

Michael Stahr *Hrsg.*

Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen

Verfahren und rechtliche Aspekte

Springer Vieweg

Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen

Michael Stahr
(Hrsg.)

Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen

Verfahren und rechtliche Aspekte

Springer Vieweg

Herausgeber
Dr. Michael Stahr
Leipzig, Deutschland

ISBN 978-3-658-08406-6 ISBN 978-3-658-08407-3 (eBook)
https://doi.org/10.1007/978-3-658-08407-3

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

Springer Vieweg
© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Lektorat: Dipl.-Ing. Ralf Harms

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Täglich werden unsere Städte und Dörfer baulich schöner und bunter. Mit neuen Baumaterialien und Techniken werden Gebäude zunehmend wiedererrichtet und die Umwelt bewusst gestaltet.

Wenngleich der Neubau zugenommen hat (2015 wurden in Deutschland 5 % neue Gebäude errichtet), überwiegt der Anteil sanierungsbürftiger Bauten noch bei Weitem. Erfreulicherweise besinnt man sich dabei mehr und mehr auf handwerklich-traditionelle Verfahren und Arbeitstechniken. So hat sich die Palette der Angebote von Sanierungslehrgängen sowohl an Technischen Hochschulen als auch vor allem bei Handwerkskammern, Fernschulen und in der Lehrausbildung einschlägiger Bauberufe weit verbreitert.

Nicht zuletzt bieten viele renommierte und bekannte Fachfirmen Lehrgänge und Seminare an und es finden Messen, Ausstellungen und Kongresse zum Thema „Sanierung" statt.

Zu dieser Problematik soll auch das vorliegende Werk „Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen" einen Beitrag leisten.

Es ergänzt die bei Springer erschienenen Titel „Bausanierung" (Grundwerk 2015 in 6. Auflage), „Sanierung und Ausbau von Dächern", „Sanierung von Metallbauteilen" sowie „Sanierung von Natursteinen".

Dabei wurde der didaktisch-methodische Aufbau der vorangegangenen Titel im Prinzip beibehalten: Es sind in sich geschlossene technisch-technologische Darstellungen, die aber zusammen wieder eine Einheit bilden. In bewährter Weise werden die drei Hauptabschnitte wieder durch rechtliche Ausführungen ergänzt.

Die Autoren der technischen Kapitel haben dabei ihre reichlichen Erfahrungen erstmals in größerer Form zu Papier gebracht.

Gedankt sei wiederum den zahlreichen Firmen, Institutionen und Privatpersonen, die das Autorenteam erneut mit technischen Unterlagen, Bildvorlagen und persönlicher Fachberatung zur Seite standen. Besonderer Dank Herrn Prof. Manfred Gerner, Fulda, für seine hilfreiche Unterstützung mit umfangreichem Bildmaterial und fachlichen Hinweisen.

Last but not least geht auch wieder mein herzlichstes Dankeschön für die wiederum kompetente Unterstützung von Herrn Dipl.-Ing. Ralf Harms und Frau Dipl.-Vw. Anette Prenzer vom Springer Vieweg Verlag Wiesbaden, Frau Dipl.-Ing. Nadja Kroke von le-tex publishing services Leipzig und Frau Anette Baier vom Institut für Lernsysteme Hamburg.

Wir hoffen auf interessierte Aufnahme des Buches und sind für helfende Kritik jederzeit dankbar.

Leipzig Michael Stahr

Inhaltsverzeichnis

1 Sanierung von Fassaden 1
Hardy Dinse
1.1 Historischer Abriss 1
1.1.1 Fassaden – Entwicklung und Begriffe 1
1.1.2 Der Mauerstein – erster künstlicher Baustoff der Menschheit . . . 6
1.1.3 Landschaft – Baustoffvorkommen – Baugestalt 10
1.1.4 Herstellung und Eigenschaften von gebrannten Ziegeln 16
1.2 Grundlagen der Fassaden- und Außenwandsanierung 20
1.2.1 Wandfunktionen 21
1.2.2 Fassaden 25
1.2.3 Wärmeschutz 33
1.2.4 Feuchteschutz 38
1.2.5 Schäden und Schadensursachen 49
1.2.6 Schadenserscheinungen unter verschiedenen Bauperioden 59
1.2.7 Negative Beispiele von Fassadensanierungen 63
1.3 Bauwerksdiagnostik 71
1.3.1 Vorbemerkung 71
1.3.2 Diagnostik 72
1.3.3 Orientierende Begutachtung 74
1.3.4 Untersuchungsplanung 75
1.3.5 Bestands- und Schadensaufnahme 76
1.3.6 Objekt- und Laboruntersuchungen 79
1.3.7 Auswertung der Untersuchungsergebnisse 85
1.3.8 Instandsetzungsplanung 87
1.4 Sanierung von Ziegelfassaden 89
1.4.1 Ziegelmauerwerk 89
1.4.2 Typische Schadensbilder am Ziegelmauerwerk 103
1.4.3 Schäden nach Konstruktionsarten 121
1.4.4 Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen 123
1.4.5 Fassadenreinigung und Imprägnierung 147
1.4.6 Fassadensanierung mit Klinkerelementen 149

1.4.7 Nachträgliches Herstellen einer Vormauerschale 154
1.4.8 Rissinstandsetzung und Risssanierung 156
1.5 Sanierung der Fachwerkfassade 159
Michael Stahr
1.5.1 Der Fachwerkbau 159
1.5.2 Fachwerkkonstruktion 163
1.5.3 Schäden an Fachwerken 168
1.5.4 Instandsetzung und Sanierung 184
1.5.5 Fachwerkmörtel 199
1.5.6 Typische Fachwerkdetails 200
1.6 Sanierung von Fassaden aus Holz und Holzbekleidungen 207
1.6.1 Problemstellung 207
1.6.2 Der Werkstoff Holz 209
1.6.3 Anwendung im Bauwesen 218
1.6.4 Ursachen der Holzzerstörung 226
1.6.5 Entscheidungskriterien für Holzschutzmaßnahmen 247
1.6.6 Holzschutz – Überblick und Begriffe 252
1.6.7 Baulicher und konstruktiver Holzschutz 253
1.6.8 Chemischer Holzschutz 260
1.6.9 Regelausführungen der Sanierung und Bekämpfung von Schädlingsbefall 266
1.6.10 Sanierung von Außenbauteilen 270
1.6.11 Nachträgliche Holzbekleidungen als Instandsetzungsvariante . . . 275
1.7 Fassaden aus Beton und Stahlbeton 289
1.7.1 Zusammensetzung und Eigenschaften von Stahlbeton 290
1.7.2 Schäden an Bauteilen aus Beton und Stahlbeton 304
1.7.3 Grundlagen der Instandhaltung 317
1.7.4 Vorbereitung der Instandsetzung 323
1.7.5 Prinzipien der Instandsetzung 328
1.7.6 Ausführung der Instandsetzung 335
1.8 Wärmedämmung an Fassaden 363
1.8.1 Bauphysikalische Grundlagen 364
1.8.2 Außendämmsysteme 367
1.8.3 Nachträgliche Dämmung zweischaliger Wände 373
1.8.4 Innendämmungen 375
1.8.5 Schäden an Wärmedämmverbundsystemen 378
1.9 Begrünte Fassaden 383
1.9.1 Vorteile – Eigenschaften 384
1.9.2 Bauliche Voraussetzungen – Systembestandteile 385
1.9.3 Fassadengebundenes Begrünungssystem 387
1.9.4 Pflege und Wartung 389
1.9.5 Vegetationsentwicklung 390

A Anhang . . . 390
Verwendete und empfohlene Literatur . . . 393

2 Sanierung von Putzen . . . 397
Virginie Schulz
2.1 Geschichte des Putzes . . . 397
2.1.1 Allgemeiner geschichtlicher Überblick . . . 397
2.1.2 Entwicklung der Baustoffe . . . 399
2.2 Allgemeines . . . 400
2.2.1 Bindemittel . . . 401
2.2.2 Putzarten . . . 402
2.2.3 Sanierungskonzept . . . 404
2.3 Schadenserscheinungen und Fehleranalyse . . . 405
2.3.1 Schadenserscheinungen an Putzen . . . 405
2.3.2 Veränderung der mineralischen Baustoffe unter Umweltbedingungen . . . 405
2.3.3 Fehleranalyse . . . 406
2.4 Erkennen und Beurteilen von Schäden . . . 409
2.4.1 Erscheinungsformen und Ursachen . . . 409
2.4.2 Schadensformen und Beurteilung . . . 414
2.4.3 Schadensanalyse . . . 423
2.5 Disposition – Vorbereitungsmaßnahmen . . . 428
2.5.1 Konstruktive und technologische Disposition . . . 428
2.5.2 Anforderungen an die Untergrundvorbereitung . . . 432
2.6 Sanierungsschritte an der Putzfassade . . . 433
2.6.1 Altputzflächenreinigung . . . 433
2.6.2 Entfernen des Altputzes . . . 433
2.6.3 Festigung . . . 434
2.6.4 Egalisierung und Unterputz . . . 435
2.6.5 Rissinstandsetzung . . . 436
2.6.6 Oberputz . . . 442
2.6.7 Stuck . . . 442
2.6.8 Beschichtung . . . 442
2.7 Putzsysteme . . . 442
2.7.1 Normalputz (GP) . . . 442
2.7.2 Leichtputzsysteme (I, W) . . . 443
2.7.3 Armierungsputz . . . 444
2.7.4 Oberputze . . . 445
2.7.5 Wärmedämmputzsysteme (T) . . . 447
2.7.6 Sockelputze . . . 447
2.7.7 Putze für erdberührte Außenwände . . . 449
2.7.8 Sanierputzsysteme (R) . . . 449

2.8 Historische Formen der Putzgestaltung 451
Michael Stahr
2.8.1 Putzritzungen 452
2.8.2 Putzschnitt 452
2.8.3 Putzintarsien 455
2.8.4 Sgraffitotechnik 456
2.8.5 Scagliola (Gipsintarsie) 461
2.8.6 Stuckmarmor 462
2.8.7 Putzmodellierung 463
2.8.8 Putzsanierung durch Ziehen von Profilen 464
Literatur 469

3 Fugen 471
Winfried Förster
3.1 Eine Standortbestimmung und Einführung 471
3.2 Funktionelle Gestaltung und bautechnische Unterscheidungen der Fugen 481
3.2.1 Funktionelle Gestaltung der Fugen 481
3.2.2 Begriffe 484
3.2.3 Fugenarten und Fugenbewegungen im Bauwerk 486
3.2.4 Fugenverbindungen bei Fertigteilen und Mauerwerk 490
3.2.5 Beispiele zu bautechnischen Unterscheidungen 491
3.2.6 Zusammenfassung 500
3.3 Einflüsse, Anforderungen und Beanspruchungen der Fugen 500
3.3.1 Einflüsse aus der Bautechnik und Baukonstruktion 500
3.3.2 Bauphysikalische Parameter 502
3.3.3 Beanspruchungen und Anforderungen 503
3.3.4 Zusammenfassung 504
3.4 Fugenmaterialien 504
3.4.1 Ausgangslage und Stoffgrundlagen 504
3.4.2 Fugenmörtel 506
3.4.3 Fugendichtstoffe 511
3.4.4 Zusammenfassung 521
3.5 Fugenbänder und Fugenprofile 522
3.5.1 Vorbemerkungen 522
3.5.2 Dichtungsprinzipien bei Konstruktionsfugen 524
3.5.3 Verlegung von Fugenbändern 527
3.5.4 Injektionsschlauch 531
3.5.5 Fugenprofile 531
3.5.6 Zusammenfassung 532
3.6 Fugenformgebung und ihre Ausführung 533
3.6.1 Einführung 533
3.6.2 Voraussetzungen zur Fugenabdichtung 533

3.6.3 Ausbildung der Außenwandfugen . . . 535
3.6.4 Sichtmauerwerksfugen . . . 546
3.6.5 Ausfugen von Wandbelägen . . . 548
3.7 Sanierungsarbeiten schadhafter Fugen . . . 550
3.7.1 Vorbemerkungen . . . 550
3.7.2 Sanierung von schadhaften Fugen bei Fugendichtmassen und Fugenbändern . . . 550
3.7.3 Sanierung von Fugen im Mauerwerk . . . 556
3.7.4 Nachträgliche Verfugetechniken . . . 562
3.7.5 Schlämmverfugung . . . 566
3.7.6 Sanierung von älteren Fugen einschließlich Rissinstandsetzung . 567
3.7.7 Sanierung von Natursteinfugen . . . 570
Michael Stahr
A Anhang . . . 577
A.1 Normen und andere Rechtsvorschriften . . . 577
Literatur . . . 578

4 Rechtliche Rahmenbedingungen . . . 579
Klaus-Peter Radermacher
4.1 Der Bauvertrag . . . 579
4.1.1 Vertragsschluss . . . 580
4.1.2 Schweigen im kaufmännischen Rechtsverkehr . . . 581
4.1.3 Regelungen im Werkvertrag . . . 583
4.1.4 Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB) . . . 583
4.2 Die Bauabwicklung . . . 586
4.2.1 Untersuchungs- und Rügepflicht . . . 586
4.2.2 Bedenken- und Hinweispflicht . . . 588
4.2.3 Der Schutz der Leistung/Gefahrtragung . . . 591
4.2.4 Dokumentation . . . 593
4.3 Vergütung/Nachträge . . . 596
4.3.1 Vergütungsformen . . . 596
4.3.2 Nachträge (Mehrvergütungsansprüche) . . . 599
4.4 Behinderung bei der Leistungserbringung . . . 610
4.4.1 Anforderungen der Rechtsprechung an die Darlegung von Baubehinderungen und ihre Folgen . . . 611
4.4.2 Folgerungen für den Umgang mit Behinderungsnachverhalten . . 613
4.4.3 Rechtsfolgen (Bauzeitverlängerung und Schadensersatz/Mehrvergütung/Entschädigung) . . . 615
4.4.4 Weitere Anspruchsgrundlagen . . . 616
4.4.5 Weitere behinderungsbedingte Rechtsfolgen . . . 616
4.5 Abnahme . . . 617
4.5.1 Allgemeiner Überblick . . . 618

4.5.2 Vorbehalte des Auftraggebers . . . 619
4.5.3 Beispielsfälle . . . 620
4.5.4 Sonderfall: Schäden/Gefahrtragung vor Abnahme . . . 622
4.5.5 Abnahmeformen . . . 624
4.5.6 Teilabnahmen . . . 625
4.6 Abrechnung und Zahlung . . . 626
4.6.1 Prüfbarkeit der Rechnung . . . 626
4.6.2 Abschlagszahlungen . . . 627
4.6.3 Schlussrechnung . . . 630
4.6.4 Folgen verspäteter Zahlungen . . . 633
4.6.5 Verjährung von Vergütungsansprüchen . . . 634
4.7 Mängelansprüche . . . 635
4.7.1 Entscheidende Schaltstelle: Abnahme . . . 635
4.7.2 Mangeldefinition . . . 636
4.7.3 Rechte des Bestellers bei Mängeln . . . 641
4.7.4 Unverhältnismäßigkeit der Mangelbeseitigung . . . 642
4.7.5 Keine sogenannten „verstecken Mängel“ . . . 643
4.7.6 Mangelbeseitigung nach Verjährung . . . 643
4.7.7 Mangelbeseitigungsaufforderung . . . 644
4.7.8 Unberechtigte Mangelrüge . . . 644
4.7.9 Ersatzvornahme . . . 645
4.7.10 Verjährungsfragen . . . 646
4.8 Sicherheiten . . . 649
4.8.1 Gesetzlich geregelte Sicherheiten . . . 649
4.8.2 Vertragliche Sicherheiten . . . 653
4.9 Bauproduktenrecht . . . 655
4.9.1 Bauproduktenrechtliche Grundlagen . . . 655
4.9.2 CE-Zeichen . . . 657
4.9.3 Folgerung: Pflicht zur CE-Kennzeichnung . . . 658
4.9.4 Verwenden von Bauprodukten nach den Landesbauordnungen – Ü-Zeichen . . . 658
4.9.5 Rechtsfolgen fehlender CE-Kennzeichnung/Leistungserklärung . . . 660
4.10 Vertragsbeendigung . . . 662
4.10.1 Kündigungen durch den Auftraggeber . . . 662
4.10.2 Vertragsbeendigung durch den Auftragnehmer . . . 666
4.10.3 Einvernehmliche Vertragsaufhebung . . . 668
4.11 Vergaberecht . . . 668
4.11.1 Leitprinzipien . . . 669
4.11.2 Schwellenwerte . . . 669
4.11.3 Vergabe unterhalb der Schwellenwerte . . . 669
4.11.4 Vergabe oberhalb der Schwellenwerte . . . 674

4.11.5 Rechtsschutzmöglichkeiten bei Vergaben oberhalb der Schwellenwerte . . . 675
4.12 Architektenrecht . . . 676
4.12.1 Grundlage: BGB . . . 676
4.12.2 Preisrecht (HOAI) . . . 677
4.13 Öffentliches Baurecht . . . 680
4.13.1 Überblick: Rechtsgrundlagen/Bauplanungsrecht-Bauordnungsrecht . . . 681
4.13.2 Baugenehmigungsverfahren . . . 682
4.14 Möglichkeiten der Anspruchsdurchsetzung bzw. Anspruchsabwehr . . . 684
4.14.1 Prozessuale Möglichkeiten . . . 684
4.14.2 Selbstständiges Beweisverfahren . . . 689
4.14.3 Einstweiliges Verfügungsverfahren . . . 690
4.14.4 Schiedsgerichtliches Verfahren . . . 690
4.14.5 Mediation . . . 691
4.15 Abkürzungsverzeichnis . . . 691
Literatur . . . 695

Sachverzeichnis . . . 697

Autorenverzeichnis

Hardy Dinse, B. Eng. Neben einer mehrjährigen praktischen Tätigkeit als Maurer begleitendes Abitur am Abendgymnasium. Anschließend Beschäftigung in der Restaurierung/Konservierung von Wandmalereien und Architekturfassungen mit Schwerpunkt bei der Instandsetzung historischer Putze und von Ziegelmauerwerk sowie Vertiefung kunsthistorischer Kenntnisse an der Uni Greifswald. Studium des Bauingenieurwesens an der HTWK Leipzig. Seit 2012 in der Bürogemeinschaft für Bausachverständige bei Herrn Jürgen Weber in Leipzig angestellt.
Sachkundiger Planer und Führungspersonal für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Mitarbeit bei Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (WTA) im Referat 5 „Beton".

Dr.-Ing. Winfried Förster 1961–1963 Berufsausbildung zum „Werkstoffprüfer/Baustoffe" im DAMW in Leipzig, danach Studium an der Ingenieurschule für Baustofftechnologie Apolda (Betontechnologie) und der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar (Baustoffverfahrenstechnik). Langjähriger Leiter „Technologische Entwicklung" im Baukombinat Leipzig/Kombinatsbetrieb Vorfertigung, während dieser Zeit Promotion an der Technischen Hochschule Leipzig; Sektorleiter im Institut für Aus- und Weiterbildung in Leipzig und Lehrtätigkeit an einer Ingenieurschule, einem Beruflichen Gymnasium sowie in der Aus -und Weiterbildung von Baupraktikern.

RA Klaus-Peter Radermacher Nach dem Studium der Rechtswissenschaften in Marburg/Lahn zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Phillips-Universität Marburg/Lahn sowie als Honorardozent an privaten Bildungseinrichtungen tätig. Nach Absolvierung des Referendariats in Gießen seit 1997 Rechtsanwalt und spezialisiert auf das private Baurecht. Partner und Gesellschafter bei der SMNG Rechtsanwaltsgesellschaft mbH in Frankfurt/Main. Neben der Mitgliedschaft im deutschen Anwaltsverein und dem Zentrum für deutsches und internationales Baugrund- und Tiefbaurecht e.V. tätig als Dozent und Seminarleiter.

Virginie Schulz, B. Eng. Ab 2007 Ausbildung zur Immobilienkauffrau, ab 2010 Studium Bauingenieurwesen an der HTWK Leipzig, ab 2013 Mitarbeiterin in der Bürogemeinschaft für Bausachverständige bei Herrn Jürgen Weber in Leipzig.

Dr. Michael Stahr Nach Abitur, Berufsausbildung (Maurer), Studium an der Technischen Universität Dresden (Dipl.-Gewerbelehrer), Hochschule für Bauwesen Leipzig (Fachingenieur für Bautenschutz) und Promotion an der Thüringischen Hochschule Erfurt (Dr.-paed. Bauwesen), ab 1973 tätig als Leiter für Aus- und Weiterbildung beim Spezialbaukombinat Magdeburg. Ab 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Institut für Aus- und Weiterbildung Leipzig und Dozent an Fach- und Ing.-Schulen des Bauwesens. Selbständig seit 1997 als Lehrer an Privatschulen, Studienleiter an drei deutschen Fernschulen und in Wien. Autor von Fachbüchern, Studienheften und Fachzeitschriftenartikeln.

Sanierung von Fassaden

1

Hardy Dinse

1.1 Historischer Abriss

1.1.1 Fassaden – Entwicklung und Begriffe

> Fassade (franz. facade nach ital. facciata von lat. facies: Gesicht) die Hauptansichtsseite eines Gebäudes, auf die die ganze Gestaltung konzentriert ist (Aus: Hans Koepf „Bildwörterbuch der Architektur“).

Höhle – Hütte – Haus, so reduziert diese Abfolge versucht, das Werden des menschlichen Wohnens darzustellen, so weitgreifend und vielfältig waren die klimatischen Veränderungen und ethnologischen Entwicklungen seit Beginn der Menschwerdung und deren Einfluss, auch auf die Baugeschichte. Insbesondere mit dem Auftreten des modernen Menschen in Mitteleuropa vor circa 35.000 Jahren, wurde eine Entwicklung baulichen Schaffens in Gang gesetzt, welche heute in energetisch autarken oder gar einen Energieüberschuss produzierenden Gebäuden ihre aktuellen technischen Höhepunkte findet.

In frühester Zeit bestand die Notwendigkeit, geologisch geformte Höhlen oder Abris zum Schutz vor klimatischen Einflüssen und als sichere Rückzugsmöglichkeit vorzuhalten. Als Ausgangspunkt sammelnder und jagender menschlicher Vorfahren, um in nahegelegenen Reservoiren pflanzliche Nahrung oder Beutetiere zu beschaffen, waren diese natürlichen Behausungen die erste Adresse der Menschheit (Abb. 1.1).

Indizien dafür, dass vor ca. zwei Millionen Jahren bereits Fertigkeiten vorhanden gewesen sein könnten, um aus Ästen mit Steinen als Lagesicherung kurzfristig nutzbare Unterkünfte zu erstellen. War dies der Beginn einer Entwicklung, deren Verlauf den Menschen in die Lage versetzen sollte, unabhängig von natürlichen Strukturen frei gewählte Orte zu besiedeln? Kann gar ein über den funktionalen Anspruch hinausgehender Gestal-

H. Dinse (✉)
Leipzig, Deutschland
E-Mail: dinse@weber-bauschaden.de

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

M. Stahr (Hrsg.), *Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen*,
https://doi.org/10.1007/978-3-658-08407-3_1



Abb. 1.1 Eingang einer der Sterkfontein-Höhlen nahe Krugersdorp bei Johannesburg (Südafrika), Fundort von Überresten eines ca. 2,6 bis 2,8 Mio Jahre alten *Australopithecus africanus.* (Quelle: John Walker, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2685228. Zugegriffen: 27.01.2016)

tungswille vermutet werden, der als erster kreativer Fingerzeig der Architekturgeschichte gelten könnte? Mit naturwissenschaftlichen Mitteln wird die Existenz von baulichem Schmuckwerk in dieser Zeit wahrscheinlich nie belegt werden.

Frühe archäologische Funde in Mitteleuropa aus der Altsteinzeit deuten auf eine sich weiterbildende Fähigkeit des *Homo Erectus* hin, Naturmaterialien einzusetzen, um an ausgewählten Orten zeitweilig zu siedeln. Sie sind zu datieren auf einen Zeitraum von vor ca. 600.000 bis 300.000 Jahren. So wurden in Přezletice bei Prag die bisher ältesten Spuren einer Hütte von vor etwa 600.000 Jahren aufgefunden. Weitere Funde, z. B. in Südfrankreich (Terra Amata bei Nizza) oder in Bilzingsleben, haben ein Alter von etwa 400.000 Jahren bzw. 370.000 Jahre (Abb. 1.2).

Zeugnisse frühester Bauten sind häufig nur in Form von Verfärbungen in den untersuchten Bodenschichten auszumachen. Dennoch sind Aussagen zu den verwendeten Materialien und zur überbauten Fläche möglich. So kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass ab der mittleren Altsteinzeit neben Bestandteilen von Pflanzen sowie Steinmaterial auch tierische Produkte wie z. B. Felle, Knochen und Stoßzähne zur Ver-



Abb. 1.2 Ca. 400.000 Jahre alte Artefakte ermöglichten einen Nachbau der ältesten in Westeuropa nachgewiesenen Behausung im Museum Terra Amata in Nizza, Frankreich. (Quelle: Véronique Pagnier, CC BY-SA 3.0, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16110277 [letzter Abruf: 27.01.2016])

wendung kamen. Die von Mammutjägern mit diesen Materialien erstellten Hütten wurden zwar nur temporär genutzt, konnten jedoch eine beachtliche Größe von bis zu 35 m^2 aufweisen, wie Funde aus der Grotte du Lazaret in Frankreich vermuten lassen.

Dass nicht nur pflanzliche und von Tieren gewonnene Materialien von Nutzen sein konnten, sondern auch der Boden als Baumaterial einzusetzen war, zeigen die Entwicklungen im Jungpaläolithikum (vor ca. 40.000 bis 10.000 Jahren). An Wohngruben, ob tief in den Erdboden eingegraben oder Gruben bis hin zu fast ebenerdigen Hütten, konnten Pfostenlöcher nachgewiesen werden, welche aufgrund ihrer regelmäßigen Anordnung auf einen festen Überbau hinweisen. Da die Pfostenlöcher eine von der Vertikalen abweichende Ausrichtung haben, ist eine zeltartige oder zelthüttenartige Form anzunehmen.

Die in der jüngeren Altsteinzeit verwendeten großen Rundzelte bestanden aus einem Innenzelt aus Fell und einem Außenzelt aus Tierhäuten (Abb. 1.3). Hierbei übernahm die Luftschicht zwischen den Häuten und Fellen die Funktion einer Dämmschicht, wie man sie auch heute noch z. B. bei zweischaligen Mauerwerk findet. Ob dieser aus bauphysikalischer Sicht ungewöhnlich fortschrittliche Ansatz auf Ingenieursdenken beruht, mag bezweifelt werden, wahrscheinlich hatte man jedoch aus Erfahrungen die richtigen Schlüsse gezogen.



Abb. 1.3 Rundhütte aus Ästen und Schilfrohr nach ca. 8000 Jahre alten Befunden, Nachbau in Alphen aan den Rijn, Niederlande. (Quelle: Marc Strauch, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2842082 [letzter Abruf: 26.01.2016])

Im Laufe des Neolithikums mit den ersten Bauernkulturen um 10.500 v. Chr. gab es dann auch feste, dauerhaft besiedelte Wohnhäuser. Je nach Region bestanden sie aus Lehm, Stein oder Holz. Lehmbauten sind vom Orient bis nach Ungarn bekannt, Steinbauten seit über 10.000 Jahren im Orient, Holzbauten mit Wänden aus Brettern oder lehmverschmiertem Flechtwerk in den bewaldeten Gebieten Europas (Abb. 1.4). In Mitteleuropa war der Pfostenbau die übliche Bauweise, während man in Südeuropa und im Mittelmeerraum bereits feste Behausungen unter Verwendung von natürlich vorhandenen Bruchsteinen errichtete.

Rückblickend scheinen ganze Entwicklungsepochen zwischen den damaligen, zeitgleich existierenden Bauweisen zu liegen, jedoch waren für die starken regionalen Unterschiede insbesondere die Verfügbarkeit natürlicher Materialien und klimatisch bedingte Notwendigkeiten verantwortlich. Bedeutende Faktoren waren dabei die Kenntnisse in der Bearbeitung des Baumaterials, bei der Herstellung von Werkzeugen, die Bevölkerungsstruktur und -dichte sowie die Möglichkeiten des Austauschs mit anderen Kulturen und Regionen. Hieraus entwickelte sich in Europa eine Diversifizierung der Bauweisen deren Vielfalt bereits den heutigen technischen Möglichkeiten nahekommt.

Auch wenn einige der bis dato angewendeten Bauweisen technisch ambitioniert waren, so ist es nahezu unmöglich, aus den aufgefundenen Überresten auf Gestaltungsvarianten



Abb. 1.4 Rekonstruktion eines Hauses aus der Jungsteinzeit in Alphen aan den Rijn, Niederlande; Die Punkt-Geraden-Stilistik im oberen Bereich und die krummlinigen Muster unterhalb sind Ornamenten an aufgefundenen Keramiken aus der Zeit nachempfunden. Gebäudereste mit erhaltenen Bemalungen sind bisher nicht bekannt. (Quelle: Ziko, CC BY-SA 3.0, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4554146 [letzter Abruf: 18.01.2016])

oder Applikationen zu schließen, die ausgewählten Gebäudeteilen einen abweichenden Charakter verliehen oder diese als repräsentativen Gebäudeabschluss, wie z. B. in Form einer Fassade erkennbar machten.

Dass den Menschen dieser Zeit dennoch hinreichende handwerkliche Fähigkeiten und Kreativität zu eigen waren, ist beispielsweise durch erhaltene Höhlenmalereien zweifelsfrei bestätigt. Aufgefundene figürliche und erstaunlich detailgetreue Abbildungen von Szenen aus dem Lebensumfeld unserer Vorfahren weisen mitunter eine enorme Farbvielfalt auf. Erhalten blieben diese Darstellungen vornehmlich wegen ihrer vor den Witterungseinflüssen geschützten Lage. Die Entwicklung von Bauweisen unter Verwendung widerstandsfähiger Materialien, die über lange Zeiträume eine gleichwertige Funktionalität gewährleisten konnten, begann dagegen erst vor frühestens 10.000 Jahren.

Eindeutig verifizierbare Erkenntnisse zu Details der Bauausführung und auch zu Gestaltungsvarianten beruhen auf archäologischen Befunden und in geringerem Umfang auf erhaltenen Darstellungen. In jedem Fall ist die Kenntnislage unmittelbar an den Erhaltungszustand der damals verwendeten Materialien geknüpft, weshalb unser Bild vom früheren Baugeschehen durch die Entwicklung und Anwendung widerstandsfähiger Materialien bedingt ist. Derartige Baumaterialien und die zur Verarbeitung unerlässlichen handwerklichen Techniken standen unseren Vorfahren erst ab der Jungsteinzeit zur Verfügung.

In den folgenden Jahrtausenden entwickelten sich Hochkulturen z. B. in Ägypten, mit den Sumerern in Mesopotamien, den Maya in Mexico und Guatemala, der Indus- oder Harappa-Kultur und der Oasen- oder Oxus-Kultur in Zentralasien. Vorderasiatische Kulturen wie das assyrische oder babylonische Reich hinterließen neben eindrucksvollen Bauwerken auch die für die Erbauung notwendigen neuen Techniken, beispielweise die Ziegelherstellung. Insbesondere die Kulturen des Zweistromlandes beeinflussten die Entstehung der antiken europäischen Kulturen in Griechenland und dem Römischen Reich ebenso maßgeblich wie den Orient bei der Entstehung des osmanischen Reiches. Bauwerke dieser Epochen beeinflussen seitdem die Architektur, nicht nur in Europa. Als überliefertes Zeugnis des alltäglichen Lebens und als Landmarken wissenschaftlichen wie auch gesellschaftlichen Fortschritts, gilt dem Erhalt historischer Bausubstanz ein außerordentliches Interesse. Aus der Sicht eines mitteleuropäischen Baupraktikers gehören jedoch vor allem jene Gebäude zu seinem Aufgabengebiet, die seit der Romanik entstanden und vielfach unter Verwendung von dauerhaften Mauerziegeln errichtet worden sind und deshalb auch heute noch Teil des erhaltenen Bauwerksbestandes sind.

1.1.2 Der Mauerstein – erster künstlicher Baustoff der Menschheit

Mit Beginn der Jungsteinzeit bildeten sich Fähigkeiten heraus, Materialien nicht nur in ihrer natürlich vorkommenden Beschaffenheit einzusetzen. Es gelang mit der Herstellung erster Lehmziegel die Fertigung eines Baustoffes mit reproduzierbaren Eigenschaften.

Der Mauerziegel ist einer der ältesten Baustoffe der Kulturgeschichte und der erste von Menschenhand künstlich geschaffene Baustoff. Luftgetrocknete Lehmziegel, auch „Adobe“ genannt, sind die Vorläufer unserer gebrannten Mauerziegel. Ihr Ursprung liegt zwischen Euphrat und Tigris in Mesopotamien etwa 7500 Jahre v. Chr., wie archäologische Funde in Jericho belegen. Lehm besteht überwiegend aus Sand, Schluff und Ton in unterschiedlicher regionaltypischer Zusammensetzung.

Bei Chirokitia auf Zypern wurden die Reste von 48 Kuppelhütten einer mehr als 7000 Jahre alten Wohnsiedlung ausgegraben. Die eng aneinandergebauten Rundlinge verfügten zum Teil über Schlafplätze auf einer Zwischendecke im Innern. Auch wenn die, ebenfalls auf Zypern befindlichen Siedlungen Shillourokambos und Tenta mehr als 1000 Jahre älter sind, wird Chirokitia jedoch immer noch als eine der wichtigsten prähistorischen Stätten des östlichen Mittelmeerraumes angesehen.

Die in Mischbauweise aus Stein und Lehmziegeln errichteten Mauern wurden wahrscheinlich von einem Flachdach, bestehend aus einem Holzraster mit Schilfrohr und mehreren Schichten von Lehm und Erde überspannt. Frühere Forschungen gingen noch von einer kuppelförmigen Dachkonstruktion aus (Abb. 1.5).

Archäologische Funde beweisen, dass die Entwicklung der Lehmziegeltechnik unabhängig voneinander in weit entfernten Regionen unterschiedlicher Epochen zu beobachten war. Neben der Verbreitung in Kleinasien bzw. im Mittelmeerraum, ist die Lehmziegelarchitektur aus China und Mittel- und Südamerika bekannt. Mit der Sonnenpyramide in

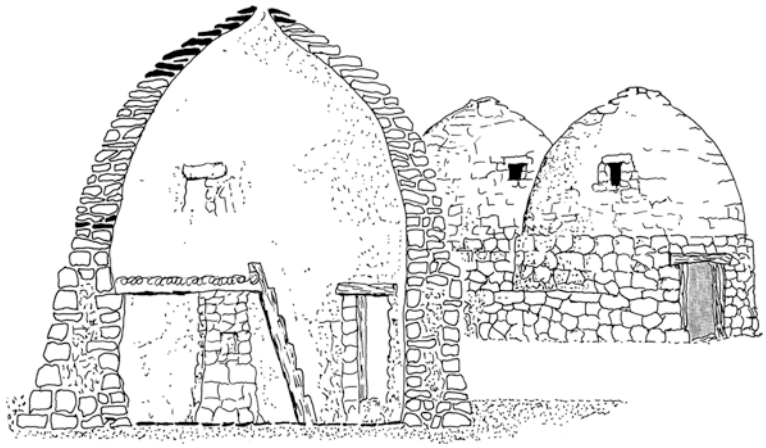


Abb. 1.5 Rundhütten aus Stein und Lehm in Chirokitia auf Zypern, Rekonstruktion aufgrund früherer Forschungen. (Quelle: ILS Hamburg)

Teotihuacán (México) (Abb. 1.6), der Huaca del Sol und der Huaca Larga (beides Peru) finden sich die weltweit größten Adobe-Bauwerke dort. Eine weitere Art der Erstellung von Lehmbauten seit der Jungsteinzeit ist die Stampflehmtechnik. Herausragende Bauwerke finden sich mit der Großen Moschee von Djenné in Mali (12.–13. Jh.) oder dem aus Stampflehm hergestellten Kernmauerwerk der Großen Mauer in China.



Abb. 1.6 Sonnenpyramide in Teotihuacán (México). (Quelle: No machine, CC BY-SA 3.0, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=830182 [letzter Abruf: 13.02.2016])

Zur Verwendung kamen Lehmziegel vorwiegend in Gegenden mit natürlichen, leicht abbaubaren Vorkommen und einem geringen Niederschlagsaufkommen. Da Lehmbauten eine hohe Anfälligkeit gegenüber dauerhafter Durchfeuchtung und Schlagregenbeanspruchung aufweisen, ist nicht nur die Lage des Gebäudes von Bedeutung. Einhergehend mit der Verwendung von Adobe wurden angepasste Dachkonstruktionen mit einem ausreichenden Dachüberstand als Schutz vor direkter Beregnung und geeignete Gründungen als Sicherheit vor aufsteigender Feuchte notwendig. Um die Eigenschaften von Lehmziegeln zu verbessern wurden neben der Herstellung von reinen Lehmziegeln frühzeitig Zuschläge, wie z. B. Stroh und tierische Produkte (Haare, Kot) beigefügt oder das Mischungsverhältnis durch die Zugabe von Sand modifiziert, sofern der Tonanteil zu hoch war.

Das Erfolgsrezept für die weite Verbreitung von Lehmziegeln ist in der einfachen Herstellung, dem geringen Eigengewicht gegenüber anderen Materialien wie z. B. Naturstein sowie dem hohen Wärmespeichervermögen zu sehen. Baupraktisch liegen die Vorteile von Lehmziegeln gegenüber Wänden aus ungeformtem Lehm in der besseren Transportfähigkeit, einer höheren Lastaufnahme und es wird keine Schalung benötigt. Zudem zeichnet sich Lehm durch eine vollständige Wiederverwendbarkeit aus (Abb. 1.7).

Anfangs erfolgte die Formgebung der Lehmziegel von Hand und sie erhielten dadurch eine sehr unregelmäßige Form. Etwa seit 6300 v. Chr. sind Ziegel in glatt gestrichener Form aus Mesopotamien bekannt, deren Formgebung sehr wahrscheinlich aus Nachbearbeitungen der Rohlinge zu Beginn des Trocknungsprozesses resultierte. Die Verwendung von Model zur Formgebung ist in derselben Region zwischen 5900 und 5300 v. Chr. nachgewiesen. Jedoch gab es bei luftgetrockneten Lehmziegeln auch technologische Problemstellungen in der Herstellung zu bewältigen. Bei direkter Sonneneinstrahlung neigen die Ziegel zu Rissbildungen aufgrund von Zwangsspannungen infolge starker Feuchtedifferenzen zwischen Kernzone und Randbereich. Nachweislich wurden daher Produktions-



Abb. 1.7 Artefakt einer Lehmziegelwand aus spätminoischer Zeit um 1700–1450 v. Chr. in Gournia (Kreta). Auf der Wand im Hintergrund sind Fragmente eines Gipsputzes erhalten geblieben

zeiträume nach Möglichkeit in Monate mit geringerem Sonnenstand verlegt oder schattige Flächen zur Lagerung genutzt.

Bereits in der Jungsteinzeit war das Brennen von Ton als Herstellungstechnik für Gefäße bekannt, wurde aber für Ziegel nicht eingesetzt. Die bis heute ältesten bekannten gebrannten Ziegel wurden auf Kreta gefunden, ihre Herstellung datiert auf die Zeit um 4000 v. Chr. Palastbauten aus späteren minoischen Bauphasen in Knossos wurden in Ziegelbauweise bereits mit bis zu fünf Stockwerken errichtet (Abb. 1.8).

Es wird angenommen, dass die Bezeichnung „Testa“ für gebrannte Ziegel in der Antike im Mittelmeerraum verbreitet gebräuchlich war. Im Italienischen findet sich der Begriff auch heute noch, z. B. als Bezeichnung für rote bis bräunliche, aus Ton gebrannte Bausteine oder ganz allgemein für gebranntes irdenes Gut aus Ton. Eine größere Bedeutung mit umfangreicherer Produktion und Sichtflächengestaltungen in Form von Glasierungen erlangte der Baustoff ca. um 3100 bis 2900 v. Chr. in den Gebieten Mesopotamiens. Dass Ischtar-Tor ist vermutlich das bekannteste Beispiel spätbabylonischer Baukunst, es erhielt unter Nebukadnezar II. 605–562 v. Chr. sein heutiges Erscheinungsbild.

In der Gerichtsbarkeit und Politik des antiken Griechenlands erfreute sich gebrannter Ton in Form von Scherben bei Abstimmungen, dem sogenannten Scherbengericht, bis mindestens in das 4. Jh. v. Chr. andauernder Beliebtheit. Feste Behausungen für ärmere Schichten wurden mit der Ziegelbauweise erschwinglicher. Gut situierte Bürger bevorzugten zumindest noch anfangs die bewährte Bauweise aus bearbeiteten Naturstein.



Abb. 1.8 Knossos, Kreta; Die Fundstätte der ältesten bekannten gebrannten Ziegel wird heute von einer sehr freien Interpretation minoischer Baukunst in Beton und Sandstein geprägt

1.1.3 Landschaft – Baustoffvorkommen – Baugestalt

In Landschaften mit geeignetem Steinvorkommen und unter Überlieferung römischer Bautechniken wurden Werksteinbauten geschaffen. Die Steinquader wurden meist bereits im Bruch nach Versetzplan winkelrecht zugerichtet. Aus Kostengründen blieb die Bauart bevorzugt den Sakral-, Adels- und repräsentativen Gemeinschaftsbauten vorbehalten. Seit der Renaissance, besonders in der Gründerzeit fand der Werkstein auch in Bürgerbauten für Tür- und Fensterumrahmungen, Gesimse und sonstige Zierglieder Verwendung. Durch die zunehmende Anreicherung der Luft mit Schadstoffen sind viele Steinbauten von der Zerstörung bedroht. In Waldgegenden und besonders in Süddeutschland waren auch Mischbauweisen üblich, z. B. massive Gebäudeaußenwände und Trennwände aus Fachwerk (Bundwände). Putzbauten, je nach örtlichen Baustoffvorkommen aus Bruchstein- oder Ziegelmauerwerk, bestimmen die Ortsbilder in vielen Regionen Mitteleuropas. Dabei ist Bruchsteinmauerwerk heute noch in weit mehr Bauten erhalten, als oft vermutet wird. Insbesondere bei Kellerumfassungen und Kellergewölben ist dies der Fall.

Seine erste Blütezeit und weiträumigste Verbreitung erlangte der Mauerziegel in der Spätantike als vorherrschender Baustoff im Römischen Reich im 1. und 2. Jh. (Abb. 1.9), besonders im Gewölbebau (etwa 80–120 n. Chr.). Nach dessen Niedergang behielt der Ziegel in Italien, Byzanz und Westeuropa seine Stellung (Abb. 1.10). Auf dem Gebiet des heutigen Norddeutschlands und in den vormals römisch geprägten Teilen Nordeuropas



Abb. 1.9 Ziegelwand im Domus Augustana in Rom, im 1. Jh. als Teil des Kaiserpalastes errichtet. Aufgrund des plattenförmigen Ziegelformats weist das Mauerwerk einen hohen Fugenanteil auf. Gut erkennbar sind die abweichende Qualität von Kernmauerwerk und Vorblendschale. (Quelle: Jensens, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4658071 [letzter Abruf: 17.02.2016])



Abb. 1.10 Kirche Santo Sepolcro (Bologna, Italien), errichtet zwischen dem 5. und 8. Jh. (Quelle: AHert, CC BY-SA 3.0, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33419288 [letzter Abruf: 05.01.2016])

löste der Naturstein den Ziegel wieder ab. Erst ab der Mitte des 12. Jh. wurde die Ziegelbauweise durch Mönche dort wieder verbreitet, während in anderen Regionen bereits in der Romanik Ziegelbauten errichtet wurden. Hinreichend geklärt ist die Renaissance des Ziegelbaus jedoch nicht, auch wenn davon auszugehen ist, dass die abnehmende Verfügbarkeit eiszeitlicher Steinvorkommen und die vorteilhafte Maßhaltigkeit der Ziegel dafür ausschlaggebend gewesen sein dürften.

Wo der Lehmbau nicht genügte, der Fachwerkbau nicht üblich war und die wirtschaftlichen Verhältnisse es gestatteten, wurden wieder gebrannte Lehmziegel, „Backsteine“, verwendet. In der Folgezeit entwickelte sich die (Backstein-)Gotik mit ihren als Sichtmauerwerk ausgebildeten Fassaden als überragende Baukunst in weiten Teilen Mittel-, Süd- und Westeuropas. Insbesondere an den Kirchengebäuden ist der Übergang vom Steinbau mit gestalteten Findlingen zum Ziegelbau offensichtlich.

Das in der europäischen Gotik präferierte Sichtmauerwerk (Abb. 1.11) wurde in der Renaissance und im Barock zunehmend von Putz- und Stuckfassaden oder von überschlämmtem Mauerwerk abgelöst. Insbesondere im Barock galt der Schein mehr als das Sein. Folglich verzichtete barockes Mauerwerk auf sorgfältig ausgebildete Verbän-

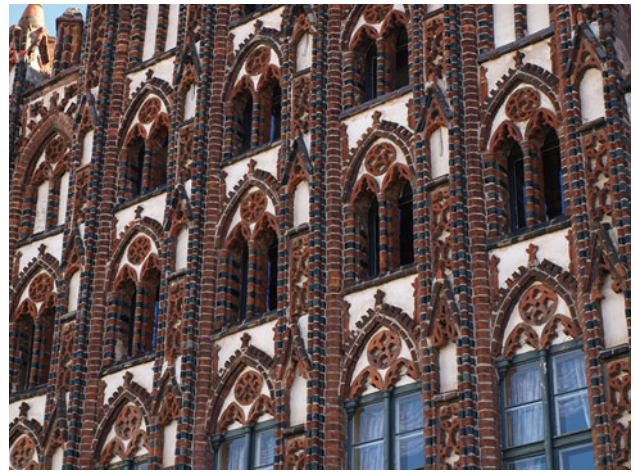


Abb. 1.11 Schaugiebel eines Wohnspeicherhauses in Greifswald/Vorpommern (um 1400, Ausschnitt). Die schmuckreiche Fassade hebt das Bürgerhaus aus den Bauten der norddeutschen Bachsteingotik hervor

de und ein sauberes Fugenbild zugunsten aufwendiger Applikationen auf den Fassaden (Abb. 1.12).

Unter Verblendungen aus Naturstein war Backstein in Italien der am häufigsten verwendete Baustoff der Zeit, weil die Herstellung von Backsteinen billiger als der Transport und das Behauen von Steinen war. Zudem sind Backsteine leichter als die meisten Natursteine. Deshalb baute Brunelleschi die Kuppel des Doms von Florenz aus Backsteinen. Eine erneute Blütezeit erlebte die Backsteinarchitektur mit Sichtmauerwerk in der englischen Renaissance zwischen 1450 und 1650. Auch fernab europäischer Kulturkreise hatte sich der vorgefertigte Baustoff wegen seiner technischen Vorzüge durchgesetzt, so ist die dritte Chinesische Mauer zu großen Teilen aus Backsteinen errichtet worden.



Abb. 1.12 Das Taschenbergpalais in Dresden (Ausschnitt), errichtet von 1705 bis 1708 im Stil des Dresdner Barock



Abb. 1.13 Details an einer klassizistisch gestalteten Fassade in Greifswald

Mit starken regionalen Bezügen und Ausprägungen, vor allem in den Niederlanden, Frankreich und England setzte Sichtmauerwerk aus Backstein zwischen 1650 und 1800 in Europa architektonische Akzente, wie u. a. die Ziergiebel Amsterdams oder in Brügge eindrucksvoll bezeugen. Mischbauweisen aus Backstein und Naturstein waren nicht nur aus statischer und feuchtetechnischer Sicht vorteilhaft, insbesondere bei der Ausbildung der Gründungen oder Eckausbildungen, sondern erlaubten abwechslungsreiche Gestaltungsmöglichkeiten, wie z. B. Bauten des französischen Klassizismus bezeugen. Vor dem Hintergrund schmerzlicher Erfahrungen nach den verheerenden Feuersbrünsten früherer Jahrhunderte bot das signifikant bessere Brandverhalten einen entscheidenden Vorteil. Die richtigen Lehren daraus ziehend, gestattete London nach dem großen Brand von 1666 nur noch Stein- und Backsteinbauten im Neubau.

Um der zunehmend wichtiger werdenden wirtschaftlichen Rentabilität und den rasant steigenden Bevölkerungszahlen insbesondere in den Städten gerecht zu werden, dominierten Backsteine wegen des geringeren Preises die Bauwirtschaft im Zeitalter der Industrialisierung. Der rasante Bauboom veränderte nicht nur die Städte jener Jahre, vielerorts bezeugen die umgebenden Landschaften mit den heute oft als Badeseen genutzten ehemaligen Ton-, Sand- und Kiesgruben die enorme Nachfrage nach billigem Baumaterial.

Vielstöckige Mietskasernen, Bauten der Infrastruktur und imposante, bisweilen basilikaartige Fabrikgebäude wurden zwischen 1850 und 1950 traditionsgebunden in Ziegelbauweise, auch zunehmend kombiniert mit Stahl-Glas-Konstruktionen, in zuvor nie gekannten Größenordnungen errichtet. Architektonische Strömungen des Historismus, wie die Backstein-Neogotik suchten nach Antworten auf die Anforderungen des immer schnelleren Fortschritts, indem Elemente früherer Epochen wiederbelebt wurden (Abb. 1.14). Beispielsweise wurde die Marineschule in Flensburg-Mürwik, des Architekten Adalbert Kelm als großer, repräsentativer Gebäudekomplex noch 1910 durchgehend mit Ziegeln im Stil der Backsteingotik als Sichtmauerwerk errichtet.



Abb. 1.14 Die im Jahr 1882 eröffnete Alte Unibibliothek in Greifswald wurde während des Historismus von Martin Gropius im Stile der italienischen Renaissance entworfen

Besondere Aufmerksamkeit erlangte die Göltzschtalbrücke in Sachsen, welche bis heute die größte Ziegelbrücke der Welt ist. Um eine ausreichende Tragfähigkeit und Witterungsbeständigkeit zu erreichen, wurde die Brückenkonstruktion aus hochfest gebrannten Klinkern errichtet.

Im 20. Jh. lösten Stahl, Beton und Glas aus ökonomischen und konstruktiven Gründen den Ziegel als Baumaterial zunehmend ab. Ziegel ist nicht hinreichend tragfähig, um etwa Hochhäuser zu errichten. Backsteinexpressionismus und Heimatschutzarchitektur setzten die Tradition des Backsteinbaus im 20. Jh. aber nicht nur in Norddeutschland fort. Bedeutende Industriebauten (Kraftwerke, Stahlwerke, Kokereien) wurden noch in der Mitte des 20. Jh. aus Ziegeln errichtet oder zumindest mit Klinkern verkleidet. Der Berliner Dom ruht auf einem Fundament aus Pfeilern von Ziegeln.

Auch wenn im aktuellen Baugeschehen der Mauerziegel nicht mehr das alleinige Mittel der Wahl darstellt, nimmt er noch immer einen hohen Stellenwert ein. Die Anforderungen an den Ziegel, vor allem bedingt durch spezialisierte Anwendungen z. B. als Verblender bei hinterlüfteten Fassaden (Abb. 1.15), sind heute andere und die Produzenten haben sich darauf eingestellt. Eine vollständige Rohbauerstellung mit kleinformatigen Mauerziegeln ist in unserem Wirtschaftsraum finanziell kaum mehr vermittelbar. Hier wird den Notwendigkeiten der technologischen Abläufe mit großformatigen Mauersteinen, Verklebung im Dünnbett statt Mörtelfugen oder einer werksseitig vorkonfektionierten Wandabwicklung mit XL-Planblöcken Rechnung getragen.

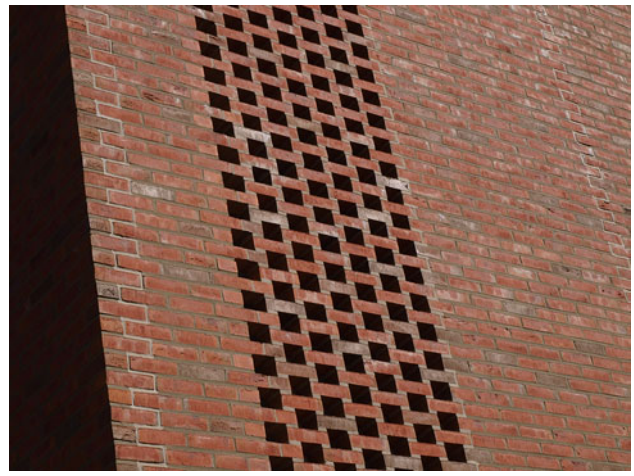


Abb. 1.15 Modernes Gebäude mit Klinkerverblendung, Anordnung eines durchbrochenen Mauerverbandes, um Tageslicht in das Gebäude zu leiten

Ohne einen wetterschützenden Verputz bedarf der Backsteinbau sorgfältiger Materialwahl und bester handwerklicher Verarbeitung. Instandsetzungen von Ziegelbauten bedingen selbstverständlich auch die Berücksichtigung der verwendeten Mörtel als ebenbürtigen Mitspieler im System Mauerwerk, ob mit oder ohne Verputz. Saniermörtel nach alten Rezepten, also durch Beimischung von Glaspulver, Stroh, Kohle, Pferdehaar, Streu und Häcksel adaptieren Eigenschaften der ursprünglich verwendeten Mörtel und verhelfen den authentischen Charakter zu bewahren und der Bauphysik des Objekts gerecht zu werden (Abb. 1.16).

Die Faszination dieses Baustoffs liegt darin begründet, dass die Ziegelproduktion trotz vielfältiger Untersuchungen und Fortschritte bis heute einen Rest von Individualität und Geheimnis bewahrt hat. Weltweit findet man heute noch alle Entwicklungsstufen der Ziegeltechnik vor. Zwar sind die physikalischen Vorgänge und die chemischen Reaktionen bei Tonaufbereitung, Formgebung, Trocknung und Brand in vielen Einzelheiten erforscht worden, aber die auf Farbe, Gefüge, Dichte, Porosität, Dauerhaftigkeit und Frostfestigkeit einwirkenden Faktoren sind so komplex, dass auch heute noch manche Fragen offen sind.



Abb. 1.16 Fugenmörtel mit gebrochenem Glas als Beimischung um eine farbliche Wirkung zu erzielen und die Witterungsbeständigkeit zu verbessern, um 1880

1.1.4 Herstellung und Eigenschaften von gebrannten Ziegeln

Ziegel, unterschiedlich gebrannt, handgestrichen oder aus der Strangziegelpresse, in unterschiedlichen Größen, Oberflächenstrukturen, Farbtönen und Sonderformen, sind bis in die Gegenwart ein gebräuchliches Bau- und Gestaltungselement.

So vielfältig, wie seine Bezeichnung (Backstein, Klinker, Verblender, Ziegel usw.), so unterschiedlich waren auch seine Anwendungsmöglichkeiten in der Architektur, die Verfahren zu seiner Herstellung und die handwerkliche Verarbeitung. So kam er im traditionellen Mauerverband als Vor- oder Hintermauerziegel, als Formstein, Terrakotta oder als farbenprächtiger glasierter Bildteppich (z. B. beim Ischtator zu Babylon) vor.

Die heutige Bautechnik, in ihrer konstruktiven Vielfalt mit zweischaligem Mauerwerk, Betonbau, Stahl, Glas und Kunststoff brachte es mit sich, dass der einst für alle Zwecke einsetzbare Mauerziegel, heute als Vormauerziegel oder Verblender, andere Eigenschaften verkörpert als ein Hintermauerziegel.

Erstmals wurden gebrannte Einhandziegel zwischen 2800–2200 v. Chr. in der damaligen Indus- oder Harappa-Kultur in den Proportionen 1 : 2 : 4 gebrannt. Aus dem festgelegten Seitenverhältnis dieser Ziegel resultierten Baukörper, deren Maßigkeit dem Vielfachen der Seitenlängen der Ziegel entspricht. Seitdem entstand eine nahezu unüberschaubare Vielzahl eigenständiger Formate.

Selbst in unserem Kulturraum sind unzählige Ziegelformate bekannt, die zudem regional noch unterschiedliche Abmessungen aufweisen können. Beispielhaft sei das seit der Gotik bekannte Klosterformat genannt. Für diese Handstrichziegel existierten keine einheitlichen Systemmaße. Die Abmessungen unterschieden sich nach den Kloster- bzw. Dombauschulen, da eine überregionale Verwendung der Ziegel nicht beabsichtigt war und auch infrastrukturell als wenig sinnvoll erachtet wurde. Durchschnittlich betragen die Größen ca. 28 × 15 × 9 cm bis zu 30 × 14 × 10 cm, im Einzelfall sind Ziegel mit einer Höhe von bis zu 12,5 cm bekannt. Die Fugen waren üblicherweise ca. 1,5 cm dick, was nicht zuletzt der geringeren Maßhaltigkeit gegenüber den modernen Ziegeln geschuldet war.

