subclavia 395, 697
– thyroidea 395
Anspannungsphase (Herzzyklus) 240
Antagonisten, Muskeln 37
Anteflexio uteri 333
anterior 20
Antetarsus 129
Anteversion
– Gelenk 31
– Schenkelhals 126
– Schultergelenk 175
– Uterus 333
Antikus 389
Antrum
– Highmori 465
– mastoideum 485, 488
– pyloricum 267
Anulus
– femoralis 160
– fibrocartilagineus 483
– fibrosus 90
–– Entwicklung 78
– inguinalis profundus 109
–– Bauchfaszie 107
– inguinalis superficialis 109–110
– tendineus communis 467
– umbilicalis 106
Anus 282
Aorta 620
– abdominalis 270, 621
–– Äste 621, 636
–– Bursa omentalis 261
–– fetaler Kreislauf 233
– ascendens 250, 620
–– Äste 620–621
– Blutkreislauf 39–40
– Bursa omentalis 261
– descendens 620–621
–– Äste 620
–– Lungenkontakt 221
–– Oesophagus 248
–– Röntgenbild 247
–– Verlauf 251
– Perikard 244
– Querschnitt 43
– thoracica 621
–– Äste 621, 634–635
–– Bronchen 226
–– Lage 217
– Windkesselfunktion 250
– Zwerchfell 220
Aortenbogen 620
– A. carotis communis 370
– A. lusoria 370
– A. subclavia 369
– Ductus arteriosus 234
– Hauptbronchen 225
– Lage 217
– Lungenkontakt 221
– N. laryngeus recurrens 378
– N. vagus 252
– Oesophagusenge 249
– Verlauf 250
Aortenisthmusstenose 234
Aortenklappe 238–240, 246
– Auskultationsstelle 246
Apertura
– canaliculi cochleae 408
– canaliculi vestibuli 408
– lateralis Luschkae 594
– mediana Magendi 594

– pelvis inferior 125
– pelvis superior 125
– piriformis 460
–– Strukturen 460
– sinus sphenoidalis 465
– thoracis inferior 102
– thoracis superior 102
Apex
– cordis 235, 237–238
– dentis 445
– linguae 440–441
– nasi 414, 459
– ossis sacri 88–89
– patellae 127
– prostatae 349
– pulmonis 221–222
– vesicae 320
Aphasie, A. cerebri media 590
Aponeurose 34, 36
– M. biceps brachii 176
– M. latissimus dorsi 93
– M. obliquus externus abdominis 110
– platter Muskel 36
– Rektusscheide 106
– sakrospinales System 95
Aponeurosis
– epicranialis 410
– glutea 159
– linguae 441–442
– palatina 433
– plantaris 147, 160
– stylopharyngea 368
Apophyse 26–27
Apparat, juxtaglomerulärer 305
Appendix
– epididymidis 345
– epiploica 275
– fibrosa hepatis 285–286
– testis 343
– vermiformis 275–276
–– Appendizitis 98
–– Entwicklung 213
–– Entzündung 276
–– Krypten 278
–– Lage 276
–– lymphatische Organe 49, 51
–– MALT 51
Appendizitis 276
– Schwangerschaft 337
Apraxie 559
Aquaeductus
– mesencephali 63, 520, 594
– vestibuli 489–490
Arachnoidalzotte 584
Arachnoidea 69–70
– mater 583–584
–– spinalis 583
ARAS (aszendierendes retikuläres aktivierendes System) 523, 580
Arbeitsgedächtnis 559
Archicortex 532
Arcus
– anterior, atlantis 85
– aortae 620
–– Äste 622
–– Verlauf 250
– costalis 99
– cricoideus 387
– dentalis inferior 449
– dentalis superior 449
– ductus thoracici 662
– iliopectineus 109–110, 131, 160
– palatini 432
– palatoglossus 436
–– M. palatoglossus 434
–– weicher Gaumen 432
– palatopharyngeus 382, 436
–– M. palatopharyngeus 434
–– weicher Gaumen 432
– palmaris profundus 194, 633
– palmaris superficialis 154, 194–195, 634
– palpebralis inferior 627
– palpebralis superior 627
– plantaris profundus 154, 647
– plantaris superficialis 647
– posterior, atlantis 85
– pubis 124
– tendineus m. levatoris ani 317
– tendineus m. levatoris ani 316
– tendineus m. solei 148
– venae azygos 650
– venosus dorsalis pedis 659
– venosus jugularis 367, 372, 656
– venosus palmaris 195
– venosus plantaris 659
– vertebrae, Halswirbel 86
Area
– cribrosa renis 303
– nuda 285–286
– postrema 516, 579
–– zirkumventrikuläre Organe 525
– preoptica 524
–– Funktion 525
–– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
– pretectalis
–– Hirnstamm 520
–– Pupillenreflex 569
– septalis 531
– striata 565
– subcallosa 533
– tegmentalis ventralis 578, 580
– vestibularis 517
Areola mammae 104
Armvenen
– oberflächliche 656
– tiefe 656
Arnold–Chiari–Syndrom 594
Arteria
– alveolaris inferior 450, 625
– alveolaris superior anterior 450, 625
– alveolaris superior posterior 450, 625
– angularis 624
–– Augenlider 471
–– Gesichtsweichteile 419
– appendicularis 276, 278–279, 639
– arcuata 154, 646
– arcuata (Niere) 304, 306
– ascendens 640
– auricularis posterior 371, 623
–– Äste 624
–– Schädeldach 411
–– Trommelfell 484
–– Verlauf 624
– auricularis profunda 486, 625
–– Kiefergelenk 456
–– Trommelfell 484
– axillaris 193, 631
–– Achselhöhle 200
–– Äste 631–632
–– seitlicher Thorax 115
– basilaris 586–587, 630
–– Äste 630
–– Verschluss 588
– brachialis 194, 202, 632
–– Äste 633
–– Ellenbeuge 201
–– Struthers' ligament 201
–– superficialis 633
–– Varianten 633
– buccalis 419, 625
–– seitliche Gesichtsregion 424
– bulbi penis 353, 641
– bulbi vestibuli 341, 642
– caecalis anterior 276, 278, 639
– caecalis posterior 278, 639
– callosomarginalis 589, 628
– canalis pterygoidei 626
– capitis femoris 153
– caroticotympanica 486, 626
– carotis communis 370
–– Aufzweigung 623
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– sinistra 623
–– Trigonum caroticum 395
–– Vagina carotica 367
– carotis externa 371
–– Äste 371, 623
–– Fossa retromandibularis 371
–– seitliche Gesichtsregion 423
–– Trigonum caroticum 396
– carotis interna 370, 588
–– Abschnitte 588
–– Äste 626
–– N. glossopharyngeus 377
–– Pars cavernosa 588, 626
–– Pars cerebralis 588, 626
–– Pars cervicalis 626
–– Pars petrosa 626
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
–– Trigonum caroticum 395–396
–– Vagina carotica 367
– caudae pancreatis 296, 638
– centralis anterolateralis 532, 589, 628
– centralis anteromedialis 628
– centralis brevis 628
– centralis longa 628
– centralis posterolateralis 630
– centralis posteromedialis 630
– centralis retinae 627
–– blinder Fleck 480
–– Orbita 469
–– Pars optica retinae 479
– cerebelli inferior anterior 587
– cerebelli inferior posterior 587
– cerebri anterior 588–589, 626, 628
–– Äste 628
–– Infarkt 589
–– Pars postcommunicalis 587, 626, 628
–– Pars precommunicalis 587, 626, 628
–– Versorgungsgebiete 589
– cerebri media 588–589, 626, 628
–– Äste 628
–– Infarkt 590
–– Pars insularis 628
–– Pars sphenoidalis 628
–– Versorgungsgebiete 589
– cerebri posterior 586, 626, 630
–– A. communicans posterior 630
–– Äste 587, 630
–– Infarkt 588
–– Pars postcommunicalis 587, 626, 630
–– Pars precommunicalis 587, 626, 630
–– Pars terminalis 630

–– Versorgungsgebiete 589
– cervicalis ascendens 370, 631
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Skalenuslücke 398
– cervicalis profunda 370, 631
–– Rückenhaut 114
– cervicalis superficialis 631
–– Brusthaut 114
–– Rückenhaut 114
–– Trigonum colli laterale 399
– choroidea 478
– choroidea anterior 587–588, 626–627
–– Versorgungsgebiete 589
– ciliaris anterior 476–477, 627
–– Retina 479
– ciliaris posterior 477
–– Orbita 469
– ciliaris posterior brevis 627
– ciliaris posterior longa 627
– circumflexa anterior humeri 632
– circumflexa femoris lateralis 153, 644–645
– circumflexa femoris medialis 133, 153, 161, 644
– circumflexa humeri anterior, Achselhöhle 200
– circumflexa humeri posterior
–– Achselhöhle 200
–– laterale Achsellücke 201
– circumflexa ilium profunda 117, 643–644
– circumflexa ilium superficialis 117, 153, 644
–– Leistenhaut 114
– circumflexa posterior humeri 632
– circumflexa scapulae 370, 632
–– Achselhöhle 200
–– mediale Achsellücke 201
–– Rückenhaut 114
– colica dextra 278–279, 639
– colica media 278–279, 639
–– Riolan–Anastomose 278
– colica sinistra 278–279, 640
–– Anastomosen 278
–– Riolan–Anastomose 278
– collateralis media 633
– collateralis radialis 633
– collateralis ulnaris superior 633
– comitans n. ischiadici 153
– comitans n. mediani 195
– comitans nervi ischiadici 642
– communicans anterior 587, 589, 626, 628
–– Aneurysmen 590
– communicans posterior 587–588, 626–627
–– A. cerebri postierior 630
–– Äste 627
– conjunctivalis anterior 627
– conjunctivalis posterior 627
– corona mortis 117
– coronaria 620–621
–– Äste 622
– coronaria dextra 243, 245, 621–622
–– Verlauf 621
– coronaria sinistra 243, 245, 621–622
–– Äste 621
– corticalis radiata 304
– cremasterica 347, 643–644
– cystica 286, 290, 294, 637
– descendens genicularis 154, 644–645
– digitalis dorsalis 154, 194, 634
– digitalis palmaris 194
– digitalis palmaris communis 194, 634
– digitalis palmaris propria 195, 634
– digitalis plantaris communis 154, 647
– digitalis plantaris propria 647
– digitalis plantaris propria I 154
– digitalis plantaris V 647
– dorsalis clitoridis 341, 642
– dorsalis nasi 419, 627
–– Augenlider 471
–– Nasenrücken 419
– dorsalis pedis 154, 646
–– Äste 646
–– Puls fühlen 154
– dorsalis penis 353, 642
– dorsalis scapulae 201, 631
– ductus deferentis 117, 347, 643
–– Ureterversorgung 309
– epigastrica inferior 111, 116–117, 643–644
–– Äste 643
– epigastrica superficialis 153, 644
–– Bauchhaut 114
– epigastrica superior 116, 251, 630
– episcleralis 627
– ethmoidalis anterior 419, 627
–– Nasenhöhle 463
–– Orbita 469
– ethmoidalis posterior 627
–– Nasenhöhle 463
–– Orbita 469
– facialis 371, 623
–– Äste 624
–– Gesichtsweichteile 418–419
–– Glandula submandibularis 440
–– seitliche Gesichtsregion 424
–– Trigonum caroticum 396
–– Trigonum submandibulare 397
–– Verlauf 624
– femoralis 111, 153, 161, 643–644
–– Adduktorenkanal 137, 161
–– Äste 644
–– Gefäß–Nerven–Bahn 160
–– Lacuna vasorum 160
– fibularis 155, 647
–– Äste 647
– flexura dextra 639
– frontobasalis lateralis 589, 628
– frontobasalis medialis 628
– gastrica brevis 256, 639
–– Magen 269
– gastrica dextra 270, 290, 637–638
–– Magen 269
– gastrica posterior 638
–– Magen 269
– gastrica sinistra 270, 637–638
–– akzessorische Leberarterien 637
–– Magen 269
– gastroduodenalis 270, 637–638
–– Äste 637
–– Varianten 637
– gastroomentalis dextra 256, 270, 637–638
–– Magen 269
– gastroomentalis sinistra 256, 270, 638
–– Magen 269
– glutea inferior 642
– glutea superior 642
–– Gesäßhaut 114
– glutealis inferior 153, 641
– glutealis superior 153, 641
– gyri angularis 628
– hallucis plantaris 647
– hepatica communis 637–638
–– Varianten 637
– hepatica propria 286, 290, 637–638
–– Lebersinusoid 288
–– Leberversorgung 289
–– portale Trias 287
–– Zentralvenenläppchen 288
– hypophysialis inferior 527, 588, 626
– hypophysialis superior 526–527, 587–588, 626
– ilealis 274, 278–279, 639
– ileocolica 278–279, 639
– iliaca communis 636, 640
–– Ureterkreuzung 308
– iliaca externa 643–644
–– Äste 643–644
–– Ovar 327
– iliaca interna 641
–– Äste 640–641
–– Ovar 327
– iliolumbalis 642
– incisiva 450
– inferior anterior cerebelli 586, 630
– inferior lateralis genus 154, 162, 646
– inferior medialis genus 154, 162, 646
– inferior posterior cerebelli 586, 629
– infraorbitalis 419, 424
–– seitliche Gesichtsregion 424
– insularis 589, 628
– intercostalis, Mamma 104
– intercostalis anterior 116
–– a. thoracicae internae 116
– intercostalis posterior 115, 251, 631, 634
–– Rückenhaut 114
– intercostalis suprema 370, 631
– interlobaris 302, 304, 306
– interlobularis 306
–– Glisson–Trias 288
– interossea anterior 634
– interossea communis 634
– interossea posterior 634
– intraorbitalis 625
– jejunalis 274, 279, 639
– labialis inferior 424, 624
–– Gesichtsweichteile 419
– labialis superior 424, 624
–– Gesichtsweichteile 419
–– Nasenhöhle 463
– labyrinthi 491, 630
–– Gleichgewichtsorgan 495
–– Ursprung 586
– lacrimalis 419, 627
–– Augenlider 471
–– Orbita 469
– laryngea inferior 392, 631
– laryngea superior 371, 392, 623
– lateralis nasi 419
– lenticulostriata 589
– lienalis 638
– ligamenti teretis uteri 117, 643
– lingualis 371, 623
–– Äste 624
–– Glandula sublingualis 440

–– Trigonum caroticum 396
–– Trigonum submandibulare 397
–– Verlauf 623
–– Zunge 444
– lobi caudati 637
– lumbalis 116, 636
–– Rückenhaut 114
– lumbalis ima 621
– lusoria 370
– malleolaris anterior lateralis 646
– malleolaris anterior medialis 646
– mammaria interna 251
– marginalis coli 639
– masseterica 625
–– Kaumuskulatur 457
– maxillaris 371, 623
–– Äste 625
–– Fossa infratemporalis 425
–– Fossa pterygopalatina 428
–– Gaumen 434
–– Gesichtsweichteile 418
–– Nasenhöhle 463
–– Pars mandibularis 426
–– Pars pterygoidea 426
–– Pars pterygopalatina 426
–– seitliche Gesichtsregion 423
–– Verlauf 625
–– Zähne 450
– media genus 154, 162, 646
– meningea anterior 582
– meningea media 582, 625
–– Epiduralhämatom 582
– meningea posterior 384, 582, 624
– mesencephalica 630
– mesenterica inferior 636, 639
–– Äste 279, 639–640
–– Dickdarm 278
– mesenterica superior 270, 636, 639
–– akzessorische Leberarterien 637
–– Äste 279, 639
–– Duodenum 274
–– Entwicklung 212
–– Ileum 274
–– Jejunum 274
–– V. renalis 307
– metacarpalis dorsalis I 634
– metacarpalis palmaris 194, 634
– metatarsalis dorsalis I 646
– metatarsalis plantaris 154, 647
– metatarsea dorsalis 154
– metatarsea perforans 154
– muscularis 627
– musculophrenica 116, 219, 630
– nasalis posterior lateral 626
– nasalis posterior lateralis 463
– nasi externa 627
– nasopalatina 432, 626
–– Foramen incisivum 462
–– Nasenhöhle 463
– nutriens, a. glutealis superioris 642
– nutriens femoris 645
– nutriens fibulae 647
– nutriens humeri 633
– nutriens tibiae 647
– obturatoria 153, 641
–– accessoria 641
–– Äste 641
– obturatoria accessoria 153
– occipitalis 371, 411–412, 623
–– Äste 624
–– autochthone Rückenmuskulatur 96
–– Trigonum caroticum 397
–– Verlauf 624
– occipitalis lateralis 588, 630
– occipitalis medialis 588, 630
– ophthalmica 588, 627
–– Äste 627
–– Auge 476
–– Nasenhöhle 463
–– Orbita 469
– ovarica 327, 329, 636–637
–– Ureterkreuzung 308
–– Ureterversorgung 309
– palatina ascendens 371, 384, 624
–– Trigonum submandibulare 397
– palatina descendens 625
–– Nasenhöhle 463
– palatina inferior, Pharynx 384
– palatina major 432, 625
–– Nasenhöhle 463
– palatina minor 432, 625
– palpebralis lateralis 627
– palpebralis medialis 627
–– Orbita 469
– pancreatica dorsalis 296, 638
– pancreatica inferior 296, 638
– pancreatica magna 296, 638
– pancreaticoduodenalis inferior 270, 274, 279, 296, 639
– pancreaticoduodenalis superior 270, 274, 296
– pancreaticoduodenalis superior anterior 637–638
– pancreaticoduodenalis superior posterior 637
– paracentralis 628
– parietalis anterior 589, 628
– parietalis posterior 589
– parietooccipitalis 628
– perforans 645
–– a. profundae femoris 153
– perforans III 644
– pericallosa 589, 628
– pericardiacophrenica 219, 251, 630
–– Perikard 246
– perinealis 641
– pharyngea ascendens 384, 623
–– Äste 624
–– Trigonum caroticum 397
–– Verlauf 624
– phrenica inferior 636
– phrenica inferioris 219
– phrenica superior 635
– phrenica superioris 219
– plantaris lateralis 154, 647
– plantaris medialis 154, 647
– plantaris profunda 646
– pontis 586, 630
– poplitea 154, 162, 645
–– Äste 645
–– Kniekehle 161
– precunealis 628
– prefrontalis 589
– prepancreatica 638
– princeps pollicis 194, 634
– profunda brachii 633
–– Humerusschaft 167
–– Trizepsschlitz 201
– profunda clitoridis 341, 642
– profunda femoris 153, 161, 644
–– Äste 644
–– Varianten 645
– profunda linguae 444, 624
– profunda penis 353, 642
– pterygomeningea 625
–– Kaumuskulatur 457
– pudenda externa 153, 644
–– äußeres Genitale 341
–– Schamhaut 115
–– Scrotum 356
– pudenda interna 153, 313, 641
–– Äste 641
–– äußeres Genitale 341
–– Penis 353
–– Scrotum 356
– pulmonalis 222, 226–227
–– Blutkreislauf 40
–– fetaler Kreislauf 233
– pulmonalis dextra 250, 619
–– Äste 619
–– Blutkreislauf 39
– pulmonalis sinistra 250, 619
–– Äste 619
–– Blutkreislauf 39
– radialis 194, 202, 633
–– Abgangsvariante 633
–– Äste 634
–– Tabatière 188
– radialis indicis 634
– radicularis anterior 590
– radicularis magna 116, 590–591
– radicularis posterior 590
– rectalis inferior 278, 641
–– Anastomosen 278
– rectalis media 278, 641, 643
–– Prostata 351
–– Vagina 337
– rectalis superior 279, 283–284, 640
–– Anastomosen 278
– recurrens Heubneri 589
– recurrens radialis 202, 634
– recurrens tibialis anterior 154, 646
– recurrens tibialis posterior 162, 646
– recurrens ulnaris 634
– renalis 301–302, 306, 636
–– Äste 636
–– Nierenbecken 309
–– Ureter 309
– retroduodenalis 638
–– a. gastroduodenalis 637
– sacralis lateralis 621, 642
–– Rückenhaut 114
– sacralis mediana 620–621, 636
–– Äste 621
– saphena 644
– segmenti anterioris 637
– segmenti lateralis 637
– segmenti medialis 637
– segmenti posterioris 637
– septi nasi 419
– sigmoidea 278–279, 640
–– Anastomosen 278
– sigmoidea ima 640
– sphenopalatina 424, 626
–– Nasenbluten 463
–– Nasenhöhle 463
– spinalis anterior 116, 590–591, 629
–– dissoziierte Empfindungsstörung 541
–– Infarkt 590
– spinalis posterior 116, 590–591, 629
– splenica 270, 296, 298–299, 638
–– Äste 638
– sternocleidomastoidea 371
–– Hypoglossusbogen 379
–– Trigonum caroticum 396–397
– striata medialis 589
– stylomastoidea 486, 624
– subclavia 200, 369, 629
–– Abschnitte 369
–– Äste 629

–– Ductus thoracicus 374
–– erste Rippe 99
–– Halsfaszie 367
–– N. phrenicus 118
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– seitlicher Thorax 115
–– sinistra 623
–– Skalenuslücke 365, 398
–– Subclavian–Steal–Syndrom 370
– subcostalis 115–116, 635
–– Rückenhaut 114
– sublingualis 436, 624
–– Glandula sublingualis 440
– submentalis 371, 436, 624
–– Glandula submandibularis 440
–– Trigonum submandibulare 397
– subscapularis 632
– sulci centralis 589, 628
– sulci postcentralis 589, 628
– sulci precentralis 589, 628
– sulcocommissuralis 590
– superior cerebelli 586, 630
– superior lateralis genus 154, 162, 645
– superior medialis genus 154, 162, 645
– supraduodenalis 637
– supraorbitalis 411–412, 627
–– Augenlider 471
–– Orbita 469
– suprarenalis inferior 311, 636
– suprarenalis media 311, 636
– suprarenalis superior 311
– suprascapularis 201, 370, 631
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Rückenhaut 114
–– Trigonum colli laterale 398–399
– supratrochlearis 411–412, 627
– suralis 646
– tarsalis lateralis 646
– tarsalis medialis 646
– temporalis 628
– temporalis media 623, 625
–– Kaumuskulatur 457
– temporalis profunda, Kaumuskulatur 457
– temporalis profunda anterior 625
– temporalis profunda posterior 625
– temporalis superficialis 371, 411–412, 623
–– Äste 625
–– Augenlider 471
–– Gesichtsweichteile 418
–– Glandula parotidea 439
–– Kiefergelenk 456
–– seitliche Gesichtsregion 423
–– Trommelfell 484
–– Verlauf 625
– testicularis 111, 344, 346–347, 636–637
–– Samenstrang 348
–– Ureterkreuzung 308
–– Ureterversorgung 309
– thoracica interna 116, 251, 369, 630
–– Äste 630
–– Brusthaut 114
–– Bypass–Operation 251
–– Mamma 104
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Rumpfwand 114
–– Zwerchfell 220
– thoracica lateralis 632
–– Achselhaut 114
–– Achselhöhle 200
–– Mamma 104
–– seitlicher Thorax 115
– thoracica superior 631–632
–– Achselhöhle 200
–– seitlicher Thorax 115
– thoracoacromialis 632
–– Achselhöhle 200
–– Brusthaut 114
–– seitlicher Thorax 115
– thoracodorsalis 632
–– Achselhaut 114
–– Achselhöhle 200
–– seitlicher Thorax 115
– thyroidea ima 394, 622
– thyroidea inferior 370–371, 394, 631
–– N. laryngeus recurrens 393
–– Regio sternocleidomastoidea 395
– thyroidea superior 371, 394, 623
–– Äste 623
–– Pharynx 384
–– Trigonum caroticum 396
–– Verlauf 623
– tibialis anterior 154, 646
–– Äste 646
– tibialis posterior 154, 646
– transversa cervicis 370, 375, 631
–– A. circumflexa scapulae 631
–– Äste 631
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Trigonum colli laterale 398
– transversa faciei 419, 422, 623, 625
–– Glandula parotidea 439
–– seitliche Gesichtsregion 423–424
– tympanica anterior 486, 625
– tympanica inferior 486, 624
– tympanica posterior 486–487, 624
– tympanica superior 486, 625
– ulnaris 194, 202, 634
–– Guyon-Loge 203
–– Guyon–Loge 203
– umbilicalis 110, 641–642
–– fetaler Kreislauf 233
– urethralis 641
– uterina 329, 336, 643
–– Lig. cardinale 334
–– Ureterkreuzung 308
–– Ureterversorgung 309
– vaginalis 337, 643
– vertebralis 369, 587, 629
–– Äste 626, 629
–– Atlas 86
–– autochthone Rückenmuskulatur 96
–– Pars atlantica 629
–– Pars intracranialis 629
–– Pars prevertebralis 629
–– Pars transversaria 629
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Verlauf 586
– vesicalis inferior 322, 641, 643
–– Prostata 351
–– Ureterversorgung 309
–– Vagina 337
– vesicalis superior 322, 641, 643
– vitellina 213
– zygomaticoorbitalis 419, 422, 623, 625
Arterien 42
– Gehirn 586
– herzferne 42
– herznahe 42
– Kollateralen 42
– Ligatur 42
– obere Extremität 193
– Rückenmark 590
– Rumpfwand 115–116
– Schädeldach 411
– Sperrarterie 43
– Systematik 619
– untere Extremität 152
– Verletzung 42
– Widerstandsgefäße 42
– Windkesselfunktion 42
Arteriola
– glomerularis afferens 304, 306
– glomerularis efferens 303–304, 306
– recta 304, 306
Arteriole 43
Arthrose 26
Articulatio
– acromioclavicularis 170
– atlantoaxialis lateralis 91
– atlantoaxialis mediana 91
– atlantooccipitalis 91
–– M. rectus capitis anterior 365
– bicondylaris 30
– calcaneocuboidea 147
– carpometacarpalis 183–184
–– pollicis 30, 185
– costovertebralis 102
– coxae 132
–– Aufbau 133
–– Gelenkmechanik 133
–– Muskulatur 134
– cricoarytaenoidea 388
– cricothyroidea 387
– cubiti 179
–– Aufbau 179
–– Gelenkmechanik 181
–– Muskulatur 181
– cuneocuboidea 147
– cuneonavicularis 147
– cylindrica 30
– dentoalveolaris 446
– ellipsoidea 30
– genus 139
–– Aufbau 140
–– Gelenkmechanik 142
–– Muskulatur 142
– humeri 173
–– Aufbau 173
–– Gelenkmechanik 175
–– Muskulatur 176
– humeroradialis 180
– humeroulnaris 180
– incudomallearis 485
– incudostapedialis 485
– intercarpalis 184
– intermetacarpalis 183–184
– intermetatarsalis 147
– interphalangealis 183
– interphalangealis I 185
– intertarsalis 147
– intervertebralis 90
– mediocarpalis 183–184
– metacarpophalangealis 183, 186
– metacarpophalangealis I 185
– metatarsophalangealis 147
– plana 30
– radiocarpalis 183
– radioulnaris distalis 183
– radioulnaris proximalis 180
– sacroiliaca 130
– sellaris 30
– sphaeroidea 30
– sternoclavicularis 170
–– Faserknorpel 26
– sternocostalis 103

– subtalaris 147
– talocalcaneonavicularis 147
– talocruralis 145
– talotarsalis 146
– tarsometatarsalis 147
– temporomandibularis 453
– tibiofibularis 128, 145
– trochoidea 30
– zygapophysialis 90
Articulatio cricoarytaenoidea 385
Articulatio cricothyroidea 385
Articulatio sacroiliaca 124
Aschoff–Tawara–Knoten 242
Asomatognosie 538
Assoziationsareal 534
– multimodales 534
– unimodales 534
Assoziationscortex
– somatosensorischer 538
– visueller 566
Assoziationsfaser 64, 507, 530–531
Astereognosie 538
Astheniker 22
Asthma bronchiale 226
Astrozyten 59–60
Aszites 53, 260
Ataxie 557
Atemhilfsmuskulatur 231
– Skalenusmuskel 364
Atemmechanik 231
Atemmuskel 231
Atemwege 223
– Aufgabe 223
– Aufzweigungen 224
– obere 223
– untere 223
Atemzentrum, Formatio reticularis 578
Athletiker 22
Atlas 85
Atrioventrikularebene 240
Atrioventrikularklappe 40, 240
Atrium
– dextrum 235, 237
–– Röntgenbild 247
– sinistrum 235, 237–239
–– Röntgenbild 247
Augapfel 474
Augenachse 474
Augenbecher, Entwicklung 506
Augenbewegung
– Formatio reticularis 578
– horizontale 566
– konjugierte 566–567
– vertikale 566
– willkürliche 568
Augenbläschen, Entwicklung 506
Augenfeld, frontales 559, 568
Augenhintergrund 479
Augenhöhle 467
– Begrenzungen 467
– Inhalt 468
– Leitungsbahnen 469
– Nerven 470
Augeninnendruckerhöhung 482
Augenkammer
– hintere 482
– vordere 481
–– Kammerwinkel 482
Augenlid 414, 470
– Aufbau 471
– Drüsen 471
– Leitungsbahnen 471
– Lidrand 471
– Tarsus 470
Augenmuskel, äußerer 473
Auricula
– dextra 235, 237–238
– sinistra 235, 238–239
Außenmeniskus 140
– Verletzung 140
Außenmuskulatur, Zunge 442
Außenrotation
– Auge 473
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 134, 138
– Kniegelenk 142
– Schultergelenk 175
Auskultation
– Herzklappen 246
– Lunge 222
Austreibungsperiode (Geburt) 338
Austreibungsphase (Herzzyklus) 240
Autoimmunerkrankung 47
AV–Block 242
AV–Klappe 236
AV–Knoten 241–242
– AV–Block 242
AV–überleitung 242
Axilla 199
– Gefäß–Nerven–Strang 200
– Lymphknoten 104–105
Axis 86
– bulbi 474
Axon 58, 61
– Gliascheide 60
Azephalie 502
Azetylcholin
– Basalkerne 530
– Gehirn 580
Azetylcholinesterase 59
Azinus
– Definition 226
– Leber 288
– Pancreas 295
A–Zelle 296

B

Babinski–Reflex 514
Backenzahn 448–449
Balanitis 352
Balanoposthitis 352
Balken 64
– Entwicklung 507
Balkenarterie, Milz 299
Ballismus 64, 554
Bandapparat
– Halswirbelsäule 91
– Kopfgelenk 92
– weibliches Becken 334
Bandhemmung, Gelenk 31
Bandscheibe 89
– Entwicklung 78
Bandscheibenvorfall 157
Barorezeptoren 68
Bartholinitis 340
Bartholin–Drüse 339–340
– sexuelle Reaktion 342
basal 20
Basalganglien 64
Basalkerne 551
– Rückkoppelungsschleifen 553
– Schaltkreise 552
Basilarmembran 491
– Frequenzabhängigkeit 492
– Signalübertragung 492
Basis
– cordis 235–236
– cranii 403
– ossis metatarsalis 130
– ossis sacri 88–89
– patellae 127
– prostatae 349
– pulmonis 221–222
– Sakraldreieck 83
Bauch, Körpergliederung 17
Bauchatmung 231
Bauchfaszie 106
– innere 107
– oberflächliche 106
Bauchhöhle 254
– Bänder 265
– Entwicklung 209
– Mensch 53
– Recessus 260
Bauchhöhlenschwangerschaft 331
Bauchmuskulatur 107
– Muskelstatik im Stehen 112
– oberflächliche 107
– tiefe 109
Bauchpresse 113
Bauchraum 53
– Körpergliederung 17
Bauchspeicheldrüse 258
Bauchwand 106
– Arterien 117
– Leistenkanal 109
– Muskulatur 79, 108
Bauhin–Klappe 272, 276
Becken 123
– Entwicklung 209
– Fehlbelastung 132
– Gelenke 130
– Geschlechtsunterschiede 125
– kleines
–– Etagengliederung 313
–– Räume 313
– Knochenpunkte 122
– Lymphknoten 671–672
– männliches 126, 314
– Mechanik 132
– Organe 314
– Peritonealhöhle 314
– sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
– weibliches 126, 314, 317, 322
–– Bänder 334
–– Mensch 17
Beckenausgangsebene 338
Beckenboden 313, 316
– Diaphragma pelvis 316
– Funktion 316
– Geburt 338
– Harninkontinenz 324
– Innervation 120
– Körpergliederung 17
– Kräfte im Sitzen 132
– Kräfte im Stehen 132
– Membrana perinei 318
– Rumpfstruktur 80
– Schichten 316
– weiblicher 317
Beckenbodenmuskulatur
– Bauchpresse 113
– Miktion 324
– Schichten 316
Beckeneingangsebene 338
Beckenhöhle 254
– Mensch 53
Beckenkanal 124
– Etagen 313
– Wandauskleidung 313
Beckenmaße 125
Beckenniere 301
Beckenraum 53
– Gliederung 313
– Körpergliederung 17
Befruchtung 72, 330
Beinvenen
– oberflächliche 658
– tiefe 658
Belegzelle 268
Benzodiazepine, Schlaf–Wach–Rhythmus 581
Bereitschaftspotenzial 559
Berger–Raum 480
Bernoulli–Venturi–Effekt 41
Berührung 536
Beschneidung 352
Beugung

– Daumen 188
– Ellenbogengelenk 181
– Finger 190
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 134
– Kniegelenk 142–143
– Zehen 150
Bewegungsapparat
– aktiver Teil 24
– Definition 24
– Hals 359
– passiver Teil 24
– Skelett 24
Bifurcatio
– aortae 621, 640
– carotidis 623
– tracheae 223, 225
– trunci pulmonalis 250, 619
Bikuspidalklappe 40, 240
Bindegewebe 52
– Schleimhaut 55
– spinozelluläres, Ovar 328
– Synarthrose 27
Bindegewebsraum, subperitonealer 313, 315
Binnenmuskulatur, Zunge 442
Binnenzelle 511
Bläschendrüse 343, 348
– Ejakulation 355
– Peritoneum 315
Blasenekstrophie 320
Blasenpfeiler 333–334
Blasenpunktion, suprapubische 320
Blasenzäpfchen 321
Blastomere 72
Blastozyste 72
Blattpapille 444
Blickzentrum
– okzipitoparietales 569
– pontines 566
– vertikales 566
Blinddarm 275–276
Blinddarmentzündung 276
Blinddarmknospe 213
Blockwirbel 85
Blut 46
Blutgefäße
– Anastomose 42
– Arterien 42
– Aufbau 41
– Kapillaren 43
– Venen 45
Blutkreislauf 39
Blutplasma 46
Blutvergiftung 48
Blutzellen 46
Blut–Hoden–Schranke 345
Blut–Liquor–Schranke 594
Blut–Luft–Schranke 221, 226
BMI 21
Bochdalek–Dreieck, Nierenlage 301
Bochdalek–Hernie 208
Bodenplatte 503
Body Mass Index 21
Bogengang 489
– Funktion 494
Bowman–Drüse 463, 571
Bowman–Kapsel 303
Brechzentrum 516, 579
Briden 54
Bridenileus 54
Bries 249
Broca–Sprachzentrum 535, 560
Brodmann–Areal 533, 535
Bronchen 224
Bronchiolus 224
– Definition 226
– respiratorius 224
– terminalis 224–225
Bronchokonstriktion, N. vagus 227
Bronchus
– kleinerer 224
– lobaris 224–225
– lobaris inferior 223
– lobaris medius 223
– lobaris superior 223
– principalis 222–225
– segmentalis 224–225
Brown–Séquard–Syndrom 551
Bruch–Membran 478, 481
Brücke 517
– Entwicklung 505
– ZNS–Bauplan 63
Brückenbeuge 504
Brückenvene 591
Brücke–Muskel 477
Brunner–Drüse 273
Brust, Körpergliederung 17
Brustatmung 231
Brustbein 101
– Knochentyp 27
Brustdrüse 104–105
– Blutversorgung 104
– Innervation 104
– Lymphabflüsse 104
– männliche 105
– sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
– Wirbeltiere 16
Brustfell 228
Brusthöhle 216
– Entwicklung 206
– Mensch 53
Brustkorb 101
– Athletiker 22
– Geschlechtsunterschied 102
– Pykniker 22
– Skoliose 102
Brustkyphose, Primaten 17
Brustmilchgang 252
Brustmuskulatur 103
Brustraum 52
– Körpergliederung 17
Brustwand 99
– Arterien 116
– Muskulatur 108
Brustwarze 104
Brustwirbel 87
– Anzahl 85
– Rippenverbindung 102
– Wirbelbogengelenk 90
Brustwirbelsäule 87
– Primaten 17
– Skoliose 102
Bruxismus 449
Bucca 431
Buccopharyngealmembran 209
Buck–Faszie 319
Bulbus
– aortae 250, 620, 622
– clitoridis 341
– duodeni 272
– inferior v. jugularis internae 372
– inferior venae jugularis 651
– oculi 414, 474
–– Schichten 474
– olfactorius 571–572, 674
– penis 343, 352
– superior v. jugularis internae 372
– superior venae jugularis 651, 653
– vestibuli 337, 340–341
Bulla, ethmoidalis 466
Bündel, olivokochleäres 563–564
Bursa
– bicipitoradialis 181
– iliopectinea 134
– infrapatellaris 140
– intratendinea olecrani 181
– ischiadica m. glutei maximi 135
– ischiadica m. obturatorii interni 138
– omentalis 260, 264
–– chirurgische Zugangswege 263
–– Entwicklung 210
–– Lagebeziehungen 261
–– Nebenniere 310
– prepatellaris 140
– subacromialis 174–175
–– Gelenkhilfseinrichtung 32
–– MRT-Aufnahme 179
– subcoracoidea 174–175
– subcutanea acromialis 174–175
–– Gelenkhilfseinrichtung 32
– subcutanea olecrani 181
– subdeltoidea 174–175
– subtendinea iliaca 134
– subtendinea m. subscapularis 174–175
– subtendinea m. tricipitis brachii 181
– suprapatellaris 140
– synovialis, Gelenkhilfseinrichtung 31–32
– trochanterica m. glutei maximi 135
– trochanterica m. glutei medii 137
Bypass–Operation 251
B–Lymphozyten 47
B–Zelle 296

C

Caecum 275–276
– Entwicklung 213
– MALT 51
Calcaneus 129–130
Caldwell–Luc–Operation 465
Calix renalis 302
Calvaria 403
– Innervation 413
– Leitungsbahnen 411
– Lymphabfluss 412
– Venen 412
– Weichteilmantel 410
Camera
– anterior 481
– posterior 482
– postrema 482
– vitrea 482
Canaliculi, caroticotympanici 408
Canaliculus
– bilifer 291
– caroticotympanicus 406
– cochleae 489
– lacrimalis 472
– tympanicus 406, 408
Canalis
– adductorius 137, 154, 161
– analis 282
–– Körpergliederung 17
– caroticus 405, 408, 588
–– Paukenhöhle 485
– carpi 184, 202
– cervicis 331–332
– condylaris 408
– gastricus 268
– hyaloideus 482
– incisivus 462
– infraorbitalis 409
– inguinalis 109
–– Begrenzungen 109
– mandibulae 410, 424
– musculotubarius 406, 408, 488
– n. facialis 487
– n. facialis 486
– n. hypoglossi 404
– nasolacrimalis 409
– nervi hypoglossi 408