Erst später erfolgten länderübergreifende Vereinheitlichungen der Baumaße von Ziegeln, so wurde 1872 das „Reichsformat“ (25 × 12 × 6,5 cm) eingeführt, beispielsweise um Ziegel unterschiedlicher Herkunft kombinierbar zu machen, die Produktivität zu erhöhen oder Entwurfsarbeiten zu vereinfachen.

Im deutschsprachigen Wirtschaftsraum werden aktuell die Formate künstlicher Mauersteine zumeist in Dünnformat (DF, 240 × 115 × 52 mm) und Normalformat (NF, 240 × 115 × 71 mm) unterschieden, welche sich an den Baurichtmaßen des oktametrischen (1 / 8 m = 12,5 cm) Rasters orientieren. Beim Dünnformat werden Formatkurzbezeichnungen verwendet, die sich auf ein Vielfaches des sogenannten Dünnformates (z. B. 2DF) beziehen.

Seit Jahrtausenden, teilweise heute noch, wird der Ziegel im Handverfahren hergestellt. Die Herstellung im Handverfahren ist arbeitsintensiv und zeitaufwendig, da die Rohmasse in Formen bzw. im Model eingebracht, verdichtet und abgezogen werden muss (Abb. 1.17 und 1.18). Diese Technik wird heute vor allem bei der Produktion von Ziegeln für Ob-



Abb. 1.17 Herstellung von Ziegeln, Ägypten um 1500–1450 v. Chr., Szene aus der Grabkammer des Rechmirê. (Quelle: The Yorck Project: 10.000 Meisterwerke der Malerei. DVD-ROM, 2002. ISBN 3936122202, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=154345 [letzter Abruf: 19.01.2016])

jekte in der Denkmalpflege und Restaurierung angewendet. Insbesondere wenn von den Ziegeln das Erreichen eines historisch äquivalenten Oberflächenduktus abverlangt wird oder an Ersatzziegel besondere Anforderungen, z. B. Festigkeit, Form oder Farbe, gestellt werden, ist die Herstellung von Hand nahezu alternativlos. Zudem werden derart zweckgebundene Ziegel häufig in so geringen Stückzahlen benötigt, dass eine wirtschaftliche Serienproduktion ausgeschlossen ist.

Die Herstellung von handgefertigten Ziegeln erfolgte meist am Ort des Rohstoffvorkommens. Ein wichtiges Kriterium für den Ort der Unternehmung war zudem das Vorhandensein des notwendigen Brennmaterials, welches mit der Intensivierung der Produktion zunehmend standortrelevant wurde. Während anfangs die noch feuchten Ziegel, Grünlinge genannt, im Freien vortrockneten und anschließend in einem Ofen gebrannt wurden, erfolgte die Trocknung der Rohlinge in zunehmendem Maße in warmluftgeheizten Trockenanlagen, um den Prozess zu beschleunigen und der steigenden Nachfrage gerecht zu werden. Waren es vor 1900 meist Kleinbetriebe (Abb. 1.20), so entstanden z. B. im Gebiet der Lausitz oder im Leipziger Raum große Dampfziegeleien. Begünstigt durch den Aufschluss der Braunkohlentagebaue waren neben dem benötigten Energieträger zugleich große Ton- und Sandvorkommen parat. Mit der Industrialisierung ging ein Bauboom einher, der die gesamte Infrastruktur nachhaltig beeinflusste. Der Wiener Neustädter Kanal beispielsweise wurde eigens errichtet, um das Holz aus dem Wienerwald zu den südlich gelegenen Tonvorkommen bzw. den dort ansässigen Ziegeleien zu bringen. Heute dient als Brennstoff bei der Ziegelherstellung meist Gas oder Öl. Die ohnehin vorhandene Transportinfrastruktur der kontinentalen Pipelines hat den Vorteil, dass die Produktion nicht mehr vom lokalen Vorhandensein des Energieträgers abhängig ist.

Im Rohzustand ist der überwiegend im Tagebau gewonnene Ton nicht formbar und muss in Nass- oder Trockenaufbereitung zerkleinert und gereinigt werden. Aufgrund der Schwankungsbreite in der Qualität des Ausgangsmaterials kommt dem nächsten Verarbeitungsschritt eine besondere Bedeutung zu. Die geeignete Mischung von Ton und Sand



Abb. 1.18 Ziegelherstellung um 1568, Kupferstich v. Jost Amman. (Quelle: Gemeinfrei, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=207398 [letzter Abruf: 22.01.2016])



Abb. 1.19 Handstrichziegel mit Fingerabdruck, 2. Hälfte des 19. Jh.

ist immanent für die Verwendbarkeit der späteren Ziegel. Ein „magerer“ Lehm, also ein zu geringer Tonanteil lässt die Ziegel zu weich und damit witterungsanfällig werden. Ist der Tonanteil zu hoch bzw. der Lehm zu „fett“, lassen die beim Brennen entstehenden feuchte- und temperaturbedingten Zwangsspannungen den Ziegel reißen.

Tonerden enthalten je nach Lagerstätte in differierenden Anteilen verwitterte Gesteinsreste wie Quarz, Glimmer oder Feldspat sowie regionaltypische Beimengungen wie Mineralien, Kalk, Humus oder Kohle. Zusammen bestimmen sie maßgeblich die Farbe des gebrannten Tons.



Abb. 1.20 Mit einem Model geprägtes Ziegelzeichen um 1900

In vorindustrieller Zeit wurde die plastische Masse in Holzmodeln zu Handstrichziegeln (Abb. 1.19), danach durch Strangpressen zu Mauerziegeln, Strangdachziegeln oder Hohlkörpern verformt. Weitere formgebende Verfahren sind die Herstellung von Pressdachziegeln auf Revolverpressen und von Bodenplatten im Trockenpressverfahren. Das weitaus effektivere und heute vorherrschende Strangpressverfahren ist erst seit Anfang des 17. Jh. bekannt. Beim Strangpressverfahren wird die Tonmasse unter Druck zu einem Tonstrang gepresst, von dem die Rohziegel abgeschnitten werden, so entstehen relativ glatte und gleichförmige Strangpressziegel. John Etheringen baute im Jahr 1610 in England eine manuell angetriebene Kolbenpresse und stellte damit im Strangpressverfahren Ziegel her. Hierzulande zählt Carl Schlickeysen aus Berlin zu den Pionieren. Ihm wurde 1854 in England ein Patent auf eine „Maschine zur Anfertigung von Röhren und Ziegeln“ erteilt. Die von Schlickeysen gebaute senkrechte Strangpresse verfügte über eine Welle, auf der schräg stehende Pressflügel befestigt waren. Durch den maschinell angetriebenen Vortrieb wurde eine Ton- bzw. Lehmmasse kontinuierlich durch ein Mundstück gepresst. Auf den Erfindungen Carl Schlickeysens beruhen die heutigen Schneckenstrangpressen. Als ein weiterer Vorläufer der heute liegend angeordneten Strangpressen wurde 1860 von der Firma Hertel und Schmelzer in Nienburg/Saale erstmals in Deutschland eine liegende Schneckenstrangpresse gebaut. Alle Strangpressen bis zum Beginn des 20. Jh. arbeiteten ohne Entlüftung, sodass häufig nur eine unzureichende Qualität aufgrund zahlreicher Lufteinschlüsse und Gefügestörungen erreicht wurde. Mit der Entwicklung der Vakuumstrangpresse, für die dem US-Amerikaner R. H. Stanley 1902 das Patent auf eine „Entlüftungsmaschine für verformte Tonmassen“ erteilt wurde, vollzog sich eine signifikant verbesserte Produktqualität. Während die Strangpressverfahren zunächst ausschließlich der Herstellung von Ziegeln und Röhren vorbehalten waren, konnten nach technischen Modifizierungen diese Maschinen ab ca. 1930 auch in der Porzellanindustrie, Feuerfestkeramik und Technischen Keramik eingesetzt werden.

Bis in das 19. Jh. hinein wurden Ziegel in Feldbrandziegeleien, Einkammeröfen und in Schachtöfen gebrannt. Friedrich Eduard Hoffmann (1818–1900) erhielt im Jahr 1859



Abb. 1.21 Ringofen in Großtreben, ältester vollständig erhaltener Ringofen Hoffmannscher Bauart in Deutschland, erbaut 1861–1865. (Quelle: Doris Antony, Berlin, URL: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6738949 [letzter Abruf: 07.02.2016])

in Preußen und Österreich ein Patent auf den Hoffmann'schen Ringofen. Der ringförmige Ofen ermöglichte das kontinuierliche Brennen von Fertigerzeugnissen wie z. B. Ziegel und Tonwaren war darüber hinaus aber auch für die Aufbereitung von (Vor-) Produkten wie Kalk und Gips einsetzbar. Im Hoffmann'schen Ringofen wird das Brenngut in die ringförmig um den Kamin angeordneten Brennkammern verbracht und dann von der Warmluft überströmt (Abb. 1.21). Ein anderes Ringofenprinzip führte die Kohle an den stehenden Ziegeln vorbei. Mit der Erfindung des Ringofens ging im 19 Jh. eine vorher nie gekannte Steigerung der Ziegelproduktion einher. Abgelöst wurde der Ringofen von den heute verbreiteten Tunnelöfen, in denen getrocknete Formlinge jeden Formats auf feuerfesten Tunnelofenwagen ununterbrochen durch einen mit genau temperierter Warmluft durchströmten Tunnel geführt werden.

1.2 Grundlagen der Fassaden- und Außenwandsanierung

Eine Veränderung an der Fassade ist immer ein Eingriff in die Außen-, häufig auch in die Innengestaltung des Gebäudes. Jeder Eingriff hat sich daher den baulichen Voraussetzungen anzupassen. Sanierungen sind behutsam bei weitestgehendem Erhalt der Gebäudesubstanz durchzuführen und nur bei alternativloser technischer Notwendigkeit ist die

vorhandene Substanz sinnvoll zu ergänzen. Eingriffe in Außenwandkonstruktionen, nicht nur in die Statik, sind genehmigungspflichtig, bei Baudenkmälern sogar die Farbgebung.

Für die erfolgreiche Sanierung von Wand- und Mauerwerkkonstruktionen mit modernen Methoden sind Kenntnisse über historische Materialien, Techniken, Werkzeuge und Begriffe in Verbindung mit dem Wissen um innovative Technologien erforderlich. Aus der großen Vielfalt der in den vergangenen Jahrhunderten verwendeten Materialien erwuchs ein umfangreicher erhaltenswerter historischer Baubestand. Bei der Auswahl geeigneter Instandsetzungsmethoden ist daher ebenso variantenreich wie technisch zweckmäßig vorzugehen.

1.2.1 Wandfunktionen

Wände sind vertikale Bauteile, die nach ihrem Standort, der Konstruktion, der Funktion, der Nutzung und nicht zuletzt dem verbauten Material (Abb. 1.22) eingeordnet bzw. bezeichnet werden (Tab. 1.1).

Wände sollen hauptsächlich schützen und stützen. Die Funktionen der Wand können im Wesentlichen in zwei Bereiche eingeordnet werden, die ihren gesamten Aufgabenkomplex beschreiben.

Schutzfunktion

Wände schützen vor Umwelteinflüssen infolge klimatischer Bedingungen und vor Lärm, darüber hinaus trennen sie Räume und bewahren die Privatsphäre der Nutzer.

Der bauphysikalischen Funktion muss bei Wänden große Beachtung geschenkt werden. Durch die Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) müssen Wände bestimm-



Abb. 1.22 Gewachsenes Nebeneinander von Putz- und Holzfassade sowie Klinkermauerwerk aus unterschiedlichen Stilepochen

Tab. 1.1 Einordnung vertikaler Wandbauteile

Differenzierung bzw. Einordnung nach	Beispiele
Standort	Außen-, Seiten-, Innen- und Giebelwand
Konstruktion	Tragende oder nicht tragende Wand, aussteifende Wand
Funktion	Trennwand, Brandwand, Stütz- und Spundwand
Nutzung	Bücherwand, Pinnwand, Bilderwand
Bauweise und verwendetes Material	Massivwand (Mauerwerk, Stahlbeton), Leichtbauwand (Trockenbauwand), Bretter- und Blockwand, Glasbauwand

te Wärmedämmeigenschaften aufweisen und im Zusammenhang mit den vorgesehenen technischen Anlagen im Gebäude geplant, gestaltet und erstellt werden. Dem mitunter praktizierten „Dämmwahnsinn“ im Bereich der thermischen Hülle von Gebäuden werden durch die denkmalpflegerischen Zielsetzungen und die ästhetischen Gesichtspunkte in der Fassadengestaltung bei Sanierungsvorhaben Grenzen gesetzt. Denkmalgerechte Sanierungen, nicht nur mit Blick auf die bloße Erhaltung hochwertiger Fassaden, können auch aus wirtschaftlicher Sicht für Bauherrn lukrative Förderungsmöglichkeiten bedeuten (Abb. 1.23). Daher besitzen Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) in der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude keinen großen Marktanteil. Ihr Einsatz beschränkt sich dort zumeist auf die ungegliederten Hoffassaden oder Giebelwände. Insofern wird die Zukunft



Abb. 1.23 Reich gestaltete Gründerzeitfassade mit ausgewogenen Proportionen, Greifswald, erbaut 1871

im umfangreichen Einbau von energieeffizienten Heiz- und Lüftungsthermen liegen, um die Forderungen aus der Energieeinsparverordnung zu erfüllen. Sofern die Innenausstattung und die Konstruktion von Gebäuden es zulassen, können Innenwanddämmsysteme als Mittel zur energetischen Aufwertung eine Alternative darstellen. Unabhängig von diesen Forderungen sollte der hygienische Mindestwärmeschutz nach der DIN 4108 bei der Planung von Außenwänden berücksichtigt werden.

Der Schallschutz von Wänden gewinnt immer mehr an Bedeutung. Gegenüber früheren Zeiten haben die Lärmemissionen z. B. durch den Straßenverkehr zugenommen, aber gleichzeitig ist ein wesentlich erhöhtes Schutzbedürfnis gegen Lärm zu verzeichnen. Die Schallschutzanforderungen bezüglich Tritt- und Luftschall sollten konsequent zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, um späteren Rechtsstreitigkeiten vorzubeugen. Die Forderungen aus der DIN 4109 sind nur eine Grundlage für die Vereinbarungen und formulieren lediglich Mindestanforderungen.

Stützfunktion

Wände sind die vertikalen Bauteile der Raumbildung. Wände die nicht der Raumbildung dienen, werden als Mauern bezeichnet. Auf die Wände werden infolge der zugeordneten Funktionen Kräfte übertragen. Die Kraftwirkung kann vertikal oder horizontal sein, sie kann statisch (ruhend) oder dynamisch (bewegend) in die Wandscheibe eingetragen werden (Abb. 1.24).

Im Verbund mit dem horizontalen Raumabschluss bilden sie ein räumliches Stützensystem (Abb. 1.25). Das sollte bei Umbauten nicht unberücksichtigt bleiben, um die Standsicherheit des Gebäudes nicht zu gefährden. Wände sind auch ein Gestaltungselement der Gebäude und baulicher Anlagen. Bauliche Konstruktion sollten die ihnen zugedachte Funktion erfüllen und in ihrer Form ästhetische Ansprüche nicht vermissen lassen. Die nachfolgende Grafik soll die Abhängigkeiten verdeutlichen.

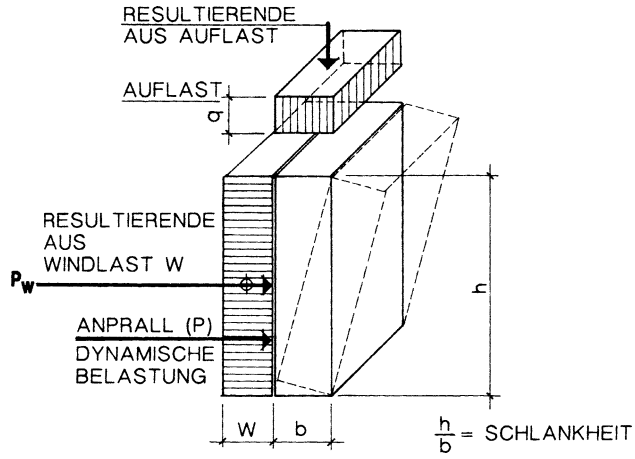
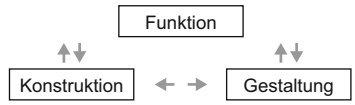


Abb. 1.24 Kraftwirkung an Wänden. (Quelle: ILS Hamburg)



- Die Einordnung,
- die Lasteintragung,
- die Nutzungsart und
- die regionale Lage

des Gebäudes bestimmen

- die Form,
- die Dimensionierung,
- die Konstruktion und
- die zu verwendenden Baustoffe einer Wand.

Der wesentliche Anteil der zu sanierenden Gebäude wurde im 19. und 20. Jh. in zunehmend industriellen Fertigungsabläufen errichtet. Mit dieser Entwicklung waren auch Veränderungen der technischen Regelungen verbunden um bauliche Mindeststandards, z. B. in Bezug auf die Standsicherheit, den Brandschutz sowie den Feuchte- und Wärmeschutz zu gewährleisten. Es wurden dementsprechend baurechtliche und bautechnische Regelungen in die Baugesetzgebung aufgenommen, die grundsätzlich zu beachten und umzusetzen waren. Daneben gründeten sich eine Reihe von Fachverbänden in Handwerk, Industrie und Forschung, um für praktizierte Bauweisen Richtlinien zu erarbeiten sowie Materialien und Technologien zu standardisieren.

Die bekannteste Normungsorganisation, das „Deutsche Institut für Normung e. V." (DIN), wurde am 22. Dezember 1917 unter dem Namen „Normenausschuss der deutschen Industrie" gegründet. Die technischen Vorschriften fanden auch in der zeitgenössischen Fachliteratur ihren Niederschlag wie auch zahlreiche aktuelle Reprints von Sachbüchern aus dieser Zeit belegen.

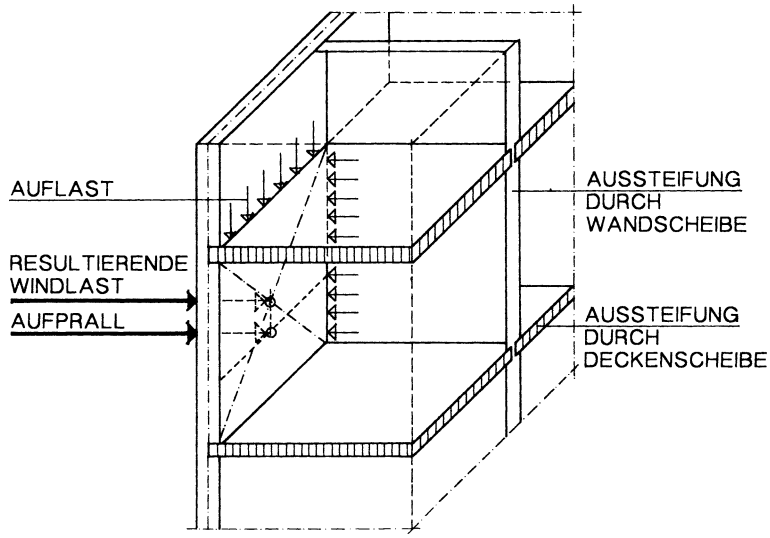


Abb. 1.25 Tragwirkung des Decke-Wand-Systems. (Quelle: ILS Hamburg)

Die größten Notwendigkeiten lagen im Bereich der Normung

- des baulichen Brandschutzes,
- der Tragsicherheit,
- des Wärme- und Feuchteschutzes.

Daraus ergaben sich, wenn auch mit regionalen Unterschieden, die Regeln für den Wandbau aus

- natürlichen Steinen,
- künstlichen Steinen,
- ungeformten Massen,
- Holz und Holzwerkstoffen.

Schäden an Wandkonstruktionen sind im Wesentlichen durch folgende Ursachen bedingt:

- Eingriffe in die Gebäudesubstanz ohne Berücksichtigung der vorhandenen baukonstruktiven Gegebenheiten,
- Veränderungen an den geometrischen Bedingungen im unmittelbaren Umfeld des Gebäudes,
- zerstörte oder nicht vorhandene Bauwerksabdichtungen im erdberührenden Bereich,
- zerstörte oder fehlerhaft eingebaute Konstruktionsteile, die Niederschlagswasser vom Bauwerk ableiten sollen, wie z. B. Rinnen, Fallrohre, Abdeckungen,
- Durchfeuchtung von Wandkonstruktionen durch Niederschläge, infolge des zerstörten Oberflächenschutzes, z. B. schadhafter Außenputz,
- Veränderungen des Baugrundgefüges, z. B. Gründungen und Wasserhaltung bei Nachbarbebauungen

Die seit dem ausgehenden 19. Jh. in der Praxis ausgeführten Außenwandkonstruktionen von Wohngebäuden weisen häufig einen Wärmedurchgangswiderstand auf, der den Forderungen der DIN 4105, Teil 2 vom August 1981 entspricht.

1.2.2 Fassaden

1.2.2.1 Gliederung – Struktur – Beanspruchung

Die Fassade vermittelt den äußeren Eindruck eines Gebäudes. Sie wird daher vom Architekten besonders sorgfältig gestaltet. Form, Gliederung, Farbe und Material sind die wichtigsten Elemente der Fassadengestaltung. Fassaden können ein Gebäude in die Umgebung eingliedern oder aus ihr hervorheben. Zusätzlich zu dem hohen Anspruch an ihre Gestaltung muss jede Fassade den Belastungen durch die Witterung standhalten. Allerdings wäre es aus technischer Sicht unzweckmäßig und baugeschichtlich fahrlässig, bei

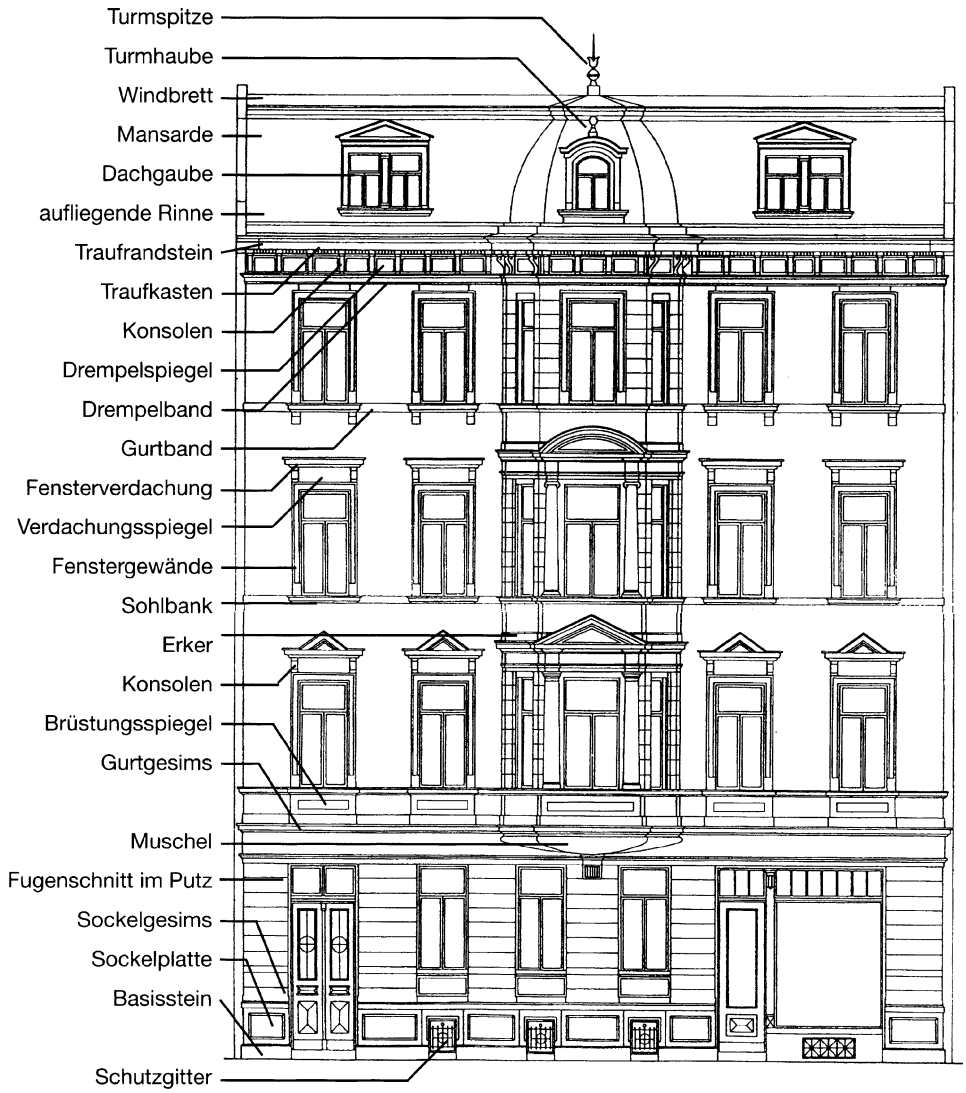


Abb. 1.26 Fassadenstruktur. (Quelle: ILS Hamburg)

Erhaltungsmaßnahmen ein Gebäude auf seinen repräsentativsten Abschnitt zu reduzieren. Eine plastisch stark gegliederte und aufwendig geschmückte Gebäudeseite mag unter ästhetischen Gesichtspunkten leicht als „die Fassade“ auszumachen sein (Abb. 1.26). Für die alltäglichen Abläufe, wie den Warenumschlag, den Empfang von Personen oder die Ver- und Entsorgung trugen die zumeist seitlich oder rückwärtig, „versteckt“ angeordneten (Wirtschafts-)Zugänge oder Ein- und Durchfahrten eine oftmals sehr viel größere

Bedeutung. Daher sollte bei Sanierungen die Gesamtheit von Gebäuden nicht nur aus technischer Sicht Beachtung finden.

Gliederung von Fassaden

Die Gliederung der Südfassade soll für die größte Anzahl großflächiger Fenster und die Gliederung der Nordfassade für die geringste Anzahl kleiner Fenster ein ausgewogenes Flächenverhältnis ergeben. Durch Farbe und Material können z. B. horizontale Fensterbänder betont, durch gleichmäßige Putz- und Steinrasterflächen dagegen beruhigt werden. Auch der Materialwechsel und eine eventuelle Teilbegrünung können gliedernd wirken (Abb. 1.27).

Wichtig ist für alle Entscheidungen, dass die verwendeten Materialien den auftretenden Schlagregenbeanspruchungen und thermisch bedingten Belastungen durch Sonnenbestrahlung u. a. gewachsen sind.

Die Gestaltung unterschiedlicher Wandbauteile ist immer von den Eigenschaften der verwendeten Materialarten und von der konkreten Einbausituation abhängig. Die folgende Übersicht zeigt eine Auswahl von Materialien und Einbauorten:

- Sockelmauerwerk:
  - Naturstein
  - Natursteinverblendung



Abb. 1.27 Fassadengliederung: Gründerzeitliche Vorstadthäuser vor 1900; gliedernde Elemente sind weitgehend in die Fläche integriert (Gebäude in *Mitte* und *links*). Das Bauwerk *rechts* aus der Mitte des 20. Jh. besitzt keine gliedernden Gesimse mehr. (Quelle: ILS Hamburg)

  - Klinker
  - Betonwerksteine
- Geschossmauerwerk:
  - Naturstein
  - Natursteinverblendungen
  - Klinker
  - Klinkerverblendungen
  - Betonwerksteinverblendungen
- Gesimse, Gewände, Sohlbänke:
  - Naturstein
  - Klinker
  - Betonwerksteine

Farbgebung und Dekor

Hinsichtlich der Farbgebung besteht bei Putzen praktisch keine Beschränkung. Allerdings sollte beachtet werden, dass dunkelfarbige oder raue Oberflächen einen hohen Anteil der Sonnenstrahlung absorbieren und in Wärme umwandeln. Dadurch entstehen bei solchen Flächen erhebliche, thermisch bedingte Zwängungsspannungen im Bauteil. Diese Spannungen lassen sich durch die Wahl heller und glatter Fassadenoberflächen merklich verringern. Als Richtwert für eine günstige Oberfläche oder Farbe kann ein Reflexionsgrad für Sonnenstrahlung von 50 % oder mehr gelten. Auch leuchtende Farben müssen eine ausreichende UV-Beständigkeit aufweisen, da sich aufgrund von Beschattungen durch Nachbargebäude oder den Baumbestand auf Dauer ungewollte Farbabweichungen abzeichnen können. Infolge veränderter Bautechnologien, Materialqualitäten und wärmetechnischer Standards, insbesondere mit der Entwicklung der Wärmedämmverbundsysteme, gehören Farbanstriche zum praktizierten Standard. Der Hellbezugswert (HBW), welcher bei jeder Farbe zwischen 1 bis 100 liegt, ist besonders bei dünnschichtigen Putzsystemen zu beachten. Der HBW ist der Reflexionsgrad einer Farbe und gibt an, wie weit dieser Farbton vom Schwarzpunkt (HBW 1) und vom Weißpunkt (HBW 100) entfernt ist. Bei einem Wärmedämmverbundsystem ist der mögliche Farbton vom System abhängig und wird vom Hersteller empfohlen. Er sollte überwiegend jedoch nicht unter 40 liegen.

Eine Ausnahme bei der Farbanwendung stellen Gebäude oder Bauwerke dar, die restauriert werden sollen. Die Rezepturen für die Außenputzmörtel und Farbmischungen werden im Regelfall auf der Grundlage von originalen Befunden (sofern vorhanden), in Anlehnung an vergleichbare Objekte oder von der Denkmalbehörde vorgegeben.

Grundsätzlich werden Fassadenflächen in ausreichendem Maße durch natürliche Prozesse wie Regen und Wind gereinigt. Bei Fassadenflächen in geschützten Lagen kann dagegen eine technische Reinigung gelegentlich notwendig werden.

Wesentlich ist auch die Anpassung der Farbgebung einer Fläche an die zu erwartende Lebensdauer. So kann z. B. eine modische Farbgebung für eine Metall-Glas-Konstruktion mit einer Lebensdauer von 30–50 Jahren ggf. bereits nach wenigen Jahren als nicht mehr zeitgemäß angesehen werden. Dagegen können bei einfachen Putzanstrichen, mit



Abb. 1.28 Fehlfarben: Durch farbige Anstriche lassen sich Mängel der Fassadengliederung nicht kaschieren. (Quelle: ILS Hamburg)

einer Lebensdauer von 3–8 Jahren, durchaus gewagte Farbtöne gewählt werden, sofern die kommunale Gestaltungssatzung keine Einschränkungen vorsieht.

Die Gesamtform des Baukörpers sollte die Außenwirkung eines Gebäudes dominieren und nicht durch unzweckmäßige, gestalterisch zweifelhafte Farbwirkungen zerstört werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn durch die Eigenfarben von Materialien (z. B. Klinkerflächen) das Gebäude bereits prägende Farbkontraste besitzt (Abb. 1.28). Dekorationen und bauplastische Formen, die, wie z. B. das Traufgesims oder die Fenster, herstellungsbedingt aus Holz bestehen, sind farblich wie ein Teil der Fassade zu behandeln. Die Orientierung an der ursprünglichen Farbfassung der Fassade mit einer oftmals monochromen Farbigkeit kann aus ästhetischen Erwägungen ratsam sein.

Beanspruchung

Die witterungsbedingte Belastung der Fassaden ist von der Exposition der Wand bzw. ihrer Lage zu den Hauptwindrichtungen abhängig. Eine weitere besondere Belastung der Wand entsteht durch die Unterbrechung der Wandscheibe mit Fenster- und Türöffnungen sowie dem Materialwechsel durch Stürze, Rollladenkästen, Deckeneinbindungen und Ringbalken.

Niederschlag als Regen belastet häufig die Westseite stärker, andere Seiten (Nord oder Ost) dagegen nur wenig. Die Intensität der Selbstreinigung durch Regenwasser ist je

nach Fassadenausrichtung unterschiedlich. An der Süd- bis Westseite sind die Fensteranschlüsse an das Mauerwerk und der Sockelbereich (Spritzwasser) besonders stark belastet. Der Unterhaltungsaufwand ist größer und die Fugenabdichtungen müssen hier in kürzeren Abständen erneuert werden. Die Wasserbelastung lässt sich durch einen größeren Dachüberstand und die fachgerechte Ausbildung von Wassertropfnasen an Fensterbänken und Abdeckungen verringern. Vorteilhaft sind auch Fassadenoberflächen, die auf die Beanspruchungen abgestimmt sind. Putze, Vormauerungen und Verkleidungen können die wärmedämmende Schicht und die raumhüllende Schale ausreichend schützen.

Die unterschiedlichen thermischen Bewegungen einzelner Wandschichten und Bauteile sind ein viel zu wenig beachtetes Problem im Bauwesen. Die Einbindung von Materialien mit hohem Ausdehnungskoeffizienten (z. B. Metall und Kunststoff) in Materialien mit geringer Ausdehnung (Mauerwerk, Putz) führt zu Spannungen. Gerade an der Südseite werden häufig große Fenster zwischen massiven Wandscheiben eingebunden. Bei fehlender elastischer Einbindung sind Flankenabrisse der Anschlussfugen und Putzabplatzungen zu erwarten. Von solchen Schadstellen geht durch Schlagregeneinwirkung oft eine schnellere Fassadenschädigung aus. Thermische Baubewegungen in der Gebäudehülle lassen sich durch eine angeordnete Wärmedämmschicht, welche den winterlichen wie auch den sommerlichen Wärmeschutz gewährleistet, auf ein unkritisches Maß verringern. In diesem Fall führt eine Wärmedämmung neben einem behaglicheren Raumklima eben auch zur Vermeidung von Bauschäden an den Außenbauteilen. Bei Altbauten lassen sich viele Bauschäden mit thermischen Ursachen nur durch eine Außendämmung sanieren, sofern gestalterische oder denkmalpflegerische Aspekte dem nicht entgegenstehen. Auch eine „gezielte“ Beschattung kann die Fassadenerwärmung im Sommer erheblich verringern. Große Dachüberstände, Balkonplatten, technische Verschattungsvorrichtungen, vorgeschaltete Laubengänge, Laubbäume und Büsche sind dazu geeignet.

Die unterschiedliche Alterungsgeschwindigkeit der verschiedenen Fassadenmaterialien und -bauteile erschwert nicht nur Amortisierungsberechnungen, sondern auch die Sanierung einzelner Teile oder Verschmutzungsflächen. Da zumeist eine Gerüststellung oder das Vorhalten einer Hubbühne erforderlich sind, entstehen erhebliche Vorbereitungskosten für die durchzuführende Wartung und Instandsetzung. Deshalb kann die Wahl einer teureren Fassade langfristig die preiswertere Lösung sein.

Nachstehend sind Erfahrungswerte für die mittlere Lebensdauer einiger Bauteile und Materialien genannt:

Außenwandputz (Kalkzementmörtel, Edelputz)	40–60 Jahre
Brettverschalungen imprägniert	25–30 Jahre
Fensterläden (Holz)	20–30 Jahre
Gitter und Geländer (Eisen)	40–50 Jahre
Fallrohre (Zinkblech)	40 Jahre
Fallrohre (Kupferblech)	100 Jahre
Außenanstrich auf Putz (Mineralfarbe)	3–8 Jahre
Außenanstrich auf Holz (Ölfarbe)	3–5 Jahre

Fenster (Weichholz)	30–50 Jahre
Dichtungsmassen (Silikonkautschuk)	10–15 Jahre
Dichtungsmassen (Acrylatdispersion)	10–15 Jahre

1.2.2.2 Gebäudelage und Belastung

Die geschützte oder freie Lage eines Gebäudes hat einen erheblichen Einfluss auf die Belastung der Fassade. Bei freier Lage kann im Sommer eine starke thermische Belastung durch Sonneneinstrahlung und eine entsprechende Belastung durch Schlagregen entstehen. Im Winter führt die Windbelastung bei undichten Gebäuden zu einem erheblichen Wärmeverlust durch Fehlstellen in der Gebäudehülle. Einen ähnlichen Effekt hat das andauernde Belüften von Wohnräumen über teilgeöffnete Fenster, das zu einem überhöhten Luftwechsel und Lüftungswärmeverlust führt. Ein Vorteil der freien Lage ist der größere Selbstreinigungseffekt sowie die schnellere Abtrocknung der Fassade, die eine Algen- und Moosbildung weitgehend verhindert.

In geschützter Lage ist der Windangriff am Gebäude geringer. Fugenwärme- und Lüftungswärmeverluste können sich im üblichen Rahmen bewegen. Bedingt durch die gegenseitige Beschattung der Gebäude ist an den Heiztagen, bei niedrigem winterlichen Sonnenstand, ein geringerer Wärmegewinn durch Sonneneinstrahlung in die Wohnräume zu erwarten. Ein höherer Heizenergiebedarf (Erdgas, Heizöl, Strom) ist die Folge.

Weit verbreitet werden die nördlich und westlich ausgerichteten Fassadenseiten als „Wetterseite“ betrachtet. Begründet wird diese These mit den vermuteten Hauptwindrichtungen aus Nord und West. An den Küsten und in den küstennahen Gebieten Norddeutschlands sind regionaltypisch Winde aus westlichen und nördlichen Richtungen vorherrschend, die an entsprechend exponierten Fassaden eine höhere Feuchtelast infolge Schlagregen bewirken können. Im Mittel unterliegt das gesamte Bundesgebiet vornehmlich Winden aus westlichen Richtungen, jedoch mit regionalen Unterschieden. So betragen die statistischen Jahresmittelwerte der Hauptwindrichtungen in Leipzig im Zeitraum von 2010 bis Nov. 2015 zwischen 189° bis 218°. Das entspricht einer Himmelsausrichtung von Südsüdwest bis Südwest. Zu berücksichtigen sind immer auch lokale Faktoren wie z. B. Gebirgs- bzw. Hanglagen oder angrenzende hohe Bebauungen, die einen Einfluss auf die Einwirkungsrichtung der Windbelastung haben können. Für den Laien leicht erkennbare Schädigungen, wie beispielsweise organische Anlagerungen (Bewuchs mit Algen und Moosen) sind häufig auf die „Wetterseiten“ konzentriert. Als Grund für das bekannte Schadensbild sind jedoch weniger die direkte Wind-Schlagregen-Beanspruchung zu sehen, sondern die längere Verweildauer der dort eingetragenen Feuchte. Wegen der fehlenden bzw. reduzierten Sonneneinstrahlung herrschen dort längere Austrocknungszeiträume vor, weshalb für die typischen biogenen Anlagerungen an den „Wetterseiten“ bessere Lebensbedingungen gelten (Abb. 1.29).

Aus technischer Sicht ist eine differenzierte Betrachtung notwendig, da witterungsbedingte Schäden an Fassaden nicht nur durch die auftretende Feuchte, sondern auch durch thermische Einflüsse und die Windrichtung und -stärke bestimmt werden. Ein wichtiges Kriterium zur Bestimmung der witterungsbedingten Exposition einer Fassade resultiert



Abb. 1.29 Biogener Bewuchs an einem Gebäudesockel einer nördlich ausgerichteten Fassade

aus der Abfolge meteorologischer Phänomene beziehungsweise aus den Intervallen von Feuchteeinträgen und Trocknungszeiten, die vom Wind maßgeblich beeinflusst werden. Je häufiger diese Intervalle auftreten und je stärker die Feuchte- und Temperaturdifferenzen sind, umso größer sind die daraus resultierenden Zwangsspannungen im Wandgefüge, insbesondere in den oberflächennahen Schichten.

Im Vergleich der Gebäudeseiten weisen die nach Norden ausgerichteten Fassaden im Tages- und im Jahresverlauf die Feuchte- und Temperaturwerte mit der geringsten Schwankungsbreite auf. Aufgrund der Sonneneinstrahlung unterliegen die Südseiten sowie abgeschwächt die Ost- und Westseiten einer signifikant größeren thermischen Belastung bzw. deutlich größeren Temperaturunterschieden. Ist die Hauptwindrichtung am betrachteten Standort ebenfalls aus südlichen Richtungen anzunehmen, kommt zu der thermischen Belastung auch ein erhöhter Feuchteanfall hinzu bzw. es kommt zu prägnanteren Feuchtewechseln gegenüber der Nordseite. Dies bedeutet aber auch, dass Zwangsspannungen im Mauerwerk-Putz-Gefüge aufgrund thermischer Belastungen und häufigerer Feuchtewechsel dann an den südlichen Gebäudeseiten stärker auftreten. In der Überlagerung der schadensauslösenden Faktoren kann das zu einem größeren Schadensumfang beitragen als bei Fassaden mit gemäßigten Klimarandbedingungen. Putzschäden an den Wetterseiten infolge von Zwangsspannungen sind in geringerem Umfang relevant als Putzschäden aufgrund langfristiger Durchfeuchtung, wie z. B. Gefügestörungen durch Bindemittelverlust. Vor diesem Hintergrund erscheint es durchaus plausibel, dass Rissbildungen an den südlichen Fassaden unter Umständen umfänglicher vorhanden sind als an den „Wetterseiten“ von Gebäuden.

1.2.3 Wärmeschutz

Außenwände haben die vordringliche Aufgabe, vor den Unbilden des Wetters und den Umwelteinflüssen zu schützen. Wind, Regen, Kälte und Lärm dürfen nicht nach innen dringen, kostbare Wärme nicht nach außen gelangen. Im Sommer dagegen soll es im Raum nicht zu warm werden.

Darüber hinaus muss die Außenwand wasserdampfdurchlässig sein. Ein wesentlicher Anteil zur Erfüllung dieser Aufgabe kommt der Wärmedämmung zu. Bauphysikalisch richtig wird diese auf der Außenseite der Wand eingesetzt. Das hat den Vorteil, dass das Mauerwerk vor temperaturbedingten Zwangsspannungen geschützt ist und die gespeicherte Wärme hauptsächlich nach innen abgegeben werden kann. Zudem wird durch eine gute Wärmedämmung die Oberflächentemperatur auf der Innenseite der Außenwand angehoben. Diese sollte nicht mehr als 3 K unter den Raumtemperaturen liegen, damit es nicht zu einem Wärmestrom in Richtung der Außenwände kommt, der häufig als Zugerscheinung wahrgenommen wird. Auch das Risiko für unerwünschte und höchst gesundheitsschädliche Schimmelpilzbildungen wird hierdurch maßgeblich verringert.

Eine Variante für die nachträgliche energetische Aufwertung von Außenwänden ist der Einsatz von Isolier- oder Wärmedämmklinkern, wie die Tab. 1.2 verdeutlicht.

Der Wärmedurchgangskoeffizient (SI-Einheit W/(m^2 K)), auch U-Wert genannt, gibt den Wärmedurchgang eines Bauteils an und sollte deshalb möglichst klein sein. Die aktuelle Energie-Einspar-Verordnung (EnEV 2014, Inkrafttreten der Änderungen 2016) fordert für Wohngebäude einen U-Wert von $\leq 0{,}28$ W/(m^2 K) der Außenwände, sofern EnEV-relevante Änderungen von Außenbauteilen vorgenommen werden.

Ein Klinker mit guter Wärmedämmeigenschaft gewährleistet eine erhebliche Energieeinsparung, ist umweltfreundlich und ressourcenschonend. Ein weiterer wichtiger Beitrag zum Umweltschutz ist die Wahl eines IsolierKlinkers, der frei von Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKW) ist, da FCKW ein erhebliches Ozonabbaupotenzial aufweisen.

Baupraktisch bedeutsam, da als Wärmeleitgruppe (WLG) oder Wärmeleitstufe (WLS) in den Produktdatenblättern angegeben, ist die Wärmeleitfähigkeit (Tab. 1.3). Die Wärmeleitfähigkeit λ, auch Wärmeleitzahl genannt, ist die Wärmemenge (in Wattsekunden Ws), die in 1 s durch eine 1 m dicke Stoffschicht der Fläche 1 m^2 fließt, wenn der Temperaturunterschied 1 K ist. Sie ist also temperaturabhängig und hat die SI-Einheit W/(m K). Ihr Kehrwert ist der spezifische Wärmewiderstand.

Tab. 1.2 Vergleich verschiedener Wandaufbauten nach DIN 4108: U-Wert (W/(m^2 K))

Wandaufbauten	Kalksandstein		Kalksandstein mit Luftschicht		Vollziegel	Hochlochziegel			Bimsstein		Porenbeton	Poroton	
	24 cm	30 cm	11,5 + 11,5 cm	11,5 + 24 cm	24 cm	24 cm	30 cm	36 cm	24 cm	30 cm	25 cm	30 cm	30 cm
Ohne Wärmedämmung	1,92	1,68	1,48	1,20	1,44	1,06	1,89	0,77	0,93	0,78	0,93	0,80	0,78
Mit Haacke IsolierKlinker 40 mm	0,78	0,74	0,69	0,63	0,68	0,59	0,53	0,48	0,54	0,49	0,54	0,50	0,49
Mit Haacke IsolierKlinker 74 mm	0,44	0,43	0,41	0,39	0,41	0,37	0,35	0,33	0,36	0,33	0,36	0,33	0,33
Mit Haacke IsolierKlinker 94 mm	0,35	0,34	0,34	0,32	0,33	0,31	0,29	0,28	0,30	0,28	0,30	0,28	0,28
Mit Haacke IsolierKlinker 114 mm	0,29	0,28	0,28	0,27	0,28	0,26	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,23

Alle Wandaufbauten außen 2,0 cm Kalkzementputz – innen 2,0 cm Kalkputz.

Tab. 1.3 Wärmeleitfähigkeiten λ in Bestandsbauten vorkommender Baustoffe in W/(m K)

Materialgruppe	Baustoff	Bis 1950	Bis 1975	Bis 1985	Bis 1995
Putze	Kalkzementmörtel/-putz	0.87	1,20	0,87	0,87
	Zementmörtel, Betonestrich	1,50	1,40	1,40	1,40
	Kalkgips-, Gipsmörtel	0,41	0,80	0,70	0,70
	Gipsputz	–	–	0,35	0,35
	Wärmedämmputz	–	–	0,20	0,16
Gipsplatten	Gipsdielen, Vollgipsplatten	0,35	0,58	–	–
	Porengipsplatten (Porolyt), Gipskartonplatten	0,22	0,21	0,21	0,21
	Wandbauplatten aus Gips	0,29	0,33	0,29–0,58	0,29–0,58
	Rabitz-Wände (Drahtputz mit Gips)	0,29	–	–	–
Schwerbeton	Stahl,- Kies,- Splittbeton (Normalbeton)	1,90	2,00	2,10	2,10
	Ziegelsplittbeton	0,87	0,80	–	–
	Haufwerkporige Betone (1400–1900 kg/m^3)	–	0,60–1,10	0,57–1,20	0,57–1,20
Leichtbeton	Wandbauplatte (Naturbims)	0,29	0,29	0,29	–
	Wandbauplatte (Schlacken)	0,52	0,47	–	–
	Wandbauplatte (Bimsbeton, Tuff, Lava)	–	0,60	–	–
	Wandbauplatte (Blähton, Hüttenbims)	–	0,35	–	–
	Wandbauplatte (Holzzementbeton)	–	0,12	–	–
	Gasbetonbauplatten (500–800 kg/m^3)	–	–	0,19–0,29	0,19–0,27
	Leichtbetonplatten (Lava, Bims, Blähton)	–	–	0,30–0,67	–

Tab. 1.3 (Fortsetzung)

Materialgruppe	Baustoff	Bis 1950	Bis 1975	Bis 1985	Bis 1995
Mauerwerk	Kalksandvollstein	1,05	1,05	0,99–1,30	0,99–1,30
	Kalksandlochstein	–	0,70	0,50–0,79	0,50–0,79
	Mauerziegel/Vollklinker (2000 kg/m^3)	–	1,13	0,96	0,96
	Vollziegel (1700–1800 kg/m^3)	0,70–0,87	0,47–0,80	0,50–0,81	0,50–0,81
	Poröse Lochziegel, Leichthochlochziegel (LHLz)	–	0,47–0,60	0,18–0,39	0,16–0,24
	Quer- und Langlochziegel (LLz)	0,58	–	–	–
	Hüttenbimssteine	0,87	0,70	0,38–0,76	0,47–0,76
	Leichtbetonvollstein	0,58	0,79	0,32–0,99	0,32–0,99
	Blähton-/Bimsvollsteine	–	–	0,20–0,31	0,20–0,31
	Splittbeton-Hbl (3- bis 5-Kammerstein)	0,70	0,62	–	–
	Leichtbeton-Hbl (2- und 3-Kammerstein)	–	0,56	0,29–0,73	0,29–0,73
	Hbl aus Normalbeton (2- bis 4-Kammerstein)	–	–	0,93–1,30	0,93–1,30
	Gas-/Schaumbetonsteine (500–1200 kg/m^3)	0,38–0,85	0,35 – 0,47	0,14–0,23	0,12–0,20
Dämmung	Glas- und Steinwolle	$\leq$ 0,055	0,040	$\leq$ 0,040	$\leq$ 0,040
	Schaumkunststoffe	–	0,040	$\leq$ 0,040	$\leq$ 0,040
	Pflanzliche Faserdämmstoffe (z. B. Kokos, Schilf)	–	0,046	$\leq$ 0,045	$\leq$ 0,045
	Schlackenwolle	0,060	0,070	–	–
	Schaumglas (FOAM, CORI)	–	0,056	0,045	0,045
	Holzfaserplatten (Insulite, Hermaltex, Isotex)	0,058	$\leq$ 0,074	0,045	0,045
	Holzwolleleichtbauplatte (> 50–15 mm)	0,09–0,14	0,08–0,14	0,09–0,15	0,09–0,15
	Mehrschichtleichtbauplatten	–	–	0,040	0,040
	Torffaser-, Torfplatten	0,058	–	–	–
	Schilfrohrplatte (Neusiedler)	–	0,093	0,060	–
	Kieselgurplatten	0,091	0,093	–	–
	Seegrasmatte	0,041	–	–	–
	Perlite	–	0,047	0,060	0,060
	Vermiculite (Blähglimmer)	–	0,047	0,070	0,070
	Korkplatten	0,047	0,040	0,045	0,045

Tab. 1.3 (Fortsetzung)

Materialgruppe	Baustoff	Bis 1950	Bis 1975	Bis 1985	Bis 1995
Füllstoffe	Massivlehm und Lehmformlinge	0,81	0,93	–	–
	Strohlehm und Strohlehmwickel	0,47	0,47–0,81	–	–
	Sandschüttung (trocken)	0,58	0,58	0,70	0,70
	Bimskies	0,22	0,19	0,19	0,22
	Schlacke (Hochofen-, Kesselschaum)	0,30	–	–	–
	Magnesia- und Kieselgur (ohne Zusatz)	0,06	–	–	–
Holz	Laubholz	–	0,18	0,20	0,20
	Nadelholz	0,14	0,14	0,13	0,13
	Sperrholz	–	0,14	0,15	0,15
	Spannplatten	–	0,10	0,13	0,13

1.2.4 Feuchteschutz

1.2.4.1 Begriffe und Einwirkungen

Die größten Gefahren für Außenwandkonstruktionen gehen von durchfeuchtetem Mauerwerk aus. Dabei sind die häufigsten Schadensbilder und Schadensursachen auf mangelhafte oder funktionslose Abdichtungen der erdberührten Bauteile zurückzuführen. Es ist daher ein unverzichtbarer Bestandteil von Fassadensanierungen, feuchtebedingte Schädigungen im Bereich der Gebäudesockel zu beseitigen. Daneben sind Feuchtebeanspruchungen infolge von Undichtigkeiten an Dächern, Terrassen und auskragenden Fassadenbestandteilen sowie defekte oder unzureichend dimensionierte Entwässerungsanlagen für eine Vielzahl notwendiger Instandsetzungen verantwortlich.

Von einer Feuchtebelastung eines Materials oder Bauteiles wird gesprochen, wenn der vorhandene Feuchtegehalt größer ist als die materialspezifische Gleichgewichtsfeuchte. Die Gleichgewichts- oder Ausgleichsfeuchte beschreibt den Wassergehalt, der sich in einem Baustoff nach längerer Lagerung unter Normbedingungen bei konstanter Temperatur und einem konstanten relativen Luftfeuchtegehalt einstellt. Für die meisten Baustoffe wird die Gleichgewichtsfeuchte bei einer Temperatur von 23 °C und einer relativen Luftfeuchte von 80 % ermittelt. Hygroskopische Baustoffe, insbesondere pflanzliche, tierische und mineralische Materialien, nehmen aufgrund ihrer spezifischen Porenart, -größe und -verteilung und in Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Feuchte der Umgebungsluft Feuchtigkeit aus der Luft auf. Zwischen dem Material und der Umgebung bewegt sich die Feuchtigkeit, bis ein Ausgleich erreicht wurde bzw. bis der Wasserdampfpartialdruck im Material und in der Umgebung egalisiert ist. Der Vorgang der Sorption hängt jedoch wesentlich von der Porosität des Materials ab. Bei den meisten Baustoffen werden signifikante Sorptionswerte lediglich in den oberflächennahen Schichten bis zu einer Tiefe von ein bis zwei Zentimetern erreicht.

In der Praxis ist der Feuchtegehalt häufig höher als die normierte Gleichgewichtsfeuchte und sollte daher bei der Bewertung von Materialfeuchten berücksichtigt werden. Dieser praktische Feuchtegehalt wird ganz wesentlich durch die abweichenden Standortbedingungen im Keller, im Dach, der Nord oder Südseite von Gebäuden und durch die Raumnutzung wie beispielsweise in Feuchträumen bestimmt.

Der Feuchtegehalt kann als volumenbezogener Feuchtegehalt (U_v) und als massebezogener Feuchtegehalt (U_m) angegeben werden. Baupraktisch besitzt der massebezogene Feuchtegehalt (U_m) eine größere Relevanz, da für die Ermittlung des volumenbezogenen Feuchtegehalts (U_v) die Rohdichte (ρ) der zu untersuchenden Probe bekannt sein muss. Zur Berechnung können die nachfolgend aufgeführten Formeln herangezogen werden:

$$U_m = ((m_\mathrm{f} - m_\mathrm{tr}) \div m_\mathrm{tr}) \times 100$$

U_m = Wassergehalt in Masse-%

m_f = Baustoff feucht, Masse von der feuchten Materialprobe mit gebundenem und freiem Wasser; massebezogener Wassergehalt, der unmittelbar nach Entnahme gewogen wurde [in g]

m_{tr} = Baustoff trocken, Masse der bis auf Massekonstanz getrockneten Materialprobe [in g]

$$U_v = (U_m \times \rho) \div 1000\,\mathrm{kg/m^3}$$

ρ = Rohdichte [in kg/m^3]

Die baupraktisch anzutreffenden Wassergehalte weisen aufgrund der im Einzelfall stark abweichenden stofflichen Eigenschaften und wegen der Abhängigkeit der Materialfeuchte von Temperatur und relativer Feuchte der Umgebungsluft eine erhebliche Streuung auf. Die in Tab. 1.4 aufgerufenen Werte für den Feuchtegehalt sind daher Minima/Maximaangaben bzw. Mittelwerte.

Feuchtigkeit kann auf zwei Wegen in das Baumaterial gelangen, per Diffusion als Dampf oder kapillar in flüssiger Form. Da Baumaterial in Kontakt mit der Umgebung steht, nimmt es Feuchtigkeit in seinem Porensystem auf. Dabei ist die Menge des aufgenommenen Wassers abhängig von

- der Porenstruktur des Baumaterials selber,
- der relativen Feuchte der umgebenden Luft,
- der Art und Menge des im Porensystem des Baumaterials befindlichen Salzes,
- der thermo-hygrischen Situation der Wand (Taupunkt).

Die Feuchtigkeit, die in Form von Dampf unter üblichen Bedingungen in das Baumaterial gelangt, ist gewöhnlich relativ niedrig und verursacht daher keine Schäden. Der Feuchtegehalt kann sich jedoch drastisch erhöhen, wenn hygroskopische Salze anwesend sind oder der Taupunkt zu weit im Wandinneren liegt. Ein solch erhöhter Feuchtegehalt macht sich bemerkbar durch feuchte (dunkle) Flecken, Schimmelpilze oder Schäden durch Kristallisation sowie der Lösung von Salzen (Abb. 1.30).

Der kapillare Durchfeuchtungsgrad (DFG) gibt den prozentualen Anteil des mit Wasser gefüllten zugänglichen Porenvolumens zum Zeitpunkt der Entnahme der Materialprobe aus dem Bauteil an. Das heißt, es wird das Verhältnis zwischen dem mit Wasser gefüllten und dem mit Luft gefüllten Porenvolumen in Prozent angegeben. Der Durchfeuchtungsgrad ist ein wesentlicher Wert zur Festlegung des angewandten Verfahrens für die nachträgliche Horizontalabdichtung und die Einschätzung des Versagensrisikos. Zugleich kann durch den Wert das zu verwendende Injektionsmittel bestimmt werden, wenn ein Injektionsverfahren geplant wird. Ohne die Bestimmung des Durchfeuchtungsgrads ist eine fachgerechte Planung der nachträglichen Horizontalabdichtung nicht möglich.

$$\mathrm{DFG} = (U_m \div U_{max}) \times 100$$

DFG = Durchfeuchtungsgrad in %

U_m = Wassergehalt in Masse-% bei Materialentnahme vor Ort

U_{max} = maximale Wasseraufnahme in Masse-% nach Wasserlagerung bis Massekonsistenz

Tab. 1.4 Praktischer Wassergehalt in Baustoffen. (Nach Liersch u. a.)