– obturatorius 131, 153, 315, 317
–– Gefäß–Nerven–Strang 157
– opticus 404–405, 408
– palatinus major 427
–– Leitungsbahnen 429
– pericardioperitonealis 206–207
– pterygoideus 405, 408–409, 427
–– Leitungsbahnen 429
– pudendalis 313, 319
– pyloricus 267
– radicis dentis 446
– sacralis 88
– semicircularis 493
– semicircularis anterior 483, 489–490
– semicircularis lateralis 483, 489
– semicircularis posterior 483, 489
– spiralis cochleae 489–490
– tympanicus 486
– vertebralis 92
Caninus 449
– Zahnform 451
Cannon–Böhm–Punkt 281
Capitulum, humeri 167
Capsula
– adiposa, renis 301, 310
– articularis 29, 453
– bulbi 468
– externa 529
– extrema 529
– fibrosa
–– Drüse 56
–– glandulae thyroideae 393
–– renis 302
– glomerularis 303
– interna 522, 529, 531–532
–– Einblutung 532
–– Entwicklung 507
–– Schmerz 541
–– Sehbahn 565
–– Sensibilität 537
–– Sensibilität Kopfregion 538
–– Temperatur 541
– lentis 481
Caput
– articulare 28
– breve
–– m. bicipitis brachii 176, 181, 199
–– m. bicipitis femoris 136, 144, 162
– claviculare, m. sternocleidomastoidei 361
– costae 79, 100
– epididymidis 346
– epididymis 344–345
– femoris 126–127, 133
– fibulae 128
–– Knochenpunkte 122–123
– humerale, m. flexoris carpi ulnaris 187
– humeri 167
– laterale
–– m. gastrocnemii 148–149, 162
–– m. tricipitis brachii 176, 181
– longum
–– m. bicipitis brachii 176, 181
–– m. bicipitis femoris 136, 144, 158, 162
–– m. tricipitis brachii 176, 181, 201
– mallei 485
– mandibulae 453
– mediale
–– m. gastrocnemii 148–149
–– m. tricipitis brachii 176, 181
– Medusae 115, 290
– nuclei caudati 529–530
– obliquum, m. adductoris hallucis 151
– ossis metatarsalis 130
– pancreatis 258, 262, 294
– profundum, m. flexoris pollicis brevis 188
– radii 168
– stapedis 485
– sternale, m. sternocleidomastoidei 361
– succedaneum 411
– superficiale, m. flexoris pollicis brevis 188
– tali 130
– tibiae 127
– transversum, m. adductoris hallucis 151
– ulnae 168–169
– ulnare, m. flexoris carpi ulnaris 187
Carina 225
– urethralis 337
– urethralis vaginae 323
Cartilago
– alaris major 459
– alaris minor 459
– alaris nasi 459, 461
– articularis 28
– arytaenoidea 387
– corniculata 386–387
– cricoidea 223, 385, 387
– cuneiforme Wrisbergi 387
– nasi 459
– Santorini 386
– septi nasi 459, 461
– thyroidea 223, 358, 385, 387
–– M. sternothyroideus 363
–– M. thyrohyoideus 363
–– Membrana thyrohyoidea 360
– trachealis 223–224
– triticea 360, 387
– tubae auditivae 488
– Wrisbergi 386
Cartilago arytaenoidea 385
Cartilago corniculata 385
Caruncula, sublingualis 439
Carunculae hymenales 340
Cauda
– epididymidis 346
– epididymis 345
– equina 70, 509
– nuclei caudati 529–530
– pancreatis 258, 295
Cavitas
– abdominalis 17, 53, 254
– coronalis 446
– cranii 403
– dentis 445–446
– glenoidalis 166, 173
– laryngis 386
– oris 430
– oris propria 430–431
– pelvis 17, 53, 124, 254
– pericardialis 52
– peritonealis 17, 53
– pleuralis 17, 52, 216
– serosa scroti 356
– thoracis 17, 52–53, 216
– tympani 483–484
–– Etagen 485
–– Leitungsbahnen 486
–– Schleimhautfalten 485
–– Wände 484
– uteri 331
–– Endometrium 334
Cavum
– articulare 29
– nasi proprium 460
– septi pellucidi 531
CCD–Winkel 126
– Einbeinstand 134
Cellulae
– ethmoidales 466
– ethmoidales anteriores 466
–– Arterien 466
–– Nerven 466
– ethmoidales posteriores 466
–– Arterien 466
–– Nerven 466
– mastoideae 488
Cellulae ethmoidales, Knochentyp 27
Cementum 446
Centrum
– perinei 314, 316–317
–– Diaphragma urogenitale 318
– tendineum 218–219
–– Entwicklung 208
Cerebellum 554
– Aufbau 555
– Entwicklung 504–505
– Funktionen 557
– Purkinjezellschicht 555
– Verbindungen 558
– Verschaltung 556
– Vestibulariskerne 560
– ZNS–Bauplan 63
Cerebrocerebellum 555
Cervix 358
– dentis 445–446
– uteri 322, 331–333
–– Geburt 338
–– Innervation 336
–– Peritoneum 315
–– Schwangerschaft 337
–– Wandschichten 335
– vesicae 320
Chalazion 471
Charcot–Trias 558
Chemorezeptoren 68
Chiasma
– crurale 148
– opticum 523–524, 565, 674
– plantare 150
Chievitz–Organ 424
Choanae 460
– Strukturen 460
Cholangiolithiasis 294
Cholelithiasis 294
Cholezystitis
– Gallensteine 294
– Untersuchung 293
Cholezystokinin, Gallenblase 294
Chondrocranium 402
Chopart–Gelenk 147
Chorda
– tendinea 236–238
–– Mitralklappe 240
– tympani 487, 678–680
–– Fossa infratemporalis 426
–– Geschmacksbahn 570–571
–– Geschmacksknospen 445
–– Glandula sublingualis 440
–– Kiefergelenk 454
–– Parasympathicus 695
–– Paukenhöhle 486
–– Zunge 445
Chorda dorsalis 73–74
– Entwicklung 78
Chorea 553
– Huntington 553
– Sydenham 553
Choroidea 475, 477–478
Cingulum
– Hernie 582
– limbisches System 573–574
Circulus
– arteriosus cerebri 587, 590, 626
– arteriosus iridae major 477
– arteriosus iridae minor 477
Circumferentia, articularis 168

Cisterna
– ambiens 585–586
– basalis 585
– cerebellomedullaris 71, 585–586, 594
– chiasmatica 585
– chyli 662
– fossa lateralis 586
– interhemispherica 585
– interpeduncularis 585–586
– laminae terminalis 585
– lumbalis 70–71, 586
– pontomedullaris 585
– subarachnoidea 586
– vermis 585
Clara–Zelle 225
Claustrum 529
– Basalkerne 551
Clavicula 166
– Knochenpunkte 98–99, 165
Claviculagelenk
– laterales 170
– mediales 170
Clearance, mukoziliäre 462
Clitoris 340
– Entwicklung 326
Cloquet–Kanal 482
Cochlea 489
Cockett–Venen 155
Colitis ulcerosa 278
Colles–Faszie 319
Colliculus
– facialis 517
– inferior 520
–– Entwicklung 506
–– Hörbahn 564
–– konjugierte Augenbewegungen 567
–– Reflexkreise 563
– superior 520
–– Entwicklung 506
–– Hörbahn 564
–– konjugierte Augenbewegungen 567
Colliculus seminalis 349–350, 353
Collum 358
– anatomicum 167
– chirurgicum 167
– costae 100
– femoris 126–127
– fibulae 128
– mallei 485
– radii 168
– tali 130
– vesicae biliaris 293
Colon 277
– ascendens 275–277
–– Arterien 278
–– Entwicklung 213–214
–– Lage 276
– Colitis ulcerosa 278
– descendens 275, 277
–– Arterien 278
–– Entwicklung 213–214
–– Lage 276
– Entwicklung 213
– sigmoideum 275, 277
–– Arterien 278
–– Entwicklung 214
–– Lage 276
– transversum 275, 277
–– Arterien 278
–– Bursa omentalis 261
–– Entwicklung 213
–– Lage 276
–– Leberkontakt 287
Colonrahmen 275
Columna
– analis 282
– fornicis 575
– grisea 511
– renalis 302–303
Comedo 501
Commissura
– alba, Schmerz 540–541
– anterior 531
–– Hypothalamus 524
–– III. Ventrikel 521
– grisea 511
– labiorum 414
– labiorum anterior 339
– labiorum posterior 339
– posterior 531
Concha nasalis
– inferior 401, 407, 409, 461
– media 407, 462
– Nasenhöhle 460
– Nasenwand 461
– superior 407, 462
Condylus
– femoris 127
– humeri 167
– lateralis femoris 127–128
– lateralis tibiae 122
– medialis femoris 127–128
– medialis tibiae 122
Confluens, sinuum 652–653
– Zuflüsse 652
Confluens sinuum 592–593
Conjugata
– anatomica 125
– diagonalis 125
– recta 125
– vera 125
Conjunctiva
– bulbi 471–472, 475
– fornicis 471–472
– tarsi 471–472
Conus
– arteriosus 239
– elasticus 388
– medullaris 508–509
Cor, commune 232
Corium 497
Cornea 475
Cornealreflex 550
Cornu
– ammonis 575
– anterius
–– medullae spinalis 511–512
–– ventriculi lateralis 507, 520
– inferius, ventriculi lateralis 507, 520
– laterale, medullae spinalis 511–512
– majus ossis hyoidei 358, 360
– minus ossis hyoidei 360
– posterius
–– medullae spinalis 511–512
–– ventriculi lateralis 507, 520
Cornu ammonis 575
Corona
– ciliaris 477
– dentis 445
– glandis 352
– mortis 153
– radiata 328–329, 531
Corpus
– adiposum buccae 414, 422
–– Stenon–Gang 438
– adiposum infrapatellare 140
– adiposum orbitae 468, 474
– albicans 328
– amygdaloideum 577
–– Afferenzen 577
–– Ausfall 577
–– Basalkerne 551
–– Efferenzen 577
–– limbisches System 574
–– Riechbahn 572
– callosum 64–65
–– Entwicklung 507
–– Kommissurenfasern 530
–– limbisches System 574
–– Septum pellucidum 531
– cavernosum penis 343, 352
– cavernosum recti 282–284
–– Hämorrhoiden 283
–– Sphinktersystem 283
– ciliare 477
–– Kammerwasser 482
– clitoridis 322, 340–341
– coccygeum 621
– costae 79, 100
– epididymidis 344, 346
– femoris 126
– fibulae 128
– fornicis 523, 575
– gastricum 266–267
– geniculatum laterale 522–523, 568, 674
–– konjugierte Augenbewegungen 567
–– Sehbahn 565
– geniculatum mediale 522–523
–– Hörbahn 563
– Highmori 345
– humeri 167
– incudis 485
– linguae 440–441
– luteum 329
–– graviditatis 337
– mammillare 523–524, 575
–– Gedächtnis 577
–– limbisches System 574
– nuclei caudati 529–530
– ossis hyoidei 358, 360
– ossis metatarsalis 130
– pancreatis 258, 295
– penis 352
– pineale 528
–– Drüsen 56–57
–– Entwicklung 507
–– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
–– Tumoren 566
– radii 168
– spongiosum 343, 352
– striatum 530
– tibiae 128
– trapezoideum 562
– ulnae 168
– uteri 322, 331–332
–– Schwangerschaft 337
–– Wandschichten 334
– vesicae biliaris 293
– vesicae urinariae 320
– vitreum 475, 482
Corpusculum
– renalis 303
– renis 303
Cortex 64
– auditorischer 534
– cerebelli 555
– cerebri 532
–– Entwicklung 507
– entorhinaler 572, 575–576
– gustatorischer 534, 571
– orbitofrontaler 559, 573
– ovarii 328
– piriformer 572
– präfrontaler 543, 559
– prämotorischer 559
– präpiriformer 573
– primärer motorischer, Pyramidenbahn 549
– primärer somatosensorischer 534, 542–543
–– Schmerz 541
–– Sensibilität 537
–– Temperatur 541
– renalis 302, 304
– sekundärer auditorischer 563
– sekundärer somatosensorischer 538, 543
–– Schmerz 541
– supplementärer motorischer 559
– telencephaler 532

– visueller 534
Corti–Organ 491
– Innenohrschwerhörigkeit 493
– Leitungsbahnen 491
Costa
– fluctuans 99
– I 99
– II–X 99
– spuria 99
– vera 99
Courvoisier–Zeichen 293
Cowper–Drüse 351
Coxa
– valga 126, 134
– vara 126, 134
Coxarthrose 153
Cranium, Körpergliederung 17
Crista
– ampullaris 493
– capitis costae 100
– iliaca 123–124
–– Knochenpunkte 84, 98–99, 122
–– Rückenanatomie 83–84
– intertrochanterica 126–127
–– Gelenkkapsel 133
– sacralis lateralis 88
– sacralis mediana 88
Crus
– anterius, capsulae internae 529, 531
– cerebri 516, 519
–– Entwicklung 506
–– Tractus opticus 565
– clitoridis 340–341
– fornicis 523, 575
– osseum commune 489
– penis 352
– posterius, capsulae internae 529, 531
Cruveilhier–Baumgarten–Syndrom 290
Cumulus oophorus 328
Cupula
– cochleae 489
– pleurae 229
Curvatura
– major 266
– minor 266
Cushing–Syndrom 311
Cutis 496
– anserina 500
– callosa 410

D

Damm 313, 339
– Geburt 338
– Muskeln 316, 319, 341
– primärer 215
– Schwellkörper 341
Dammregion 316
– Gliederung 313
– Subkutis 319
– weibliche 341
Dammriss 338
Dammschnitt 319, 338
Darm, Entwicklung 75
Darmbein 123
Darmbeinkamm 124
Darmbeinschaufel 123
Daumen
– Gelenke 185
– Mensch 17
– Muskulatur 188
– Opposition 17
Daumenendgelenk 183, 185
Daumengrundgelenk 183, 185
Daumensattelgelenk 183, 185
– Sattelgelenk 30
Deckelchen 533
Deckplatte 503
Decussatio
– lemniscorum 537
– pedunculorum cerebellarium superiorum 546
– pyramidum 515–516, 550
Delphian–Knoten 374
Dendriten 58
Denonvilliers–Faszie 321
Dens 445
– caninus 448–449
–– Zahnform 451
– deciduus 448
– incisivus 448–449
–– Zahnform 451
– molaris 448–449
–– Zahnform 451
– permanens 449
– premolaris 448–449
–– Zahnform 451
– sapientiae 450
– serotinus 450
Dens axis 86
Dentin 445–446
Depression, Auge 473
Dermatom 66–67, 156
Dermis 497
– Entwicklung 74
Dermomyotom 74, 78
– Entwicklung 78
Desakkommodation 481
Descensus 325
– testis 325
Desmocranium 402
Desmodontium 445–446
Desquamationsphase 334
Deviatio, septi 461
dexter 20
Diabetes, insipidus 305
Diameter
– obliqua 125
– transversa 125
Diaphragma 609
– Körpergliederung 17
– oris 435
–– M. mylohyoideus 363
– pelvis 313, 316
– sellae 581
– urogenitale 316, 318
Diaphragma (Zwerchfell) 218
– Atemmechanik 231
– Blutversorgung 219
– Durchtrittsstellen 219
– Entwicklung 218
– Pars costalis 218–219
– Pars lumbalis 218–219
– Pars sternalis 218–219
Diaphyse 26
Diarthrose 28
Diastema, mediale 449
Diastole 241
– Entspannungsphase 241
– Füllungsphase 241
– Herzklappen 41
Dickdarm 274
– arterielle Versorgung 279
– Arterien 278
– Charakteristika 275
– Einteilung 259
– Form 275
– Grobrelief 277
– Innervation 281
– Krypten 277
– Lage 275
– Lymphgefäße 281
– Venen 278
Diencephalon 520
– Entwicklung 503–504, 506
– Ventrikelsystem 505
– ZNS–Bauplan 64
Diffusion 43
DiGeorge–Syndrom 503
DIP-Gelenk 183
Diploe 27
DIP–Gelenk 186
Discus
– articularis 31–32, 453–454
–– Handgelenk 184
–– Sternoklavikulargelenk 170
– intervertebralis 89–90
– n. optici 479
Disse–Raum 288
distal 20
Divertikulitis 278
Divertikulose 278
Dodd–Venen 155
Döderlein–Stäbchen 337
Dopamin
– Basalkerne 553
– Nucleus accumbens 578
Dornensynapse 59
Dornfortsatz
– Brustwirbel 88
– Halswirbel 86
– Lendenwirbel 88
– Lig. nuchae 91
– Lig. supraspinale 91
dorsal 20
Dorsalextension
– Fuß 145
– Handgelenk 186
– Sprunggelenk 148
Dorsum
– linguae 441
– nasi 414, 459
Dottergang 75, 209
Dottergangfistel 272
Dottersack 74, 209
Dottersackstiel 209
Douglas–Raum 314–315, 322, 333
– Vagina 337
Drehschwindel 495
Dreiecksbein 168
Drosselvene 46
Druck 536
– hydrostatischer 44
– kolloidosmotischer 44
Druckfestigkeit, Knochen 27
Drummond–Anastomose 278–279
Drüse
– endoepitheliale 56
– endokrine 56
– exoepitheliale 56
– exokrine 55
– Läppchen 56
Duchenne–Hinken 137
Ductulus
– bilifer interlobularis 291
– efferens 346
– interlobularis, Glisson–Trias 288
Ductus
– alveolaris 224
– arteriosus 233–234
–– persistierender 234
– choledochus 258, 286, 292–293
–– Duodenum 272
– cochlearis 490–491
– cysticus 286, 292–293
–– Entwicklung 211
– deferens 111, 343–344, 346, 348
–– Becken 314
–– Entwicklung 325
–– Innervation 348
–– Samenstrang 348
–– Ureterkreuzung 308
– ejaculatorius 343, 346, 350
–– Colliculus seminalis 350
– endolymphaticus 489–490, 493
– epididymidis 345
–– Entwicklung 325
– hepaticus 292–293
–– Zentralvenenläppchen 288
– hepaticus dexter 286
– hepaticus sinister 286
– lactifer colligens 104–105

– lymphaticus dexter 105, 199, 252, 371, 374, 661–662
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Verlauf 374
– mesonephricus 325
– nasofrontalis 465
– nasolacrimalis 409, 461, 472
–– Tränenträufeln 461
– nasopalatinus 463
– omphaloentericus 75, 207, 209, 212–213
– pancreaticus accessorius 258, 293
–– Duodenum 272
– pancreaticus major 258, 293, 295
–– Duodenum 272
–– Entwicklung 212
– pancreaticus minor 295
–– Entwicklung 212
– papillaris 303
– paramesonephricus 325
– paraurethralis 323, 340
– parotideus 422, 431, 438
–– Verlauf 439
– perilymphaticus 488–490
– reuniens 490, 493
– semicircularis anterior 490, 493
– semicircularis lateralis 490, 493
– semicircularis posterior 490, 493
– sublingualis major 435, 439
– sublingualis minor 439
– submandibularis 435, 439
– thoracicus 48, 199, 371, 374, 662
–– Lage 217
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Varianten 663
–– Verlauf 252, 374
–– Zwerchfell 220
– thyroglossus 441
– utriculosaccularis 490
– venosus 233
– venosus Arantii 210, 212
– vitellinus 75, 209
– Wirsungi 295
–– Duodenum 272
Duftdrüse 501
Dünndarm 271
– arterielle Versorgung 279
– Einteilung 259
– Feinrelief 273
– Grobrelief 273
– Kerckring–Falten 273
– Längsmuskelschicht 274
– Lieberkühn–Krypten 273
– Muskelwand 274
– Peyer–Plaques 273
– Plexus myentericus 274
– Plicae circulares 273
– Ringmuskelschicht 274
– Schleimhaut 273
– Zelltypen 273
– Zotten 273
Duodenum
– Arterien 274
– Bursa omentalis 261
– Entwicklung 213
– Form 272
– Innervation 271, 274
– Lage 258, 264
– Leberkontakt 287
– Lymphgefäße 274
– Pars ascendens 262, 272
– Pars descendens 258, 262, 272
– Pars horizontalis 262, 272
– Pars inferior 258
– Pars superior 258, 262, 272
– Venen 274
Dura mater 69–70, 581–582, 584
– Blutversorgung 582
– Innervation 582
– Schädel 581
– spinalis 583
– Wirbelkanal 583
Dysfunktion
– erektile 353
– kraniomandibuläre 455
Dysgnathie 449
Dysmenorrhoe 335
Dysostosis cleidocranialis 166
Dysphagia lusoria 370
D–Zelle 296

E

Ebene, Körper 18–19
Echokardiografie, transoesophageale 248
Eckzahn 448–449
Effektorhormon 57
Eichel 352
Eierstock 327–328, 332
– Arterien 329
– Aufbau 328
– Follikel 328
– Form 327
– Hormonproduktion 329
– Innervation 329
– Lage 327
– Lymphgefäße 329
– Peritonealüberzug 328
– Venen 329
Eierstöcke
– Drüsen 56
– primäre Geschlechtsmerkmale 21
Eigelenk 30
Eileiter 329–330, 332
– Abschnitte 330
– Entwicklung 325
– Gefäße 331
– Wandschichten 330
Eingeweide 52
Eingeweideschädel, Körpergliederung 17
Einklemmung
– obere 581
– untere 555, 582
Einzapfung, Synarthrose 28
Eisprung 327–328
Eizelle 328
Ejakulation 355
– Ductus deferens 347
– weibliche 342
Ektoderm 73–74
– Entwicklung 78
Ektropion 335
Elevation
– Auge 473
– Gelenk 31
– Scapula 173
– Schultergelenk 175
Ellenbeuge 201
– Lymphknoten 199
Ellenbogengelenk 179
– Aufbau 179
– Gelenkmechanik 181
– Muskulatur 181
– Schleimbeutel 181
Embryoblast 72
Eminentia
– carpi ulnaris 184
– mediana 523–524, 527
–– Hormone 526
–– zirkumventrikuläre Organe 525
Emission 347, 355
Empfindungsstörung, dissoziierte 541
Enamelum 446
Enarthrosis 30
Encephalitis lethargica 526
Encephalon, ZNS–Bauplan 63
Endarterie 42
– funktionelle 42
– Verschluss 43
Enddarm 209, 214
Endhirn 528
– Säugetiere 16
– ZNS–Bauplan 64
Endoderm 73–74
Endokard 40, 236
Endolymphe 490
Endolymphraum 488
Endometrium 331–332, 334
– Desquamationsphase 334
– Proliferationsphase 334
– Sekretionsphase 334
Endomysium 33
Endoneuralraum 62
Endoneurium 62
Endost 25
– Knochenumbau 25
Endothel
– Definition 52
– Kapillare 44
Endothelzelle, Lymphgefäße 48
Entoderm, *siehe* Endoderm
Entspannungsphase (Herzzyklus) 241
Entwicklung
– embryonale, Schädel 402
– Extremitäten 81
– zentrales Nervensystem 502
Enzephalozele 502
Ependymzelle 60
Epiblast 72
Epicondylus
– lateralis
–– femoris 122, 127
–– humeri 165, 167
– medialis
–– femoris 122, 127
–– humeri 165, 167
Epicondylus lateralis 180
Epidermis 497–498
Epididymis 343, 345–346
– Innervation 348
– Lymphgefäße 347
Epididymitis 346
Epiduralanästhesie 583
Epiduralhämatom 582
Epiduralraum 69, 583
Epiglottis 385–387
Epikard 40, 54, 236
Epikondylitis
– radialis 187
– ulnaris 187
Epimysium 33
Epineurium 62
Epiorchium 343–344, 356
Epipharynx 380
Epiphora 461
Epiphyse 26, 528
– Drüsen 56–57
– Entwicklung 507
– Knochenmark 25
– Röhrenknochen 27
– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
– Tumoren 566
– zirkumventrikuläre Organe 524–525
Episiotomie 319, 338
Epistaxis 463
Epithalamus 528
– Commissura posterior 531
– Entwicklung 507
Epithel, Schleimhaut 55
Epithelgewebe 52
Epithelkörperchen 392
– Drüsen 57
Epitympanon 485
Eponychium 501

Epoophoron 328, 332
Erbsenbein 168
Erb–Lähmung 399
Erb–Punkt 375, 685
Erektion 354
Eröffnungsperiode (Geburt) 338
Erregungsbildung, Herz 241
Ersatzknochen 25
Ersatzzahn 450
Erythrozyten 46
Erythrozytensequestrierung 299
Esszentrum 525
Euphorie–Zentrum 578
Eustachische Klappe 238
Eustachische Röhre 380
Eversion
– Gelenk 31
– Sprunggelenk 150
Excavatio
– rectouterina 314–315, 322, 333
–– Vagina 337
– rectovesicalis 314–315
– vesicouterina 314–315, 322, 333
Exenzephalie 502
Exspiration 221
– Atemmechanik 231
Extension
– Fuß 145
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 134
externus 20
Exterozeptoren 68
Extraperitonealraum 254
– Körpergliederung 17
Extremitas
– acromialis 166
– sternalis 166
– tubaria, ovarii 327
– uterina, ovarii 327
Extremität
– obere 163
–– Arterien 193
–– Hautnerven 197
–– Knochen 166
–– Knochenpunkte 165
–– Leitungsbahnen 193
–– Lymphgefäße 199
–– Nerven 196
–– Oberflächenanatomie 163
–– Oberflächenrelief 163
–– Regionen 199
–– Venen 195
– untere 121
–– Arterien 152
–– Faszien 159
–– Gelenke 130
–– Knochen 123
–– Knochenpunkte 122
–– Leitungsbahnen 152
–– Lymphgefäße 159
–– Muskulatur 130
–– Nerven 156
–– Oberflächenanatomie 121
–– Oberflächenrelief 121
–– Regionen 159
–– Venen 155
Extremitäten
– Beweglichkeit 82
– Eindrehung 81
– Entwicklung 78, 81
– Gestaltprinzipien 81
– Körpergliederung 17
– Propriozeption 545
– Schmerz 539
– Sensibilität 536

F

Facies
– anterior
–– glandulae suprarenalis 310
–– pancreatis 295
–– radii 168
–– renis 300–301
–– ulnae 168
– anterolateralis, humeri 167
– anteromedialis, humeri 167
– articularis 454
–– acromialis 166
–– arytaenoidea 387
–– atlantis 85
–– axis 86
–– Brustwirbel 87
–– calcanea anterior 130
–– calcanea media 130
–– calcanea posterior 130
–– cuboidea 130
–– fibularis 128
–– Halswirbel 86
–– Lendenwirbel 88
–– navicularis 130
–– patellae 127
–– sternalis 166
–– superior 127
–– talaris 130
–– thyroidea 387
–– tibiae 128
– auricularis
–– ossis ilii 124
–– ossis sacri 88–89
– colica, splenis 298
– costalis
–– pulmonis 221–222
–– scapulae 166
–– splenis 298
– diaphragmatica
–– cordis 236
–– hepatis 255, 285–286
–– lienis 257
–– pulmonis 221–222
–– splenis 298
– dorsalis, Kreuzbein 88–89
– gastrica, splenis 298
– glutea, alae ossis ilii 124
– inferior
–– linguae 441
–– pancreatis 295
–– tali 130
– lateralis, radii 168
– lunata 133
– malleolaris
–– lateralis tali 129
–– medialis tali 130
– medialis
–– tibiae 128
–– ulnae 168
– mediastinalis, pulmonis 221–222
– patellaris 127
– pelvica, Kreuzbein 88–89
– poplitea 126–127
– posterior
–– cordis 236
–– glandulae suprarenalis 310
–– humeri 167
–– pancreatis 295
–– radii 168
–– renis 300, 302
–– scapulae 166
–– tibiae 128
–– ulnae 168
– pulmonalis, cordis 236
– renalis
–– glandulae suprarenalis 310
–– splenis 298
– sternocostalis, cordis 236
– superior, calcanei 130
– symphysialis, ossis pubis 124
– visceralis
–– hepatis 255, 285–286
–– lienis 257
–– splenis 298
Facies lunata 131
Fadenpapille 444
Fallhand 197
Fallot–Tetralogie 233
Falx
– cerebelli 581
– cerebri 581–582
–– Einklemmung 582
Fascia
– abdominalis superficialis 110
– abdominis superficialis 106
– axillaris 199
– brachii, Muskelfaszie 34
– buccopharyngea 415
– buccopharyngealis 368
– cervicalis 365
–– Blätter 366
–– Lamina pretrachealis 366
–– Lamina prevertebalis 366
–– Lamina prevertebralis 366
–– Lamina superficialis 366
– clavipectoralis 199
– cremasterica 355
– cribrosa 159
– cruris 159
– dorsalis pedis 160
– endothoracica 229
– glutea 159
– iliaca 159
–– Leistenband 109
– lata 159
– masseterica 456
– nuchae, autochthone Rückenmuskeln 93
– parotidea 423, 438
– penis 352
– perinei 319
– pharyngobasilaris 379
– poplitea 159
– rectoprostatica 321
– rectovaginalis 337
– renalis 301
– Scarpae 160
– spermatica externa 106, 109, 344, 348, 355
– spermatica interna 107, 110, 344, 348, 355
– temporalis 410, 457
– thoracolumbalis, autochthone Rückenmuskeln 93
– transversalis 107
–– Leistenkanal 109
– umbilicalis 107
Fascia cruris 160
Fasciculus 61
– atrioventricularis 241–242
– cuneatus 513, 536
–– Sensibilität 537
– gracilis 513, 536
–– Sensibilität 537
– lateralis 196, 687
–– Äste 688
– longitudinalis inferior 531
– longitudinalis medialis 518, 560, 566
–– konjugierte Augenbewegungen 567
– longitudinalis superior 530–531
– medialis 196, 687
–– Äste 688
– medialis telencephali 524
– occipitalis verticalis 531
– occipitofrontalis superior 531
– orbitofrontalis 531
– posterior 196, 687
–– Achselhöhle 200
–– Äste 689
– proprius 514
– uncinatus 530–531
Faserknochen 25
Faserknorpel 26
– Synarthrose 27
Faszien
– Bauchwand 106
– untere Extremität 159

Fazialiskern 518–519
Fazialisknie, inneres 517
Fazialisparese 473
– zentrale 550
FDI–System 450
Fehlbildung 23
– Definition 23
Feld, periportales 288
Felderhaut 497
Felsenbein 405
Femoropatellargelenk 140
Femorotibialgelenk 140
Femur 126–127
– Osteoporose 25
– Schaft 126
– Schnitt 26
Fenestra
– ovale 484
– vestibuli 484
–– Signalübertragung 492
Fenster
– ovales 484
– rundes 484
Fersenbein 130
Fertilisation 72
Fettgewebe, sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
Fibrae
– alveologingivales 448
– arcuatae 530–531
– cementoalveolares 447
– circulares 448
– corticonucleares 532, 549
– corticospinales 532, 549–550
– dentogingivales 448
– frontopontinae 532
– interdentales 448
– lentis 481
– meridionales 477
– perforantes 24
– zonulares 477, 481
Fibrose, zystische 295
Fibula 128
Fibulaköpfchen 128
– Knochenpunkte 122–123
fibular 20
Fibularisloge 159
Fibulaschaft 128
Fieber, Hypothalamusfunktion 525
Fiederungswinkel 34
Fila
– olfactoria 571–572
–– Anosmie 573
– radicularia 509
–– radicis anterioris 510–511
–– radicis posterioris 510
Filtration 44
Filum, terminale 508–509
Fimbria hippocampi 575
Fimbria ovarica 330, 332
Finger
– Gelenke 185
– Knochen 169
Fissura
– horizontalis
–– cerebelli 554
–– Oberflächenanatomie 230
–– pulmonis 222, 230
– lig. teretis 287
– lig. venosi 287
– longitudinalis cerebri 533
– mediana anterior 508
– obliqua
–– Oberflächenanatomie 230
–– pulmonis 222, 230
– orbitalis inferior 408, 427, 467
–– Leitungsbahnen 429
– orbitalis superior 404–405, 408, 467
– petrotympanica 405
–– Chorda tympani 454
– petrotympanica (Glaser–Spalte) 408
– posterolateralis, cerebelli 554
– prima, cerebelli 554
– pterygomaxillaris 408–409, 427
–– Leitungsbahnen 429
– sphenopetrosa 405, 408
–– Chorda tympani 454
Fistel
– anale 282
– arteriovenöse 593
– oesophagotracheale 220
Fixationsreflex 566, 569
Flachwarze 104
Flaschenzeichen, positives 202
Fleck
– blinder 480
– gelber 480
Fleischfaser 33
Fletchern 458
Flexion
– Brustwirbelsäule 90
– Fuß 145
– Gelenk 31
– Halswirbelsäule 90
– Hüftgelenk 133
– Kopfgelenk 92
– Lendenwirbelsäule 90
Flexorreflex 548
Flexura
– coli dextra 277
–– Leberkontakt 287
– coli sinistra 275, 277
–– Darminnervation 281
– duodenalis inferior 258, 272
– duodenalis superior 272
– duodenojejunalis 258, 272
– perinealis recti 277
– sacralis recti 277
Flügelgaumengrube 426
Flügelplatte 503
Follikel 328
– Follikelphase 329
– sprungreifer 329
Follikelphase 329
– östrogene 329
Fontana–Raum 482
Fontanelle 402
– große 402
– kleine 402
– Nase 462
Fonticulus
– anterior 402
– cranii 402
– mastoideus 402
– nasalis 462
– posterior 402
– sphenoidalis 402
Foramen
– alveolare 409
– caecum 462
– caecum linguae 441
– ethmoidale anterius 406–408, 467
– ethmoidale posterius 406–407, 409, 467
– frontale 406
– incisivum 408–409, 432, 462
–– Gaumenspalte 433
– infraorbitale 407–409
– infrapiriforme 153
–– Gefäß–Nerven–Straße 157
– interventriculare Monroi 594
– intervertebrale, Brustwirbel 87
– ischiadicum majus 131, 139, 315
–– Gefäß–Nerven–Straße 157
–– Leitungsbahnen 319
– ischiadicum minus 131, 138
–– Leitungsbahnen 319
– jugulare 404–405, 408
–– A. meningea posterior 384
–– V. jugularis interna 371
– lacerum 405, 408
– linguale 436
– magnum 404, 408
–– Mensch 17
– mandibulae 409–410, 416, 424
– mastoideum 406, 408
– mentale 409–410
– nasale 409
– nutritivum 24
– obturatum 123–124
–– Frauen 126
–– Männer 126
– ovale 232, 405, 408
–– fetaler Kreislauf 234
–– Geburt 234
– palatinum majus 408, 432
– palatinum minus 408, 432
– rotundum 405, 408, 427
–– Leitungsbahnen 429
– sacrale anterius 88–89
– sacrale posterius 88
– scapulae 166
– sphenopalatinum 405, 407, 409, 427, 461
–– Concha nasalis 461
–– Leitungsbahnen 429
– spinosum 405, 408
– stylomastoideum 406, 408
– supraorbitale 406, 409, 467–468
– suprapiriforme 153, 157
– thyroideum 392
– transversarium
–– A. vertebralis 369
–– atlantis 85–86
–– Halswirbel 86
– v. cavae 219–220
– vertebrale
–– Brustwirbel 87
–– Halswirbel 86
–– Lendenwirbel 88
– zygomaticofaciale 409
– zygomaticoorbitale 409
– zygomaticotemporale 409
Foramen obturatum 124
Formatio, reticularis 578–579
– ZNS–Bauplan 63
Fornix 65, 523, 575
– conjunctivae 472
– conjunctivae superior 471
– pharyngis 380
– posterior 337
– Septum pellucidum 531
– vaginae 315, 322, 332–333, 336
– vestibuli 431
Fossa
– acetabuli 133
– articularis 28
– coronoidea 167
– cranii anterior 403
–– Nasenhöhlendach 462
– cranii media 403
– cranii posterior 403
– cubitalis 201
– glandulae lacrimalis 472
– iliaca 123
– infraclavicularis 163
– infraspinata 166
– infratemporalis 424
–– Begrenzungen 425
–– Nachbarschaftsbeziehungen 425
– inguinalis lateralis 110–111
– inguinalis medialis 110–111
– intercondylaris 127
– interpeduncularis 519, 524
– intratemporalis, Leitungsbahnen 425
– ischioanalis 313, 315, 319
– jugularis

–– Hals 358
–– M. sternocleidomastoideus 361
– malleoli lateralis 128
– mandibularis 410, 454
– navicularis 339, 354
– olecrani 167
– ovalis 238
– ovarica 327
– poplitea 161
–– Oberflächenrelief 121–122
– pterygopalatina 407, 426
–– Begrenzungen 426
–– Leitungsbahnen 428–429
–– Verbindungen 427
– radialis 167
– retromandibularis 371, 423
–– Glandula parotidea 438
– rhomboidea 515–516
–– Entwicklung 506
– supraclavicularis 98
– supraclavicularis major 359
– supraclavicularis minor 359
–– M. sternocleidomastoideus 361
– supraspinata 166
– supratonsillaris 436
– supravesicalis 110–111
– temporalis 409, 457
– tonsillaris 436
– trochanterica 127
– vesicae biliaris 285, 293
– vestibuli 339
Fossa acetabuli 131
Fossa olecrani 180
Fossula, lentis 480
Fourchette 339
Fovea
– articularis radii 168
– capitis femoris 126–127, 133
– centralis 480
– costalis, Brustwirbel 87
– dentis 85
– radialis 164
Fovea capitis femoris 131
Frankenhäuser–Plexus 336
Fremdreflex 514
– polysynaptischer 548
Frenulum
– buccae 431
– clitoridis 339–340
– labii 430–431
– labiorum pudendi 339
– preputii 352
frontal 20
Frontalebene 18–19
Frontallappen 534, 559
– Blutversorgung 589
– Entwicklung 507
– frontales Augenfeld 568
– Nucleus accumbens 578
Frontzahn 449
Frühentwicklung 72
FSH (follikelstimulierendes Hormon) 329, 526
Fuge 27
Füllungsphase (Herzzyklus) 241
Fundus
– oculi 479
– uteri 322, 331–332
–– Schwangerschaft 337
– vesicae biliaris 293
– vesicae urinariae 320
Funduskopie 480
Funiculus
– anterior 511, 513
– lateralis 511, 513
– posterior 511, 513
– spermaticus 110, 348
–– Ductus deferens 346
Furchungsteilung 72
Fuß 128
– Deformitäten 129
– funktionelle Gliederung 129
– Oberflächenrelief 122
Fußwurzel 129

G

Galea aponeurotica 410
– Hämatome 411
Galen–Vene 654
Gallefluss 292
Gallenblase 292
– Collum 293
– Corpus 293
– Entwicklung 211
– Fundus 293
– Gefäße 294
– Innervation 271, 294
– Lage 256
– Lymphgefäße 294
– Wandaufbau 293
Gallensteine 294
Gallenwege 291
– Innervation 294
Ganglienhügel 507
Ganglienzellschicht, Retina 479
Ganglion 61
– aorticorenale 700–701
– cardiacum 683, 699
– cervicale inferius 697
– cervicale medium 697–699
– cervicale medius, Regio sternocleidomastoidea 395
– cervicale superius 379, 681, 697–699
–– Augenlider 472
–– Gaumendrüsen 434
–– Gesichtsweichteile 418, 421
–– Glandula parotidea 439
–– Glandula sublingualis 440
–– M. dilatator pupillae 477
–– Nasenhöhle 464
– cervicothoracicum 253, 379, 698
–– Regio sternocleidomastoidea 395
– cervicothoracicum [stellatum] 699
– ciliare 468, 674–675, 695–696
–– Irismuskulatur 476
–– M. dilatator pupillae 477
–– Pupillenreflex 569
–– Verbindungen 674
– coeliacum 271, 280, 683, 697, 700
–– Leberinnervation 291
–– Magennerven 271
– Gelenkkapsel 29
– geniculi 487, 680–681
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538
– Hirnnerven 67
– impar 698, 700
– inferius 681
–– n. glossopharyngei 696
–– n. vagi 682–683
– intermedium 697
– intramurales 510
– jugulare superius
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538
– lumbale 698, 700
– mesentericum inferius 280, 700–701
– mesentericum superius 271, 280, 700–701
– Nervengewebe 52, 62
– oticum 681–682, 695–696
–– Glandula parotidea 439
– pelvicum 695, 701
– petrosum superius
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538
– phrenicum 700
– prävertebrales 510
– pterygopalatinum 428, 677, 695–696
–– Äste 677–678
–– Gaumendrüsen 434
–– Nasenhöhle 464
–– Tränendrüse 472
– renale 701
– sacrale 698, 700
– sensibles 62
– spirale cochleae 492
– spirale cochleare 681
– stellatum 253, 698
–– Regio sternocleidomastoidea 395
– sublinguale 695
– submandibulare 397, 440, 487, 679, 695–696
– superius 681
–– n. vagi 682–683
– thoracicum 697–698, 700
– thoracicum splanchnicum 697
– trigeminale 675, 677
–– Duratasche 583
– trigeminale Gasseri
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538
– trunci sympathici 510, 697
– tympanicum 681
– vegetatives 63
– vertebrale 697
– vestibulare 493, 681
Ganglion cervicale inferius 379
Ganglion cervicale medium 379
Gänsehaut 500
Gartner–Gang 325
Gastritis, erosive 268
Gastrulation 73
Gate–control–Hypothese 544
Gaumen 432
– harter 432, 435
–– Nasenboden 462
– Leitungsbahnen 434–435
– Muskulatur 433
– primärer 433
– Schleimhauf 432
– Schleimhaut 433
– weicher 433, 435
Gaumenbein 401
– Aufbau 407
Gaumenbogen 436
Gaumensegel 432
– Schluckakt 383
Gaumenspalte 384, 433
Gaumen–Rachen–Bogen 432
Gaumen–Schlund–Bogen 436
Gaumen–Zungen–Bogen 432, 436
Gebärmutter 331–332
– Anteflexio 333
– Anteversio 333
– Arterien 336
– Becken 314
– Entwicklung 325
– Form 331
– Halteapparat 333
– Innervation 336
– Lage 333
– Lymphgefäße 336
– Peritonealüberzug 333
– Prolaps 318
– Schwangerschaft 337
– Tubenwinkel 331
– Venen 336
– Wandschichten 334
Gebärmutterhals 331, 333