Baustoff	Dichte ρ [kg/m^3]	Feuchtegehalt	
		Massebezogen U_m [m.-%]	volumenbezogen U_v [vol.-%]
Mauerziegel, Tondachziegel	800	1,9	1,5
	1200	1,3	1,5
	1600	0,9	1,5
	1900	< 1,0	0,7–1,2
Historische Vollziegel		2,0–4,0	
Porosierter Hochlochziegel ($\rho = 800$ kg/m^3)		0,75–2,0	
Kalksandstein	1200	1,3–3,0	1,2–2,4
	1400		
	1600		
Kalkputz, -mörtel		< 0,5–1,0	1,5–3,0
Kalkzementputz		< 1,5–2,0	4,0–6,0
Beton mit geschlossenem Gefüge, dichte Zuschläge		2,0–3,0	2,5–4,0
Beton mit geschlossenem Gefüge, porige Zuschläge		13,0–15,0	5,0
Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge, dichte Zuschläge nach DIN 4226-1		2,0–4,0	5,0
Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge, porige Zuschläge nach DIN 4226-2		3,0–6,0	5,0
Porenbeton	400	8,8	3,5
	600	5,8	3,5
	800	4,4	3,5
Gips, Anhydrit		2	
Gipsputz, Gipsplatten	600	3,3	2,0
	800	2,5	2,0
	1000	2,0	2,0
	1200	1,7	2,0
Anhydritestrich	2100	1,0	2,0
Gussasphalt, Asphaltmastix		0	
Anorganische Stoffe in loser Schüttung; expandiertes Gesteinglas (z. B. Blähperlit)		1,0	
Mineralische Faserdämmstoffe aus Glas-, Stein-, Hochofenschlacken-(Hütten)Fasern		1,5–5,0	
Schaumglas		0	
Holz, Sperrholz, Spannplatten, Holzfaserplatten, Schilfrohrplatten und -matten, organische Faserdämmstoffe		15,0	
Holzwolleleichtbauplatten		13,0	

Tab. 1.4 (Fortsetzung)

Baustoff	Dichte ρ [kg/m^3]	Feuchtegehalt	
		Massebezogen U_m [m.-%]	volumenbezogen U_v [vol.-%]
Pflanzliche Faserdämmstoffe aus Seegras, Holz-, Torf- und Kokosfasern und sonstigen Fasern		15,0	
Korkdämmstoffe		10,0	
Hartschaumdämmstoffe (EPS, XPS, PUR/PIR, Phenolharz)	10–65	$\leq$ 5,0	$\leq$ 1,0
Vulkanischer Tuff (Kassel)		< 6,0–10,0	
Rheinischer Tuff		< 2,0–4,0	
Toniger Sandstein		< 1,3–2,0	
Quarzitischer Sandstein		< 0,2	
Karbonatischer Sandstein		< 0,8–1,3	
Granit		< 0,1–0,2	
Marmor		< 0,01–0,05	

Für eine baupraktische Bewertung des Durchfeuchtungsgrades mit dem Ziel der Einschätzung der Feuchtebelastung der Proben können folgende Einstufungen gelten.

Je nach Autor (Tab. 1.5) werden zwar leicht abweichende Grenzwerte des Durchfeuchtungsgrades angegeben, allerdings bestehen nur geringe Differenzen bezüglich der Einstufungen.



Abb. 1.30 Fassade mit Feuchteschäden, Außen mäandernder Feuchteraum im Sockelbereich, flächig zermürbter Putz und „verwittertes“ Mauerwerk; innen muffiger Geruch und Pilzbefall der Wände. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.5 Baupraktische Bewertung des Durchfeuchtungsgrades

Nach Weber und Hafkesbrink		Nach Balak und Pech		Nach Lufsky	
DFG in %	Einstufung	DFG in %	Einstufung	DFG in %	Einstufung
< 20	Vernachlässigbar	< 20	Gering	< 5	Sehr gering
20–40	Gering	20–60	Mittel	5–10	Gering
40–60	Mittel bis hoch	> 60	Hoch	10–35	Mittel
60–75	Sehr hoch			35–75	Stark erhöht
> 75	Extrem			> 75	Extrem

Bei mangelnder Wärmedämmung erfolgt der Feuchteangriff von innen her: Kondenswasser schlägt sich infolge der Wasserdampfdiffusion an den Porenwänden nieder. Dieses Wasser wird ebenfalls vom Mauerwerk aufgenommen und nur zögerlich weitertransportiert, bis es an der Außenluft verdunsten kann. In der Regel durchfeuchtet das Kondensat das Mauerwerk (Tab. 1.5).

Durch die hygroskopische Wasseraufnahme aus der Umgebungsluft nehmen Backsteine und Fugenmörtel umso mehr Wasser auf, je höher die Luftfeuchtigkeit und je höher ihr Versalzungsgrad ist. Dabei entstehen auf der Fassade verteilte Nässeflecken.

Derart befeuchtetes Mauerwerk wird durch den häufigen Frost-Tau-Wechsel im Winter und durch die ständigen Wechsel von Abtrocknungs- und Durchnässungsphasen im Sommer an seiner Oberfläche stark belastet. Die Oberfläche zermürbt, die losen Oberflächenteile fallen ab oder werden vom Wind abgetragen. An unverputztem Sichtmauerwerk werden oft auch einzelne Steine innerhalb einer Fassade zerstört. Ihre Kanten sind infolge Frosteinwirkung abgeplatzt oder ihre Oberfläche ist verwittert. Besonders häufig werden zudem Bindemittelauswaschungen aus den Fugen beobachtet, die den losen Fugenmörtel herausbröseln lassen.



Abb. 1.31 Durch Salze geschädigtes Mauerwerk. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.6 Die wichtigsten bauschädlichen Salze

Sulfate	
Bittersalz, Magnesiumsulfat	$MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$
Gips, Kalziumsulfat	$CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$
Graubensalz, Natriumsulfat	$Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$
Ettringit	$3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\ CaSO_4 \cdot 32\ H_2O$
Nitrate	
Magnesiumnitrat	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6\ H_2O$
Kalziumnitrat	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O$
Kalksalpeter	$5\ Ca(NO_3)_2 \cdot 4\ NH_4NO_3 \cdot 10\ H_2O$
Chloride	
Kalziumchlorid	$CaCl_2 \cdot 6\ H_2O$
Kochsalz, Natriumchlorid	NaCl
Carbonate	
Soda, Natriumcarbonat	$Na_2CO_3 \cdot 10\ H_2O$
Pottasche, Kaliumcarbonat	K_2CO_3
Kalk, Kalziumcarbonat	$CaCO_3$

Bauschädliche Salze

Schäden durch im Wandaufbau vorhandene Salze zeigen sich in Form von weißer Krustenbildung an der Maueroberfläche und dem Herunterrieseln von geschädigten Putzen oder zermürbten Mauerziegeln (Abb. 1.31). Die Ergebnisse vieler Salzuntersuchungen an historischen Gebäuden haben gezeigt, dass es sich bei den bauschädlichen Salzen am häufigsten um Sulfate handelt. Daneben spielen auch Chloride und Nitrate eine wichtige Rolle bei dem Zerstörungswerk. Als weitere wichtige Salzgruppe finden sich auch lösliche Carbonate (Tab. 1.6).

1.2.4.2 Konstruktiver Feuchteschutz

Maßnahmen zum konstruktiven Feuchteschutz verfolgen im Wesentlichen zwei grundlegende Ansätze, um permanente materialschädliche Feuchtegehalte zu vermeiden. Ein Ziel besteht darin, auftretendes Wasser wie Schlagregen oder abfließendes Oberflächenwasser durch angepasste Planungsgrundsätze und Bauweisen vom Gebäude fernzuhalten. Anzuführen sind hierzu beispielweise:

- Auswahl der Lage des Gebäudes dem Geländeprofil angemessen,
- Ausrichtung der Gebäudeseiten entsprechend der Witterungsbeanspruchung,
- Einhalten ausreichender Sockelhöhen bzw. Herausheben des Gebäudes soweit wie möglich aus dem umgebenden Gelände,
- große Dachüberstände,
- Vermeiden von auskragenden oder aus der Fassade hervorstehenden Elementen und von horizontalen oder schwach geneigten Bauteiloberflächen,

- Minimierung der Verweildauer des Wassers an exponierten Bauteilen durch eine günstige Gefälleausbildung,
- richtige Dimensionierung von Entwässerungsanlagen.

Da mit den vorgenannten Möglichkeiten in den seltensten Fällen ein Feuchteanfall an den schützenswerten Gebäudeteilen gänzlich vermieden werden kann, ist das zweite Ziel des konstruktiven Feuchteschutzes funktionierende Detaillösungen zu finden und geeignete Materialien auszuwählen. Dies können u. a. sein:

- Hinterlüftung von Fassadenbekleidungen,
- Spritzschutz in Sockelbereichen,
- Abdichtungsmaßnahmen,
- Verwendung von harzreichen Hölzern oder von Baumarten mit natürlicher fungizider Wirkung,
- ausreichende Überlappungen bei Eindeckungen und Bekleidungen,
- dichte Anschlüsse, Stöße, Eckausbildungen,
- Tropfnasen,
- wasserabweisende Putze und Beschichtungen,
- hydrophobierende Anstriche,
- Bekleidungen aus feuchteunempfindlichen Materialien,
- dauerhafte Dichtstoffe bei Fugenausbildungen.

Sanierungsmaßnahmen sind durch die bestehende Substanz häufig Grenzen hinsichtlich der Gebäudekubatur, den Konstruktionsarten, den Abmessungen und verwendeten Materialien gesetzt. Ziel von Instandsetzungen ist daher zumeist der Erhalt bzw. die Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit der schützenden Oberflächen, Bauteile und Anlagen. Dabei ist die Kenntnis von der Zielstellung der vorzufindenden Schutzmechanismen, ihre Ausführungsdetails und der dabei verwendeten Materialien eine wichtige Grundlage für den Erfolg von Sanierungsmaßnahmen.

1.2.4.3 Durchfeuchtung erdberührter Bauteile

In Deutschland regelte bis 2016/2017 die Norm DIN 18195 die Anwendung von Abdichtungsverfahren für erdberührte Bauteile. Allerdings nur für die Neuerrichtung von Gebäuden, für Bestandsbauten gab es eine entsprechende Norm nicht. Somit waren die Vorgaben der DIN 18195 nur sinngemäß und nach ausreichender Planung bei Bestandsgebäuden anzuwenden. Mit schrittweisen Einführung der Normenreihe DIN 18531-18535 sind nunmehr auch nachträgliche Abdichtungen an Bestandsbauten in einer DIN-Norm berücksichtigt. Die Merkblätter der WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalschutz e. V.) schlossen bis dato die bestehende Lücke im Normenwerk teilweise und waren bei der Planung mit zu berücksichtigen. Auch nach der Einführung der neuen DIN-Normenreihe empfehlen sich die WTA-Merkblätter als sinnvolle Ergänzung. Hervorzuheben sind hierbei die WTA-Merkblätter des Referats 4

„Mauerwerk/Bauwerksabdichtung“ wie beispielsweise das Merkblatt 4-6 „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“.

Soll ein Bauwerk nachträglich abgedichtet werden, muss zunächst geprüft werden, welche Art der Feuchte- oder Wassereinwirkung am Objekt vorliegt. Die Einteilung der Wassereinwirkungsklassen wird nach der DIN 18533 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ wie folgt vorgenommen:

W1-E Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser
W1.1-E Bodenfeuchte bei Bodenplatten
W1.2-E Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei erdberührten Wänden und Bodenplatten
W2-E drückendes Wasser
W2.1-E mäßige Einwirkung von drückendem Wasser
W2.2-E hohe Einwirkung von drückendem Wasser
W3-E nicht drückendes Wasser auf erdberührter Decke
W4-E Spritzwasser am Wandsockel sowie Kapillarwasser in und unter erdberührten Wänden

Für die Beurteilung des Abdichtungsuntergrunds und der Abdichtung hinsichtlich eines Risikos durch Rissbildungen hat die DIN 18533 Rissklassen eingeführt. Tab. 1.7 enthält eine Übersicht dazu.

Die Zielstellung einer nachträglichen Bauwerksabdichtung wird von den Bauherren mit der Bekanntgabe der zukünftigen Nutzung formuliert. In der DIN 18533 sind drei unterschiedliche Anforderungsprofile an die Trockenheit der Raumluft von erdseitig abgedichteten Räumen und die Zuverlässigkeit der Abdichtung enthalten. Entsprechend der Wünsche der Bauherren ist das adäquate Anforderungsprofil festzulegen, aus dem sich nachfolgend die notwendigen technischen Maßnahmen zum Erreichen der Nutzungsanforderungen ableiten. Die DIN 18533 unterscheidet folgende Raumnutzungsklassen:

- **RN1-E** (geringe Anforderung): Raumnutzung mit geringer Anforderung an die Trockenheit der Raumluft (z. B. offene Werk- oder Lagerhalle; Tiefgarage).
- **RN2-E** (durchschnittliche Anforderung): Raumnutzung mit üblicher Anforderung an die Trockenheit der Raumluft und Zuverlässigkeit der Abdichtung (z. B. Aufenthaltsräume; Räume zur Lagerung von feuchtigkeitsempfindlichen Gütern wie Keller- und Lagernutzungen in üblichen Wohn- und Bürogebäuden).
- **RN3-E** (hohe Anforderung): Raumnutzung mit hoher Anforderung an die Trockenheit der Raumluft und hoher Anforderung an die Zuverlässigkeit der Abdichtung (z. B. Magazin zur Lagerung unersetzlicher Kulturgüter; Raum für den Zentralrechner).

Bei der Auswahl des anzuwendenden Verfahrens müssen die Ergebnisse einer gründlichen und alle wesentlichen Parameter umfassenden Untersuchung vorliegen. Zu einer fachgerechten Instandsetzung von feuchten erdberührten Außenwandkonstruktionen bzw. Mauerwerk gehören konstruktive Maßnahmen wie:

Tab. 1.7 Rissklassen nach DIN 18533

Riss-klasse	Neurissbildung/Riss-breitenänderung nach Aufbringen der Ab-dichtung	Beanspruchung der Abdichtung durch die Rissbildungen und Rissbreitenänderungen	Bauteile ohne statischen Nachweis der Rissbreitenbeschränkung
R1-E	$\leq 0{,}2$ mm	Gering	Stahlbeton ohne nennenswerte Zwang- und Biegeeinwirkung; Mauerwerk im Sockelbereich; Untergründe für Querschnittsab-dichtungen
R2-E	$\leq 0{,}5$ mm	Mäßig	Geschlossene Fugen von flächigen Bauteilen (z. B. bei Fertigteilen): unbewehrter Beton; Stahlbeton mit nennenswerter Zwang- und Bie-geeinwirkung; erddruckbelastetes Mauerwerk, Fugen an Materialüber-gängen
R3-E	$\leq 1{,}0$ mm, Rissversatz $\leq 0{,}5$ mm	Hoch	Fugen an Abdichtungsrücklagen; Aufstandsfugen von erddruck-belas-teten Wänden
R4-E	$\leq 5{,}0$ mm, Rissversatz $\leq 2{,}0$ mm	Sehr hoch	–

- Horizontalabdichtungen,
- Vertikalabdichtungen, Außenabdichtungen,
- Innenabdichtungen,
- Nachträglicher Einbau einer weißen/schwarzen Wanne.

Eine detaillierte Betrachtung bekannter Verfahren zur Bauwerksabdichtung im Bestand enthält Abschn. 1.4 unter „Nachträgliche Abdichtung erdberührter Bauteile“.

1.2.4.4 Feuchtebeanspruchung an aufgehenden Bauteilen

Regenwasser kann durch den Staudruck bei Wind über Spalten, Risse und andere Fehlstellen sowie durch Kapillarwirkung in tiefere Wandschichten gelangen. Die Durchfeuchtung einzelner Wandschichten, insbesondere der Wärmedämmschicht, erhöht den Wärmeverlust der Wand erheblich und ein Absinken der Oberflächentemperatur auf der Wandinnenseite birgt Risiken für einen Befall mit Schimmelpilzen.

Die Außenbekleidung von Wänden wird entsprechend der zu erwartenden Schlagregenbelastung (Regen in Verbindung mit Wind) nach DIN 4108 in drei Beanspruchungsgruppen eingeteilt:

- **Beanspruchungsgruppe 1/geringe Schlagregenbeanspruchung**
  Geeignet sind Außenputze ohne Nachweis des Regenschutzes oder einschaliges Sichtmauerwerk von mindestens 31 cm Dicke.

- **Beanspruchungsgruppe 2/mittlere Schlagregenbeanspruchung**
  Gefordert werden Außenputze, die wenigstens wasserhemmend sind. Zulässig sind außerdem einschaliges Sichtmauerwerk von mindestens 37,5 cm Dicke oder Holzleichtbauwände mit einer 11,5 cm dicken Mauerwerkvorsatzschale u. a.
- **Beanspruchungsgruppe 3/starke Schlagregenbeanspruchung**
  Hierfür werden wasserabweisende Putze gefordert, deren Eignung nachgewiesen ist. Weiterhin können zweischaliges Verblendmauerwerk mit und ohne Luftschicht, Wände mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung, Holzleichtbauwände mit vorgesetzter Bekleidung oder mit 11,5 cm dicker Mauerwerkvorsatzschale, beide mit Luftschicht, eingesetzt werden.

Die Putzarten werden nach ihren Wasseraufnahmekoeffizienten W eingeteilt (DIN 18550 Teil 1):

- *Wasserhemmend* sind Putze mit $W_{ges} > 0{,}5\ kg/(m^2\ h^{0,5})$.
  Entsprechende Putze sind zweilagige Kalk- und Kalkzementmörtel mit einer mittleren Dicke von 20 mm sowie kunststoffmodifizierte Putze.
- *Wasserabweisend* sind Putze mit $W_{ges} < 0{,}5\ kg/(m^2\ h^{0,5})$.
  Solche Putze sind mehrlagig, wobei dem regenabweisenden Oberputz ein Hydrophobierungsmittel zugesetzt wird. Die Eignung als wasserabweisender Putz muss nachgewiesen sein.

Der Schutz von Außenwandkonstruktionen vor dem schadhaften Einfluss von Niederschlägen bedingt das Funktionieren aller schützenden Bauteile, nicht nur an der Fassade, sondern auch darüber hinaus. Den größten Anteil hat dabei für gewöhnlich die Dachkonstruktion einschließlich der Anlagen für die Dachentwässerung (Abb. 1.32). Aufgrund der exponierten Lage sind das Dach und seine Bestandteile einer besonderen witterungsbedingten Belastung ausgesetzt. Einhergehend können spezifische Alterungserscheinungen der verwendeten Materialien schneller und umfänglicher eintreten als an geschützten Bauwerksabschnitten. Die größten Fehlerquellen bei Schäden im Dach- und Terrassenbereich sind neben einer nicht fachgerechten Planung und Ausführung die Verwendung ungeeigneter Materialien und eine unzureichende Wartung.

Häufige Ursachen für Schäden an Fassaden durch mangelhafte Dächer sind Undichtigkeiten an An- und Abschlüssen im Bereich der Traufen und Ortgänge sowie an Attiken und an den Dachentwässerungen. Als nachteilig auf den Bestand der Außenwände stellen auch zu geringe Dachüberstände oder eine unzureichende Bemessung und Wartung der Entwässerungsanlagen ein immer wiederkehrendes Schadensrisiko dar. Bei jeder Außenwandsanierung sind daher auch die Dachkonstruktion und alle mit dem Dach verbundenen Anlagen zu überprüfen und gegebenenfalls einer Wartung oder Instandsetzung zu unterziehen.

Bei Terrassen und Balkonen können nicht fachgerecht geplante und ausgeführte Details wie z. B. Durchdringungen für Abläufe in den Attiken oder Brüstungen und der Anschluss



Abb. 1.32 Feuchteschaden aufgrund eines Mangels am Rinneneinhangblech

der Bodenabdichtung an die umgebenden Bauteile sehr schadensintensiv sein. Auch Anbauten wie Geländer, Rollladenkästen oder Sonnenschutzeinrichtungen sind so zu konstruieren, dass Wasser nicht an der Fassade abläuft und Staunässe in Zwischenräumen vermieden wird. Ferner sind Schutzmaßnahmen am Fassadenschmuck, z. B. Blechabdeckungen an auskragenden Elementen wie Architraven oder Kapitellen von Pilastern und Lisenen ähnlichen Belastungen ausgesetzt wie die Dachbestandteile. Instandsetzungen sind dort mit der gleichen Sorgfalt vorzunehmen wie an Dächern.

Für die fachgerechte Instandsetzungsplanung von Dächern, Terrassen und Balkonen ist beispielweise die „Flachdachrichtlinie“, herausgegeben vom Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks, in ihrer gültigen Fassung heranzuziehen und (Stand 2016) die DIN 18195. Zur Bemessung und Ausführung von Dachentwässerungsanlagen sind darüber hinaus u. a. die DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ und die DIN 1986-100 „Gebäude- und Grundstücksentwässerungen“ grundlegend.

1.2.5 Schäden und Schadensursachen

1.2.5.1 Grundüberlegungen

Sonne, Regen, Kälte, Hagel, Schnee, Frost und andere Wettereinflüsse sind konstante Faktoren, welche den Außenwänden dauerhaft zusetzen und eine Instandsetzung erforderlich machen (Abb. 1.33).

Die verwendeten Baustoffe waren in der Vergangenheit alles andere als sicher. Vor allem hatten Putze und Mörtel nur geringe Anteile an Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxid und anderen hydraulischen Verbindungen. Die verwendeten Kalke waren wasserlöslich, Schäden am Mauerwerk und den aufliegenden Putzen blieben daher nicht aus.

Vielen sind die „weißen Bärte“, die aus feuchtem Mauerwerk zu wachsen scheinen und in alten Gebäuden Putze oder Steine zum Absanden oder Abplatzen bringen, bekannt. Von Laien werden diese Salzausscheidungen meist „Mauersalpeter“ genannt, eine Bezeichnung, die den wahren Sachverhalt jedoch nur selten trifft.

Salze sind nicht nur unbedingt notwendiger Bestandteil des Lebens auf der Erde, sie sind auch Bestandteil aller mineralischen Baustoffe. Hinsichtlich bauschädigender Reaktionen spielt die Frage ihrer Löslichkeit eine wichtige Rolle, die zudem auf die enge Verknüpfung von Salzen und Feuchtigkeit hinweist.

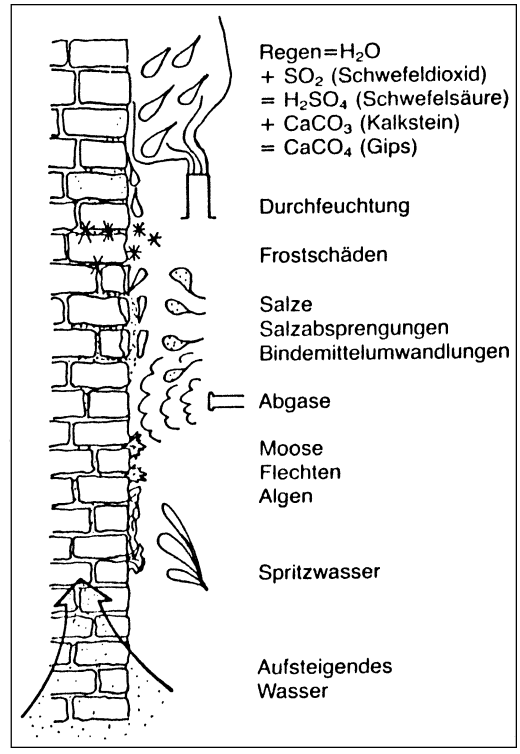


Abb. 1.33 Belastung von Mauern und Fassaden. (Quelle: ILS Hamburg)

Die Ursachen der meisten Schäden am Bau sind nicht direkt sichtbare Mängel, wie Baustoff- oder Konstruktionsfehler, sondern sind innerhalb der Konstruktion verdeckte Mängel. Deshalb ist die regelmäßige Inspektion und Reparatur der Außenwandkonstruktionen und aller schadensverursachenden Baumängel wichtig, um größeren Schäden vorzubeugen.

Für das Entstehen von Gebäudeschäden sind darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Beanspruchungen auslösend, deren Ursachen in

- den bauphysikalischen Eigenschaften der Materialien und dem konstruktiven Zusammenwirken der Baustoffe,
- Eingriffen in die Statik des Gebäudes oder einzelner Bestandteile,
- Alterungserscheinungen und Materialermüdung,
- der Chemie der Baustoffe,
- den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten,
- der Nutzung und infolge von Nutzungsänderungen,
- Planungs- und Ausführungsmängeln bei der Errichtung der Bauwerke sowie bei nachträglichen Instandsetzungsmaßnahmen und Umbauten,
- einer mangelhaften Wartung und bei Sanierungsstau,
- Anprall- und Explosionslasten,
- veränderten Umgebungsvariablen infolge menschlichen Handelns,
- den üblichen Witterungseinflüssen und einzelnen Naturgewalten,
- der Vegetation und im biologischen Bewuchs

begründet sein können.

1.2.5.2 Konstruktive Schäden

Wo Mauerwerk verformt oder gerissen ist, muss seine Tragfähigkeit bzw. Standsicherheit wiederhergestellt werden. Wo gar neue Kräfte oder Lasten in Altmauerwerk eingeleitet werden müssen, ist es erforderlich seine Standsicherheit zu untersuchen und sie ggf. zu verstärken. Diese Schäden erkennt der Fachmann vor allem am Rissbild in der Fassade. Gründe für Risse sind vor allem unterschiedliche Setzungen von Fassadenteilen, thermische Spannungen innerhalb der Fassade, Überlastungen durch Schub- und Zugkräfte (z. B. erzeugt durch einen schadhaften Dachstuhl) oder mechanische Beanspruchung. Typische Befunde für konstruktiv bedingte Schadensursachen sind:

- Risse aller Art, die ihre Ursachen in Setzungen, Bodenschrumpfung, geologischen Verschiebungen, Erschütterungen, Gewölbeschub, Abgrabungen, Bergbau, U-Bahn usw. haben,
- Spaltungen des Mauerwerks (Zweihäuptigkeit) parallel zur Außenwandfläche durch zu hohen Druck oder Zerfallserscheinungen, Frostschäden,
- totaler konstruktiver Zerfall der Mauerwerkaußenschale durch Verwitterung, Alterung und Durchfeuchtung,
- Schäden am Wärmedämmverbundsystem.

Risse und Brüche

Risse treten stets dann auf, wenn die vorhandenen Festigkeiten, vornehmlich die Zugfestigkeit des Materials, der Belastung durch innere Kräfte nicht mehr standhalten können. Innere Kräfte entstehen durch von außen aufgebrachte Lasten, Eigenlasten sowie durch thermische und mechanische Beanspruchungen. Als Ursache können auch chemische Reaktionen in Frage kommen.

Das Material möchte der Belastung durch Bewegung (Verformung) ausweichen. Ist diese Bewegung nicht möglich, sondern wird behindert, bauen sich im Material Zwängungsspannungen auf. Übersteigen die sich im Material aufbauenden Spannungen die Eigenfestigkeiten des Materials, kommt es zu Rissbildungen, welche als Oberflächenrisse oder als Trennrisse sichtbar werden (Abb. 1.34).

Rissursachen Für das Entstehen von Rissen sind eine Vielzahl von Beanspruchungen auslösend, deren Ursachen

- in den bauphysikalischen Eigenschaften der Materialien und dem konstruktiven Zusammenwirken der Baustoffe,
- in Eingriffen in die Statik des Gebäudes oder einzelner Bestandteile,
- in Alterungserscheinungen und Materialermüdung,
- in der Chemie der Baustoffe,

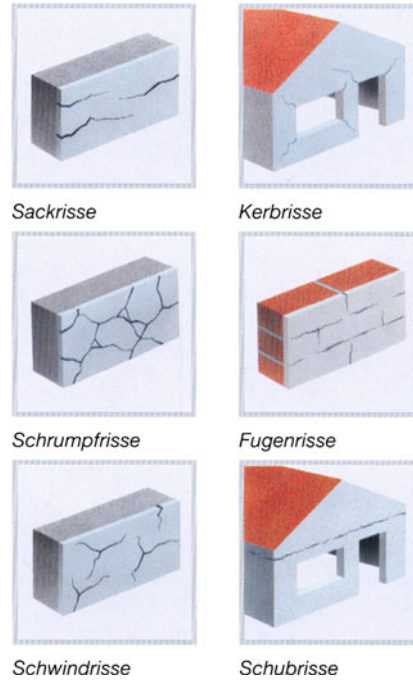


Abb. 1.34 Rissarten, Auswahl. (Quelle: ILS Hamburg)

- in den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten,
- in der Nutzung und infolge von Nutzungsänderungen,
- in Planungs- und Ausführungsmängeln bei der Errichtung der Bauwerke sowie bei nachträglichen Instandsetzungsmaßnahmen und Umbauten,
- in einer mangelhaften Wartung und bei Sanierungsstau,
- in kurzzeitigen Aufprall- und Explosionslasten,
- in veränderten Umgebungsvariablen infolge infrastruktureller Umgestaltungen,
- in den üblichen Witterungseinflüssen und einzelnen Naturgewalten,
- in der Vegetation und im biologischen Bewuchs,

begründet sind. Solche Beanspruchungen können resultieren aus:

- der unterschiedlichen Bewegung von Bauwerkteilen; durch Langzeitbelastung, Veränderung der Bodenbeschaffenheit oder des Grundwasserspiegels (Abb. 1.35),
- der Ausdehnung oder dem Schwinden des Materials,
- falscher Technologie oder Ausführung,
- rostenden Eisenteilen, Ausdehnung aufgrund von Ettringit/Thaumasitbildung an den Grenzen zwischen Zement und Gipsmörtel (oft in Kombination mit Verwölbung); Materialart (hoher Kalkgehalt kann zu Gipsbildung führen) und Feuchtigkeit,
- Bewegungen aus Ausdehnung und Kontraktion durch thermische Belastung, entstanden durch Temperaturveränderungen, Feuer und Löschwasser; Feuer (= thermischer Riss),

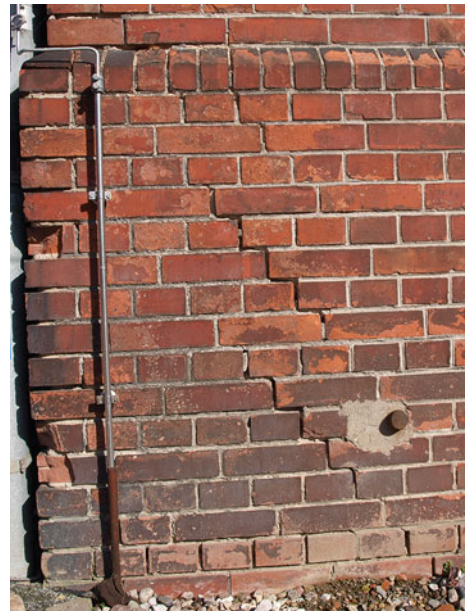


Abb. 1.35 Riss am Gebäudesockel infolge ungleichmäßiger Setzung des Baugrunds

- Pflanzenwurzeln; eine häufige Ursache von Rissbildung (direktes Zugversagen) und Zertrennung von Mörtelbetten ist die Durchdringung von Pflanzenwurzeln.

Je nach Art, Weite und Anordnung werden verschiedene Riss- oder Bruchtypen unterschieden. Oberflächenrisse sind das weitaus häufiger anzutreffende Schadensbild als Trennrisse. Einige Beanspruchungsarten können sowohl Oberflächenrisse als auch Trennrisse hervorrufen.

Trennrisse Kennzeichnend für Trennrisse sind Trennlinien, welche das Material bzw. den Bauteilquerschnitt vollständig durchziehen. Aufgrund ihrer statischen Bedeutung ist der Vermeidung bzw. der ursächlichen Sanierung von Trennrissen besonderes Augenmerk zu schenken.

Setzungsrisse Altbauten wurden oft in einer Länge von mehr als 12 m (heutiges Maximalrichtmaß für Setzungsabschnitte bei aufgelösten Gründungen) in einem Stück errichtet.



Abb. 1.36 Kippriss, z. B. bei ungleicher Setzung oder Schrumpfen des Untergrundes. (Quelle: ILS Hamburg)

Dies führte zu wilden Setzungsrissen. Eine ähnliche Rissbildung entsteht, wenn verschieden hohe Bauteile im Verband aneinandergebaut werden oder ein Bauteil nachträglich aufgestockt wurde. Setzungsrisse bilden sich ebenfalls aus, wenn verschiedene Belastungen bei gleichem Baugrund oder verschiedene Baugründe vorliegen. Die Folge ist, dass sich Bauteile verschieden setzen und in den Anschlussbereichen Risse auftreten (Abb. 1.36).

Sprungrisse Ein Sprung ist ein spezieller Risstyp, verursacht durch eine Volumenzunahme, die eine starke Zugbeanspruchung in der äußeren Zone bewirkt.

1.2.5.3 Bauphysikalische Schäden

Feuchteschäden

Nach verschiedenen Schadensberichten sind Außenwände die Bauteile mit der höchsten Schadensanfälligkeit. „Hauptfeind“ ist Regen bzw. Schlagregen. Schäden an Vormauerschalen beruhen im Wesentlichen auf Ausführungsfehlern. Allgemein gilt im Bauhandwerk die Grundregel, dass Mauerwerk niemals vollkommen wasserdicht sein kann, auch nicht muss, und eben oft durchfeuchtet. Aus diesem Grund werden zweischalige Wände mit einer Luftschicht versehen. In der Luftschicht soll eindringendes Wasser abfließen und Feuchtigkeit aus nassen Steinen abtrocknen.

Mögliche Ursachen für Feuchteschäden:

- Dachhaut, Dachkehlen, Wandanschlüsse usw. schadhaft,
- Rinnen und Fallrohre beschädigt oder verstopft,
- Fundamente und Sockel schadhaft,
- wasserflussregelnde Bauteile wie Gesimse, Fensterbänke usw. beschädigt (Abb. 1.37),
- Fugen in Naturstein- und Ziegelmauerwerk ausgeschwemmt,
- Durchfeuchtung des Mauerwerks aus Sockelbereich und Fundament,
- Verwitterung der Werksteinoberflächen, abgebrochene Tropfnasen, gestörter Wasserfluss,
- Feuchtigkeit durch schadhafte Installationen im Hausinnern,
- konstruktive und optische Schädigungen durch bauliche Eingriffe und Veränderungen aller Art, Veränderung des Wasserflusses, falsche Anschlüsse an Fenstergewände, Gesimse usw.,
- fehlender Oberflächenschutz, offene Fugen, Wind-, Wasser-Rostschäden,
- Schäden durch unsachgemäße Oberflächenbehandlung, falsche Wandverkleidungen, Wärmedämmung oder Verlagerung des Taupunktes.

Thermisch bedingte Schäden

Thermisch bedingte Schäden werden durch Längenänderungen der Bauteil infolge der Einwirkung von Wärme bzw. infolge von Temperaturänderungen verursacht. Werden



Abb. 1.37 Gestörter Wasserfluss an schadhafter Fensterbank. (Quelle: ILS Hamburg)

die auftretenden Verformungen behindert, entsteht eine Zwangsbeanspruchung innerhalb eines Bauteils und Zwangsspannungen werden hervorgerufen. Zwangsspannungen aus Temperaturänderungen sind lastunabhängig. Das resultierende Maß der Wärmedehnung (ε_T) eines Bauteils ergibt sich aus der Temperaturänderung (ΔT) und dem stoffspezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten (α_T in 10^{-6}/K) (Tab. 1.8).

Baukörper in homogener Bauweise, beispielsweise rein aus Mauerwerk errichtete Gebäude mit einem hohen Fugenanteil, sind nur einem geringen Risiko für temperaturbedingte Schäden ausgesetzt, da die auftretenden Zwangsspannungen über die Fugen abgetragen werden. Mit der Zunahme der Varianz am Bau eingesetzter Materialien und großformatiger Elemente steigt das Risiko für Schäden infolge thermischer Belastungen. Die Schnittstellen der unterschiedlichen Bauteilarten müssen eine ungehinderte Ausdehnung ermöglichen und gleichzeitig eine ausreichende Standsicherheit der Konstruktion gewährleisten.

Eine Vernachlässigung des Wärmeschutzes kann auch Schäden an der Konstruktion bzw. an tragenden Wänden verursachen, wie folgendes Beispiel an Dachdecken aus

Tab. 1.8 Temperaturdehnzahlens α_T bei normalen Temperaturen (Auswahl)

Baustoff	α_T in $10^{-6} \cdot 1/\mathrm{C}^\circ$
Baustahl	12
Betonstahl	10
Stahlguss	ca. 12
Aluminium	ca. 20
Glas	3–9
Normalbeton	10
Mauerwerk	6–10
Holz	
Längs zur Faser	2,5–5
Quer zur Faser	25–60

Stahlbeton zeigt (Abb. 1.38). Hier wurde eine Aufdachdämmung aus einem Material mit geringer Wärmespeicherkapazität (Polystyrol) und in einer Schichtendicke hergestellt, die lediglich den Anforderungen an den Mindestwärmeschutz genügt. Ist die Dacheindeckung zudem aus einem Material mit einem hohen Absorptionsgrad (z. B. Bitumenbahn schwarz) ausgeführt, werden bei längerer Sonneneinstrahlung Oberflächentemperaturen von bis zu 70–80 °C auf der Dachhaut erreicht und die Wärme wird dabei in einem nicht unerheblichen Anteil in den Dachaufbau abgeleitet. Der Wärmeeintrag in den Dachaufbau kann in Abhängigkeit von der Deckenspannweite eine erhebliche Wärmedehnung des Bauteils verursachen. Die thermische Längenänderung von Stahlbeton beträgt 0,01 mm/(m K). Bei Annahme einer Temperaturdifferenz im Dachaufbau unter sommerlichen Bedingungen von 60 K errechnet sich die Wärmedehnung von Stahlbeton zu: 0,01 mm/(m K) × 60 K = 0,60 mm/m. Eine Stahlbetondecke mit einer Bauteillänge von 10 m kann somit in Längsausrichtung eine Dehnung von bis zu 6 mm aufweisen. Sind die Deckenauflager nicht in der Lage, die Dehnung der Dachdecke aufzunehmen, werden



Abb. 1.38 Zwängungsspannungen infolge einer behinderten Dehnung der Balkonkragplatten erzeugten Risse über die Höhe des Hauses im Bereich einer mangelhaft ausgeführten Gebäudetrennfuge. Zustand nach einem ersten Sanierungsversuch

unzulässige Horizontalkräfte in den Wandkopf eingetragen. Da Mauerwerk üblicherweise nicht für die Aufnahme hoher Schubkräfte bemessen ist, sind horizontale Rissbildungen in Höhe des Deckenauflagers und in den umgebenden Schichten des Mauerwerks die Folge.

1.2.5.4 Algen und Pilze

Algen und Pilze als mikrobieller Befall sind geläufige Schadensbilder an hochwärmegedämmten Fassaden. Sie treten als unschöne graue, rote oder grüne Schleier auf der Putzoberfläche in Erscheinung, die sich großflächig ausdehnen können. Die Mikroorganismen siedeln sich an, wenn die Oberfläche dauerhaft feucht ist. Die Feuchtigkeit entsteht überwiegend durch die Betauung der Fassaden und wird durch Niederschläge eingetragen. Insbesondere unter feuchten klimatischen Bedingungen wachsen Algen sehr gut, z. B. in der Nähe von Seen, Biotopen und Feuchtgebieten. Auch nach Norden und Westen ausgerichtete Fassaden sind schadensanfälliger. Die Schäden haben keine Auswirkung auf die Wirksamkeit der Dämmsysteme. Optisch sind die Mängel jedoch erheblich (Abb. 1.39).

Algen sind sowohl im Wasser als auch an der Luft zu finden. Sie zählen zu den sogenannten Selbsternährern, die nur Licht, Wasser und Kohlenstoff aus der Luft benötigen, um Kohlenhydrate zu produzieren. Ihr Wuchs ist kugel- oder fadenförmig. Die an Fassaden auftretenden Algen sind den Luftalgen zugeordnet.

Pilze dagegen sind Mikroorganismen, die weder Pflanzen- noch Tierwelt zugeordnet werden können, sie brauchen organische Nährstoffe wie Zucker, Stärke und Zellulose. An Fassaden finden sich vor allem Schwärzepilze mit dunklen Zellfäden und Sporen.



Abb. 1.39 Algengeschädigte Putzfassade. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.9 Risikofaktoren

Risikofaktoren	
	**Topografie:** Täler, Senken, Gewässernähe
	**Klima:** Temperatur, Wind, Regenhäufigkeit, relative Luftfeuchte
	**Stadt- oder Landregion:** Art und Menge der Luftverunreinigungen
	**Vegetation:** Art, Nähe zum Gebäude, Verschattung, pflanzliche Ausscheidungen
	**Lage des Gebäudes:** Verschattung, Belüftung
	**Flächenausrichtung:** Himmelsrichtung, waagerecht, schräg, senkrecht, Verschattung
	**Bauphysikalische Besonderheiten:** Hochgedämmte oder „kalte“ Bauteilfläche

Es gibt eine ganze Reihe bauphysikalischer Faktoren, die sich unweigerlich auf den Feuchtehaushalt einer Fassade auswirken – und damit auch auf das Risiko des Algenbewuchses, wie Tab. 1.9 aufzeigt.

1.2.5.5 Schäden an und durch Dämmungen

Bauschäden an und durch Dämmungen haben ein breites Spektrum an Ursachen. Eine davon liegt in der Alterung des Gebäudes. Jede Nutzung und die damit verbundene Alterung des Gebäudes führt zwangsläufig zu Mängeln und Schäden, die durch kontinuierliche Wartung, Renovierung und Sanierung aufgefangen werden können. Meist sind Planungs- und Ausführungsmängel die Ursachen für Bauschäden. Schäden an der Dämmung reduzieren die Leistungsfähigkeit der Wärme- und auch der Schalldämmung. Je nach Lokalisation kann der Schaden eine erhöhte Lärmbelästigung, einen gestiegenen Wärmebedarf oder auch weitere Folgeschäden nach sich ziehen. Schäden durch Dämmungen sind in der Regel Planungs- und Ausführungsfehler. Typisches Beispiel ist eine

nachträglich installierte Außenwanddämmung, durch die an einer anderen Stelle im Innenraum die Wandoberfläche unterhalb des Taupunktes sinkt. Eine feuchte Stelle mit Schimmelbildung ist vorprogrammiert.

Weitere Ursachen für Bauschäden durch Feuchtebelastung und Schimmel an Baukonstruktionen können sein:

- hohe Einbaufeuchte von Baustoffen,
- Feuchtebelastung durch Diffusion,
- Feuchtebelastung durch Konvektion,
- konstruktiv bedingte Feuchtigkeit durch Flankendiffusion,
- eindringendes Wasser.

Generell entstehen Bauschäden und Schimmel, wenn die Feuchtigkeitsbelastung höher ist als dass Trocknungsvermögen der Baukonstruktion. Zur Vermeidung von feuchtebedingten Bauschäden sind daher mehrere Kriterien zu berücksichtigen:

- Reduktion der Feuchtebelastung, die durch Tauwasserbildung, Diffusion, Konvektion, Baumängel und hohe Einbaufeuchte entstehen,
- ein hohes Trocknungsvermögen der Konstruktion durch nach außen diffusionsoffener werdender Bauteilschichten,
- Einbau von technischen Anlagen zur Raumluftregulierung.

1.2.6 Schadenserscheinungen unter verschiedenen Bauperioden

In der Praxis treten bei Gebäuden aus einer bestimmten Bauepoche meistens ähnliche Bauschäden und Mängel auf. Die folgenden Ausführungen zeigen drei wichtige Bauperioden und ihre typischen Mängel:

1. Stadthäuser um 1900,
2. Häuser der 1920er- und 1930er-Jahre des 20. Jh.,
3. Nachkriegsbauten der 1950er-Jahre des 20. Jh.

Die folgenden Skizzen zeigen alle Sanierungsschwerpunkte, während in den Tabellen nur typische Schadensbilder beziehungsweise Mängel der Außenwände und Außenwandbekleidungen erfasst sind.

1.2.6.1 Stadthäuser um 1900

Stadthäuser der Gründerzeit (Abb. 1.40 und 1.41) haben sehr dicke Außenwände mit guten Schall- und ziemlich guten Wärmeschutzeigenschaften. Die Kellerdecken bestehen aus gemauerten Kappen, die Decken der Obergeschosse aus Holzbalken mit Holzdielenbelag und unterseitigem Putz auf Spalierlatten. Räume und Wohnung waren großzügig

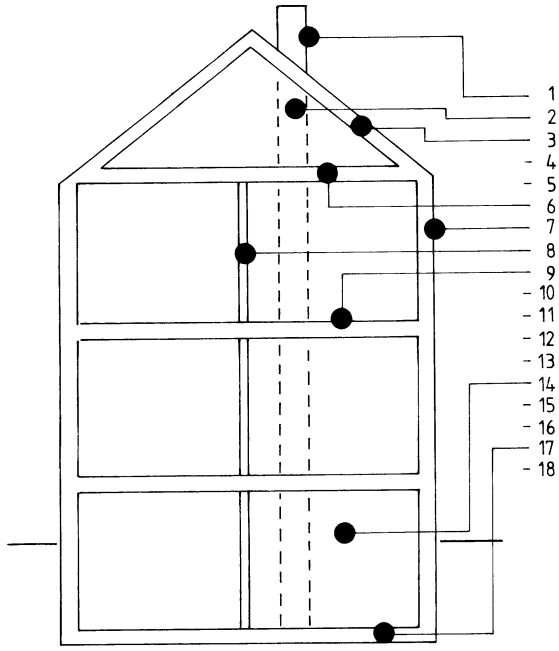


Abb. 1.40 Mängel des Wohnhauses von 1900. (Quelle: ILS Hamburg). *1* baufällige Schornsteinköpfe, *2* Schornsteine stark versottet und verzogen, *3* Dachstuhl, Rundhölzer geschädigt, *4* Dacheindeckung oft unbrauchbar, *5* keine Wärmedämmung der Decken und des Daches, *6* Holzdecken sind anfällig für Fäulnis, *7* Fassaden undicht und Oberflächenschäden, *8* Innenwände als Holzfachwerk, ausgemauert, *9* Holzdielen durchgetreten und morsch, *10* Innenputz in großen Teilen mangelhaft, *11* veraltete und defekte Haustechnikinstallation, *12* Holzgeschosstreppen von Schädlingen befallen, *13* Innentüren verzogen und undicht, *14* Teilunterkellerung mit Feuchteproblemen, *15* fehlende Abdichtung des Kellermauerwerks, *16* fehlende Kanal- und Hausanschlüsse, *17* Kellerfußböden als Ziegelpflaster auf Lehm, *18* sehr niedrige Kellerhöhen

geschnitten, Bäder fanden sich nur selten, das WC auf dem Zwischenpodest des Treppenhauses war üblich. Der Wärmeschutz der Wände findet bisweilen eine Entsprechung in der Ausbildung der Fenster als Kastenfenster. Die Beheizung der Räume wurde überwiegend mit Einzelöfen realisiert.

Die geschossgliedernden Gesimse und Verdachung gründerzeitlicher Gebäude sind besonders feuchtegefährdet, da sie, meist mit erheblichen Auskragungen, den natürlichen Fluss der Niederschläge aufhalten. Schon Risse mit geringen Breiten bieten Angriffspunkte für Nässe, Eis und chemische Schäden. Notwendige Schutzmaßnahmen dagegen sind:

- Herstellen dauerhafter und dichter Verbindungen zwischen auskragendem Bauteil und der Wand,
- Wiederherstellen von ausreichenden Tropfkanten,
- Teilersatz der zerstörten Bereiche möglichst mit Originalmaterial im Sinne von „Vierungen“ (Ersatzteilstück mit vier rechtwinkligen Kanten).



Abb. 1.41 Bürgerhaus der Jahrhundertwende, nach der Sanierung 1990. (Quelle: ILS Hamburg)

1.2.6.2 Häuser der 1920er- und 1930er-Jahre des 20. Jahrhunderts

Die Wohnhäuser der 1920er- und 1930er-Jahre (Abb. 1.42 und 1.44), vor allem die Wohnsiedlungen ehemaliger Stadtrandgebiete, haben deutlich kleinere Wohnungen und Grundrisse als Wohnhäuser der Jahrhundertwende. Die Wandquerschnitte sind oft schon stark



Abb. 1.42 Vorstädtischer Siedlungsbau um 1920. (Quelle: ILS Hamburg)

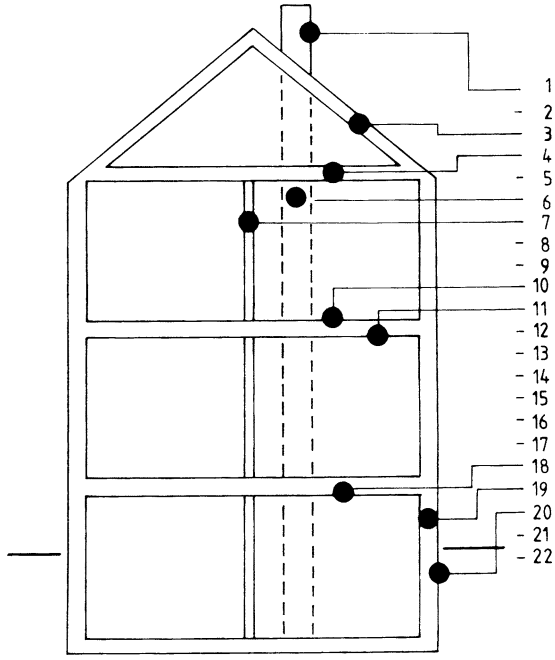


Abb. 1.43 Mängel des Wohnhauses von 1930. (Quelle: ILS Hamburg). *1* Schornsteinköpfe schadhaft, *2* keine Unterspannbahn unter der Dachdeckung, *3* keine Wärmedämmung der Dachfläche, *4* keine Wärmedämmung der obersten Decken, *5* Dachentwässerung defekt, *6* Schornsteinzüge versottet und zu groß für heutige Anforderungen, *7* Wohnungsinnenwände nur 12 cm dick, *8* Holzfenster mit Einfachverglasung, *9* Fußböden z. T. noch als Holzdielen, *10* Estrich auf Schalung mit Fehlstellen, *11* Spalierlattenputz unter Holzdecken, *12* Sanitärinstallationen defekt, *13* Elektroinstallation schadensanfällig, *14* Einzelofenheizung, *15* überdimensionierte nachgerüstete Zentralheizungen, *16* Innentüren reparaturbedürftig, *17* Holzkellerfenster defekt, *18* keine Wärmedämmung unterhalb der Kellerdecke, *19* keine Horizontalsperre im Mauerwerk, *20* fehlende Vertikalabdichtung an Kelleraußenwänden, *21* Grundleitungen schadhaft und zugesetzt, *22* Hausanschlüsse unterdimensioniert

minimiert und auch die Ziegel sind nicht mehr allein vorherrschendes Wandbaumaterial, da verstärkt Bims- oder Bimshohlblocksteine eingesetzt wurden. Die reich verzierten Stuckfassaden sind einfachen Putzfassaden gewichen, die teilweise jedoch noch sehr schöne Putzapplikationen zeigen. Holzbalken dienen nach wie vor als Tragelement der Geschossdecken, die Beheizung der Räume erfolgt über Einzelöfen. WC und kleines Bad (Badewanne) finden sich vorwiegend innerhalb der Wohnung. Die Kellerwände bestehen vielfach aus Stampfbeton, haben aber oft nur ungenügende Sperren gegen Feuchtigkeit (Abb. 1.43).



Abb. 1.44 Innerstädtische Bebauung um 1930. (Quelle: ILS Hamburg)

1.2.6.3 Nachkriegsbauten der 1950er-Jahre des 20. Jahrhunderts

An Häusern der 1950er-Jahre (Abb. 1.45) weisen die Außenwände sehr kleine Querschnitte mit schlechten Wärme- und Schallschutzeigenschaften auf. Die Geschossdecken bestehen meist schon aus Stahlbeton, oft mit Verbundestrichen ohne weitere Schallschutzmaßnahmen. Die Dachstühle haben weitgehend chemischen Holzschutz. Die meisten Wohnungen verfügen über ein eingebautes Bad. Bei den Heizsystemen herrscht noch Einzelofenheizung vor. Die Wohnungsgrößen und -zuschnitte sind einfach und manchmal beengt. Die Fenster bestehen aus Holz mit Einfachverglasung Putz- und Stuckelemente fehlen fast völlig (Abb. 1.46).

1.2.7 Negative Beispiele von Fassadensanierungen

Häufig werden die Innenbereiche von sanierten Häusern mit großem Aufwand aufgegliedert und sehr anspruchsvoll saniert. Bei den Fassaden wird hingegen oftmals versucht durch ungeeignete Maßnahmen die Kosten zu reduzieren.

Die in gestalterischer Hinsicht größten Schäden, werden durch das unsachgemäße Schließen oder Ausbrechen von Mauern und Türen sowie durch die fehlerhafte Errichtung von Anbauten und Gebäudeerweiterungen angerichtet. Mischmauerwerk ist bei Veränderungen an alter Bausubstanz zu vermeiden. Ergänzungen sollen möglichst im gleichen Material vorgenommen werden. Mischmauerwerk zeichnet sich später im Putz oder Anstrich ab (Abb. 1.47).

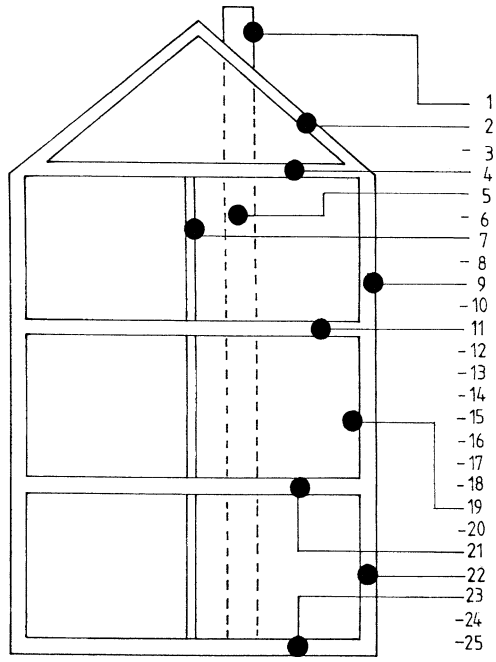


Abb. 1.45 Mängel eines Wohnhauses von 1950. (Quelle: ILS Hamburg). *1* Schornsteinköpfe schadhaft, *2* Unterspannbahn unter Dachdeckung fehlt, *3* keine Wärmedämmung der Dachfläche, *4* keine Wärmedämmung der obersten Decke, *5* Schornsteinzüge versottet und zu groß, *6* Dachentwässerung schadhaft, *7* Wohnungstrennwände nur 11,5 cm dick, *8* Holzfenster mit Einfachverglasung, *9* Außenwände z. T. nur 24 cm dick, *10* Fußböden z. T. noch als Holzdielen, *11* Holzbalkendecken z. T. ohne Schüttung, *12* Deckenputz z. T. noch auf Lattung, *13* Bäder z. T. ohne Waschtisch, *14* Warmwasserbereitung im Bad mit Kohlenboiler, *15* haustechnische Leitungen erneuerungsbedürftig, *16* Elektroinstallation überaltert, *17* Beheizung mit Einzelofenheizung, *18* Holzgeschosstreppen mit schadhaften Farbanstrich, *19* Wandputzflächen schadhaft, *20* Holzkellerfenster defekt, *21* keine Wärmedämmung unter Kellerdecke, *22* keine Horizontalabdichtung im Mauerwerk, *23* Grundleitungen schadhaft und zugesetzt, *24* fehlende Vertikalabdichtung an Kelleraußenwänden, *25* Hausanschlüsse unterdimensioniert



Abb. 1.46 Wohnblock der 1950er-Jahre. (Quelle: ILS Hamburg)

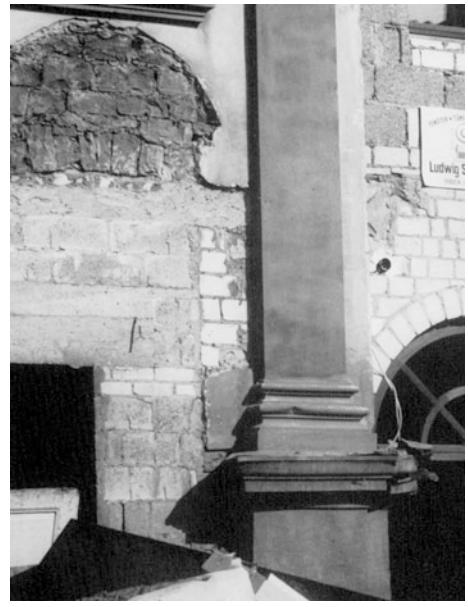


Abb. 1.47 Schäden am/durch Mischmauerwerk. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.10 Typische Schadensbilder und Mängel an Außenbauteilen von Gebäuden des 19. und 20. Jahrhunderts

Typische Schadensbilder und Mängel		1. Stadthäuser um 1900	2. Häuser der 1920er- und 1930er-Jahre	3. Nachkriegsbauten der 1950er-Jahre
Außenwände				
1	Statische Probleme durch Risse in tragenden Teilen, rostende Stahlträger	x		
2	Rissbildungen in tragenden Gebäudeteilen	x	x	
3	Durchfeuchtung der Kellerwände bei fehlender Vertikalabdichtung	x	x	
4	Durchfeuchtung der Erdgeschosswände durch fehlende Horizontalabdichtung	x	x	
5	Risse und Fugen in tragenden Außenbauteilen, vor allem auch in Balkonen und Loggien		x	
6	Unzureichender Schall- und Wärmeschutz der Außenwände			x
7	Kondensationsgefahr bei dünnen Außenwänden			x
8	Wärmebrücken durch Heizkörpernischen mit geringen Wandstärken			x
9	Durchfeuchtung von erdnahem Mauerwerk			x
Außenwandbekleidungen				
1	Putzschäden in Form von Rissen, Hohlstellen und Abplatzungen	x	x	x
2	Beschädigungen von Stuck und anderen Fassadenapplikationen	x		
3	Ungenügende Abdeckung von Wandvorsprüngen – fehlende Metallabdeckung	x	x	
4	Sandende Fugen bei Ziegelsichtmauerwerk	x		
5	Mangelnder Wärmeschutz von Außenwänden		x	
6	Mangelnder Feuchteschutz von Außenwänden, z. B. durch fehlende Metallabdeckung an Mauervorsprüngen		x	
7	Ausgewaschene Fugen bei Sichtmauerwerk		x	

Allgemein lässt sich festhalten, dass Fassaden den ästhetischen Zusammenhang von Gesamtform und Details benötigen. Eine Beseitigung einzelner Gliederungsteile zerstört die Gesamtwirkung (Abb. 1.48, 1.49, 1.50, 1.51, 1.52, 1.53, 1.54 und 1.55).