Gebiss 448
Geburt 338
Geburtskanal 338
Gedächtnis
– deklaratives 576
– Konsolidierung 576
– prozedurales 576
Gefäßversorgung
– Mamma 104
– Rückenhaut 113
Gefäß–Nerven–Strang
– Achselhöhle 200
– Leiste 160
Geflechtknochen 25
Gegenstromprinzip, Niere 305
Gehen, Kräfteverteilung 132
Gehirn
– Entwicklung 502, 504
– Gliederung 514
– Hüllen 69
– Ventrikel 71
– Wachstum 21
– Wirbeltiere 16
– Zisternen 71
– ZNS–Bauplan 63
Gehörgang, äußerer 483
Gehörknöchelchen 485
– Signalübertragung 492
Gelbkörper 328–329
Gelbkörperphase 329
– Gestagene 329
Gelbsucht 292
Gelenk 28
– Aufbau 28
– Bandhemmung 31
– Becken 130
– Bewegungsrichtung 31
– dreiachsiges 29
– ebenes 30
– einachsiges 29
– Formen 29–30
– Hilfseinrichtungen 31
– Knochenhemmung 31
– Massenhemmung 31
– Mechanik 31
– Muskelhemmung 31
– Weichteilhemmung 31
– Zehen 147
– zweiachsiges 29
Gelenkerguss 29
– Knie 140
Gelenkhöhle 28–29
Gelenkinnenhaut 29
Gelenkkapsel 28–29, 31
– Ellenbogengelenk 180
– Fingergelenke 186
– Hüftgelenk 133
– Immobilisierung 29
– Kiefergelenk 454
– Kniegelenk 140
– Schultergelenk 173
– Sprunggelenk 145
Gelenkknorpel 26, 28
Gelenkkopf 28
Gelenkmechanik
– Akromioklavikulargelenk 170
– Ellenbogengelenk 181
– Hüftgelenk 133
– Kiefergelenk 455
– Kniegelenk 142
– Schultergelenk 175
– Sternoklavikulargelenk 170
Gelenkpfanne 28
Gelenkspalt 28
Geniculum, nervi facialis 679–680
Genitalgänge 325
Genitalhöcker 326
Genitalleiste 325
Genitalwulst 326
Genu
– capsulae internae 529, 531
– corporis callosi 530
Gerdy–Linie 98
Gerstenkorn 471
Geruchsdrüse 571
Gesäßfurche 121
Geschlechtsdimorphismus, Primaten 17
Geschlechtsdrüse, akzessorische 348
Geschlechtsmerkmale 21
– primäre 21
– sekundäre 21
Geschlechtsorgan
– äußeres 21
– inneres, Körpergliederung 17
Geschlechtsorgane 324
– äußere 324
–– Entwicklung 326
–– männliche 351
–– weibliche 339
– Entwicklung 324
– innere 324
–– Entwicklung 325
–– männliche 342–343
–– weibliche 326
Geschmacksbahn 570–571
Geschmackssinn 570
Gesicht
– Oberflächenanatomie 413
– Regionen 414
Gesichtsfelder 565
Gesichtskoliose 362
Gesichtsregion, seitliche 422
– Leitungsbahnen 423
– oberflächliche 422
– tiefe 424
Gesichtsschädel, Verstärkungspfeiler 403
Gesichtsweichteile 415
– Innervation 421
– Leitungsbahnen 418
– Lymphabfluss 419
– vegetative Innervation 421
Gestagene 329
Gestalt 16
Gewebe
– Bindegewebe 52
– Definition 52
– Epithelgewebe 52
– lymphatisches, mukosaassoziiertes 51
– Muskelgewebe 52
– Nervengewebe 52
Gigantismus 21
Gingiva 445
– alveoläre 447
– marginale 447
– papillaris 447
– Saumepithel 447
Gingivaepithel 447
Gingivitis 438
Ginglymus 30
Glandula
– analis 282
– bronchialis 225
– buccalis 431, 440
–– übersicht 437
– bulbourethralis 343, 348–349, 351
– cardiaca 268
– ceruminosa 501
– ciliaris 471
– duodenalis 273
– gustatoria 437, 440
– intestinalis 273
– labialis 431, 440
–– übersicht 437
– lacrimalis 472
– lingualis anterior 437, 440
– lingualis posterior 437, 440–441
– mammaria 104
–– Säugetiere 16
– molaris 431, 437, 440
– nasalis 433, 462
– olfactoria 463
– palatina 433, 440
–– übersicht 437
– parathyroidea 392
–– Arterien 394
–– Drüsen 56–57
–– Feinbau 394
–– Innervation 394
–– Körpergliederung 17
–– Lage 393
–– Lymphabfluss 394
–– Venen 394
– paraurethralis 323
– parotidea 438
–– accessoria 439
–– Innervation 439
–– Jacobson–Anastomose 439
–– Leitungsbahnen 423, 439
–– Mumps 438
–– Parasympathicus 696
–– Regio parotideomasseterica 423
–– Stenon–Gang 438
–– übersicht 437
– pinealis 528
–– Entwicklung 507
–– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
–– Tumoren 566
–– zirkumventrikuläre Organe 524–525
– pituitaria, *siehe* Hypophyse
– pylorica 268
– radicis linguae 440–441
– salivatoris 437
–– übersicht 437
– sebacea 471, 501
– sublingualis 435, 439
–– Innervation 440
–– Leitungsbahnen 440
–– major 439
–– minor 439
–– übersicht 437
– submandibularis 439
–– Innervation 440
–– Leitungsbahnen 440
–– Trigonum submandibulare 397
–– übersicht 437
– sudorifera 501
– suprarenalis 310
–– Arterien 311
–– Drüsen 56
–– Form 310
–– Innervation 312
–– Lage 310
–– Lymphgefäße 312
–– Venen 311
– tarsalis 471
– thyroidea 392
–– Arterien 394
–– Drüsen 56
–– Entwicklung 441
–– Feinbau 393
–– Form 393
–– Hals 358
–– Innervation 394
–– Körpergliederung 17
–– Lymphabfluss 394
–– überfunktion 394
–– Unterfunktion 394
–– Venen 394
–– Vergrößerung 358
– trachealis 224
– urethralis 323, 351
– vesiculosa 314, 343, 348
–– Ejakulation 355
–– Peritoneum 315
– vestibularis major 340
– vestibularis minor 340
Glans
– clitoridis 339–341
–– sexuelle Reaktion 342
– penis 343–344, 352
Glaser–Spalte 405
Glaskörper 482
Glaskörperraum 482

Glaukom 482
Gleichgewichtsorgan 493
– Funktion 494
– Gefäßversorgung 495
– Sinnesepithel 493
Gleitsehne 35
Gliascheide 60
Gliederung, Körper 17
Glisson–Dreieck 288
Glisson–Kapsel 285
Glisson–Trias 288
Globus pallidus 530
Glomerulus 303–304
Glomus caroticum 370, 681
Glukagon 296
Golferellenbogen 187
Golgi–Sehnenreflex 548
Gomphosis, Zahnhalteapparat 446
Gomphosis, Synarthrose 28
Gonade, indifferente 325
Gonadotropine, sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
Goormaghtigh–Zelle 306
Graaf–Follikel 328–329
Granulationes arachnoidales 71
Granulationes arachnoideae 584–585
– Liquor 594
Granulosazelle 329
Granulozyten 46
– basophile 47
– eosinophile 47
– neutrophile 47
Grau, periaquäduktales 520
– Formatio reticularis 580
Grenzmembran, Retina 479
Grenzstrang 697–698
– Brustteil 697
– Halsteil 697, 699
– Lumbalteil 698
– Sakralteil 698
– Sympathicus 697
Größe, biometrische 19
Großhirnrinde
– Entwicklung 507
– Lappengliederung 533
– Schichten 532
Großzehenmuskulatur 151
Grundplatte 503
Gubernaculum testis 325
Guyon-Loge 203
Guyon–Loge 184, 203
Guyon–Logen–Syndrom 203
Gyrus
– ambiens 573
– angularis 534
–– Läsion 559
– cinguli 534
–– Einklemmung 582
–– limbisches System 574
–– Schmerz 541
– dentatus 533–534
–– Hippocampus 575
– frontalis 534
– frontalis medialis 534
– occipitotemporalis lateralis 534
– occipitotemporalis medialis 534
– paracentralis 534, 537
– parahippocampalis 534
–– limbisches System 573–574
– paraterminalis 533
–– limbisches System 574
– postcentralis 534, 536
–– Propriozeption 545
–– Schmerz 543
– precentralis 534
– semilunaris 573
– subcallosus 534
– supramarginalis 534
– temporalis 534
– temporalis inferior 534
– temporalis transversus 534
G–Punkt 342

H

Haar 499
– Bulbus 500
– Follikel 500
– Längsschnitt 500
– Mark 500
– Papille 500
– Rinde 500
– Wurzel 500
Haarzelle
– äußere 491
–– Funktion 492
– Gleichgewichtsorgan 494
– innere 491
–– Funktion 492
Habenula 528
– Entwicklung 507
– Riechbahn 572
Habenulae, Funktionen 574
Hagelkorn 471
Hakenbein 168
Hallux 130
Hals 358
– Arterien 369
– Begrenzung 358
– Bewegungsapparat 359
– Bindegewebsräume 367
– Faszienverhältnisse 365
– Hirnnerven 377
– Körpergliederung 17
– Lymphknoten 373
– Muskulatur 361
–– mittlere Schicht 362
–– oberflächliche Schicht 361
–– tiefe Schicht 364
– Nerven 375
– Organe 379
– Propriozeption 545
– Regionen 359
– Schmerz 539
– Sensibilität 536
– tastbare Strukturen 358
– Venen 371
Halsdreieck, laterales 398
Halsfaszie 365
– Blätter 366
– chirurgische Klassifikation 367
Halsfistel 393
Halslordose 81
Halsrippe 87, 100
Halswirbel
– Anzahl 85
– I 85
– II 86
– III–VII 86
–– M. longus capitis 365
–– Skalenusmuskulatur 365
– IV 86
– Wirbelbogengelenk 90
Halswirbelsäule, Bandapparat 91
Halszyste 393
Halteband, Sehne 35
Haltereflex 548
Hämarthros 29
Hämatom
– epidurales 582
– subdurales 591, 593
Hämatothorax 229
Hammer 485
– Trommelfell 483
Hämorrhoiden 283
– Pfortaderhochdruck 290
Hamulus
– lacrimalis 409
– ossis hamati 168–169, 203
Hand
– Hautnerven 199
– Knochen 168
– Muskulatur 186
– Oberflächenrelief 164
Handgelenk
– distales 183–184
– proximales 183
–– Eigelenk 30
Handwurzelgelenk 183
Handwurzelknochen 168
– distale Reihe 168
– proximale Reihe 168
– Röntgenbild 169
Harnblase 319–320
– Arterien 321
– Becken 314
– Blasenekstrophie 320
– Ductus deferens 346
– Entleerung 323
– Entwicklung 214, 320
– Excavatio rectovesicalis 315
– Form 320
– Innervation 310, 322–323
– Körpergliederung 17
– Lage 320
– Lymphgefäße 322
– Muskulatur 321
– Peritoneum 315
– Prolaps 318
– Prostata 349
– Schleimhaut 321
– Urachusfistel 320
– Ureter 308
– Verschluss 323
– Wandaufbau 321
Harnblasengang 320
Harnblasenpunktion, suprapubische 320
Harnröhre 319
– Entwicklung 214, 320
– hintere 354
– männliche 353
–– engste Stelle 354
–– Pars intramuralis 353
–– Pars membranacea 354
–– Pars prostatica 353
–– Pars spongiosa 354
–– Schwellkörper 352
–– Verschlussapparat 354
– Peritoneum 315
– Prostata 350
– Schließmuskeln 323
– vordere 354
– weibliche 322
–– Wand 323
Harnwege, ableitende 307
Hasner–Klappe 472
Hasner–Membran 461
Haube 520
– Entwicklung 506
Hauptachsen 18–19
Hauptbronchen 225
Hauptbronchus, rechter 225
Hauptzelle 268
Haustren 275
Haut 496
– Arten 497
– Ausdehnung 496
– Drüsen 501
– Funktionen 497
– Gefäßplexus 499
– Gefäßversorgung 498
– Innervation 499
– Körperoberfläche 496
– Lymphabfluss 499
– Rezeptoren 498
– Schichten 497
– Sensoren 498
– Verbrennungen 496
– Zellen 497
Hautanhangsgebilde 499
Hautarterien, Rumpf 113
Hautinnervation, obere Extremität 198
Hautmuskel 361
Hautnerv 67
Hautnerven

– Hand 199
– obere Extremität 197
– Rumpf 115
– untere Extremität 156
Hautsinnesorgane 68
Hautvenen
– Rumpf 115
– untere Extremität 155
hCG (humanes Chorion–Gonadotropin) 72, 337
Head–Zone 67, 120
– Gallenblase 294
– Leber 291
– Zwerchfell 118
Heister–Klappe 292
Helicotrema 490–491
Hemianopsie
– A. cerebri media 590
– bitemporale 527, 566
– homonyme 566, 588
Hemiarthrose 27
Hemiballismus 64, 554
Hemiblock 242
Hemiplegie 550
– kontralaterale spastische 550
Hemisphäre
– Kleinhirn 554
– linke 535
– rechte 536
Hemisphärendominanz 534
Henle–Schleife 305
Hepar 255
Hepatozyt 289
Hering–Kanälchen 291
Hernia
– epigastrica 107
– femoralis 109
– inguinalis lateralis 111
– inguinalis medialis 111
– umbilicalis 107
Hernie, transtentoriale 581
Herz 40, 232
– Aufbau 234
– äußere Form 235
– Entwicklung 232
– Erregungsbildung 241
– Höhlen 234
– Innervation 242
– Linksversorgertyp 243
– Lymphgefäße 244
– Normalversorgertyp 245
– Rechtsversorgertyp 244
– Röntgenaufnahme 246
– Ventilebene 239–240
– Wandaufbau 236
Herzachse 235
Herzbasis 235
Herzbeuteltamponade 245
Herzdämpfung
– absolute 246
– relative 246
Herzhöhlen 236
Herzinsuffizienz 41
Herzklappen 40
– Auskultationsstellen 246
– Diastole 41
– Oberflächenprojektion 246
– Systole 41
Herzkranzarterie 243, 621
– linke 243
– rechte 243
– Versorgungsgebiet 245
Herzschatten 246
Herzskelett 240
Herzspitze 235
Herzvene 244
Herzvenen 648
Herzwand 40
Herzzyklus 240
Heschl–Querwindung 534
– Hörbahn 563
Hiatus
– analis 316–317
– aorticus 218–219, 621
–– Leitungsbahnen 220
– axillaris lateralis 201
– axillaris medialis 200
– maxillaris 465
– oesophageus 218–219, 248
–– Leitungsbahnen 220
– pleuropericardialis 206–207
– sacralis 88
– saphenus 159
– semilunaris 462
– urogenitalis 316–317
–– Vagina 336
Hiatus canalis n. petrosi majoris 408
Hiatus canalis n. petrosi minoris 408
Hiatushernie 249
Highmore–Höhle 465
Hilum
– Lymphknoten 50
– Milz 257
– ovarii 328
– pulmonis 221–222
– renale 300
Hilusdrüsen 228
Hilusvergrößerung 228
Hinterhauptsbein 401, 404
– Aufbau 404
Hinterhauptsfontanelle 402
Hinterhauptslappen 64, 533
Hinterhorn 512
– Entwicklung 505
– Rückenmark 511
– Schmerz 540
– Temperatursinn 540
Hinterstrang
– Bahnen 536
– Propriozeption 545–546
– Rückenmark 513
– Sensibilität 537
Hinterstrangsyndrom 546
Hinterwandinfarkt 245
Hinterwurzel 65, 67
– Läsion 66
Hippocampus 574–575
– Afferenzen 576
– Alzheimer–Erkrankung 577
– Efferenzen 576
– Funktion 576
– limbisches System 574
– Riechbahn 572
– Schädigung 577
Hippocampusformation 576
Hirnanhangsdrüse 526
– Drüsen 56
Hirnarterien 586–587
– Aneurysmen 590
– Versorgungsgebiete 589
Hirnbläschen 503
– Ventrikelsystem 504
Hirnhaut 69–70
– harte 69, 581
– Innervation 70
– weiche 70, 583
Hirnnerven 67, 674
– Faserqualitäten 65, 68
– Ganglien 67
– Hals 377
– Parasympathicus 695
– Ursprungskerne 67
Hirnnervenkerne
– branchialmotorische 506
– Entwicklung 506
– somatomotorische 506
– viszeromotorische 506
– viszerosensible 506
Hirnschädel, Körpergliederung 17
Hirnschenkel 519
– Entwicklung 506
Hirnstamm 514, 516
– Gliederung 514
– ZNS–Bauplan 63
Hirnstammsyndrom, gekreuztes 550
His–Bündel 242
– AV–Block 242
Hochdrucksystem 39
Hochwuchs 21
Hoden 343–344, 346
– Arterien 347
– Aufbau 344
– Drüsen 56
– Form 343
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
– Innervation 348
– Lage 343
– Lymphgefäße 347
– primäre Geschlechtsmerkmale 21
– Venen 347
Hodenhülle 355
Hodensack 355
– Epiorchium 356
– Fascia spermatica externa 355
– Fascia spermatica interna 355
– Gefäßversorgung 356
– Haut 355
– Innervation 356
– M. cremaster 355
– Periorchium 356
– Tunica dartos 355
Hodentorsion 344
Hoffa-Fettkörper 141
Hoffa–Fettkörper 140
Höhle
– Achselhöhle 199
– Rumpf 53
– seröse 52
–– Entwicklung 206
– Zölomhöhle 74
Höhlengrau, zentrales 520
– Formatio reticularis 580
– Schmerzhemmung 544
Hohlhandfurche 164
Hohlhandphlegmone 193
Hohlvene, obere 649
Hohlwarze 104
Holzknecht–Raum 247
Homunculus
– motorischer 549
– sensorischer 537
Hörbahn 562–563
– direkte 562
– indirekte 562
– Verletzung 562
Hordeolum
– externum 471
– internum 471
Hormon 56
– adrenokortikotropes 526
– antidiuretisches 56, 527
– follikelstimulierendes 329, 526
– glandotropes 57, 526
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
– luteinisierendes 329, 526
– somatotropes 526
– thyroideastimulierendes 526
Hörnchenknorpel 387
Hornhaut, Auge 475
Hörrinde, primäre 563
Hörstrahlung 563
Hortega–Zelle 60
Hueter–Dreieck 167
Hufeisenniere 301
Hüftbein 123
– Knochentyp 27
Hüfte, sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
Hüftgelenk 132
– Abduktoren 136
– Adduktoren 137
– Aufbau 133

– Außenrotatoren 138
– Beuger 134
– Gelenkhilfseinrichtung 32
– Gelenkmechanik 133
– Innenrotatoren 137
– Muskulatur 134
– Nussgelenk 30
– Strecker 135
Hüftkopf 126–127
– Gewichtsbelastung 134
– Nekrose 153
Hüftluxation
– angeborene 133
– traumatische 133
Humerus 167
– distaler 167
– Muskelfaszie 34
Humeruskopf, MRT-Aufnahme 179
Humor
– aequosus 482
– vitrei 482
Hunter–Venen 155
Hydrocephalus 594
– externus 594
– internus 594
– malresorptivus 594
Hydrozele 343
– weibliche 110
Hymen 336, 340
– imperforatus 340
Hymenalsaum 336, 340
Hyperakusis 486
Hyperalgesie 540
– primäre 540
– sekundäre 540
Hyperästhesie 67
Hyperparathyreoidismus 394
Hypersomie 21
Hyperthermie 525
Hyperthyreose 394
Hypertonie, portale 290
Hypertrophie
– Myokard 236
– Myometrium 334
Hypoblast 72
Hypodermis 498
Hypoglossusbogen 379
Hypoglossusparese 445
Hypokretin
– Funktion 525
– Schlaf–Wach–Rhythmus 580
Hypomochlion 35
– M. obturatorius internus 138
– Sesambeine 38
Hyponychium 501
Hypoparathyreoidismus 394
Hypopharynx 380–381
Hypophyse 526
– Drüsen 56
– Entwicklung 507
Hypophysenstiel
– Chiasma opticum 566
– Hypothalamus 523
– Pfortadersystem 526
– Recessus infundibularis 521
– Tractus hypothalamohypophysialis 527
Hypophysentumor 527
Hypospadie 326, 352
Hypothalamus 56, 520, 522–523
– Aufbau 523
– autonomes Nervensystem 525
– Fieber 525
– Funktionen 524
– Hormonsekretion 526
– Hyperthermie 525
– III. Ventrikel 521
– limbisches System 573
– Nahrungsaufnahme 525
– Schlaf 526
– Sexualverhalten 525
Hypothalamus–Hypophysen–System 56
Hypothyreose 394
Hypotympanon 485
Hysterektomie 336

I

Ikterus 292
– intraheptischer 292
– posthepatischer 292
– prähepatischer 292
Ileum 272
– Arterien 274
– Entwicklung 213
– Innervation 274
– Lymphgefäße 274
– Pars terminalis 276
– Venen 274
Iliosakralgelenk 130
– Kräfte im Stehen 132
– Schwangerschaft 132
Impingementsyndrom 175
Implantation 72
Imprägnation 72
Impressio
– cardiaca 222
–– pulmonis 221
– lig. costoclavicularis 166
Incisivus 449
– Zahnform 451
Incisura
– acetabuli 133
– cardiaca 222
– clavicularis 101
– fibularis 128
– frontalis 409, 467–468
– interarytaenoidea 386
– jugularis 101
– mandibulae 410
– radialis ulnae 168
– scapulae 166, 201
– thyroidea inferior 387
– thyroidea superior 385, 387
– trochlearis 168
Incus 484–485
Indusium griseum 575
– Funktionen 574
Infarkt 43
inferior 20
Infundibulum 332, 524
– ethmoidale 465
– Hypothalamus 523
– tubae uterinae 330
Inguinalregion 109
Inhibine 526
Injektion, intragluteale 157
Innenmeniskus 140
– Verletzung 140
Innenohr 488
Innenohrschwerhörigkeit 493
Innenrotation
– Auge 473
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 134, 137
– Kniegelenk 142
– Schultergelenk 175
Innervation
– Herz 242
– Hirnhaut 70
– Mamma 104
– Rückenmarkshaut 70
– Schädeldach 413
Inselrinde
– Blutversorgung 589
– Lappengliederung 533
– Riechbahn 572
– Schmerz 541
Inspiration 221
– Atemmechanik 231
Insula
– pancreatica 296
– Reilii 533
Insulin 296
Interkostalarterie, Mamma 104
Interkostalmuskulatur
– Atemmechanik 231
– Querschnittlähmung 231
Interkostalnerv, Mamma 104
Intermediärtubulus 304–305
Interneuron 59
– Rückenmark 511
Internodalbündel 241–242
Internodium 62
internus 20
Interozeptoren 68
Interphalangealgelenk
– distales 186
– proximales 186
Intersectiones tendineae 98, 108
Intestinum
– crasse 274
– tenue 271
Introitus, vaginae 336
Intumescentia
– cervicalis 508–509
– lumbosacralis 508–509
– tympanica 681
Inversion
– Gelenk 31
– Sprunggelenk 150
Involution, Thymus 249
Iris 475–477
Ischämie 43
Isocortex 532
Isthmus
– aortae 620
– faucium 380, 382, 432, 436
–– M. palatoglossus 434
– tubae auditivae 488
– tubae uterinae 330, 332
– uteri 331–332
–– Geburt 338
–– Schwangerschaft 338
Ito–Zelle 289

J

Jacobson–Anastomose 439
Jacobson–Organ 463
Jejunum 272
– Arterien 274
– Entwicklung 213
– Innervation 274
– Lymphgefäße 274
– Venen 274
Jochbein 401, 409
Jochpfeiler
– horizontaler 403
– senkrechter 403
Jugularisvene 371
– Lymphknoten 373
Junctio, anorectalis 281
Junctura
– cartilaginea 27–28
– fibrosa 27–28
Jungfernhäutchen 340

K

Kahnbein 130, 168
Kammerscheidewand 238–239
Kammerschenkel 242
Kammerwasser 482
– Linse 480
Kammerwinkel 482
Kammmuskel 236
Kapazitätsgefäß 45
Kapillare 43
– Diffusion 43
– diskontinuierliche 44
– fenestrierte 44
– Filtration 44
– kontinuierliche 44
– Osmose 44

– Querschnitt 43
– Sinusoide 44
– Transportmoleküle 43
– Transzytose 43
– Typen 44
Kapillaren
– Blutkreislauf 39
– Lymphsystem 48
Kapsel
– Drüse 56
– Gelenk 28–29, 31
Karotissiphon 588
Karpaltunnel 184, 202
Karpaltunnelsyndrom 202
Katarakt 481
Kauapparat 445
kaudal 20
Kaudasyndrom 509
Kaumuskulatur 456
– akzessorische 417, 458
Kavernosusthrombose, septische 593
Kehldeckel 387
Kehlkopf 384–385
– Arterien 392
– Aufbau 385
– Bänder 388
– Etagengliederung 386
– Funktionen 391
– Gelenke 387
– Innenrelief 386
– Innervation 392
– Körpergliederung 17
– Lymphhabfluss 392
– Muskeln 389
– Schleimhaut 391
– Schluckakt 384
– Stellmuskeln 390
– Venen 392
– Verankerung 384
Kehlkopfeingang 386
Kehlkopfskelett 387
Keilbein 130, 401, 404–405
Keilbeinhöhle 404, 465
– Arterien 466
– Nachbarschaftsbeziehungen 465
– Nerven 466
Keilknorpel 387
Keimepithel 328
Keimscheibe 73–74
Kephalhämatom 411
Kerckring–Falten 273
Kerngebiet
– cholinerges 580
– dopaminerges 519
– Formatio reticularis 579
– limbisches System 573
– Schlaf–Wach–Zustand 580
– Thalamus 522
Kiefergelenk 453
– Aufbau 453
– Bänder 454
– Discus articularis 454
– Gelenkkapsel 454
– Gelenkmechanik 455
– Hauptbewegungen 455, 458
– Knacken 455
– Leitungsbahnen 456
– primäres 453
– sekundäres 453
Kiefergelenkluxation 454–455
Kieferhöhle 407, 465
– Arterien 466
– Entzündung 465
– Nerven 466
– Operation 465
– Underwood–Septen 465
Killian–Dreieck 381
Kinn–Lippen–Furche 415
Kinn–Nasen–Furche 415
Kitzler 340
Kitzlereichel 340
Kitzlervorhaut 339, 341
Klaviertastenphänomen 170
Kleinhirn 554
– Aufbau 555
– Entwicklung 504–505
– Funktionen 557
– Purkinjezellschicht 555
– Verbindungen 558
– Verschaltung 556
– Vestibulariskerne 560
– ZNS–Bauplan 63
Kleinhirnbrückenwinkel 517
Kleinhirnstiel 555
– mittlerer 555
– oberer 555
– unterer 555
Kleinzehenmuskulatur 151
Klimakterium 326
Kloake 214
Kloakenmembran 73, 209, 214
Klumpfuß 129
Klumpke–Lähmung 399
Klüver–Bucy–Syndrom 577
Kniegelenk 139
– Aufbau 140
– Erguss 140
– Gelenkhilfseinrichtung 32
– Gelenkmechanik 142
– Kondylengelenk 30
– Muskulatur 142
– Oberflächenrelief 122
Kniekehle 161
Kniescheibe 127
Knöchel, Knochenpunkte 123
Knochen 24, 33
– Aufbau 24, 26
– Bauprinzipien 27
– Druckfestigkeit 27
– embryonaler 25
– Endost 25
– Funktionen 24
– Kortikalis 25
– kurze 26
– lange 26
– lufthaltige 27
– Osteoid 24
– Periost 24, 26
– platte 27
– primärer 25
– sekundärer 25
– Sharpey–Faser 24
– Torsionsfestigkeit 27
– Typen 26
– übergang zur Sehne 35
– unregelmäßiger 27
– Zellen 24
– Zugfestigkeit 27
Knochengewebe 24
Knochenhemmung, Gelenk 31
Knochenkern 25
Knochenmark 25
– gelbes 25
– lymphatische Organe 48
Knochennaht, Synarthrose 28
Knochennekrose 24
Knochenpunkte
– Becken 122
– Oberarm 166
– obere Extremität 165
– Oberschenkel 123
– Rücken 84
– Unterarm 166
– untere Extremität 122
– Unterschenkel 123
– ventrale Rumpfwand 98–99
Knochenumbau 25
– Parathormon 25
Knorpel 25
– Ernährung 26
– Faserknorpel 26
– hyaliner 25
–– Synarthrose 27
– Perichondrium 26
Koch–Dreieck 242
Kohlrausch–Falte 277
Kokzygealnerven 65
Kollagen
– Geflechtknochen 25
– Knorpel 26, 29
Kollaterale
– Arterien 42
– venöse 46
Kommissur
– hintere 339
– vordere 339
Kommissuren 64
Kommissurenfaser 507, 530
Kompartment 34
Kompartmentsyndrom 34, 158
Kondylengelenk 30
Koniotomie 388
Konstitution 22
Kontinenz 323
Kontinenzorgan 282
– Arterien 283–284
– Innervation 284
Kontraktion
– isometrische 37
– isotonische 37
Konussyndrom 509
Konvergenzreaktion 567–568
Konzeption 72
Kopf 400
– Körpergliederung 17
– Propriozeption 547
– Schmerz 542
– Sensibilität 538
– Weichteilmantel 410
Kopfbein 168
Kopfgelenk 91
– Bandapparat 92
Kopfschwarte 410
Kopplung, arteriovenöse 45
Korbzelle 557
– Kleinhirnrinde 556
Kordotomie, anterolaterale 541
Körnerschicht, Retina 479
Körnerzelle
– Gyrus dentatus 575
– Kleinhirn 556
– Kleinhirnrinde 556
Körnerzellschicht, Cerebellum 555
Körper
– Bautypen 22
– Bewegungsapparat 24
– Ebene 19
– Ebenen 18
– Geschlechtsmerkmale 21
– Gliederung 16–17
– Hauptachsen 18–19
– Messgrößen 16
– Mitte 21
– Proportionen 19, 21
– Wachstum 19
Körperbehaarung, sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
Körperfaszie 34
Körpergewicht 19
– Body Mass Index 21
– Einflussfaktoren 21
Körpergröße 19
– Frauen 19
– Männer 19
– mittlere 19
– Neugeborene 19
– sozialer Status 21
Körperhaltung, aufrechte 17
Körperkreislauf
– großer 39
– kleiner 39
Körperoberfläche 21
Korsakow–Syndrom 577
Kortikalis 25
– Röhrenknochen 27
– Schädelknochen 27
Kragenknopfulzera 278
Krallenhand 197, 203
Krampfadern 45, 155

kranial 20
Kraniopharyngeom 507
Kranznaht 400, 402
Kreislauf, fetaler 233
Kreislaufsystem 39
Kreislaufzentrum 579
Kremasterreflex 356
Kretschmer–Typen 22
Kreuzbänder 142
Kreuzbein 88–89
– Rumpfstruktur 80
Kreuzwirbel, Anzahl 85
Kronenpulpa 446
Kropf 358, 394
Kryptorchismus 325
Kubidobogen 414
Kubitaltunnelsyndrom 197
Kuchenniere 301
Kugelgelenk 30
Kupffer–Zelle 289
Kurzhaar 500
Kurzschlussblut 227
Kurzzeitgedächtnis
– Alzheimer–Erkrankung 577
– Hippocampus 576
– Korsakow–Syndrom 577
– retrograde Amnesie 577
Kyphose 80

L

Labia
– majora pudendi 339
– minora pudendi 339
–– sexuelle Reaktion 342
Labium
– externum 124
– inferius 414, 430–431
– internum 124
– superius 414, 430–431
Labrum
– acetabuli 133
– glenoidale 32, 173
Labrum acetabuli 131
Labyrinth
– knöchernes 488–489
– membranöses 488, 490
Labyrinthus
– cochlearis 488
– membranaceus 488, 490
– osseus 488–489
– vestibularis 488
Lactobacillus acidophilus 337, 354
Lacuna
– musculorum 109, 131, 160
–– M. psoas 134
–– Nerven 157
– vasorum 109, 131, 160
Lacus lacrimalis 472
Lagebezeichnung 19
Lagophthalmus 473
Lähmung
– periphere 512
– Querschnittlähmung 514
– schlaffe 512, 514
– spastische 514
– zentrale 514
Laimer–Membran 248
Laktation 105
Lambdanaht 400, 402
Lamellenknochen 25
Lamina
– arcus vertebrae 86
– cribrosa, ossis ethmoidalis 406
– cribrosa axillaris 199
– cricoidea 385, 387
– medullaris externa 522
– medullaris interna 522
– muscularis mucosae, pharyngis 380
– orbitalis 407
– papyracea 466
– perpendicularis 407
– pretrachealis 362
–– fasciae cervicalis 366
–– M. omohyoideus 363
– prevertebralis
–– fasciae cervicalis 366
–– Spatium lateropharyngeum 368
– quadrigemina 520
– spiralis ossea 489
– superficialis, fasciae cervicalis 366
– tecti 520
–– Entwicklung 506
– terminalis 521
–– Hypothalamus 523
Lamina cribrosa 408
Langerhans–Insel 296
Langerhans–Zelle 498
Langhaar 500
Längsband
– hinteres 90
– vorderes 90
Längsmuskelschicht
– Dünndarm 274
– Magen 268
Langzeitgedächtnis
– Alzheimer–Erkrankung 577
– Hippocampus 576
– retrograde Amnesie 577
Lanugo–Behaarung 499
Lanz–Punkt 98, 276
Lappenbronchen 225
Larrey–Dreieck 219
Laryngopharynx 380–381
Laryngoskopie 386
Larynx 384–385
– Arterien 392
– Aufbau 385
– Bänder 388
– Etagengliederung 386
– Funktionen 391
– Gelenke 387
– Innenrelief 386
– Innervation 392
– Körpergliederung 17
– Lymphhabfluss 392
– Muskeln 389
– Schleimhaut 391
– Schluckakt 384
– Stellmuskeln 390
– Venen 392
– Verankerung 384
lateral 20
Lateralinfarkt 245
Lateralis 389–390
Lateralsklerose, amyotrophe 551
Laterotrusion, Kiefergelenk 455, 458
Leber 285
– Arterien 290
– Bursa omentalis 261
– Entwicklung 211, 213
– Form 285
– Funktion 287
– Innervation 271, 291
– Lage 255
– Lymphgefäße 290
– Nachbarschaftsbeziehungen 287
– Parenchymgliederung 288
– Pars dextra 288
– Pars sinistra 288
– Segmente 287
– Venen 290
– Zelltypen 289
Leberazinus 288
Leberläppchen 288
– klassisches 288
– Modell 288
– Portalvenenläppchen 288
– Zentralvenenläppchen 288
Leberpforte 285
Leberruptur 285
Lebersinusoid 288
Lederhaut 497
– Auge 475
Leiste, Gefäß–Nerven–Bahn 160
Leistenband 109, 160
Leistenbruch
– angeborener 111
– direkter 111
– indirekter 111
– lateraler 111
– medialer 111
Leistenfurche 121
Leistenhaut 497
– Schichten 498
Leistenkanal 109
– Begrenzungen 109
– Ductus deferens 346
Leistenregion 160
– Lymphknoten 159
Leistenring, innerer, Bauchfaszie 107
Leistenzerrung 137
Leitungsanästhesie, Mundhöhle 452
Leitungsbahnen
– obere Extremität 193
– Rumpf 113
– untere Extremität 152
Lemniscus
– lateralis
–– Formatio reticularis 564
–– Hörbahn 562–563
– medialis 519, 528, 536–539
–– Propriozeption 545
–– Sensibilität 541
– trigeminalis 538–539
Lendenlordose, Mensch 17
Lendenwirbel 88
– Anzahl 85
– Primaten 17
– Wirbelbogengelenk 90
Lendenwirbelsäule, Mensch 17
Lens 480
Leptin 525
Leptomeninx 583–584
Leptosom 22
Lernen, emotionales 577
Leukozyten 46
Levatorschenkel 316
Levatorspalt 316–317
– Prostata 349
– Vagina 336
Levatorwulst 380
Leydig–Zelle 345
LH (luteinisierendes Hormon) 329, 526
Liberine 526
Lichtreaktion
– direkte 569
– konsensuelle 569
Lidschlag 418
Lidspalte, Muskulatur 417
Lieberkühn–Krypten 273
Lien 257
Lig. cruciatum anterius 141
Lig. meniscofemorale 141
Lig. transversum genus 141
Ligament, Meso 54
Ligamentum
– acromioclaviculare 170
–– MRT-Aufnahme 179
– alare 92
– anococcygeum 316
– anulare (Finger) 186
– anulare (Trachea) 223
– anulare radii 180
–– Gelenkmechanik 181
–– Gelenkstabilisierung 32
– anulare stapediale 485
– apicis dentis 92
– arcuatum laterale 218
– arcuatum mediale 218–219
– arcuatum medianum 218
– arcuatum pubis 131, 317