Abb. 1.48 Während die Klinkerfassadenfläche weitgehend sachgerecht saniert wurde, ist die gesamte Erdgeschossfassade mit Verfahren und Materialien, die für den Gebäudetyp ungeeignet sind, modern gestaltet worden. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.49 Oberhalb des Sockels wurden alle Putzdetails entfernt. Die Ersatzmaterialien und deren Gestaltung wirken unproportioniert. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.50 Bis auf die Gurtgesimse wurden alle Baudetails entfernt und durch aufgeklebte Elemente ersetzt. Das Alter des Gebäudes wird kaschiert. Der Eindruck von gründerzeitlicher Handwerksqualität ist verlorengegangen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.51 Ursprünglich bestand die Fassadengestaltung aus profilierten Sandsteinelementen; Sohlbänken, Fensterverdachungen, Glattputzflächen, Profilputzgewänden, Stuckkonsolen und einem detailreichen Kastenfenster. Lediglich die Sandsteinelemente wurden sachgerecht erhalten, alle anderen Elemente wurden entfernt. Die neuen Elemente stehen zu den erhalten gebliebenen im Widerspruch, wodurch die Fassadenwirkung beeinträchtigt wird. Der Hauptmangel allerdings liegt in der fehlenden Verbindung zwischen Fenstergewände und Verdachung. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.52 Während die Baudetails weitgehend erhalten wurden, hat die Beseitigung aller gliedernden Gesimse und der Putzgliederung zu einer modernen Grundform des Gebäudes geführt, auf der die erhaltenden oder historisierend nachgestalteten Details wie Fremdkörper wirken. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.53 Die intensive und für ein gründerzeitliches Bauwerk ungeeignete Farbigkeit der Putzflächen steht in einem aufdringlichen Kontrast zur roten Farbigkeit der Klinkerflächen. Die Beseitigung der Drempelgliederung verfälscht die Gebäudeproportionen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.54 Fassade, saniert und unsaniert; **a** unsanierter Zustand, **b** Gesimse und Fensterumrahmungen sind saniert und die Fassade ist wieder im originalen Farbton (Rot) ausgeführt. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.55 Kreativer Umgang mit einem Putzschaden. Sehr gelungene und formschöne Art der „Schadensverschleierung", die technische Nachhaltigkeit der Maßnahme ist jedoch zu bezweifeln, da Feuchte- und Frostschäden zukünftig nicht verhindert werden

1.3 Bauwerksdiagnostik

1.3.1 Vorbemerkung

Der Grundstein für eine erfolgreiche Bausanierung besteht im Wesentlichen in einer dem Objekt und seiner Nutzung angemessenen und durch Fachkenntnis gekennzeichneten Planung. Diese ist für eine qualitativ ausgereifte Bestandsuntersuchung und Bauwerksdiagnostik entscheidend. Nur so kann den Bauherren eine fundierte Entscheidungshilfe und dem Bauausführenden eine fachlich vollständige Sanierungsvorgabe vorgelegt werden. Mit den Bauherren ist im Vorfeld der Planung häufig der scheinbare Widerspruch zwischen dem Kostenaufwand der Ausarbeitung eines fachlich fundierten Sanierungskonzeptes und dem Wunsch nach einer kostengünstigen Planung aufzulösen. Dabei wird der Planer allzu oft einem Kostendruck ausgesetzt, der Fehler in der Planung, in der Ausführung und im Nutzungszeitraum nach sich ziehen kann. Das in vielen Fällen ein Mehr an Planung ein Weniger an Baukosten bedeutet, wird oft verkannt. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass zu jedem Zeitpunkt das Baugrundrisiko (Haftung für die Altsubstanz) beim Bauherrn verbleibt. Das bedeutet, dass das Risiko für den Bauherrn steigt, wenn er Bauzustandsuntersuchungen dem Planer verweigert. Jeder Planer ist gut damit beraten, bereits vor der Abgabe eines Angebotes für die Erstellung einer Instandsetzungsplanung das Objekt ausreichend in Augenschein zu nehmen, vorliegende Unterlagen einzusehen und nicht dokumentierte Fakten zu erfragen.

Als Ausgang einer jeden Planung steht die Feststellung des Soll-Zustands, welcher vonseiten des Bauherrn unter Bekanntgabe der jetzigen oder der zukünftigen Nutzung des Gebäudes vorgegeben wird. Der gewünschte Soll-Zustand beschreibt die Zielstellung und ist dem Planer von den Bauherren schriftlich zu übergeben. Die grundlegende Aufgabe des Planers besteht darin, den Ist-Zustand zu ermitteln und nach einem Abgleich von Soll- und Ist-Zustand ein Instandsetzungskonzept zur Herstellung des der Nutzung entsprechenden Zustandes vorzulegen. Der Planer ist angehalten, die Planung so zu konzipieren, dass sie zum Zeitpunkt der Bauabnahme dem aktuellen Stand der anerkannten Regeln der Technik (aRdT) entspricht. Ein gewissenhafter und fachkundiger Planer wird dem Auftraggeber mehrere Varianten zur Erzielung des Soll-Zustands zur Entscheidung vorlegen. Es empfiehlt sich, hierbei auch eine grobe Abschätzung der Neubaukosten miteinzubeziehen, um den Bauherren eine kostenmäßige Einordnung der Instandsetzungsvarianten darzulegen. Anzumerken ist, dass durch den Auftraggeber gewünschte Nutzungsänderungen, aber auch Änderungen der technischen Regeln in den meisten Fällen eine technische Verbesserung des Gebäudezustandes erfordern. Dahingehende Vereinbarungen sind transparent zu kommunizieren und schriftlich festzuhalten.

Bauwerksdiagnostische Untersuchungen sind ausreichend vorzunehmen und die Bestands- und Schadensaufnahme muss aktenkundig dokumentiert sein. Kommt der Planer dem nicht nach, so besteht bereits eine Verletzung seiner Pflichten. Kommt es zum Versagen der Instandsetzungsmaßnahmen, können rechtliche Ansprüche gegen den Planer erwirkt werden. Liegt eine fachgerechte Planung nicht oder nicht vollständig vor und

Fachfirmen geben dennoch Angebote ab, so können aus rechtlicher Sicht die Konsequenzen einer fehlerhaften Planung auch zu deren Lasten gehen.

1.3.2 Diagnostik

Zu Beginn einer Sanierungsplanung steht der Planer vor der oftmals schwierigen Aufgabe Art und Umfang bauwerksdiagnostischer Untersuchungen festzulegen. In Deutschland bietet kein Regelwerk einen allgemeingültigen Maßnahmenkatalog oder verbindliche Vorschriften zum Prozedere der Bauwerksdiagnostik. Die Regelwerke, Normen und Richtlinien enthalten zumeist diagnostische Einzelmaßnahmen aus denen der Planer einen Untersuchungsfahrplan zusammenstellen muss. Einzelne Fachverbände stellen Publikationen bereit, wie z. B. die Merkblätter der WTA oder des DBV, die einen umfassenden Blick auf die zur Verfügung stehenden diagnostischen Möglichkeiten gewähren.

Für die genaue Festlegung der Untersuchungsmethoden und der Mauerwerkdiagnostik ist als Erstes eine orientierende Besichtigung erforderlich. Weiterhin gehören Objekt- und Laboruntersuchungen dazu. Die Ergebnisse, die aus den Untersuchungen gewonnen werden, dienen als Grundlage für eine Instandsetzungsplanung. Zur Vorbereitung einer erfolgreichen Sanierung ist weiterhin eine umfangreiche Kenntnis der Hauptgefahrenpunkte erforderlich (Abb. 1.56). Aus praktischen Erfahrungen heraus sind das:

1. Rissbildungen jeglicher Art,
2. schadhafte Stürze und gebrochene Gewände,
3. Feuchtigkeitsschäden am Fundament und Sockel,
4. offene Fugen in Fassade und Mauerwerk,
5. schadhafte, verwitterte Werksteinteile,
6. Mängel am Dach,
7. Mängel an der Entwässerung,
8. schadhafter Putz.

Weiterhin sind angemessene Voruntersuchungen mit modernen Untersuchungsmethoden zu planen. In welchem Umfang vorbereitende Untersuchungen erforderlich sind, kann nur objektbezogen entschieden werden. Reichen bei einfachen Instandsetzungsarbeiten Rücksprachen mit erfahrenen Handwerkern, so sind bei Eingriffen in die tragende Konstruktion die Mitarbeit von Statikern und Fachingenieuren sowie bei Arbeiten an der denkmalgeschützten Fassade die Einschaltung der Denkmalschutzbehörde erforderlich.

In der Praxis sollte daher nach dem Schema der Tab. 1.11 verfahren werden, wobei die einzelnen Schritte, je nach Schädigungsgrad, mit unterschiedlicher Intensität ausgeführt werden müssen.

In Vorbereitung der Untersuchungen sind geeignete Methoden zur Dokumentation des erreichten Kenntnisstandes festzulegen. Die dokumentierten Arbeitsergebnisse bilden die Grundlage für die spätere Planung und müssen eine hinreichende Auswertbarkeit der Er-



Abb. 1.56 Hauptgefahrenschwerpunkte. (Quelle: ILS Hamburg)

gebnisse erbringen. Eine qualitativ gute Instandsetzungsplanung beginnt bereits bei der Dokumentation der Untersuchungsergebnisse, daher sollten die nachfolgend aufgeführten Methoden konsequent angewandt werden:

- Beschreibungen des Objektbestandes und des Zustands in schriftlicher Form, die Nutzung eines Diktiergerätes bei Ortsterminen kann dabei sehr nützlich sein;
- zeichnerische Darstellung der baulichen Situation und von Schadensphänomenen, z. B. durch das Anfertigen von Detailskizzen, Risskartierungen und orientierenden Lageplänen;
- fotografische Erfassung des Bauwerks einschließlich aller relevanten Details sowie der Schadbereiche und Probeentnahmestellen;
- moderne Messverfahren mit bildgebender Analyse und Ausgabe der Messergebnisse, wie z. B. Rasterfeuchtemessungen oder flächige Bewehrungsscans;
- Einsatz von Hubbühnen u. Ä. oder mit einer Kamera bestückte Drohnen bzw. Quadrokopter, um schwer zugängliche Bauwerksabschnitte im Außenbereich einsehen zu können.

Der ausführende Fachplaner muss in der Lage sein, die gewonnenen Erkenntnisse in dem abschließenden Gutachten in übersichtlicher Form sowie entsprechend den fachli-

Tab. 1.11 Ablaufschema Bauwerksdiagnostik

1. Schritt	**Orientierende Bauwerksbesichtigung** Begehung – Augenschein Bauunterlagen, Archivmaterial, Befragungen
2. Schritt	**Bestands- und Schadensaufnahme/Anamnese** Ermitteln bautechnischer Daten zum Bestand und Erfassen von Bauschäden Überblick über Untersuchungs- und Diagnoseaufwand
3. Schritt	**Untersuchungsplanung** Vorgehensweise Auswahl der Untersuchungen Untersuchungs- und Diagnosekosten Skizzen und Aufmaß
4. Schritt	**Untersuchungen vor Ort und im Labor** Materialbestimmung Abmessungen Gefüge Baustoffkenndaten Feuchte- und Salzbelastung
5. Schritt	**Bewertung** Diagnose Ursachenfeststellung
6. Schritt	**Instandsetzungsplanung**

chen und wissenschaftlichen Konventionen darzustellen. Gleichwohl ist dabei der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Bauherren und Auftraggeber in der Regel fachfremd sind, jedoch ein für sie verständliches Ergebnis erwarten. Daher sollte der Planer bemüht sein, z. B. zusammenfassende Ergebnisdarstellungen in allgemeinsprachlichem Wortlaut zu formulieren, damit Auftraggeber und Auftragnehmer jederzeit aus dem gleichen Wissensstand heraus über die Abläufe bestimmen können.

1.3.3 Orientierende Begutachtung

Die orientierende Begutachtung dient dem Ziel, die örtlichen Gegebenheiten in Augenschein zu nehmen und einen ersten Eindruck vom Bauwerk, seiner Lage und etwaigen objektspezifischen Randbedingungen zu erhalten. Daneben sollten Informationen zur ak-

tuellen Nutzung und zur zukünftig geplanten Nutzung vom Bauherrn oder Auftraggeber in Erfahrung gebracht werden. Die folgenden Unterlagen sollten zur Vorbereitung und Festlegung der weiteren planerischen Schritte herangezogen und ausgewertet werden:

- Bautagebücher früherer Sanierungsarbeiten,
- Baupläne und Baubeschreibungen,
- Baugenehmigungen,
- bauhistorische Unterlagen,
- früher gefertigte Gutachten über die Bausubstanz und Schäden,
- statische Unterlagen.

Das Vorhandensein bereits erstellter Gutachten oder Teilgutachten zu speziellen Fragestellungen, wie den Bodenverhältnissen in Hinblick auf Altlasten oder die hydrogeologische Situation ist zu eruieren. Abzuklären sind weiterhin Besonderheiten des Objekts, die sich beispielsweise aus denkmalpflegerischer Sicht, früheren Nutzungen sowie bereits in der Vergangenheit erfolgten Eingriffen und Umbauten ergeben können und in den weiteren Untersuchungen und Planungen zu berücksichtigen sind. Selbst aus Gesprächen mit aktuellen und ehemaligen Nutzern des Gebäudes oder kundigen Dritten mit Kenntnissen zum Bauwerk sind Hinweise zur Baugeschichte und früheren Schadensproblematiken erzielbar, die bei der Untersuchungsplanung hilfreich sein können.

1.3.4 Untersuchungsplanung

Anhand der im Verlauf der orientierenden Begutachtung erreichten Kenntnisse erfolgt eine genaue Festlegung der Untersuchungsmethoden und der Mauerwerkdiagnostik für die Bestands- und Schadensaufnahme. Damit lässt sich mit hoher Sicherheit ein Überblick über den wahrscheinlichen Untersuchungsaufwand, die voraussichtlichen Kosten der Diagnostik und die daraus abzuleitenden Maßnahmen treffen, welcher eine erste vorsichtige Schätzung des Schadensumfangs folgt. Die Art und der Umfang der Bestands- und Schadensaufnahme müssen dem Bauwerk und dem geplanten Vorhaben angemessen sein.

Nach Abschluss der orientierenden Bauwerksbesichtigung wird das weitere Vorgehen wie folgt festgelegt:

- Auswahl der Untersuchungen,
- Aufmaß und Skizzen (Abb. 1.57),
- Untersuchungs- und Diagnosekosten.

Erkenntnisse über das Mauerwerk können durch Untersuchungen vor Ort und durch die labortechnische Auswertung von entnommenen Materialproben gewonnen werden. Bevorzugt werden Untersuchungsmethoden, die ohne Eingriffe in die Bausubstanz auskommen.

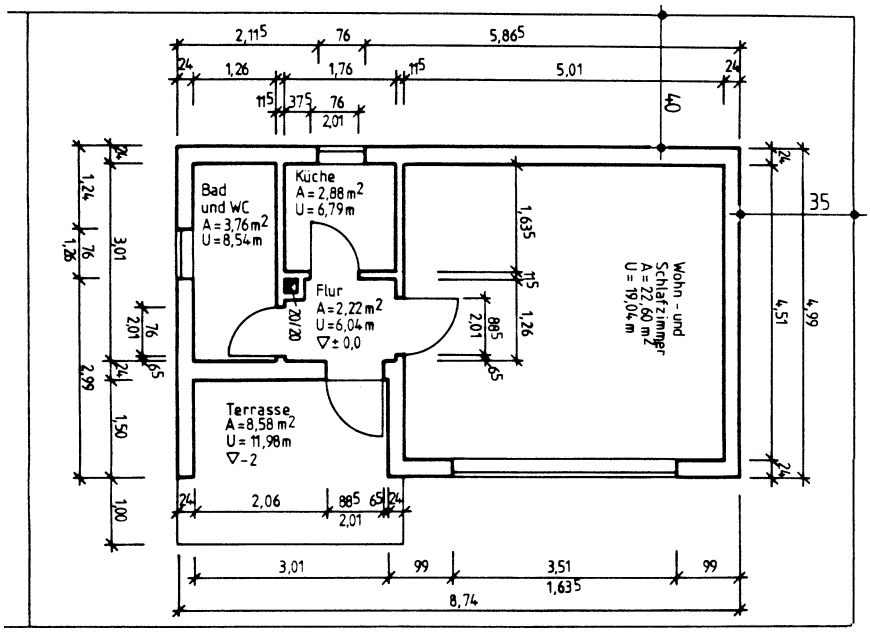


Abb. 1.57 Handaufmaßblatt eines Architekten

Sind zerstörende Untersuchungen jedoch nicht vermeidbar (z. B. bei Bohrungen zur Probenentnahme am Mauerwerk), dann müssen diese auf den tatsächlich notwendigen Umfang begrenzt bleiben. Die Eingriffsstellen müssen gegebenenfalls mit der Denkmalschutzbehörde abgestimmt werden.

1.3.5 Bestands- und Schadensaufnahme

Alle Feststellungen zum Bestand, zum Zustand des untersuchten Objekts und zu den Schadensbildern sollten ausreichend in Textform, mit Fotoaufnahmen und Skizzen, beschrieben werden. Durch die Bestandsaufnahme (Tab. 1.12) werden die Entscheidungs- und Planungsgrundlagen geschaffen. Vorzugsweise sollte die Herangehensweise bei der Bestands- und Schadensaufnahme dem Grundsatz „vom Großen ins Kleine“ folgen. Daher sollte am Anfang eine gewissermaßen „globale“ Betrachtung des Objekts, d. h. eine umgebungsbezogene Bestandsaufnahme erfolgen. Mit der umgebungsbezogenen Bestandsaufnahme werden beispielsweise Daten zur topografischen Lage, Geländeneigung, Hauptwindrichtungen, Bewuchs in der Umgebung oder weitere ortsspezifische Besonderheiten erfasst. Auf die Umgebung bezogene Dokumente können u. a. vom Bauherrn oder von Bauämtern angefordert oder dort eingesehen werden. Für die Festlegung der Abdichtungsverfahren und zur Einschätzung der Randbedingungen in der Sanierungsphase können die nachfolgend aufgeführten Unterlagen von besonderen Interesse sein:

Tab. 1.12 Checkliste Außenwand

Problemstellung	Untersuchung – Ermittlung – Überprüfung IST-ZUSTAND	
A durch NUTZUNGSÄNDERUNG		
1. In Erd- bzw. Obergeschossen – Zusätzliche Lasten – Aufstockung – Neue(s) Wand/Decke/Dach – Neue lastintensive Nutzung (Lager, schwere Geräte, Regale) – Feuchträume – Fassadenanstriche 2. Im Keller – Ausbau zu beheizten Nutzräumen – Für vorübergehenden Aufenthalt – Hobby-, Bastelraum – Ausbau zu unbeheizten Nebenräumen – Trockener (Lager-)Abstellraum – Heizungs-/Tankraum	– Tragfähigkeit des Baugrundes – Tragfähigkeit der Fundamente – Tragfähigkeit der Wände/Pfeiler – Standsicherheit der Wände/Pfeiler – Sockelausbildung – Feuchtigkeitsschutz – Drainage – Wärmeschutz – Oberflächenbeschaffenheit	
B durch SCHÄDEN	**URSACHE/ BEANSPRUCHUNG**	**MANGEL**
1 Strukturveränderungen		
An der Oberfläche		
– Feine Risse – Abplatzung, Abblättern, Absanden von Farbe, Putz usw. – Ausblühungen – Schwärzepilzbefall – Korrosion von Stahlteilen – . . .	– Mechanische Beschädigung – Feuchtigkeit von außen – Feuchtigkeit von innen – Oberflächentauwasser – Frost – Salzkristallisation – Alterung – . . .	– Unzureichende Materialfestigkeit – Unzureichende Haftung am Untergrund – Unzureichender Schutz gegen – Mechanische Beanspruchung – Feuchtigkeit von außen – Feuchtigkeit von innen – Unzureichende Wärmedämmung – Gesamtwandfeld – Örtlich (Wärmebrücke) – . . .

Tab. 1.12 (Fortsetzung)

Problemstellung	Untersuchung – Ermittlung – Überprüfung IST-ZUSTAND	
Im Querschnitt		
– Klaffende Risse – Mürber Stein, Mörtel, Beton – Korrosion von Stahlteilen – …	– Ungleichmäßige Setzung – Erschütterung – Kriegseinwirkung – Feuchtigkeit (siehe 3.) – Aggressive Wässer – Frost – …	– Unzureichende Gründung – Fundament – Baugrund – Mangelhaft konstruierter Verbund – Unzureichender Feuchtigkeitsschutz – Fehlender Schutz gegen aggressive Wässer – …
2 Formänderungen		
– Ausbauchung – Schiefstellung – Knicken – …	– Gewölbeschub – Erddruck – Ungleichmäßige Setzung – Erschütterung – Kriegseinwirkung – Alterung – Frost – …	– Unzureichende Gründung – Fundament – Baugrund – Mangelhaft konstruierter Verbund – Unzureichende Wanddicke – Unzureichende/fehlende Aussteifung – Unzureichende Gründungstiefe – …
3 Durchfeuchtung		
An der Oberfläche		
– Großflächig – Örtlich Im Querschnitt – Großflächig – Örtlich	– Feuchtigkeit von außen – Grundwasser – Tagwasser (eingesickertes Oberflächenwasser) – Stauwasser (Hang-, Schichtenwasser) – Bodenfeuchtigkeit – Spritzwasser – Regenwasser – Kapillar aufsteigedes Wasser – Feuchtigkeit von innen – Tauwasser – …	– Unzureichende Wandabdichtung – Vertikal – Horizontal unten – Horizontal oben – Unzureichender/fehlender Spritzwasserschutz – Mangelhafte/fehlende Drainage – Unzureichende Wärmedämmung – Gesamtwandfeld – Örtlich (Wärmebrücke) – …

- Bodengutachten mit dem Bemessungswasserstand und Wasserbelastung,
- topografische Unterlagen der Umgebung,
- Windlastkarten,
- Gründungsart der angrenzenden Häuser.

Im nächsten Schritt, der objektbezogenen Bestandsaufnahme, gilt es, eine allseitige Betrachtung der Fassaden des Objektes vorzunehmen und gleichzeitig erste Schadensbilder zu dokumentieren. Anschließend gilt das Interesse der ursprünglichen Gebäudenutzung, der Gebäudesubstanz, den baulichen Veränderungen, den verwendeten Materialien und der handwerklichen Ausführung. Bei der Bestandsaufnahme kann eine Reihe von speziellen Methoden zur Anwendung kommen. Bei sehr reich gestalteten Fassaden kann die Fotogrammetrie (Vermessung anhand von Fotos) zweckmäßig sein. Eine andere Option ist die Thermografie (Wärmebilder), welche Hinweise auf Wärmebrücken und damit auf schlechte Dämmung oder Bauschäden gibt. Hohlräume im Mauerwerk wiederum lassen sich per Endoskopie untersuchen. Soll die Bestandsaufnahme zugleich der wissenschaftlichen Dokumentation dienen, sollte die Arbeit in Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen und durch Baugeschichtsdaten und Auszüge historischer Dokumente ergänzt werden.

1.3.6 Objekt- und Laboruntersuchungen

Nach Abschluss der Objektaufnahme können die Bereiche der untersuchten Bauteile festgelegt werden, in denen beispielsweise durch Bauteilöffnungen oder einer Entnahme von Probenmaterial weitere zielführende Untersuchungsergebnisse zu erwarten sind.

Die gebräuchlichsten Untersuchungen vor Ort sind:

- Bauteilöffnungen bzw. partielle Freilegungen zur Feststellung des verdeckten Bestandes, des Zustands der Bauteile, konstruktiver Zusammenhänge und zur Art der verwendeten Materialien;
- horizontale Sondierungsbohrungen und anschließende Endoskopie zur Erfassung des Gefüges sowie der Schichtenfolge und -abmessungen;
- Rissaufnahmen, also Darstellung von Rissverläufen und Rissbreitenmessung (Abb. 1.59) sowie Erfassung von Rissbreitenänderungen;
- qualitative und halbqualitative Feuchte- und Salzanalysen durch Feuchtemessgeräte (Abb. 1.60) und auf der Baustelle anwendbare chemische Indikatoren, Probennahme für Darr-Methode;
- Messungen des Raumklimas (Abb. 1.58) und der Oberflächentemperatur (lassen den Tauwasseranfall mithilfe des „Glaser-Diagramms“ und Simulationsprogrammen beurteilen);
- geotechnische Untersuchungen zu Baugrund und hydrogeologischen Verhältnisse (Anlegen einer Schürfgrube, Rammkernsondierungen, Feststellen der Bodenklasse usw.).



Abb. 1.58 Hygrometrisches Messgerät für Raumluft und Oberflächen

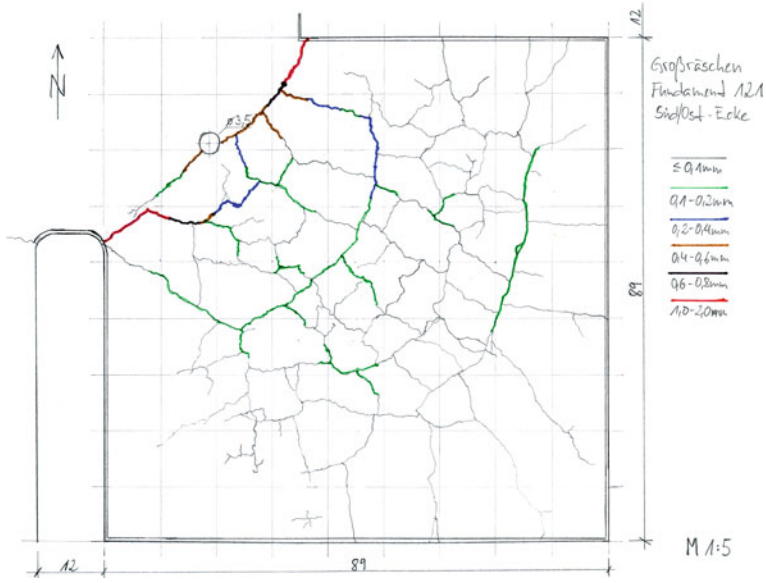


Abb. 1.59 Risskartierung an einem Betonbauteil



Abb. 1.60 Messgerät zur Bestimmung der Feuchteverteilung im Mikrowellenmessverfahren. (Quelle: Weber)

Mit diesen Untersuchungsmethoden lässt sich bei geringfügigen Schäden schon eine Festlegung der weiteren Sanierungsschritte treffen. Um weitergehende Kenntnisse zu erhalten, werden durch einen erfahrenen Bautenschutzfachplaner Proben des zu sanierenden Mauerwerks für weitere Untersuchungen im Labor entnommen.

Nachfolgend wird eine Auswahl von Untersuchungsverfahren zur Ermittlung wichtiger Parameter für die Bauzustandsanalyse vorgestellt.

Mauerwerksfeuchte

Als Erstes können orientierende Messungen zur Feuchteverteilung im Mauerwerk durch das dielektrische Mikrowellenverfahren ausgeführt werden. Das Mikrowellenverfahren bietet die Möglichkeit, in kurzer Zeit einen flächigen Überblick zur Feuchtebelastung im Untersuchungsbereich zu erlangen. Marktübliche Geräte ermöglichen in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der verwendeten Messköpfe Messungen an der Oberfläche oder in einem Tiefenbereich von bis zu 30 cm im Mauerwerk (Abb. 1.60). Die Messwerte werden in sogenannten Digits (einheitenlos) angegeben. Eine Ermittlung von absoluten Feuchtegehalten in Masseprozent oder Volumenprozent ist nicht möglich, bzw. die von einigen Messgeräteherstellern beigefügten Umrechnungstabellen lassen lediglich extrem ungenaue Näherungswerte zu. Ein weiteres zerstörungsfreies Messverfahren ist die Feuchtemessung über die Leitfähigkeit (Widerstandsmessung). Die zerstörungsfreien Messverfahren bergen im Allgemeinen eine Reihe von Fehlerquellen in sich. Beispielsweise ist die Messgenauigkeit in starkem Maße abhängig von den Baustoffen selbst, dem Salzgehalt im Bauteil und nicht zuletzt von der richtigen Handhabung der Messgeräte. Befinden sich im Messbereich metallische Bestandteile wie Kabel, Leitungen, Alteisen oder Bewehrungsstahl, werden die Messergebnisse verfälscht und sind unbrauchbar.

Zerstörende Untersuchungsverfahren wie die CM-Messung bieten dagegen genauere Ergebnisse. Zur Ermittlung absoluter Feuchtegehalte ist jedoch eine gravimetrische

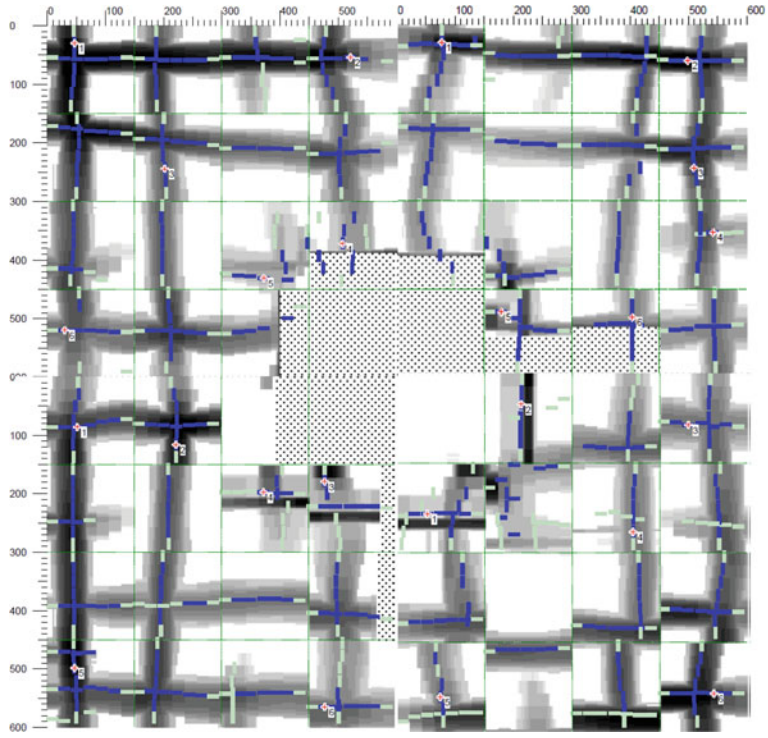


Abb. 1.61 Grafische Darstellung einer Rastermessung zur Betonüberdeckung



Abb. 1.62 Probenentnahme für die Darr-Methode und zur Prüfung des Aufbaus des Mauerwerks

Feuchtebestimmung nach der „Darr-Methode“ (Abb. 1.62) am zuverlässigsten. Da die zerstörenden Verfahren aufwendiger sind und lediglich punktuelle Messergebnisse liefern, ist eine Voruntersuchung, z. B. im Mikrowellenverfahren sinnvoll (Abb. 1.60), um gezielt geeignete Probeentnahmestellen festlegen zu können.

Ermittlung des pH-Werts

Die zu prüfenden ausgeblühten Salze oder Materialproben werden vorsichtig mit einem Hilfswerkzeug vom Mauerwerk entnommen und in destilliertem Wasser gelöst. Es stellt sich durch Hydrolyse der Salze, je nachdem, ob eine reine Verbindung oder ein Salzgemisch vorliegt, ein typischer pH-Wert ein. pH-Werte über 9 deuten auf die Anwesenheit von Natriumcarbonat (Soda) oder Kaliumcarbonat (Pottasche) hin, pH-Werte um 7 dagegen lassen die Anwesenheit von Natriumsulfat (Glaubersalz) oder Kaliumsulfat vermuten.

Salzanalyseverfahren

Die Überprüfung der Schadsalze beschränkt sich im Wesentlichen auf die Bestimmung der Anionen. Dies kann orientierend mit dem Wasserlabor an der Baustelle bzw. am Objekt geschehen (Abb. 1.63), empfehlenswert ist jedoch eine Analyse in einem Baulabor. Wenn quantitative Bestimmungen über einen längeren Zeitraum auch zur Beobachtung und Kontrolle der Wirksamkeit eines Abdichtungsverfahrens durchgeführt werden müssen, ist die Überprüfung und Bestimmung der Schadsalze im chemischen Labor unverzichtbar.

Besteht der Verdacht, dass eine Salzbelastung des Bauwerks (Tab. 1.13) für Feuchtschäden (mit-)verantwortlich ist, kann die labormäßige Bestimmung der hygroskopischen Feuchteaufnahme belastbare Ergebnisse erbringen. Die hygroskopische Feuchteaufnahme erfolgt aus der umgebenden Luft, das heißt, dass selbst bei funktionierenden Bauwerksabdichtungen nachteilige Feuchtegehalte im Bauteil vorliegen können.



Abb. 1.63 Halbqualitative Salzanalyse, hier: Nitrattest

Tab. 1.13 Bewertung des Versalzungsgrades

Salze	Versalzungsgrad in Masse %		
Chloride	< 0,2	0,2–0,5	> 0,5
Nitrate	< 0,1	0,1–0,3	> 0,3
Sulfate	< 0,5	0,5–1,5	> 1,5
Bewertung	**Belastung gering**	**Belastung mittel**	**Belastung hoch**

Im chemischen Labor können auch die Kationen bestimmt werden. Diese liegen im Wesentlichen bei Natrium, Kalium, Ammonium, Kalzium oder Magnesium vor. In seltenen Fällen spielt auch Eisen in ionogener Form eine Rolle.

Oft ist die Ursache einer Chloridbelastung von Mauermörtel und Mauerwerk die Verwendung sogenannte Frostschutzmittel auf der Basis von Kalziumchlorid bei der Herstellung des Mauermörtels. Die Chloridbelastung kann auch von älteren Ziegeln herrühren, die oft aus chloridhaltigem Ton hergestellt wurden.

Tragfähigkeit

Mauerwerkschäden, die infolge von Setzungen, Bindemittelauswaschungen oder bautechnisch fehlerhaftem Einwirken von Lasten entstanden sind, müssen durch eine sorgfältige Bauaufnahme festgestellt werden. Sie erfordern große Erfahrung und gründliche bautechnische Kenntnisse des Tragwerkplaners. Sind Maßnahmen zum Einbau einer nachträglichen Horizontalabdichtung geplant, ist, unabhängig davon, ob es sich dabei um eine Abdichtung im Injektionsverfahren oder ein mechanisches Verfahren handelt, ein Statiker, Tragwerksplaner oder ein spezieller Fachplaner heranzuziehen. Nachträgliche Horizontalabdichtungen stellen immer einen Eingriff in die Gebäudestatik dar.

Die jeweiligen lokalen konstruktiven Bauteile sind in der ersten Phase auf eine gestörte Lastabtragung visuell zu überprüfen. Hierbei handelt es sich vornehmlich um Innen- und Außenwände sowie Säulen, Pfeiler und Gewölbe.

Abgesehen von dem zu überprüfenden Zustand der Qualität von Steinen und Mörtel, die im Wesentlichen die Mauerwerksfestigkeit beeinflussen, ist auch das Mauerwerk auf Ein- bzw. Zweischaligkeit zu kontrollieren. Gleichfalls sind inhomogene Mauerwerksbereiche in Art und Umfang festzustellen. Alle Hohlräume, Fehlstellen und Risse (Abb. 1.59) sowie Materialwechsel in den konkret interessierenden Bauteilen sind aktenkundig zu dokumentieren. Wenn Zweifel an der Standsicherheit noch nicht grundsätzlich durch die visuellen Untersuchungen ausgeräumt werden können, sollten Kernbohrungen oder endoskopischen Untersuchungen zur Ermittlung der örtlichen Gegebenheiten erfolgen. Falls dies dann immer noch nicht zur überschlägigen Einschätzung der konstruktiven Gegebenheiten ausreichend erscheint, sind weitere geeignete Prüfungen dem zuständigen Statiker zu überlassen.

Letztendlich ist vor jeder Instandsetzung eines Mauerwerkes festzustellen, ob während oder nach den geplanten Sanierungs- bzw. Instandsetzungsarbeiten die Standsicherheit des Bauteils gefährdet sein könnte. Auf das WTA-Merkblatt 4-5-99/D „Beurteilung von Mauerwerk-Mauerwerksdiagnostik“ wird verwiesen. Bei Schachtarbeiten ist beispielsweise die DIN-Norm 4123 „Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude“ zu berücksichtigen. Die erforderliche Beachtung der statischen Gegebenheiten hat zwingend zur Folge, dass ausgewiesene Fachkundige mit den Planungsaufgaben zu beauftragen sind.

1.3.7 Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse bildet die Basis der nachfolgenden Instandsetzungsplanung. Einzelergebnisse können zusammengeführt und mit anderen Untersuchungsergebnissen überlagert werden, um so verdichtete Aussagen zu Bauteilen, Gebäudeabschnitten oder ganzen Bauwerken zu treffen. Im Rahmen der diagnostischen Untersuchungen (Tab. 1.14) ist es nicht immer möglich, das gesamte Bauwerk zu erfassen. Sind die nicht untersuchten Flächen oder Bauwerksabschnitte anhand visueller Schadensmerkmale ausreichend beschrieben, besteht die Möglichkeit in vergleichenden Analysen zu prüfen, ob eine Übertragbarkeit der Ergebnisse plausibel ist. Dies kann jedoch nur objektbezogen im Einzelfall erfolgen, generellen Aussagen ist mit Vorsicht zu begegnen. Die Zusammenführung der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen ist bei einigen Untersuchungsmethoden unerlässlich, um belastbare Aussagen zum Schadensrisiko treffen zu können. Zum Beispiel hat eine Potenzialfeldmessung zur Ermittlung des Risikos einer chloridinduzierten Korrosion an Stahlbetonbauteilen wenig Aussagekraft, wenn nicht auch die Betondeckung, der Feuchtegehalt und der Gehalt an wasserlöslichen Chloriden untersucht wurden. Auf der anderen Seite kann die Überlagerung von Untersuchungsergebnissen bisher nicht beachtete oder verdeckte Schadensmechanismen aufzeigen und so eine gezieltere Instandsetzungsplanung bewirken.

Als sehr vorteilhaft erweist sich die bildhafte Darstellung der Untersuchungsergebnisse, das Übertragen auf den gezeichneten Baukörper, sowohl in Bezug auf die Ermittlung der Schadensursachen als auch zur quantitativen Erfassung der geschädigten beziehungsweise der instand zu setzenden Bereiche. Insbesondere gilt das für das Erkennen verdeckter Schadensursachen und für die Mengenermittlungen in der nachfolgenden Planungsphase. Neben der manuellen oder auch digitalen Bearbeitung vorhandener Planunterlagen bzw. der Anfertigung von Skizzen, bieten moderne Untersuchungsverfahren oft die Möglichkeit der graphischen Auswertung der Befunde in digitaler Form. Ein nicht zu unterschätzender Nebeneffekt der bildgebenden Aufbereitung ist die vereinfachte Präsentation der Untersuchungsergebnisse gegenüber den zumeist fachfremden Bauherren. Das Verständnis der Bauherren für die Schadensproblematiken und die Instandsetzungsvarianten wird durch leicht erklärbare Darstellungen befördert und der Planungsprozess erfährt eine zunehmende Transparenz. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse muss immer mit Blick auf das konkrete Objekt und die vorgegebene Zielstellung erfolgen, um praktikable Instandsetzungsvarianten erbringen zu können, denn darin liegt die Erwartungshaltung des Bauherrn. Das schließt nicht aus, die vorgefundenen Schadensproblematiken auch wissenschaftlich zu betrachten und entsprechend auszuwerten. Die Verwendung der erhobenen Daten für eine wissenschaftliche Verwertung muss aus rechtlicher Sicht mit dem Auftraggeber abgestimmt sein.

Tab. 1.14 Untersuchungsverfahren zur Bauwerksdiagnostik (Auswahl)

Kriterien	Verfahren	Ergebnisse
Klangprüfung	Hammer	Feststellen von Hohlstellen, Verbundprüfung
Wischprobe	Handfläche	Abmehlen, Absanden, Krustenbildung, u. a.
Einsichtnahme unzugänglicher Gebäudeabschnitte	Fernglas, kamerabestückte Drohne	Bestand und Zustand
Einsichtnahme verdeckter Bauteile	Bauteilöffnungen, Endoskopie, seltener: Ultraschall, Röntgenstrahlen	Bestand und Zustand
Benetzbarkeit, Kapillarität	Wasserflasche, Karsten-Röhrchen	Porosität, Saugfähigkeit
Beurteilung und Aufnahme von Rissen	Rissbreitenmaßstab, Risslupe, Bohrkern	Rissbreite, Risstiefe, Rissverlauf
Rissbewegung	Wegaufnehmer, Gipsmarke, Messuhr	Quantitative Bestimmung der Rissbewegung
Klimatische Bedingungen	Hygrometer, Thermometer	Luft- und Oberflächentemperaturen, Luftfeuchte
Bauteilfeuchte	CM-Gerät, Darr-Methode	Wassergehalt im Baustoff
Betondeckung (Abb. 1.61)	Messgerät zur Betondeckung	Lage und Durchmesser der Bewehrung
Nachweis bauschädlicher Salze (Chloride, Sulfate, Nitrate, Carbonate)	Nasschemische Analyse, potenziometrische Titration, ionensensitive Elektroden	Qualitative und quantitative Gehalte an wasserlöslichen Salzen in Masseprozent, Salzbilanz
Bestimmung der hygroskopischen Feuchteaufnahme	Lagerung der getrockneten Proben im Klimaschrank	Aufnahmefähigkeit des Materials an Feuchtigkeit aus der umgebenden Luft
Dünnschliffuntersuchungen	Durchlichtmikroskopie	Mineralbestandteile, Gefüge, Kornverteilung, Porenraum
Phasenanalyse	Röntgendiffraktometrie	Mineralzusammensetzung
Rasterelektronenmikroskopie (REM)	Elektronenmikroskopie	Verwitterungs- und Porenbestimmung in Verbindung mit einer Mikrosonde
Frostbeständigkeit in Verbindung mit Salzeinwirkung	Frost-Tau-Wechsel-Versuche (CDF-Test)	Treiberscheinungen, Risse, Abtrag in mg/cm^2 (Masseverlust)
Druck- und Biegezugfestigkeit	Bohrkern ziehen und im Labor prüfen	Mechanische Widerstandsfähigkeit R in N/mm^2
Oberflächenzugfestigkeit und Oberflächenhaftzugfestigkeit	Aufkleben von Prüfstempel und Messung mit einem servohydraulischen Haftzugprüfgerät	Zugfestigkeit oberflächennaher Schichten bzw. Haftzugfestigkeit der Beschichtung/des Putzes
Korrosionsprüfung bei Schadstoffeinwirkung	SO_2-Immission, Cl-Einwirkung, NO_2-Immission	Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen saure Immissionen

1.3.8 Instandsetzungsplanung

Nachdem alle Untersuchungen und Analysen sorgfältig erfasst und ausgewertet sind, können Art, Umfang und Dauer einer zutreffenden Instandsetzungsmaßnahme geplant werden. Neben der Kostensicherheit ist damit auch eine sichere Abschätzung der Maßnahmedauer und gegebenenfalls notwendiger Nutzungseinschränkungen des Objekts möglich. Entsprechend den Vorgaben für die zukünftige Nutzung und Funktion des Bauwerks beziehungsweise des Gebäudeabschnitts erfolgt die:

- Planung von Art und Umfang der Instandsetzungsschritte,
- Planung der Technologie,
- Planung der Materialien.

Empfehlenswert, auch in Hinblick auf die erforderliche begleitende Abstimmung mit den übrigen Beteiligten, ist ein schrittweises Vorgehen. Um allen Beteiligten die gleiche Ausgangslage zu gewähren sollte jedem Sanierungskonzept eine Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse vorangestellt werden. Hierfür im Folgenden ein fiktives Beispiel:

Das vorgestellte Sanierungskonzept basiert in wesentlichen Punkten auf den folgenden Erkenntnissen

1. unzureichende Bemessung der Decken, insbesondere hinsichtlich thermischer Beanspruchungen;
2. Ausführungsmängel, wie fehlende Trennschichten in den Auflagerbereichen der Decken und Außentreppen;
3. ein maßgeblicher Einfluss von Zwangsspannungen infolge feuchtebedingter Verformungen des vorhandenen Putzes;
4. Verformungen aus dem Feuchteeintrag in das Mauerwerk der Außenwände;
5. Fehlen eines fachgerecht ausgebildeten Spritzwasserbereiches am Gebäudesockel und an den aufgehenden Pfeilern und Wänden der Balkone;
6. Nichtbeachtung des baulichen Holzschutzes an den Balkonverkleidungen;
7. eine fehlerhafte Ausführung der Bewehrung und beim Einbau des Ortbetons an den Balkonanlagen.

Im zweiten Schritt steht die Aufstellung eines Sanierungskonzepts. Ein gewissenhafter Planer wird dabei den Bauherren unterschiedliche Instandsetzungsvarianten zur Auswahl vorlegen und auf die technischen und kostenmäßigen Vor- und Nachteile hinweisen. Zudem bestehen aus technischer Sicht ohnehin zumeist mehrere Varianten, um den angestrebten SOLL-Zustand zu erreichen. Die letztendliche Entscheidung darüber, welche Variante umgesetzt wird, obliegt den Bauherren. Es ist jedoch Aufgabe des Planers, die

Bauherren ausreichend zu beraten und so eine umfassende Entscheidungsgrundlage zu schaffen.

Bewährt hat sich eine Unterteilung des Sanierungskonzepts in ein grobes Schema, dass die aus technischer Sicht notwendigen Leistungsbereiche erfasst, ohne dabei konkrete Materialien, Produkte oder Detaillösungen zu benennen sowie eine Aufstellung der dazu wesentlichen Arbeitsschritte.

Das nachfolgende Beispiel zeigt ein mögliches Sanierungskonzept in schematischer Form:

Variante A: Weitgehender Erhalt des vorhandenen Putzes und Einzelrisssanierung

1. Entfernen des hohlliegenden Putzes inkl. des kompletten Sockelputzes und Freilegen der zu sanierenden Rissbereiche;
2. alle konstruktiven Risse im Bereich der Decken- und Treppenauflager sind rissüberbrückend mit einer Trennlage und Putzträger (Verfahren E4 nach WTA Merkblatt 2-4-08) zu verschließen;
3. Ergänzung des Putzes auf den Wandflächen mit einem dem Bestandsputz gleichwertigen Material;
4. Herstellen einer Vertikalabdichtung auf dem Sockelmauerwerk;
5. malermäßige Überarbeitung der Fassaden mit einem geeigneten Anstrich, ggf. mit der Eigenschaft zur Überbrückung von Haarrissen.

Nach der Aufstellung des Sanierungsschemas erfolgt die Beschreibung der einzelnen Leistungsbereiche (hier: Punkt 1 aus Variante A) in Form der wesentlichen Arbeitsschritte.

Arbeitsschritte Instandsetzung Sockelputz auf Dämmung

1. Untergrundprüfung (z. B. Hohlstellen, Haftverbund der Schichten, Abreißfestigkeit);
2. Rückbau des Deck- und Grundputzes inkl. Armierungsgewebe bis auf die Perimeterdämmung;
3. Egalisieren bzw. Ergänzen der Perimeterdämmung;
4. alkalibeständiges Glasfasergewebe (Zugfestigkeit mind. 1500 N/5 cm, Maschenweite 4 × 4 mm bis 8 × 8 mm) zwischen zwei Schichten Armierungsmörtel frisch in frisch einbetten, wobei der Armierungsmörtel mind. 4 mm Dicke aufweisen soll und das Gewebe mittig einzubetten ist;
5. Aufbringen eines wasserabweisenden mineralischen Oberputzes (W2 nach DIN 18195);
6. Auftragen einer malermäßigen Bekleidung der Sockelflächen, z. B. mit einer Silikonharzfarbe.

Ist die Ausarbeitung der technischen Seite des Sanierungsvorhabens, ggf. unter Benennung abweichender Instandsetzungsvarianten, abgeschlossen, wird die Kostenermitt-

lung in Form einer Grobkostenschätzung durchgeführt. Üblicherweise erfolgt die Ermittlung der Grobkosten auf der Grundlage bekannter Baupreiskataloge und in Auswertung vorliegender aktueller Kostenangebote zu vergleichbaren Objekten. Die Aufstellung der Grobkostenschätzung orientiert sich dabei an den zuvor aufgezeigten Arbeitsschritten beziehungsweise an Leistungsgruppen. Eine Grobkostenschätzung nach einzelnen Ausführungsschritten, beispielsweise in der Genauigkeit eines Leistungsverzeichnisses, ist zu diesem Zeitpunkt nicht sinnvoll. Zum einen ist bisher noch keine Entscheidung über die letztendlich auszuführende Instandsetzungsvariante getroffen worden. Zum anderen muss erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, dass Änderungen am Instandsetzungskonzept im weiteren Verlauf der Planungen wahrscheinlich sind.

Mit dem Vorliegen des Sanierungskonzeptes inklusive einer Grobkostenschätzung ist aus technischer Sicht die wesentlichste Entscheidungsgrundlage für die Bauherren erbracht. Sofern nach der Präsentation des Sanierungskonzeptes in seinen Varianten sowie einer ausreichenden Beratung durch den Planer eine favorisierte Instandsetzungsvariante vonseiten der Bauherren benannt wird, beginnt die Phase der Ausführungsplanung. Gegebenenfalls unter der Einbeziehung von speziellen Fachplanern und betroffenen Ämtern sowie unter Berücksichtigung der konkreten baulichen Situation sind dann umsetzbare Detaillösungen zu erarbeiten und genaue Mengenermittlungen durchzuführen. Wesentliche Bestandteile einer Ausführungsplanung für die Instandsetzung von Bestandsfassaden sind beispielsweise Konzepte für die Wiederherstellung beschädigter oder verlorener Stuckelemente und der farblichen Gestaltung. Dazu kommen noch Leistungsbeschreibungen oder Leistungsverzeichnisse sowie Planzeichnungen. Hierbei werden nicht nur die Sanierungsabläufe in Hinblick auf die Materialauswahl, Mengen, Technologien und die zeitliche Abfolge festgelegt, sondern es sind alle Dokumente und Unterlagen auch unter Berücksichtigung der nachfolgenden Phase der Ausschreibung und Vergabe zu erstellen.

1.4 Sanierung von Ziegelfassaden

1.4.1 Ziegelmauerwerk

1.4.1.1 Eigenschaften

Backstein

Backstein ist ein überlieferter Begriff für eine Vielzahl gebrannter Mauersteinarten, wie Klinker (Abb. 1.64), Vormauerziegel, Verblender, Formsteine, Handstrichziegel sowie Voll- und Lochsteine. Allen gemein ist die Grundsubstanz: mineralische Tonerden, die den Steinen, je nach Zusammensetzung und Herstellung, ihr spezielles Aussehen und ihre Eigenschaften verleihen.

Die normgerechte Definition eines Ziegels enthält die DIN 105 „Mauerziegel“. Der Begriff Backstein wird in der DIN 105 nicht verwendet, sondern die Begriffe Ziegel und Klinker zur Definition von Anforderungen und Eigenschaften der unterschiedlichen ge-



Abb. 1.64 Aida-Center Rostock: Direkt am Kai des Stadthafens Rostock zeigt sich das maritime Gebäude in einer gelungenen Verbindung zwischen Backsteinklinkern und modernen Glaselementen. (Quelle: ILS Hamburg)

brannten Ziegelarten. In der DIN 105 sind alle Mauerziegel aufgeführt, sowohl für die Erstellung von Vor- als auch Hintermauerschalen.

Gebrannter Ziegel

Ein gebrannter Ziegel ist ein keramisches Produkt, das durch entsprechende Vorbehandlung, Formung oder Extrusion, z. B. Strangpressverfahren des Rohmaterials und anschließende Trocknung und Brand bei angemessener Temperatur hergestellt wird (Abb. 1.66).

Herstellung und Grundmaterial

- *Tonziegel* werden aus Ton bzw. Lehm hergestellt und anschließend entweder gebrannt oder einfach in der Sonne getrocknet.
- *Kalziumsilikatziegel* werden aus Kalk und Sand gefertigt; die Erhärtung erfolgt in einem Autoklaven (Druckbehälter) oder unter freiem Himmel.
- *Formsteine und Handstrichziegel* gab und gibt es in unterschiedlichen Formen und Abmessungen. Für die Sanierung ist es daher notwendig, anhand erhaltener Steine



Abb. 1.65 Türgewände mit glasierten Formziegeln aus der Zeit nach 1300. Zum Ende des 20. Jh. nachträglich hergestellte Ersatzziegel sind aufgrund ihrer kräftigen Färbung gut zu unterscheiden

diese speziell fertigen zu lassen. In Ziegelmanufakturen werden in kleiner Stückzahl nach Vorlagen und Mustern in Formkästen die gewünschten Ziegelformen hergestellt. Aufgrund der Unterschiedlichkeit alter Ziegelformate müssen sie daher für jedes Sanierungsobjekt neu angefertigt werden. Die sogenannten Grünlinge werden zum Trocknen mindestens acht Wochen gelagert. Danach können die Formziegel glasiert oder mit unterschiedlichen Farben versehen werden.

Tonbeschaffenheit und Steineigenschaften

Backstein besteht aus mineralischen Tonerden. Zur Herstellung werden diese zerkleinert, aufbereitet, zu Rohlingen geformt und nach dem Trocknen bei Temperaturen um 1000 °C gebrannt. Je nach Art des Tonvorkommens gibt es große natürliche Unterschiede in der mineralischen Zusammensetzung und Beschaffenheit des Tons. Tonqualität und Brenntemperatur bestimmen Farbigkeit und Festigkeit des Steins. Bei sehr hohen Temperaturen gebrannte Steine haben eine höhere Festigkeit und erzeugen beim Anschlagen einen harten, hellen Klang.

Ziegeloberfläche

Feldbrandziegel haben durch die Art ihrer Herstellung eine natürliche Rauheit, die heute als rustikal, alt und historisch empfunden wird; insbesondere dann, wenn sie durch die Patina einer jahrhundertelangen Nutzung verändert wurden. Demgegenüber wurden im Klassizismus und Historismus Verblender mit einer perfekten Glattheit der Oberfläche angestrebt (Abb. 1.65). Ziegeloberflächen wurden in der Vergangenheit gestalterisch

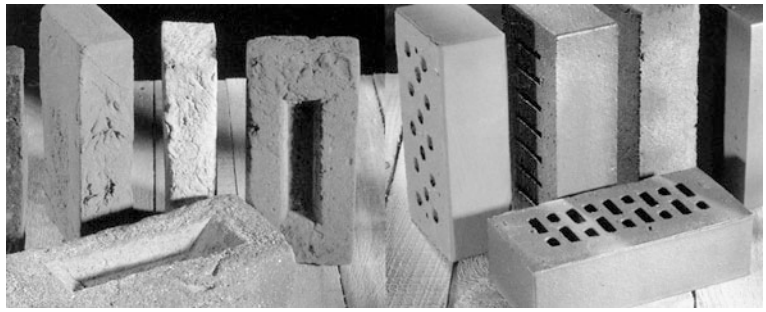


Abb. 1.66 Verschiedene Ziegelvarianten. (Quelle: ILS Hamburg)

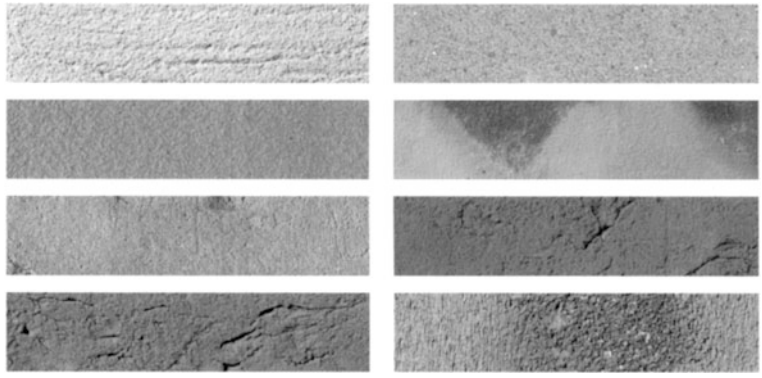


Abb. 1.67 Oberflächenvarianten. (Quelle: ILS Hamburg)

überformt bzw. mit Strukturen versehen. Abwechslungsreiche Oberflächen wurden durch prägende Methoden, z. B. mit dem Eindrücken von einfachen Hilfsmitteln und Model oder durch Glasierungen erreicht sowie später mithilfe von rotierenden Bürsten, genarbten Walzen und Abschälen der Presshaut (Abb. 1.67).

Farbigkeit

Das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks wird bestimmt durch Farbe, Form und Format des Backsteines sowie dessen Vermauerung in unterschiedlichsten Verbänden. Farbnuancen und Schattierungen können durch strukturierte Oberflächen verstärkt werden. Strukturen resultieren aus dem Herstellungsverfahren (manuell oder maschinell) und den unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen, wie z. B. mechanische Profilierung, Besandung, Bedampfung, Flammung, Kohlebrand, Bossierung und Glasur.

Durch die Dosierung des Sauerstoffanteils im Brennraum lassen sich gezielt chemische Vorgänge, vor allem der Eisenoxide im Rohstoff steuern. So ist es möglich in einem oxidierenden (rot) oder reduzierenden (schwarz) Brand die Farbigkeit des Brenngutes zu beeinflussen.

Struktur
Ziegelmauerwerk ist eine Verbunds- oder Materialstruktur aus abwechselnden Ziegel- und Mörtellagen.

Verband Die technische Konstruktion einer Mauer besteht aus wechselnder Ziegellegung in den verschiedenen Lagen. Der Verband hängt von den Ziegelmaßen, der Dicke der Wand, strukturellen Eigenschaften der Wand (tragend oder nicht tragend), geografischem Standort, historischem Zeitabschnitt und ästhetischen Aspekten ab. Die übliche Klassifizierung des Verbandes erfolgt nach dem Muster der Sichtfläche des Mauerwerks. Verschiedene Texturen im gleichen Mauerwerk deuten auf unterschiedliche Bauphasen, verwendete Chargen verschiedener Produzenten oder Reparaturen hin.

Mauerwerk Die für die Praxis wichtigsten Konstruktionen sind das Fachwerk mit Gefachen aus Ziegeln, das einschalige Massivmauerwerk, das zweischalige Mauerwerk als Verblendmauerwerk, das Hohlmauerwerk mit einem dazwischenliegenden Luftraum zur Isolierung oder in jüngerer Zeit das zweischalige Mauerwerk mit zusätzlichen Wärmedämmschichten. Im Fachwerk hat das Ziegelmauerwerk keine tragende Funktion, sondern dient allein der Schließung der Wandfläche. Anders ist es dagegen beim einschaligen Massivmauerwerk, wo der Ziegelverband die gesamte Last tragen muss. Bei zweischaligen Mauerwerken oder solchen mit einer Fassadenbekleidung erfüllt die innere Schale die Tragfähigkeitsanforderung, während die äußere nach ästhetischen Gesichtspunkten gestaltet werden kann.

Mauerverband
Die Vermauerung von Ziegeln erfolgt in einem mehr oder weniger regelmäßigen Muster, im sogenannten Ziegelverband, Mauerverband, Mauerwerksverband oder Gefüge (Abb. 1.68). Ausbildung und Anordnung der Verbände entsprachen in der Vergangenheit immer auch den wirtschaftlichen, ästhetischen und wissenschaftlichen Randbedingungen ihrer Zeit. Entscheidende Kriterien für die Wahl des Verbandes sind die Exposition des Mauerwerks (Sicht- oder Putzfassade), gestalterische Aspekte, die Lastaufnahme und konstruktive Gegebenheiten. Der Verband ist Voraussetzung für die Festigkeit des Mauerwerks und soll die Lasten und Kräfte gleichmäßig verteilen. Die wichtigsten Verbände sind der Läufer-, Binder-, Block- und Kreuzverband. Historisch bedeutsam waren auch der gotische, holländische, märkische oder der sogenannte wilde Verband. Je nach der Art des Verbands und ihrer Lage innerhalb des Verbandes haben die Ziegel unterschiedliche Bezeichnungen. Ziegel in Längsausrichtung zur Wand werden zumeist als Läufer bezeichnet, während orthogonal zur Wandrichtung vermauerte Ziegel Binder genannt werden.

Mörtel
Mörtel ist eine Mischung aus einem oder mehreren anorganischen Bindemitteln, Zuschlagstoffen und Wasser. Zum Teil sind Additive und Zugaben in bestimmten Anteilen

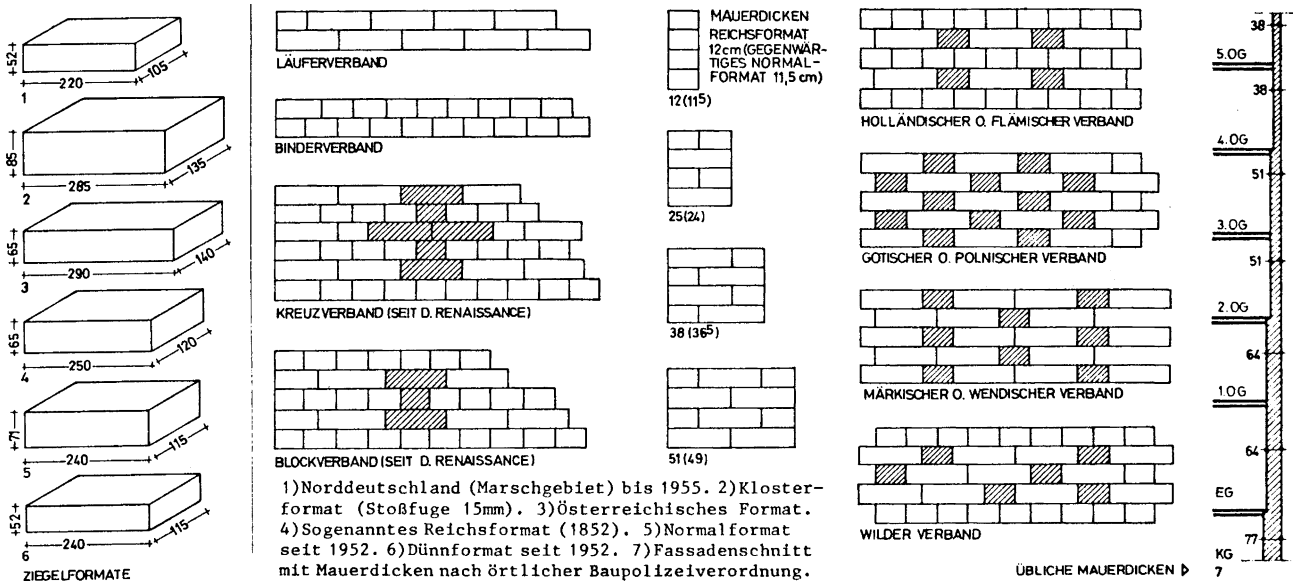


Abb. 1.68 Gegenwärtige und historische Mauerverbände. (Quelle: ILS Hamburg)

enthalten, die für die gewünschte Konsistenz und Verarbeitbarkeit im Frischmörtel und die erforderlichen physikalisch-mechanischen Eigenschaften im erhärteten Zustand sorgen.

Mörtel können anhand ihrer Zusammensetzung oder Funktion eingeteilt werden.

Mörtelarten nach Zusammensetzung (bzw. nach verwendetem Bindemittel)

- gelöschter Kalk,
- Pulverkalk,
- Spachtelkalk,
- Wasserkalk,
- hydraulisches Bindemittel,
- gelöschter Kalk mit natürlichen Puzzolanen (wie Trass),
- gelöschter Kalk mit künstlichen Puzzolanen (wie pulverisierte Ziegel),
- Zement,
- Gips,
- Mischungen aus mehreren Bindemitteln (z. B. Mörtel aus gelöschtem Kalk und Zement, Trass und Zement, Trass und Kalk),
- Sumpfkalkmörtel.

Mörtelarten nach Funktion

- Mauerwerksmörtel (z. B. Vormauermörtel, Hintermauermörtel),
- Verfugungsmörtel,
- Putzmörtel,
- Mörtel für Dekorationszwecke (wie Stuck),
- Spezialmörtel (z. B. wasserabweisender Mörtel, schwindreduzierter Mörtel, Mörtel für Nachverfugung),
- Instandsetzungsmörtel,
- Mörtel für restauratorische Anwendungen (z. B. Hinterfüllmörtel, applizierte Mörtel).

Bis zur Entwicklung von industriell hergestelltem Zement verwendeten die Maurer meist Kalkmörtel zum Vermauern. Diesen Mörtel stellten sie vor Ort auf der Baustelle her und setzten ihn im gesamten Bauwerk ein.

In den vergangenen Jahrhunderten wurden zudem Zusätze wie Glaspulver, Stroh, Kohle, Pferdehaar, Spreu und Häcksel dem Mörtel beigesetzt.

Fugen

Der Mörtel bzw. Speis zwischen den Ziegelsteinen wird in der Ansicht Fuge genannt. Je nach der Lage im Mauerwerk kennt man hierfür unterschiedliche Bezeichnungen. Die Lagerfuge ist die horizontale Fuge zwischen zwei Ziegelscharen, die Stoßfuge hingegen ist die vertikale Fuge. Von einer Wandfuge spricht man, wenn diese parallel zur Mauerfläche

im Querschnitt der Mauer verläuft. Dehnfugen unterbrechen den Mauerverband und sollen Ausdehnungen oder Kontraktionen auffangen, die durch unterschiedliche Materialien oder Setzungen entstehen.

Für die Gestaltung der Fugen im Verblendmauerwerk sind verschiedene Techniken bekannt. So wurden etwa in Abhängigkeit von den gewählten Fugenproportionen, der Maßhaltigkeit der Ziegel oder aus ästhetischen Erwägungen die Fugen zurückgesetzt, ausgerundet oder auswölbend hergestellt. Kehl- oder Keilfugen kamen ebenso zur Anwendung wie Fugenritzungen oder eingefärbte Fugenmörtel. Bekannt ist auch die Technik, Fugen nicht mit der Fugenkelle zu glätten oder zu verstreichen, offenbar um eine Wasserdampfdiffusion nicht zu behindern. Sofern die Standsicherheit des Verblendmauerwerks nicht gefährdet ist, sollten offen gestaltete Fugen bei Instandsetzungen unverändert belassen werden. Die Reinigung der Außenwandflächen sollte möglichst schonend nur mit Bürste und Wasser erfolgen.

1.4.1.2 Traditionelle Ausführungskonstruktionen

Das Vollziegelmauerwerk als Außenwandkonstruktion erfuhr mit dem Aufschwung der Ziegelmanufakturen und der Errichtung konstruktiv ambitionierterer Gebäude eine zunehmende Verbreitung. Wenn Schalenmauerwerk mit einem Kern bzw. einer Verfüllung aus Bruchsteinen, Ziegelresten und Mörtel geringer Festigkeit den Anforderungen an die Schlankheit der Wände und den aufzunehmenden Lasten nicht genügte, wurde vermehrt Vollziegelmauerwerk eingesetzt.

Vollziegelmauerwerk mit keramischer Verblendung

Einen Schritt weiter ging die Technik der außenseitigen Verblendung des tragenden Mauerwerks mit speziellen Ziegeln und plattenartigen Baustoffen aus Stein oder Keramik, um beispielsweise den Feuchteschutz zu verbessern, Mengen und Gewicht zu reduzieren oder um den Spielraum bei der Gestaltung von Fassaden zu vergrößern. Insbesondere Fassadenabschnitte im Sockel- und Erdgeschossbereich wurden mit härter gebrannten Ziegeln oder keramischen Platten bekleidet. Die Befestigung dieser Schalen erfolgte zumeist durch als Binder angeordnete Ziegel in das dahinterliegende Mauerwerk (Abb. 1.69). Eine weitere Befestigungsvariante war das „Einspannen“ der Schale zwischen horizontale und vertikale, auskragende Fassadenbestandteile, wie z. B. Gesimse, Fensterbänke, Lisenen oder Pilaster.

Eine Möglichkeit zur Erhöhung des Wasserdurchgangswiderstandes verblendeter Außenwände ist die innenseitige Anordnung eines Wärmedämmsystems (Abb. 1.70). Zu beachten ist, dass die Dampfsperre durch Installationen der Haustechnik nicht beschädigt wird. Die Leitungssysteme und Einbauten sind daher außerhalb des Dämmsystems anzuordnen oder innerhalb gedichteter Montageelemente zu verlegen.

Als nachteilig erweist sich hierbei, dass nach dem Aufbringen einer Innendämmung das Wärmespeichervermögen der ursprünglichen Wandkonstruktion kaum genutzt wird und dadurch eine Minderung der Wohnfläche eintritt.

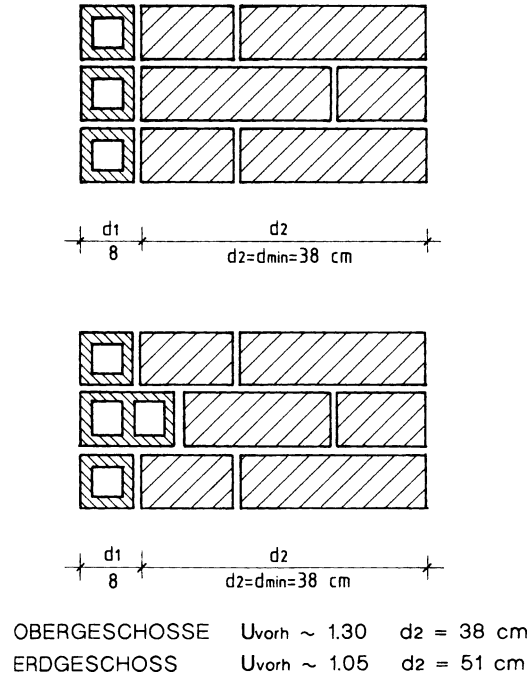


Abb. 1.69 Vollziegelmauerwerk mit Ziegelverblendung. (Quelle: ILS Hamburg)

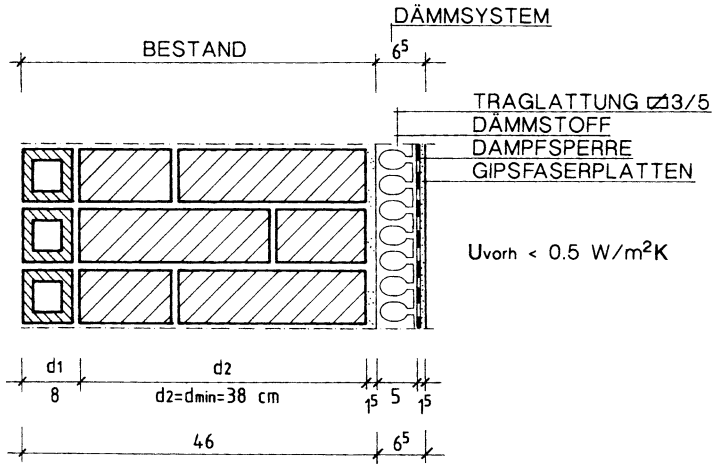


Abb. 1.70 Vollziegelmauerwerk mit Ziegelverblendung und Dämmung an der Innenseite. (Quelle: ILS Hamburg)

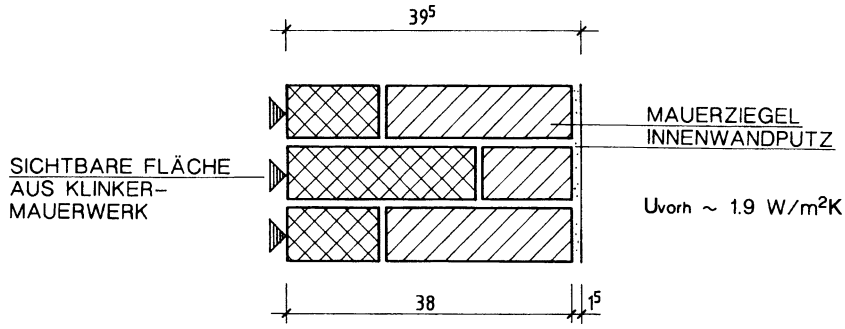


Abb. 1.71 Vollziegelmauerwerk, backsteinsichtig. (Quelle: ILS Hamburg)

Bei Fassaden mit einer plattenartigen Bekleidung besteht ggf. die Möglichkeit, eine nachträgliche Dämmung außenseitig zwischen Mauerwerk und Verblendung anzuordnen.

Vollziegelmauerwerk – Backsteinoptik

Die äußeren Außenwandoberflächen sind oft relativ gut erhalten, sofern die Dachentwässerung funktionstüchtig blieb und aufsteigende Feuchte aus dem erdberührten Mauerwerk keinen signifikanten Einfluss hatte. Häufig sind nur einzelne Ziegel auszuwechseln oder geschädigte Fugen instand zu setzen. Die Fassadenflächen sollten in diesem Fall nur mit Wasser gereinigt werden. Die Erhöhung des Wärmedurchgangswiderstandes kann durch ein Dämmsystem an der Innenseite der Außenwand oder mit einem Dämmsystem an der Außenseite der Außenwand erfolgen (Abb. 1.71).

Wenn die Fassade mit einem vertretbaren technischen Aufwand in ihrer ursprünglichen Erscheinungsform wiederhergestellt werden kann, sollte ein Dämmsystem an der

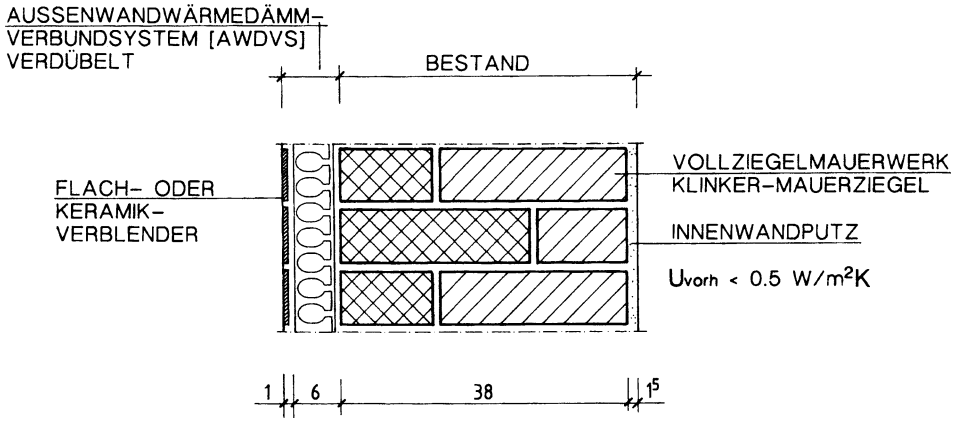


Abb. 1.72 Vollziegelmauerwerk, Außenwanddämmung als Verbundsystem mit Verblender in Backsteinoptik. (Quelle: ILS Hamburg)

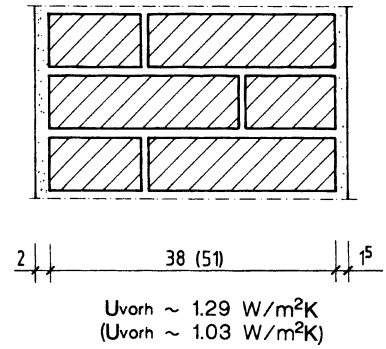


Abb. 1.73 Vollziegelmauerwerk – Außenwandflächen verputzt. (Quelle: ILS Hamburg)

Innenseite der Außenwand angebracht werden. Sind die Zerstörungen an der Außenwandoberfläche erheblich oder ist eine Umgestaltung der Fassadenfläche erwünscht, dann sollte die Dämmung an der Außenseite der Außenwand appliziert werden (Abb. 1.72). Die Wahl zwischen Putzflächen- oder Backsteinoptik stellte keine unlösbare technische Problemstellung dar. Mit der sogenannten Flachverblendung kann fast jede der bekannten Mauerverbandsarten optisch nachgestellt werden.

Vollziegelmauerwerk – Putzgestaltung

An den meisten der zur Sanierung anstehenden Gebäuden ist der Außenputz zerstört oder nicht mehr in dem Zustand, dass er die ihm zugeordnete Funktion, den Durchfeuchtungsschutz, garantieren kann. Im Zusammenhang mit der Erneuerung des Außenputzes ist das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems zu empfehlen (Abb. 1.74), um einen optimalen Wärmeschutz zu erreichen. Die Stärke der Dämmschicht ist entsprechend des erforderlichen Dämmwertes wählbar. Durch die Wärmedämmschicht tritt eine Entkoppelung der Putzfläche vom Mauerwerk ein. Infolgedessen können Spannungsrisse, welche die Ursache von Putzschäden sind, vermieden werden. Spannungsrisse können beispielsweise durch die unterschiedliche Dehnung von Putz und Mauerwerk hervorgerufen werden. Im Anfangsstadium, als sogenannte „Haarrisse“, sind sie wegen ihrer geringen Breite visuell kaum erkennbar. Durch die klimatischen Einflüsse können sich die Rissbreiten vergrößern und zu erheblichen Schäden führen.

Für die Wärmedämmverbundsysteme können Dämmstoffe aus Polystyrol oder Mineralfasern eingesetzt werden, wobei Dämmstoffe aus Mineralfaser den geringsten Diffusionswiderstand aufweisen und nicht brennbar sind. Durch das an der Außenwand angebrachte Wärmedämmverbundsystem wird das Wärmespeichervermögen der Wand wirksam und trägt dadurch zur Optimierung der Wärmebilanz bei.

Zur Gestaltung von Außenwandflächen wurden insbesondere bei Wohngebäuden, die um 1900 errichtet wurden, Fertigteile aus Betonwerkstein oder Naturstein verwendet (Abb. 1.75).

Diese Elemente sind in den meisten Fällen in einem erhaltungswürdigen Zustand und sollten bei einer Sanierung der Fassade bewahrt bleiben. Der Außenwandputz ist erfah-

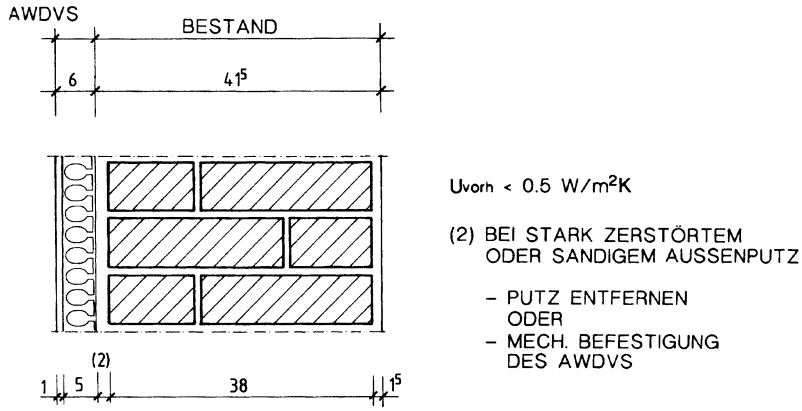


Abb. 1.74 Vollziegelmauerwerk mit Außenwanddämmung und Verputz. (Quelle: ILS Hamburg)

rungsgemäß zerstört und muss deshalb erneuert werden. Alternativ zur Wiederherstellung des traditionellen Putzes kann durch das Aufbringen eines Wärmedämmputzes eine Verbesserung des Wärmeschutzes erreicht werden (Abb. 1.73).

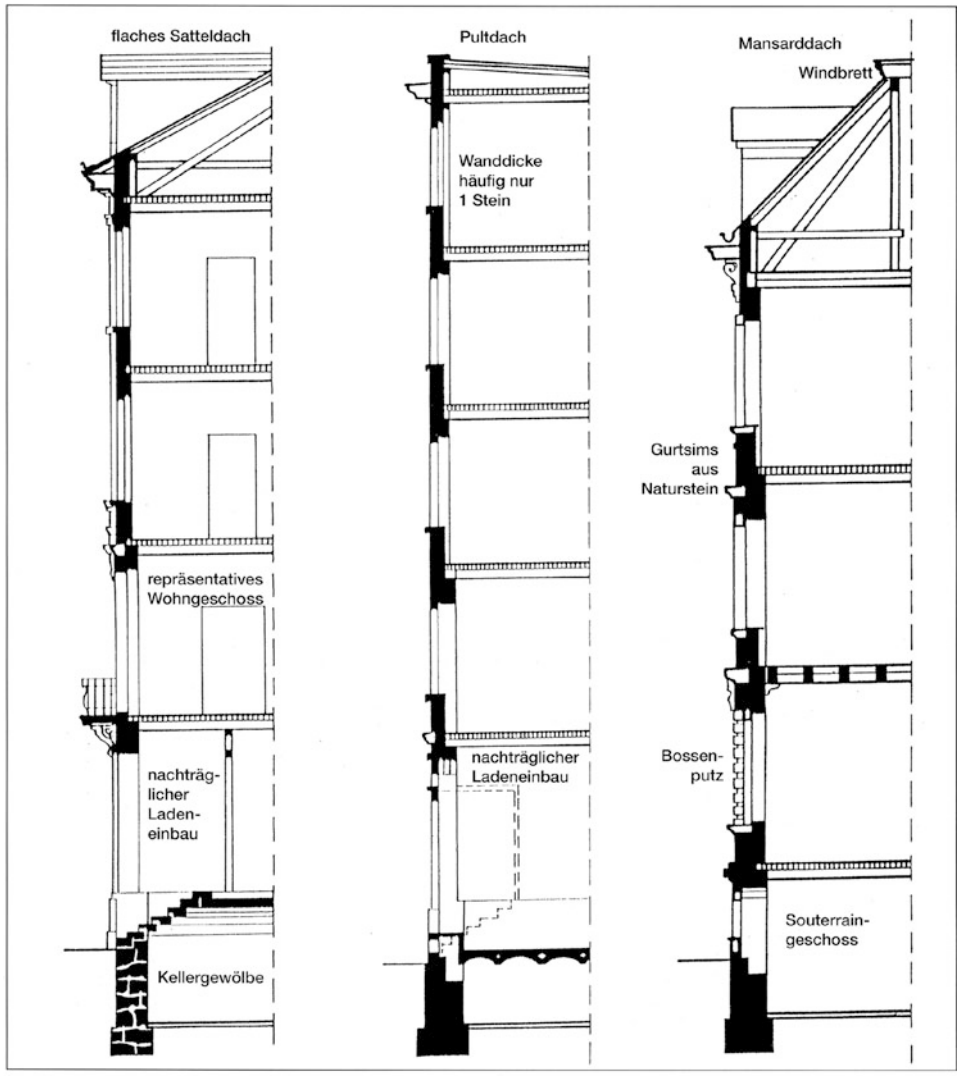
Ziegelmauerwerk mit Luftschicht

Ziegelmauerwerke mit Luftschicht sind zweischalige Wände aus Mauerziegeln und einer mittig zwischen den Mauerwerksschalen angeordneten Luftschicht (Abb. 1.76). Diese Konstruktionsweise wurde um 1900 praktiziert wenngleich auch nicht sehr häufig. Die eingebaute Luftschicht sollte wesentlich zur Verbesserung des Wärmeschutzes und des Schallschutzes beitragen. Aus Gründen der Erhöhung des Schallschutzes wurde beispielsweise zusätzlich getrocknetes und gereinigtes Seegras in den Hohlraum eingebracht. Die handwerkliche Ausführung erforderte besondere Fähigkeiten, damit die vorgesehenen Luftschichten nicht durch Mörtel- oder Steinreste teilweise ausgefüllt wurden. In der Praxis hat sich diese Konstruktionsweise aber nicht in dem Umfang wie Vollziegelmauerwerk durchgesetzt.

Eine Erhöhung des Wärmedurchgangswiderstands durch das Auffüllen der Hohlräume hat sich als nicht praktikabel erwiesen. Bei der Bemessung eines nachträglichen Dämmsystems (Abb. 1.77) können der Luftraum und die innen liegende Mauerwerkschale unberücksichtigt bleiben.

1.4.1.3 Weitere Materialien

Eine Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften von Mauerwerk wurde durch geänderte Formgebung (z. B. Hoch- und Langlochziegel) oder die Auswahl von geeigneteren Materialien (wie Porenbeton, Leichtzuschlagstoffen) erreicht.



Schnitt durch eine frühe Gründerzeitfassade vor 1870 mit flachem Satteldach
Kellermauerwerk aus Bruchstein – darüber massives geputztes Mauerwerk mit Sandsteinelementen und Stuckdekor. Mauerwerk im Dachbereich oft nur einen Mauerstein stark.

Schnitt durch eine einfache Gründerzeitfassade nach 1870 mit Pultdach
Mauerwerkfassade mit einfachem Putz- und Sandsteindekor. Oft zu geringe Mauerstärken in oberen Geschossen. Häufig Schwächung der Konstruktion bei späteren Ladeneinbauten.

Schnitt durch eine aufwendige Gründerzeitfassade nach 1870 mit Mansarddach
Verbesserte Stabilität und Dämmung der Außenwand. Aufwendigere Putzgliederungen im Erdgeschossbereich, später Verblendungen mit Klinkern bzw. Naturstein im Obergeschossbereich.

Abb. 1.75 Schnittdarstellung der Außenwand eines Wohngebäudes um 1870, die starke Gliederung der Fassade ist gut erkennbar. (Quelle: ILS Hamburg)

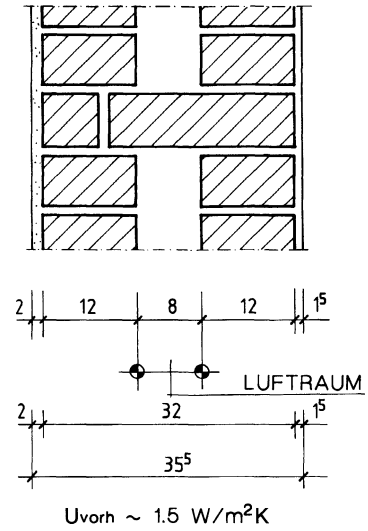


Abb. 1.76 Hohlmauerwerk, Außenflächen verputzt. (Quelle: ILS Hamburg)

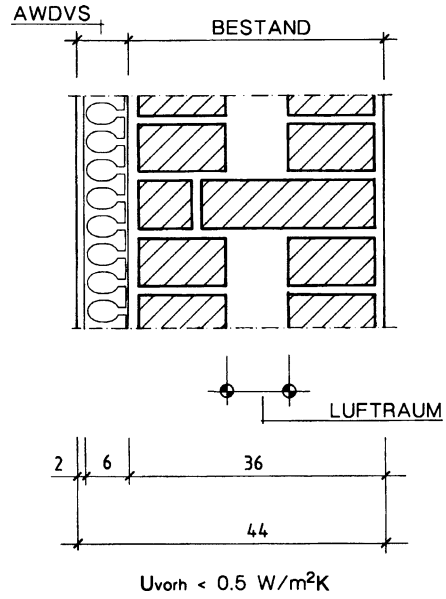


Abb. 1.77 Hohlmauerwerk mit Außenwanddämmverbundsystem. (Quelle: ILS Hamburg)

Leichtziegel Dem Ton werden Polystyrolschaumkugeln oder Sägespäne zugesetzt; die Masse wird geformt, getrocknet und gebrannt. Die dabei ausgebrannten Hohlräume bilden Luftporen, deren Anzahl die Rohdichte und Wärmeleitzahl beeinflussen.

Auf dem Markt sind auch Fertigteilstürze, U- und L-Steine erhältlich.

Porenbetonsteine Aus einer Mischung von gemahlenem Sand, Kalk, Zement, einem Porenbildner (z. B. Aluminiumpulver) und Wasser wird der Stein geformt und dampf-

gehärtet. Die Blocksteine haben eine fischgrätenartig aufgerauhte Oberfläche, dagegen weisen Planblöcke und Platten eine glatte Oberfläche auf. Durch Dosierung des Treibmittels werden Rohdichte und Wärmeleitzahl gesteuert.

Fertigteilstürze oder Sonderformate werden auch aus Porenbeton hergestellt.

Leichtbetonsteine Ausgangsmaterial sind verschiedene Leichtzuschläge wie Naturbims, Blähglimmer, Hüttenbims, Blähton, Ziegelsplitt oder Holzspäne. Als Bindemittel wird Zement verwendet. Wegen der Anfangsschwindung dürfen zur Mauerung nur ausreichend abgelagerte Steine verwendet werden. Gemauert wird grundsätzlich mit Leichtmörtel.

Mit diesem Verfahren werden auch U- und L-Steine aus Leichtbeton hergestellt.

Kalksandsteine Ausgangsmaterial sind gemahlener Sand, Kalk und Zement. Der geformte Stein wird dampfgehärtet. Durch die hohe Dichte der Mauersteine weisen Kalksandsteine ein sehr gutes Schalldämmmaß auf. Bedingt durch die hohe Wärmeleitfähigkeit wird Außenmauerwerk aus Kalksandstein stets durch eine Wärmedämmschicht ergänzt.

Mit diesem Herstellungsverfahren werden auch U-Steine bereitgestellt.

Leichtbetonelemente Ausgangsmaterialien sind vorwiegend Blähton und Bims. Hergestellt werden bewehrte, raumhohe Elemente bzw. Platten. Um einen hinreichend hohen Wärmeschutz zu erreichen, sind Elemente geringer Wärmeleitfähigkeit und großer Wanddicke für den Mauerbau zu verwenden.

1.4.2 Typische Schadensbilder am Ziegelmauerwerk

1.4.2.1 Schadenstypen

Beim Mauerwerk kann man die Schadenstypen in sechs Hauptschadensbereiche unterteilen, abhängig davon, wo und auf welche Art sich die Materialveränderungen bemerkbar machen:

- Oberflächenveränderungen,
- Zerfall des Baumaterials,
- Risse und/oder Brüche,
- Verformungen,
- mechanischer Schaden,
- biologischer Bewuchs.

1.4.2.2 Oberflächenveränderung

Nach ihrer Herkunft treten bei der Oberflächenveränderung drei Erscheinungsformen auf:

- Verfärbung,
- Ablagerung,
- Umwandlung.

Verfärbung

Eine Verfärbung ist jede von der Originalfarbe oder von der gewünschten Farbe abweichende Veränderung. Je nach dem auftretenden Farbeffekt im Hinblick auf den Originalton können Ausbleichen, Flecken oder auch Nachdunkeln zu beobachten sein. Die Ursachen für diese Phänomene können im Material selbst liegen (Zusammensetzung von Ziegeln und Mörtel, Salzgehalt, Tontyp), aber auch in der Ausführung des Mauerwerks (Isolationsmaterialien), im Klima allgemein (Sonneneinstrahlung), in der Nutzung (chemisch aggressive Produkte), im Baugrund anfallenden Wassers (Salze), im Niederschlag (saurer Regen) oder im biologischen Bewuchs.

Ausbleichen Vom Ausbleichen spricht man bei der Verminderung der Farbintensivität oder -leuchtkraft infolge von Pigmentumwandlung oder -verlust. Das Phänomen tritt gewöhnlich bei Materialen auf, die mit den Ziegeln in Kontakt stehen, wie beispielsweise die Farbbeschichtung. Anfällig sind auch eingefärbte Putze bei denen das Pigment eine unzureichende Witterungsbeständigkeit aufweist oder nicht vollständig in das Putzmaterial eingebunden ist (Abb. 1.78).

Mögliche Ursachen: Sonneneinstrahlung, chemischer Angriff (Wasser, Farbe und Behandlung, Kruste, Verkrustung).



Abb. 1.78 Ausbleichen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.79 Flecken. (Quelle: ILS Hamburg)

Flecken Flecken können in Größe und Intensität einerseits als großflächige optische Beeinträchtigungen auftreten, andererseits jedoch visuell kaum wahrnehmbar sein.

Mögliche Ursachen: Eisen, Vanadium, Mangan, Phenolharz (auch Mineralwolle), Ausbluten von Holz, von wachsenden Pflanzen freigesetzte Stoffe, chemischer/biologischer Angriff durch Wasser und darin enthaltene Säuren, Kondensation, Verschmutzungen; falsche Arbeitsmethoden und Ausführung. Kondensation oder aufsteigende Feuchte können ein weiterer Grund sein (Abb. 1.79).

Materialanlagerung und -ablagerung

Unterschieden werden Krusten, Ausblühungen, Bewuchs und andere Ablagerungen (Farbe, auch Graffiti).

Eine Ablagerung besteht aus angesammeltem oder ausgefälltem Material auf der Fassadenoberfläche und ist gewöhnlich von anderer Art als das unterliegende Material. Es kann nach dem Ursprung des abgelagerten Materials unterschieden werden. Eine exogene Ablagerung stammt nicht aus dem Baumaterial, sondern beispielsweise aus der Luft (Staub, Schmutz). Bei einer endogenen Ablagerung stammt das Material aus dem Baumaterial (Ausblühungen) (Abb. 1.80).

Verschmutzung Eine Verschmutzung ist an Flächen anzutreffen, die nicht vom Regen abgewaschen werden. Sie entstehen durch Ablagerung von fremdem Material auf der Oberfläche. Es kann sich um Schmutzablagerungen (z. B. getrocknete Algen, Ruß) oder Produkte des physikalischen oder chemischen Zerfalls des Ziegelverbunds handeln (Abb. 1.81).

Graffiti Bei Graffiti handelt es sich aus technischer Sicht um eine exogene Anlagerung von Farbe, Tinte oder dergleichen auf der Baustoffoberfläche. Die Anlagerung erfolgt jedoch nicht nur auf der Oberfläche, sondern mit dem enthaltenen Lösemittel werden Festbestandteile (Pigmente, Zusatzstoffe), insbesondere bei porösen Untergründen, in den Baustoff transportiert. Die Eindringtiefe hängt dabei wesentlich von den Eigenschaften



Abb. 1.80 Ablagerung



Abb. 1.81 Verschmutzung

des Materials ab. Als problematisch erweist sich auch die Graffitientfernung auf augenscheinlich glatten Flächen. Für die Anhaftung des Graffitis ist die spezifische (makroskopische) Oberfläche des jeweiligen Materials relevant (Abb. 1.82).

Verkrustung Auf Mauerwerken lagern sich häufig im Laufe der Jahre Schmutzschichten aus Staub an, die zu einer Krustenbildung führen können. Die zunächst nur unschönen



Abb. 1.82 Graffiti

Verfärbungen können eine chemische Verbindung mit den Mauersteinen und dem Verputz eingehen. Solche Verschmutzungen können infolgedessen sehr hartnäckig an der Fassade haften.

Ursächlich ist häufig die Kristallisation eines mehr oder weniger löslichen Salzes (Kalzit, Gips) auf der Wandoberfläche. Als Quelle dienen Auslösungen dieses Salzes aus dem Bindemittel des Mörtels (Kalk). Eine chemische Umwandlung des verwendeten Werkstoffes oder mikrobiologische Aktivitäten können ebenfalls Verkrustungen verursachen (Abb. 1.83).

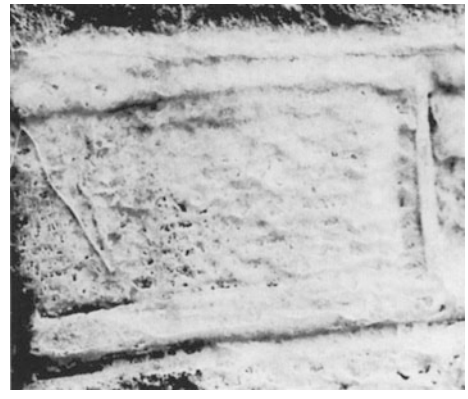


Abb. 1.83 Verkrustung. (Quelle: ILS Hamburg)

Abb. 1.84 Ausblühungen



Ausblühungen Ausblühungen (kristalline Salze auf oder im Stein und/oder dem Mörtel) entstehen durch Kapillartransport und Trocknung. Wenn beispielsweise eine Salzlösung durch Kapillartransport an die Oberfläche eines porösen Baustoffes gelangt, verdunstet das Wasser und das Salz wird nach der Kristallisation als weißer Schleier sichtbar. Ausblühungen sind häufig ein Hinweis auf im Material verborgene Salzkristallisation (Kryptoeffloreszenz), welche zum Abmehlen, Blasenwerfen oder Abblättern oberflächennaher Schichten führen kann.

Ausblühungen entstehen beispielsweise durch witterungsbedingte Durchfeuchtung des Mauerwerks, Feuchtetransporte infolge mangelhafter oder fehlender Bauwerksabdichtungen, Schäden an den Abdeckungen oder durch die Aufnahme der Feuchtigkeit aus Mörtel und Beton. Das Ziegelmauerwerk selbst bewirkt Ausblühungen nur bei Verunreinigungen des Rohstoffes. Lose Ausblühungen müssen vor dem Putzen abgebürstet werden. Dabei sollten keine Metallbürsten, sondern schonende Naturborsten verwendet werden (Abb. 1.84).

Umwandlung

Unter Umwandlung versteht man die chemische Veränderung des Oberflächenmaterials in Form einer Patina oder Kruste (Abb. 1.85). Patina kann als Schutzschicht der unterliegen-

Abb. 1.85 Patina. (Quelle: ILS Hamburg)



den Schicht verstanden werden. Sie hat eine dichte Struktur und kann wasserabweisend wirken. Feuchte Oberflächen und Festigkeitsunterschiede der Materialien vermindern die Haftung der Kruste am Untergrund bzw. führen zu Abplatzungen.

Auslöser für Umwandlungsprozesse können die Ablagerung von reaktiven Substanzen, Salzkristallisation oder mikrobiologische Aktivität sein.

1.4.2.3 Zerfall des Baumaterials

Der Zerfall von Baumaterialien kann in drei Erscheinungsbilder unterteilt werden, von denen zwei das Material selbst (Schichtenbildung, Kohäsionsverlust) betreffen und eines den Verbund (Adhäsion) zwischen zwei verschiedenen Materialien bzw. zwei Schichten aus dem gleichen Material.

Schichtenbildung

Die Schichtenbildung beschreibt das Ablösen von einer oder mehreren Schichten oder Lagen oberflächennahen Materials eines Werkstoffes. Dieses Versagen kann als Abtrennung oder Adhäsionsverlust zwischen Lagen charakterisiert werden (Abb. 1.86).

Mögliche Ursachen: Frost, Salzkristallisation in oder unter der Oberflächenschicht, Auslaugung, Schwächezonen, chemische oder physikalische Verwitterung oder Wärme.

Abplatzen Abplatzungen können durch Frost, verschiedene Arten der Salzkristallisation (Beispiele: in oder unter der Oberfläche, Salz und Wasser aus dem Ziegel (Ton) selber, Salze aus Mörtel und Wasser, Salze aus dem Boden durch aufsteigende Feuchte, Salze aus Dachmaterialien oder Wasserinfiltration), Feuer und Löschwasser, bedingt sein (Abb. 1.87). Als weitere Ursachen sind Auslaugungen von Kalk aus Ziegeln, Kalkstein und Sandstein vornehmlich an exponiert gelegenen Bauteilen wie beispielsweise Gesimsbändern oder Verdachungen auszumachen. Auch kann eine Akkumulation von Salzen wie Kalzit und Gips, die die Ziegelporen füllen, ursächlich sein. Begünstigend auf den Schadensverlauf wirken Bewegungen in der Bauwerkstruktur.



Abb. 1.86 Schichtenbildung



Abb. 1.87 Abplatzen nach Wassersättigung und Frosteinwirkung



Abb. 1.88 Abblättern

Abblättern Salzkristallisation in oder unter der Materialoberfläche und sehr selten Frosteinwirkungen führen zum Abblättern (Abb. 1.88). Im Allgemeinen ist das Abblättern von Glasuren und Engoben dagegen auf Frost zurückzuführen. Der Materialverlust ist dünnschichtiger als bei Abplatzungen.

Kohäsionsverlust

Den Verlust des Zusammenhalts innerhalb des Materials bezeichnet man als Kohäsionsverlust.

Blasenbildung Verursacht werden Blasenbildungen häufig durch Salzkristallisation in und unter der Oberfläche, chemische Ausdehnung, Quellreaktionen der Oberflächenschicht, Brandeinwirkung oder auch durch nachträglich aufgebrachtes Material (Abb. 1.89).



Abb. 1.89 Blasenbildung.
(Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.90 Zerbröckeln.
(Quelle: ILS Hamburg)

Zerbröckeln Schlechter Brand (möglicherweise auch in Verbindung mit Salzkristallisation) bzw. mangelnde Sorgfalt bei der Herstellung der Ziegel (der Ton wurde nicht als ein konsistenter Klumpen in die Form gepresst, sondern besteht aus vielen kleinen Klumpen, die nach dem Brand nur lose aneinanderhaften), aber auch Frost können zum Zerbröckeln des Materials führen (Abb. 1.90).

Pulverisierung Schadensauslösende Voraussetzung kann Schwachbrand der Ziegel sein. Die mit dem Brennvorgang beabsichtigte Strukturveränderung (Festigkeitsentwicklung) ist dabei unzureichend erfolgt, z. B. aufgrund einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung in der Brennkammer. Diese Problematik ist fast ausschließlich bei Ziegeln aus Feldbrandöfen und vorindustrieller Herstellung bekannt, moderne Anlagen der Ziegelproduktion gewährleisten einen gleichmäßigen Brand.

Eine weitere Schadensursache ist die Salzkristallisation. Die Salze können aus dem Ton selbst, dem Mörtel, der Erde oder von den Dachmaterialien stammen. Sie reagieren mit dem Wasser, das durch aufsteigende Feuchte oder Infiltration eingedrungen ist. Einwirkende Lasten (Druck und Kompression), z. B. durch Setzung des Baugrundes, Lastkonzentrationen oder eine fehlende Stützung aufgrund von verfaultem Holz beschleunigen den Schadensverlauf, können aber auch Hauptursache der Pulverisierung sein (Abb. 1.91).



Abb. 1.91 Pulverisierung. (Quelle: ILS Hamburg)

Abmehlen Das Abmehlen bei Anstrichen ist überwiegend auf einen Verlust des Bindemittels zurückzuführen. Als Ursachen für den Verlust (Lösung) des Bindemittels kommen Verwitterung oder andere zerstörerische Umgebungsfaktoren in Betracht. Negative Umgebungsfaktoren können z. B. aus der Nutzung des Gebäudes (Feuchteanfall) oder Kontaminierungen durch Schornsteine und Öfen resultieren. Ferner kann die Zerstörung der Bindungen auf eine Salzkristallisation zurück zu führen sein. Die Salzbildner entstammen dem Ton selbst, dem Mörtel, der Erde oder den Dachmaterialien. Sie reagieren mit Wasser, das durch aufsteigende Feuchte oder Infiltration eingedrungen ist. Es gibt allerdings auch Anstrichstoffe, die abmehlen, um sich sauber zu halten. Bei Ziegeln ist das Abmehlen zumeist einem Schwachbrand geschuldet (Abb. 1.92).

Erosion Erosion an Bauteiloberflächen entsteht durch reibende Bewegungen von Gas (Luft), Flüssigkeit (Wasser), Festkörper (Eis, durch Wind transportierter Sand), pflanzlichen Bewuchs oder tägliche Nutzung (Materialtransporte entlang von Wänden). Im Fall von einwirkenden Wasser können gleichzeitig Lösungsvorgänge auftreten. Bekannte



Abb. 1.92 Abmehlen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.93 Erosion

Schadensbilder sind ein allmählicher Verlust des Anstrichs oder von Ziegeloberflächen in Form von Abmehlen oder mechanischem Abtrag. Bei langfristiger Einwirkung auf weich gebrannte Ziegel sind mitunter Schadenstiefen von mehreren Zentimetern feststellbar (Abb. 1.93).

Haftungsverlust

Unter Haftungsverlust versteht man das Ablösen eines Materials von einem anderen. Entsprechend den betroffenen Materialien und dem Erscheinungsbild des Schadens werden drei verschiedene Arten des Haftungsverlustes unterschieden. Abpellen und Blasenbildung betreffen beide eine relativ dünne Oberflächenschicht des Putzes oder der Beschichtung, wohingegen Ablösung zwischen Mörtel und Ziegel beziehungsweise Putz und Mauerwerk stattfinden kann.



Abb. 1.94 Abpellen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.95 Ablösen. (Quelle: ILS Hamburg)

Abpellen Gründe für ein Abpellen aufliegender Schichten können eine unzureichende Haftung, Frost, Kryptoefflureszenz, Algenwachstum zwischen Beschichtung und Untergrund oder perkolierendes Wasser (beispielsweise durch aufsteigende Feuchte oder eine defekte Dachrinne) sein (Abb. 1.94).

Ablösung Der Fugenmörtel kann durch dahinter wachsende Eislinsen oder durch Volumenausdehnung des Mauermörtels als Folge von Frost oder Salzausdehnung herausgedrückt werden (Abb. 1.95).

1.4.2.4 Risse und Brüche

Risse treten stets dann auf, wenn die vorhandenen Festigkeiten, vornehmlich die Zugfestigkeit des Materials, der Belastung durch innere Kräfte nicht mehr standhalten kann. Innere Kräfte entstehen durch von außen aufgebrachte Lasten, Eigenlasten sowie durch thermische und mechanische Beanspruchungen. Als Ursache können auch chemische Reaktionen infrage kommen.

Das Material möchte der Belastung durch Bewegung (Verformung) ausweichen. Ist diese Bewegung nicht möglich, entsteht eine Behinderung und die Belastungen bauen im Material Zwängungsspannungen auf. Mit zunehmender Behinderung übersteigen die sich im Material aufbauenden Spannungen die Eigenfestigkeiten des Materials. Als Folge kommt es zu Rissbildungen, welche als Oberflächenrisse oder als Trennrisse sichtbar werden.

Haarriss

Einzelner, zumeist oberflächennaher Riss mit einer Weite von weniger als 0,15 mm.

Mögliche Ursachen: Oberflächenrisse bei Anstrichen, Trockenschwindung bei Mörtel.

Netzrisse

Netzrisse sind netz- bzw. krakeleeartig auftretende Rissbildungen, deren Risstiefe die gesamte Putzschicht erfassen können (Abb. 1.96).



Abb. 1.96 Netzrisse an der Ziegeloberfläche. (Quelle: ILS Hamburg)

Mögliche Ursachen: thermische Beanspruchung, Alterung der Beschichtung, Frost, Trockenschwindung des Putzes.

Sternriss
Mögliche Ursachen: Materialausdehnung in oder unter der Oberfläche im Zentrum der sternförmigen Rissstruktur, punktuelle mechanische Einwirkung von außen.

Spaltung
Mögliche Ursachen: unterschiedliche Setzung des Fundamentes, wiederholt thermische Ausdehnung und Kontraktion, Einschläge, Bodenveränderungen.

1.4.2.5 Verformungen

Wölbung
Mögliche Ursachen: Die äußere Schale einer Hohlmauer kann sich durch Frost (Ausdehnung durch Eisbildung im Mauermörtel), Feuchte (Ausdehnung durch Wasseraufnahme) wölben. Materialreaktionen: Wölbung infolge von Korrosion metallischer Einbauteile; Treibreaktionen am Kontakt von Zement- zu Gipsmörtel; unterschiedliche Setzung des Fundamentes; Feuer; mangelnde horizontale oder vertikale Einspannung (Abb. 1.97).

Durchbiegung
Mögliche Ursachen: zu starke Belastung; Hitze; Lösung des Mörtels; Salze.

Verdrehung
Mögliche Ursachen: Lastbeanspruchung; Fugenauswaschung; Setzung des Fundamentes.



Abb. 1.97 Putzaufwölbung an einer Fensterlaibung

Volumenvergrößerung

Mögliche Ursachen: Feuchteadsorption durch Wasserdampf oder flüssiges Wasser, im Material enthaltene Quellsalze oder Tonminerale, Alkali-Silikat-Reaktion, korrosive Prozesse an metallischen Bauteilen (Abb. 1.98).



Abb. 1.98 Durch korrosive Prozesse am Stahlträger (Volumenvergrößerung) verursachte Abplatzungen sowie Auswölbung des umgebenden Mauerwerks

Volumenverringerung/Schwindriss

Mögliche Ursachen: Trocknungszeiten wurden nicht ausreichend eingehalten, zu hoher Wasseranteil im Material bei der Herstellung, Feuchteüberschuss im Untergrund vor dem Putzauftrag, Nichtbeachten des Frühschwindens bei zementös gebundenen Baustoffen (Abb. 1.99).

Neigung

Mögliche Ursachen: Für gewöhnlich sind Neigungen von Bauteilen oder Bauwerken auf Setzungen des Untergrundes zurückzuführen. Manchmal ist es aber auch beabsichtigt, beispielsweise um eine gezielte Wasserführung zu erreichen (Abb. 1.100).



Abb. 1.99 Schwindrisse infolge Frühschwindens der Steine



Abb. 1.100 Neigung. (Quelle: ILS Hamburg)

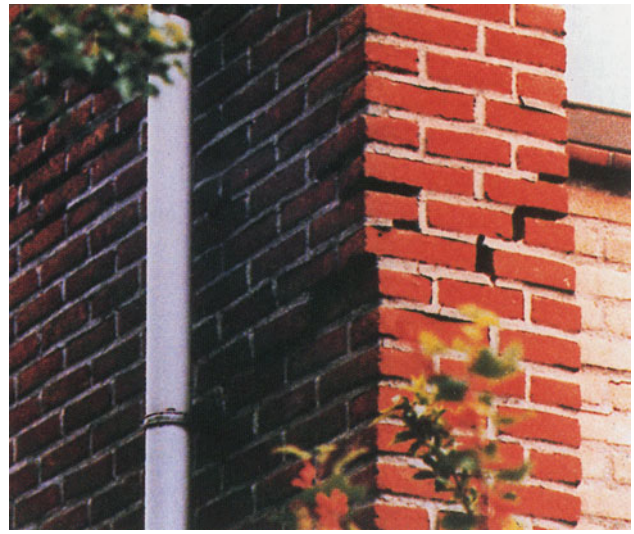


Abb. 1.101 Versatz. (Quelle: ILS Hamburg)

Versatz
Mögliche Ursachen: Wachstum von Eislinsen oder Treibreaktionen des Mauermörtels durch Frost, Bildung von Treibsalzen (Abb. 1.101).

1.4.2.6 Mechanische Schäden

Mechanische Schäden entstehen:

- durch statische Probleme, wie beispielsweise unterschiedliche Setzung des Baugrundes, Baugrundbewegungen, Veränderung der Bodenbeschaffenheit oder des Wasserspiegels sowie Langzeitbelastung durch äußere und innere Einwirkungen,
- aufgrund physikalischer Ursachen wie wiederholter thermischer Ausdehnung und Kontraktion, Vibrationen, feuchtebedingter Dilatation von Ziegeln und Steinen,
- durch Anwendung eines Werkzeuges (Stoß, Kratzer, Schnitt).

Mechanische Beschädigungen
Mögliche Ursachen: kurzzeitige (Nutzung, Verkehr) oder langfristige (Begrünung, Wartung, Reinigung) dynamische Einwirkungen, nachträglich eingebrachte Installationen (Abb. 1.102).

Kratzer
Mögliche Ursachen: Einwirkung eines spitzen oder scharfen Gegenstandes aus einem härterem Material als die Baustoffoberfläche (mohssche Härteskala) (Abb. 1.103).



Abb. 1.102 Ziegelschäden infolge nachträglicher Einbauten



Abb. 1.103 Kratzer. (Quelle: ILS Hamburg)

1.4.2.7 Biologischer Bewuchs

Unter biologischem oder biogenem Bewuchs versteht man die innere oder äußere Besiedlung von Materialen mit (Mikro-)Organismen. Der Bewuchs kann Ansiedlungen oder Filme bilden und in Ritzen, Risse, Spalten und Poren eindringen oder sich seinen eigenen Weg durch das Material suchen und damit neue Öffnungen schaffen. Die häufigsten biogenen Siedler sind beispielsweise Farne, Moose, Algen, (Schimmel-)Pilze, Hefen und Bakterien.

Biologischer Bewuchs ist in vielen Fällen ein Anzeichen für Feuchtigkeit in der Struktur der Außenwand der jedoch nicht zwangsläufig zu Schäden in der Wand führt. Dennoch besteht ein latentes Risiko für Schäden, die verursacht werden können durch:

- Wurzeln (z. B. Risse),
- Pflanzenkörper (z. B. Risse durch Trocknung des Moospelzes),
- Umwandlungsprodukte (z. B. Lösung des kalzitischen Bindemittels des Mörtels).