– arteriosum 234–235, 237–238, 250, 619
– atlantooccipitalis laterale 91
– bifurcatum 146–147
– calcaneocuboideum dorsale 147
– calcaneofibulare 146
– calcaneonaviculare plantare 147
– capitis costae intraarticulare 102
– capitis costae radiatum 102
– capitis femoris 131, 133
–– Hüftluxation 133
– capitis fibulae 145
– capitis fibulae anterius 141
– capitis fibulae posterius 141
– cardinale 333–334
– carpi palmare
–– Guyon-Loge 203
–– Guyon–Loge 203
– carpi radiatum 184
– carpi transversum 184–185
– carpometacarpale 184
– carpometacarpalia dorsalia 185
– carpometacarpalia palmaria 185
– collaterale (Finger) 186
– collaterale (Zehen) 147
– collaterale carpi radiale 184–185
– collaterale carpi ulnare 184–185
– collaterale fibulare 141
– collaterale laterale, Gelenkstabilisierung 32
– collaterale mediale, Gelenkstabilisierung 32
– collaterale radiale 180
– collaterale tibiale 141
– collaterale ulnare 180
– conoideum 170
– coracoacromiale 166
–– Gelenkstabilisierung 32
– coracoclaviculare 170
– coracohumerale 174
– coronarium 265
– coronarium hepatis 285–286
– costoclaviculare 170
– costotransversarium 102
– costotransversarium laterale 102
– costotransversarium superius 102
– cricoarytaenoideum 385, 388
– cricothyroideum 385
– cricothyroideum medianum 385, 388
–– Koniotomie 388
– cricotracheale 385, 388
– cruciatum, Gelenkstabilisierung 32
– cruciatum anterius 142
– cruciatum posterius 142
– cruciforme atlantis 92
– cuboideonaviculare dorsale 147
– cuboideum dorsale 146
– cuneocuboideum dorsale 147
– cuneonaviculare dorsale 147
– deltoideum 145–146
– falciforme hepatis 255, 260, 265, 285–286
–– Entwicklung 210–211
– flavum 90–91
–– Syndesmose 28
– fundiforme clitoridis, Bauchfaszie 107
– fundiforme penis 352
–– Bauchfaszie 107
– gastrocolicum 256, 265
–– Bursa omentalis 261
–– Entwicklung 211
– gastrophrenicum 256, 265
–– Entwicklung 211
– gastrosplenicum 256, 262, 265, 298
–– Bursa omentalis 261
–– Entwicklung 211
– glenohumerale inferius 174
– glenohumerale medium 174
– glenohumerale superius 174
– glenohumeralia 174
– hepatocolicum 265
– hepatoduodenale 255–256, 262–263, 265
–– A. hepatica propria 290
–– Ductus hepaticus 292
–– Entwicklung 211
–– Leberbefestigung 287
–– V. portae 289
– hepatogastricum 255–256, 265
–– Leberbefestigung 287
– hepatogastrium, Entwicklung 211
– hepatooesophageale 255, 265
– hepatophrenicum 265
– hepatorenale 265
– iliofemorale 131, 133
–– Adduktion 134
–– Einbeinstand 134
–– Gelenkstabilisierung 32
– iliolumbale 131
– incudis posterius 485
– incudis superius 485
– inguinale 109–110, 131, 160
– intercarpale interosseum 184
– intercarpale palmare 202
– intercarpalia dorsalia 185
– intercarpalia palmaria 185
– interclaviculare 170, 367
– intercuneiforme dorsale 147
– interfoveolare 107
– interspinale 90–91
– intertransversale 90–91
– ischiofemorale 131, 133
–– Innenrotation 134
– lacunare 109
– laterale 454, 456
– latum uteri 315, 332, 334
–– A. uterina 336
–– Ovar 327
–– Tuba uterina 330
– longitudinale anterius 90, 131
–– Halsfaszie 366
– longitudinale posterius 90–91
– mallei anterius 485
– mallei laterale 485
– mallei superius 485
– mediale, Sprunggelenk 145
– meniscofemorale posterius 140
– metacarpale dorsale 184
– metacarpale interossea 184
– metacarpale palmare 184
– metacarpale transversum profundum 185
– metacarpalia dorsalia 185
– metacarpalia palmaria 185
– metatarsale interosseum 147
– metatarsale transversum profundum 148
– nuchae 91
– obliquum 186
– ovarii proprium 314, 322, 327, 332, 334
– palmare 186
– pancreaticocolicum 265
– pancreaticosplenium 265
– parodontale 446
– patellae 140–141, 143
–– Oberflächenrelief 122
– phalangoglenoidale 186
– phrenicocolicum 257, 265, 277
– phrenicosplenicum 265, 298
– pisohamatum 187
–– Guyon–Loge 203
– pisometacarpale 187
– plantare 148
– plantare longum 146–147
– popliteum arcuatum 142
– popliteum obliquum 141
– pubicum superius 131
– pubocervicale 333–334
– pubofemorale 131, 133
–– Abduktion 134
–– Außenrotation 134
– puboprostaticum 321
–– Prostata 349
– pubovesicale 321
– pulmonale 221–222
– radiocarpale dorsale 184–185
– radiocarpale palmare 184–185
– radioulnare dorsale 185
–– Supination 183
– radioulnare palmare 185
– rectouterinum 333–334
– reflexum 109–110
– rotundum 333–334
– sacroiliaca anteriora 131
– sacroiliaca posteriores 131
– sacroiliacum 130
– sacrospinale 131–132
– sacrotuberale 131–132, 319
– sacrouterinum 332–334
– sphenomandibulare 454
– spirale 491
– splenocolicum 265
– splenorenale 256, 265, 298
–– Entwicklung 211
– sternoclaviculare 170
– sternocostale intraarticulare 103
– sternocostale radiatum 103
– stylohyoideum 360
– stylomandibulare 454
– supraspinale 90–91
– suspensorium clitoridis 340
– suspensorium duodeni 272
– suspensorium mammarium 104
– suspensorium ovarii 322, 327, 332
– suspensorium penis 352
– talocalcaneum 147
– talocalcaneum interosseum 145–146
– talocalcaneum laterale 146
– talocalcaneum mediale 146
– talocalcaneum posterius 146
– talofibulare 146
– talonaviculare 147
– talonaviculare dorsale 146
– tarsi dorsale 146
– tarsometatarsale 147
– temporomandibulare 454
– teres hepatis 212, 234, 255, 259, 265, 286
–– Entwicklung 211
– teres uteri 107, 322, 333–334
–– Becken 314
–– Retroflexion 333

– thyroepiglotticum 385, 387–388
– thyrohyoideum laterale 360, 385, 387–388
– thyrohyoideum medianum 360, 385, 388
– tibiofibulare 145
– tibiofibulare anterius 146
– tibiofibulare posterius 146
– transversum acetabuli 131
– transversum acetabuli 133
– transversum atlantis 86, 91
– transversum genus 140
– transversum scapulae, M. omohyoideus 363
– transversum scapulae inferius 201
– transversum scapulae superius 166, 201
– trapezoideum 170
– triangulare 265
– triangulare dextrum 286
– triangulare sinistrum 286
– ulnocarpale palmare 184–185
– umbilicale mediale 110
– umbilicale medianum 110
– venae cavae 286
– venosum 234, 265
–– Entwicklung 210, 212
– vestibulare 388
– vocale 388
Limbisches System 573–574
Limbus 475
– anterior palpebrae 471
– corneae 475
– posterior palpebrae 471
Limbus acetabuli 123
Limen, insulae 532–533
– Riechbahn 572
Limen nasi 460
Linea
– alba 98, 106, 108
– anocutanea 282
– arcuata 106, 124
–– Rektusscheide 106
– aspera 126–127
– glutea anterior alae ossis ilii 124
– glutea inferior alae ossis ilii 124
– glutea posterior alae ossis ilii 124
– intercondylaris 127
– intermedia 124
– intertrochanterica 126–127
–– Gelenkkapsel 133
– m. solei 128
– mylohyoidea mandibulae 363
– pectinata 282
– pectinea 127
– semilunaris 98, 107
– supracondylaris 126–127
– supracondylaris medialis 127
– terminalis 53, 124–125, 254
Linea arcuata 124
Lingua 440
Lingula 221–222
Linksherzinsuffizienz 41
Linksversorgertyp 243
Linse 475, 480–481
– Halteapparat 481
– Naheinstellung 478
Linsenepithel 481
Linsenfasern 481
Linsenkern 481, 529
– Wasserverlust 481
Linsenstern 481
Linsentrübung 481
Lipase, Pancreas 295
Lippen 431
– Farbe 431
– rhombische 505
– Zyanose 431
Lippenbändchen 431
Lippendrüse 431
Lippen–Kiefer–Gaumen–Segel–Spalte 433
Liquor
– cerebrospinalis 593
–– Diagnostik 594
–– Zirkulation 585, 593
– folliculi 328
Liquor cerebrospinalis 69–70
– Zirkulation 71
Liquorfistel 594
Lisfranc–Gelenk 147
Lissosphincter 323, 354
Littré–Drüse 351
Lobulus
– Definition 226
– hepatis 288
– testis 344, 346
Lobus
– anterior, cerebelli 554
– caudatus 285–286
– dexter, glandulae thyroideae 393
– flocculonodularis 554–555
– frontalis 64–65, 533–534, 559
–– Blutversorgung 589
–– Fossa cranii anterior 403
–– frontales Augenfeld 568
–– Nucleus accumbens 578
– hepatis dexter 285–286
–– Nachbarschaftsbeziehungen 287
– hepatis sinister 285–286
–– Nachbarschaftsbeziehungen 287
– inferior 222
–– Segmente 225
– limbicus 65, 573
– medius 222
–– Segmente 225
– occipitalis 64–65, 533
– parietalis 64–65, 533
– posterior, cerebelli 554
– pyramidalis, glandulae thyroideae 393
– quadratus 285–286
– renalis 302
– sinister, glandulae thyroideae 393
– superior 222
–– Segmente 225
– temporalis 64–65
–– Fossa cranii media 403
–– Hippocampus 574
Locked–in–Syndrom 551, 588
Locus
– caeruleus 580
–– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
–– Schmerzhemmung 544
– Kiesselbachii 463
Longitudinalachse 18–19
long–term potentiation 576
Lordose
– Hals 81
– Wirbelsäule 80
Luftröhre 223
– Körpergliederung 17
Luftwege 223
– Aufzweigungen 224
Lumbalisation 85
Lumbalnerven 65
Lumbalpunktion 88, 586
Lunge 221
– Alveolen 221
– Atemmechanik 231
– Aufbau 221
– Auskultation 222
– Blut–Luft–Schranke 221, 226
– Entwicklung 220
– Exspiration 221
– Gefäße 226
– Hilum 221
– Inspiration 221
– Körpergliederung 17
– Lage 216
– Läppchen 223
– Lappen 222
– Lingula 221
– Lymphbahnen 227
– Nerven 227
– Oberflächenanatomie 229
– Oberflächenprojektion 230
– Röntgenbild 230
– Segmente 223, 225
Lungenbasis 221
Lungenblutung 227
Lungenfell 228
Lungengrenzen 229
Lungenknospe 207
Lungenkreislauf 39–40
Lungenödem 41
Lungenspitze 221, 230
Lungenstauung 41
Lungenwurzel 221
Lunula 500–501
Luxatio, subcoracoidea 175
Luxation
– habituelle, Schultergelenk 175
– Schultergelenk 175
Lymphangitis 48
Lymphfollikel 48
– Milz 299
Lymphgefäße 48
– äußeres Genitale 342
– Dickdarm 281
– Gallenblase 294
– Harnblase 322
– Herz 244
– Hoden 347
– Leber 290
– Lunge 228
– Magen 269
– Mediastinum 252
– Milz 300
– Nebenhoden 347
– Niere 307
– obere Extremität 199
– Ovar 329
– Pancreas 297
– Pharynx 384
– Rumpf 115
– Rumpfwand 118
– Samenstrang 348
– Thymus 250
– untere Extremität 159
– Uterus 336
– Vagina 337
Lymphknoten 49–50
– Achselhöhle 199, 667
– Axilla 104–105
– Bauchraum 668
– Brustraum 667
– Brustwand 666–667
– dentale 375
– dentaler 451
– Ellenbeuge 199
– Hals 373, 663, 665
– Kopf 663, 665
– Leiste 159
– Leistenregion 674
– lymphatische Organe 49
– Nacken 115
– obere Extremität 666
– submandibuläre 398
– submentale 398
– supraclaviculäre 373
– Systematik 661
– untere Extremität 673
– Wächterlymphknoten 49
Lymphozyten 47
Lymphozytenscheide, periarterioläre 51, 298
Lymphstamm 661
Lymphsystem 47

M

M. gemellus inferior 144
M. gemellus superior 144
M. obturatorius internus 144
M. piriformis 144
Mackenrodt–Band 333–334
Macula
– densa 303, 306
– lutea 480
– sacculi 490, 493
– statica 493
– utriculi 490, 493
Magen 266
– Arterien 269
– äußere Form 267
– Belegzelle 268
– Bursa omentalis 261
– Drehungen 210
– Entwicklung 211, 213
– Fundus 266–267
– Hauptzelle 268
– Innervation 270–271
– Lage 256, 267
– Leberkontakt 287
– Lymphgefäße 269
– Motorik 269
– Muskelwand 268
– Nebenzellen 268
– Pars cardiaca 266–267
– Pars pylorica 267
– Peristaltik 269
– Regionen 266
– Schleimhaut 267
– Venen 269
– Wandaufbau 267
Magengeschwür 268
Magenpförtner 267
Mahlzahn 448–449
Makrosomie 21
Malleolengabel 145
Malleolus
– lateralis 128, 145
–– Knochenpunkte 122
–– Oberflächenrelief 121–122
– medialis 128, 145
–– Knochenpunkte 122
–– Oberflächenrelief 121–122
Malleus 485
– Trommelfell 483
MALT (mukosaassoziiertes lymphatisches Gewebe) 51
Mamille 104
Mamma 104–105
– Blutversorgung 104
– Innervation 104
– lactans 105
– Laktation 105
– Lymphabflüsse 104
– N. intercostobrachialis 119
– non lactans 105
Mandelkern 577
– Afferenzen 577
– Ausfall 577
– Basalkerne 551
– Efferenzen 577
– limbisches System 574
– Riechbahn 572
Mandibula 401, 410
– Abduktion 455
– Kaumuskulatur 456
– Kauvorgang 458
– Kiefergelenk 453
– Ruheschwebe 455
Mantelkante 533
– Homunculus 537
Mantelzelle 60
Manubrium
– mallei 483, 485
– sterni 101
Marginalzone, Milz 298
Margo
– anterior
–– pancreatis 295
–– tibiae 128
– inferior, splenis 298
– interosseus, ulnae 168
– lateralis
–– humeri 167
–– renis 300–301
–– scapulae 166
– liber, ovarii 327
– medialis
–– humeri 167
–– renis 300–301
–– scapulae 166
– mesovaricus, ovarii 327
– posterior, ulnae 166, 168
– superior
–– scapulae 166
–– splenis 298
Mark, Großhirnhemisphären 530
Massae laterales, atlantis 85
Massenhemmung, Gelenk 31
Mastdarm, Körpergliederung 17
Mastikation 458
Maxilla 401, 407
– Nasennebenhöhle 464
– Orbitawandöffnungen 468
– Ruheschwebe 455
McBurney–Punkt 98, 276
McNeal–Zonen 350
MCP-Gelenk 183
MCP–Gelenk 186
Meatus
– acusticus externus 406, 483
– acusticus internus 405, 490
– nasi communis 460
– nasi inferius 461
– nasi medius 462
– nasi superius 462
– nasopharyngeus 460
Mechanorezeptor 68
Meckel–Divertikel 213, 272
medial 20
median 20
Medianebene 18
Mediastinitis 368
Mediastinum 53, 217
– Blutgefäße 250
– Einteilung 217
– hinteres 217
– Inhalt 217
– Körpergliederung 17
– Leitungsbahnen 250
– Lymphgefäße 252
– mittleres 217
– Nerven 252
– oberes 217
– testis 344, 346
– unteres 217
– vorderes 217
Mediosagittalebene 18
Medulla
– cerebelli 555
– oblongata 515
–– Entwicklung 503–504
–– Nackenbeuge 504
–– Querschnitt 517
–– ZNS–Bauplan 63
– ovarii 328
– renalis 302
– spinalis 508
–– Cornu anterius 511
–– Cornu laterale 512
–– Cornu posterius 512
–– Entwicklung 503
–– Gliederung 508
–– Nervenzelle 510
–– Querschnitt 510
–– Substantia alba 513
–– Substantia grisea 511
–– ZNS–Bauplan 63
Medusenhaupt 115
Megakaryozyten 47
Megakolon, kongenitales 503
Meibom–Drüse 471
Meissner–Tastkörperchen 499
Melanozyt 497
Melanozyten, Neuralleiste 502
Melatonin 64, 528
– Funktionen 528
Membrana
– atlantooccipitalis anterior 92
– atlantooccipitalis posterior 91–92
– basilaris 491
–– Frequenzabhängigkeit 492
– cloacalis 73
– fibroelastica laryngis 388
– fibrosa 29
– interossea 28
– interossea antebrachii 180
– interossea cruris 128, 145
– obturatoria 131
– orbitalis 467
– oropharyngealis 73
– perinei 316, 318
–– Bulbus vestibuli 341
–– Dammschnitt 319
–– Fossa ischioanalis 319
–– Urethra 354
–– Vagina 337
– quadrangularis 386, 388
– stapedialis 485
– supraleuralis 229
– synovialis 29
– tectoria 91–92, 491
– thyrohyoidea 360, 385, 388
– tympanica 483–484
–– Pars flaccida 483–484
–– Pars tensa 483–484
–– secundaria 489
– vastoadductoria 137, 159
–– Adduktorenkanal 161
– vestibularis 491
– vitrea 482
Membrana interossea cruris 160
Membrana obturatoria 131
Menarche 326
Meningen 581
Meningeom 584
Meningitis 70, 583
Meningomyelozele 502
Meniscus
– articularis 31–32
– lateralis 140
– medialis 140
Meniscus lateralis 141
Meniscus medialis 141
Menopause 326
Menschen, Merkmale 17
Menschenaffen, Merkmale 16
Menstruationszyklus 335
– Endometrium 334
– Hormone 329
– Mittelschmerz 329
Merkel–Zelle 498–499
Merkmal
– biometrisches 19
– Norm 23
Merseburger Trias 394
Mesangiumzelle, extraglomeruläre 306
Mesencephalon 65, 519
– Entwicklung 503–504, 506
– Querschnitt 519
– Scheitelbeuge 504
– Ventrikelsystem 505
– ZNS–Bauplan 63
Mesenterium
– dorsale 209
– ventrale 209–210
Meso 54
Mesoappendix, vermiformis 275–276
Mesocolon
– sigmoideum 262, 275, 277
– transversum 262, 264, 275
–– Bursa omentalis 261
Mesoderm 74
– paraxiales 74

– parietales 206
– viszerales 206
Mesogastrium
– dorsale 210–211
– ventrale 210
Mesohepaticum
– dorsale 210–211
– ventrale 210
Mesopharynx 380–381
Mesorchium 344
Mesosalpinx 330
Mesothel
– Definition 52
– seröse Höhlen 53
Mesotympanon 485
Mesovar 327–328
Messgrößen 16
Metaphyse 27
Metarteriole 43
Metatarsus 129–130
Metathalamus 523
Metencephalon
– Brückenbeuge 504
– Entwicklung 503–504
– ZNS–Bauplan 63
Meyer-Schleife 565
Michaelis-Raute 83
Michaelis–Raute 83
– Geburt 83
Midtarsalgelenk 147
Mikrogliazelle 60
Mikrosomie 21
Mikrovilli 55
Miktion 323
Milchbrustgang 662
Milchdrüse, Wirbeltiere 16
Milchsäurebakterien 354
Milchzahn 448
Milz 297
– Arterien 299
– Bursa omentalis 261
– Feinbau 298
– Form 297
– Funktion 298
– Hilum 257
– Innervation 271, 300
– Kapsel 299
– Lage 257, 263, 297
– lymphatische Organe 49, 51
– Lymphgefäße 300
– Marginalzone 298
– Pulpa 298
– Venen 300
Milzsinus 299
Minderwuchs 21
Miosis 476, 569
Mitralklappe 40, 238–240, 246
– Auskultationsstelle 246
Mitralklappeninsuffizienz 240
Mitralklappenprolaps 240
Mitteldarm 209
Mittelfellraum 217
– Körpergliederung 17
Mittelfuß 129–130
Mittelhandknochen 169
Mittelhirn 519
– Entwicklung 503
Mittelohr 483
Mittelohrentzündung 488
Mittelschmerz 329
Moderator–Band 239
Modiolus 489
– anguli oris 415
Mohrenheim-Grube 99
Mohrenheim–Grube 97, 163
Molar 449
– Zahnform 451
Molekularschicht 532
– Cornu ammonis 576
– Kleinhirn 555
Moll–Drüse 471, 501
Mondbein 168
Monozyten 47
Mons pubis 339
Moosfaser
– Hippocampus 576
– Kleinhirn 556
Morbus
– Addison 311
– Basedow 394
– Chassaignac 181
– Hirschsprung 503
– Menière 495
– Parkinson 553
– Pick 559
Morgani–Tasche 282
Morula 72
Motocortex 534
– Pyramidenbahn 549
Motoneuron 59
Mukosa 55
Mukositis 438
Mukoviszidose 295
Müller–Gang 325
Müller–Lidheber 470
Müller–Muskel 477
multiple Sklerose 558
Mumps 438
Mundboden 434
Mundhöhle 430–431
– Leitungsanästhesie 452
– Schleimhaut 430
Mundspalte 414, 431
– Muskelfunktion 417
– Muskulatur 415
Mundspeichel 437
Mundspeicheldrüse, Übersicht 437
Mundtrockenheit 438
Mundvorhof 430
Murphy–Zeichen 293
Musculus
– abductor digiti minimi 151–152, 191, 600, 604
–– Funktionsübersicht 193
– abductor hallucis 151–152, 604
– abductor pollicis brevis 189, 191, 599
–– Funktionsübersicht 190
–– Muskelform 35
– abductor pollicis longus 187–188, 598
–– Funktionsübersicht 182, 190
–– Sehnenscheide 192
–– Tabatière 188
– adductor brevis 137–138, 601
–– Funktionsübersicht 139
– adductor hallucis 151–152, 604
– adductor longus 137–138, 601
–– Adduktorenkanal 161
–– Funktionsübersicht 139
– adductor magnus 137–138, 144, 601
–– Adduktorenkanal 161
–– Funktionsübersicht 139
– adductor minimus 137
–– Funktionsübersicht 139
– adductor pollicis 189, 191, 600
–– Funktionsübersicht 190
– anconaeus 176, 181, 597
– arrector pili 500
– articularis genus 143, 602
– aryepiglotticus 389, 618
–– Schluckakt 383
– arytaenoideus obliquus 382, 389, 618
–– Funktion 390
– arytaenoideus transversus 382, 389, 618
–– Funktion 390
– auricularis anterior 614
– auricularis posterior 614
– auricularis superior 614
– biceps brachii 176, 181, 202, 598
–– Achselhöhle 199–200
–– Ellenbeuge 201
–– Erb–Lähmung 399
–– Faserverlauf 35
–– Funktionsübersicht 178, 182
–– Muskelfaszie 34
–– Muskelform 35
–– N. musculocutaneus 199
–– Oberflächenrelief 163
– biceps femoris 136, 144, 602
–– Funktionsübersicht 139, 143
–– Kniekehle 161
–– Oberschenkelkontur 121
– bipennatus 36
– brachialis 176, 181, 202, 598
–– Ellenbeuge 201
–– Erb–Lähmung 399
–– Funktionsübersicht 182
–– Muskelfaszie 34
–– N. musculocutaneus 199
–– N. radialis 196–197
– brachioradialis 182, 187, 202, 598
–– A. radialis 194
–– Ellenbeuge 201
–– Erb–Lähmung 399
–– Funktionsübersicht 182
–– N. radialis 196–197
– buccinator 368, 415–416, 422, 424, 431, 613
–– Fossa infratemporalis 425
–– Funktion 417
–– Kaumuskulatur 458
–– Stenon–Gang 438
–– Wangenregion 422
– bulbospongiosus 319, 611
–– Dammschnitt 319
–– Ejakulation 355
–– Entwicklung 215
–– Penis 352
– ceratocricoideus 618
– chondroglossus 443, 615
– ciliaris 469, 477, 481
–– Akkommodation 481
–– Desakkommodation 481
–– Konvergenzreaktion 567–568
– coccygeus 317, 610
– constrictor pharyngis inferior 381, 617
–– Innervation 378
–– N. laryngeus inferior 378
–– Oesophagus 249
–– Ursprung 387
–– Zenker–Divertikel 382
– constrictor pharyngis medius 381–382, 617
–– Zungenbein 360
– constrictor pharyngis superior 368, 381–382, 617
–– Innervation 378
–– Passavant–Wulst 434
–– Schluckakt 383
– coracobrachialis 176–177, 597
–– Achselhöhle 199
–– Funktionsübersicht 178
– corrugator ani 282
– corrugator supercilii 416, 613
– cremaster 107, 110, 344, 355
–– Kremasterreflex 356
–– Samenstrang 348
– cricoarytaenoideus lateralis 389, 618
–– Funktion 390–391
– cricoarytaenoideus posterior 382, 389, 618
–– Funktion 390–391

– cricothyroideus 389, 618
–– Ausfall 390
–– Funktion 389, 391
–– Innervation 378
– deltoideus 176–177, 597
–– Achselhöhle 200
–– Erb–Lähmung 399
–– Funktionsübersicht 178
–– laterale Achsellücke 201
–– Oberflächenrelief 97, 163
– depressor anguli oris 416–417, 613
–– Funktion 417
– depressor labii inferioris 416–417, 613
–– Funktion 417
– depressor septi 418, 614
– depressor supercilii 613
– detrusor vesicae 321
–– Miktion 324
– digastricus 362, 364, 382, 435, 616
–– Herkunft 363
–– Innervation 377
–– Kiefergelenksbewegung 457
–– Muskelform 35
–– Schluckakt 383
–– Spatium peripharyngeum 368
–– Trigonum submandibulare 397
–– Trigonum submentale 397
– dilatator pupillae 469, 476
– epicranius 410
– erector spinae 93, 95
–– Muskelstatik im Stehen 112
–– Stehen 111
– extensor carpi radialis, Funktionsübersicht 182
– extensor carpi radialis brevis 187, 598
–– Funktionsübersicht 186
–– Muskelform 35
–– Sehnenscheide 192
– extensor carpi radialis longus 187, 598
–– Funktionsübersicht 182, 186
–– Sehnenscheide 192
– extensor carpi ulnaris 187–188, 598
–– Funktionsübersicht 186
–– Sehnenscheide 192
– extensor digiti minimi 187, 190, 598
–– Funktionsübersicht 193
–– Sehnenscheide 192
– extensor digitorum 187, 190, 598
–– Funktionsübersicht 193
–– Sehnenscheide 192
– extensor digitorum brevis 151, 604
– extensor digitorum longus 150, 603
– extensor hallucis brevis 151, 604
– extensor hallucis longus 150–151, 603
– extensor indicis 187, 190, 599
–– Funktionsübersicht 193
–– Sehnenscheide 192
– extensor pollicis brevis 187–188, 598
–– Funktionsübersicht 190
–– Sehnenscheide 192
–– Tabatière 188
– extensor pollicis longus 187–188, 599
–– Funktionsübersicht 182, 190
–– Sehnenscheide 192
– fibularis brevis 149–150, 603
–– Funktionsüberblick 151
– fibularis longus 149–150, 603
–– Funktionsüberblick 151
–– Fußgewölbestabilisierung 152
–– Os cuboideum 130
–– Os metatarsi I 130
– fibularis tertius 149
–– Funktionsüberblick 151
– flexor accessorius 150
– flexor carpi radialis 187, 189, 202, 599
–– Funktionsübersicht 182, 186
–– N. medianus 197
–– Sehnenscheide 193
– flexor carpi ulnaris 187, 189, 202, 599
–– A. ulnaris 194
–– Funktionsübersicht 186
–– Guyon-Loge 203
–– N. ulnaris 197
–– Os pisiforme 168
– flexor digiti minimi, Sehnenscheide 191–192
– flexor digiti minimi brevis 151–152, 190–191, 600, 604
–– Funktionsübersicht 193
– flexor digitorum brevis 151–152, 605
– flexor digitorum longus 149–150, 152, 604
– flexor digitorum profundus 189–191, 599
–– Funktionsübersicht 193
–– Karpaltunnel 202
–– N. medianus 197
–– N. ulnaris 197
–– Sehnenscheide 191
– flexor digitorum superficialis 189–191, 599
–– A. ulnaris 194–195
–– Funktionsübersicht 193
–– Guyon-Loge 203
–– Karpaltunnel 202
–– N. medianus 197
–– Sehnenscheide 191
– flexor hallucis brevis 151–152, 604
– flexor hallucis longus 149–150, 604
–– Calcaneus 130
–– Talus 130
– flexor pollicis brevis 188, 191, 600
–– Funktionsübersicht 190
– flexor pollicis longus 188–189, 191, 599
–– Funktionsübersicht 190
–– Karpaltunnel 202
–– N. medianus 197
–– Sehnenscheide 192–193
– fusiformis 36
– gastrocnemius 144, 148–149, 603
–– Femurfraktur 143
–– Funktionsüberblick 151
–– Kniekehle 161
–– Oberschenkelkontur 121
– gemellus 136, 138
–– Funktionsübersicht 139
– gemellus inferior 602
– genioglossus 442–443, 615
–– Hypoglossusparese 445
–– Zungendrüse 440
– geniohyoideus 362, 364, 435, 443, 617
–– Herkunft 363
–– Innervation 376
–– Kiefergelenksbewegung 457
–– Schluckakt 383
– gluteus maximus 135–136, 144, 601
–– Fossa ischioanalis 319
–– Gesäßfurche 121
–– Kniegelenkstreckung 143
–– Lähmung 136
–– Muskelstatik im Stehen 112
–– Oberflächenrelief 121
– gluteus medius 136, 601
–– Funktionsübersicht 139
–– Kräfte beim Gehen 132
–– Muskelstatik im Stehen 112
– gluteus minimus 136–137, 601
–– Funktionsübersicht 139
– gracilis 138, 144, 602
–– Funktionsübersicht 139, 143
–– Trigonum femorale 160
– hyoglossus 442–443, 615
–– Schluckakt 383
–– Trigonum submandibulare 397
– iliacus 108, 134–135
–– Leistenband 109
– iliococcygeus 317–318, 610
– iliocostalis 94, 606
–– Rumpfseitneigung 113
– iliocostalis cervicis 606
– iliocostalis lumborum 607
– iliocostalis thoracis 607
– iliopsoas 108, 134–135, 600
–– Funktionsübersicht 139
–– Kräfte im Stehen 132
–– Lacuna musculorum 160
–– Muskelstatik im Stehen 112
–– Senkungsabszess 134
–– Trigonum femorale 160
– infrahyoideus 362
– infraspinatus 176, 179, 596
–– Funktionsübersicht 178
–– Innervation 377
–– Suprascapularis–Syndrom 179
– intercostalis externus 103, 108, 231, 609
–– Rumpfdrehung 113
– intercostalis internus 103, 108, 231, 609
– intercostalis intimus 103
– interossei palmares, Funktionsübersicht 193
– interosseus 151
– interosseus dorsalis 190–191, 600, 605
–– Funktionsübersicht 193
– interosseus dorsalis I, Funktionsübersicht 190
– interosseus palmaris 190–191, 600
– interosseus plantaris 605
– interspinalis 94, 607
– interspinalis cervicis 607
– interspinalis lumborum 607
– interspinalis thoracis 607
– intertransversarius 94
– intertransversarius anterior 606
– intertransversarius anterior cervicis 606
– intertransversarius lateralis lumborum 606
– intertransversarius medialis lumborum 606
– intertransversarius posterior 606
– intertransversarius posterior cervicis 606
– intertransversarius thoracis 606
– ischiocavernosus 319, 611
–– Clitoris 340–341

–– Entwicklung 215
–– Erektion 355
–– Penis 352
– ischiococcygeus 316, 610
– latissimus dorsi 93, 171, 177, 597
–– Achselhöhle 199–200
–– Atemhilfsmuskel 231
–– Ausfall 178
–– eingewanderte Rückenmuskulatur 92
–– Funktionsübersicht 178
–– M. obliquus externus abdominis 107
–– MRT-Aufnahme 179
–– Oberflächenrelief 163
–– Rückenanatomie 83
– levator anguli oris 416–417, 614
–– Funktion 417
– levator ani 282, 284, 314, 316–317, 610
–– Fossa ischioanalis 319
–– Funktion 318
–– Innervation 318
–– Prostata 349
–– Rumpfstruktur 80
–– Sphinktersystem 283
– levator costae 94
– levator costarum 606
– levator glandulae thyroideae 363, 616
– levator labii alaeque nasi 416–417
–– Funktion 417
– levator labii superioris 416–417, 614
–– Funktion 417
– levator labii superioris alaeque nasi 614
– levator palpebrae superioris 470–471, 612
–– Tränendrüse 472
– levator pharyngis 382
– levator scapulae 171, 596
–– eingewanderte Rückenmuskulatur 92–93
–– Innervation 376
–– Scapulabeweglichkeit 172–173
– levator veli palatini 380, 382, 433, 488, 615
–– Leitungsbahnen 435
–– Schluckakt 383
– longissimus
–– capitis 605
–– cervicis 605
–– thoracis 605
– longissimus capitis
–– autochthone Rückenmuskulatur 96
–– Innervation 377
– longissimus dorsi 94–95, 605
– longitudinalis inferior 442–443, 615
– longitudinalis superior 442–443, 615
– longus capitis 97, 364–365, 608
–– Innervation 377
–– Truncus sympathicus 379
– longus colli 97, 364–365, 608
–– Truncus sympathicus 379
– lumbricalis 151, 190–191, 600, 605
–– Funktionsübersicht 193
– lumbricalis IV 190
– masseter 414, 416, 422, 456, 612
–– A. facialis 371
–– Funktion 456
–– Glandula parotidea 438
–– Kiefergelenksbewegung 458
–– Leitungsbahnen 457
–– Regio parotideomasseterica 423
–– Stenon–Gang 438
– mentalis 416, 614
–– Funktion 417
– multifidus 94, 96, 607
– mylohyoideus 362–363, 434, 616
–– Funktion 363
–– Glandula sublingualis 439
–– Glandula submandibularis 397
–– Herkunft 363
–– Innervation 377
–– Kiefergelenksbewegung 457
–– Schluckakt 383
–– Trigonum submandibulare 397
–– Wharton–Gang 439
– nasalis 416, 418, 614
– obliquus capitis inferior 96, 608
–– autochthone Rückenmuskulatur 96
– obliquus capitis superior 97, 608
–– autochthone Rückenmuskulatur 96
– obliquus externus abdominis 107–108, 110, 609
–– Bauchfaszie 106
–– Kräfte beim Gehen 132
–– Leistenkanal 109
–– Muskelform 35
–– Oberflächenrelief 98
–– Rektusscheide 106
–– Rumpfbeugung 112
–– Rumpfdrehung 113
–– Rumpfseitneigung 113
– obliquus inferior 473–474, 611
– obliquus internus abdominis 108, 609
–– Kräfte beim Gehen 132
–– Leistenkanal 109
–– Rektusscheide 106
–– Rumpfbeugung 112
–– Rumpfseitneigung 113
– obliquus superior 473–474, 611
– obturatorius externus 138, 602
–– Funktionsübersicht 139
– obturatorius internus 136, 138, 313, 317, 602
–– Fossa ischioanalis 319
–– Funktionsübersicht 139
–– Leitungsbahnen 319
–– M. levator ani 316
– occipitofrontalis 411, 416, 612
– omohyoideus 362–363, 616
–– Halsregionen 359
–– Lamina pretrachealis 366
– opponens digiti minimi 152, 191, 600, 604
–– Funktionsübersicht 193
– opponens pollicis 189, 191, 599
–– Funktionsübersicht 190
– orbicularis oculi 415–417, 471, 612–613
–– Augenlider 470
–– Funktion 417
– orbicularis oris 415–416, 431, 613
–– Funktion 417
–– Kaumuskulatur 458
– orbitalis 467
– palatoglossus 434, 436, 616–617
–– Leitungsbahnen 435
– palatopharyngeus 382, 434, 436, 616
–– Leitungsbahnen 435
– palmaris brevis 600
–– Guyon-Loge 203
–– Guyon–Loge 203
– palmaris longus 188–189, 202, 599
–– Funktionsübersicht 186
–– Guyon-Loge 203
–– Guyon–Loge 203
–– N. medianus 197
–– Oberflächenrelief 163–164
– papillaris 236–239
– parietooccipitalis 612
– pectinatus 236–237
– pectineus 137–138, 601
–– Funktionsübersicht 139
–– Trigonum femorale 160
– pectoralis major 176, 597
–– Achselhöhle 199–200
–– Atemhilfsmuskel 231
–– Funktionsübersicht 178
–– Oberflächenrelief 97–98, 163
– pectoralis minor 108, 171–172, 176, 596
–– Achselhöhle 199–200
–– Atemhilfsmuskel 231
–– Axillalymphknoten 104
–– Scapulabeweglichkeit 172–173
– peroneus brevis 149
– peroneus longus 149
– piriformis 138–139, 313, 602
–– Funktionsübersicht 139
– plantaris 148–149, 603
–– Funktionsüberblick 151
–– Kniekehle 161
– popliteus 144, 149, 603
–– Funktionsübersicht 143
– procerus 416, 418, 614
– pronator quadratus 182, 189, 599
–– Funktionsübersicht 182
–– N. medianus 197
– pronator teres 182, 189, 202, 599
–– A. radialis 194
–– A. ulnaris 195
–– Ellenbeuge 201
–– Funktionsübersicht 182
–– N. medianus 197
– psoas major 108, 134–135
–– A. testicularis 347
–– Leistenband 109
–– Niere 301
– psoas minor 601
– pterygoideus, lateralis 425
– pterygoideus lateralis 424, 456–457, 612
–– Funktion 457
–– Kiefergelenksbewegung 458
–– Leitungsbahnen 457
– pterygoideus medialis 368, 424–425, 456, 612
–– Funktion 456
–– Kiefergelenksbewegung 458
–– Leitungsbahnen 457
– puboanalis 318
– pubococcygeus 317, 610
– puboperinealis 317
– puboprostaticus 318, 321
– puborectalis 317
–– Sphinktersystem 283
– pubovesicalis 321
– pubovisceralis 318
– pyramidalis 108, 610
–– Rumpfstruktur 79
– quadratus femoris 136, 138, 144, 601
–– Funktionsübersicht 139

– quadratus lumborum 108–109, 610
–– Kräfte beim Gehen 132
–– Niere 301
–– Rumpfseitneigung 113
– quadratus plantae 150, 152, 605
– quadriceps femoris 135, 143, 602
–– Dorsalflexion des Rumpfes 113
–– Muskelform 35
–– Muskelstatik im Stehen 112
–– Oberschenkelkontur 121
–– Sesambein 38
– rectouterinus 334
– rectus abdominis 108, 609
–– Faserverlauf 35
–– Muskelform 35
–– Oberflächenrelief 98
–– Rektusscheide 106
–– Rumpfbeugung 112
–– Rumpfstruktur 79
– rectus capitis anterior 97, 364–365, 608
– rectus capitis lateralis 97, 364–365, 608
– rectus capitis posterior major 96, 608
– rectus capitis posterior minor 96, 608
– rectus femoris 135, 143
–– Funktionsübersicht 139, 143
–– Oberschenkelkontur 121
– rectus inferior 473–474, 611
– rectus lateralis 473–474, 611
–– horizontale Augenbewegung 566
– rectus medialis 473–474, 611
–– horizontale Augenbewegung 566
–– Konvergenzreaktion 567–568
– rectus superior 473–474, 611
– rhomboideus 596
– rhomboideus major 171–172
–– eingewanderte Rückenmuskulatur 92–93
–– Scapulabeweglichkeit 172–173
– rhomboideus minor 171–172
–– eingewanderte Rückenmuskulatur 92–93
–– Scapulabeweglichkeit 172–173
– risorius 416, 614
–– Funktion 417
– rotator 96, 607
– rotator cervicis 607
– rotator lumborum 607
– rotator thoracis 607
– sacrococcygeus dorsalis 610
– sacrococcygeus ventralis 610
– salpingopharyngeus 381–382, 488, 618
– sartorius 135, 144, 602
–– Adduktorenkanal 161
–– Funktionsübersicht 139, 143
–– Oberschenkelkontur 121
–– Trigonum femorale 160
– scalenus 364
– scalenus anterior 364–365, 617
–– A. subclavia 369
–– erste Rippe 99
–– N. phrenicus 118, 252, 376
–– Plexus brachialis 376
–– Plexus cervicalis 375
–– Skalenuslücke 398
–– V. subclavia 372
– scalenus medius 364–365, 617
–– N. dorsalis scapulae 376
–– N. thoracicus longus 376
–– Plexus brachialis 376
–– Plexus cervicalis 375
–– Skalenuslücke 398
– scalenus minimus 365, 617
– scalenus posterior 364–365, 617
– semimembranosus 136, 143–144, 602
–– Faserverlauf 35
–– Funktionsübersicht 139, 143
–– Kniekehle 161
–– Muskelform 35
–– Oberschenkelkontur 121
– semispinalis 96, 607
–– capitis 608
–– cervicis 608
–– thoracis 608
– semispinalis capitis
–– Innervation 377
–– N. occipitalis tertius 377
– semitendinosus 136, 143–144, 602
–– Funktionsübersicht 139, 143
–– Kniekehle 161
–– Muskelform 35
–– Oberschenkelkontur 121
– serratus anterior 171–172, 176, 596
–– Achselhöhle 199
–– Atemhilfsmuskel 231
–– Innervation 377
–– Oberflächenrelief 98
–– Scapula alata 172
–– Scapulabeweglichkeit 172–173
– serratus posterior 92–93
– serratus posterior inferior 609
– serratus posterior superior 608
– soleus 148–149, 603
–– Funktionsüberblick 151
– sphincter ampullae hepatopancreaticae 292
– sphincter ani externus 282, 284, 313–314, 319, 611
–– Dammriss 338
–– Entwicklung 215
–– Fossa ischioanalis 319
–– Innervation 284
–– Muskelform 35
–– Sphinktersystem 283
– sphincter ani internus 282, 284
–– Entwicklung 215
–– Innervation 283
– sphincter ductus choledochi 292
– sphincter externus 323
– sphincter pupillae 469, 476
–– Konvergenzreaktion 567–568
–– Pupillenreflex 569
– sphincter pylori 258, 266, 268
– sphincter urethrae 610
– sphincter urethrae externus 323, 354
–– Diaphragma urogenitale 318
–– Miktion 324
– sphincter urethrae internus 323, 354
– sphincter urethrovaginalis 323
– sphincter vesicae 323
– spinalis 94, 607
–– capitis 607
–– cervicis 607
–– thoracis 607
– splenius 94, 606
–– capitis 606
–– cervicis 606
–– Rumpfdrehung 113
– splenius capitis, Innervation 377
– stapedius 485, 612
–– Lähmung 486
–– Reflexkreise 564
– sternalis 177
– sternocleidomastoideus 361, 616
–– Atemhilfsmuskel 231
–– Caput claviculare 361
–– Caput sternale 361
–– Entwicklung 362
–– Funktion 361
–– Glandula parotidea 438
–– Halsregionen 359
–– Innervation 361, 379
–– Lymphknoten 374
–– N. occipitalis major 376
–– N. occipitalis minor 376
–– N. transversus colli 376
–– Punctum nervosum 375
–– Pyramidenbahn 550
–– Regio parotideomasseterica 423
–– Schiefhals 362
–– Spatium peripharyngeum 368
– sternohyoideus 362–363, 616
– sternothyroideus 362–363, 616
–– Ansatz 387
– styloglossus 443, 615
–– Schluckakt 383
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
– stylohyoideus 362, 364, 382, 616
–– Herkunft 363
–– Innervation 377
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
– stylopharyngeus 382, 618
–– Innervation 378
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
– subclavius 108, 171–172, 596
–– Scapulabeweglichkeit 172
– subcostalis 103
– subscapularis 176, 179, 597
–– Achselhöhle 199
–– Funktionsübersicht 178
–– MRT-Aufnahme 179
– supinator 182, 187, 202, 598
–– Ellenbeuge 201
–– Funktionsübersicht 182
–– N. radialis 197
– supraspinatus 176, 179, 597
–– Funktionsübersicht 178
–– Impingement 175
–– Impingementsyndrom 175
–– Innervation 377
–– MRT-Aufnahme 179
–– Suprascapularis–Syndrom 179
– suspensorius duodeni 272
– tarsalis inferior 470–471
– tarsalis superior 470–471

– temporalis 410, 456–457, 612
–– Funktion 457
–– Kiefergelenksbewegung 458
–– Leitungsbahnen 457
– temporoparietalis 411
– tensor fasciae latae 135, 137, 601
–– Funktionsübersicht 139
–– Kniegelenkstreckung 143
–– Oberschenkelkontur 121
– tensor tympani 485, 612
–– Reflexkreise 564
– tensor veli palatini 382, 433, 488, 615
–– Leitungsbahnen 435
–– Schluckakt 383
– teres major 176, 178, 201, 597
–– Achselhöhle 199
–– Funktionsübersicht 178
–– laterale Achsellücke 201
–– mediale Achsellücke 201
–– Oberflächenrelief 163
–– Trizepsschlitz 201
– teres minor 176, 179, 201, 596
–– Funktionsübersicht 178
–– laterale Achsellücke 201
–– mediale Achsellücke 200
– thyroarytaenoideus 389, 618
–– Funktion 389–390
– thyroepiglotticus 389, 618
–– Schluckakt 383
– thyrohyoideus 362–363, 616
–– Innervation 376
–– Schluckakt 383
–– Ursprung 387
– tibialis anterior 148, 150, 603
–– Funktionsüberblick 151
–– Fußgewölbestabilisierung 152
– tibialis posterior 148–149, 603
–– Funktionsüberblick 151
–– Fußgewölbestabilisierung 152
–– Innenknöchel 128
– trachealis 224
– transversus abdominis 107–108, 609
–– Leistenkanal 109
–– Rektusscheide 106
– transversus linguae 434, 442–443, 615
– transversus menti 613
– transversus perinei, Rumpfstruktur 80
– transversus perinei profundus 318, 610
–– Diaphragma urogenitale 318
– transversus perinei superficialis 318, 610
–– Dammschnitt 319
–– Diaphragma urogenitale 318
–– Entwicklung 215
– transversus thoracis 103, 108, 609
– trapezius 171–172, 596
–– Ausfall 172
–– autochthone Rückenmuskulatur 96
–– eingewanderte Rückenmuskulatur 92–93
–– Entwicklung 362
–– Halsregionen 359
–– Innervation 379
–– MRT-Aufnahme 179
–– N. occipitalis tertius 377
–– Pyramidenbahn 550
–– Rückenanatomie 83
–– Scapulabeweglichkeit 172–173
– triceps brachii 176, 181, 201–202, 597
–– Achselhöhle 200
–– Funktionsübersicht 178, 182
–– laterale Achsellücke 201
–– mediale Achsellücke 201
–– Muskelfaszie 34
–– Muskelform 35
–– N. radialis 197
–– N. ulnaris 197
–– Oberflächenrelief 163
–– Trizepsschlitz 201
– triceps coxae 138
– triceps surae 148–149
– unipennatus 36
– uprahyoideus 363
– urethrovaginalis, Vagina 337
– uvulae 382, 433, 615
–– Leitungsbahnen 435
– vastus intermedius 135, 143
–– Funktionsübersicht 143
– vastus lateralis 135, 143
–– Funktionsübersicht 143
–– Oberschenkelkontur 121
– vastus medialis 135, 143
–– Adduktorenkanal 161
–– Funktionsübersicht 143
–– Oberschenkelkontur 121
– verticalis linguae 442–443, 615
– vocalis 386, 389, 618
–– Funktion 389–391
– zygomaticus major 416–417, 614
–– Funktion 417
– zygomaticus minor 416–417, 614
–– Funktion 417
Muskel 33
– Ansatz 34, 36
– Antagonisten 37
– dreiköpfiger 36
– eingelenkiger 36
– gefiederter 36
– Insuffizienz 37
– Mechanik 36
– mehrbäuchiger 36
– mehrgelenkiger 36
– parallelfaseriger 36
– platter 36
– Primärbündel 33
– ringförmiger 36
– Ruhetonus 37
– Schleimhaut 55
– Sekundärbündel 33
– spindelförmiger 36
– Synergisten 37
– übergang zur Sehne 34
– Ursprung 34, 36
– vierköpfiger 36
– zweibäuchiger 36
– zweiköpfiger 36
Muskelatrophie, spinale 512
Muskeleigenreflex 513, 548
Muskelfaser 33
Muskelfaszie 33–34
Muskelgewebe 32, 52
Muskelhemmung, Gelenk 31
Muskelloge 34
Muskelpumpe 45
Muskeltypen 35
– Faserverlauf 36
– Gelenkbeteiligung 36
– Muskelform 36
Muskulatur
– Bauch 107
– Bauchwand 79, 108
– Beckenboden, Bauchpresse 113
– Brust 103
– Brustwand 108
– Ellenbogengelenk 181
– Finger 190
– Gaumen 433
– Hals 361
–– mittlere Schicht 362
–– oberflächliche Schicht 361
–– tiefe Schicht 364
– Hand 186
– Hüftgelenk 134
– infrahyoidale 362
–– Zungenbein 360
– ischiokrurale, Muskelstatik im Stehen 112
– Kniegelenk 142
– Lidspalte 417
– mimische 415–416
– Mundspalte 415
– Pharynx 381
– prävertebrale 364–365
– Rücken 92
– Schultergelenk 176, 178
– Schultergürtel 171
– spinohumerale 92
– spinokostale 92
– spinoskapuläre 92
– Sprunggelenksbewegung 148
– suprahyoidale 362–363
–– Zungenbein 360
– Unterarm 186
– Zehenbewegung 150
– Zunge 442
– Zungenbein 362
Mutterband, rundes 333
Muttermund
– äußerer 331
– Eröffnungsperiode 338
– innerer 331
Myasthenia gravis 48
Mydriasis 476, 569
Myelencephalon 515
– Entwicklung 503
– ZNS–Bauplan 63
Myelinisierung, Entwicklung 508
Myelose, funikuläre 546
Myocoel 74
Myofibrille 33
Myokard 40, 236
Myokardinfarkt 244
Myometrium 334
Myotom 66
– Entwicklung 78

N

Nabel, Linea alba 106
Nabelarterien 233
Nabelbildung 75
Nabelbruch 107
– angeborener 107
– erworbener 107
– physiologischer 209, 212
Nabelpapille 107
Nabelschleife 212–213
Nabelschnurbruch 213
Nabelvene 233
Nabelzölom 209
Nachgeburtsperiode 338
Nachhirn, Entwicklung 503
Nackenbeuge 504
Nackensteife 583
Nagel 500
Nagelbett 500–501
Nagelfalz 501
Nagelhäutchen 501
Nagelmatrix 500–501
Nagelplatte 500–501
Nagelwall 500–501
Nagelwurzel 500–501
Nanosomie 21

Nares 459
Narkolepsie 580
nasal 20
Nase 414
– äußere 459
– Septumdeviation 461
Nasenbein 401
– Aufbau 409
Nasenbluten 463
Nasenflügelatmung 418
Nasenhöhle 460
– Auskleidung 462
– Begrenzungen 460–461
– Blutabfluss 463
– Boden 460, 462
– Dach 460, 462
– Leitungsbahnen 463
– Lymphabfluss 464
– Wand 460
Nasennebenhöhle 464
– Leitungsbahnen 466
– Lymphabfluss 466
Nasenscheidewand, Strukturen 460
Nasenspiegelung 460
Nasenwand 461
Nasopharynx 380
Nebenhoden 345–346
– Innervation 348
– Lymphgefäße 347
Nebenhodengang 345
Nebenmilz 298
Nebenniere 310
– Arterien 311
– Drüsen 56–57
– Form 310
– Innervation 312
– Körpergliederung 17
– Lage 301, 310
– Leberkontakt 287
– Lymphgefäße 312
– Venen 311
Nebennierenmark
– Feinbau 311
– Funktion 310
– Phäochromozytom 311
Nebennierenrinde
– Feinbau 311
– Funktion 310
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
Nebenphrenicus 376
Nebenphrenikus 687
Nebenschilddrüse 392
– Arterien 394
– Drüsen 56–57
– Entwicklung 503
– Feinbau 394
– Innervation 394
– Körpergliederung 17
– Lage 393
– Lymphabfluss 394
– Venen 394
Nebenzelle 268
neck dissection 375
Neocortex 532
– Areale 533
– Entwicklung 507
Nephron 303
Nephroptose 301
Nerven
– Definition 52
– Hüftregion 157
– obere Extremität 196
– periphere 61–62
– Rumpfwand 118
– Systematik 674
– untere Extremität 156
Nervenendigung, freie 499
Nervenfaser 60
– marklose 60
– myelinisierte 60
Nervengewebe 52
Nervenleitgeschwindigkeit 62
Nervenstimulation, transkutane 544
Nervensystem
– enterisches 68, 701
– peripheres 64
– somatisches 68
–– Afferenzen 68
–– Efferenzen 68
–– Rezeptoren 68
–– Sensoren 68
– vegetatives 68, 695
–– Afferenzen 68
–– Efferenzen 68
–– Geflechte 698
–– Schaltschema 69
– zentrales 63, 502
–– Entwicklung 502
Nervus
– abducens 470, 679
–– Äste 675
–– Augenmuskulatur 474
–– Orbita 469
–– Pons 517
–– Vestibulärsystem 560
– accessorius 684
–– Äste 684
–– Faserqualitäten 68
–– Hals 378
–– Hirnstamm 515, 517
–– Lähmung 172
–– Läsion 379
–– M. sternocleidomastoideus 361
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
–– Trigonum caroticum 396–397
–– Trigonum colli laterale 398
– alveolaris inferior 427, 679
–– Aufteilung 679
–– Leitungsanästhesie 416, 452
–– Zähne 452
– alveolaris superior 451, 676–677
– ampullaris posterior 681
– anococcygeus 695
– auricularis anterior 420, 679
– auricularis magnus 376, 420, 422, 685–686
–– Kopf–Hals–Region 413
–– Schädeldach 413
–– Trigonum colli laterale 398–399
– auricularis posterior 680
– auriculotemporalis 420, 422, 424, 427, 678, 681, 695–696
–– Äste 679
–– Glandula parotidea 439
–– Kiefergelenk 456
–– Schädeldach 413
–– Trommelfell 484
– axillaris 687, 689
–– laterale Achsellücke 201
– buccalis 420, 427, 678
–– seitliche Gesichtsregion 424
–– Zähne 452
– canalis pterygoidei 429, 487, 678, 695
– cardiacus cervicalis 242
– cardiacus cervicalis inferior 697, 699
– cardiacus cervicalis medius 697
– cardiacus cervicalis superior 379, 697, 699
– caroticotympanicus 681
– caroticus externus 379, 697
– caroticus internus 379, 697
– cavernosus clitoridis 701
– cavernosus penis 701
– cervicalis 685
– cervicalis descendens 686
– ciliaris brevis 470, 674–675, 695–696
–– Irismuskulatur 476
– ciliaris longus 470, 476, 675, 677
– clunium 156
– clunium inferior 114
– clunium medius 114
– clunium superior 114
– coccygeus 694
– cochlearis 681
– cutaneus antebrachii lateralis 196, 198–199, 688
– cutaneus antebrachii medialis 196, 198–199, 688
– cutaneus antebrachii posterior 198–199, 689
– cutaneus brachii lateralis inferior 196, 198, 689
– cutaneus brachii lateralis superior 196, 198, 689
– cutaneus brachii medialis 196, 198, 688
– cutaneus brachii posterior 196, 198, 689
–– Achselhöhle 200
– cutaneus dorsalis 157
– cutaneus dorsalis intermedius 693
– cutaneus dorsalis lateralis 694
– cutaneus dorsalis medialis 693
– cutaneus femoris lateralis 114, 156–157, 691
–– Lacuna musculorum 160
– cutaneus femoris posterior 114, 156–157, 693
– cutaneus perforans 693
– cutaneus surae lateralis 158, 693
– cutaneus surae medialis 156, 158, 694
– digitalis dorsalis 689, 693
– digitalis dorsalis digiti secundi medialis 693
– digitalis dorsalis pedis 693
– digitalis palmaris 198
– digitalis palmaris communis 688–689
– digitalis palmaris communis I 689
– digitalis palmaris communis II 689
– digitalis palmaris communis III 689
– digitalis palmaris proprius 199, 688–689
– digitalis plantaris communis 694
– digitalis plantaris communis IV 158
– digitalis plantaris communis I–III 159
– digitalis plantaris proprius 694
– digitalis plantaris proprius V 158
– dorsalis clitoridis 342, 694
– dorsalis penis 353, 694
– dorsalis scapulae 201, 376, 687
–– Skalenuslücke 398
– erigens 353
– ethmoidalis anterior 675, 677
–– Nasenhöhle 464
– ethmoidalis posterior 675, 677
– facialis 487, 679–680
–– Akustikusneurinom 517
–– Äste 680
–– Aufzweigung 487

–– Cornealreflex 550
–– Faserqualitäten 68
–– Geschmacksbahn 570
–– Gesichtsoperationen 423
–– Gesichtsweichteile 418
–– Glandula parotidea 439
–– Glandula sublingualis 440
–– Hals 377
–– Hirnstamm 518
–– Lähmung 473
–– M. stylohyoideus 364
–– mimische Muskulatur 415, 421
–– Parasympathicus 695–696
–– Paukenhöhle 486
–– Platysma 361
–– Pons 517
–– Propriozeption 547
–– Pyramidenbahn 549
–– Schmerz 542
–– seitliche Gesichtsregion 423
–– Sensibilität Kopfregion 538
– femoralis 110, 157, 161, 691
–– Gefäß–Nerven–Bahn 160
–– Lacuna musculorum 160
– fibularis communis 156, 158, 162, 693
–– Äste 693
–– Kniekehle 161
– fibularis profundus 156, 158, 693
– fibularis superficialis 156, 158, 693
– frontalis 420, 470, 675, 677
–– Aufteilung 675
–– Orbita 469
– genitofemoralis 120, 156–157, 691
–– Labien 342
–– Niere 302
–– Scrotum 356
– glossopharyngeus 370, 681–682
–– Akustikusneurinom 517
–– Äste 681
–– Faserqualitäten 68
–– Gaumen 434
–– Geschmacksbahn 570–571
–– Geschmacksknospen 445
–– Glandula parotidea 439
–– Hals 377
–– Hirnstamm 515
–– Innervation der Hirnhäute 70
–– Parasympathicus 695–696
–– Pharynx 384
–– Propriozeption 547
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
–– Trigonum submandibulare 398
–– Trommelfell 484
–– Zunge 445
– gluteus inferior 157, 693
– gluteus superior 137, 157, 693
– hallucis plantaris medialis 694
– hypogastricus 700–701
– hypoglossus 684, 686
–– A. sternocleidomastoidea 371
–– Ansa cervicalis profunda 376
–– Aufteilung 684
–– Hals 379
–– Hirnstamm 515, 517
–– Parese 445
–– Pyramidenbahn 550
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Trigonum caroticum 396–397
–– Trigonum submandibulare 397
–– Zunge 445
– iliohypogastricus 119, 691
–– Niere 301
– ilioinguinalis 110, 119, 156–157, 691
–– Labien 342
–– Niere 302
–– Samenstrang 348
–– Scrotum 356
– incisivus 452
– infraorbitalis 420, 422, 428, 676–677
–– Aufteilung 676
–– Leitungsanästhesie 452
–– n. maxillaris 676
–– Nasenhöhle 464
–– Zähne 451
– infratrochlearis 420, 470, 676–677
– intercostalis 119, 690
–– Mamma 104
– intercostobrachialis 119, 687–688
– intermedius 678–680
–– Aufteilung 680
– interosseus anterior 197
– interosseus cruris 158, 694
– interosseus posterior 197
– interosseus [antebrachii] anterior 689
– interosseus [antebrachii] posterior 689
– ischiadicus 157, 162, 693
–– Äste 693
–– intramuskuläre Injektion 157
–– Kniekehle 161
– jugularis 379, 683, 697
– labialis anterior 342, 691
– labialis posterior 342, 694
– lacrimalis 420, 470, 675, 677
–– Orbita 469
–– Tränendrüse 472
– laryngeus inferior 378, 392, 683
–– Kehlkopfmuskeln 389
– laryngeus recurrens 378, 683
–– Lähmung 393
–– Lymphknoten 374
–– Lymphknotenmetastasen 228
–– Verlauf 252
– laryngeus superior 378, 392, 683
–– Hustereflex 381
–– Hypopharynx 381
–– Kehlkopfmuskeln 389
–– Trigonum caroticum 396–397
– lingualis 427, 678–680
–– Äste 679
–– Fossa infratemporalis 426
–– Geschmacksbahn 570–571
–– Glandula sublingualis 440
–– Leitungsanästhesie 452
–– Parasympathicus 695–696
–– Trigonum submandibulare 397
–– Weisheitszahn 436
–– Wharton–Gang 439
–– Zähne 452
–– Zunge 445
– lumbalis 691
– mandibularis 470, 678
–– Äste 677
–– Aufteilung 678
–– Faserqualitäten 68
–– Fossa infratemporalis 424, 426–427
–– Gesichtsweichteile 420–421
–– Kopf–Hals–Region 413
–– Schädeldach 413
–– Zähne 451
– massetericus 427, 678
–– Kaumuskulatur 457
–– Kiefergelenk 456
– masticatorius 427
– maxillaris 470, 676
–– Äste 676–677
–– Aufteilung 676
–– Ausstrahlungen 428
–– Fossa pterygopalatina 428
–– Ganglion pterygopalatinum 428
–– Gaumen 434
–– Gesichtsausstrahlung 428
–– Gesichtsweichteile 420–421
–– Kopf–Hals–Region 413
–– Nasenhöhle 464
–– Nasennebenhöhle 466
–– Nasen–Gaumen–Ausstrahlung 428
–– Schädeldach 413
–– Zahnausstrahlung 428
–– Zähne 451
– meatus acustici externi 679
– medianus 197, 202, 687–688
–– Achselhöhle 200
–– Äste 689
–– Ellenbeuge 201
–– Karpaltunnel 202
–– Karpaltunnelsyndrom 202
–– Schädigung 197
–– Struthers' ligament 201
– mentalis 420, 422, 679
–– Leitungsanästhesie 452
–– Zähne 452
– musculi obturatoris interni 693
– musculi piriformis 693
– musculi quadrati femoris 693
– musculi tensoris tympani 427, 678, 682
– musculi tensoris veli palatini 427, 678, 682
– musculocutaneus 196, 202, 687–688
–– Achselhöhle 200
– mylohyoideus 363–364, 377, 427, 679
–– Trigonum submandibulare 397
– nasociliaris 420, 470, 675, 677
–– Äste 675
–– Nasenhöhle 464
–– Orbita 469
– nasopalatinus 432
–– Foramen incisivum 462
–– Gaumen 434
–– Leitungsanästhesie 453
–– Nasenhöhle 464
–– Zähne 452
– nasopalatinus brevis 678
– nasopalatinus longus 678
– obturatorius 157, 161, 691
–– Adduktorenspasmus 137
–– Ovar 327
– obturatorius acessorius 691
– occipitalis major 114–115, 377, 685
–– Kopf–Hals–Region 413
–– Schädeldach 413
– occipitalis minor 114, 376, 685–686
–– Kopf–Hals–Region 413

–– Schädeldach 413
–– Trigonum colli laterale 398–399
– occipitalis tertius 114–115, 377, 685
– oculomotorius 470, 674
–– Äste 674–675
–– Augenlider 471
–– Augenmuskulatur 474
–– Hirnstamm 519
–– Konvergenzreaktion 568
–– obere Einklemmung 582
–– Orbita 469
–– Parasympathicus 695–696
–– Pupillenreflex 569
–– vertikale Augenbewegungen 566
–– Vestibulärsystem 560
– olfactorius 674
–– Faserqualitäten 68
–– Nasenhöhle 464
–– Riechbahn 571
–– Riechschleimhaut 464
– ophthalmicus
–– Äste 675, 677
–– Aufteilung 675
–– Cornealreflex 550
–– Gesichtsweichteile 420–421
–– Kopf–Hals–Region 413
–– Nasenhöhle 464
–– Nasennebenhöhlen 466
–– Orbita 469
–– Schädeldach 413
– opticus 470, 674
–– Entstehung 479
–– Entwicklung 506
–– Faserqualitäten 68
–– Orbita 469
–– Sehbahn 565
– palatinus major 432, 678
–– Leitungsanästhesie 453
–– Nasenhöhle 464
–– Zähne 452
– palatinus minor 432, 678
– pectoralis lateralis 196, 687–688
–– Achselhöhle 200
– pectoralis medialis 196, 687–688
–– Achselhöhle 200
– pelvicus splanchnicus 695
–– Parasympathicus 695
– perinealis 694
– petrosus major 428, 486–487, 678–680, 695
–– Paukenhöhle 486
–– Tränendrüse 472
– petrosus minor 681, 695–696
–– Glandula parotidea 439
–– Paukenhöhle 486
– petrosus profundus 428, 487, 678, 696
–– M. orbitalis 467
– pharyngeus 678
– phrenicus 118, 206, 252, 376, 686
–– Entwicklung 207–208
–– Gallenblase 294
–– Halsfaszie 367
–– Mediastinum 217
–– Pleuritis 229
–– Skalenuslücke 398
–– Zwerchfell 219–220
– phrenicus accessorius 687
– plantaris lateralis 158, 694
– plantaris medialis 159, 694
– pterygoideus lateralis 427, 678
–– Kaumuskulatur 457
– pterygoideus medialis 427, 678
–– Kaumuskulatur 457
– pterygopalatinus 676
– pudendus 120, 157, 284, 313, 694
–– Äste 694
–– äußeres Genitale 342
–– Entwicklung 215
–– M. levator ani 318
–– M. sphincter ani externus 284
–– M. sphincter urethrae externus 323
–– Scrotum 356
–– Sphinktersystem 283
– radialis 196, 201–202, 687, 689
–– Achselhöhle 200
–– Äste 689
–– Humerusschaft 167
–– Schädigung 197
–– Trizepsschlitz 201
– rectalis inferior 284
– rectalis [analis] inferior 694
– sacralis 692
–– Parasympathicus 695
– saphenus 156–157, 161, 691
–– Adduktorenkanal 137, 161
– scalenus 118
– scrotalis anterior 691
– scrotalis posterior 694
– spinalis 509, 684
– splanchnicus 510
– splanchnicus imus 280, 307, 698
– splanchnicus lumbalis 280, 284, 698, 701
– splanchnicus major 253, 271, 280, 683, 697–698
–– Duodenum 274
–– Magennerven 271
–– Nebenniere 312
–– Nebennierenmark 311
–– Zwerchfell 220
– splanchnicus minor 253, 280, 307, 697–698
–– Nebenniere 312
–– Nebennierenmark 311
–– Zwerchfell 220
– splanchnicus pelvicus 280, 284, 310
–– Penis 353
– splanchnicus sacralis 280, 284, 310, 698
– stapedius 487–488, 680
–– Paukenhöhle 486
– subclavius 377, 687
– subcostalis 119, 690
–– Niere 301
– sublingualis 679
–– Zähne 452
– suboccipitalis 377, 685
– subscapularis 196, 688
–– Achselhöhle 200
– supraclavicularis 114, 118, 198, 376, 685–686
–– intermedius 686
–– lateralis 686
–– Mamma 104
–– medialis 686
–– Trigonum colli laterale 398–399
– supraorbitalis 470, 675, 677
–– Schädeldach 413
– suprascapularis 201, 377, 687–688
–– Suprascapularis–Syndrom 179
–– Trigonum colli laterale 398
– supratrochlearis 420, 675, 677
– suralis 156, 158, 693–694
– temporalis profundus 427, 678
–– Kaumuskulatur 457
–– Kiefergelenk 456
– thoracicus 690
– thoracicus longus 376, 687
–– Achselhöhle 200
–– Scapula alata 172
–– Skalenuslücke 398
– thoracodorsalis 196, 687–688
–– Achselhöhle 200
– tibialis 158, 162, 693
–– Äste 694
–– Kniekehle 161
– transversus colli 376, 685–686
–– Trigonum colli laterale 398–399
– trigeminus 674
–– Akustikusneurinom 517
–– Äste 675, 677
–– Gesichtsweichteile 418
–– Hirnstamm 517
–– Innervation der Hirnhäute 70
–– Propriozeption 547
–– Pyramidenbahn 549
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538–539
– trochlearis 470, 674
–– Äste 675
–– Augenmuskulatur 474
–– Hirnstamm 520
–– Orbita 469
–– vertikale Augenbewegungen 566
–– Vestibulärsystem 560
– tympanicus 486, 681, 695
–– Glandula parotidea 439
– ulnaris 197, 687–688
–– Achselhöhle 200
–– Äste 688
–– Guyon-Loge 203
–– Guyon–Loge 203
–– Gyon–Logen–Syndrom 203
–– Schädigung 197
– vaginalis 701
– vagus 510, 682, 684
–– Akustikusneurinom 517
–– Äste 682–683
–– Duodenum 274
–– Elektrostimulation 378
–– Faserqualitäten 68
–– Gallenblase 294
–– Gaumen 434
–– Geschmacksbahn 571
–– Geschmacksknospen 445
–– Hals 378
–– Herz 242
–– Hirnstamm 515
–– Innervation der Hirnhäute 70
–– Leberinnervation 291
–– Mediastinum 217, 252
–– Meningitis 70
–– Pancreas 297
–– Parasympathicus 695
–– Pharynx 384
–– Plexus pulmonalis 227
–– Propriozeption 547
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Schmerz 542
–– Sensibilität Kopfregion 538
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
–– Trigonum caroticum 397
–– Vagina carotica 367
–– Zunge 445
– vertebralis 697
– vestibularis 681
– vestibulocochlearis 681
–– Akustikusneurinom 517
–– Faserqualitäten 68
–– Gleichgewichtsorgan 494

–– Hirnstamm 518
–– Hörbahn 562
–– Pons 517
–– Vestibulariskerne 560
– zygomaticofacialis 420
– zygomaticotemporalis 420
– zygomaticus 420, 428, 676–677, 696
–– Tränendrüse 472
Netzhautablösung 479
Neugeborene, Körpergröße 19
Neuner–Regel 496
Neuralleiste 502–503
– Phakomatose 503
Neuralleisten 73–74
Neuralleistendefekt 503
Neuralplatte 73, 75, 503
Neuralrinne 73–74, 503
Neuralrohr 73–74, 502–503
– Verschlussstörungen 502
Neuralwulst 74
Neuralwülste 73
Neurocranium 400, 403
– Körpergliederung 17
Neurofibromatose Recklinghausen 503
Neuroglia 59
Neurohypophyse 527
– Entwicklung 507
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
– zirkumventrikuläre Organe 524–525
Neuroleptika 580
Neuron
– bipolares 59
– multipolares 59
– pseudounipolares 59
– sensorisches 59
– unipolares 59
Neurone 58
Neuronenkette 61
Neuropeptid Y, Basalkerne 530
Neuroporus
– anterior 502
–– Verschluss 502
– posterior 502
–– Verschluss 502
Neurotransmitter 58
Neurulation 73–74
Neutral-Null-Stellung 19
Neutral–Null–Methode 31
Neutral–Null–Stellung 19
Nidation 72
Niederdrucksystem 39
Niere 300, 306
– Anomalien 301
– Arterien 306
– Aufbau 303
– Bursa omentalis 261
– Feinbau 302
– Form 300
– Funktion 302
– Gegenstromprinzip 305
– Hauptfunktionen 303
– Innervation 307
– Kapsel 300–301
– Lage 300–301
– Leberkontakt 287
– Lymphgefäße 307
– Nephron 303
– Parenchym 302
– Venen 307
Nieren, Körpergliederung 17
Nierenbecken 302, 308
– Arterien 309
– Feinbau 309
– Form 308
– Innervation 309
– Lymphgefäße 309
– Venen 309
Nierendystopie, pelvine 301
Nierenkanälchen 304
Nierenkelch 302
Nierenkolik 308
Nierenkörperchen 303
Nierensäule 303
Nodi lymphoidei
– accessorii 375
– anteriores 665
– aortici laterales 312, 668
– appendiculares 670
– axillares 104–105
– axillares apicales 105, 666–667
– axillares brachiales 666
– axillares centrales 666–667
– axillares interpectorales 666
– axillares laterales 199, 666–667
– axillares pectorales 115, 666–667
– axillares profundi 666
– axillares subscapulares 666–667
– axillares superficiales 666
– brachiales 199
– bronchopulmonales 228, 668
– cavales laterales 312, 668
– cervicales anteriores 373–374
– cervicales anteriores profundi 374, 392, 664
– cervicales anteriores superficiales 373, 664
– cervicales laterales 373
– cervicales laterales profundi 374, 464, 466, 665
– cervicales laterales profundi inferiores 392, 665
– cervicales laterales profundi superiores 392, 665
– cervicales laterales superficiales 374, 665
– cervicales profundi 374, 444
– cervicales profundi inferiores 395
– cervicales profundi superiores 397
– coeliaci 291, 294, 669
– colici dextri 670
– colici medii 670
– colici sinistri 670
– cubitales 199, 666
– epigastrici inferiores 118, 669
– faciales 664
– faciales buccales 419
– gastrici 270
– gastrici dextri 669
– gastrici sinistri 669
– gastroomentales 270
– gastroomentales dextri 669
– gastroomentales sinistri 669
– gluteales inferiores 672
– gluteales superiores 672
– hepatici 270, 290–291, 294, 670
– ileocolici 670
– iliaci 281
– iliaci communes 309, 671, 674
–– intermedii 671
–– laterales 671
–– mediales 671
–– promontorii 671
–– subaortici 671
– iliaci externi 309, 322, 671, 674
–– intermedii 671
–– laterales 671
–– mediales 671
–– Prostata 351
– iliaci interiliaci 671
– iliaci interni 336, 671, 674
–– Prostata 351
– infraauriculares 663
– infrahyoidei 374, 392, 664
– inguinales 159
–– Hoden 347
– inguinales profundi 673–674
– inguinales superficiales 673–674
–– inferiores 673
–– superolaterales 673
–– superomediales 673
– intercostales 104, 118, 667
– interpectorales 667
– intraglandulares 663
– intrapulmonales 228
– jugulares laterales 375
– juxtaintestinales 274
– juxtaoesophageales 668
– laterales 665
– lumbales 307, 309, 668, 674
–– dextri 668
–– Hoden 347
–– intermedii 668
–– sinistri 668
– mastoidei 413, 663, 665
– mediastinales anteriores 668
– mediastinales posteriores 668
– mesenterici 670
– mesenterici inferiores 281, 670
– mesenterici juxtaintestinales 670
– mesenterici superiores 670
– mesocolici 281, 670
– occipitales 115, 413, 663, 665
– pancreatici 270, 297
– pancreatici inferiores 669
– pancreatici superiores 669
– pancreaticoduodenales 274, 297
– pancreaticoduodenales inferiores 669
– pancreaticoduodenales superiores 669
– paramammarii 105, 667
– pararectales 281, 671–672
– parasternales 104–105, 118, 667
– paratracheales 228, 374, 392, 664, 668
– parauterini 672
– paravaginales 672
– paravesicales 672
– parotidei 412, 421, 439
– parotidei profundi 663, 665
– parotidei superficiales 663, 665
– pericardiales laterales 667
– phrenici 291
– phrenici inferiores 669
– phrenici superiores 667
– popliteales 159
– popliteales profundi 673
– popliteales superficiales 673
– postaortici 668
– postcavales 669
– postvesicales 672
– preaortici 668
– preauriculares 663
– precaecales 670
– precavales 668
– prelaryngeales 374, 392, 394, 664
– prepericardiales 667
– pretracheales 394, 664
– prevertebrales 667
– prevesicales 672
– pulmonales 668
– pylorici 270, 291, 669
– rectales superiores 671

– retrocaecales 670
– retropharyngeales 374, 464, 466, 664
– retropylorici 669
– sacrales 672
– sigmoidei 670
– splenici 270, 300
– submandibulares 374–375, 419, 434, 440, 451, 464, 466, 663, 665
– submentales 374–375, 444, 451, 664–665
– subpylorici 669
– supraclaviculares 375, 665, 667
– thyroidei 374, 394, 664
– tracheobronchiales 228
– tracheobronchiales inferiores 244, 668
– tracheobronchiales superiores 668
– trigoni cervicales posteriores 374
– vesicales laterales 672
Nodus
– arcus venae azygos 668
– atrioventricularis 241–242
– buccinatorius 664–665
– cysticus 670
– fibularis 673
– foraminalis 670
– jugulodigastricus 665
– juguloomohyoideus 665
– malaris 664
– mandibularis 664
– nasolabialis 664
– sinuatrialis 241
– suprapyloricus 669
– tibialis anterior 673
– tibialis posterior 673
Nomogramm, Körperoberfläche 21
Noradrenalin
– Locus caeruleus 580
– Schmerzhemmung 544
Norm 23
Normalgewicht 21
Normalposition, anatomische 19
Normalversorgertyp 245
Nozizeptor 68
– Hyperalgesie 540
– mechanischer 539
– polymodaler 539
Nuck–Zyste 110
Nucleus
– accessorius n. oculomotorii 696
– accessorius n. oculomotorii 518, 520
–– Pupillenreflex 569
– accumbens 578
– ambiguus 516, 518
–– Entwicklung 506
–– Pyramidenbahn 550
– anterior
–– Funktion 525
–– thalami 522
– anterolateralis medullae spinalis 512
– anteromedialis medullae spinalis 512
– basalis 551
– caudatus 522, 529–530
–– Basalkerne 551
–– Entwicklung 507–508
–– Rückkoppelungsschleife 552
– centralis medullae spinalis 512
– cochlearis anterior 506
–– Hörbahn 562–563
– cochlearis posterior 506, 517
–– Hörbahn 562–563
– cuneatus 515, 517–518, 536, 539
–– Entwicklung 505
–– Propriozeption 545
–– Sensibilität 537
– cuneatus accessorius 515, 517
–– Propriozeption 547
– dentatus 554–555, 558
– dorsalis n. vagi 696
– dorsalis n. vagi 516, 518
–– Entwicklung 506
–– Vestibulärsystem 560
– dorsolateralis tegmentalis 580
– Edinger–Westphal 518, 520, 568
–– Entwicklung 506
–– Pupillenreflex 569
– emboliformis 554–555, 558
– facialis, Entwicklung 506
– fastigii 554–555, 558
– globosi 554
– globosus 555, 558
– gracilis 515, 517–518, 536, 539
–– Entwicklung 505
–– Propriozeption 545
–– Sensibilität 537
– intermediolateralis 512
– intermediomedialis 512
– interstitialis
–– Cajal 566
–– konjugierte Augenbewegungen 567
–– rostralis fasciculi longitudinalis medialis 566
– lateralis thalami 522–523
– lentiformis 529
– lumbosacralis 512
– marginalis 512
– medialis thalami 522
– mesencephalicus n. trigemini 520, 539, 547
– motorius n. trigemini 518–519, 539
– n. abducentis 518–519, 566
– n. facialis 518–519, 539
– n. hypoglossi 516–518
– n. oculomotorii 518, 566, 568
– n. trochlearis 518
– olfactorius anterior 572
– olivaris inferior 515, 517, 558
– olivaris superior 518
–– Hörbahn 562–563
– paraventricularis 527
– pedunculopontinus tegmentalis 580
– Perlia 567–568
– phrenicus 511
– pontinus n. trigemini 538
– pontinus reticulotegmentalis 578
– pontis 517–518
– posterolateralis medullae spinalis 512
– posteromedialis medullae spinalis 512
– prepositus n. hypoglossi 566, 578
– principalis n. trigemini 519, 538–539
–– Cornealreflex 550
– proprius 512
– raphes magnus, Schmerzhemmung 544
– reticularis lateralis 578
– reticularis paramedianus 578
– reticularis thalami 522–523
– retroposterolateralis 512
– ruber 520
–– Entwicklung 506
–– Funktionen 557
–– Vestibulärsystem 561
– salivatorius 518–519
–– Entwicklung 506
– salivatorius inferior 696
– salivatorius superior 696
– solitarius 516, 518
–– Entwicklung 506
–– Geschmacksbahn 570–571
–– Vestibulärsystem 560
– spinalis n. accessorii 511, 518
– spinalis n. trigemini 516, 518, 539, 542
– subthalamicus 522, 528
–– Ballismus 554
–– Basalkerne 551
–– Chorea 554
–– Rückkoppelungsschleife 553
– suprachiasmaticus 526
–– Schlaf 526
–– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
– supraopticus 527
– thoracicus 512, 546
– trochlearis 520
– tuberomammillaris 580
– ventralis anterior 523
–– Rückkoppelungsschleife 553
– ventralis intermedius 523
– ventralis lateralis 523
–– Rückkoppelungsschleife 553
– ventralis posterior 523
– ventralis posterolateralis 523, 537
–– Propriozeption 545
–– Schmerz 541
–– Temperatur 541
– ventralis posteromedialis 523, 538
–– Geschmacksbahn 571
–– Schmerz 543
– vestibularis 506, 560–561
Nucleus pulposus 90
– Entwicklung 78
Nuhn–Drüse 440
Nussgelenk 30
– Hüftgelenk 133
Nutennaht, Synarthrose 28