Zur Vermeidung von Algen und Pilzen an Fassaden ist unbedingt von Beginn an der Feuchteschutz in die Planung mit einzubeziehen. Grundsätzlich gilt, dass an trockenen Untergründen Mikroorganismen nicht gedeihen können. Von planerischer Seite sind da-

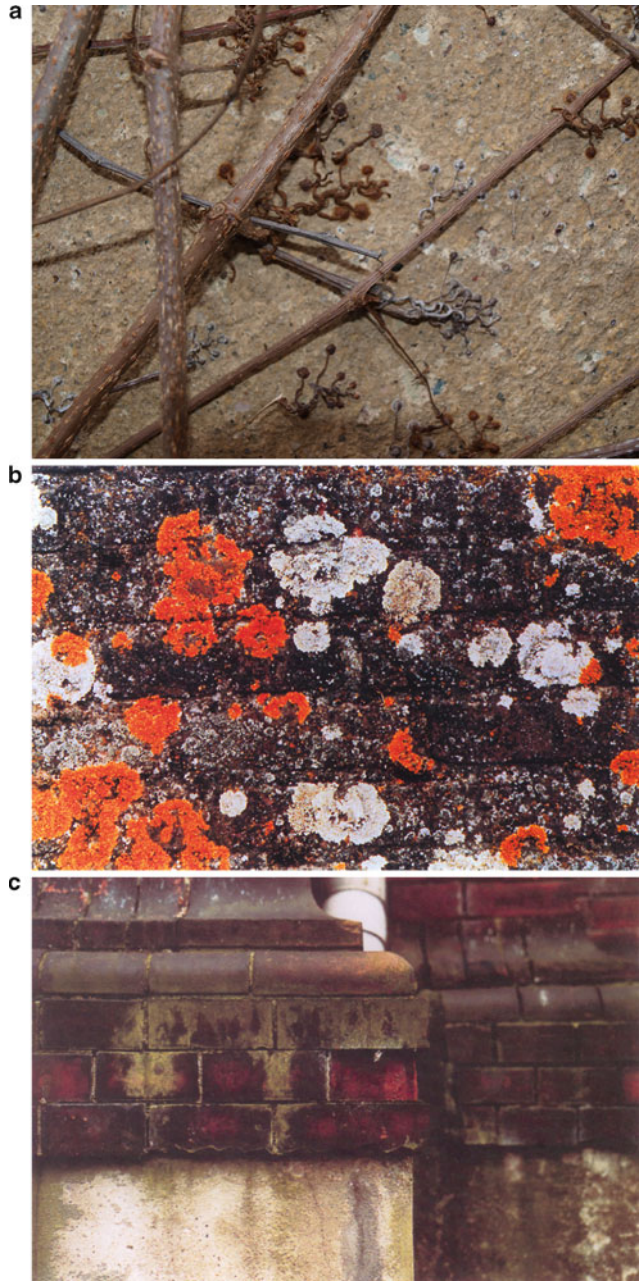


Abb. 1.104 **a** Rankender Bewuchs auf einer Putzfassade, **b** Flechten (Quelle: ILS Hamburg), **c** Grünlicher Algenbewuchs. (Quelle: ILS Hamburg)

her die Haus- und Dachausrichtung unter dem Gesichtspunkt der Feuchtigkeitseinwirkung zu betrachten. Ein angemessener Dachüberstand und eine gründlich ausgeführte Wasserabführung an Fensterbänken und Abdeckungen können viele Schäden verhindern. Eine starke Verschattung beeinträchtigt das Abtrocknen von Fassadenoberflächen und verstärkt den Befall deutlich. Insbesondere nahestehende Bäume bewirken durch den Abwurf von Sporen eine Beanspruchung der Fassadenoberfläche, die zu einem späteren Befall führen kann.

1.4.3 Schäden nach Konstruktionsarten

1.4.3.1 Schäden an Ziegelmauerwerk

Infolge der Stabilität der keramischen Bindung und durch ihre geringe Reaktionsfähigkeit haben Ziegel, wie keramische Baustoffe im Allgemeinen, eine gute Beständigkeit gegenüber vielen aggressiven Stoffen. Allerdings können Schäden an Ziegeln bereits vor ihrem Einsatz am Bauwerk infolge von material- und herstellungsbedingter Inhomogenität vorkommen, beispielsweise in Form von Aussprengungen und Rissen. Auch grobe Projektierungsfehler wie bei der Bauwerksabdichtung oder auch die mangelhafte Ausführung der Gewerke können zu Schäden am Mauerwerk führen.

Eine Eingruppierung der Schäden ist unter folgenden technisch-technologischen Aspekten möglich.

Materialverlust

Bei „Materialverlust“ wird zwischen der Beschreibung des Vorgangs und der Beschreibung der verbleibenden Substanz des Ziegels unterschieden.

Beschreibung des Vorgangs:

- Absanden: Ablösen kleiner, kompakter Partikel bis zum völligen Verlust des Putzes oder Ziegels;
- Abbröckeln: Ablösen größerer, kompakter Partikel;
- Abschelbern/Abschuppung: Ablösen dünner, flächiger Partikel parallel zum Untergrund;
- dünnere Schalen: Ablösung dünner Schalen (weniger als 1 mm) parallel zum Untergrund;
- dickere Schalen: ebenfalls Ablösung von Schalen, hier mehrere Millimeter bis Zentimeter;
- Ausbruch: Ablösung größerer, kompakter Stücke.

Tab. 1.15 Schäden an Ziegeln

Schäden an Ziegeln	Ursachen		
	Baustoffe ungeeignet, mangelhaft oder falsch eingesetzt	Baukonstruktion fehlerhaft	Baustoffherstellung oder -verarbeitung fehlerhaft
Ausblühungen	x	x	x
Aussprengungen	x	x	
Durchfeuchtung	x	x	
Mauersalpeter		x	
Risse		x	x
Verwitterung	x		x
Versottung	x		

Beschreibung der verbleibenden Substanz:

- Rückwitterung: originale Oberfläche des Ziegels fehlt vollständig oder in Teilbereichen;
- Randzonenverlust: Kern des Steins steht plastisch hervor;
- Kernzonenverlust: Verlust in der Mitte ist größer als am Rand;
- Reliefbildung: unterschiedlich starker Materialverlust, indifferentes Schadensbild;
- Sonderformen: beispielsweise Wabenstein, Höckerstein oder Glasurschaden;
- Verlustziegel: Fehlen des ganzen Steins.

1.4.3.2 Schäden an zweischaligen Wänden

In der Regel werden zweischalige Wände zwischen Vor- und Hintermauerschale mit einer Luftschicht vor der Wärmedämmung ausgeführt. In dieser Luftschicht soll eindringende Feuchtigkeit abgelüftet und die Dämmung vor Durchfeuchtung geschützt werden. Ausführungsmängel, wie z. B. Mörtelbrücken oder Mauerwerksverbinder mit Gefälle in Richtung der Dämmschicht heben den Effekt allerdings auf. Außerdem ist die Dämmstärke durch den maximalen Abstand der Schalen aufgrund statischer und konstruktiver Erfordernisse (bis 150 mm) beschränkt. Bei einer Dicke der Luftschicht von 40–60 mm beträgt die verbleibende Dämmschichtdicke nur 90–110 mm Dämmung.

In zweischaligen Wänden mit Kerndämmung gibt es diese Probleme nicht. Allerdings bestehen aufgrund der fehlenden Luftumspülung feuchtebedingte Risiken und damit erhöhte Anforderungen gegenüber einer Schadensanfälligkeit der Dämmstoffe bezüglich ihrer

- Feuchtigkeitsbeständigkeit und der
- Standfestigkeit.

Mineralfaserkerndämmstoffe erfüllen diese Anforderungen sehr gut. Bau- bzw. Feuchteschäden beruhen in der Tat auch nur selten auf einem mangelhaften Material, sondern

vorwiegend auf einer mangelhaften Planung und Ausführung, wie nachfolgend beispielhaft aufgeführt:

- zu dünne Vormauerschale aus Riemchen (mangelnde Belastbarkeit und Rissbildung),
- mangelnde Abstimmung zwischen Mörtel und Vormauerstein,
- Verwendung nicht frostbeständiger Steine,
- Aufbringen von dampfbremsenden Beschichtungen auf das Vormauerwerk,
- falsch ausgebildete Abdichtung gegen eindringende Feuchtigkeit und unzureichender Schutz der Baustoffe während der Verarbeitungsphase (Lagerung und Ausführung),
- nicht dichtgestoßene bzw. stoßversetzte Dämmplatten,
- Beschädigungen der Dämmung durch Maueranker.
- Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ist zwar keine preiswerte, aber, richtig ausgeführt, eine sichere Außenwandkonstruktion.

1.4.4 Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen

1.4.4.1 Nachträgliche Abdichtung erdberührter Bauteile

Soll ein Bauwerk nachträglich abgedichtet werden, muss zunächst geprüft werden, welche Art der Feuchte- oder Wassereinwirkung am Objekt vorliegt. Die Einteilung der Wassereinwirkungsklassen wird nach der DIN 18533 wie folgt vorgenommen:

W1-E Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser
W1.1-E Bodenfeuchte bei Bodenplatten
W1.2-E Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei erdberührten Wänden und Bodenplatten
W2-E drückendes Wasser
W2.1-E mäßige Einwirkung von drückendem Wasser
W2.2-E hohe Einwirkung von drückendem Wasser
W3-E nicht drückendes Wasser auf erdberührter Decke
W4-E Spritzwasser am Wandsockel sowie Kapillarwasser in und unter erdberührten Wänden

Die Festlegung der Wassereinwirkungsklasse erfolgt auf der Grundlage der hydrogeologischen Situation am Objekt. Diese ist durch einen Geotechniker oder Baugrundgutachter zu ermitteln. Die wichtigsten Parameter sind der Bemessungswasserstand und die Wasserdurchlässigkeit der anstehenden Baugrundschichten bzw. dem daraus abzuleitenden Risiko für Stauwasser. Entsprechend der festgelegten Wassereinwirkungsklasse kann eine Auswahl der dafür zulässigen Abdichtungsverfahren vorgenommen werden.

Horizontalabdichtungen

Die wissenschaftlich abgesicherten und nachweislich wirksamen Verfahren zur Trockenlegung von kapillar durchfeuchtetem Mauerwerk aus Natur- oder Backsteinen lassen sich

in mechanische, chemische und elektrophysikalische Trockenlegungsverfahren zusammenfassen, wobei diese allerdings immer mit mehr oder weniger umfangreichen Substanzverlusten einhergehen.

Bei sehr desolaten Wänden muss zum Mauerwerkaustausch gegriffen werden, der in jedem Falle den totalen Verlust des originalen Mauerwerks bedeutet. Vor allem in den letzten Jahrzehnten erwiesen die (allerdings nicht ganz unumstrittenen) Injektionsverfahren ihre Tauglichkeit. Dabei bildet ein in den Mauerwerkquerschnitt eingebrachtes Injektionsmittel eine kapillarbrechende Schicht im Porengefüge des Mauerwerks und unterbindet auf diese Weise das Aufsteigen der Feuchte. Dies gelingt nicht immer absolut fehlstellenfrei und muss deshalb im Nachhinein genau kontrolliert werden. Die elektrophysikalischen Verfahren sind aus wissenschaftlicher wie aus praktischer Sicht nach wie vor sehr umstritten und müssen mit großer Vorsicht detailliert betrachtet werden, weil die meisten dieser Verfahren bislang versagt haben.

Die Auswahl eines bestimmten Verfahrens zur nachträglichen Abdichtung kann nur als Ergebnis einer genauen und sorgfältigen Überprüfung des individuell anstehenden Mauerwerks und seines Baumaterials richtig getroffen werden. Weicher Backstein verlangt beispielsweise andere Verfahren zur Abdichtung als harter Granit. Auch der Durchfeuchtungsgrad beeinflusst die Wahl des Trockenlegungsverfahrens: Hohe Feuchtewerte im Mauerwerk, z. B. ein Durchfeuchtungsgrad von mehr als 50 %, werden sehr wahrscheinlich zu Schwierigkeiten beim Auftrennen mit diversen Sägen führen. Auch die Aufnahmefähigkeit für Injektionsmittel kann durch mit Wasser gefüllte Materialporen verringert bis aufgehoben werden. Außerdem müssen statische Belange beachtet werden, denn jeder Eingriff in tragende Wände bedeutet einen Eingriff in die Gebäudestatik: Immer dann, wenn Horizontalkräfte im Mauerwerk wirken, etwa an einem Gewölbefuß oder infolge anstehenden Erdreichs, müssen die Schubkräfte berücksichtigt werden. Oft ist dann ein Mauertrennverfahren von vornherein ausgeschlossen, weil dafür der Abstützungsaufwand viel zu hoch und damit zu teuer wäre.

Tab. 1.16 verschafft einen vergleichenden Überblick über Parameter verschiedener Verfahren zum Einbau nachträglicher Horizontalabdichtungen (Stand 2016).

Mechanische Verfahren In der baulichen Praxis haben sich mechanische Verfahren zur nachträglichen Horizontalabdichtung, sogenannte Mauertrennverfahren wie Bohr-, Ramm- und Sägeverfahren ebenso gut bewährt, wie der komplette Maueraustausch bei weitgehender Verrottung des vorhandenen Baumaterials. Alle diese Verfahren gelten heute als unumstritten (Tab. 1.17). Dazu kommt nach den objektbezogenen Erfordernissen die Mauerwerks- bzw. Fundamentunterfangung nach DIN 4123. Seit Jahren wird an der Entwicklung eines Verfahrens gearbeitet, welches das Mauerwerk durch einen Hochdruckwasserstrahl trennt. Wegen des hohen Wassereintrags und den Sicherheitsproblemen, die aus der Verwendung hoher Drücke resultieren, hat dieses Verfahren bislang weder Marktreife erfahren noch praktische Bedeutung erlangt. Selbstverständlich können alle diese Verfahren miteinander kombiniert werden, sodass Austausch, Unterfangung und Sägeschnitte an ein und demselben Mauerwerk angewendet werden. Allerdings kann

Tab. 1.16 Vergleichende Beurteilung der Verfahren zum Einbau von Horizontalabdichtungen

	Maschinelle Mauertrennung	Mauertrennung von Hand	Einrammen von Edelstahlblechen	Injektion von Dichtungsmitteln	Elektroosmotische Verfahren
Baukosten[a]	Ca. 300 €/m²	Ca. 500 €/m²	Ca. 400 €/m²	Ohne Druck: ca. 200 €/m² Mit Druck: ca. 250 €/m²	Ca. 700 €/m²
Erforderliche begleitende Maßnahmen	Evtl. Schaffung eines Arbeitsraumes	Evtl. Schaffung eines Arbeitsraumes	Evtl. Schaffung eines Arbeitsraumes	Keine	Keine
Kosten für Instandhaltung	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine
Lebensdauer der Dichtung	40–50 Jahre	30–50 Jahre	20–50 Jahre stark abhängig vom Versalzungsgrad des Mauerwerks	10–25 Jahre; noch wenig Erfahrungswerte	Ca. 10 Jahre; noch wenig exakte Auswertungsergebnisse
Einbauzeit	Die Einbauzeiten sind stark abhängig vom vorhandenen Wandmaterial, vom anzuwendenden Trennmaterial und von der Zugänglichkeit des Mauerwerks, sodass verlässliche Werte nicht genannt werden können. Aus diesem Grund sollte die Einbauzeit nicht ausschlaggebend sein.				
Ausführung durch	Fachfirma	Bauunternehmen	Fachfirma	Fachfirma	Fachfirma
Anmerkungen	Gewölbeschub beachten	Gefahr der Rissbildung durch Setzungen	Gefahr der Rissbildung durch starke Erschütterungen beim Einrammen der Bleche	Keine Beeinflussung der Standsicherheit, Abdichtungsgrad ca. 70–80 %	Keine Beeinflussung der Standsicherheit, Korrosionsgefahr bei einigen Elektrodenarten

[a] Die Kostenwerte beziehen sich auf einen Wandabschnitt mit 1 m Länge und eine Wandstärke von 60–80 cm.

die Anwendung dieser Verfahren wegen der statischen Relevanz derartiger Eingriffe in die Bausubstanz und der ggf. erforderlichen Abstützungen sehr aufwendig und entsprechend kostenintensiv sein. Sowohl Ramm- und Sägeverfahren als auch Mauerwerksaustausch und Unterfangung sind im Kellerbereich zumeist schwierig anzuwenden, da ausreichend tiefe Baugruben ausgehoben und breite Arbeitsräume geschaffen werden müssen.

Mauersägeverfahren Bei diesem Verfahren wird das Mauerwerk meistens maschinell oder auch von Hand abschnittsweise in einer Lagerfuge aufgesägt (Abb. 1.105). Zum

Tab. 1.17 Trennverfahren und ihre besonderen Merkmale

Trennverfahren bzw. Trenngeräte	Charakteristik	Bewertung*
Mauersäge	– Robuste, einfache Gerätetechnik	+
	– Nur für weiche Baustoffe geeignet (Kalkmörtelfugen, Backsteine)	–
	– Für Wanddicken bis ca. 130 cm, wenn Schnittführung beidseitig	–
V-Schnitt mit Trennscheibe	– Robuste, einfache Gerätetechnik	+
	– Wenig Arbeitsraum erforderlich	+
	– Nur für relativ weiche Baustoffe geeignet	–
	– Bis ca. 80 cm Wanddicke	––
	– Relativ leichte, handwerkgerechte Technik	+
	– Sehr hoher Verschleiß an Trennscheiben	–
Schwert- bzw. Kettensäge mit Hartmetallschneiden	– Schnitttiefe bis ca. 90 cm	+/–
	– Nur für weiche, nicht schmierende Baustoffe geeignet	–
	– Schnitthöhe ca. 14 mm	+
	– Leichte Geräte	+
	– Hoher Verschleiß der Sägekette	–
Schwert- bzw. Kettensäge mit Diamantschneiden	– Schnitttiefe bis ca. 160 cm	++
	– Nahezu alle Mauerwerksarten bearbeitbar	++
	– Schnitthöhe ca. 20 mm	++
	– Hoher Verschleiß der Sägekette	–
	– Sehr aufwendige, schwere Gerätetechnik	––
Kreissäge	– Schnitttiefe bis ca. 65 cm	––
	– Nahezu jedes Gestein trennbar	++
	– Schnitthöhe ca. 8 mm	–
	– Hoher Verschleiß des Sägeblatts bei kleinteiligen, harten Steinen	–
	– Mittlerer bis hoher Geräteaufwand	–
	– In Innenecken nicht einsetzbar	–
Seilsäge	– Sehr große Schnitttiefen möglich	++
	– Bewältigt auch komplizierte Mauerwerksgrundrisse	++
	– An- und Umsetzen der Säge aufwändig	–
	– Hoher Geräteaufwand	–
	– Großer Arbeitsraum erforderlich	–
Kernbohrverfahren	– Auch für große Wanddicken einsetzbar	+
	– Nahezu jedes Gestein bearbeitbar	++
	– Sehr aufwendig, da geringer Arbeitsfortschritt	––
	– Hoher Feuchteeintrag in das Mauerwerk	––
	– Kombination mit Vernadelung möglich	+
Rammverfahren	– Durchgängige Lagerfuge notwendig	–
	– Für Wanddicken bis ca. 100 cm einsetzbar	+/–
	– Keine Unterbrechung der Lastübertragung im Mauerwerk	+
	– Nicht für erschütterungsempfindliches Mauerwerk	–
	– Geringer bis mittlerer technischer Aufwand	+

*Eigenschaften nach D. Hettmann: + vorteilhaft, ++ besonders vorteilhaft, – nachteilig, –– besonders nachteilig

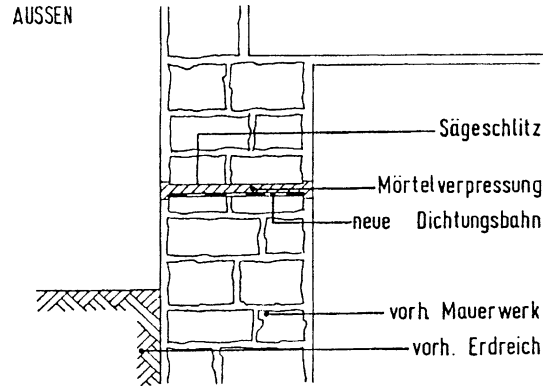


Abb. 1.105 Maschinelle Mauerwerkstrennung: Aufsägen des Mauerwerks, Einbringen der Dichtungsbahn oder plattenartiger Materialien, Verpressen des Sägeschlitzes mit Mörtel. (Quelle: ILS Hamburg)

Sägen können entweder Seilzugsägen, Zugsägen oder Trennscheiben benutzt werden. Die Schnittausführung in Lagerfugen kann dabei trocken erfolgen. Wird dagegen Mauerwerk ohne durchgängige Fugen (z. B. Naturstein) oder zweischaliges Mauerwerk gesägt, dann ist das Kühlen der verwendeten Sägeblätter oder Sägeketten aufgrund der Festigkeit der geschnittenen Steine oder Ziegel erforderlich. Die benötigte Menge des notwendigen Kühlwassers kann erheblich sein und überdies feuchteempfindliches Mauerwerk weiter schädigen. In Abhängigkeit vom verwendeten Schneidwerkzeug beträgt die Schnittbreite ca. 5–10 mm. Wenn Schnitttiefen über 70 cm erforderlich sind, muss die Wand von beiden Seiten geschnitten werden. Das bedingt jedoch eine freie Zugänglichkeit auf beiden Seiten des Mauerwerks.

Die fertig geschnittene Fuge wird während der weiteren Arbeitsschritte mit geeigneten Keilen gestützt um ein Nachrutschen des Mauerwerks zu verhindern. In die ausgeräumte Fuge wird dann das Abdichtungsmaterial eingeschoben. Verbreitet sind trennende Abdichtungsfolien oder -platten aus Kunststoff, bitumenbeschichtete Aluminium- und Bleifolien sowie korrosionsbeständige Edelstahlplatten. Die noch vorhandenen Hohlstellen sollten vorsichtig verpresst bzw. manuell mit ausreichend Druck gefüllt werden. Dies kann z. B. mit Zementsuspension unter Zugabe eines Quellmittels, mit geeigneten Harzen oder mit Quellmörtel erfolgen, dabei sollten die Materialien jedoch schwindfrei sein. Bei der Verwendung mineralischer Füllstoffe ist auf die Alkalibeständigkeit der eingesetzten Dichtungsmaterialien zu achten.

Wegen des relativ großen Eingriffs in die Standsicherheit des Mauerwerks sollten nur kurze Abschnitte aufgesägt und so schnell wie möglich abgestützt werden.

Einrammen von Edelstahlblechen Alternativ zum Mauersägeverfahren wird seit ca. 25 Jahren das Chromstahlblechverfahren eingesetzt. Hierbei werden gewellte Edelstahlbleche mittels Drucklufthämmern maschinell in eine Lagerfuge des Mauerwerks getrieben (Abb. 1.106). Die letzten zwei Wellen der eingesetzten Bleche müssen sich dabei jeweils überlappen, um eine ausreichende Dichtigkeit der Stöße zu gewährleisten. Das Verfahren ist relativ einfach, jedoch können erhebliche Erschütterungen in das Mauer-

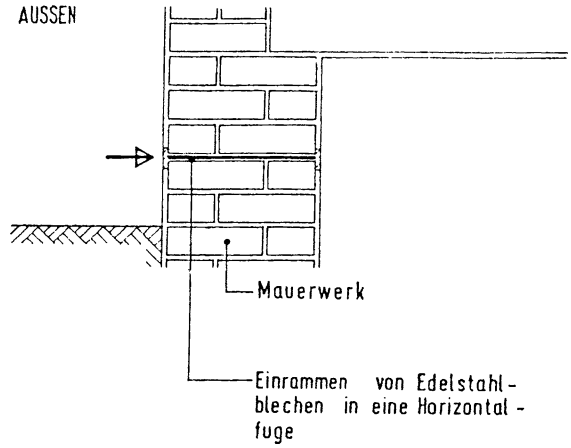


Abb. 1.106 Einrammen von Edelstahlblechen: Bei durchlaufender, horizontaler Fuge werden scharfkantige Edelstahlbleche mit Pressluft eingerammt. Stöße sind mit ausreichender Überdeckung auszuführen. (Quelle: ILS Hamburg)

werk eingetragen werden. Die Anwendung des Verfahrens ist auf einfach zugängliche Abschnitte beschränkt. In Wandeckbereichen ist aufgrund der geometrischen Verhältnisse das Eintreiben der Bleche nur von der Außenseite wirkungsvoll um den gesamten Wandquerschnitt zu erreichen. Problematisch ist dort jedoch die überlappende Stoßausbildung, da die Bleche orthogonal zueinander aufeinandertreffen.

V-Schnitt-Verfahren Eine elegantere und sehr wirksame Methode, die Kapillaraktivität des Mauerwerks zu unterbrechen, ist das sogenannte V-Schnittverfahren (Abb. 1.107). Im Gegensatz zum Mauersägeverfahren wird hierbei mit einer Trennscheibe, unabhängig von den Lagerfugen, das Mauerwerk von beiden Seiten in einem Winkel von ungefähr 10° bis 30° aufgeschnitten. Die Schnitttiefe orientiert sich an der Wanddicke und muss bis 3 cm über die Mittelachse der Wand hinaus ausgeführt werden, um eine vollständige Überbindung der beiden Schnittebenen sicher zu stellen. Der dabei entstehende Schlitz ist etwa 2 cm breit. Weil bei diesem Verfahren das Mauerwerk zu maximal 60 % durchtrennt wird, kann der Schnitt über eine größere Länge ausgeführt werden, ohne dass die Wand statisch gefährdet ist. Vorteilhaft ist dabei zudem, dass keine stützenden Keile oder andere Hilfsmittel benötigt werden.

Bevor der Schlitz verfüllt wird, werden die Schnittflächen des Schlitzes hydrophobiert. Die Hydrophobierung verhindert die Wasseraufnahme in das Mauerwerk aus dem nachfolgend einzufüllenden Mörtel. Zusätzlich wird eine Zone von bis zu einigen Zentimetern des Mauerwerks ober- und unterhalb des Schlitzes ebenfalls hydrophobiert. In den Schlitz wird dann ein hochwertiger Vergussmörtel mit einem sehr geringen Wasserzementwert (w/z-Wert) eingebracht. Die eingesetzten Vergussmörtel sind quellfähig beziehungsweise schwindarm und bilden eine kraftschlüssige Verbindung mit dem Mauerwerk. Durch den geringen w/z-Wert der Vergussmörtel beziehungsweise Vergussfeinbetone wird der Kapillartransport im Mauerwerk in der Ebene der Abdichtung weitgehend eingeschränkt.

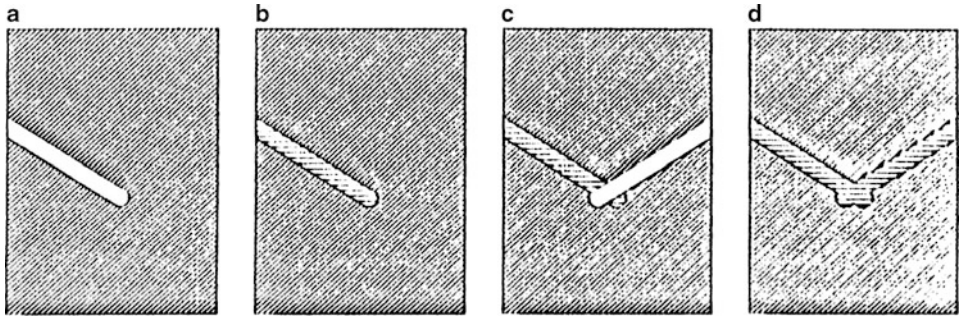


Abb. 1.107 V-Schnitt-Verfahren: **a** Der erste Schnitt wird gesetzt. **b** Er wird anschließend mit vergütetem Mörtel gefüllt. **c** Der zweite Schnitt erfolgt von der anderen Seite. **d** Er wird ebenfalls verfüllt. (Quelle: ILS Hamburg)

Sobald der Mörtel im ersten Schlitz die Festigkeit des umgebenden Mauerwerks erreicht hat, ist er in der Lage, die Lastabtragung in der Wand zu gewährleisten. Dies ist unter günstigen Randbedingungen, wie mittleren Temperaturen, bereits 14 bis 15 h nach der Applikation des Mörtels gewährleistet. Nun kann die Mauergegenseite geschnitten werden. Der zweite Schlitz wird so tief ausgeführt, dass er den ersten (mörtelverfüllten) Schlitz kreuzt. Damit ist eine durchgehende Lage Mörtel und auch ein durchgehender Feuchteschutz sichergestellt.

Maueraustauschverfahren Infolge einer erheblichen Salzbelastung und Durchfeuchtung stark korrodiertes Mauerwerk und erodierter Mörtel kann durch das Maueraustauschverfahren schrittweise erneuert werden (Abb. 1.108). Im ersten Schritt wird das geschädigte Mauerwerk entfernt. Die Länge des Arbeitsbereiches ist dabei vom Zustand des Mauerwerks und seiner Ausbildung oberhalb des Arbeitsbereiches abhängig. Im Idealfall wird das Mauerwerk in Form eines gleichschenkeligen Dreiecks mit einem Anstiegswinkel der Katheten von nicht weniger als 60° zurückgebaut. Oberhalb muss jedoch eine ausreichende Überdeckung mit ungestörtem Mauerwerk vorhanden sein, damit sich im verbleibenden Mauerwerk ein Druckbogen für die Lastabtragung ausbilden kann. Ist die Lastabtragung in dieser Art nicht möglich, ist eine Abfangung zur Lastableitung zu errichten. Nach dem Rückbau wird eine Dichtungsbahn oder eine Dichtungsfolie auf der vorbereiteten Ziegellage eingelegt (Abb. 1.109). Dabei ist beidseitig ein Überlappungsbereich von mindestens 10 cm zu berücksichtigen.

Diese Methode erlaubt den vollständigen Austausch salzbelasteten Mauerwerks. Nachteilig ist dagegen der immense handwerkliche Aufwand bei der Ausführung und die statische Belastung für das Bauteil während des mechanischen Entfernens der geschädigten Steine. Insbesondere an Sichtmauerwerk kann ein solcher Eingriff problematisch sein, da Verschmutzungen und Rissbildungen nur mit hohen Aufwand vermieden oder wieder beseitigt werden können (Abb. 1.110).

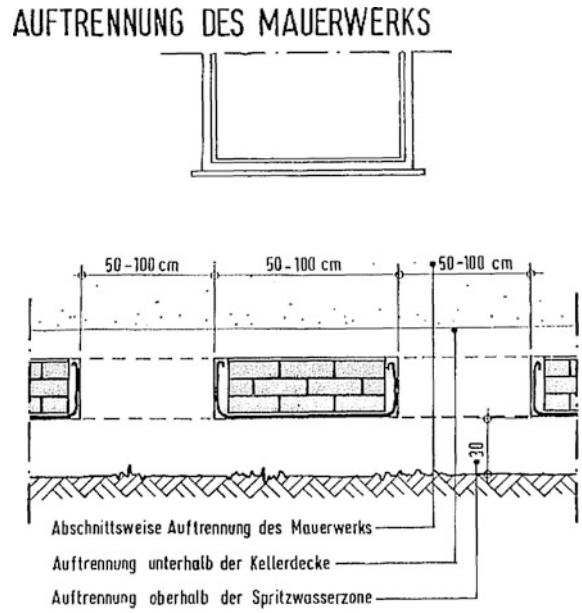


Abb. 1.108 Auftrennen und schrittweiser Rückbau des Mauerwerks. (Quelle: ILS Hamburg)

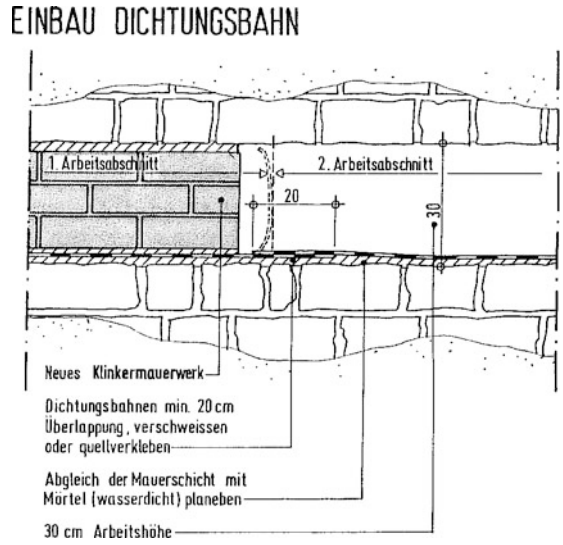


Abb. 1.109 Einbau der Dichtungsbahn. (Quelle: ILS Hamburg)

Chemische Verfahren Die mechanischen Verfahren, insbesondere das V-Schnittverfahren, erreichen weitgehend die gewünschte Kapillarunterbrechung und die nachträgliche Abdichtung des Mauerwerks. Darüber hinaus haben sich in den vergangenen fünf Jahrzehnten Injektionsverfahren zur Einbringung kapillarreduzierender, chemischer Lösungen in der Praxis etabliert. Diese haben zum Ziel, entweder den kapillaren Durchmesser zu verringern oder aber die Oberflächenspannung in den Kapillaren drastisch zu erhöhen. An-

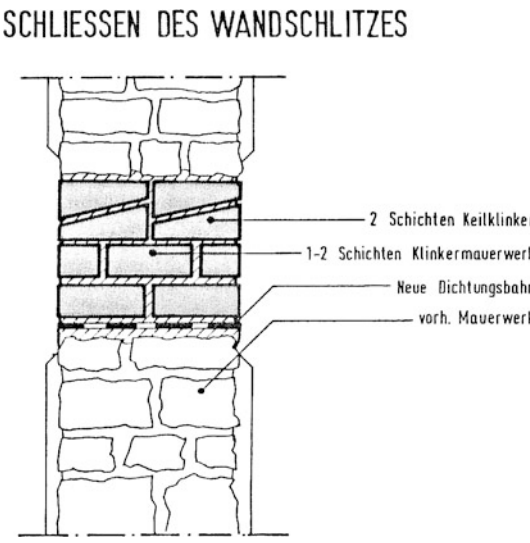


Abb. 1.110 Schließen der Wand. (Quelle: ILS Hamburg)

ders gesagt, sollen sie einen wasserabweisenden (hydrophoben) Effekt erzielen. Bei den gemeinhin als „Trockenlegungsverfahren" genannten Technologien zur Absenkung der kapillar verursachten Mauerwerksdurchfeuchtung nehmen die Injektionsverfahren, früher auch „Bohrlochsperre" genannt, mittlerweile einen festen, aber nicht unumstrittenen Platz ein. Insbesondere kann eine vollständige Wirksamkeit der Injektionsverfahren, z. B. aufgrund von Inhomogenität und Hohlstellen im Mauerwerk, nicht sicher erreicht werden. Bei den chemischen Verfahren werden die Wirkstoffe in Form von Lösungen, Emulsionen, Suspensionen oder Schmelzen in das Mauerwerk injiziert (Tab. 1.18). Es werden drei unterschiedliche Wirkprinzipien unterschieden:

- kapillarabdichtend bzw. porenverstopfend: der Wassertransport wird durch Verschließen der Kapillaren unterbunden;
- kapillarverengend: die Sauggeschwindigkeit wird durch Verkleinern des Porenradius reduziert;
- hydrophobierend: die Oberflächenspannung in den Kapillaren wird signifikant erhöht, d. h. ein wasserabweisender Effekt wird erzielt.

Selbstverständlich können die drei aufgezählten Wirkprinzipien auch miteinander kombiniert werden. Wichtige Kriterien für die Wirksamkeit einer nachträglichen Abdichtung im Injektionsverfahren sind:

- Kenntnisse über die Eigenschaften des Mauerwerks, wie beispielsweise die Güte der Ziegel und des Mörtels, den Versalzungsgrad, den Feuchtegehalt und zu vorhandenen Hohlräumen;

Tab. 1.18 Einteilung und Beurteilung von Injektionsmitteln

Injektionsmittelsystem	Art des Injektionsmittels	Wirkungsweise
Wässrige Suspensionen	Zementsuspensionen, Mikrozementsuspensionen, Feinstoffsuspensionen (werden heute zur Hohlraumverfüllung eingesetzt)	– Verstopfen der Poren – Verteilung im Baustoff ist oft nicht optimal und die Wirksamkeit nimmt ab – Als Abdichtung weniger geeignet
Wässrige Lösungen (Kolloiddisperse Systeme)	Alkalisilikate = Wasserglas-Lösungen Nachteil: Es wird Alkalikarbonat, ein bauschädliches Salz, gebildet	– Scheiden Kieselgel ab – Es kommt zu einer Kapillarverengung – Weniger wirksam
	Alkalimethylsiliconate Nachteil: Es wird Alkalikarbonat, ein bauschädliches Salz, gebildet	– wirken hydrophobierend – Einsatz nur bei Mauerwerk bis 50 cm Dicke und bei einem Durchfeuchtungsgrad bis 50 % einsetzbar – Eingeschränkt wirksam
	Kombinationsprodukte aus Alkalisilicaten und Methylsiliconaten Nachteil: Bildung bauschädlicher Salze	–
	Höheralkylierte Siliconate	– Gute Wirksamkeit
Wässrige Emulsionen	Silikon-Mikroemulsionen, Silikon-Mikroemulsionskonzentrate (SMK-Technologie)	– Hydrophobierend – Besonders feinteilig – Selbstemulgierend – Auch bei einem hohem Durchfeuchtungsgrad einsetzbar – Hohe Wirksamkeit
	Bitumenemulsionen	– Kapillardichtend
Lösungen in organischen Lösungsmitteln	Siloxanlösungen und Silane	– Hydrophobierend – Schlechte Verteilung im Mauerwerk, daher meist unter Druck injiziert – Keine Salzbildung – Explosionsgefahr beim Einbringen
	Silikonharzlösungen, Kieselsäureethylester mit hydrophobierenden Zusätzen, Kunstharzlösungen (überwiegend Polyurethane und Acrylate), Bitumenlösungen	– Kapillardichtend – Einige Präparate auch hydrophobierend – Erschwerte Eindringfähigkeit – Verarbeitung ausschließlich unter Druck
Schmelze	Paraffine, Bitumina	– Kapillardichtend – Aufheizung des Mauerwerks bis auf 80 °C

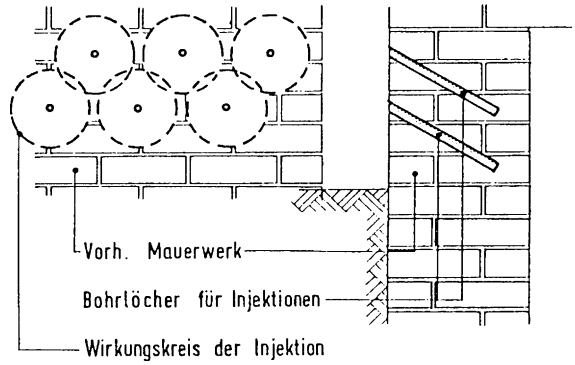


Abb. 1.111 Injektion mit Dichtungsmitteln: Anlegen von bis zu drei versetzten Reihen von Bohrlöchern, Injektion des Dichtungsmittels. (Quelle: ILS Hamburg)

- richtige Auswahl des Injektionsmittels in Bezug auf den Durchfeuchtungs- und Versalzungsgrad des Mauerwerks;
- Kenntnisse über den Ausbreitungsradius des Injektionsmittels im Mauerwerk;
- Ausführen einer Hohlraumverfüllung vor dem Injizieren des Wirkstoffes. Dabei ist auf die Materialverträglichkeit zu achten;
- Anlegen eines ausreichend dichten Rasters bei der Herstellung der Bohrlöcher, empfohlen wird eine mindestens zweireihige Ausführung mit Reihen- und Bohrlochabständen von 6–10 cm (Ausbreitradius des Injektionsmittels beachten);
- nachträgliche Überprüfung an einem Bohrkern mit Benetzungs- oder Saugversuch.

Eine sichere Ermittlung der Mauerwerkseigenschaften, beispielsweise in Hinblick auf die Homogenität einer Wand im Injektionsbereich, ist nicht zweifelsfrei möglich. Daher sind Injektionsverfahren zur nachträglichen Abdichtung und auch zur Rissinstandsetzung immer auch ein Weg ins Ungewisse. Um dennoch weitgehend erfolgreich zu sein, sollten beim Anlegen des Injektionsrasters die vom Hersteller des Injektionsmittels empfohlenen Reihen- und Bohrlochabstände vorsorglich reduziert werden.

Leider wird die Zusammensetzung des Injektionsmittels von den Herstellern oft nicht genau gekennzeichnet. Um eine generelle Wirksamkeit beurteilen zu können, sind daher Untersuchungen der Zusammensetzung oder ein detailliertes Hinterfragen der Inhaltsstoffe und Anwendungsmöglichkeiten erforderlich (Abb. 1.111 und 1.112).

Arbeitsschritte beim Einbringen von Injektionsmitteln:

1. Festlegen der geeigneten Sperrzone.
2. Bohren von Injektionslöchern ∅ 24–32 mm, Abstand ca. 6–10 cm, Neigungswinkel ca. 25°–30°.
3. Bohrlöcher durch Ausblasen reinigen.
4. Injizieren von Injektionsmitteln drucklos oder unter geringem und hohem Druck als mehrtägig anhaltende Tränkung. Eventuell Vortränken alten Mauerwerks mit Kalkmilch und ggf. Ausführen einer Hohlraumverfüllung vor der Injektion.

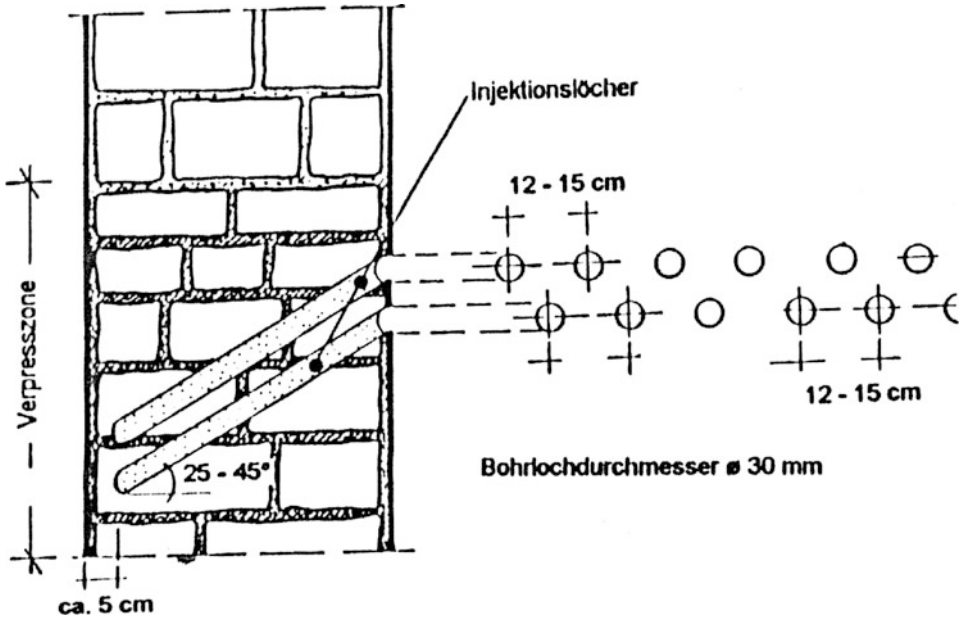


Abb. 1.112 Schnittdarstellung der Injektage. (Quelle: ILS Hamburg)

5. Abschließende Oberflächenbehandlung (z. B. Verputzen) erst nach mehrmonatiger Wartezeit und Überprüfung der Wirksamkeit.
6. Eine Überprüfung der Wirksamkeit durch die nachträgliche Entnahme von Bohrkernen ist erforderlich.

Elektrophysikalische Verfahren (Elektroosmose) Tritt Wasser durch einen Stoff, entsteht eine Potenzialdifferenz. Dieses Naturgesetz der Elektroosmose machen sich verschiedene Verfahren zunutze, indem der Minuspol eines elektrischen Feldes dorthin gelegt wird, wohin das Wasser geleitet werden soll (Abb. 1.113). Das Passivverfahren (zwei Elektroden ohne Fremdspannung) ist aufgrund nicht kontrollierbarer Erdströme und wegen Problemen bei der Erdung der Anlage störanfällig. Das Aktivverfahren (mit Fremdstrom) wird dagegen schon häufig eingesetzt.

Die elektrophysikalischen Verfahren zur Mauerwerkstrockenlegung sind bis heute sehr umstritten. Obwohl das theoretische Prinzip bekannt ist, steht der Verwirklichung häufig die baupraktische Durchführbarkeit und die mangelnde Resistenz der verwendeten Elektroden gegenüber den vorhandenen Salzen im Wege.

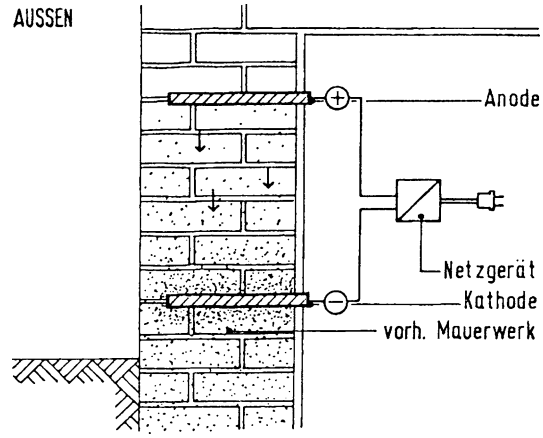


Abb. 1.113 Elektroosmotisches Verfahren. (Quelle: ILS Hamburg)

Ausführungshinweise:

1. Kompetenz der ausführenden Firma anhand von Referenzen prüfen;
2. bei Anwendung der aktiven Verfahren sollte wegen des Korrosionsrisikos hochwertiges Elektrodenmaterial verwendet werden;
3. nur von Fachfirmen ausführen lassen;
4. ohne die vorherige Instandsetzung geschädigter Fundamente sind elektroosmotische Verfahren nicht vertretbar.

Die Elektroosmose ist ein Verfahren zur Verdrängung von Feuchtigkeit. Eine Beseitigung der Ursachen des Feuchtigkeitsanfalls wird dabei nicht erreicht. Die Ursachenbeseitigung sollte jedoch immer das erste Mittel der Wahl sein, um dauerhaft eine Verbesserung der Situation zu erreichen. In jedem Fall ist vor der Ausführung zu klären, ob die Durchfeuchtung überhaupt kapillar erfolgt oder ob andere Ursachen vorliegen. Die Leistungsfähigkeit der Anlage sollte nach der Inbetriebnahme durch Feuchtigkeitsmessungen im Mauerwerk regelmäßig kontrolliert werden.

Vertikalabdichtungen

In das Erdreich ragende Bauwerke bzw. erdberührte Bauteile müssen gegen eine horizontal einwirkende Belastung, wie Bodenfeuchte oder Grund- und Sickerwasser geschützt, d. h. abgedichtet werden.

Die Vertikalabdichtung als Maßnahme zur Mauerwerksinstandsetzung ist eine Grundvoraussetzung für den dauerhaften Erfolg einer Mauerwerksentfeuchtung. Eine vertikale Trennung des wasserführenden und salzhaltigen Erdreiches vom Mauerwerk kann langfristig gesehen wirksamer sein, als die Durchführung einer Horizontalabdichtung. Tendenziell erfährt das erdberührte Mauerwerk nach der Applikation einer Vertikalabdichtung in den oberen Wandabschnitten eine Verringerung des Feuchtegehalts. Im Wandfußbereich

wird der Feuchtegehalt jedoch hoch bleiben. Sofern die Räume im erdberührten Bauwerksabschnitt zukünftig für die Lagerung feuchteunempfindlicher Güter genutzt werden sollen, ist eine nachträgliche Vertikalabdichtung oftmals ausreichend, um den Feuchteanfall auf ein hinnehmbares Maß zu reduzieren. Es wird jedoch empfohlen die nachträgliche Vertikalabdichtung mit einer sensorgesteuerten (nutzerunabhängigen) Lüftungsanlage zu kombinieren, um Restfeuchte aus dem Mauerwerk abzuführen und um die Feuchtigkeit auf den Oberflächen der gelagerten Güter in einer möglichst schadlosen Konzentration zu halten.

Für die Herstellung einer Vertikalabdichtung stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- die Außenabdichtung und
- die Innenabdichtung.

Außenabdichtung Um nachträglich eine Außenabdichtung aufzubringen muss das Kelleraußenmauerwerk vollständig freigelegt werden. Die Freilegung ist dabei bis in eine Tiefe von ca. 15 cm unter der Oberkante des Fundaments auszuführen, um einen fachgerechten Anschluss zwischen Fundament und Kellerwand ausbilden zu können. Innenecken sind mit einer Hohlkehle auszurunden und die Außenecken werden mit einer Fase versehen, um dort hohe Spannungen in der Abdichtung beziehungsweise Rissbildungen sowie mechanische Beschädigungen zu vermeiden. Der Untergrund ist auf eine ausreichende Tragfähigkeit hin zu überprüfen. Alte Beschichtungen wie beispielsweise Putze mit Haftungsverlust oder auch schadhafte Altabdichtungen sind, sofern eine Materialverträglichkeit mit der Neubeschichtung nicht zweifelsfrei bestätigt ist, restlos zu entfernen. Beim Rückbau der Altbeschichtungen ist auf einen Einsatz von Wasser zu verzichten, da vorhandene bauschädliche Salze ansonsten gelöst und tiefer in das Mauerwerk eingetragen werden können. Gleiches gilt für das Entfernen nicht tragfähigen Mauer- bzw. Fugenmörtels. Neben dem Auskratzen geschädigten Mörtels sind geschädigte Ziegel bis auf den festen Untergrund abzutragen.

Nachfolgend ist das bearbeitete Mauerwerk wieder zu ergänzen. Offene Fugen sind mit einem Fugenmörtel zu schließen und Fehlstellen in den Ziegeln werden je nach Tiefe ausgemauert oder mit einem Instandsetzungsmörtel egalisiert. Anschließend wird ein Ausgleichsputz flächig aufgetragen und oberflächenrau belassen. Bei groben Unebenheiten kann ein vorbereitender Spitzbewurf zur Verbesserung der Haftung nachfolgender Putzlagen empfehlenswert sein. Für die nun folgende Abdichtung stehen mehrere Ausführungsvarianten zur Verfügung:

- das Aufbringen einer bituminösen Beschichtung (PMBC),
- flexible zementgebundene Dichtungsschlämme,
- das Aufbringen einer Dichtungsbahn auf Bitumen- oder Kunststoffbasis,
- ein Sperrputz der Mörtelgruppe P III (Zementputz),

- Herstellen einer Vorsatzschale aus einem Beton mit hohem Wassereindringwiderstand („WU-Beton“).

Durchörtern Rohr- oder Kabeldurchführungen die abzudichtenden Außenwände, dann sind diese „Fehlstellen“ beispielsweise mit Dichtmanschetten oder Los-Festflansch-Konstruktionen im System mit abzudichten. Für jedes der Abdichtungssysteme sind eine Vielzahl Ergänzungsbauteile für jeden Last- und Anwendungsfall am Markt verfügbar.

Abdichtungen auf den Außenseiten erdberührter Bauteile sind vor mechanischen Beschädigungen zu schützen. Hierzu sind beispielsweise verschiedenen Arten von Noppenbahnen am Markt erhältlich. Einfache Ausführungen gewähren lediglich eine Schutzfunktion, andere sind mit einem Dränvlies ausgestattet, um gleichzeitig eine Versickerung anfallenden Wassers zu ermöglichen.

Bituminöse Beschichtungen Polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen (PMBC) sind aufgrund des Kunststoffanteils nach dem Verdunsten des Lösungsmittels oder des Wassers (bei Emulsionen) elastisch. In einem begrenzten Bereich ermöglicht diese Elastizität gegenüber auftretenden Rissbildungen und Rissbreitenänderungen im Untergrund

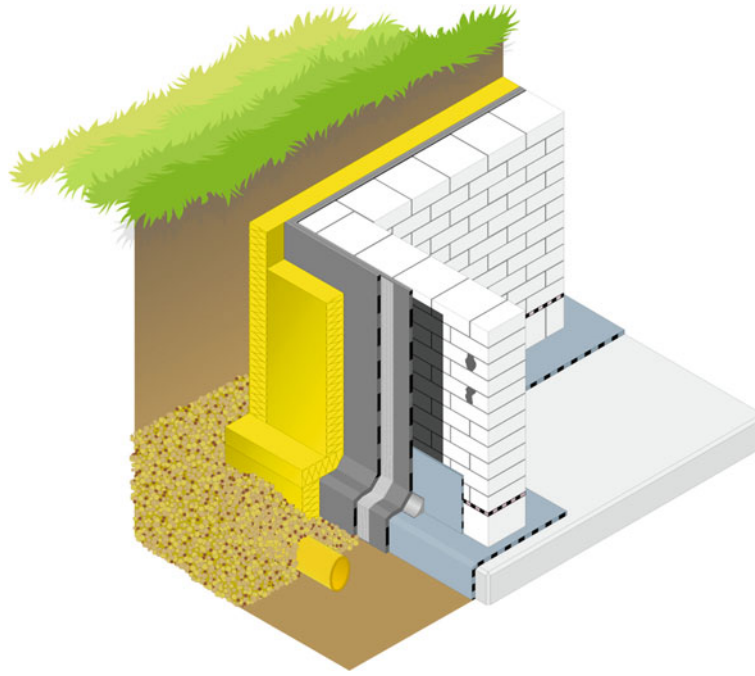


Abb. 1.114 Abdichtungssystem, bestehend aus Grundierung, Dichtschlämme im Hohlkehlbereich, Hohlkehle aus Sperrmörtel und zweilagiger PMBC mit Gewebeeinbettung. (Quelle: Sopro Bauchemie GmbH)

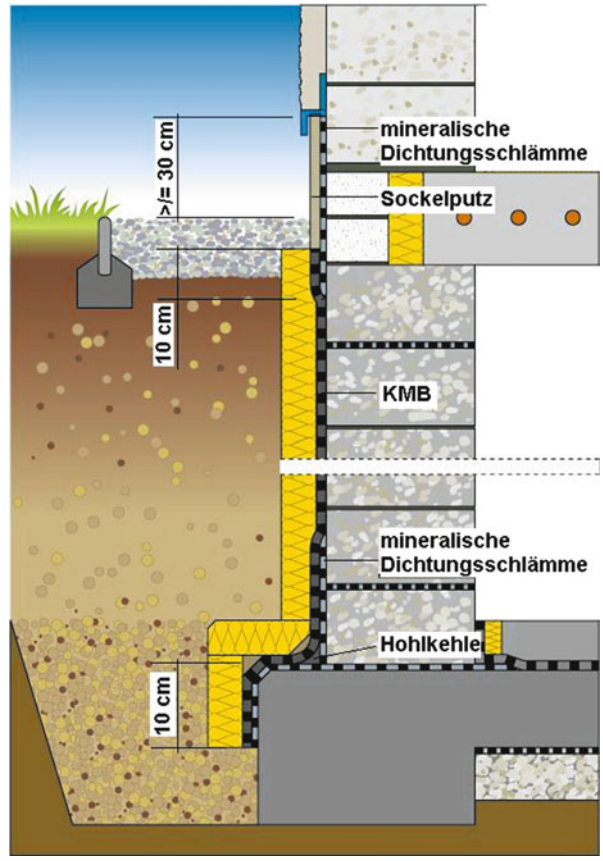


Abb. 1.115 Abdichtung aus PMBC in Kombination mit MDS im Sockelbereich. (Quelle: Sopro Bauchemie GmbH)

die Dauerhaftigkeit des Materials und somit den Erhalt der abdichtenden Funktion (Abb. 1.114 und 1.115).

Mineralische Dichtschlämmen Auf dem ebenen, gut vorbereiteten Untergrund kann als Außenabdichtung eine wasserabweisend eingestellte mineralische Dichtungsschlämme aufgetragen werden. Die Mehrzahl der bekannten Produkte weist laut Herstellerangaben eine dichtende Wirkung bei drückendem Wasser bis zu einer Wassersäule von 5 m auf. Grundsätzlich werden starre und flexible Dichtungsschlämmen unterschieden. Flexible Dichtungsschlämmen sind kunststoffvergütet und werden bevorzugt im Außenbereich eingesetzt. Die starren Systeme sind besser für Anwendungen auf Oberflächen mit einem geringen Rissrisiko geeignet, z. B. als Innenabdichtung auf erdberührten Außenwänden. Üblich ist die Applikation der Dichtschlämmen im Streichverfahren. Dabei ist ein mehrlagiger Auftrag, mit einer Gesamtschichtendicke von mindestens 2 mm zu realisieren. Darüber hinaus können Dichtschlämmen mit verringerter Wasserzugabe angesetzt werden und sind dann auch dickschichtig mit der Kelle als Dichtputz aufzutragen.