O

Oberarm
– Knochen 167
– Knochenpunkte 166
– Oberflächenrelief 163
Oberbauchsitus 254–255
– Entwicklung 210
Oberflächenanatomie
– Gesicht 413
– Lunge 229
– obere Extremität 163
– Perikard 246
– Rücken 83
– Schädel 400
– untere Extremität 121
Oberflächenektoderm 73–74
Oberflächenrelief
– obere Extremität 163
– Rücken 83
– untere Extremität 121
Oberhaut 497
Oberkiefer 401
– Aufbau 407
– Nasennebenhöhle 464
– Orbitawandöffnungen 468
– Ruheschwebe 455
Oberlid 414
Oberlippe 414, 431
Oberschenkel 126
– Knochenpunkte 123

– Oberflächenrelief 121
Obex 515–516
ödem 44
Oesophagus 247
– Engstellen 249
– Feinbau 249
– Hiatus oesophageus 248
– Körpergliederung 17
– Lage 217
– Leberkontakt 287
– linker Vorhof 248
– Lungenkontakt 221
– Pars abdominalis 249
– Pars cervicalis 247–248
– Pars thoracica 248
– Zwerchfell 220
Oesophagusmund 248
Oesophagussphinkter, unterer 249
Oesophagusvarizen, Pfortaderhochdruck 290
Ohrspeicheldrüse 423, 438
Ohrtrompete 380, 488
Okklusion 449
okzipital 20
Okzipitallappen, Entwicklung 507
Olecranon 168, 180
– Knochenpunkte 165
– Oberflächenrelief 164
Oligodendrozyt 61
Oligodendrozyten 60
Oliva 515–516
Olive 515
– Entwicklung 505
Olivenkomplex, oberer 562
– Hörbahn 562
– Reflexkreise 563
Omentum
– majus 255, 257, 259, 264
–– Entwicklung 211
–– Lage 256
– minus 255, 264
–– Bursa omentalis 261
–– Entwicklung 209, 211
–– Lage 256
–– Leberbefestigung 287
–– Oberbauchsitus 256
Omphalozele 213
Oort–Anastomose 563
Operculum 533
– parietale 538
– temporale 534
Opioide, Schmerzhemmung 544
Opposition
– Daumen 17, 189
– Finger 191
– Gelenk 31
Ora serrata 477–478
Orbiculus ciliaris 477
Orbita 467
– Begrenzungen 467
– Inhalt 468
– Leitungsbahnen 469
– Nerven 470
– öffnungen 468
Orchis 343
Orexin
– Funktion 525
– Schlaf–Wach–Rhythmus 580
Organ
– Definition 52
– extraperitoneale Lage 54
– intraperitoneale Lage 54
– juxtaorales 424
– lymphatisches 48–49
–– Appendix vermiformis 51
–– Knochenmark 48
–– Lymphknoten 49–50
–– MALT 51
–– Milz 51
–– Peyer–Plaques 51
–– primäres 48
–– sekundäres 48
–– Thymus 48
–– Tonsille 50
– retroperitoneale Lage 54
– sekundär retroperitoneale Lage 54
– vomeronasales 463
– zirkumventrikuläres 525
Organum
– subcommissurale 525
–– zirkumventrikuläre Organe 525
– subfornicale 525
– vasculosum laminae terminalis 524–525
–– Osmolarität 525
–– zirkumventrikuläre Organe 524
Organum spirale 491
Oropharynx 380–381
Os
– acromiale 166
– alveolare 445, 447
– capitatum 168–169
–– Karpaltunnel 202
– carpi 168
– coccygis 89
– coxae 123
–– Knochentyp 27
– cuboideum 130
– cuneiforme 130
– ethmoidale 401, 406–407
–– Lamina orbitalis 467
–– Nasennebenhöhle 464
–– Orbitawandöffnungen 468
– femoris 126–127
– frontale 401, 406
–– Fontanelle 402
–– Fossa cranii anterior 403
–– Nasennebenhöhle 464
–– Orbitawandöffnungen 468
–– Pars orbitalis 467
– hamatum 168–169
–– Karpaltunnel 202
– hyoideum 360
–– Bandverbindung 360
–– Fraktur 360
–– Kiefergelenksbewegung 457
–– Lage 358
– ilii 123
– incisivum 408, 433
– intermaxillare 433
– ischii 123–124
– lacrimale 401, 409, 461, 467
–– Orbitawandöffnungen 468
– lunatum 168–169
–– Knochenpunkte 166
– metacarpi 169
– metatarsale 130
– nasale 401, 409, 459, 461
–– Orbita 467
– naviculare 130, 145
–– Sprunggelenk 145
– occipitale 401, 404
–– Fontanelle 402
–– M. longus capitis 365
– palatinum 401, 407
–– Orbitawandöffnungen 468
– parietale 401, 406
–– Fontanelle 402
– pisiforme 168–169
–– Guyon-Loge 203
–– Guyon–Loge 203
–– Karpaltunnel 202
–– Knochenpunkte 165
– pubis 123–124
– sacrum 88–89
–– Rumpfstruktur 80
– scaphoideum 168–169
–– Fraktur 168
–– Karpaltunnel 202
–– Knochenpunkte 166
– sesamoideum 38
– sphenoidale 401, 404–405
–– Keilbeinhöhle 404
–– Nasennebenhöhle 464
–– Orbitawandöffnungen 468
–– Synarthrose 28
– temporale 401, 405–406
–– Canalis musculotubarius 488
–– Facies articularis 454
–– Mittelohr 483
– trapezium 168–169
–– Karpaltunnel 202
– trapezoideum 168–169
–– Karpaltunnel 202
– triquetrum 168–169
–– Karpaltunnel 202
– zygomaticum 401, 409
–– Orbita 467
–– Orbitawandöffnungen 468
Os cuboideum 129
Os cuneiforme intermedium 129
Os cuneiforme laterale 129
Os cuneiforme mediale 129
Os metatarsi I 129
Os naviculare 129
Osmose 44
Osteoid 24
Osteoporose 25, 327
Ostium
– anatomicum uteri internum 332
– appendicis vermiformis 276
– cardiacum 267
– histologicum 335
– ileale 272, 276
– pharyngeum tubae 488
– pharyngeum tubae auditivae 380
– primum 232
– pyloricum 267
– secundum 232
– tympanicum tubae 488
– ureteris 308, 321
– urethrae externum 322, 339–340, 352–353
– urethrae internum 321–322, 353
– uteri externum 332
– uterinum tubae uterinae 332
– vaginae 322, 336, 340
östradiol 329
östrogene 329
Otitis media 488
Ovalzelle 291
Ovar 322, 327–328, 332
– Arterien 329
– Aufbau 328
– Drüsen 56
– Follikel 328
– Form 327
– Hormonproduktion 329
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
– Innervation 329
– Lage 327
– Lymphgefäße 329
– Peritonealüberzug 328
– primäre Geschlechtsmerkmale 21
– Venen 329
Ovarialkarzinom 328
Ovarial–Arkade 637, 643
Ovulation 327–328
Oxytocin
– Funktion 527
– Hypothalamus–Hypophysen–System 56

P

Pacchioni–Granulationen 71
Pachymeninx 69, 581
painful arc 175

Palatum 432
– durum 430, 432
–– Nasenboden 462
– molle 430, 433
Paleocortex 532
Pallidum 529–530
– Basalkerne 551
– Entwicklung 507
– externum 522, 530
–– Rückkoppelungsschleife 552–553
– internum 522, 530
–– Rückkoppelungsschleife 552–553
– Putamen 529
Pallium 64
palmar 20
Palmarflexion, Handgelenk 186
Palmaris–longus–Sehne 188
Palpebra 414
– inferius 414
– superius 414
PALS (periarterioläre Lymphozytenscheide) 51, 298–299
Pancoast–Tumor 253
Pancreas 258, 294
– Arterien 296
– Bursa omentalis 261
– Caput 294
– Cauda 295
– Corpus 295
– Drüsen 56–57
– Entwicklung 210–213
– Feinbau 295
– Form 294
– Funktion 295
– Innervation 271, 297
– Körpergliederung 17
– Lage 258, 262, 264
– Lipase 295
– Lymphgefäße 297
– Trypsin 295
– Venen 297
– Zelltypen 296
– α–Amylase 295
Pankreatitis 297
Panniculus, adiposus abdominis 107
Papez–Kreis 573–574
Papilla
– duodeni major 258, 272, 292–293, 295
– duodeni minor 272, 293, 295
– filiformis 444
– foliata 444
– fungiformis 444
– gingivalis 447
– incisiva 432
– lingualis 441, 444
– mammaria 104–105
– n. optici 480
– parotidea 431, 439
– renalis 302, 304
– Santorini 295
–– Duodenum 272
– umbilicalis 107
– vallata 444
– Vateri 272, 292, 295
Papillarmuskel 236
– Mitralklappe 240
– Trikuspidalklappe 239
Paracervix 333
Parakolpium 315, 337
Parallelfaser, Cerebellum 556
Paralyse 67
Parametrium 315, 333
Parapharyngealraum 368
Paraproktium 315
Parästhesie 67
Parasympathicus 68, 695
– Herz 242
– Kopfteil 695
– Magen 271
– Sakralteil 695
– Ureter 309
Parathormon 57, 394
– Knochenumbau 25
Parazystium 315
Parenchym
– Definition 52
– Leber 287
– Milz 298
– Niere 302
– Pancreas 295
Parese 67
Paries
– caroticus 485
– jugularis 485
– labyrinthicus 484
– mastoideus 485
– membranaceus 224, 484
– tegmentalis 485
Parietallappen
– Blutversorgung 589
– Entwicklung 507
Parinaud–Syndrom 566
Parodontium 446
Paronychium 501
Paroophoron 328
Parotisloge 423
– Leitungsbahnen 423
Parotitis epidemica 438
Pars
– abdominalis
–– aortae 620–621
–– ductus thoracici 663
–– m. pectoralis majoris 177–178, 597
– acromialis, m. deltoidei 177–178, 597
– alaris, m. nasalis 614
– ascendens
–– aortae 620
–– m. trapezii 172, 596
– basilaris, ossis occipitalis 404
– caeca, retinae 478
– cartilaginea, septi nasi 461
– cavernosa, a. carotis internae 626
– centralis, ventriculi lateralis 507
– cerebralis, a. carotis internae 626
– cervicalis
–– a. carotis internae 626
–– ductus thoracici 663
– ciliaris, retinae 478
– clavicularis
–– m. deltoidei 177–178, 597
–– m. pectoralis majoris 177–178, 597
– compacta, substantiae nigrae 520
– costalis, m. latissimi dorsi 177
– descendens
–– aortae 620–621
–– m. trapezii 172, 596
– flaccida, membranae tympanicae 483–484
– iliaca, m. latissimi dorsi 177
– inferior
–– ganglii vestibularis 681
–– m. serrati anterioris 172
–– m. trapezii 596
– infraclavicularis, plexus brachialis 200, 687–688
– insularis, a. cerebri mediae 628
– intramuralis
–– tubae uterinae 330
–– urethrae 353
– iridica, retinae 478
– labialis, m. orbicularis oris 415, 417
– lacrimalis, m. orbicularis oculi 418, 613
– lateralis, ossis occipitalis 404
– lumbalis, diaphragmae 609
– mandibularis, a. maxillaris 426
– marginalis, m. orbicularis oris 415, 417
– media, m. serrati anterioris 172
– membranacea
–– septi nasi 461
–– urethrae 354
– nasalis, ossis frontalis 406
– nervosa, retinae 479
– optica, retinae 478–479
– orbitalis
–– glandulae lacrimalis 472
–– m. orbicularis oculi 418, 471, 613
–– os frontalis 467
–– ossis frontalis 406
– ossea, septi nasi 461
– palpebralis
–– glandulae lacrimalis 472
–– m. orbicularis oculi 418, 471, 613
– petrosa
–– a. carotis internae 626
–– ossis temporalis 405
– postcommunicalis, a. cerebri posterioris 630
– precommunicalis, a. cerebri posterioris 630
– prevertebralis, a. vertebralis 629
– profunda
–– m. masseteris 612
–– m. sphincteri ani externi 611
– prostatica, urethrae 353
– pterygoidea, a. maxillaris 426
– pterygopalatina, a. maxillaris 426
– reticularis, substantiae nigrae 520
– scapularis, m. latissimi dorsi 177
– sphenoidalis, a. cerebri mediae 628
– spinalis, m. deltoidei 177–178, 597
– spongiosa, urethrae 354
– squamosa, ossis temporalis 405
– sternalis, diaphragmae 609
– sternocostalis, m. pectoralis majoris 177–178, 597
– subcutanea, m. sphincteri ani externi 611
– superficialis
–– m. masseteris 612
–– m. sphincteri ani externi 611
– superior
–– ganglii vestibularis 681
–– m. serrati anterioris 172
– supraclavicularis, plexus brachialis 687
– tensa, membranae tympanicae 483–484
– terminalis
–– a. cerebri mediae 628
–– a. cerebri posterioris 630
– thoracica
–– aortae 620–621
–– ductus thoracici 663
– transversa
–– m. nasalis 614
–– m. trapezii 172, 596
– transversaria, a. vertebralis 629
– uterina, tubae uterinae 330, 332
– vertebralis, m. latissimi dorsi 177

Passavant–Wulst 383, 434
Patella 127
– Knochenpunkte 122–123
– Oberflächenrelief 121–122
– Sesambein 38
– tanzende 140
Patellarsehne, Sesambein 38
Patellarsehnenreflex 548
Paukenhöhle 484
– Etagen 485
– Knochentyp 27
– Leitungsbahnen 486
– Schleimhautfalten 485
– Wände 484
Paukenkeller 485
Pecten
– analis 282
– ossis pubis 124
Pecten ossis pubis 124
Pedunculus cerebellaris
– inferior 515–516, 555
–– Propriozeption 547
– medius 516–517, 555
– superior 516, 555
Pelvis
– major 124
– minor 124
– renalis 301–302
Penis 351
– Arterien 353
– Aufbau 352
– Entwicklung 326
– erektile Dysfunktion 353
– Haut 352
– Innervation 353
– Lymphgefäße 353
– Schwellkörper 352
– Venen 353
Peptid, atriales natriuretisches 238
Pericardium
– fibrosum 244
–– Entwicklung 206
– serosum 245
Perichondrium 26
Pericranium 410
Periduralanästhesie 583
Periduralraum 69
Perikard 54, 244
– Blutversorgung 245
– Oberflächenanatomie 246
– Umschlagfalten 245
Perikarderguss 53, 245
Perikardhöhle 52
– Entwicklung 206–207
– primitive 207
Perikardioperitonealkanal 207–208
Perikaryon 58
Perilymphe 490
Perilymphraum 488
Perimetrium 334
Perimysium 33
Perineum 313, 339
– Muskeln 341
Perineurium 52, 62
Periodontalspalt 446
Perionychium 501
Periorbita 467
Periorchium 343, 356
Periost 24, 26
– Knochenumbau 25
– Sehnenansatz 35
peripher 20
Peristaltik
– Ductus deferens 347
– Eileiter 330
– Magen 269
Peritonealhöhle 53, 260
– Bänder 265
– Becken 314
– Bursa omentalis 260
– hintere Wand 260
– kleines Becken 313
– Körpergliederung 17
– Recessus 261
– vordere Wand 260
Peritoneum
– Entwicklung 209
– parietale 54, 254, 262
–– Entwicklung 211
–– retroparietale Lage 54
–– sekundär retroparietale Lage 54
– viscerale 54
Periurethralzone, Prostata 350
Perizyten, Kapillaren 43
Perkussion
– Herz 246
– Pleuraerguss 229
Pes
– anserinus profundus 143
– anserinus superficialis 144
– hippocampi 575
Pes anserinus 144
Petiolus 386
– epiglottidis 387
Peyer-Plaques, lymphatische Organe 49
Peyer–Plaques 51, 273
– MALT 51
Pfannenlippe 32
Pfeilnaht 400, 402
Pflugscharbein 401
– Aufbau 407
Pfortader 660
Pfortaderhochdruck 290
Pfortadersystem, hypophysäres 526
Phakomatose 503
Phalanx
– distalis 130, 169
– media 130, 169
– proximalis 130, 169
Phallus 326
Phäochromozytom 311
Pharynx 379
– Abschnitte 380
– Arterien 384
– Form 379
– Innervation 384
– Körpergliederung 17
– Lymphabfluss 384
– Muskulatur 381
– Venengeflecht 384
– Wand 380
Pheromone 463
Philtrum 414
Phimose 352
Phonation 391
Photorezeptoren 68
Phototransduktion 479
Pia
– mater 70, 584
– mater spinalis 583
Pick–Erkrankung 559
Pigmentepithel 479
Pilus 499
Pilzpapille 444
Pinselarteriole, Milz 299
Pinzettengriff 17
PIP-Gelenk 183, 186
Pit–Zelle 289
plantar 20
Plantarflexion
– Fuß 145
– Sprunggelenk 148
Plasmazelle 47
Plattfuß 129
Platysma 361, 416, 616
– Funktion 361
– Innervation 361
– N. transversus colli 376
Plazenta
– Drüsen 57
– Säugetiere 16
Pleura 54, 228
– Aufbau 228
– costalis 54, 228
–– Blutversorgung 229
– diaphragmatica 228
– Entwicklung 220
– mediastinalis 228
–– Blutversorgung 229
– Oberflächenprojektion 230
– parietalis 54, 228
–– Entwicklung 206–207
– Umschlagfalte 228
– visceralis 54, 228
–– Blutversorgung 229
–– Entwicklung 206–207
Pleuraerguss 53, 229
Pleuragrenzen 229
Pleurahöhle 52, 216
– Atemmechanik 231
– Entwicklung 206–207
Pleurakuppel 229
Pleuraspalt 228
Pleuritis 229
Pleuroperikardialfalte 207
Pleuroperikardialmembran 206–207
Pleuroperitonealfalte 208
Plexus 66
– aorticus abdominalis 698, 700
–– Äste 701
– aorticus thoracicus 698
– brachialis 196, 376, 685, 687, 698
–– Achselhöhle 200
–– Halsfaszie 367
–– Halsinnervation 375
–– Läsion 399
–– Pars infraclavicularis 687–688
–– Pars supraclavicularis 376, 687
–– Skalenuslücke 365, 398
– cardiacus 242, 683, 695, 697, 699
– caroticus communis 697
– caroticus externus 422, 682, 697
– caroticus internus 422, 675, 697
– cavernosus conchae 462
– cervicalis 375, 685–686, 698
–– Halsinnervation 375
–– M. infrahyoideus 362
–– Trigonum colli laterale 398
– choroideus 520
–– Entwicklung 508
–– III. Ventrikel 521, 585
–– IV. Ventrikel 585
–– Liquorproduktion 71, 594
–– Seitenventrikel 585
–– zirkumventrikuläre Organe 525
– coccygeus 692, 695
– coeliacus 682–683, 697, 700
–– Äste 700
– deferentialis 701
– dentalis inferior 452, 679
– dentalis superior 677
– femoralis 701
– gastricus 271, 700
– haemorrhoidalis 279
– hepaticus 271, 291, 294, 682, 684, 700
– hypogastricus inferior 280, 284, 310, 695, 698, 700–701
–– Äste 701
–– Penis 353
–– Prostata 349
– hypogastricus superior 280, 284, 310, 698, 700–701
– iliacus 701
– intermesentericus 280, 700–701
– intraparotideus 423, 679–680, 696
– lienalis 700
– lumbalis 691–692

– lumbosacralis 691, 698
– mesentericus inferior 280, 700–701
– mesentericus superior 280–281, 700–701
– myentericus 695, 701
–– Dünndarm 274
– oesophagealis 682, 699
– oesophageus 252
–– N. vagus 378
– ovaricus 701
– pampiniformis 344, 346–347, 657
–– Samenstrang 348
– pancreaticus 271, 700
– pelvicus 701
– pharyngealis 683, 697
– pharyngeus 378, 651
–– Gaumen 434
– phrenicus 700
– prostaticus 351, 701
– pterygoideus 426, 651–652
–– Gaumen 434
–– Kaumuskulatur 457
–– Nasenhöhle 463
–– Zähne 451
– pulmonalis 227, 695, 697, 700
– rectalis 280, 284
– rectalis inferior 701
– rectalis medius 701
– rectalis superior 701
– renalis 307, 312, 700–701
– sacralis 284, 691–692
– splenicus 271
– subclavius 697
– submucosus 695, 701
– subserosus 701
– suprarenalis 312, 700
– testicularis 700–701
– thyroideus 372
– thyroideus impar 394, 649, 651
– tympanicus 681
–– Paukenhöhle 486
– uretericus 307, 310, 701
– uterovaginalis 336–337, 701
– venosus, areolaris 104
– venosus areolaris 656
– venosus canalis hypoglossi 651
– venosus caroticus internus 652
– venosus foraminis ovalis 652
– venosus pharyngeus 384
– venosus prostaticus 658
– venosus rectalis 658
– venosus recti 279
– venosus sacralis 658
– venosus subcutaneus 282
– venosus suboccipitalis 650
– venosus uterinus 336, 658
– venosus vaginalis 337, 658
– venosus vertebralis, cavocavale Anastomose 118
– venosus vertebralis externus 118, 660
–– anterior 660
–– posterior 660
– venosus vertebralis internus 118, 660
– venosus vesicalis 322, 658
–– Penis 353
–– Prostata 351
– vertebralis 697
– vesicalis 310
Plexus vesicalis 701
Plexuslähmung 399
Plexusnerv 67
Plica
– alaris 140
– aryepiglottica 386
– axillaris anterior 199
– axillaris posterior 199
– circularis 273
– epigastrica 110
– fimbriata 441
– gastrica 268
– glossoepiglottica lateralis 441
– glossoepiglottica mediana 441
– interureterica 321
– lacrimalis 472
– longitudinalis duodeni 272, 292
– n. laryngei 381
– palmata 335
– pleuropericardialis 206
– pleuroperitonealis 206
– rectouterina 333
– salpingopalatina 381
– salpingopharyngea 381–382
– semilunaris 275
– semilunaris coli 277
– semilunaris conjunctivae 472
– sublingualis 435, 439
– synovialis infrapatellaris 140
– transversa media 277
– transversa recti 277, 282
– umbilicalis lateralis 110–111
– umbilicalis medialis 110–111
– umbilicalis mediana 110–111, 320
– vestibularis 386
– vocalis 386
Pneumothorax 229
Podozyt 304
Poliomyelitis 512
Polkissen 305
Polymastie 104
Polythelie 104
Polyurie 305
POMC (Proopiomelanocortin) 57
Pons 516–517
– Entwicklung 504–505
– ZNS–Bauplan 63
Pontocerebellum 555
– Funktionen 557
Porta
– arteriosa 232
– hepatis 285
– venosa 232
Portalvenenläppchen 288
Portio
– supravaginalis 331
– vaginalis 331
Porus
– acusticus externus 408, 489
– acusticus internus 405, 408, 489
posterior 20
Posterolateralinfarkt 245
Postikus 389–390
Prämenopause 326
Prämolar 449
– Zahnform 451
Precuneus 534
Preputium 352
– clitoridis 339, 341
Presbyopie 481
Pressorezeptoren 68
Primärbündel, Muskel 33
Primärfollikel 49, 328
Primaten, Merkmale 16
Primitivknoten 73
Primitivrinne 73
Primitivstreifen 73
Primordialfollikel 328
Processus
– accessorius, Lendenwirbel 88
– alveolaris 408
–– Synarthrose 28
– articularis
–– Brustwirbel 87
–– Kreuzbein 89
–– Lendenwirbel 88
–– Steißbein 89
– condylaris 453
– coracoideus 166
–– Knochenpunkte 98, 165
– coronoideus 168, 410
– costalis, Lendenwirbel 88
– frontalis 409
– jugularis, ossis occipitalis 365
– mamillaris 88
– mastoideus 27, 405–406
–– M. sternocleidomastoideus 361
– muscularis 387
– orbitalis 409
– palatini 432
– palatinus 407
– pterygoideus 404, 432
– spinosus
–– Brustwirbel 87–88
–– Halswirbel 86
–– Knochenpunkte 84
–– Lendenwirbel 88
–– Rückenanatomie 84
– styloideus 405–406
–– M. stylohyoideus 364
– styloideus radii 168–169
–– Radiusfraktur 168
– styloideus ulnae 168–169
– supracondylaris 201
– transversus
–– atlantis 85–86
–– Brustwirbel 87
–– Halswirbel 86
– transversus atlantis, M. rectus capitis lateralis 365
– uncinatus 258, 294
– vaginalis 110
– vaginalis peritonei
–– Hernie 111
–– Samenstrang 348
– vocalis 386–387
– xiphoideus 101
– zygomaticus 406, 409
profundus 20
Progenie 449
Progesteron 329
Prognathie 449
Projektionsfaser 64, 507, 531
Projektionsneuron 59
Proktodeum 214
Prolaktin 526
Proliferationsphase (Menstruationszyklus) 334
Prominentia, laryngea 358, 387
Promontorium 89, 125
– Conjugata anatomica 125
– Conjugata diagonalis 125
– Conjugata vera 125
– Männer 126
Pronation
– Bewegungsprüfung 182
– Ellenbogengelenk 182
– Entwicklung der Extremitäten 82
– Gelenk 31
– Sprunggelenk 146, 149
Pronator–teres–Syndrom 197
Proportionen, Körper 19, 21
Propriozeption 545
– bewusste 545
Propriozeptoren 68
Prosencephalon
– Entwicklung 503–504, 506
– ZNS–Bauplan 64
Prostata 343, 348–349
– Arterien 351
– Außenzone 350

– Becken 314
– Ejakulation 355
– Form 349
– Gliederung 350
– Harnblase 349
– Innenzone 350
– Innervation 351
– Lagebeziehung 321, 349
– Peritoneum 315
– Periurethralzone 350
– Stroma 350
– Transitionalzone 350
– Urethra 350, 353
– Venen 351
Prostatahyperplasie 351
Prostatakarzinom 351
Protrusion, Kiefergelenk 455, 458
proximal 20
Pseudarthrose, Scaphoidfraktur 168
Psoasarkade 218–219
Pubertät, sekundäre Geschlechtsmerkmale 21
Puerperium 338
Pulmo 221
Pulmonalklappe 41, 237, 239, 246
– Auskultationsstelle 246
Pulpa
– coronalis 446
– dentis 445–446
– Funktionen 446
– Milz 298
–– rote 299
–– weiße 298
– radicularis 446
Punctum
– fixum 34
– lacrimalis 472
– mobile 34
– nervosum 375, 685
Pupille 476
– enge 476
– Miosis 569
– Mydriasis 569
– weite 476
Pupillenreflex 569
Pupillenstarre, amaurotische 570
Puppenaugenphänomen 560
Purkinje–Fasern 241–242
Purkinje–Zelle
– Cerebellum 556
– Kleinhirnrinde 556
Putamen 522, 529
– Basalkerne 551
– Entwicklung 507
– Rückkoppelungsschleife 552
Pyelitis 308
Pyelonephritis 308
Pykniker 22
Pylorus 267
Pyramide 515
Pyramidenbahn 515, 548
– amyotrophe Lateralsklerose 551
– Hemiplegie 550
– Rückenmark 513
– Verlauf 532, 549
Pyramidenschicht, Cornu ammonis 576
Pyramidenzelle 532
Pyramis 515
– bulbi 516
– medullae oblongatae 516
– renalis 302, 304

Q

Quadratusarkade 218–219
Querfortsatz, Kreuzbein 88
Querschnittlähmung 514
– Atemmechanik 231

R

Rabenschnabelfortsatz 166
Rachen 379
– Körpergliederung 17
Rachenmandel 380
Rachenring, lymphatischer 381, 436
Radgelenk 30
radial 20
Radialabduktion, Handgelenk 187
Radialistunnel 196
Radiatio
– acustica 563
– optica 565
Radioulnargelenk
– distales 183
– proximales 180
–– Radgelenk 30
Radius 168
– Fraktur 168
Radiusköpfchen 168
– Knochenpunkte 166
– Morbus Chassaignac 181
Radix
– anterior 510
–– n. spinalis 684
–– Spinalnerven 65
– cranialis, n. accessorii 684
– dentis 445
– lateralis, nervi mediani 688
– linguae 440–441
– medialis, nervi mediani 688
– Meso 54
– motoria, n. trigemini 539, 675
– nasi 414, 459
– parasympathica, ganglii ciliaris 674
– penis 352
– posterior 510
–– n. spinalis 684
–– Spinalnerven 65
– pulmonis 221
– sensoria
–– ganglii ciliaris 674
–– n. trigemini 675
– spinalis, n. accessorii 684
– superior, ansae cervicalis 686
– sympathica, ganglii ciliaris 674
Ramus
– acetabularis 153
–– a. circumflexae femoris medialis 645
–– a. obturatoriae 641
– acromialis
–– a. suprascapularis 631
–– a. thoracoacromialis 632
– alveolaris inferioris 452
– alveolaris superior, n. lingualis 452
– alveolaris superior anterior 676
–– n. infraorbitalis 451
–– n. maxillaris 428
– alveolaris superior medius 676
–– n. infraorbitalis 451
–– n. maxillaris 428
– alveolaris superior posterior 676
–– n. infraorbitalis 451
–– n. maxillaris 428
– anastomoticus, a. meningeae mediae 625
– anterior
–– a. obturatoriae 153, 641
–– a. pancreaticoduodenalis inferioris 639
–– a. renalis 636
–– n. auricularis magni 420, 685
–– n. auricularis magnus 424
–– n. cervicalis 685
–– n. coccygei 694, 698
–– n. cutanei antebrachii medialis 688
–– n. lumbalis 698
–– n. obturatorii 157, 691
–– n. sacralis 692, 698
–– n. spinalis 92, 118–119, 375, 510, 685
–– n. thoracici 690
–– v. pulmonalis dextrae superioris 648
–– v. pulmonalis sinistrae superioris 648
– apicalis, v. pulmonalis dextra superior 648
– apicoposterior, v. pulmonalis sinistrae superioris 648
– articularis
–– a. descendentis genicularis 645
–– n. fibularis communis 693
–– n. fibularis profundi 693
–– n. mediani 689
–– n. obturatorii 691
–– n. radialis 689
–– n. tibialis 694
–– n. ulnaris 688
– ascendens
–– a. circumflexa femoris lateralis 645
–– a. circumflexa femoris medialis 645
–– a. circumflexae femoris lateralis 161
–– a. transversae cervicis 631
– atrialis
–– a. coronariae dextrae 621–622
–– a. coronariae sinistrae 622
– atrialis anastomoticus, a. coronariae sinistrae 622
– atrialis intermedius
–– a. coronariae dextrae 621
–– a. coronariae sinistrae 622
– auricularis
–– a. auricularis posterioris 625
–– a. occipitalis 624
–– n. facialis 680
–– n. vagi 484, 683
– auricularis anterior, a. temporalis superficialis 625
– auricularis posterior, n. facialis 421
– basalis tentorii, a. carotis internae 626
– bronchialis 226, 228, 683
–– a. thoracicae internae 630
–– aortae thoracicae 635
–– dexter 635
–– n. vagi 684
– buccalis, n. facialis 421, 423, 680
– calcaneus
–– a. fibularis 647
–– a. tibialis posterioris 647
–– lateralis 694
–– medialis 694
– calcarinus
–– a. cerebri posterioris 588
–– a. occipitalis medialis 630
– capsulae internae, a. choroideae anterioris 628
– capsularis, a. renalis 636
– cardiacus cervicalis inferior 683
– cardiacus cervicalis superior 683
– cardiacus thoracicus 683, 697
–– n. vagi 684

– carpalis dorsalis a. radialis 634
– carpalis dorsalis a. ulnaris 634
– carpalis palmaris a. radialis 634
– carpalis palmaris a. ulnaris 634
– caudae nuclei caudati
–– a. choroideae anterioris 628
–– a. communicantis posterioris 627
– centralis anteromedialis, a. communicantis anterioris 628
– chiasmaticus, a. communicantis posterioris 627
– choroideus posterior, a. cerebri posterioris 588, 630
– choroideus ventriculi lateralis, a. choroideae anterioris 628
– choroideus ventriculi quarti 629
– choroideus ventriculi tertii, a. choroideae anterioris 628
– circumflexus 243, 245
–– a. coronariae sinistrae 622
–– fibularis 154
– circumflexus fibularis 647
– circumflexus sinister, a. coronariae sinistrae 621
– clavicularis, a. thoracoacromialis 632
– clivus, a. carotis internae 627
– clunium [glutealis] inferior 693
– clunium [glutealis] medius 692
– clunium [glutealis] superior 691
– cochlearis, a. labyrinthi 491
– coeliacus 683
–– n. vagi 684
– colicus, a. ileocolicae 639
– collateralis 690
–– a. intercostalis posterioris 635
– colli, n. facialis 421, 423, 680
– colli n. facialis 361, 376–377
– communicans
–– a. fibularis 647
–– albus 510, 512, 685, 695
–– albus n. spinalis 66
–– cum chorda tympani 679, 682
–– cum nervo auriculotemporali 681
–– cum nervo faciali 679
–– cum nervo glossopharyngeo 680, 683
–– cum nervo hypoglosso 679
–– cum nervo laryngeo recurrenti 683
–– cum nervo pterygoideo mediali 678
–– cum nervo ulnari 689
–– cum nervo vago 680–681
–– cum plexu tympanico 680
–– cum ramo auriculari nervi vagi 682
–– cum ramo auricularis nervi vagi 681
–– cum ramo meningeo 682
–– fibularis 158, 693
–– griseus 510, 685, 697
–– griseus n. spinalis 66
–– n. spinalis 685
–– ulnaris 689
– coni arteriosi 243
–– a. coronariae dextrae 621–622
–– a. coronariae sinistrae 621–622
– corporis amygdaloidei, a. choroideae anterioris 628
– corporis callosi dorsalis 630
– corporis geniculati lateralis, a. choroideae anterioris 628
– costalis lateralis, a. thoracicae internae 630
– cricothyroideus, a. thyroideae superioris 392, 623
– cutaneus
–– n. obturatorii 156–157, 161, 691
–– n. plantaris lateralis 156
–– n. plataris medialis 156
– cutaneus anterior
–– n. femoralis 157, 691
–– n. iliohypogastrici 156, 691
–– n. interspinalis 119
–– n. thoracici 690
– cutaneus cruris medialis 691
– cutaneus femoris anterior, n. femoralis 156
– cutaneus lateralis 118, 635
–– n. iliohypogastrici 156, 691
–– n. interspinalis 119
–– n. thoracici 690
– cutaneus lateralis abdominalis 690
– cutaneus lateralis pectoralis 690
– cutaneus medialis 118, 635
–– n. thoracici 690
– deltoideus
–– a. profundae brachii 633
–– a. thoracoacromialis 632
– dentalis
–– a. alveolaris inferior 451
–– a. alveolaris inferioris 625
–– a. alveolaris superior 450
–– a. alveolaris superioris anterioris 625
–– a. alveolaris superioris posterioris 625
– dentalis inferior 679
–– plexus dentalis inferior 452
– dentalis superior 677
–– plexus dentalis 452
– descendens
–– a. circumflexa femoris lateralis 645
–– a. circumflexa femoris medialis 645
–– a. circumflexae femoris lateralis 154, 161
–– a. occipitalis 624
–– n. hypoglossi 686
– dexter
–– a. hepaticae propriae 637
–– v. portae 660–661
– digastricus, n. facialis 680
– diploicus, a. supraorbitalis 627
– dorsalis
–– a. intercostalis posterioris 634–635
–– a. intercostalis supremae 631
–– a. lumbalis 116, 636
–– a. subcostalis 635
–– n. dorsalis 198
–– n. spinalis 66
–– n. ulnaris 199, 688
–– Rückenhaut 113
–– v. lumbalis 651
– dorsalis linguae, a. lingualis 444, 624
– duodenalis
–– a. pancreaticoduodenalis superioris anterioris 638
–– a. pancreaticoduodenalis superioris posterioris 637
– epididymalis, a. testicularis 637
– externus
–– n. accessorii 684
–– n. laryngei superioris 683
– externus n. laryngei superioris 378, 389
– femoralis
–– n. genitofemoralis 156–157, 160, 691
–– n. genitofemoralis, Kremasterreflex 356
– frontalis
–– a. callosomargnialis 628
–– a. meningeae mediae 625
–– a. temporalis superficialis 411, 625
– ganglionaris, n. lingualis 679
– ganglionicus 676
– ganglionis trigeminalis, a. carotis internae 626
– gastricus 683
–– a. gastroomentalis dextrae 637
–– a. gastroomentalis sinistrae 639
– gastricus anterior, n. vagi 684
– gastricus posterior, n. vagi 684
– genitalis
–– n. genitofemoralis 120, 156, 691
–– n. genitofemoralis, Kremasterreflex 356
– genitalis n. genitofemoralis, Samenstrang 348
– gingivalis inferior 679
–– plexus dentalis inferior 452
– gingivalis superior 677
–– plexus dentalis 452
– glandularis
–– a. facialis 440, 624
–– a. thyroidea inferior 631
– glandularis anterior, a. thyroideae superioris 623
– glandularis lateralis, a. thyroideae superioris 623
– glandularis posterior, a. thyroideae superioris 623
– globi pallidi, a. choroideae anterioris 628
– helicinus 643
– hepaticus 683
–– n. vagi 684
– hypothalamicus, a. communicantis posterioris 627
– ilealis, a. ileocolicae 639
– iliacus, a. iliolumbalis 642
– inferior
–– n. oculomotorii 470, 674–675
–– n. transversi colli 685
–– ossis pubis 123–124
– inferior ventriculi sinistri 243
– infrahyoideus, a. thyroideae superioris 623
– infrapatellaris 691
–– n. sapheni 156
– inguinalis, a. pudendae externae 644
– intercostalis anterior 630
–– a. thoracicae internae 630, 635
– interganglionaris 699
– intermedius, a. hepaticae propriae 637
– internus

–– n. accessorii 684
–– n. laryngei superioris 683
– internus n. laryngei superioris 378, 386
– interventricularis anterior 243, 245
–– a. coronariae sinistrae 621–622
– interventricularis posterior 243
–– a. coronariae dextrae 621–622
–– a. coronariae sinistrae 621
– interventricularis septalis
–– a. coronariae dextrae 621
–– a. coronariae dextrae a. coronariae dextrae 622
–– a. coronariae sinistrae 621
– isthmi faucium 679
– labiali superior, n. infraorbitalis 420
– labialis, n. mentalis 420
– labialis anterior 341, 644
– labialis inferior 679
– labialis posterior 341, 641
– labialis superior 677
– laryngopharyngealis 697
–– n. glossopharyngei 681
– lateralis 243, 245
–– a. coronariae sinistrae 621–622
–– n. spinalis 685
–– n. supraorbitalis 420, 675
–– n. thoracici 690
– lateralis nasi, a. facialis 624
– lingualis
–– n. facialis 680
–– n. glossopharyngei 681–682
–– n. hypoglossi 684
–– n. lingualis 679
– lingularis, v. pulmonalis sinistrae superioris 648
– lobi inferioris
–– a. pulmonalis dextrae 619
–– a. pulmonalis sinistrae 619
– lobi medii
–– a. pulmonalis dextrae 619
–– v. pulmonalis dextrae superioris 648
– lobi superioris
–– a. pulmonalis dextrae 619
–– a. pulmonalis sinistrae 619
– lumbalis, a. iliolumbalis 642
– malleolaris lateralis 647
– malleolaris medialis 647
– mammarius lateralis 632, 635, 690
– mammarius medialis 690
–– a. thoracicae internae 630
– marginalis dexter 243
–– a. coronariae dextrae 621–622
– marginalis mandibulae, n. facialis 421
– marginalis mandibularis, n. facialis 423, 680
– marginalis sinister 243, 245
–– a. coronariae sinistrae 622
– marginalis tentorii, a. carotis internae 626
– mastoideus, a. occipitalis 624
– meatus acustici interni 630
– medialis
–– n. spinalis 685
–– n. supraorbitalis 420, 675
–– n. thoracici 690
– mediastinalis
–– a. thoracicae internae 630
–– aortae thoracicae 636
– medullaris, a. vertebralis 630
– membranae tympanicae 679
– meningeus 118
–– a. carotis internae 626
–– a. occipitalis 624
–– a. vertebralis 629
–– Innervation der Rückenmarkshäute 70
–– n. mandibularis 427, 678
–– n. maxillaris 676
–– n. spinalis 66, 510, 685
–– n. vagi 683
– meningeus accessorius, a. meningeae mediae 625
– meningeus anterior, a. ethmoidalis anterior 627
– meningeus recurrens, a. lacrimalis 627
– mentalis
–– a. alveolaris 419
–– a. alveolaris inferior 451
–– n. mentalis 420, 679
– muscularis
–– a. sacralis lateralis 642
–– a. thyroidea inferior 631
–– a. vertebralis 629
–– fasciculi lateralis 688
–– n. axillaris 689
–– n. femoralis 691
–– n. fibularis profundi 693
–– n. fibularis superficialis 693
–– n. intercostalis 690
–– n. mediani 689
–– n. pudendi 694
–– n. radialis 689
–– n. supraclavicularis 686
–– n. tibialis 694
–– n. ulnaris 688
– muscularis thenaris, n. mediani 202
– musculi stylopharyngei 378
–– n. glossopharyngei 681–682
– mylohyoideus, a. alveolaris inferioris 625
– nasalis
–– internus, n. infraorbitalis 420
–– n. ethmoidalis anterioris 675
– nasalis anterior lateralis
–– a. ethmoidalis anterior 627
–– a. ethmoidalis anterioris 463
– nasalis externus 677
–– a. ethmoidalis anterior 419, 627
–– n. ethmoidalis anterioris 675
–– n. infraorbitalis 420, 677
–– n. nasociliaris 420, 464
– nasalis internus
–– n. ethmoidalis anterioris 675
–– n. infraorbitalis 464, 677
– nasalis internus lateralis 677
– nasalis internus medialis 677
– nasalis lateralis, n. ethmoidalis anterioris 675
– nasalis lateralis ganglii pterygopalatini 678
– nasalis medialis
–– n. ethmoidalis anterioris 675
–– n. nasociliaris 420
– nasalis posterior inferior 678
– nasalis posterior superior lateralis, n. maxillaris 464
– nasalis posterior superior lateralis ganglii pterygopalatini 678
– nasalis posterior superior medialis, n. maxillaris 464
– nasalis posterior superior medialis ganglii pterygopalatini 678
– nervi oculomotorii, a. communicantis posterioris 627
– nodi atrioventriculares 243
–– a. coronariae dextrae 621–622
–– a. coronariae sinistrae 622
– nodi sinuatrialis 243
–– a. coronariae dextrae 621–622
–– a. coronariae sinistrae 622
– nuclei rubris, a. choroideae anterioris 628
– nucleorum hypothalamicorum, a. choroideae anterioris 628
– obturatorius, a. epigastricae inferioris 643
– occipitalis
–– a. auricularis posterioris 625
–– a. occipitalis 624
–– n. facialis 680
– occipitotemporalis, a. occipitalis medialis 630
– oesophagealis 635
–– a. gastricae sinistrae 637
–– a. thyroidea inferior 631
–– n. laryngei recurrentis 683
–– trunci sympathici 697
– omentalis
–– a. gastroomentalis dextrae 637
–– a. gastroomentalis sinistrae 639
– orbitalis, a. meningeae mediae 625
– orbitalis ganglii pterygopalatini 678
– ossis ischii 123–124
– ovaricus, a. uterinae 643
– ovaricus a. uterinae 329, 334, 336
– palmaris
–– n. mediani 689
–– n. medianus 198–199
–– N. ulnaris 198–199, 688
– palmaris profundus, a. ulnaris 195
– palmaris profundus a. ulnaris 634
– palmaris superficialis, a. radialis 194
– palmaris superficialis a. radialis 634
– palpebralis
–– n. infraorbitalis 472
–– n. infratrochlearis 676
–– n. nasociliaris 420
–– n. supraorbitalis 472
– palpebralis inferior, n. infraorbitalis 420
– palpebralis inferior n. infraorbitalis 677
– pancreaticus
–– a. pancreaticoduodenalis superioris anterioris 638
–– a. pancreaticoduodenalis superioris posterioris 637
–– a. splenicae 638
– parietalis
–– a. meningeae mediae 625
–– a. occipitalis medialis 630
–– a. temporalis superficialis 411, 625
– parietooccipitalis, a. occipitalis medialis 630
– parotideus 651
–– a. auricularis posterioris 624
–– a. temporalis superficialis 439, 625
–– n. auriculotemporalis 679

– pectoralis, a. thoracoacromialis 632
– peduncularis, a. cerebri posterior 630
– perforans
–– a. fibularis 647
–– a. metatarsalis plantaris 647
–– a. thoracicae internae 116, 630
– pericardiacus 635
–– n. phrenici 686
– peridentalis
–– a. alveolaris inferior 451
–– a. alveolaris inferioris 625
–– a. alveolaris superior 450
–– a. alveolaris superioris anterioris 625
–– a. alveolaris superioris posterioris 625
– perinealis, n. cutanei femoralis posterioris 693
– petrosus, a. meningeae mediae 625
– pharyngealis
–– a. palatinae descendentis 625
–– a. pharyngeae ascendentis 624
–– a. thyroidea inferior 631
–– n. glossopharyngei 681–682
–– n. vagi 683
– pharyngeus n. glossopharyngei 378
– pharyngeus n. vagi 378
– phrenicoabdominalis, n. phrenici 686
– posterior
–– a. obturatoriae 153, 641
–– a. pancreaticoduodenalis inferioris 639
–– a. renalis 636
–– n. auricularis magni 685
–– n. auricularis magnus 413
–– n. cervicalis 685
–– n. coccygei 694
–– n. cutanei antebrachii medialis 688
–– n. lumbalis 691
–– n. obturatorii 157, 691
–– n. sacralis 692
–– n. spinalis 92, 118, 377, 510, 685
–– v. pulmonalis dextrae superioris 648
– posterior ventriculi sinistri, a. coronariae sinistrae 622
– profundus
–– a. circumflexa femoris medialis 645
–– a. glutealis superioris 642
–– a. plantaris medialis 647
–– a. transversae cervicis 171, 370, 631
–– n. plantaris lateralis 158, 694
–– n. radialis 197, 202, 689
–– n. ulnaris 203, 688
– prostaticus, a. vesicalis inferioris 643
– pterygoideus
–– a. carotis internae 626
–– a. maxillaris 625
–– Kaumuskulatur 457
– pubicus
–– a. epigastricae inferioris 117, 643
–– a. iliacae externae 644
–– a. obturatoriae 641
–– v. epigastricae inferioris 658
– pulmonalis thoracicus 697
– pyloricus, n. vagi 684
– renalis, n. vagi 684
– sacralis lateralis, a. sacralis medianae 621
– saphenus, a. descendentis genicularis 645
– scrotalis anterior, a. pudendae externae 644
– scrotalis posterior a. perinealis 641
– septalis anterior
–– a. ethmoidalis anterior 627
–– a. ethmoidalis anterioris 463
– septalis nasalis ganglii pterygopalatini 678
– septalis posterior, a. sphenopalatinae 463, 626
– septi nasi, a. labialis superioris 624
– sinister
–– a. hepaticae propriae 637
–– v. portae 660–661
– sinus carotici 378, 397, 682
–– n. glossopharyngei 681
– sinus cavernosi, a. carotis internae 626
– sinus maxillaris ganglii pterygopalatini 678
– spinalis
–– a. cervicalis ascendens 631
–– a. cervicalis profundae 631
–– a. intercostalis posterioris 635
–– a. intercostalis supremae 631
–– a. lumbalis 116, 636
–– a. sacralis lateralis 642
–– a. subcostalis 635
–– a. vertebralis 629
–– v. intervertebralis 651
– splenicus, a. splenicae 638–639
– sternalis, a. thoracicae internae 116, 630
– sternocleidomastoideus
–– a. occipitalis 624
–– a. thyroideae superioris 623
– stylohyoideus, n. facialis 680
– subscapularis, a. thoracoacromialis 632
– substantiae nigrae, a. choroideae anterioris 628
– substantiae perforatae anterioris, a. choroideae anterioris 628
– superficialis
–– a. circumflexa femoris medialis 645
–– a. glutealis superioris 642
–– a. plantaris medialis 647
–– a. transversae cervicis 631
–– a. ulnaris 203
–– arteriae transversae cervicis 370
–– n. plantaris lateralis 158, 694
–– n. radialis 188, 197–199, 202, 689
–– n. ulnaris 203, 688
– superior
–– n. oculomotorii 470, 674–675, 696
–– n. transversi colli 685
–– n. transversus colli 361
–– ossis pubis 123–124
–– v. pulmonalis dextrae superioris 648
– suprahyoideus, a. lingualis 624
– sympathicus, n. carotici externi 697
– temporalis
–– a. cerebri posterioris 588
–– a. occipitalis lateralis 630
–– n. facialis 421, 423, 680
– temporalis superficialis, n. auriculotemporalis 420
– temporalis superficialis n. auriculotemporalis 679
– tentorii 677
–– n. ophthalmici 675
– thalamicus
–– a. cerebri posterior 630
–– a. communicantis posterioris 627
– thymicus, a. thoracicae internae 630
– thyrohyoideus n. supraclavicularis 686
– tonsillae cerebelli 629
– tonsillaris
–– a. facialis 624
–– n. glossopharyngei 681–682
– trachealis
–– a. thoracicae internae 630
–– a. thyroidea inferior 631
–– n. laryngei recurrentis 683
– tractus optici, a. choroideae anterioris 628
– transversus, a. circumflexae femoris lateralis 645
– tubarius
–– a. ovaricae 637
–– a. uterinae 643
–– n. tympanici 682
– tubarius a. uterinae 331, 336
– tuberis cinerei, a. choroideae anterioris 628
– uretericus
–– a. ovaricae 637
–– a. renalis 636
–– a. testicularis 637
–– a. umbilicalis 643
– vaginalis
–– a. rectalis mediae 643
–– a. uterinae 643
– vaginalis a. uterinae 337
– ventralis, n. spinalis 66
– ventricularis, a. coronariae dextrae 621–622
– vestibularis, a. labyrinthi 495
– vestibulocochlearis, a. labyrinthi 491, 495
– zygomaticofacialis, n. zygomatici 677
– zygomaticotemporalis
–– n. zygomatici 677
–– n. zygomaticofacialis 413
– zygomaticus
–– a. lacrimalis 419, 627
–– n. facialis 421, 423, 680

Ranvier–Schnürringe 62
Raphe
– mylohyoidea 363
– palati 432
– palpebralis lateralis 418
– pharyngis 381
– pterygomandibularis 368, 416
– scroti 355
Raphekerne 580
– Schlaf–Wach–Rhythmus 581
Raschkow–Plexus 452
Raum, perilymphatischer 488
Rautengrube 515
– Entwicklung 506
Rautenhirn
– Entwicklung 503
– ZNS–Bauplan 63
Rautenlippe 505
Reagenzglasdrüsen 277
Reaktion, sexuelle
– Frau 342
– Mann 354

Recessus
– costodiaphragmaticus 229–230
–– Leberpunktion 256
–– Röntgenbild 230
– costomediastinalis 229
– duodenalis 261
– Gelenk 28
– hepatorenalis 260
– iliocaecalis 261
– inferior bursae omentalis 261
– infundibularis 521
– intersigmoideus 261
– lateralis 520
– pharyngeus 381
– phrenicomediastinalis 229
– pinealis 520, 522
– piriformis 381–382, 386
– pleuralis 229
– sacciformis 180
– sphenoethmoidalis 465
– splenicus bursae omentalis 261
– subhepaticus 261
– subphrenici 261
– subpopliteus 145
– superior bursae omentalis 261
– supraopticus 521
– suprapatellaris 140
– suprapinealis 520, 522
Rechtsherzinsuffizienz 41
Rechtsversorgertyp 244
Rectum 275, 277, 284
– Arterien 278
– Becken 314
– Colitis ulcerosa 278
– Entwicklung 214
– Karzinom 283
– kleines Becken 313
– Körpergliederung 17
– Lage 262
– Peritoneum 315
– Sphinktersystem 282
Rectumpfeiler 333–334
Reflex
– kutiviszeraler 120
– monosynaptischen 548
– spinaler 548
– vestibulookulärer 560
Reflexblase 324
Reflexbogen 513
Regenbogenhaut 476
Regio
– analis 314
– buccalis 422
– cervicalis 359
– cervicalis anterior 359
– cervicalis lateralis 359
– cervicalis posterior 359
– facialis 414
– frontalis 413
– olfactoria 463
– parotideomasseterica 423
– perinealis 316
–– Gliederung 313
– sternocleidomastoidea 359, 395
–– Arterien 395
–– Lymphknoten 395
–– Nerven 395
–– Venen 395
– sublingualis 435
– urogenitalis 314
Reifeteilung, meiotische 345
Reissner–Membran 491
Rektusdiastase 107
Rektusscheide 106
Ren 300
Rete
– arteriosum 42
– articulare cubiti 633
– articulare genus 154, 645
– calcaneum 155, 647
– carpale dorsale 634
– carpale palmare 634
– dorsale pedis 646
– malleolare laterale 155, 646
– malleolare mediale 647
– testis 345
– venosum dorsale manus 656
– venosum dorsale pedis 155, 659
– venosum plantare 659
Retikulozyten 46
Retina 475, 478
– Abschnitte 478
– Pars caeca 478
– Pars nervosa 479
– Pars optica 478
–– Schichten 479
– Pigmentepithel 479
Retinaculum
– extensorum inferius 159
– fibularium 160
– flexorum 160, 192, 202
– Muskelhilfseinrichtung 37
– patellae laterale 140
– patellae mediale 140
– Sehne 35
Retinaculum musculorum flexorum 185
Retroperitonealraum 53
– Definition 300
– Harnwege 307
– Körpergliederung 17
– Nebenniere 310
– Niere 300
– Organe 300
Retropharyngealabszess 368
Retroversion
– Gelenk 31
– Schultergelenk 175
Retrusion, Kiefergelenk 455, 458
Retzius–Raum 320
Rexed–Schichtengliederung 512
Rezeptor
– ionotroper 58
– metabotroper 58
Rhabdosphincter 323, 354
Rhachischisis 502
Rhinitis acuta 464
Rhinoskopie 460
Rhombencephalon
– Entwicklung 503–505
– Ventrikelsystem 505
– ZNS–Bauplan 63
Rhythmus, zirkadianer 64, 581
Richtungsbezeichnung 19
Riechbahn 572
– limbisches System 573
– Verlauf 572
Rieseninfarkt 245
Riesenwuchs 21
Rima
– glottidis 386
– oris 414, 431
– palpebrarum 414
– pudendi 339
Rindenareal, primäres 534
Ring, hepatopancreatischer 210
Ringknorpel 385, 387
Ringmuskelschicht
– Dünndarm 274
– Magen 268
Ringmuskulatur
– Analkanal 282
– Bauhin–Klappe 276
– Dickdarm 275
Riolan–Anastomose 278–279
Riolan–Muskel 471
Rippen 99
– Arterienverlauf 115
– echte 99
– Einzelsegmente 79
– falsche 99
– Knochenpunkte 84
– Krümmungen 99
– Rumpfstruktur 80
– überzählige 100
Rippen-Wirbel-Gelenk 102
Rippenatmung 231
Rippenbogenwinkel 102
Rippenfell 54, 228
Rippenhöcker 102
Rippenusuren 234
Rippen–Wirbel–Gelenk 102
Röhrenknochen
– Druckfestigkeit 27
– Torsionsfestigkeit 27
– Zugfestigkeit 27
Rokitansky–Aschoff–Krypten 293
Rosenmüller–Grube 381
Rosenmüller–Lymphknoten 159
rostral 20
Rostrum, corporis callosi 530
Rotation
– Brustwirbelsäule 90
– Halswirbelsäule 90
– Kniegelenk 142
– Kopfgelenk 92
Rotatorenmanschette 178
Rouvière–Dreieck 374
Rücken
– Arterien 115
– Hautarterien 113
– Knochenpunkte 84
– Oberflächenanatomie 83
– Oberflächenrelief 83
Rückenfurche 83
Rückenmark 63, 508
– Arterien 590
– Entwicklung 503, 505
– Gliederung 508
– graue Substanz 511
– Hinterhorn 512
– Hinterstrang 513
– Hüllen 69
– Nervenzellen 510
– Pyramidenbahn 513
– Querschnitt 510
– Reflexbogen 513
– Seitenhorn 512
– Seitenstrang 513
– Venen 660
– Vorderhorn 511
– Vorderstrang 513
– weiße Substanz 513
–– Gliederung 513
– Zentralkanal 513
– ZNS–Bauplan 63
Rückenmarkshaut 583
– harte 69, 583
– Innervation 70
– weiche 70, 583
Rückenmarksnerv 684
Rückenmarkssegment 66, 510
– Schädigung 67
Rückenmuskulatur 85
– autochthone 93
–– hintere kurze Nackenmuskeln 96
–– intertransversales System 95
–– lateraler Trakt 94–95
–– medialer Trakt 94–95
–– prävertebrale Halsmuskeln 97
–– sakrospinales System 95
–– spinales System 94–95
–– Stehen 111
–– transversospinales System 95–96
– eingewanderte 92–93
Rückfuß 129
Ruffini–Körperchen 498–499
Ruheatmung 231
Ruhespeichel 437
Ruhetonus, Muskel 37

Rumpf
– Bewegungsfunktionen 111
– Einzelsegmente 79
– Körpergliederung 17
– Leitungsbahnen 113
– metamere Struktur 79
– Propriozeption 545
– Schmerz 539
– Sensibilität 536
Rumpfwand 83
– Arterien 115–116
– dorsale
–– Knochenpunkte 84
–– Oberflächenanatomie 83
–– Oberflächenrelief 83
– Lymphgefäße 118
– Nerven 118
– Venen 117
– ventrale
–– Knochenpunkte 98–99
–– Oberflächenanatomie 97–98
–– Oberflächenrelief 97

S

Sacculus 489–490, 493
– Funktion 494
– laryngis 386
Saccus
– endolymphaticus 490, 493
– lacrimalis 472
– subcutaneus perinei 319
Sagittalachse 18–19
Sagittalebene 18–19
Sakkaden 566
Sakraldreieck 83
Sakralisation 85
Sakralnerven 65
Sakralwirbel 88
Saliva 437
Salpingitis 330
Salpinx 329–330, 332
– Abschnitte 330
– Gefäße 331
– Wandschichten 330
Samenkanälchen 344
Samenleiter 346
– Innervation 348
– Samenstrang 348
Samenstrang 348
– Ductus deferens 346
– Leitungsbahnen 347
Sammelrohr 305
Sarkomer 33
Sattelgelenk 30
Sättigungszentrum 525
Säugetiere, Merkmale 16
Saumepithel 447
Scala
– tympani 490
–– Signalübertragung 492
– vestibuli 490
–– Signalübertragung 492
Scaphoidfraktur 168
Scapula 166
– alata 172
– Gelenkpfanne 173
– Gleitbewegungen 173
– Knochenpunkte 84
– Knochentyp 27
– Rückenanatomie 83–84
Scapula–Anastomose 631
Scarpa–Faszie 107, 160
Schädel 400
– Dura mater 581
– Embryonalentwicklung 402
– Knochen 401, 403
– Körpergliederung 17
– Oberflächenanatomie 400
– Suturae 400
– Zusammensetzung 400
Schädelbasis 403
Schädeldach
– Innervation 413
– Leitungsbahnen 411
– Lymphabfluss 412
– Venen 412
– Weichteilmantel 410
Schädelgrube
– hintere 403
– mittlere 403
– vordere 403
–– Nasenhöhlendach 462
Schädelhöhle 403
Schädelkalotte 402–403
Schädelknochen
– Kortikalis 27
– Synarthrose 28
Schädelnähte 400
Schaffer–Kollateralen 576
Schallleitungsschwerhörigkeit 492
Schaltstück, Pancreas 295
Schambein 123–124
Schambeinfuge 131
Schambeinsymphyse 27
Schamhügel 339
Schamlippen
– große 339
–– Entwicklung 326
– kleine 339
–– Entwicklung 326
–– sexuelle Reaktion 342
Schamspalte 339
Scharniergelenk 30
Scheide 336
– Arterien 337
– Feinbau 337
– Innervation 337
– Lymphgefäße 337
– Umgebung 337
– Venen 337
Scheidengewölbe 336
Scheidenvorhof 339
Scheitelbein 401
– Aufbau 406
Scheitelbeuge 504
Scheitellappen 64, 533
Schenkelblock 242
Schenkelhals 126–127
– Anteversion 126
Scheuklappenblindheit 527, 566
Schiefhals 362
Schilddrüse 392
– Arterien 394
– Drüsen 56
– Entwicklung 503
– Feinbau 393
– Form 393
– Hals 358
– Hypothalamus–Hypophysen–System 57
– Innervation 394
– Körpergliederung 17
– Lymphabfluss 394
– überfunktion 394
– Unterfunktion 394
– Venen 394
– Vergrößerung 358
Schilddrüsengewebe, ektopes 393
Schildknorpel 358, 385, 387
– M. infrahyoideus 362
Schindylesis, Synarthrose 28
Schläfenbein 401, 406
– Aufbau 405
Schläfenlappen 64
– Hippocampus 574
Schlaf–Wach–Rhythmus 580
Schleife
– direkte striato–pallido–thalamische 553
– indirekte striato–pallido–thalamische 553
– striato–nigro–striatale 553
Schleimbeutel 31–32
– Ellenbogengelenk 181
– Hüftgelenkstrecker 135
– Kniegelenk 140
– Schultergelenk 174–175
Schleimhauf, harter Gaumen 432
Schleimhaut 55
– Bauplan 55
– Gaumen 433
– Mund 447
– Mundhöhle 430
– Nase 462
– Tuba auditiva 488
– Zunge 441
Schlemm–Kanal 476, 482
Schlitzmembran 304
Schluckakt 383
– Schluckvorgang 383
– Vorbereitungsphase 383
Schlund 379
Schlundenge 432
Schlundheber 382
Schlundschnürer 381
– Funktion 383
Schlüsselbein 98
Schlussrotation Kniegelenk 142
Schmelz 445
Schmerz 538
– affektive Komponente 540–541
– dissoziierte Empfindungsstörung 541
– Rückenmarkverletzung 541
– schneller 540
– sensorisch–diskriminatorische Komponente 540
Schmerz–Asymbolie 542
Schnecke 489
Schneidezahn 448–449
Schock, spinaler 514
Schubladenphänomen 142
Schulter, sekundäre Geschlechtsmerkmale 22
Schulterblatt, Knochentyp 27
Schulterblatt–Anastomose 370
Schultereckgelenk 170
Schultergelenk 173
– Aufbau 173
– Gelenkhilfseinrichtung 32
– Kugelgelenk 30
– Luxation 175
– Mechanik 175
– Muskulatur 176, 178
– Ruhigstellung 174
– Schleimbeutel 174
Schultergürtel
– Bewegungsumfang 170
– Gelenke 170
– Knochen 166
– Knochenpunkte 165
– Muskulatur 171
Schultermuskulatur 176
– dorsale Muskelgruppe 177
– oberflächliche Schicht 176
– Rotatorenmanschette 178
– tiefe Schicht 178
– ventrale Muskelgruppe 176
Schürzenbindemuskel 178
Schütteltrauma 591
Schwangerschaft 337
– extrauterine 331
Schwangerschaftsdauer 72
Schwangerschaftsgelbkörper 337
Schwangerschaftstest 72
Schwankschwindel 495
Schwann–Zelle 60
– Entwicklung 502
Schweißdrüse 501
– große 501
– kleine 501
Schwellkörper
– Bulbus vestibuli 341
– Damm 341
– Penis 352

– sexuelle Reaktion 342, 355
Schwindel 495, 562
Schwurhand 197
Sclera 475, 477
– Leitungsbahnen 476
– Schichten 475
Scrotum 343, 355
– Entwicklung 326
– Epiorchium 356
– Fascia spermatica externa 355
– Fascia spermatica interna 355
– Gefäßversorung 356
– Haut 355
– Hoden 343
– Innervation 356
– M. cremaster 355
– Periorchium 356
– Tunica dartos 355
Segelklappe 40, 236
– Mitralklappe 240
– Trikuspidalklappe 239
Segmentbronchen 225
Sehachse 474
Sehbahn 565, 674
Sehne 33–34
– Ansatz 34
– Gleitsehne 35
– Sehnenscheide 37
– übergang zum Knochen 35
– übergang zum Muskel 34
– Ursprung 34
– Zugsehne 35
Sehnenscheide 37
Sehnenscheiden 191–192
Sehnervenpapille 480
Sehrinde, primäre 565
Sehstrahlung 565
Seitenband
– Finger 186
– Kniegelenk 141
–– Verletzung 141
– Sprunggelenk 145
– Zehen 147
Seitenfontanelle 402
Seitenhorn 512
Seitenplattenmesoderm 74
Seitenstrang, Rückenmark 513
Seitenventrikel 520
– Entwicklung 507
Seitenzahn 449
Sekretionsphase (Menstruationszyklus) 334
Sekundärbündel, Muskel 33
Sekundärfollikel 49–50, 328
Sella turcica 404–405
Semicanalis
– m. tensoris tympani 488
– tubae auditivae 488
Senkniere 301
Sensibilität
– epikritische 536
–– dissoziierte Empfindungsstörung 541
– Extremitäten 536
– Hals 536
– Kopfregion 538
– protopathische 541
– Rückenmarkverletzung 537
– Rumpf 536
Sentinel–Lymphknoten 49
Septula, testis 344, 346
Septum
– aorticopulmonale 232
– interatriale 238–239
– intermusculare 34
–– Muskelfaszie 34
– intermusculare cruris 159
– intermusculare femoris 159
– interventriculare 232, 237–240
– linguae 442
– nasi 459–461
–– Deviation 461
–– Strukturen 460
– pellucidum 531
– plantare 160
– primum 232
– rectovaginale 337
– rectovesicale 314, 321
– scroti 344, 355
– secundum 232
– transversum 206–208
– urorectale 214
– vesicovaginale 321, 337
Septum intermusculare cruris anterius 160
Septum intermusculare cruris posterius 160
Serosa 53
– parietalis 53
– visceralis 53
Serotonin, Schmerzhemmung 544
Serotoninwiederaufnahmehemmer 580
Sertoli–Zelle 345
Sesambein 38
Sharpey–Faser 24, 447
– Sehnenansatz 35
Sherman–Boyd–Venen 155
Shrapnell–Membran 483
Shuntblut 227
Sibson–Faszie 229
Siebbein 401, 407
– Aufbau 406
Siebbeinlabyrinth 407, 466
Siebbeinzellen 466
– hintere 466
–– Arterien 466
–– Nerven 466
– vordere 466
–– Arterien 466
–– Nerven 466
sinister 20
Sinus
– analis 282
– aortae 240, 620
– caroticus 370, 626
– cavernosus 592–593, 652–653
–– A. carotis interna 588
–– Verbindungen 653
–– Zuflüsse 653
– coronarius 235, 238–239, 244, 648
– durae matris 46, 69, 592, 652–653
–– Liquorzirkulation 71
– frontalis 465
–– Arterien 466
–– Knochentyp 27
–– Nerven 466
– intercavernosus 592, 653
– Lymphknoten 50
– marginalis 592, 653
– maxillaris 407, 465
–– Arterien 466
–– Knochentyp 27
–– Nerven 466
– obliquus pericardii 235, 245
– occipitalis 592, 652–653
– petrosquamosus 592
– petrosus inferior 592–593, 651–653
– petrosus superior 592–593, 652–653
– rectus 592, 652–653
– renalis 301–302, 308
– sagittalis inferior 592, 652–653
– sagittalis superior 592, 652–653
– sigmoideus 488, 592–593, 651–652
– sphenoidalis 465
–– Arterien 466
–– Knochentyp 27
–– Nachbarschaftsbeziehungen 465
–– Nerven 466
– sphenoparietalis 592, 653
– transversus 592–593, 653
– transversus pericardii 245
– urogenitalis 214, 320, 325
– Valsalvae 240
– venöser 46
– venosus 207, 238
– venosus sclerae 482
Sinusitis maxillaris 465
Sinusknoten 241
– Blutversorgung 243
Sinusoid
– Definition 44, 46
– Langerhans–Insel 296
Sinusrhythmus 241
Sinusthrombose 412, 593
Sinus–cavernosus–Thrombose 419, 426
Sitzbein 123–124
Sitzbeinhöcker, Knochenpunkte 123
Skalenuslücke 365, 398
– hintere 399
– vordere 399
Skalenusmuskulatur 364
Skelett 24
– Baumaterialien 24
– metamere Struktur 79
Skelettmuskulatur 33
– Muskeln 33
– Muskeltypen 35
– Sehnen 34
Skelettreifung 25
Skene–Gang 323, 340
Sklerose, multiple 558
Sklerotom 74, 78
– Entwicklung 78
Skoliose 81, 102
Skotom 479
Smegma 352
Somatopleura 75, 78, 206
Somatosensibilität 536
Somatostatin 296
– Basalkerne 530
Somiten 74, 78
Sonnengeflecht 700
Spaltlinien 498
Spatium
– circumbulbare 473
– epidurale 69, 583
– extraperitoneale 254
– lateropharyngeum 368
–– Infektionen 368
–– N. accessorius 378
–– N. vagus 378
– peridurale 69
– perinei superficialis 319
– peripharyngeum 367–368, 380
–– Glandula parotidea 438
– prevertebrale 367
– pterygomandibulare 425
– retroperitoneale 254, 300
–– Körpergliederung 17
– retropharyngeum 367–368
– retropubicum 320
–– Körpergliederung 17
–– Prostata 349
– subarachnoidale 69
– subarachnoideum 586
– submandibulare 435
–– Glandula submandibularis 439
– suprasternale 367
Speichel 437
– muköser 437
– seröser 437
Speicheldrüse 437
– große 438
– kleine 440
– übersicht 437
– Unterfunktion 438

Speiseröhre, Körpergliederung 17
Spermatogonien 344
Spermatozoen
– Entwicklung 345
– Nebenhoden 346
Spermatozyten 345
Spermien
– Nebenhoden 346
– Speicherort 347
Sperrarterie 43
Sphinktersystem 282
Spina
– bifida 502
– bifida occulta 502
– iliaca anterior superior 124
–– Knochenpunkte 122
–– Leistenband 109
– iliaca posterior superior 124
– ischiadica 123–124
– scapulae 166
–– Knochenpunkte 165
–– Oberflächenrelief 163
Spinalganglienzelle, Entwicklung 502, 505
Spinalganglion 510
Spinalnerv 509–510, 684
– Sympathicus 697
Spinalnerven 65
– Faserqualitäten 65
– zervikale 375
Spinngewebshaut 583
Spinnwebhaut 69
Spinocerebellum 555
– Funktionen 557
Spitzfuß 158
Splanchnocranium 400
Splanchnopleura 75, 206
Splen 257
Splenektomie 299
Splenium, corporis callosi 530
Splenomegalie 297
Split–brain–Patient 531
Spongiosa, Knochenumbau 25
Sportlerherz 236
Sprachzentrum
– motorisches 535
– sensorisches 535
Spreizfuß 129
Sprungbein 129
Sprunggelenk 145
– Dorsalextension 148
– Eversion 150
– Inversion 150
– Muskulatur 148
– oberes 145
–– Scharniergelenk 30
– Plantarflexion 148
– Pronation 149
– Supination 148
– unteres 145–146
Stamm, Körpergliederung 17
Stapediusreflex 564
Stapes 484–485
Star
– grauer 481
– grüner 482
Stauungspapille 565
Steatorrhoe 296
Stehen
– Hüftgelenkbelastung 134
– Kräfteverteilung 132
– Muskelstatik 111
Steigbügel 485
Steißbein 89
Steißwirbel, Anzahl 85
Stellknorpel 387
Stenon–Gang 431, 438
Steppergang 158
Sternalpunktion 101
Sternoklavikulargelenk 170
– Gelenkhilfseinrichtung 32
– Gelenkmechanik 170
– M. sternohyoideus 363
Sternum 101
– Entwicklung 78
– Knochentyp 27
– M. infrahyoideus 362
Sternzelle 557
Stimmband, falsches 388
Stimmbildung 391
Stimmfalte 386
– Spannung 389
Stimmritze 386
– Entspannung 390
– öffnung 390
– Verschluss 390
– Weite 389
Stimmritzenverschluss 388
Stirnbein 401
– Aufbau 406
Stirnfontanelle 402
Stirnhöhle 465
– Arterien 466
– Nerven 466
Stirnlappen 64, 533
Stirnnaht 400, 402
Stirn–Nasen–Pfeiler 403
Strabismus 473
Strahlenkörper 477
– Kammerwasser 482
Strangzelle 511
Stratum
– basale 497–498
– circulare 258, 266, 268, 273, 282
– corneum 497–498
– ganglionare, Kleinhirnrinde 556
– ganglionicum 479
– granulosum 497–498
–– Kleinhirnrinde 555–556
–– Moosfasern 556
– limitans externum 479
– limitans internum 479
– longitudinale 258, 266, 268, 273
– lucidum 497–498
– membranosum 319
– moleculare
–– cerebelli 555
–– Cornu ammonis 576
–– Kleinhirnrinde 556
– neurofibrorum 479
– nucleare externum 479
– nucleare internum 479
– oriens 576
– papillare 497–498
– plexiforme externum 479
– plexiforme internum 479
– pyramidale, Cornu ammonis 576
– reticulare 497–498
– segmentorum 479
– spinosum 497–498
Streckung
– Daumen 188
– Ellenbogengelenk 181
– Finger 190
– Gelenk 31
– Hüftgelenk 135
– Kniegelenk 143
– Zehen 150
Stria
– longitudinalis lateralis 574
– longitudinalis medialis 574
– mallearis 484
– olfactoria 572
– terminalis 577
– vascularis 491
Striatum 529
– Basalkerne 551
– Chorea 553
– Entwicklung 507
– Rückkoppelungsschleife 553
Stridor 224
Stroma 52
– iridis 476
– ovarii 328
– Prostata 350
– Uterus 334
Struktur 16
Struma 358, 394
– retrosternale 394
Struthers' ligament 197, 201
Studentenellenbogen 181
Styloglossusschlinge 443
Subarachnoidalblutung 590
Subarachnoidalraum 69–70, 586
– A. carotis interna 588
– Liquor 594
Subclavian–Steal–Syndrom 370
Subcutis 498
Subduralblutung 591, 593
Subduralraum 69
Subfornikalorgan 525
– zirkumventrikuläre Organe 524
Subiculum 575
Subiculumkomplex 576
Sublingualregion 435
Subokzipitalpunktion 586
Subperitonealraum 53
Substantia
– adamantina 446
– alba 61
–– Rückenmark 63, 510, 513
– compacta 25–26
– eburnea 446
– gelatinosa 512
–– Schmerz 544
– grisea 61
–– Rückenmark 63, 510–511
– grisea centralis 520
–– Formatio reticularis 580
– nigra 520
–– Basalkerne 551
–– Entwicklung 506
–– Parkinson–Erkrankung 553
–– Rückkoppelungsschleife 552–553
– perforata anterior 532
– spongiosa 25–26
Substanz
– graue 61
–– Rückenmark 63
– weiße 61
–– Rückenmark 63
Subthalamus 522, 528
– Entwicklung 507
Sulcus
– a. subclaviae 99–100, 369
– a. vertebralis 85–86, 369
– calcanei 130
– calcarinus 533–534
– carpi 169
– centralis 65, 533
– cinguli 533–534
– collateralis 533–534
– coronarius 235
–– AV–Ebene 240
–– Herzkranzarterie 243
– corporis callosi 533
– costae 115
– deltoideopectoralis 97, 99
– ethmoidalis 409
– frontalis inferior 533–534
– frontalis superior 533–534
– gingivalis 448
– hippocampi 533–534
– hypothalamicus 523
– infrapalpebralis 415
– intertubercularis 167
– interventricularis anterior 235
– interventricularis posterior 236
– intraparietalis 533–534
– lateralis 65, 533
– lateralis Sylvii 507, 533
– limitans 503

– lunatus 533
– m. subclavii 166
– malleolaris 128
– medianus linguae 441
– medianus posterior 508
– mentolabialis 415
– mylohyoideus 377
– n. radialis 167
– n. ulnaris 167, 197
– nasolabialis 415
– obturatorius 131
– occipitotemporalis 533–534
– parietooccipitalis 533–534
– postcentralis 533
– postolivaris 515
– precentralis 533
– preoccipitalis 533
– preolivaris 515
– pulmonalis 101
– rhinalis 533
– temporalis inferior 533
– temporalis superior 533–534
– tendinis m. flexoris hallucis longi 130
– terminalis 238, 441
– tympanicus 483
– v. cavae inferioris 287
– v. subclaviae 100
Sulcus nervi ulnaris 180
Sulcus–ulnaris–Syndrom 197
superficialis 20
superior 20
Supination
– Bewegungsprüfung 182
– Ellenbogengelenk 182
– Gelenk 31
– Sprunggelenk 146, 148
Supinatorsyndrom 197
Supraskapularis–Syndrom 179
Sustentaculum tali 130, 145
– Sprunggelenk 145
Sutura
– coronalis 400, 402
– frontalis 400, 402
– lambdoidea 400, 402
– palatina mediana 28, 432
– palatina transversa 432
– parietotemporalis 28
– plana, Synarthrose 28
– sagittalis 28, 400, 402
– serrata, Synarthrose 28
– sphenoparietalis 402
– squamosa, Synarthrose 28
Sympathicus 68, 695
– Herz 242
– Hypothalamus 525
– Verschaltung 510
Symphyse 124, 132, 317
– Conjugata diagonalis 125
– Conjugata recta 125
– Conjugata vera 125
– Kräfte beim Gehen 132
– Kräfte im Sitzen 132
– Kräfte im Stehen 132
– Prostata 349
– Schwangerschaft 132
– Synarthrose 28
Symphysis, pubica 124, 131
Symphysis pubica 124
Synapse 59
– axoaxonische 60
– axodendritische 60
– axosomatische 60
– neuroglanduläre 59
– neuromuskuläre 59
Synarthrose 27
Synchondrose, Synarthrose 28
Synchondrosis, sternocostalis 28
Syndesmose
– Synarthrose 28
– tibiofibulare 128, 145
Syndesmosis, tibiofibularis 128, 145
Synergisten, Muskeln 37
Synostose 27
Synovia 29
Syringomyelie 541
System
– aszendierendes retikuläres aktivierendes 580
– extrapyramidales motorisches 553
– funktionelles 18
– lemniskales 538
– limbisches 573–574
–– Habenula 528
–– Schmerz 541
– lymphatisches 47
– olfaktorisches 571
– schmerzhemmendes 543
– somatomotorisches 547
– vestibuläres 560–561
– visuelles 564
Systole 240
– Anspannungsphase 240
– Austreibungsphase 240
– Herzklappen 41