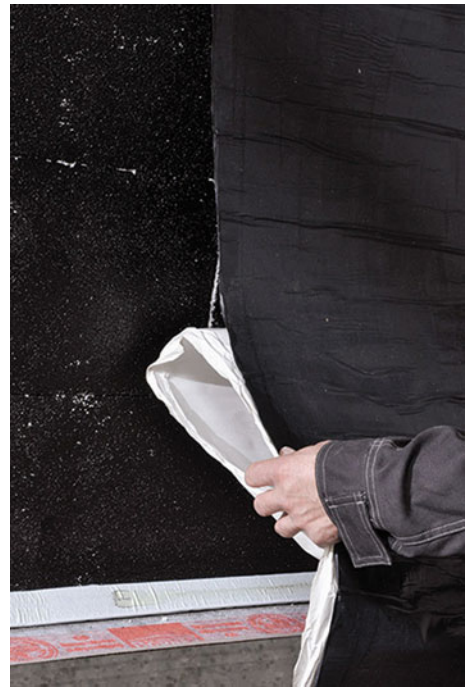


Abb. 1.116 Aufbringen einer Abdichtung gegen Bodenfeuchtigkeit mit kaltselbstklebender Polymerbitumenbahn (KSK) auf vorbereiteten Untergrund. (Quelle: GEORG BÖRNER Chemisches Werk)

Dichtungsbahnen Alternativ können Bitumenbahnen, kunststoffmodifizierte Bitumenbahnen oder Kunststoffbahnen zweilagig verklebt aufgebracht werden. Bei bituminöser Verklebung müssen die Stöße mindestens eine Überlappung von 10 cm aufweisen. Im Druckwasserbereich sollten die Längsstöße um eine halbe Bahnbreite und die Querstöße um 30 cm überlappend, verschweißt werden. Die Herstellervorschriften bei der Verwendung sind in jedem Fall exakt einzuhalten, um die Funktionalität der Abdichtung nicht zu gefährden (Abb. 1.116).

Innenabdichtung Manchmal ist es technisch zu aufwendig, das Mauerwerk von außen freizulegen. Unter Umständen erlaubt auch das vorhandene Mauerwerk (z. B. Natursteinoder Mischmauerwerk) keinen wirtschaftlich vertretbaren Einbau einer Kombination von Horizontal- und äußerer Vertikalabdichtung. In diesem Fall müssen sich der Verarbeiter und der Auftraggeber immer darüber im Klaren sein, dass das Mauerwerk gefährdet bleibt. Mit einer Innenabdichtung kann dennoch eine Reduzierung der Raumluftfeuchte erreicht werden. Besteht zusätzlich das Risiko einer kapillaren Durchfeuchtung des aufgehenden Mauerwerks, kann eine Horizontalabdichtung auch im Bereich unterhalb der Kellerdecke beziehungsweise oberhalb der Geländeoberkante angeordnet werden, um Schäden im Erdgeschoss zu vermeiden. Als Innenabdichtung sind in Abhängigkeit von den Anforderungen der zukünftigen Nutzung der Räume folgende Ausführungsvarianten möglich:

- Herstellen einer „schwarzen Wanne“ durch das Aufbringen einer bituminösen Beschichtung (PMBC) oder das Aufbringen einer Dichtungsbahn auf Bitumen- oder Kunststoffbasis,
- Auftrag einer starren zementgebundenen Dichtungsschlämme,
- ein Sperrputz der Mörtelgruppe P III (Zementputz),
- Herstellen einer „weißen Wanne“ aus einem Beton mit hohem Wassereindringwiderstand („WU-Beton“).

Da Dichtungsschlämmen und Sperrputze bis zu einem gewissen Grad diffusionsoffen sind, können auch Salze in Richtung der innenseitigen Wandoberfläche transportiert werden. Es ist daher empfehlenswert, diese Systeme mit einem Sanierputz zu kombinieren. Aufgrund ihres hohen Porenvolumens speichern Sanierputze in hohem Maße auskristallisierte Salze. Auch bei der Herstellung von Abdichtungen wie der „Schwarzen Wanne“ und der „Weißen Wanne“ ist vorbereitend eine Dichtungsschlämme aufzutragen, um die notwendigen feuchtetechnischen Randbedingungen für das nachfolgende Abdichtungssystem zu erreichen.

Wie vor dem Aufbringen einer Außenwandabdichtung, ist auch hier das Mauerwerk von allen losen Bestandteilen wie Putz, mürben Fugenmörtel oder entfestigten Ziegeln möglichst ohne den Einsatz von Wasser zu befreien. Anschließend ist, je nachdem, ob ein Sperrputz oder eine Dichtungsschlämme aufgebracht werden soll, der Untergrund mit einem Spritzbewurf zu versehen.

Innenabdichtungen sind aufgrund der bauphysikalischen Expositionen dem Risiko ausgesetzt, dass sich auf ihren Oberflächen Kondenswasser bilden kann. Hier ist zu überlegen, ob durch das Aufbringen eines wärmedämmenden Putzes die Kondenswasserbildung vermeidbar ist.

1.4.4.2 Dränage

Als Drainage wird im Bauwesen eine Anlage für das unterirdische Abführen von Wasser bezeichnet. Durch Rohre mit einer durchlässigen Wandung wird im Boden anstehendes Wasser gesammelt und von den Bauwerken oder den bebauten Flächen abgeleitet.

Die DIN 4095 beschreibt die Anforderungen an eine funktionsfähige Drainage. Dränagen bestehen aus einer wasserdurchlässigen Schicht (Flächendrainage), die den gesamten erdberührten Teil des Bauwerkes umgibt, einem Rohrleitungssystem (Drainagerohre) zum Ableiten des in der Flächendrainage anfallenden Wassers und aus Revisionsschächten zur Wartung und Kontrolle sowie aus Übergabeschächten. Das abgeleitete Wasser wird an einem Tiefpunkt gesammelt und von dort mit natürlichem Gefälle, ansonsten z. B. mithilfe einer Hebeanlage, in die Vorflut eingeleitet.

Nach den gültigen Regelwerken sind Dränagen nicht als Abdichtungsmaßnahme zu begreifen. Sie stellt eine flankierende Maßnahme zur Ableitung anfallenden Wassers dar, bevor es den Baukörper erreicht („Wasser weg vom Bau“) oder dient dazu, die Wassereinwirkungsklasse nach DIN 18533 zu reduzieren. Wenn durch eine erfolgreiche Dränung nach DIN 4095, ein Aufstauen von Wasser verhindert wird, können die Sohle und die

Außenwände des Bauwerks auch in wenig durchlässigen Böden ($k < 10–4$ m/s) gegen den Lastfall „Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser“ abgedichtet werden.

Eine Drainage besteht nach DIN 4095:1990-06 „Dränung zum Schutz baulicher Anlagen“, aus:

- einer Kiesschicht zur Fassung des anstehenden Bodenwassers,
- einer Filterschicht aus Dränagekies und einem Filtervlies, damit kein Bodenmaterial in die Dränagerohre eindringt,
- Dränagerohren zur Aufnahme und Ableitung des Wassers, mit einem Gefälle von mind. 0,5 % in Richtung der Hebeanlage verlegt,
- Revisionsschächten an allen Richtungsänderungen der Dränge zur Wartung und Inspektion, damit Spülungen und Kamerabefahrungen durchgeführt werden können,
- einer Ableitung des Dränagewassers aus den Sammelrohren in den Regenwasserkanal, die über ein geschlossenes Rohr erfolgen sollte.

Der Anschluss der Dränage an die Regenwasserkanalisation muss rückstaufrei über einen Übergabeschacht mit automatisch arbeitender Hebeanlage erfolgen. Als Drainagerohre an Gebäuden müssen Kunststoffrohre aus PVC (Polyvinylchlorid hart) nach DIN 1187 (Form A) oder DIN 4262-1 verwendet werden. Gemäß DIN 4095 müssen die Rohre geradlinig verlegt werden, was nur mit (steifer) Stangenware erreicht wird (Abb. 1.117). Die häufig verwendete flexible Rollenware ist grundsätzlich für den Einsatz in der Landwirtschaft, im Garten- und Landschaftsbau sowie im Sportplatzbau konzipiert, nicht jedoch für eine Dränage an Gebäuden nach DIN 4095.

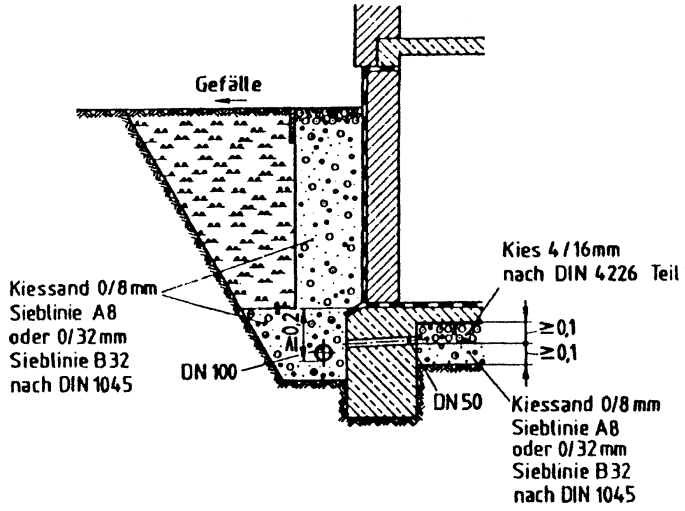


Abb. 1.117 Dränage nach DIN 4095. (Quelle: ILS Hamburg)

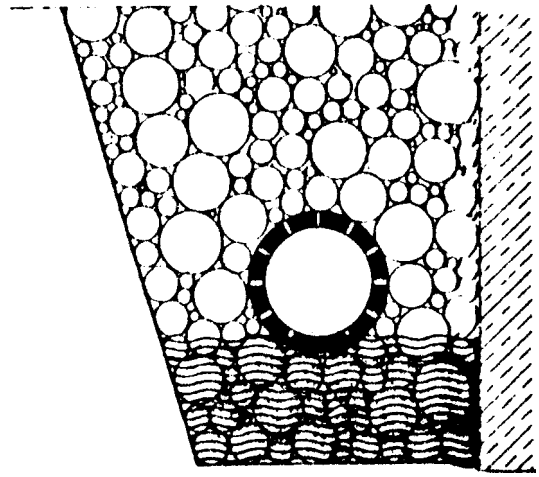


Abb. 1.118 Die normgerechte Verlegung eines Dränagerohres ist am Altbau oft ungeeignet, weil sich unter der Dränage Wasser sammeln kann, das in das alte Fundament eindringt. (Quelle: ILS Hamburg)

Der Hochpunkt der Dränagerohrsohle darf nicht mehr als 20 cm unter der Oberkante der Kellersohle angeordnet werden. Der Rohrscheitel (oberer Teil des Dränagerohrs) darf an keiner Stelle die Oberkante der Kellersohle übersteigen. Bei der Verlegung an Bestandsbauten sollte die Dränge in Höhe der Unterkante des Fundamentes, oder noch darunter angeordnet werden, um eine Vernässung des feuchtedurchlässigen Mauerwerks zu vermeiden (Abb. 1.118).

Die Dränge ist in einer Filterschicht mit umlaufenden Filtervlies zu verlegen, um sie vor dem Einschlämmen von Feinteilen zu schützen. Dränageleitungen müssen stets ein ausreichendes Gefälle von mindestens 0,5 % aufweisen. Deshalb verlegt man Dränageleitungen auf einer Sauberkeitsschicht, die vorzugsweise aus einer Unterlage aus Magerbeton besteht. Damit lässt sich das Gefälle kontrollierbar ausrichten. Verlegt man die Dränage jedoch auf einer Sickerlage, wird unterhalb der Dränage ein Wasserreservoir geschaffen, das beständig Wasser an das Fundament abgibt. Oberhalb der Dränageleitung ist bis hinauf zur Geländehöhe eine Sickerpackung als Verfüllung einzubringen, damit das Oberflächenwasser zuverlässig in die Dränageleitung gelangen kann. Mithilfe von Reinigungsschächten kann man Dränagen säubern, indem sie mit unter Druck stehendem Wasser durchgespült werden.

Der Anschluss der Dränage an Misch- oder Schmutzwasserkanäle ist ausgeschlossen, denn bei einem Abwasserrückstau würde die Dränage derart stark verschmutzt werden, dass ihre Funktion weitgehend eingeschränkt würde. Sofern ein Anschluss an einen Regenwasserkanal oder einen freien Vorfluter (Gewässer) erfolgt, ist eine Rückstausicherung unerlässlich (DIN 4095 5.5).

Nicht fachgerecht hergestellte Dränagen tragen eher zur Durchfeuchtung des Bauwerks bei. Dies insbesondere dann, wenn auch im Innenbereich eine Dränge angeordnet und an die äußere Dränage angeschlossen wird, ohne dass das Wasser direkt abgepumpt wird. Bei Anschluss an eine vorhandene Grundwasserleitung dürfen wegen des Risikos der Rückspülung beide Systeme auf keinen Fall miteinander verbunden werden.

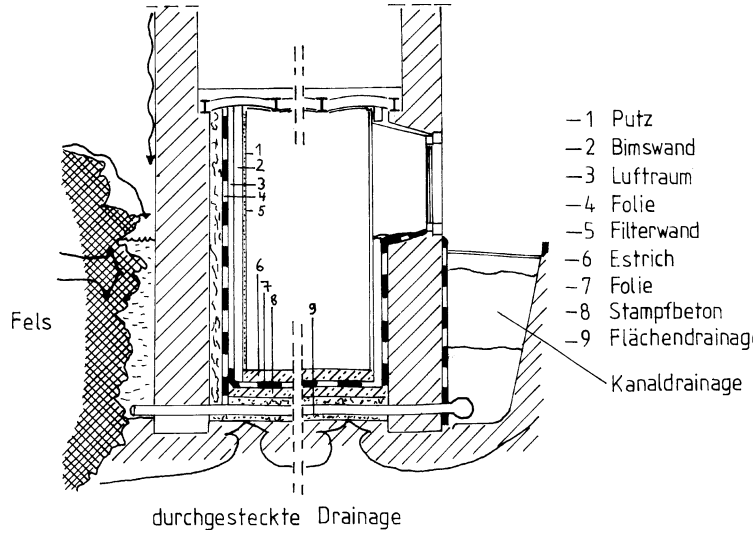


Abb. 1.119 Durchgestreckte Dränage bei unzugänglicher Gebäuderückwand. (Quelle: ILS Hamburg)

Arbeitsschritte bei Herstellung einer kombinierten Außen- und Innendränage (Abb. 1.119):

1. Freischachten und Instandsetzen der zugänglichen Fundamente,
2. Entfernen des Erdreichs im Gebäude bis in Höhe der Fundamentsohle,
3. punktuelles Durchbrechen der unter Wasserdruck stehenden Wände, eventuell Wasserhaltung,
4. Einlegen von Dränageenden in die Durchbrüche und Anschluss an die Grundleitungen. Fachgerechtes Abdichten der Wanddurchbrüche. Die Flächendränage dabei wegen des Risikos einer Rückspülung nicht mit der Außendränage verbinden,
5. Flächendränage in Kies,
6. Dränagewand errichten,
7. Folie der Dränagewand und des Bodens am Stoß verschweißen,
8. Vormauerung herstellen,
9. Estrich einbauen,
10. begleitende Maßnahmen wie die Instandsetzung der Fundamente entsprechend der anerkannten Fachregeln,
11. liegt der Kanal höher als die Dränage, so ist eine Entwässerung nur über eine Hebeanlage außerhalb des Gebäudes möglich.

1.4.4.3 Entsalzung von Mauerwerk

Mit den heute bekannten Verfahren zur Entsalzung von Bauwerken oder Einzelobjekten lässt sich die Salzbelastung zwar nur in wenigen Fällen gänzlich beseitigen, jedoch bieten viele Methoden die Möglichkeit einer weitgehenden Reduzierung der Salzbelastung. Nach der Wirkungsweise der Verfahren zur Salzreduzierung ist eine Unterteilung in

- mechanische Verfahren,
- chemische Verfahren und
- physikalische Verfahren

möglich. Tab. 1.19 bietet einen Überblick der gebräuchlichsten Verfahren.

Die derzeitig wirksamste Methode im Bauwesen, der Sanierputz, ermöglicht die Einlagerung von Salzen, die im Wasser gelöst in Richtung der Bauteiloberfläche transportiert werden. Ist ein Sanierputz gesättigt bzw. ist die Aufnahmekapazität erschöpft, muss der Putz ausgetauscht werden, daher wird Sanierputz auch als „Opferputz“ bezeichnet. Sanierputze haben nicht die Eigenschaft, eine Feuchtebelastung im Mauerwerk nachhaltig zu reduzieren oder die Schadensursache zu beheben. Sie schränken jedoch aufgrund ihrer offenporigen Struktur den Feuchtetransport nach außen, im Gegensatz zu einem sehr dichten Putzgefüge, weit weniger ein. Tab. 1.20 zeigt mögliche Schichtenfolgen bei Sanierputz-Systemen in Abhängigkeit vom Versalzungsgrad auf.

1.4.4.4 Schutzsysteme für die Ziegelfassade

Für die Instandsetzung der Oberflächen von Ziegelfassaden existiert eine Vielzahl von Einzelverfahren. Voraussetzung für deren Anwendung ist, dass keine konstruktiv oder statisch bedingten Schadensursachen bestehen. Gleiches gilt für Schäden am Gebäude, die zu einem Feuchteeintrag in das Mauerwerk führen oder geführt haben, wie z. B. Defekte an der Dachentwässerung oder aufsteigende Feuchte im Sockelbereich. Erst nach der Beseitigung dieser „tieferliegenden“ Schadensursachen ist eine oberflächenhafte Überarbeitung von Fassaden, Wänden und Mauern sinnvoll.

Ziegelsystemlösung

Auf dem Markt werden zunehmend Systemlösungen angeboten, die von der Reinigung über die Reprofilierung und Imprägnierung bis hin zum abschließenden Farbauftrag in Material und Technologie abgestimmt sind. Die Anwendung von Systemlösungen muss dabei, wie auch bei jeder Einzelmaßnahme, auf das jeweilige Objekt bzw. auf die vorhandenen Materialien und beeinträchtigenden Expositionen gezielt eingestellt sein. Tab. 3.14 zeigt beispielhaft die Arbeitsschritte und Komponenten einer Systemlösung auf.

1.4.4.5 Instandsetzung von Mauerwerksfugen

Die Ziegelfassade besteht nicht nur aus Ziegeln, sondern auch aus den dazwischenliegenden Fugen. Diese Fugen sind meist weniger dauerhaft als der Ziegel und werden damit häufig zum Schwachpunkt der Fassade. Hohe Feuchtigkeitsaufnahmen beider oder

Tab. 1.19 Übersicht Entsalzungsverfahren. (Nach P. Rauch u. a.)

Verfahren	Funktionsweise	Anwendung/Wirkungsweise
Entsalzung im Wasserbad	Salze wandern in das entionisierte Wasser, periodischer Wasseraustausch erforderlich	Bewegliche Objekte oder Ausbau von Steinen Substanzverlust durch Lösung von Bindemittel, Quellen von Tonmineralien
Kompressen, dauernass oder trocknend	Je nach Salzkonzentration ist mehrfacher Kompressenauftrag erforderlich 1. Trocknende Kompressen: Verlagerung der Verdunstungszone in feucht auftragende Kompresse 2. Dauernasse Kompresse: Vornässen, nass Auftragen der Kompresse, Nasshalten ⇒ Entsalzung durch Diffusion und Konzentrationsausgleich	Besonders guter Wirkungsgrad bei kleinen Objekten Liegen Salze vor, die verschiedene Hydratstufen bilden können, besteht die Gefahr von Substanzverlust an der Oberfläche, geringere Wirkung als Wasserbadverfahren
BIO-Kompresse	Effizientes und schonendes Entsalzungs- und Trockenlegungsverfahren auf Basis von textilen BIO-Kompressen in Form von Textil-Kunststoff-Verbunden und in Verbindung mit mikrobiologischen Wirkmechanismen	Soll derzeit übliche Produkte und deren Anwendungsverfahren hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit und Leistungsfähigkeit ersetzen bzw. wirkungsvoll ergänzen. Befindet sich in der Entwicklung
Injektionskompressen	Zuführung von Wasser über Bohrungen, Salzverdunstung in mit Packern befestigten Kompressen	Mauerwerk mit engem, regelmäßigem Fugensystem oder verputztes Mauerwerk Eingriff in die Steinsubstanz durch Bohrung, wenn kein geringer Fugenabstand vorliegt
Elektrophysikalische Verfahren	Durch Anlegen von Gleichspannung wandern Anionen, z. B. Cl^-, SO_4^{2-} zur Anode und Kationen wie Na^+, Mg^{2+} zur Kathode	Eingriff in die Steinsubstanz durch Bohrlöcher für Elektroden, Korrosion von Metallleitungen möglich
Salzumwandlung Mittel: $Ba(SO)_2$, $PbSiF_6$	Umwandeln leicht löslicher Salze in schwer lösliche Verbindungen (bei Verwendung von Salzsäure entsteht das stark hygroskopische Calciumchlorid, das in die Fugen eindiffundieren kann. Präparate auf Phosphorsäurebasis sind günstiger)	Bei nachfolgendem Putzaufbau Hochgiftig, nicht bei Nitraten wirksam, stöchiometrisch vollständige Umsetzung nur bei genauerer Kenntnis des Salzhaushalts, was in der Praxis nicht möglich ist
Hydrophobierung	Nitrate sollen durch Hydrophobierung gehindert werden, über das Anmachwasser in den Putz zu wandern, da Salzumwandlung bei Nitraten nicht wirksam ist	In Verbindung mit Putzauftrag, zur Vermeidung von Haftungsproblemen ist das Aufbringen eines Spritzbewurfs direkt anschließend an die Hydrophobierung notwendig Salze verbleiben im Mauerwerk, Feuchtigkeitstransport aus dem Mauerwerk erfolgt langsamer, da nur über Wasserdampfdiffusion; Gefahr der Schalenbildung, Putzablösung

Tab. 1.19 (Fortsetzung)

Verfahren	Funktionsweise	Anwendung/Wirkungsweise
Opferputz	Fugen zwischen Mauersteine tief auskratzen und Kalk auftragen, Salze lagern sich im Kalkputz ab	Einfache und Preiswerte Methode Standzeit bis fünf Jahre, dann wiederholen
Lehmschlempe	Nasser Lehm wird aufgetragen und die Salze lagern sich im Lehm ab	Mehrmalige Wiederholung
Sanierputz	Aufnahme von Salzen in das Porensystem des Putzes	Durch das Einwandern der Salze wirkt der Sanierputz als sog. Opferputz, der erneuert werden muss, wenn die Aufnahmefähigkeit erschöpft ist (Standzeit bis 8–10 Jahre). Gegenüber Kalkputz wesentlich teurer
Abbürsten von Salzausblühungen	Salzausblühungen oder Salzrasen werden durch leichte mechanische Einwirkung entfernt	Kleine Objektteile ohne merkliche Steinschädigung Temporär, keine Schadensbehebung
Maueraustauschverfahren	Die salzbelasteten Mauersteine werden durch neue ersetzt	Frei zugänglich, mit dauerhafter Wirkung Hoher Kostenaufwand, mögliche Rissbildung in den Wänden
Trockenlegungsverfahren	Die Feuchtigkeitszufuhr von außen wird unterbunden	Es werden nicht noch zusätzliche Salze in das Mauerwerk eingetragen, es kann zu einer leichten Verbesserung kommen Salze verbleiben im Mauerwerk beziehungsweise es kommt zu einer stärkeren Salzausblühung an der Oberfläche. Durch das Abbürsten tritt eine leichte Verbesserung ein
Verkleidung	Salzbelastete Wandfläche wird optisch abgedeckt	Im Zwischenraum oder Poren (vergl. Wie Sanierputz) kann sich das Salz ablagern, durch Lüftungsschlitze oder große Diffusionsfähigkeit kann die Feuchtigkeit abgeführt werden Salze verbleiben im Mauerwerk, unkontrollierbare Schädigung
Sperrputz	Salzbelastete und feuchte Wandfläche wird kurzzeitig optisch abgedeckt	In Verbindung mit Bohrlochverfahren „empfohlen“ Salze verbleiben im Mauerwerk, unkontrollierbare Schädigung, Feuchtigkeit kann nicht entweichen

Tab. 1.20 Aufbau eines Sanierputzsystems je nach Versalzungsgrad

Salze	Versalzungsgrad in Masse-%			Versalzungsgrad	Maßnahmen	Schichtdicke in mm
Chloride	< 0,2	0,2–0,5	> 0,5	Gering bis mittel System 1	1. Spritzbewurf 2. Sanierputz	Mind. 5
Nitrate	< 0,1	0,1–0,3	> 0,3			Mind. 20
Sulfate	< 0,5	0,5–1,5	> 1,5	Hoch System 2	1. Spritzbewurf 2. Grundputz 3. Sanierputz	Mind. 5
Bewertung	**Belastung gering**	**Belastung mittel**	**Belastung hoch**			Mind. 10
						Mind. 15

eines der beiden Baustoffe sind damit zumeist Ausgangspunkt von Schäden. Daraus resultiert die Frage nach einem effektiven Feuchteschutz, der die Saugfähigkeit von Ziegel und Fugenmörtel angleicht und die Gesamtwasseraufnahme der Fassade reduziert. Eine ausführliche Betrachtung der Thematik „Fugen und Instandsetzung von Fugen“ wird im Kap. 3 vorgenommen.

1.4.5 Fassadenreinigung und Imprägnierung

Die Auffassung, dass Schmutzkrusten eine wirksame Schutzschicht für den darunterliegenden Baustoff darstellen können, ist weit verbreitet; es handelt sich jedoch um eine Fehleinschätzung. Eine Schmutzschicht ist aufgrund ihrer großen inneren Oberfläche ein hervorragender Absorber für Feuchtigkeit sowie für gasförmige und partikuläre Schadstoffe. Diese reagieren meist an der Unterseite der Kruste und beschleunigen die Materialzerstörung, selbst wenn diese zunächst unsichtbar unter der Kruste verborgen bleibt.

So bestehen für die Reinigung die folgenden technischen und ästhetischen Gründe:

- Beseitigung von Risikofaktoren, wie Salzanreicherungen und Verzögerung der Trocknungsgeschwindigkeit;
- Vorbereitung des Untergrunds für weitere Konservierungsmaßnahmen durch Wiederherstellung der kapillaren Saugfähigkeit und Verbesserung der Haftung für die nachfolgenden Applikationen;
- Entfernung von optisch störenden Verschmutzungen.

Für jede Reinigung gilt: So intensiv wie nötig, jedoch so schonend wie möglich.

Neben chemischen Reinigungsprodukten wird in der Praxis auch das mechanische Wirbelstrahlverfahren angewandt.

Da sowohl die verschmutzten Untergründe als auch die Art und Stärke der Verschmutzung einer extrem großen Bandbreite unterliegen, ist die Vorhersage des jeweiligen geeignetsten Reinigungsprodukts häufig problematisch. Es empfiehlt sich daher, mit den infrage kommenden Produkten (Tab. 1.21) an einer repräsentativen Stelle jeweils Musterflächen anzulegen, um dann anhand der erreichten Resultate die richtige Wahl zu treffen.

Tab. 1.21 Reinigungsverfahren

Art der Reinigung	Lösung	Einsatzbereich
Chemische Reinigung	Kombireiniger	Entfernt Kalk- und Mörtelschleier
	Klinkerreiniger	Löst Mörtelreste, Kalk- und Kesselstein
	Schmutzlöser	Entfernt Schmutz, Schmutzkrusten, Staub, Öl- und Fettablagerungen
	Fassadenreinigerpaste	Löst starke urbane Verschmutzungen
	Abbeizer und Graffiti-entferner	Biologisch abbaubarer Abbeizer
Mechanische Reinigung	Wirbelstrahltechnik	Schonendste Reinigung von „Verschmutzungen“ aller Art

Das Fassadenschutzsystem besteht in seiner Anwendung aus einer Reinigung des Untergrunds und der anschließenden dampfdurchlässigen Imprägnierung.

Die Systembestandteile sind:

a) *Kalklöser* ist ein pulverförmiger Fassadenreiniger und Kalkentferner. Er ist fluss-, salz- und schwefelsäurefrei und beseitigt nach Auflösung in Wasser Ausblühungen, Kalk- und Zementschleier, Mörtelreste, Kalk- und Gipskrusten.
b) *Imprägniermittel* ist eine farblose, lösungsmittelhaltige Fassadenimprägnierung gegen Schlagregen, durchschlagende Feuchtigkeit und Salzausblühungen. Das Material ist auch auf leicht feuchtem Untergrund anwendbar.
   Es schützt damit alle saugfähigen, mineralischen und gipsfreien Untergründe wie Mauerwerk, Beton, Zement, Kalkputz, Kalksteine, Natursteine und Faserzement. Farbige Untergründe müssen lösemittelbeständig sein. Die Imprägnierung hinterlässt keinen Glanz und kann auch auf gipsfreien, leicht feuchten Untergründen zur Anwendung kommen.

Zur Reinigung wird die zu behandelnde Fläche zunächst leicht vorgenässt. Dann werden die Verunreinigungen unter Zuhilfenahme einer festen Bürste und des Kalklösers entfernt. Anschließend muss die gereinigte Fläche gründlich mit klarem Wasser abgespült werden (Abb. 1.120). Sollten sich nicht alle Verschmutzungen aufgelöst haben, ist dieser Vorgang zu wiederholen.

Nach erfolgreicher Reinigung kann bei trockener Witterung 48 h später mit einer Imprägnierung begonnen werden. Dazu wird Siloxan unverdünnt in die Siloxanspritze gefüllt und in einem ersten Arbeitsgang mit möglichst niedrigem Druck durch eine Breitschlitzdüse von oben nach unten aufgebracht. Die herablaufende Fahne sollte dabei eine Länge von 30–50 cm erreichen. Nach Beendigung des ersten Arbeitsganges erfolgt „frisch-in-frisch“ eine weitere Imprägnierung in der oben beschriebenen Arbeitsweise. Beide Arbeitsgänge können natürlich auch im Streichverfahren absolviert werden.



Abb. 1.120 Reinigung mit Sprühkopf. (Quelle: ILS Hamburg)

Die Imprägnierung sollte während der Verarbeitung und ca. drei Stunden nach dem Auftrag vor Regen geschützt werden und auch nicht bei direkter Sonneneinstrahlung aufgebracht werden.

1.4.6 Fassadensanierung mit Klinkerelementen

1.4.6.1 Entwicklung und Anforderungen

Gebäudeaußenseiten sind unter Nutzungsbedingungen wechselnden klimatischen Beanspruchungen ausgesetzt, müssen die Außenwand selbst als auch die dahinterliegenden Innenräume vor Feuchte und unbehaglichen Temperaturen schützen und sollen beeinträchtigende Schallemissionen vom Nutzer fernhalten. Gleichzeitig werden an die sichtbaren Flächen zudem besondere Anforderungen hinsichtlich des Erscheinungsbildes gestellt. Klinkerziegel erfüllen dank ihrer Eigenschaften fast jede dieser Anforderungen.

Allerdings sind die Anforderungen an die heutige Klinkergeneration mit einer gewaltigen Änderung verbunden, an die unsere Altvorderen kaum denken mussten – die Wärmedämmung.

Moderne Klinker sollen also nicht nur ästhetische Wirkungen zeigen, sondern auch den Forderungen der gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) genügen. Deshalb ist die neue Klinkergeneration in der Regel mit Hartschaum verbunden.

1.4.6.2 Produkte und Eigenschaften

Produkte

Moderne Klinkerelemente bestehen aus zwei Hauptbestandteilen. Einerseits den für äußeren Schutz und Ästhetik zuständigen, in vielen Farben und Oberflächenstrukturen vorhandenen Klinkerriemchen (Abb. 1.121). Der andere technologisch wichtige Bestandteil ist Expandiertes Polystyrol (EPS) für die Wärmedämmung.

Eine geeignete Wärmedämmung muss folgenden Kriterien entsprechen:

Hartschaum aus Polystyrol nach DIN 18164, Raumgewicht ca. 40 kg/m^3, güteüberwacht, Wärmeleitzahl $\lambda = 0{,}032$ W/(m K); Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 nach DIN 4108, schwer entflammbar gemäß DIN 4102-B1.

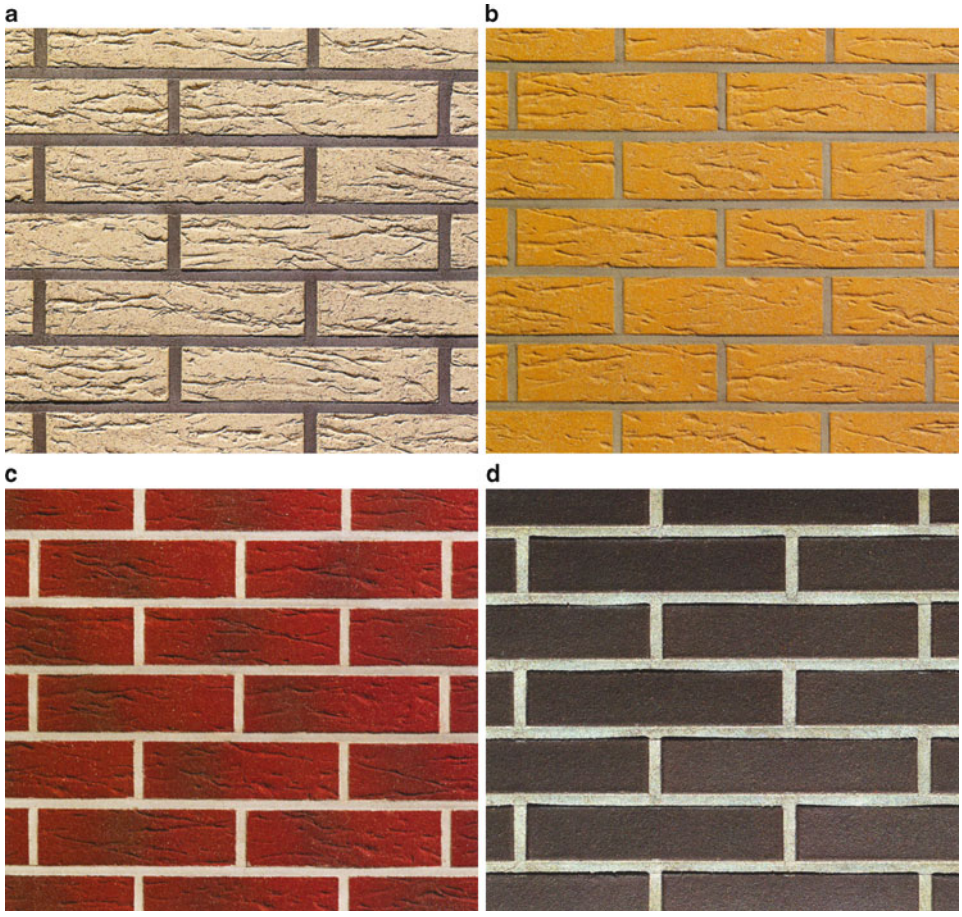


Abb. 1.121 Farbvarianten bei Klinkerelementen (Auswahl): **a** creme-weiß, **b** gelb besandet, **c** rot bunt rustikal, **d** braun glatt. (Quelle: ILS Hamburg)

U-Wert-Angaben (Wärmedurchgangskoeffizient) gebräuchlicher Klinkerelemente (Auswahl):

Isolierklinker 40 mit Dämmdicke 25 mm: 1,071 W/(m^2 K)
Isolierklinker 74 mit Dämmdicke 60 mm: 0,525 W/(m^2 K)
Isolierklinker 94 mit Dämmdicke 80 mm 0,404 W/(m^2 K)
Isolierklinker 114 mit Dämmdicke 100 mm 0,373 W/(m^2 K)

Das Gesamtgewicht (ohne Verfugung) einer Außenwandbekleidung mit Klinkerelementen beträgt ca. 26 kg/m^2 (Abb. 1.122).



Abb. 1.122 Klinkerelement auf EPS-Hartschaum. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.22 Abmessungen von Isolierklinkersystemteilen

Format der Elemente	40 mm Dicke	74, 94 und 114 mm Dicke
1/1-Element	1250 × 750 mm	1010 × 650 mm
1/1-Element mit Winkelstein	1250 × 750 mm	1010 × 650 mm
Hausecke/Fensterecke/Sturzecke[a]	247,5 × 247,5 × 750 mm	247,5 × 247,5 × 786 mm
Fensterecke/Sturzecke mit Stoßfuge[a]		247,5 × 247,5 × 786 mm

[a] Schenkeldicke im Leibungsbereich bei Fenster- und Sturzecken je 30 mm.

Eigenschaften

Polystyrol fault, schimmelt und verrottet nicht, besitzt keinen Nährboden für Mikroorganismen, weist eine hohe Alterungsbeständigkeit auf, ist chemisch und biologisch neutral, elektrostatisch nicht aufladbar und hat keine kapillare Saugwirkung. Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl nach DIN 4108 beträgt μ-Wert = 40/100.

Das bedeutet, dass Polystyrol den Wasserdampf fast ungehindert diffundieren lässt, während Wasser nicht aufgenommen wird. Aufgrund dieser Eigenschaften kann der Isolierklinker ohne Hinterlüftung direkt auf das Mauerwerk verlegt werden.

1.4.6.3 Montage

Klinkerelemente (Tab. 1.22) können auf fast jeden Untergrund montiert werden, ohne dass aufwendige Vorbehandlungen vorzunehmen sind. Fundamente sind nicht erforderlich, da jedes Isolierklinkerelement durch das Schraubensystem sich selber trägt. Alle gebräuchlichen Außenwandmaterialien sind als Untergrund geeignet, sei es alter Backstein, Bimsbeton, Poroton, Porenbeton, Schlackenstein, Kalksandstein, sogar ein poröser Klinkervormauerstein, verputzte und unverputzte Wände sowie Fertigteilhauswände. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Fertighäusern vorhandene Asbestzementfassaden vor

der Montage von einem dafür konzessionierten Unternehmen demontiert und entsorgt werden. Wasserdampfdichte Außenanstriche müssen perforiert werden. Nicht geeignet für die Verblendung mit Klinkerelementen sind dagegen Lehm- und Fachwerkwände.

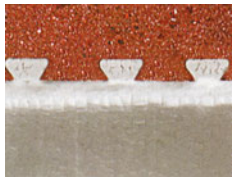
Untergrundvorbereitung

Lose Putzstellen sind zu entfernen und mit Mauer- und Putzmörtel auszubessern. Extrem vorspringende Unebenheiten sind zu egalisieren. Kleinere Vertiefungen müssen mit Bauschaum oder festem Hartschaum „aufgefüttert", größere mit Mauer- und Putzmörtel ausgeglichen werden.

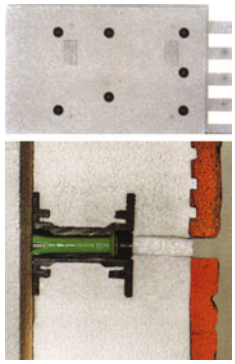
Dampfdurchlässige Anstriche können auf der Fassade verbleiben. Dampfundurchlässige bzw. dampfbremsende Anstriche sind zu entfernen oder ausreichend zu perforieren, damit sie wieder dampfdurchlässig werden.

Arbeitsschritte

Tab. 1.23 Arbeitsschritte

Schwalbenschwanz	
	Der Isolierklinker wird seit über 40 Jahren für die Verklinkerung von Außenwänden eingesetzt. Die Elemente bestehen aus hochwertigen Markenklinkern, ca. 17 mm dick, die mit Hartschaum aus Polystyrol, formschlüssig (ohne Kleber) verbunden sind. Die Dämmdicken 25, 60, 80 und 100 mm sind erhältlich
Verzahnung und Nut-Feder-Verbindung	
 	Längsseiten mit Nut und Feder (bei 25 mm Dämmung Längsseiten mit Überfalz), Stirnseiten mit Überfalz und zusätzlicher Verzahnung sowie V-Nut Klinker im Läuferverband, mit 1/2 Versatz, Fugenbreite: ca. 14 mm (bei 25 mm Dämmung ca. 10 mm), vorbereitet für die Verfugung nach Montage

Tab. 1.23 (Fortsetzung)

Befestigungshülse Querschnitt und Elementrückseite	
	Je Isolierklinkerelement sieben eingeformte Befestigungshülsen (bei 25 mm Dämmung 14 Hülsen), die eine konstante Verankerung der Elemente ermöglichen Die Befestigung erfolgt mit Nirostaschrauben (A4), alternativ mit korrosionsgeschützten Schrauben und Durchsteckdübeln. Bei den Dämmdicken 60, 80 und 100 mm werden die Schraubenköpfe mit Styroporstöpseln zur Vermeidung von Wärmebrücken abgedeckt
Winkelstein	
	Auf die konventionelle Starterschiene kann bei der Verklinkerung ab der Oberkante des Sockels verzichtet werden, da die Systemteile der unteren Elementreihe mit einem Winkelstein ausgeführt werden, sodass sich auch von unten eine steinige Ansicht ergibt
	Bevor dann das erste 1/1-Element mit/ohne Winkelstein montiert wird, muss wie bei jedem folgenden ersten Element einer Lage aus der überstehenden Verzahnung (linke Seite) das Polystyrol entfernt werden, sodass sich diese Verzahnung in die Hausecke einpassen lässt. Die 1/1-Elemente sind mit der überstehenden Verzahnung nach links bzw. mit der Feder nach oben zu verlegen. Die Verbindung mit Überfalz und zusätzlicher Verzahnung sowie die Verbindung der Längsseiten mit Nut und Feder garantieren die Schlagregendichtigkeit, verhindern Wärmebrücken und sorgen für ein versatzloses Verlegen der Elemente in einer Ebene. Jede zweite Lage ist von links mit einem 1/2-Element zu beginnen, um einen Versatz der Stöße zu erreichen. Die 1/2-Elemente sind aus 1/1-Elementen herzustellen. Als Ersatz für die dabei teilweise fehlenden Befestigungshülsen sind die mitgelieferten Alu- bzw. T-Plättchen zur Druckverteilung einzusetzen

Befestigungsmittel

Klinker werden grundsätzlich mechanisch befestigt. Je nach Typ und Untergrund kommen Rahmendübel, Dübel mit Schrauben oder Schrauben mit Reduzierhülsen zum Einsatz. Es dürfen nur bauaufsichtlich zugelassene Fassadendübel mit Schrauben verarbeitet werden. Für das Einkleben von Einzelsteinen eignet sich besonders transparentes Silikon. Bei Einsatz anderer Kleber dürfen in jedem Fall nur lösungsmittelfreie Produkte bzw. spezielle Polystyrolkleber verwendet werden.

Um ein einheitliches Fugenbild zu erhalten, ist darauf zu achten, dass die Stoßfugen immer lotrecht übereinanderliegen.

Für den Fall, dass Markisen, schwere Lampen, Satellitenantennen, Vordächer etc. befestigt werden sollen, ist der Hartschaum inkl. Riemchen an den Befestigungspunkten zu entfernen und durch Hartholz oder einen ähnlich druckbelastbaren Werkstoff zu ersetzen.

Bei relativ unebenen Untergründen wird die Verlegung auf einer Unterkonstruktion empfohlen.

Fensterbänke Als Fensterbankmaterial können beispielsweise Granitstein, Klinkerplatten oder Aluminium eingesetzt werden.

Verfugung Nach erfolgter Montage muss der Isolierklinker handwerklich verfugt werden. Dafür kann Werkmörtel verwendet werden. Als Standardfarben werden unterschiedliche Grautöne angeboten, jedoch kann durch die Zugabe alkalibeständiger Pigmente nahezu jeder gewünschte Farbton erreicht werden.

Der Fertigmörtel ist erdfeucht und unter gleichmäßigem Druck einzubringen. Die Fassade darf nicht vorgenässt werden, da die Materialien nicht oder nur sehr gering saugfähig sind. Die Klinkerfläche muss nach der Aushärtung des Fugenmörtels mit handelsüblichen Steinreinigern oder verdünnter Essigsäure abgesäuert bzw. nachgewaschen werden.

Die jeweiligen Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind dabei unbedingt zu beachten.

Abdichtung Alle Anschlusspunkte sind nach erfolgter Verfugung dauerelastisch mit dafür zugelassenen Dichtstoffen abzudichten.

1.4.7 Nachträgliches Herstellen einer Vormauerschale

Ist aufgrund erheblicher Schäden an der Oberfläche des Bestandsmauerwerks eine Instandsetzung, z. B. durch Reprofilierung oder den partiellen Austausch aus Ziegeln wirtschaftlich nicht vermittelbar oder ist eine Neugestaltung der Fassade gewünscht, kann die Herstellung einer Vormauerschale zweckmäßig sein. Neben den sich bietenden Gestaltungsvarianten besteht zugleich die Gelegenheit, die Wärmedämmeigenschaft der Außenwand signifikant positiv zu beeinflussen. Insbesondere bei porigem, sehr kapillaraktivem Mauerwerk aus Altziegeln stellt die nachträgliche Vormauerschale eine adäquate Möglichkeit zur Verbesserung des Feuchteverhaltens der Wand und somit auch zur Erhöhung des Wärmeschutzes dar.

Der Feuchteschutz umfasst bei der Vormauerschale den Stein und die Fuge (Mörtel). Die Feuchteregulierung sollte dabei im Wesentlichen im Stein selbst erfolgen. Ziegel mit einer weniger dichten Scherbe verzögern den Wasserdurchtritt und saugen auch Wasser aus dem Mörtel. Klinker mit einer dichten Scherbe „drücken“ dagegen auf die Fuge.

Alle Mörtelfugen sollten vollständig gefüllt und der Mörtel haftschlüssig sein. So werden Wassereintritt und Wassereinschlüsse weitgehend vermieden und die Kausalkette „Hohlraum-Wasserstau-Ausblühungen“ gestoppt. Die Verwendung von Zementmörtel in der Fuge wirkt sich dabei eher negativ aus, weil er dampfbremsend wirkt. Als beste Methode der Verfugung gilt der Glattstrich, da an der eben und glatt ausgeführten Oberfläche der Verfugung anfallendes Wasser schnell abfließen kann. Fugenbilder mit gestalterisch bedingten Rauigkeiten, Tiefen oder Aushöhlungen dagegen fördern den Wasserstau.

Schließlich gehört zur Schadensvermeidung eine belastbare Vermauerung, dass bedeutet die Beachtung der bekannten Maurerregeln wie beispielweise die konsequente Einhaltung des Überbindemaßes und die ausreichende Anordnung von Dehnungsfugen. Dies und ein möglichst heller Stein (dunkle Farbe = hohe Oberflächentemperatur) verhindern statische sowie thermische Rissbildungen, in deren Folge das Risiko für Feuchtezutritte von außen ansteigt.

Aufgrund der exponierten Lage besteht die höchste Schadensanfälligkeit an horizontalem Mauerwerk. Daher sollten Mauerkronen, Rollschichten, Fensterbänke aus Ziegln sowie anderen kapillaraktiven Materialien (auch wenn mit Neigung ausgeführt) nach Möglichkeit vermieden werden. Es wird empfohlen Abdeckungen aus geeigneten Materialien, die witterungsbeständig sind und einen ausreichenden Überstand und Tropfnasen aufweisen, anzuordnen.

Um zukünftige Feuchteschäden durch die Anordnung einer nachträglichen Vormauerschale zu vermeiden, sollten die nachfolgend genannten Schadensursachen bekannt sein und in der Ausführung beachtet werden.

Typische Mängel an Vormauerschalen

- Mörtelbrücken zwischen Verblend- und Innenschale,
- keine Tropfscheibe auf den Drahtankern,
- wasserdurchlässiger Wärmedämmstoff (bei Kerndämmung),
- fehlerhafte Abdichtung, Entwässerung in den „Fußbereichen“,
- Abdichtung an der Innenschale nicht ausreichend hochgeführt; nicht vollständig verklebt (verschweißt), vor allem in den Eckbereichen, oder beschädigt,
- keine bzw. nicht ausreichend wirksame Entwässerung des „Fußbereiches“ – keine Entwässerungssteine; keine bzw. zu wenig offene Stoßfugen; behinderte Entwässerung durch Mörtelreste.

Vermeidung von Schäden

Um die zuvor benannten typischen Mängel bei der Errichtung von Vormauerschalen zu vermeiden, sind u. a. nachfolgende Hinweise zu beachten:

a) Sorgfältiges Mauern vermeidet Mörtelbrücken;
b) Entfernen der Mörtelreste über erst später geschlossene „Öffnungen“ (nachträglich eingesetzte Mauersteine); Anordnen einer Entwässerungsschicht auch in einer zweiten und ggf. dritten Schicht;
c) Schutz der Abdichtung während der Ausführung.

Instandsetzung
Sind feuchtebedingte Schäden an Vormauerschalen im Bestand zu beseitigen, kann wie folgt vorgegangen werden:

a) Bei möglicher Lokalisierung: Öffnen und Instandsetzen des Verblendschalenbereichs. Anderenfalls – soweit erfolgversprechend – Hydrophobierung der Verblendschale oder, wenn Akzeptanz besteht: Aufbringen eines wasserabweisenden Putzes. Bei großflächiger Durchfeuchtung kann unter Umständen nur eine Neuerrichtung der Verblendschale Abhilfe schaffen;
b) bereichsweise das Verblendmauerwerk entfernen und die Abdichtung bzw. die Entwässerung erneuern.

1.4.8 Rissinstandsetzung und Risssanierung

Werden Rissschäden (selbst Kleinere) nicht behoben, so sind auf Dauer Folgeschäden an der Bausubstanz absehbar. Meist bedingen Feuchtezutritte das Aufquellen oder Schwinden des Putzuntergrundes, z. B. bei Mischmauerwerk oder bei Baustoffen, die aufgrund ihrer hygroskopischen Eigenschaften eine besonders hohe Feuchtigkeitsaufnahme aufweisen. Häufige Ursache für das Auftreten von Rissen an der Fassade sind eine stark unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der Materialien, Bewegungen des Bau- oder Putzuntergrundes (z. B. Setzungen), eine mangelhafte Vorbereitung des Putzgrundes sowie die Verwendung von Putzmörtel mit zu hoher Festigkeit.

Vor der Planung einer Rissinstandsetzung sind die Rissbildungen hinsichtlich der für die Auswahl des geeigneten Verfahrens und der dabei einzusetzenden Materialien wesentlichen Merkmale zu untersuchen. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Beurteilung der nachfolgend aufgeführten Kriterien zu legen:

- Rissursache (z. B. konstruktiv, thermisch, physikalisch, chemisch),
- Rissbreite und -länge,
- Rissverlauf (geradlinig, abgetreppt, durchbrochen),
- Risstiefe (Oberflächen- oder Trennriss),
- Versatz der Rissufer,
- Rissbreitenänderungen,
- Verschmutzungen der Rissflanken und
- Feuchtezustand (trocken, zeitweise oder dauerhaft vernässt).

Mögliche Risssanierung

Die Entscheidung, welches Verfahren zur Risssanierung angewendet werden soll, richtet sich im Wesentlichen danach, ob

- die Rissursache statisch-konstruktiv begründet ist,
- Druck- oder Zugbeanspruchungen aufzunehmen sind,
- Rissbreitenänderungen zu erwarten sind (dynamisch oder nicht dynamisch),
- die Risse über die Tiefe zu schließen sind oder ob lediglich eine intakte Oberfläche das Ziel ist,
- Einzelrisse oder flächig verteilte Rissbildungen zu sanieren sind.

Tab. 1.24 Rissinstandsetzungsverfahren (Auswahl)

Risstyp	Verfahren
Statisch-konstruktiv, nicht dynamisch	– Verfugen von Rissen und Fugen – Verpressen von Rissen und Hohlräumen im Inneren mit mineralischen Füllgütern – Abdichtende Tränkung von Rissen ohne Druck mit kunstharzbasierten Füllgütern – Injektion von kunstharzbasierten Füllgütern in Risse und Hohlräume, kraftschlüssig
Statisch-konstruktiv, dynamisch	– Verpressen von Rissen und Hohlräumen im Inneren mit mineralischen Füllgütern – Abdichtende Tränkung von Rissen mit kunstharzbasierten Füllgütern – Injektion mit kunstharzbasierten Füllgütern in Risse und Hohlräume, kraftschlüssig und/oder flexibel – Vernadelung – Einbau von Ankern oder/und Spanngliedern – Bewehren – Wärmedämmputzsysteme – Wärmedämmverbundsystem
Einzelrisse, nicht dynamisch	– Gefüllte Beschichtung – Starrer Rissverschluss – Rissverschluss mit Fugendichtstoff
Einzelrisse, dynamisch	– Flexibler Rissverschluss mit Fugendichtstoff – Rissüberbrückung mit Trennlage und Putzträger – Dehnfuge mit Fugendichtstoff – Dehnfuge mit Profil
Flächige Rissbildungen, nicht dynamisch	– Organische Beschichtungssysteme – Rissfüllende Beschichtungssysteme – Mineralischer kunststoffmodifizierter Oberputz oder Schlämme
Flächige Rissbildungen, dynamisch	– Organische Beschichtungssysteme, Rissbreitenänderung $\pm$ 0,1 mm – Mineralischer kunststoffmodifizierter Armierungsputz und Oberputz – Wärmedämmputzsysteme – Wärmedämmverbundsystem – Sanierputz

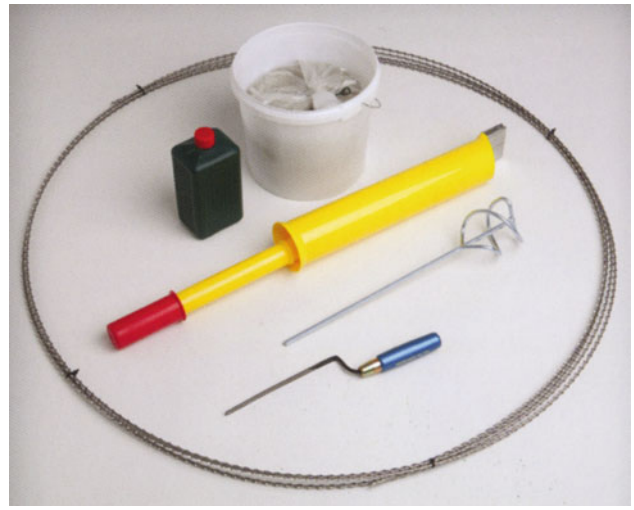


Abb. 1.123 Spiralanker. (Quelle: ILS Hamburg)

In der Praxis hat sich eine Reihe von Instandsetzungsverfahren etabliert, die für jedes Rissbild eine geeignete Variante bieten. Die erfolgreiche Risssanierung erfordert den zielgerichteten Einsatz geeigneter Verfahren und Produkte. Für die Instandsetzung von gerissenen Putzen und die Überarbeitung putzgrundbedingter Rissbildungen ist u. a. das WTA-Merkblatt 2-4 als Planungshilfe anzuführen (Tab. 1.24).

Verfestigungsmaßnahmen bei Bestandsmauerwerk sind beispielsweise infolge von Verwitterungen, chemischen Angriffen oder Nutzungsänderungen erforderlich.

Während durch Injektionen v. a. das Gefüge und die Drucktragfähigkeit des Mauerwerks erhöht wird, kann durch Vernadelungen mit dem Spiralankersystem die Zugtragfähigkeit wirkungsvoll und substanzschonend gesteigert werden. Nachfolgend werden drei häufig angewandte Verfahren und die dabei eingesetzten Materialien angeführt:

1. Injektionsleim zum Verfüllen und Verpressen von Rissverläufen und Hohlräumen im Mauerwerk;
2. Rissspachtel zum oberflächennahen, optischen Verschließen von Rissen geringerer Breite und Tiefe in Putz und Mauerwerk sowie als Voraussetzung für eine dauerhafte Rissbreitenbeschränkung;
3. innovatives Spiralankersystem zur kraftschlüssigen Flankenverbindung von Fassaden- und Mauerwerkrissen (Abb. 1.123).

1.5 Sanierung der Fachwerkfassade

Michael Stahr

1.5.1 Der Fachwerkbau

1.5.1.1 Bestand und Tendenzen

Fachwerk ist wohl die traditionsreichste Bauweise in Mitteleuropa. Schon rund 1000 Jahre vor Christi Geburt lassen sich weitentwickelte Fachwerkkonstruktionen nachweisen. In der Bundesrepublik Deutschland stehen heute noch 1,5 Mio. Fachwerkbauten. Es gibt sie im Norden unseres Landes ebenso wie im Süden. Sie haben unseren Städten und Dörfern ihr unverwechselbares Gesicht gegeben. Ihr Formenreichtum zeigt die ganze Vielfalt unserer gewachsenen Kulturlandschaft.

Fachwerkbauten haben immer Zeiten der Blüte und Zeiten des Niedergangs, Zeiten großer Wertschätzung und Zeiten der Nichtbeachtung erlebt – und in der Regel auch meist überstanden.

Das Fachwerkhaus gilt bei ordnungsgemäßer Wartung als beständiges und nachhaltiges Gebäude. Eins der derzeitig ältesten, ein rund 800 Jahre altes Gebäude, steht in Quedlinburg im Harz. Zweifelsohne haben zu dieser hohen Lebensdauer eine regelmäßige Wartung, Instandhaltung und Sanierung beigetragen (Abb. 1.124).