T

Tabatière 164, 188
Tabes dorsalis 546
Taenia
– fornicis 575
– libera 275–276
– mesocolica 275
– omentalis 275
Taenien 275
Talgdrüse 501
Talus 129
Tarsus 129
Taschenfalte 386
Taschenklappe 40, 237
– Aortenklappe 240
– Austreibungsphase 240
– Pulmonalklappe 239
– Systole 240
Tastbahn 536
Tastsinn 536
Tawara–Schenkel 241–242
Tectum
– Commissura posterior 531
– Entwicklung 506
Tegmen tympani 485
Tegmentum 520
– Entwicklung 506
– ZNS–Bauplan 63
Tela
– submucosa 55
–– Dünndarm 273
–– gastris 267
–– pharyngis 380
– subserosa
–– Dünndarm 273
–– gastris 267
Telencephalon 528–529
– Assoziationsfasern 530–531
– Entwicklung 503–504, 507
– Kommissurenfasern 530
– Projektionsfasern 531
– Säugetiere 16
– Ventrikelsystem 505
– ZNS–Bauplan 64
Telezeptoren 68
Temperaturempfindung 538
– dissoziierte Empfindungsstörung 541
Temporallappen 533
– Blutversorgung 589
– Entwicklung 507
Tendo 34
– calcaneus
–– M. triceps surae 148
–– Oberflächenrelief 121
–– Unterschenkelkontur 122
Tendovaginitis 37
Tennisellenbogen 187
Tenon–Kapsel 468, 474
TENS (transkutane Nervenstimulation) 544
Tentorium cerebelli 581
– Einklemmung 581
Terminalbehaarung 500
Tertiärfollikel 328–329
Testis 343–344, 346
– Arterien 347
– Aufbau 344
– Drüsen 56
– Form 343
– Innervation 348
– Lage 343
– Lymphgefäße 347
– primäre Geschlechtsmerkmale 21
– Venen 347
Testosteron 345
Thalamus 520, 522, 529
– Aufbau 522
– Basalkerne 551
– Entwicklung 506
– Funktionen 523
– Hörbahn 563
– III. Ventrikel 521
– Kerne 522
– Lage 522
– Rückkoppelungsschleife 553
– ZNS–Bauplan 64
Thalamuskerne
– anteriore 523
– Schmerz 541
– spezifische 523
– unspezifische 523
Thalamusschmerz 544
Thalamussyndrom 544
Thebesische Klappe 238
Theca folliculi 329
Thermoregulation 525
Thermorezeptor 68
Thorakalnerven 65
Thorax
– Brustkorb 101
– knöcherner 99
– Körpergliederung 17
– Neugeborene 102
Thoraxapertur
– obere 216–217
– untere 216
Thrombozyten 46–47
Thymom 48
Thymus 249
– Blutversorgung 250
– Entwicklung 249, 503
– Involution 249
– Körpergliederung 17
– lymphatische Organe 48
Thyreoglobulin 393
Tibia 127–128
– Oberflächenrelief 121–122
– Torsion 128
Tibiakopf 127
tibial 20
Tibialis–anterior–Syndrom 158
Tibiaschaft 128
Tiefensensibilität 545
Tiemann–Katheter 354
Todaro–Sehne 242
Tomes–Faser 446
Tonsilla
– cerebelli 554
–– Hernie 582
–– untere Einklemmung 555
– lingualis 441
–– lymphatische Organe 50
–– Rachenring 381
– palatina 436
–– Inspektion 436
–– Leitungsbahnen 435
–– lymphatische Organe 50
–– Rachenring 381
– pharyngea 380
–– Rachenring 381

–– Vergrößerung 380
– pharyngealis, lymphatische Organe 50
– tubaria 381
–– Rachenring 381
Tonsille 50
Torsion
– Rippen 100
– Tibia 128
Torsionsfestigkeit, Knochen 27
Torticollis muscularis 362
Torus tubarius 380
Totraum, anatomischer 223
Trabecula
– carnea 236
– septomarginalis 239
Trachea 223
– Aufzweigungen 224
– Körpergliederung 17
– Lage 217–218
– Wandbau 224
Tracheomalazie 224
Tractus 60–61
– cerebelloreticularis 557–558
– cerebellorubralis 557–558
– cerebellothalamicus 558
– corticocerebellaris anterior 513
– corticocerebellaris posterior 513
– corticospinalis 548, 550
–– Capsula interna 532
– corticospinalis anterior 513, 549–550
– corticospinalis lateralis 513, 549–550
– cuneocerebellaris 515, 557
–– Propriozeption 547
– hypothalamohypophysialis 527
– iliopubicus, Bauchfaszie 107
– iliotibialis 135–136, 143–144, 159
– olfactorius 572
– olivocerebellaris 515, 558
– opticus 565, 674
–– Mydriasis 569
–– Verletzung 566
– perforans 576
– pontocerebellaris 557–558
– pyramidalis 515
– reticulospinalis 513, 558, 581
– retinohypothalamicus 570
– rubrospinalis 513, 558
– solitarius 516–518
– spinocerebellaris anterior 513, 545–546, 557
– spinocerebellaris posterior 513, 545–546, 557
– spinoolivaris 558
– spinothalamicus 528
–– Schmerz 540
–– Temperatur 540
– spinothalamicus anterior 513
– spinothalamicus lateralis 513
– tectospinalis 513
– tegmentalis centralis 557–558
–– Geschmacksbahn 571
– trigeminothalamicus 542–543
– tuberoinfundibularis 527
– vestibulocerebellaris 557
– vestibulospinalis 513, 558, 560
Tränenapparat 472
Tränenbein 401
– Aufbau 409
Tränendrüse 472
Tränenflüssigkeit 472
Tränennasengang 461
Tränensekretion 472
Tränenträufeln 461
Transitionalzone, Prostata 350
Translation, Kiefergelenk 455, 458
Transposition große Gefäße 232
Transsudation 53
Transversalachse 18–19
Transversalebene 18–19
Transzytose 43
Treitz–Muskel 272
Trendelenburg–Zeichen 133, 137
Trias, portale 287
Triceps coxae 138
Trigeminuskern
– motorischer 506
– sensibler 506
Trigeminusneuralgie, idiopathische 421
Trigonum
– caroticum 359, 395
–– Arterien 395
–– Karotisgabelung 370
–– Lymphknoten 397
–– N. hypoglossus 379
–– Nerven 397
–– Venen 397
– cervicale anterius 359
– cervicale posterius 359
– colli anterius 359
– colli laterale 359, 398
– femorale 160
– fibrosum dextrum 240
–– His–Bündel 242
– fibrosum sinistrum 240
– lumbale 107
–– Rückenanatomie 83
– lumbocostale 219
–– Nierenlage 301
– musculare 359, 398
– n. hypoglossi 516
– n. vagi 516
– olfactorium 532, 572
– omoclaviculare 359
– omotracheale 359
– sternocostale 219
–– Leitungsbahnen 220
– submandibulare 359, 371, 377, 397
– submentale 359, 397
– vesicae 321
–– Muskulatur 321
Trikuspidalklappe 40, 237, 239, 246
– Auskultationsstelle 246
Tripus Halleri 637
Trizepsschlitz 201
Trochanter
– major 126–127
–– Knochenpunkte 122–123
– minor 126–127
Trochlea
– humeri 167
– tali 129, 145
Troisier–Knoten 373
Trommelfell 483–484
– Pars flaccida 484
– Pars tensa 484
– Shrapnell–Membran 483
– Signalübertragung 492
Trophoblast 72
Truncus
– brachiocephalicus 620, 622
–– Lage 217
– bronchomediastinalis 662
–– sinister 663
– cerebri 514, 516
–– Gliederung 514
– coeliacus 270, 636–638
–– Äste 638
–– Bursa omentalis 261
–– Duodenum 274
– corporis callosi 530
– costocervicalis 370, 631
– inferior plexus brachialis 376, 687
– intestinalis 662–663
– jugularis 374, 662
–– sinister 663
– linguofacialis 371, 623–624
– lumbaris 662–663
– lumbosacralis 691–692
– lymphaticus 48
– medius plexus brachialis 376, 687
– nervi accessorii 684
– nervi spinalis 684
– pudendoglutealis inferior 641–642
– pulmonalis 250, 619
–– Äste 619
–– Ductus arteriosus 234
–– fetaler Kreislauf 233–234
–– Perikard 244
–– Röntgenbild 247
– subclavius 199, 662
–– sinister 663
– superior plexus brachialis 376, 687
– sympathicus 271, 307, 697–698
–– Brustteil 697
–– Darminnervation 280
–– Hals 375, 379
–– Halsfaszie 367
–– Halsteil 697, 699
–– Herz 242
–– Kontinenzorgan 284
–– Lumbalteil 698
–– Magen 271
–– Plexus pulmonalis 227
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Sakralteil 698
–– Verlauf 253
–– Zwerchfell 220
– symphathicus, Pharynx 384
– thyrocervicalis 370, 631
–– Äste 370
–– Regio sternocleidomastoidea 395
– vagalis
–– Magen 270
–– Zwerchfell 220
– vagalis anterior 271, 378, 682
–– Äste 684
– vagalis posterior 271, 307, 378, 682
–– Äste 684
–– Darminnervation 280
–– Nebenniere 312
Trypsin 295
TSH (thyroideastimulierendes Hormon) 526
Tuba
– auditiva 380, 485, 488
–– Paukenhöhle 485
–– Schluckakt 383
– uterina 314, 322, 329–330, 332
–– Abschnitte 330
–– Gefäße 331
–– Wandschichten 330
Tubenkatarrh 488
Tubenschwangerschaft 331
Tubenwanderung 330
Tubenwinkel 331
– A. uterina 336
Tuber
– calcanei 130
–– Knochenpunkte 122–123
– cinereum 523–524
– ischiadicum 123–124, 317
–– Knochenpunkte 84, 122
–– Kräfte im Sitzen 132
–– Rückenanatomie 84
– omentale 295
Tuber calcane 129

Tuberculum
– acusticum 517, 562
– anterius
–– atlantis 85
–– Halswirbel 86
– articulare 454
– conoideum 166
– costae 100, 102–103
– cuneatum 515–516
– epiglotticum 386
– gracile 515–516
– infraglenoidale 166
– labii superioris 414
– m. scaleni anterioris 99–100
– majus 167
– minus 167
– olfactorium 572
– ossis scaphoidei 169
– ossis trapezii 168–169
– posterius
–– atlantis 85–86
–– Halswirbel 86
– pubicum 124–125, 317
–– Conjugata anatomica 125
–– Leistenband 109
– supraglenoidale 166
– thyroideum 387
Tuberositas
– glutealis 126–127
– ossis cuboidei 130
– ossis metatarsalis 130
– ossis metatarsalis V, Knochenpunkte 122
– ossis metatarsalis V 130
–– Knochenpunkte 123
– ossis navicularis 130
–– Knochenpunkte 122–123
– radii 168
– tibiae 128
– ulnae 168
Tuberositas ossis metatarsi V 129
Tuberositas radii 180
Tuberositas ulnae 180
Tubulus
– distaler 304–305
– proximaler 304–305
– renalis 303
– reuniens 304
– seminifer 344
–– Blut–Hoden–Schranke 345
Tunica
– adventitia 41
–– Oesophagus 266
–– pharyngis 380
–– tracheae 224
–– uteri 334
–– vaginae 337
– albuginea 344
–– clitoridis 340
–– epididymidis 345–346
–– ovarii 328
–– penis 352
–– testis 344
– dartos 344, 355
– fibromusculocartilaginea 224
– fibrosa bulbi 475
– interna bulbi 478
– intima 41
– media 41
–– Arterien 42
–– Arteriole 43
–– Venen 45
– mucosa 55
–– gastris 267
–– oesophagi 249
–– pharyngis 380
–– traceae 224
–– tracheae 224
–– uteri 334
–– vaginae 337
– muscularis
–– Dünndarm 273–274
–– gastris 267–268
–– Magen 266
–– oesophagi 249
–– pharyngis 380
–– recti 282
–– uteri 334
–– vaginae 337
– serosa
–– Dünndarm 273
–– gastris 267
–– seröse Höhlen 53
–– uteri 334
– vaginalis testis 343
– vasculosa bulbi 476
Typ
– athletischer 22
– leptosomer 22
– pyknischer 22
T–Lymphozyten 47

U

Übergewicht 21
Ulcus, ventriculi 268
Ulna 168
ulnar 20
Ulnarabduktion, Handgelenk 186
Umbo 483–484
Umschlagfalte, Pleura 228
Uncus 532, 534
Uncus–Hernie 582
Underwood–Septen 465
Unguis 500
Unterarm
– Knochen 168
– Knochenpunkte 166
– Muskulatur 186
– Oberflächenrelief 164
Unterbauchsitus 259
– Entwicklung 212
Untergewicht 21
Unterhaut 498
Unterkiefer 401
– Abduktion 455
– Aufbau 410
– Caput mandibulae 453
– Kaumuskulatur 456
– Kauvorgang 458
– Kiefergelenk 453
– Ruheschwebe 455
Unterkieferspeicheldrüse 439
Unterlid 414
Unterlidfurche 415
Unterlippe 414, 431
Unterschenkel 127
– Knochenpunkte 123
– Oberflächenrelief 122
Unterschläfengrube 424
Untersuchung, vaginale 332
Unterzungenspeicheldrüse 439
Urachus 110, 320
Urachusfistel 320
Ureter 308, 310
– A. testicularis 347
– A. uterina 336
– Arterien 309
– Becken 314
– Ductus deferens 346
– Engstellen 308
– Feinbau 309
– Gefäßkreuzungen 308
– Harnblasenwand 321
– Innervation 309–310
– Lage 308
– Lage zum Ovar 327
– Lymphgefäße 309
– Venen 309
– Wand 309
Ureterknospe 320
Ureterstein 308
Urethra 319, 321
– Entwicklung 214, 320
– feminina 322
–– Wand 323
– Hypospadie 326
– männliche, Entwicklung 326
– masculina 353
–– engste Stelle 354
–– Pars intramuralis 353
–– Pars membranacea 354
–– Pars prostatica 353
–– Pars spongiosa 354
–– Schwellkörper 352
–– Verschlussapparat 354
– Prostata 350
– Schließmuskeln 323
Urkeimzelle 325
Urnierengang 325
Urogenitalmembran 214
Urothel 309
– Harnblase 321
– Harnröhre 354
Uterinsegment 338
Uterovaginalkanal 325
Uterus 331–332
– Anteflexio 333
– Anteversio 333
– Arterien 336
– Becken 314
– Entwicklung 325
– Form 331
– Halteapparat 333
– Innervation 336
– Lage 333
– Lymphgefäße 336
– Peritonealüberzug 333
– Prolaps 318
– Schwangerschaft 337
– Tubenwinkel 331
– Venen 336
– Wandschichten 334
Utriculus 350, 489–490, 493
– Funktion 494
Uvea 476
Uvula
– M. uvulae 433
– palatina 432
– vesicae 321

V

Vagina 322, 336
– Arterien 337
– Becken 314
– bulbi 474
– carotica 366–368
– Entwicklung 325
– Feinbau 337
– Geburt 338
– Innervation 337
– Lymphgefäße 337
– m. recti abdominalis 106
– Peritoneum 315
– sexuelle Reaktion 342
– tendinis 37
– Umgebung 337
– Venen 337
Valleculae epiglotticae 442
Valva
– aortae 41, 239–240
– atrioventricularis 236
– atrioventricularis dextra 40, 239
– atrioventricularis sinistra 40, 240
– mitralis 239
– tricuspidalis 239
– trunci pulmonalis 41, 239
Valvula
– analis 282
– foraminis ovalis 238–239
– semilunaris 237
– sinus coronarii 238
– v. cavae inferioris 238
Variabilität 23
– Definition 23

Varikozele 347
Varizen 45, 155
Vas
– afferens, Lymphknoten 50
– deferens 346
– efferens, Lymphknoten 50
Vasa
– privata
–– cordis 243
–– Definition 39
–– Leber 289
–– pulmonis 226
– publica
–– Definition 39
–– Leber 289
–– pulmonis 226
– vasorum 42
Vasektomie 347
Vater–Pacini–Körperchen 498–499
Vegetation, adenoide 380
Veitstanz 554
Vellus–Behaarung 499
Velum
– medullare inferius 515, 594
– medullare superius 516
– palatinum 432
Vena
– alveolaris inferior 451
– anastomotica inferior 654
– anastomotica superior 653
– angularis 422, 651
– anterior cerebri 654
– anterior septi pellucidi 654
– appendicularis 661
– aquaeductus cochleae 651
– arcuata 304, 307
– articularis 652
– atrialis 648
– atrioventricularis 648
– auricularis anterior 652
– auricularis posterior 372, 412, 655
– axillaris 195, 656
–– Achselhöhle 200
–– Zuflüsse 656
– azygos 117, 251, 650, 657, 660
–– Hauptbronchen 225
–– Lungenkontakt 221
–– Zuflüsse 650
–– Zwerchfell 219–220
– basalis 591, 654
–– Zuflüsse 654
– basalis communis 648
– basalis inferior 648
– basalis superior 648
– basilica 195, 202, 656
– brachialis, Ellenbeuge 201
– brachialis lateralis 656
– brachialis ulnaris 656
– brachiocephalica 117, 372–373, 649
–– dextra 649
–– sinistra 649
–– Zuflüsse 649
– bronchialis 226, 650
– bulbi penis 658
– bulbi vestibuli 658
– canalis pterygoidei 652
– capsularis 657
– cardiaca 244
– cardiaca magna 244, 648
– cardiaca media 244, 648
– cardiaca minima 649
– cardiaca parva 244, 648
– cardinalis 206
– cava inferior 117, 657
–– A. renalis 306
–– Blutkreislauf 39–40
–– Blutrücktransport 46
–– Bursa omentalis 261
–– Caput Medusae 115
–– cavocavale Anastomose 118
–– fetaler Kreislauf 233
–– Lage 217
–– Leber 285
–– Leberkontakt 286
–– Mündung 238
–– Perikard 245
–– Verlauf 251
–– Zuflüsse 657
–– Zwerchfell 220
– cava superior 117, 372, 649
–– Blutkreislauf 39–40
–– Caput Medusae 115
–– cavocavale Anastomose 118
–– Entwicklung 206–207
–– fetaler Kreislauf 233–234
–– Lage 217
–– Lungenkontakt 221
–– Mündung 238
–– N. phrenicus 252
–– Perikard 244
–– Röntgenbild 247
–– Sinusknoten 241
–– Verlauf 251
–– Zuflüsse 649
– centralis, Zentralvenenläppchen 288
– centralis hepatis 288
– centralis retinae 479, 653, 655
–– blinder Fleck 480
– cephalica 195, 202, 656
–– Achselhöhle 200
–– Punktion 195
–– Zuflüsse 656
– cephalica accessoria 656
– cerebelli 653–654
– cerebri 653
– cervicalis profunda 373, 650, 660
–– Rückenhaut 115
– cervicalis superficialis, Trigonum colli laterale 398–399
– choroidea inferior 654
– choroidea superior 654
– ciliaris 655
– ciliaris anterior 476, 655
– ciliaris posterior 476
– circumflexa anterior humeri 656
– circumflexa humeri posterior, laterale Achsellücke 201
– circumflexa ilium profunda 658
–– cavocavale Anastomose 118
– circumflexa ilium superficialis 155, 659
–– cavocavale Anastomose 118
– circumflexa lateralis femoris 659
– circumflexa medialis femoris 659
– circumflexa posterior humeri 656
– circumflexa scapulae 656
–– mediale Achsellücke 201
– colica dextra 661
– colica media 661
– colica sinistra 661
– comitans n. hypoglossi 397
– comitans nervi hypoglossi 652
– communicans, untere Extremität 155
– conjunctivalis 655
– cordis 244, 648
– coronaria dextra 648
– coronaria gastri 661
– coronaria sinistra 648
– corticalis radiata 304
– cutanea anterior femoris 659
– cystica 294, 660–661
–– V. portae 289
– digitalis dorsalis pedis 659
– digitalis plantaris 659
– diploica 593
– diploica frontalis 651
– diploica occipitalis 655
– diploica temporalis posterior 655
– directa lateralis 654
– dorsalis corporis callosi 654
– dorsalis linguae 444, 651–652
– dorsalis penis 353
– dorsalis profunda clitoridis 342, 658
– dorsalis profunda clitoridis penis 315
– dorsalis profunda penis 353, 658
– dorsalis superficialis clitoridis 659
– dorsalis superficialis penis 659
– efferens hepatis 212
– emissaria 593
– emissaria condylaris 652
– emissaria mastoidea 652, 655
– emissaria occipitalis 652
– emissaria parietalis 652
– epigastrica inferior 111, 118, 658
–– cavocavale Anastomose 118
– epigastrica superficialis 659
–– Caput Medusae 115
–– cavocavale Anastomose 118
– epigastrica superior 650
–– cavocavale Anastomose 118
– episcleralis 655
– ethmoidalis 655
–– Nasennebenhöhlen 466
–– Orbita 469
– facialis 372, 651
–– Gesichtsweichteile 418–419
–– Glandula parotidea 439
–– Glandula submandibularis 440
–– Nasenhöhle 464
–– Thrombophlebitis 419
–– Trigonum caroticum 397
–– Trigonum submandibulare 397
–– Venenwinkel 371
–– Zähne 451
–– Zuflüsse 651
– femoralis 111, 155, 161, 659
–– Adduktorenkanal 137, 161
–– Gefäß–Nerven–Bahn 160
–– Lacuna vasorum 160
–– Zuflüsse 659
– femoropoplitea 659
– fibularis 156, 659
– frontalis 653
– gastrica, V. portae 289
– gastrica brevis 661
– gastrica dextra 269, 661
– gastrica sinistra 269, 661
– gastroomentalis dextra 269, 661
– gastroomentalis sinistra 269, 661
– genicularis 659
– glutealis inferior 658
– glutealis superior 658
– gyri olfactorii 654

– hemiazygos 117, 251, 650, 660
–– Zuflüsse 650
–– Zwerchfell 219–220
– hemiazygos accessoria 117, 251, 650, 660
– hepatica 290, 657
–– Entwicklung 212
–– fetaler Kreislauf 233
– hepatica dextra 657
– hepatica intermedia 657
– hepatica sinistra 657
– ilealis 661
– ileocolica 661
– iliaca, Ureterkreuzung 308
– iliaca communis 657
–– Zuflüsse 658
– iliaca externa 657–658
–– Zuflüsse 658
– iliaca interna 657–658
–– Zuflüsse 658
– iliolumbalis 657–658
– inferior cerebelli 654
– inferior cerebri 653–654
– inferior vermis 654
– insularis 654
– intercapitularis 656, 659
– intercostalis anterior 650
– intercostalis lumbalis 660
– intercostalis posterior 117, 651, 657, 660
–– dextra 650
–– Rückenhaut 115
–– sinistra 650
– intercostalis superior
–– dextra 650
–– sinistra 650
– intercostalis superior dextra 117, 251
– intercostalis suprema 650
– interlobaris 302, 304
– interlobularis 307
–– Glisson–Trias 288
– interna cerebri 591, 654
–– Zuflüsse 654
– interossea anterior 656
– interossea posterior 656
– interventricularis anterior 244, 648
– interventricularis posterior 244, 648
– intervertebralis 651
– jejunalis 661
– jugularis, Venenwinkel 48
– jugularis anterior 372, 649, 655
–– Lymphknoten 374
– jugularis externa 372, 649, 655
–– Lymphknoten 374
–– Rechtsherzinsuffizienz 373
–– Trigonum colli laterale 398–399
–– Zuflüsse 655
– jugularis interna 371–372, 649, 651
–– Luftembolie 366
–– Lymphknoten 373
–– N. glossopharyngeus 377
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Spatium lateropharyngeum 368
–– Spatium peripharyngeum 368
–– Trigonum caroticum 397
–– Vagina carotica 367
–– Venenkatheter 373
–– Venenwinkel 371
–– Zuflüsse 651
– labialis anterior 659
– labialis inferior 651
– labialis posterior 658
– labialis superior 651
– labyrinthalis 492, 651
–– Gleichgewichtsorgan 495
– lacrimalis 655
–– Orbita 469
– laryngea inferior 392
– laryngea superior 392, 652
– lingualis 651–652
–– Trigonum caroticum 397
–– Zunge 444
– lumbalis 117, 651, 657
–– Bauchhaut 115
–– Rückenhaut 115
– lumbalis ascendens 117, 650, 657
–– cavocavale Anastomose 118
– magna cerebri 592, 652–654
– marginalis dextra 648
– marginalis lateralis 659
– marginalis medialis 659
– marginalis sinistra 648
– maxillaris 652
– media profunda cerebri 654
– media superficialis cerebri 591, 653
– medialis atrii 654
– mediana antebrachii 195, 656
– mediana basilica 656
– mediana cephalica 656
– mediana colli 372
– mediana cubiti 195, 656
– mediastinalis 650
– medullae oblongatae 655
– meningea 651
–– media 592
– meningea media 652
– mesenterica inferior 278, 661
–– V. portae 289
– mesenterica superior 661
–– Entwicklung 212
–– V. portae 289
–– Zuflüsse 661
– metacarpalis dorsalis 656
– metatarsalis dorsalis 659
– metatarsalis plantaris 659
– musculophrenica 650
– nasalis externa 651
– nasofrontalis 655
– nuclei caudati 654
– obliqua atrii sinistri 648
– obturatoria 658
– obturatoria accessoria 658
– occipitalis 372, 412, 422, 650, 653, 655
– oesophagealis 650
– ophthalmica 593, 655
–– Orbita 469
– ophthalmica inferior 653, 655
–– Müller–Muskel 467
– ophthalmica superior 651, 653, 655
–– Nasenhöhle 464
–– Zuflüsse 655
– orbitalis media 654
– ovarica 327, 329, 657
–– dextra 657
–– sinistra 657
–– Ureterkreuzung 308
– palatina externa 651
– palpebralis 655
– palpebralis inferior 651
– palpebralis superior 651
– pancreatica 297, 661
– pancreaticoduodenalis 297, 661
– paraumbilicalis 118, 660–661
–– Caput Medusae 115
–– Pfortaderhochdruck 290
–– V. portae 289
– parietalis 653
– parotidea 652
– pectoralis 655
– peduncularis 654
– perforans 659
–– untere Extremität 155
– pericardiaca 650
– pericardiacophrenica 650
– pericardialis 650
– petrosa 655
– pharyngealis 651
– phrenica inferior 657
– phrenica superior 650
– pontis 655
– pontomesencephalica anterior 655
– poplitea 155, 162, 659
–– Kniekehle 161
– portae 286, 660–661
–– Entwicklung 212
–– fetaler Kreislauf 233
–– Hochdruck 290
–– Lage 256
–– Lebersinusoid 288
–– Leberversorgung 289
–– portale Trias 287
–– Zentralvenenläppchen 288
–– Zuflüsse 289–290, 660–661
– portalis hypophysialis 526
– posterior corporis callosi 654
– posterior septi pellucidi 654
– precentralis cerebelli 655
– prefrontalis 653
– prepylorica 269, 661
– profunda brachii, Humerusschaft 167
– profunda cerebri 591, 653–654
– profunda clitoridis 658
– profunda faciei 651
– profunda femoris 659
– profunda linguae 441, 444, 652
– profunda penis 658
– pudenda externa 342, 659
–– Scrotum 356
– pudenda interna 313, 342, 658
–– Scrotum 356
–– Zuflüsse 658
– pulmonalis 222, 226–227, 250
–– Blutkreislauf 39–40
–– fetaler Kreislauf 233
–– Perikard 244
– pulmonalis dextra inferior 648
– pulmonalis dextra superior 648
– pulmonalis sinistra inferior 648
– pulmonalis sinistra superior 648
– radialis 656
– recessus lateralis ventriculi quarti 655
– rectalis inferior 279, 658
– rectalis media 279, 658
– rectalis superior 661
– renalis 301–302, 306–307, 657
– retromandibularis 651–652
–– Glandula parotidea 439
–– seitliche Gesichtsregion 423
–– Zuflüsse 652
– sacralis lateralis 658, 660
–– Rückenhaut 115
– sacralis mediana 621, 657–658, 660
– saphena accessoria 659
– saphena accessoria lateralis 659
– saphena magna 155, 659
–– Zuflüsse 659
– saphena parva 155, 659

– scapularis dorsalis 655
– scrotalis anterior 659
– scrotalis posterior 658
– sigmoidea 661
– spinalis anterior 660
– spinalis posterior 660
– splenica 298–300, 661
–– V. portae 289
–– Zuflüsse 661
– stellata 307
– sternocleidomastoidea 651–652
– stylomastoidea 652
– subclavia 200, 372, 649, 655
–– Regio sternocleidomastoidea 395
–– Skalenuslücke 399
–– Trigonum colli laterale 399
–– Venenkatheter 373
–– Venenwinkel 48, 371
–– Zuflüsse 655
– subcostalis 650–651, 657
– subcutanea abdominis 650
– sublingualis
–– Glandula sublingualis 440
–– Zunge 444
– submentalis 652
– subscapularis 656
– superficialis cerebri 591, 652–653
– superior cerebelli 654
– superior cerebri 591, 653
– superior vermis 652, 654
– supraorbitalis 412, 651
– suprarenalis 311
– suprarenalis dextra 657
– suprarenalis media 657
– suprarenalis sinistra 657
– suprascapularis 649, 656
– supratrochlearis 412, 651
–– Orbita 469
– suralis 659
– temporalis media 652
–– Kaumuskulatur 457
– temporalis profunda 652
– temporalis superficialis 412, 652
– testicularis 111, 347, 657
–– dextra 657
–– sinistra 657
–– Ureterkreuzung 308
– thalamostriata inferior 654
– thalamostriata superior 654
–– Zuflüsse 654
– thoracica interna 118, 650
–– Brusthaut 115
–– cavocavale Anastomose 118
–– Mamma 104
–– Zwerchfell 220
– thoracica lateralis 656
–– cavocavale Anastomose 118
–– Mamma 104
– thoracoacromialis 655–656
– thoracodorsalis 656
– thoracoepigastrica 656
–– Brusthaut 115
–– Caput Medusae 115
–– cavocavale Anastomose 118
– thymica 650
– thyroidea inferior 373, 394, 649
– thyroidea inferior dextra 649
– thyroidea media 372, 394, 651
– thyroidea superior 372, 394, 652
–– Trigonum caroticum 396–397
– tibialis anterior 155, 659
– tibialis posterior 156, 659
– trachealis 650
– transversa cervicis 372, 656
– transversa faciei 652
– trunci encephalici 653, 655
– tympanica 652
– ulnaris 656
– umbilicalis 212, 233
–– fetaler Kreislauf 233
– uncialis 654
– uterina 329, 336, 658
–– Lig. cardinale 334
– ventricularis 648
– ventricularis inferior 654
– ventriculi dextri anterior 648
– ventriculi sinistri posterior 648
– vertebralis 373, 650, 660
–– Zuflüsse 650
– vertebralis accessoria 650
– vesicalis 658
–– Zuflüsse 658
– vorticosa 476, 655
–– Choroidea 478
Venen 45
– Blutkreislauf 39
– Drosselvene 46
– Kapazitätsgefäße 45
– obere Extremität 195, 656
– Rückenmark 660
– Rumpfwand 117
– Systematik 648
– thebesische 649
– untere Extremität 155, 658
– Varizen 45
– Wirbelsäule 660
Venengeflecht, Mamma 104
Venenklappe 45
– Varizen 45
Venenpuls 241
Venenstern 155
Venenwinkel 48, 371
– jugulofazialer 371
Venolen, Blutkreislauf 39
Ventilebene 240
– Oberflächenprojektion 246
Ventilebene, Herz 239
Ventilebenenmechanismus 241
ventral 20
Ventralflexion, Rumpf 112
Ventriculus
– dexter 235, 237, 239
–– Röntgenbild 247
– laryngis 386
– sinister 235, 237, 239
–– Blutversorgung 245
–– Röntgenbild 247
Ventrikel
– Gehirn 71
–– Entwicklung 505
–– III 520–521
–– IV 520
–– Seitenventrikel 520
– linker, Blutkreislauf 40
– rechter, Blutkreislauf 40
Ventrikelseptumdefekt 232
Venula recta 307
Venushügel 339
Venusraute 83
Verbindungstubulus 305
Verbrennung 496
Vergenzbewegung 566
Vermis 554
Vermis cerebelli 554
Vertebra
– cervicalis
–– I 85
–– II 86
–– III–VII 86
– lumbalis 88
– prominens 86
– sacralis 88
– thoracalis 87
Vesica
– biliaris 256–257, 292–293
– fellea 256
– urinaria 319–320
–– Arterien 321
–– Becken 314
–– Blasenekstrophie 320
–– Ductus deferens 346
–– Entleerung 323
–– Entwicklung 320
–– Excavatio rectovesicalis 315
–– Form 320
–– Innervation 310, 322–323
–– Körpergliederung 17
–– Lage 320
–– Lymphgefäße 322
–– Muskulatur 321
–– Peritoneum 315
–– Prolaps 318
–– Prostata 349
–– Schleimhaut 321
–– Urachusfistel 320
–– Ureter 308
–– Verschluss 323
–– Wandaufbau 321
Vestibularapparat 560
Vestibulariskerne 560
– Afferenzen 560
– Efferenzen 560
Vestibularmembran 491
Vestibularorgan 493
Vestibulärsystem 560–561
Vestibulocerebellum 555
– Funktionen 557
Vestibulum 489
– bursae omentalis 261
– laryngis 386
– nasi 460
–– Auskleidung 462
– oris 430
– vaginae 322, 336, 339
Vibration 536
Vibrissen 462
Vielecksbein 168
Vierhügelplatte 520
– Entwicklung 506
Villi, intestinales 273
Virchow–Drüse 373
Virchow–Robin Hohlräume 70
Virchow–Robin–Raum 586
Viscerocranium 400, 406
– Körpergliederung 17
Viszerozeptoren 68
Vitamin C, Knochenumbau 25
Vitamin D, Knochenumbau 25
VNO (vomeronasales Organ) 463
Vomer 401, 407
– Synarthrose 28
von–Ebner–Spüldrüsen 440
Von–Hochstetter–Dreieck 158
Vorderdarm 209
Vorderhirn
– Entwicklung 503
– ZNS–Bauplan 64
Vorderhorn
– Poliomyelitis 512
– Rückenmark 511
Vorderhornzelle, Entwicklung 505
Vorderstrang, Rückenmark 513
Vorderwandinfarkt 245
Vorfuß 129
Vorhaut 352
Vorhof
– linker 239
–– Blutkreislauf 40
– rechter 39
–– Blutkreislauf 40
Vorhofflimmern 241
Vorhofscheidewand 238
Vorhofseptumdefekt 232
Vorsteherdrüse 349
V–Plegmone 193

W

Wachstum 19
– heterochrones 21
– Neugeborene 19
Wachstumshormon 526
Wächterlymphknoten 49
Waldeyer–Rachenring 381, 436
Waller–Degeneration 62
Wallpapille 444
Walzengelenk 30
Wanderniere 301
Wange 431
Wangenbändchen 431
Wangenregion 422
Wasserbruch 343
Wasserhammerpuls 250
Weber–Syndrom 551
Wechselgebissperiode 450
Wechseljahre 326
– männliche 345
Wehen 338
Weichteile, Schädeldach 410
Weichteilhemmung, Gelenk 31
Weichteilmantel, Gesicht 415
Weizenkornknorpel 387
Werferellenbogen 187
Wernicke–Sprachzentrum 535, 563
Wharton–Gang 435, 439
Widerstandsgefäße 42
Windkesselfunktion 42, 250
Winkel, jugulosubclavialer 371
Wirbel 85
– Anzahl 85
– Einzelsegmente 79
– Entwicklung 74
– metamere Struktur 79
– präsakrale 85
– Rumpfstruktur 80
– Verbindungen 89–90
– Verknöcherung 85
Wirbelbogengelenk 90
Wirbelkanal 92
– Dura mater 583
– Epiduralraum 583
Wirbelkette, *siehe* Wirbelsäule
Wirbelkörper
– Entwicklung 78
– Halswirbel 86
– Lendenwirbel 88
– Osteoporose 25
Wirbelsäule 85
– Bezugspunkte 84
– Formabweichung 81
– Krümmung 80–81
– Venen 660
– Wirbeltiere 16
Wirbeltiere, Merkmale 16
Wochenbett 338
Wolff–Gang 325
– Appendix epididymidis 345
– Harnblasenentwicklung 320
Wrisberg–Ligament 140
Würfelbein 130
Wurmfortsatz 276
– Krypten 278
Wurzelhaut 446
Wurzelpulpa 446
Wurzelscheide 500
Wurzelzelle 510

X

Xerostomie 438

Z

Zahn 445
– Formen 450
– Innervation 451
– Krümmungsmerkmal 450
– Leitungsbahnen 450
– Lymphabfluss 451
– Winkelmerkmal 450
– Wurzelmerkmal 450
Zahnbogen 448–449
Zahndurchbruch 449
Zähneknirschen 449
Zahnhalteapparat 446
Zahnhartsubstanz 446
Zahnschema 450
Zahnschmelz 446
Zahnzement 445–446
Zäkum 275–276
Zäpfchen 432
– M. uvulae 433
Zapfengelenk 30
Zehen 130
– Beuger 150
– Gelenke 147
– Strecker 150
Zeis–Drüse 471
Zelle
– Chondrozyt 26
– Endothel 43
– Erythrozyt 46
– Leukozyt 46
– Lymphozyt 47
– Muskelfaser 33
– neuroendokrine 59
– Thrombozyt 47
Zenker–Divertikel 382
zentral 20
Zentralarterie, Milz 298–299
Zentralkanal 513
Zentralvenenläppchen 288
– Modell 288
Zentrum, pneumotaktisches 578
Zervikalkanal 331
– Schleim 335
Zervikalnerven 65
Zervix 331
Zervixkarzinom 336
Zervixpfeiler 333–334
Ziegenpeter 438
Ziliarepithel 477
Ziliarkörper 477
– Kammerwasser 482
Zirbeldrüse, Drüsen 57
Zirkumzision 352
Zisternen, Gehirn 71
Zölomhöhle 74
– Unterteilung 206
Zölomkanal 206–207
Zona
– alba 282
– columnalis 282
– cutanea 282, 284
– fasciculata 311
– glomerulosa 311
– incerta 528
– orbicularis 133
– pellucida 72
– reticularis 311
Zonulafaser 481
Zotten, Dünndarm 273
Zugfestigkeit, Knochen 27
Zugsehne 35
Zunge 440
– Außenmuskulatur 442
– Binnenmuskulatur 442
– Innervation 445
– Leitungsbahnen 444
– Lymphabfluss 444
– Schleimhaut 441
Zungenbein 360
– Bandverbindung 360
– Fraktur 360
– M. digastricus 364
– M. infrahyoideus 362
– M. omohyoideus 363
– M. sternohyoideus 363
– M. stylohyoideus 364
– suprahyoidale Muskulatur 363
Zungenbeinfurche 358, 360
Zungenbeinmuskulatur 362
Zungengrundstruma 393
Zungenkörper 440
Zungenmuskeln 442
Zungenmuskulatur
– funktionelle Anatomie 443
– Tonus 444
Zungenpapille 444
Zungenvenen 652
Zungenwurzel 441
Zuwachszahn 450
Zwerchfell 218
– Atemmechanik 231
– Bauchpresse 113
– Blutversorgung 219
– Deszensus 208
– Durchtrittsstellen 219
– Entwicklung 206, 209, 218
– Head–Zonen 118
– Körpergliederung 17
– Lähmung 118
– Pars costalis 218–219
– Pars diaphragmatis 218
– Pars lumbalis 218–219
– Pars sternalis 218–219
Zwerchfellatmung 231
Zwerchfellhernie 208
Zwerchfelllücken 219
Zwergwuchs 21
Zwischenhirn 520
– Entwicklung 503
– ZNS–Bauplan 64
Zwischenkieferknochen 433
Zwischenrippenmuskulatur 103
Zwölffingerdarm 258
Zygote 72