Natürlich sind im Laufe der Zeit viele Fachwerkbauten verändert worden. Ungefähr ein Dreiviertel liegt heute unter Verputz. Sie werden deswegen als Fachwerkkonstruktionen oft gar nicht wahrgenommen. Nicht immer wollte der Bauherr sein Haus auch als Fachwerkhaus zu erkennen geben. Aufgesetzte Putzfassaden sollten vielmehr mithalten mit dem im jeweiligen Zeitgeschmack errichteten Nachbarhaus. Dort aber, wo reiches, auf Sicht angelegtes Fachwerk erst später, vielleicht aus praktischen Erwägungen, verkleidet wurde, haben wir heute noch ein stadtgestalterisches und kulturelles Guthaben von großem Wert.

Viele Städte und Ortschaften haben sich in den vergangenen Jahren an dieses Guthaben erinnert und Fachwerkfassaden wieder freigelegt. Damit haben sie ein Gegengewicht zu der Uniformität mancher Neubaukomplexe geschaffen.

Unter den Aspekten des biologischen und des gesunden Bauens ist Fachwerk schlichtweg ideal. Die Hauptbaustoffe, das tragende Gerüst aus Holz und der raumabschließende Strohlehm in den Gefachen werden in der Diskussion um energiesparende Maßnahmen oft verkannt. Sie entsprechen nicht immer den heutigen Normvorschriften, ihre Fähigkeit zur Wärmespeicherung und zum Feuchtigkeitsausgleich bietet jedoch gute Voraussetzungen für ein angenehmes Raumklima; alles in allem also günstige Voraussetzungen zum Wohlfühlen. Dazu gehört auch die Nutzung der Ausfachungsvielfalt.

Das vielfach gegliederte Haus in Sommerhausen am Main (Abb. 1.125) zeigt ebenso wie die spätgotische Fassade (Abb. 1.126) aus dem Westerwald die Anmut und Lebendigkeit historischer Fachwerke.



Abb. 1.124 Fachwerkhaus. (Quelle: Gerner, Fulda)

Ausfachen heißt, die von Holzbalken umschlossenen Zwischenräume mit einem oder mehreren Baumaterialien auszufüllen. Am häufigsten findet man bei alten Fachwerkhäusern Ausfachungen aus Stakung (Holzstecken), Geflecht und Lehm, die sogenannte Strohlehmstakung. Außerdem sind Ausfachungen aus Lehmziegeln oder gebrannten Ziegeln üblich. Zerstörte Ausfachungen werden heute meist mit Vollziegeln, porosierten Ziegeln, Leichtbetonvollsteinen (Schwemmsteinen) oder Porenbeton ausgemauert. Dabei ist die Wärmedämmung wichtig. Am ursprünglichen Fachwerk war kein Metall, kein Nagel, keine Schraube. In der Regel kann Fachwerk ohne Stahl und Eisen ausschließlich mit Holzteilen instand gesetzt werden.



Abb. 1.125 Vielfach gegliederte Fassade. (Quelle: Deutsches Institut für Denkmalschutz Bonn)

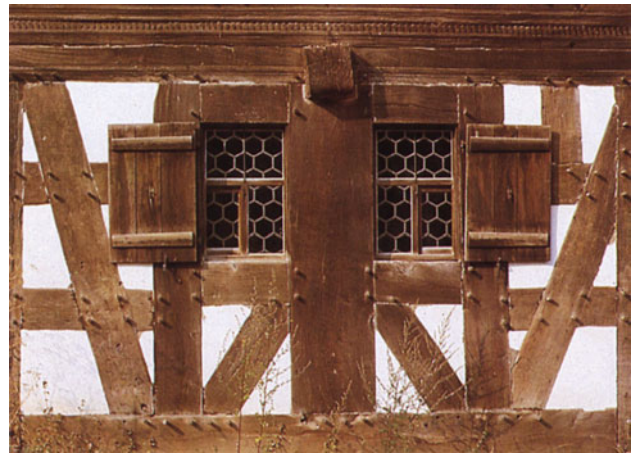


Abb. 1.126 Spätgotische Fassade. (Quelle: Deutsches Institut für Denkmalschutz Bonn)

1.5.1.2 Schwerpunktbetrachtung

Deutschland verfügt in seiner Bausubstanz über eine große Anzahl historischer Fachwerkgebäude mit hohem wirtschaftlichem und kulturellem Wert. Dieser Bestand ist durch unzureichende Pflege und ungeeignete Sanierungsmaßnahmen gefährdet (Abb. 1.127).

Die Pflege und Bauerhaltung von Fachwerkbauten war früher eine problemlose und selbstverständliche Aufgabe für Nutzer und Eigentümer sowie Handwerker. Alle Beteiligten kannten die Eigenschaften der wenigen verwendeten bzw. zur Verfügung stehenden Materialien. Heute ist diese Situation anders. Die Anforderungen an den Wohnkomfort sind deutlich gestiegen; noch drastischer die Arten und die Anzahl der angebotenen Baumaterialien. Dagegen sanken der Erfahrungsschatz und das Wissen um das Baugefüge „Fachwerk“ innerhalb der letzten zwei Generationen auf annähernd Null. Die Folgen sind dramatisch. Der weitaus größte Teil der heute an Fachwerkbauten zu beobachtenden Schäden rührt aus mangelhaften Maßnahmen der vergangenen Jahrzehnte.

Die Sanierung stellt nicht nur eine Verbesserungs- oder Instandsetzungsmaßnahme dar, sondern ist häufig auch ein erheblicher Eingriff in die Konstruktion mit weitreichenden bauphysikalischen Folgen, beispielsweise für das Innenraumklima. Das kann schon bei kleinsten konstruktiven Veränderungen weitreichende Folgen haben, da die Grundkonstruktionselemente überwiegend aus Holz bestehen.

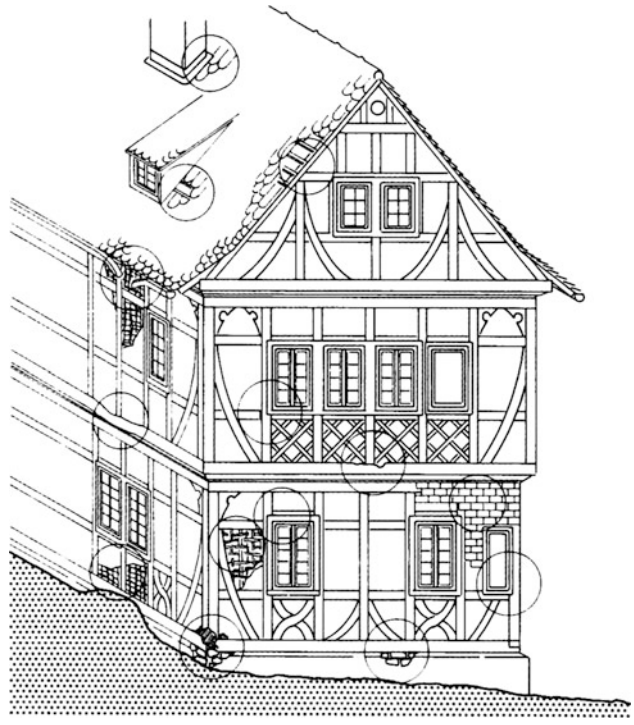


Abb. 1.127 Hauptschadenspunkte am Fachwerk: Ortgang, Traufe, Rinne, Fallrohre, Dachanschlüsse, klaffende und offene Holzverbindungen, eindringendes Wasser, Anschlüsse an Fenstersockel und an Nachbargebäude. Gründe für Schäden: Nässe, Fäulnis, Trockenfäule, Pilzbefall, Schwamm und Insekten. (Quelle: ILS Hamburg)

Schwinden und Quellen sind dabei ständige Begleiterscheinungen für die Bewegung der Holzbauteile.

Mögliche Folgen können Ablösungen des Gefaches von den Holzbauteilen oder Risse sein.

Daher ist Sanierungsart und -umfang, beispielsweise bei nachträglicher Dämmung, sorgfältig auf die Einzelsituation des Gebäudes abzustimmen.

1.5.2 Fachwerkkonstruktion

1.5.2.1 Fachwerkbau

Konstruktiv wird das Fachwerk der Skelettbauweise zugeordnet.

Wichtige Konstruktionselemente und ihre Funktionen sind der Abb. 1.128 zu entnehmen. Das Fachwerk ist eine tragende Holzkonstruktion, überwiegend aus Eichen- oder Fichtenholz.

Bei der Konstruktion und Ausführung und Sanierung ist deshalb stets zu beachten, das Holz ein anisotroper hygroskopischer Baustoff ist. Die Feuchtigkeit des Holzes passt sich demzufolge der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebung an. Die Holzkonstruktion quillt

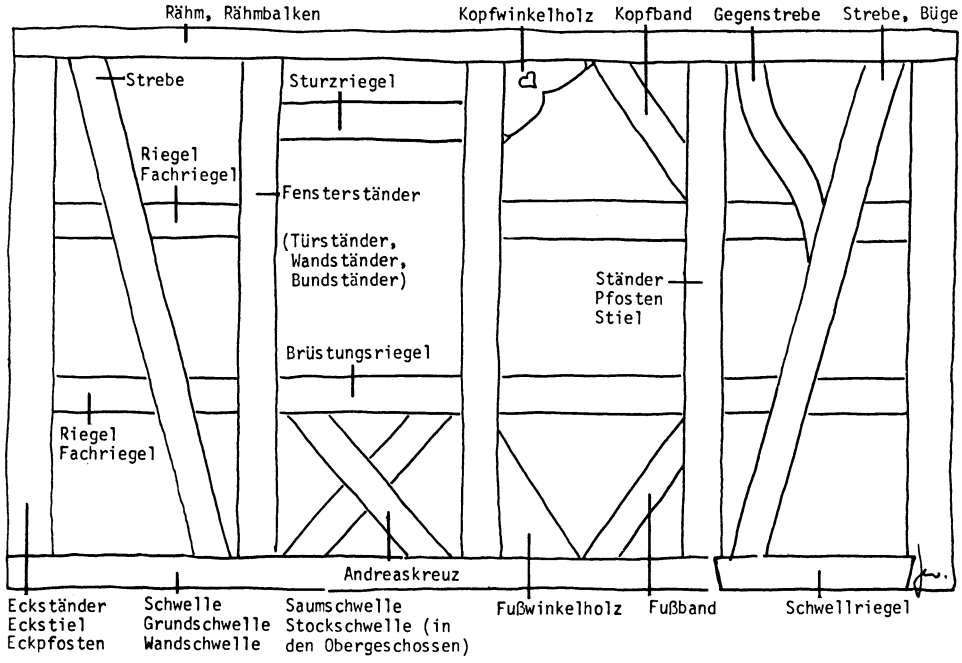


Abb. 1.128 Konstruktionsskizze zum Fachwerk mit ausgewählten Elementen. (Quelle: ILS Hamburg)

bei Feuchtezunahme (hohe Luftfeuchtigkeit) und schwindet bei Feuchteabnahme (niedrige Luftfeuchtigkeit). Das Holz ist also ständig in Bewegung. Das ist bei allen Planungen zum Bau und auch zur Sanierung zu berücksichtigen.

So unterschiedlich wie die Fachwerke in den verschiedenen Landschaften gebaut und geschmückt wurden, so unterschiedlich waren auch die Bezeichnungen für die Hölzer in den Fachwerkwänden (Abb. 1.128). Die in der Abbildung genannten Fachausdrücke haben sich allgemein durchgesetzt. Sie sind für bestimmte Hölzer vielfach beibehalten worden, auch wenn die Funktion sich geändert hat. So heißen die Fuß- und Kopfbänder, die früher mittels Blättern „gebunden" wurden, auch heute noch Bänder, obwohl sie über ihre Zapfen nur noch Druckkräfte weiterleiten können.

Legende zu Abb. 1.128:

Andreaskreuz	Fachwerkfigur, dem Jünger Andreas zugeschrieben, der mit Kopf und Händen nach unten gekreuzigt worden sein soll. Ursprünglich Runensymbol aus zwei schräg überkreuzenden Hölzern.
Band	Ursprünglich abgeblattetes, schräges Holz wie Schwert, Fuß- oder Kopfband zur Aufnahme vorwiegend von Zugkräften. Mit dem Wechsel von der Verblattung zur Verzapfung behielten die nur auf Druck beanspruchten Fuß- und Kopfbänder den Namen (diese müssten eigentlich Fuß- oder Kopfstreben heißen).
Brüstungsriegel/Brustriegel	Wandriegel in Brüstungshöhe, besonders der Riegel unter dem Fenster.
Büge	hölzerne Strebe, Band oder Winkelband.
Eckständer, Eckstiel, Eckpfosten	Auf dem Fundament (Schwellriegelkonstruktion) oder auf dem Schwellen stehender Ständer (Pfosten, Stiele) an den Gebäudeecken.
Gefach/Fach	von Fachwerkhölzern umschlossene Öffnung einer Wand (wird durch Ausfachung, Fenster oder Tür geschlossen).
Kopfband	Schräg angeordnetes, kürzeres Aussteifungsholz zwischen Ständer und Rähm, verblattet oder verzapft.
Rähm/Rähmholz (Rähmkranz)	Das den Rahmen aus Schwelle und Ständen oben abschließende Holz. Es wird auf die Ständer und Zapfen aufgesetzt.
Riegel/Querriegel/Fachriegel	zwischen die Ständer waagerecht eingezapfte Hölzer.
Schwelle, (Schwellenkranz)	Auf dem Fundament oder Mauerwerk ruhendes waagerechtes Holz, in das die Ständer eingezapft werden.

Ständer, Pfosten Stiel Zunächst ein direkt auf dem Fundament oder auf Stein- oder Holzplatten stehendes stützendes Holz im Fachwerkbau. Sie reichen über ein oder mehrere Geschosse. Lokal werden die allgemein senkrechten Hölzer der Fachwerkwand auch als Pfosten, Stiele, Stützen oder Säulen bezeichnet.

Strebe auf Druck beanspruchtes, eingezapftes schräges Holz zur Aussteifung.

1.5.2.2 Gefach

Konstruktive Aufgaben

Die Gefache stellen flächenmäßig den größten Teil der Wandkonstruktion des Fachwerks dar.

Statisch übernehmen sie eine aussteifende Funktion und bauphysikalisch beispielsweise den Witterungsschutz. Sie müssen also schlagregensicher und gleichzeitig diffusionsoffen ausgebildet sein. Wärmeschutztechnisch sind die Mindestdämmeigenschaften nach EnEV 2014 (aktualisiert 2016) zu berücksichtigen.

Die am häufigsten verwendeten Gefachematerialien (Abb. 1.129) sind:

- Lehmflechtwerk oder Strohlehmsteine meist in verputzter Ausführung,
- Ziegel und Naturstein meist als Sichtfachwerk.

Gefachmaterial

Lehmgeflecht Konstruktiv besteht das Lehmgeflecht aus senkrecht stehendem Hartholz – Staken, wahlweise mit eingeflochtenen biegsamen Ruten (Abb. 1.130). Diese werden anschließend mit Lehm beworfen.

Als Ausfachungsmaterial können auch Strohlehmwickel eingesetzt werden (Abb. 1.131).

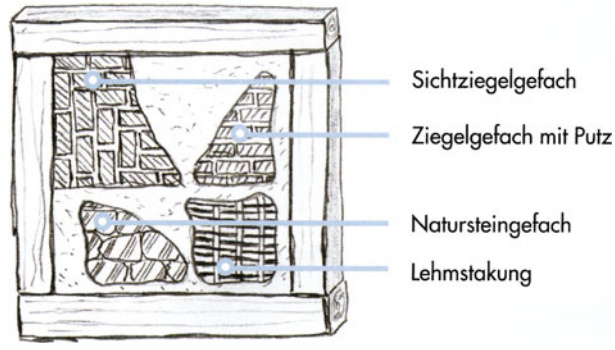


Abb. 1.129 Varianten unterschiedlicher Gefachematerialien. (Quelle: Grand, Dresden)



Abb. 1.130 Senkrecht stehende Holzstaken mit unterschiedlich dicht geflochtenen Weidenruten. (Quelle: Grand, Dresden)

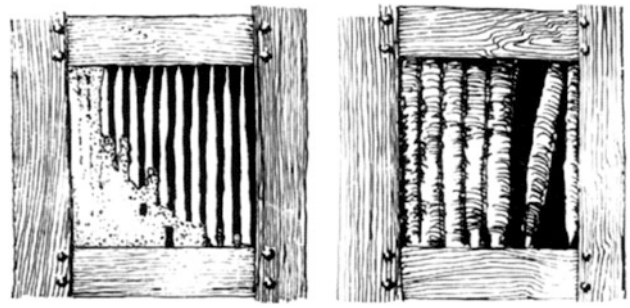


Abb. 1.131 Holzstaken *links* mit Lehmbewurf; *rechts* mit Strohlehmwickeln. (Quelle: Grand, Dresden)

Alle Varianten sind diffusionsoffen und kapillaraktiv. Sie könne die anfallende Feuchte aufnehmen und umverteilen. Bei der Ausführung von entstehenden Schwindrissen wird der Lehm befeuchtet und so lange verrieben, bis die Risse geschlossen sind.

Lehmflechtgefach eignet sich gut für eine Innendämmung.

Lehmsteine, Leichtlehmsteine und Strohlehmsteine Lehmsteine, Leichtlehmsteine und Strohlehmsteine bestehen aus einem Strohlehmgemisch mit unterschiedlichen Materialanteilen und Dichten. Beispielsweise hat Lehmstein eine Rohdichte von1200–2000 kg/m^3 und Strohlehm eine Rohdichte zwischen 400–1200 kg/m^3. Lehmsteine, Leichtlehmsteine und Strohlehmsteine sind diffusionsoffen, feuchteregulierend und weisen gute Dämmeigenschaften auf.

Die Herstellung erfolgt industriell oder von Hand und ist relativ wenig energieaufwendig. Dabei lassen sich die Dämmeigenschaften eines Lehmsteines durch einen zunehmenden Strohanteil verbessern.

Natursteine Die Anwendung von Natursteinen für Gefache war zu jeder Zeit v. a. aus statischen und bauphysikalischen Gründen problematisch. Sie haben eine hohe Wärmeleitfähigkeit und sind relativ diffusionsdicht. Natursteine sind auch aufwendig zu verarbeiten und stellen bei der Sanierung eine große Herausforderung dar. Es sollte daher genau geprüft werden, ob vorhandenes Natursteingefach im Rahmen der Sanierung durch geeigneteres Material ersetzt werden kann.

Ziegel Ziegel sind gebrannte Lehmsteine. Differierende Sand- und Tonanteile sowie verschiedene Brenntemperaturen ergeben unterschiedliche Ziegelarten. Als Gefachematerial sind Ziegel gut für Innendämmungen geeignet.

Historische Ziegel Augrund ihrer Zusammensetzung sind sie in der Regel nicht maßhaltig, nicht frostbeständig und von nur geringer Festigkeit. Wenn überhaupt eignen sie sich nur für verputzte Gefache.

Klinker Aufgrund des hohen Silikatgehalts und der Sinterungsbrennung verfügt der Klinker über gute Eigenschaften wie eine hohe Frost- und Witterungsbeständigkeit und eine geringe Wasseraufnahme. Klinker eignen sich daher sehr gut als Sichtmauerwerk im Gefach.

Vormauerziegel Sie sind frostbeständig, haben eine hohe Dichte und sind als Putzmauerwerk durchaus geeignet.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass noch Gefache aus Bohlen, Bruchsteinen, Vollziegeln, Porentonziegeln, Kalksandstein, Leichtbetonvollsteinen, Schaumbetonsteinen usw. zwar selten, aber dennoch zur Ausführung kommen können.

1.5.2.3 Putze und Anstriche

Innenputz Auf der Innenseite der Fachwerkwände werden üblicherweise Lehm- und Kalkputze aufgebracht. Sie enthalten sehr gute feuchtepuffernde Eigenschaften und wirken sich dadurch positiv auf das Raumklima aus.

Der Einsatz von Schilfrohrrabitz als Putzträger fängt das Schwind- und Quellverhalten der Holzbauteile weitgehend ab.

Außenputz Kalkputze oder Kalkputze mit geringen hydraulischen Anteilen kommen den Forderungen an den Außenputz auf Gefachen relativ nahe. Sie sind diffusionsoffen bei geringer kapillarer Wasseraufnahme. Eine Kombination aus Putz und Anstrich ergibt einen sicheren Schlagregenschutz.

Außenanstrich Der Anstrich muss auf den Untergrund abgestimmt sein und sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke (sd-Wert) sollte kleiner als 0,14 m sein;
- der Wasseraufnahmekoeffizient w sollte im Bereich von 0,1 ... 1,0 kg(m^2/h) liegen.

Altanstriche sollten restlos entfernt und durch diffussionsoffene und hydrophobe Kalkfarben, zweikomponentige Silikatfarben oder Dispersionssilikatfarben ersetzt werden.

1.5.3 Schäden an Fachwerken

1.5.3.1 Konstruktionsschäden

Fachwerk ist „in“. Es wird geschätzt, erhalten, saniert und gepflegt. Fachwerk ist in Mode. Ein nicht zu unterschätzendes Problem ist es aber, Gefahren abzuwehren, die aus falsch verstandener Liebe zum „Historischen“ entstehen. Das können sein:

- nicht fachwerkgerechte Sanierung und Modernisierung,
- Durchsetzung ungeeigneter Bauvorschriften,
- Erhaltungsmaßnahmen, die nur den schönen Schein erwecken sollen, nicht aber auf die Dauer angelegte Bestandssicherung abzielen,
- Kombination historischer Materialien wie Holz und Strohlehm mit ungeeigneten neuen Baustoffen,
- Attrappen, Aufgemaltes Aufgenageltes Aufgeputztes, vorgehängte Fachwerkimitationen,
- bauphysikalisch und ästhetisch fehlerhafte Verkleidung.

Nachfolgend stellt eine kommentierte Bildreihe die wesentlichsten „Sünden“ an Fachwerken dar. Grundlage für die textlichen Ausführungen und die zahlreichen Illustrationen sind die umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen und Publikationen von Herrn Prof. Manfred Gerner, Fulda (Gerner 1997).

Fachwerksünden

Attrappen und Modernisierungsfehler

Fachwerk in unglücklicher Reihung als modische Attrappe an einem Kaufhaus. Hier wird das einst stolze Baugefüge zu einer billigen Ansicht abgewertet (Abb. 1.132).



Abb. 1.132 Reihung. (Quelle: Gerner, Fulda)

Zerstörungen

Es gibt viele Möglichkeiten, ein Fachwerk zu zerstören. Die Gründe sind oft Unkenntnis oder Unverständnis. Das Bemühen um Erhaltung des historischen Erbes einerseits und Vernachlässigung der Bauunterhaltung andererseits ist oftmals nicht mehr zu beherrschen. Selbst mit unglücklicher Gestaltung lässt sich ein Fachwerkhaus völlig verfremden, wie hier durch die Gestaltung der Fenster (Abb. 1.133).

Bauauflagen

Bauaufsichtliche Auflagen machen bei Fachwerkhäusern manchmal den Ein- und Ausbau feuerbeständiger Treppenhäuser notwendig. Dafür gibt es gut gestaltete Beispiele. Hier aber erschlägt die ungegliederte „Tonne“ das Fachwerkhaus (Abb. 1.134).

Störung durch Ensembles und Einzelbauten

Das Fachwerkhaus aus dem 18. Jh. hat in der Umgebung viergeschossiger Hochhäuser nur noch einen „Knusperhauseffekt“. Historische Bezüge lassen sich hier nicht mehr erkennen. (Abb. 1.135)

Das prächtige spätgotische Haus mit Verstrebungsformen und dachschmückenden Viertelkreisfußbändern weist schon auf eine bewegende Baugeschichte hin. Der Krüppelwalm, der Verputz, die neuen Fenster und der Schaufenstereinbau machen es deutlich. Die ursprünglich kraftvolle, ästhetisch überzeugende Fassadengestaltung ist kaum noch wahrnehmbar. Hoffentlich schlägt sich die behutsame Sanierung der linken Haushälfte mit erkennbarer Rückführung der Fensterproportionen und -teilung auf ein dem Gebäude angemessenes Maß auch bald auf die rechte Seite nieder (Abb. 1.136).

Aufgenageltes und vorgesetztes Fachwerk

Fachwerkdekorationen aus aufgenagelten, aufgedübelten oder aufgeschraubten Brettern bzw. Bohlen sind die häufigste (Un-)Art der Fachwerkimitationen. Fachwerkbretter benutzte man auch zur Kaschierung von Wärmedämmungen (Abb. 1.137).

Phantasiegebilde als unechtes Fachwerk sind weit entfernt von konstruktiven Erfordernissen. Es liegt der Verdacht nahe, dass solche Fachwerksattrappen dazu dienen, Gestaltungsfehler zu kaschieren (Abb. 1.138).

Aufgemalt, aufgeklebt, aufgeputzt

Mit Beginn des Einsatzes von Fachwerkkonstruktionen war es üblich, einzelne Hölzer aus Sparsamkeitsgründen oder nach Reparatureingriffen durch „Aufmalung“ zu ergänzen. Das erfolgte durch erfahrene Handwerker und war ausschließlich dafür gedacht,



Abb. 1.133 Unglücklich „saniert“ schließlich nicht mehr zu halten. (Quelle: Gerner, Fulda)

Abb. 1.134 Ein Treppenhaus zerstört den Gesamteindruck einer Fachwerkfassade. (Quelle: Gerner, Fulda)





Abb. 1.135 Die Harmonie stimmt nicht. (Quelle: Gerner, Fulda)



Abb. 1.136 Ein völlig ästhetischer „Fehlblick“. (Quelle: Gerner, Fulda)



Abb. 1.137 Vorgehängtes Fachwerk. Auch eine „Möglichkeit“: Das historische Bauwerk wurde abgebrochen und durch einen Massivbau ersetzt. Die Fachwerkkonstruktion aus Holz wurde vorgehangen. (Quelle: Gerner, Fulda)



Abb. 1.138 Fachwerkattrappe vor einem Schaufenster. Ungegliederte durchgehende Schaufenster in einem Fachwerkensemble werden durch ein schlicht davorgestelltes „rustikales“ Fachwerk auch nicht besser. (Quelle: Gerner, Fulda)



Abb. 1.139 Inkonsequente Fachwerkbemalung. Was von Weitem wie ein Fachwerk aussieht, ist nicht mehr als eine architektonische Spielerei. Die Fachwerkbemalung der Reihenhäuser wird nach rechts immer schwächer und läuft schließlich ganz aus. (Quelle: Gerner, Fulda)

die Symmetrie ästhetisch zu ergänzen. Keinesfalls wurde damit eine Initiation des gesamten Fachwerks bezweckt (Abb. 1.139).

Fachwerk als Imitation, Attrappe oder Dekoration

Seit einiger Zeit ist es auch möglich, ehemals hölzerne Fachwerkelemente durch schaumgefüllte Kunststoffelemente zu ersetzen. Diese Kunststoffhölzer sind erhältlich als Knaggen, Kopfband, Profil- und Hirnholznachbildungen sowie andere Formteile (Abb. 1.140).

1.5.3.2 Modernisierungs- und Sanierungsfehler

Fachwerkhäuser sind durch ihre „vorgefertigte Baukastenweise“ besonders modernisierungsfreundlich, also leicht zu reparieren und zu sanieren. Moderne Komfort- und Ausstattungsdetails lassen sich komplikationslos einfügen, problematisch ist allerdings die Verbesserung des Wärmeschutzes.

Anstatt die hohen Werte der EnEV 2016 anzustreben, sind geeignete und bewährte Dämmungen (z. B. durch Lehmputze oder natürliche Dämmstoffe) und eine moderne Regelungstechnik sowie die Nutzung von erneuerbaren Energien anzustreben.

Leider besteht auch für Fachwerke die Gefahr, „kaputtsaniert“ zu werden. Eine falsche Beurteilung bauphysikalischer Grundregeln, die Unkenntnis des Zusammenwirkens alter

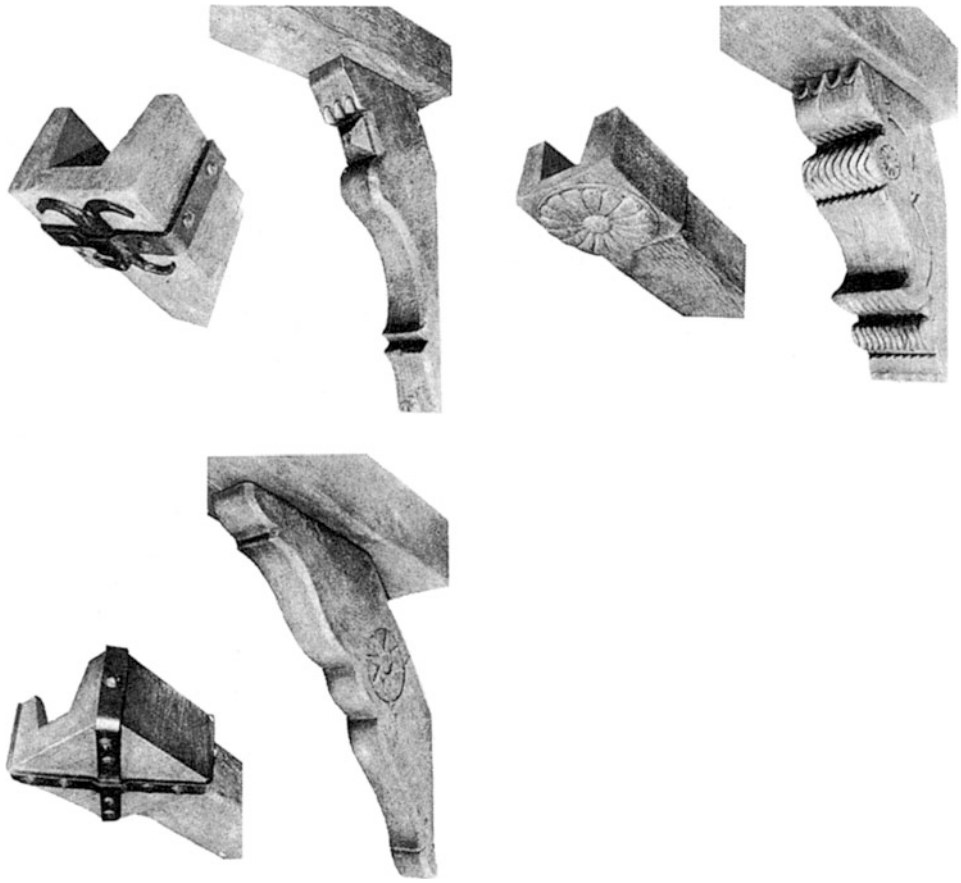


Abb. 1.140 Fachwerkformteile aus Kunststoff. (Quelle: Gerner, Fulda)

und neuer Baustoffe, ungeeignete Methoden und Materialien sind häufig die Ursachen. Derartige Mängel und Fehler teilt man in die beiden Gruppen

- Gestaltungsmängel und
- technische und bautechnische Fehler

ein.

In der anschließenden Bildreihe wird eine Auswahl von Mängeln und Fehlern veranschaulicht.

Gestaltungsmängel

Gestaltungsmängel führen nicht immer zu konstruktiven Schäden, können aber den optischen Eindruck stark mindern.



Abb. 1.141 Historische und moderne Fensterausbildung. (Quelle: Gerner, Fulda)

Das Beispiel in Abb. 1.141 zeigt, wie wichtig die durch Flügel und Sprossen gelieferte Fenster sind und wie empfindlich die Fassaden durch die in Mode gekommenen Einscheibendrehkippfenster gestört werden. Die um 1970 begonnene Sanierungswelle genügte zwar meist den bauphysikalischen Ansprüchen, aber keinesfalls den historisch-ästhetischen Mindestanforderungen.

Gut gemeint modernisiert, passt in Abb. 1.142 aber von der Leichtmetallhaustür über die Wellglasabdeckung, Briefkästen, Rollläden, Einscheibendrehkippfenster, Klinkern bis hin zur Farbgebung nichts zum Fachwerk.

Bis zu Beginn des Barocks (um 1650) wurden Fachwerke ausschließlich als Sichtfachwerk erbaut, dann begann man zunehmend Fachwerke zu verputzen. Zum einen wollte das Bürgertum Steinbauten von Kirchen und Palästen kopieren und zum anderen sollte der (nie bewiesen) Brandschutz verbessert werden. Freilegungen sind daher gründlich



Abb. 1.142 Modernisierte Türengestaltung. (Quelle: Gerner, Fulda)



Abb. 1.143 Schaufenstergestaltung, **a** weder die in Glas „aufgelöste Fassade“, noch die „Schaufensterfront“ werden einem überlegt sanierten Fachwerk gerecht, **b** es geht aber auch so. (Quelle: Gerner, Fulda)

zu überlegen, denn diese könnten das auf Putz abgestimmte Gesamtbild oder die Statik stören.

Nicht in jedem Fall gelingt eine Freilegung wie in Abb. 1.144 aufgezeigt.

Als Schutz vor starken Witterungseinflüssen wurden neben den Putz zunehmend Verkleidungen mit landschaftsgebundenen Materialien vorgenommen. Das können Schie-



Abb. 1.144 Putzfachwerk: **a** mit Putz, **b** als Sichtfachwerk freigelegt. (Quelle: Gerner, Fulda)

ferplatten oder Dachsteine und Klinker sein. Allerdings werden an das dahinterliegende Fachwerk wieder neue bauphysikalische Anforderungen gestellt.

Keinesfalls sollten aber Blechtafeln oder Kunststoffplatten mit den „schönen Anpreisungen“ der Langlebigkeit und der Pflegeleichtigkeit angewandt werden. Beides kann nicht eingehalten werden (Abb. 1.145).



Abb. 1.145 Industrielles Make-up (und die Fenstergestaltung) verschandelt das einst anschauliche Fachwerk. (Quelle: Gerner, Fulda)

Grundsätzlich soll das konstruktive Holzgerippe auch farblich das Gesamtbild bestimmen. Schreiende oder angeglichene Farben der Gefache sollten vermieden werden (Abb. 1.146). Glücklicherweise lassen sich Farben bei der nächsten Sanierung ändern.

Bautechnische Fehler

Wenn bei Instandsetzung und Sanierungsmaßnahmen nicht mit fachgerechten Materialien und Konstruktionen ausgeführt wird, besteht die Gefahr von Mängeln und Schäden. Das können sein:

- Verkleidung von Fachwerk mit Klinkern und Fliesen,
- falsche Hintermauerungen,
- ungeeignete Anstriche und Putze,
- Holzreparaturen mit Mörtel,
- Schließen von Rissen und Lücken mit dauerelastischen Materialien,



Abb. 1.146 Fachwerk- und Gefachefarben bei sonst richtiger Sanierung wirken zu angeglichen. (Quelle: Gerner, Fulda)

- Vermörtelung der Schwellenunterkante (Abb. 1.147),
- Auflagerung von Massivbauteilen,
- Veränderungen am Holzgefüge,
- Wasserdampfsperrende Putze oder Anstriche.

Die technischen Fehler bei der Sanierung und Instandsetzung von Fachwerkbauten überschneiden sich häufig mit Gestaltungsmängeln und bauphysikalischen Fehleinschätzungen (Abb. 1.148).

1.5.3.3 Schadensübersicht

Die nachfolgende Übersicht fasst wesentliche Fehler zusammen (Reihenfolge bedeutet keine Rangfolge):

1. Verfliesen von Fachwerkaußenwänden, denn dabei wird das Ausdiffundieren (Ausströmen) von Feuchtigkeit aus der Wand verhindert oder gemindert;
2. Schließen von Holzrissen oder den Rissen zwischen Holzstäben und dem Putz der Ausfachung mit dauerelastischen bzw. dauerplastischen Materialien, denn diese haften am Putz und am Holz nur ungenügend. Nach dem Abreißen dringt Feuchtigkeit ein und kann nur schlecht ober nicht wieder ausdiffundieren;
3. Aufbringen von stark wärmedämmenden Materialien auf der Innenseite von Fachwerkaußenwänden, denn dadurch wird die Taupunktebene in eine ungünstige



Abb. 1.147 Vermörtelung der Schwellenunterkante. Bei den eingemauerten Schwellen dringt Feuchtigkeit hinter den Mörtel oder die Vermauerung. Sie bleibt dort stehen und führt in kürzester Zeit zu großen Feuchtigkeitsschäden. Auch hier gilt der bewährte Grundsatz, dass Holz nicht allseitig eingeschlossen werden darf. Das eingedrungene Wasser muss immer wieder verdunsten können. (Quelle: Gerner, Fulda)

Schicht, meist nahe der Innenseite des Fachwerks, gelegt und das ausfallende Kondensat führt zu Fäulnisschäden;

4. Aufstreichen von weitgehend dampfsperrenden oder annähernd dampfdichten Anstrichstoffen wie Lacken außen auf den Fachwerkhölzern. Denn die Fachwerkhölzer sind nichtmaßhaltige Bauteile, d. h., sie sind Schwind- und Quellbewegungen ausgesetzt, die bei den Anstrichstoffen zu Rissen führen. In diese Risse dringt Feuchtigkeit ein, die im weiteren Verlauf durch die „dichten“ Anstrichstoffe nicht mehr auslüften kann und zu Fäulnisschäden führt;
5. Aufmörteln und Anmörteln von Kanten aus Putz-, Mauermörtel oder Beton an der Unterkante der Erdgeschossschwelle;
6. Aufbringen von Putzen auf Lehmstakungen oder ungebrannte Lehmziegelausfachungen ohne Putzträger;



Abb. 1.148 Auflagerung von Massivbauteilen. Als eine Grundregel für den konstruktiven Umgang mit Fachwerk gilt, keine tragenden massiven Bauteile wie Mauerwerk oder Beton über Fachwerkhölzern auszuführen. Es besteht die Gefahr der Feuchtebelastung oder völlig anderer Druck- und Zugverhältnisse. (Quelle: Gerner, Fulda)

7. Aufbringen von hinter den Fachwerkholzvorderkanten zurückspringenden Putzfeldern oder kasten- bzw. kassettenartig vorspringenden Putzfeldern auf das Fachwerkgefach. In beiden Fällen wird der Wasserablauf auf der Fassade behindert und führt dazu, dass viel Wasser in die Haarrisse der Fassade eindringt;
8. Anbringen von Dampfbremsen oder Dampfsperren, die in den Deckenbereichen oder an Stößen und Anschlussstellen Undichtigkeiten aufweisen, da hier Dampf eindringt, der dann schlecht als Dampf ausdiffundieren kann oder, wenn er in der Wand als Wasser ausgefallen ist, dort festgehalten wird und zwangsläufig zu Fäulnisschäden führen muss;
9. Einbauen von neuen oder auszuwechselnden Fachwerkhölzern bzw. weiteren Holzeinbauten unter Missachtung des baulichen und des konstruktiven Holzschutzes;
10. Verändern des statischen Systems im Fachwerkgefüge, da dabei meist neue Spannungen und damit neue Mängel im Gefüge auftreten. Weiter führt das Auflagern von Massivbauteilen wie Stahl oder Beton auf Holzbauteilen zu Schäden (nach vielen Landesbauordnungen untersagt);
11. Vermörteln, verkleiden, verschmieren oder vernageln von äußeren Fehlstellen, meist Fäulnis, in den Fachwerkhölzern mit Beton, Putzmörtel, Spachtelmassen, Blechen oder dünnen Holzbrettern, da hinter Bleche oder Holzbretter Wasser eindringt und zu Fäulnis führt bzw. hinter Beton oder Spachtelmasse Feuchtigkeit zu Wasser kondensiert und ebenfalls Fäulnisschäden hervorruft.

1.5.4 Instandsetzung und Sanierung

1.5.4.1 Instandsetzung bestehender Fachwerkgebäude

Die Instandsetzung historischer Fachwerkbauten ist komplex, da eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte berücksichtigt werden muss.

Wesentliche Arbeitsschritte, zu denen auch Statiker zur Prüfung der Tragfähigkeit der Holzbauteile, Holzschutzgutachter zur Beurteilung von Pilz- und Schädlingsbefall sowie Bauphysiker zur hygrothermischen Bewertung herangezogen werden müssen, sind in einer Checkliste (WTA–Merkblatt 8-2) erfasst.

1.5.4.2 Konstruktive Vorbetrachtungen

Für die Sanierung wurde zur Behebung der Defizite von führenden Firmen (Remmers) eine Systemlösung entwickelt, die alle notwendigen Bearbeitungsprozesse von Holzschutzmaßnahmen und Holzanstrichen über Gefachesanierung, Gefachemörtel bis hin zu Anstrichstoffen umfasst (Tab. 1.25).

1.5.4.3 Sanierungslösungen

Sanierungsgrundsätze

Aus den Schäden (Abschn. 1.5.3.3) lassen sich folgende Sanierungsgrundsätze ableiten:

1. Fachwerkaußenwände dürfen außen weder verfliest noch mit Mörtel abgesperrt werden, um das Ausdiffundieren von Feuchtigkeit zu ermöglichen.
2. Risse im Fachwerk mit einer Breite von über 8 mm sollen mit Holz ausgekeilt, Risse unter 8 mm sollen nur mit dem Heizkörperpinsel tief ausgestrichen werden.
3. Bei jeder zusätzlichen Wärmedämmmaßnahme ist unbedingt die Lage der Taupunktebene zu berechnen und zu berücksichtigen. Damit wird vermieden, dass durch zu starke oder falsch angeordnete Wärmedämmmaterialien der Taupunkt an eine für die Konstruktion ungünstige Stelle rückt.
4. Bei Verwendung von gut dampfdurchlässigen Anstrichstoffen, z. B. Mineralfarben auf den Gefachen, besteht kaum Gefahr von Fäulnis durch eingeschlossene Feuchtigkeit.
5. Das Schwellenauflager muss so ausgebildet sein, dass keine Feuchtigkeit gestaut wird oder gar hinter die Schwelle dringen kann.
6. Putze in einer Normalstärke von 2 cm oder darüber dürfen auf das Lehmgefache nur mittels eines Putzträgers aufgebracht werden.
7. Die Putzkanten müssen schräg an die Hölzer angezogen werden, um einen ungehinderten Wasserablauf auf der Fassade zu ermöglichen.
8. Auf Dampfsperren und -bremsen sollte soweit wie möglich verzichtet werden.
9. Holz muss vor dauernder Feuchteeinwirkung geschützt bzw. so eingebaut werden, dass evtl. eingedrungene Feuchtigkeit wieder ausdampfen kann.

Tab. 1.25 Systemlösung – Fachwerkfassade. (Quelle: Remmers Löningen)

Bearbeitungsprozess	Systemlösung	
Reinigung/ Altanstrichentferner	Graffitientferner Ablauger Fassadenreinigerpaste Wirbelstrahlverfahren	
Bekämpfender Holzschutz	Anti-Insekt Holzwurmfrei flüssig	
Gefacheausbesserung	Fugenmörtel Fachwerkoberputz Restauriermörtel	
Spritzausfachung	Fachwerkmörtel	
Fachwerkputz	Fachwerkoberputz	
Vorbeugender Holzschutz	Imprägniergrund	
Deckende Grundierung	Isoliergrund Universalgrund	
Deckender Holzanstrich	Leinölfarbe Acryl Plus	
Lasierender Holzanstrich	HK-Lasur Langzeitlasur	
Gefacheanstrich	Silikatfestiger Mineralfarbe Historic Kalkspachtel Historic Kalkfarbe Historic Kalkschlämme	

10. Bei allen Reparaturen und Veränderungen soll das statische System nicht verändert werden. Auf das Fachwerk können nur Lasten aus Holzkonstruktionen abgetragen werden und das auch nur nach einer Begutachtung und Berechnung durch einen erfahrenen Statiker.
11. Fehlstellen sind mit trockenem Holz der gleichen Holzart, mindestens 5 cm stark, zu sanieren.

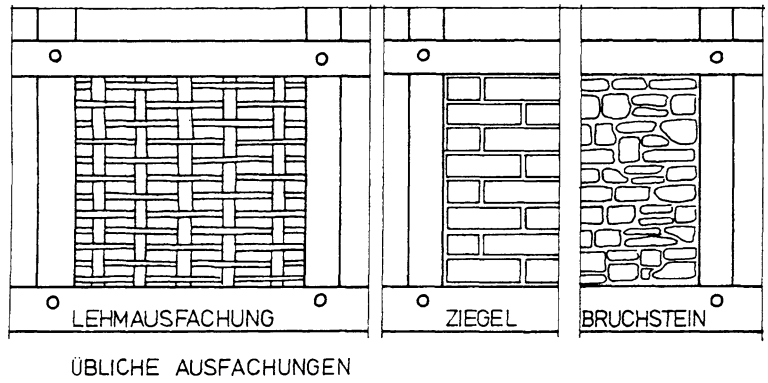


Abb. 1.149 Übliche Ausfachungen. Die Felder alter Fachwerkbauten sind mit Bohlen, Lehmmörtel auf Stakung, Bruchsteinmauerwerk, Lehmpatzen und Ziegelmauerwerk geschlossen. (Quelle: ILS Hamburg)

Historische Ausfachung

Die Sanierung und Konstruktion der Gefache beschäftigte die Fachleute schon seit Jahrhunderten. Wilhelm Fiedler schrieb dazu in seiner Dissertation „Das Fachwerkhaus" an der Königlich Sächsischen Technischen Hochschule zu Dresden 1899:

> … Die Wand des Fachwerkhauses setzt sich zusammen aus den Konstruktionshölzern und den Gefachen, welche durch diese Hölzer gebildet werden. Mit Ausnahme der Tür- und Fensteröffnungen füllte man diese Gefache bündig aus, teils mit Ziegeln, die man außen entweder sichtbar ließ und oft in den mannigfachsten Mustern verlegte, oder außen sowohl wie im Innern verputzte.

Ebenso wie man aber nur außen die Konstruktionshölzer sichtbar ließ (Abb. 1.150), ließ man sie in der alten Zeit auch innen genau so offen stehen und behandelte die innere Wand genauso wie die äußere. Auch hier gab man mit Vorliebe den Hölzern, die man sauber glättete, den obligaten roten Ockeranstrich, während man die Flächen weiß tünchte und nicht selten mit zierlichen Malereien bedeckte (Abb. 1.152). In der Regel ersetzte man diese Malerei durch farbige Teppiche, die an den Wänden aufgehängt wurden, weil diese besser dazu geeignet waren, dieses bunte Durcheinander von Holz- und Putzflächen zu verdecken, das doch immerhin störend und unangenehm empfunden werden musste, wenn es auch in gewisser Hinsicht das Zimmer eigenartig zu beleben verstand. Im 15. Jh. kam nun eine andere Wanddekoration auf, die alle diese Übelstände beseitigte und infolgedessen auch bald allgemein angewandt wurde, um schließlich in der Renaissance ihre reichste und prunkvollste Ausstattung zu erhalten, nämlich die Verschalung der Wand mit Brettern oder die Wandvertäfelung.

Sanierungsgrundlagen Im Rahmen der Denkmalpflege ist vor der Festlegung der Sanierungskonzeption eine fachlich sorgsame Begutachtung des historischen Fachwerks erfor-

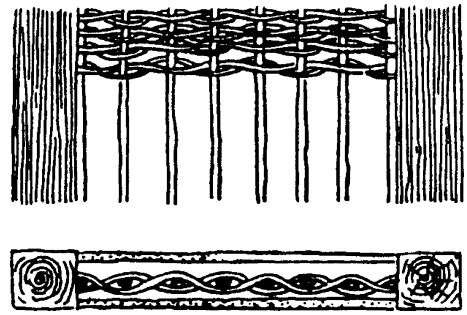


Abb. 1.150 Gefache mit sichtbaren Konstruktionshölzern. (Quelle: ILS Hamburg)

derlich. Bei der Altbausanierung wird sorgfältig geprüft, was von der Substanz erhaltenswert ist. Dies betrifft beim Fachwerkbau besonders die Gefachfüllungen. Je nach Erhaltungszustand wird man alle Ausfachungen restaurieren und durch zusätzliche Maßnahmen auf heutige bauphysikalische Anforderungen einstellen oder entfernen und durch zeitgemäße Konstruktionen ersetzen, wobei in der Regel das äußere Erscheinungsbild der Gebäude zu wahren ist. Folgende Konstruktionsalternativen werden häufig ausgeführt:

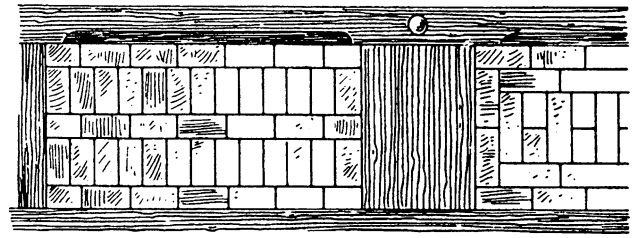


Abb. 1.151 Gefache. (Quelle: ILS Hamburg)

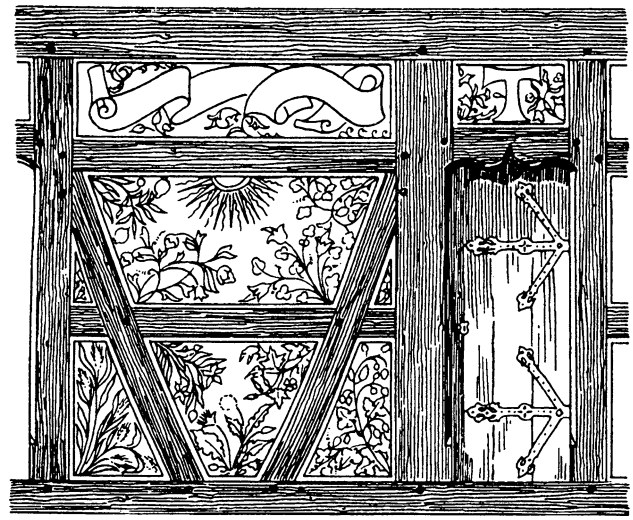


Abb. 1.152 Zieranstrich auf dem Gefache. (Quelle: ILS Hamburg)

- verputzte Ausfachung, Verputz flächenbündig mit dem Fachwerk,
- verputzte Ausfachung, Verputz steht um Putzdicke gegenüber dem Fachwerk vor, ist aber zum Fachwerk hin kissenartig abgeflacht, vorstehende Putzkanten sind zu vermeiden,
- Ausfachung mit Sichtmauerwerk, ggf. in historischen Zierverbänden oder -mustern,
- hinterlüftete Wetterschutzschalen aus Brettern, Schindeln, Dachpfannen oder Schiefer vor der ausgemauerten Fachwerkwand.
- Die nachfolgenden Bildreihen verdeutlichen eine ganzheitliche Betrachtung (Abb. 1.153, 1.154, 1.155, 1.156 bis 1.157)

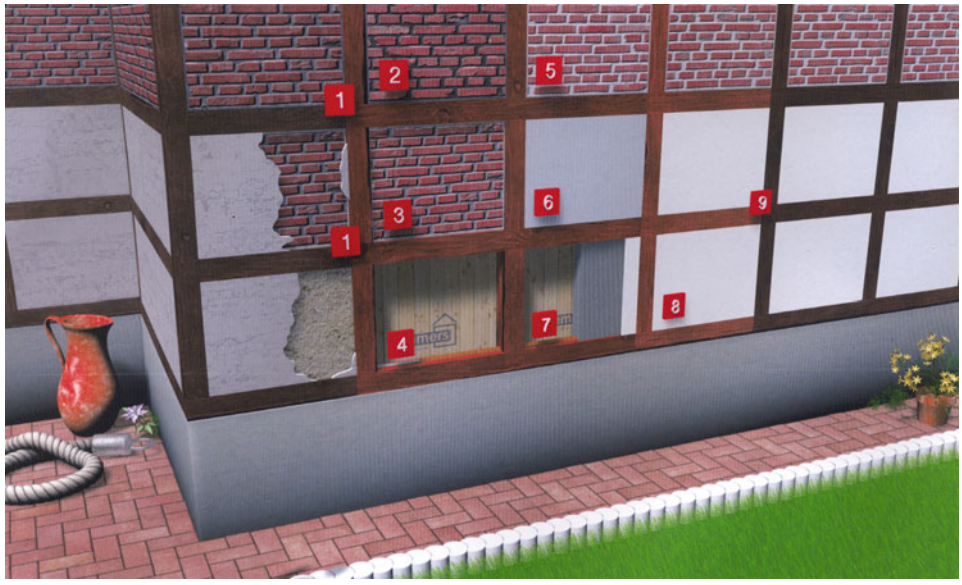


Abb. 1.153 Fachwerkfassade mit unterschiedlichen Gefachen. (Quelle: Remmers Löningen)



Abb. 1.154 Arbeitsschritte 1–3. (Quelle: Remmers Löningen)

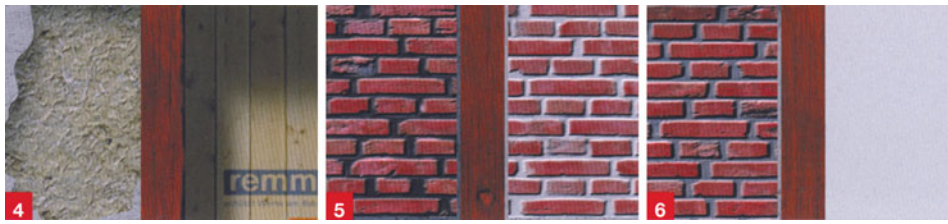


Abb. 1.155 Arbeitsschritte 4–6. (Quelle: Remmers Löningen)



Abb. 1.156 Arbeitsschritte 7–9. (Quelle: Remmers Löningen)



Abb. 1.157 Ziegel-, Lehm-, Putzgefache. (Quelle: Remmers Löningen)

Arbeitsschritte zur Gefachesanierung

1. **Holzvorbehandlung:**
   Gerade auf Fachwerken findet man häufig eine Vielzahl übereinanderliegender Farbschichten, die zu entfernen sind: alte Dispersionsbeschichtungen mit Graffitientferner und alte Ölfarbanstriche mit Ablauger.
2. **Ziegelsichtgefache – Vorbehandlung:**
   Die Reinigung ist mehr als eine optische Frage, Schmutzkrusten speichern häufig Feuchtigkeit und Schadstoffe und müssen daher entfernt werden. Schadhafte Fugen müssen mindestens 2 cm bzw. der doppelten Fugenbreite entsprechend ausgeräumt werden.
3. **Ziegelsichtgefache – Vorbehandlung:**
   Putzoberflächen sind häufig so schadhaft, dass das Entfernen des Altputzes unumgänglich ist. Unter dem Putz liegende geschädigte Ziegel bzw. Fugen sind ebenfalls zu entfernen.
4. **Lehmgefache – Vorbehandlung:**
   Leicht geschädigte Lehmgefache können und sollten wieder gemäß alter Traditionen mit Lehm ausgebessert werden. Stark geschädigte Gefache sind dagegen vollständig zu entfernen.
5. **Ziegelsichtgefache – Neuverfugung und Ergänzung:**
   Die Neuverfugung erfolgt mit Fugenmörtel ZF, einem weichen, kalkgebundenen Mörtel. Fehlerhafte Ziegel werden ausgetauscht oder mit Restauriermörtel SK ergänzt.
6. **Verputzte Ziegelgefache – Neuaufbau:**
   Nach der Neuverfugung bzw. der Oberflächen-Egalisierung mit Fugenmörtel ZF und Restauriermörtel SK erfolgt der Auftrag des angepassten Fachwerkoberputzes.
7. **Verputzte Lehmgefache – Neuaufbau:**
   Der Neuaufbau erfolgt mittels Spritzausfachung mit Fachwerkmörtel. Der Mörtel wird gegen eine einseitig angebrachte Schalung gespritzt. An den Laibungsseiten der Fachwerkbalken sind zuvor Trapez- bzw. Dreikantleisten anzubringen.
8. **Gefachebeschichtung:**
   Der Anstrich der Gefache erfolgt entweder mit der Remmers Mineralfarbe OH oder im Historic-Kalkfarb-System.
9. **Holzbeschichtung:**
   Der Anstrich der Fachwerkbalken kann – nach einer ggf. notwendigen vorbeugenden Holzschutzbehandlung – sowohl deckend als auch lasierend mit Farben oder Lasuren erfolgen.

Sanierung ausgewählter Gefache

Ziegelausfachung

1. Ersetzen oder Ergänzen beschädigter Steine mit Restauriermörtel SK
2. Ausräumen der Fugen
3. Neuverfugen mit Fugenmörtel ZF

In Norddeutschland, wo die Backsteingotik zu hoher Blüte kam, wurde erfolgreich die Ziegelausfachung ausgeführt (Abb. 1.158). Die steiferen, scheibenartigen Gefache, die zusätzlich standsichernd wirken, boten die Möglichkeit, die strenge, senkrechte Gefügeordnung ohne große Diagonalstreben auch bei hohen Gebäuden beizubehalten. Die Freude am Ornament wird durch Ziegelzierverbände sichtbar.

Ergänzungen und Erneuerungen der Ausfachungen mit Sichtmauerwerk bereiten Schwierigkeiten, denn alte Handstrichziegel hatten (vor der Normung durch das Reichsformat 1852) keine einheitlichen Maße. Für die Sanierung benötigte Steine, insbesondere für wertvolle Zierverbände (Abb. 1.159), müssen daher eventuell auf besondere Bestellung gefertigt werden.

Für die Ausmauerung ist Mörtel der Gruppe II zu verwenden, zur Erhöhung der Elastizität sollte etwas Trass zugesetzt werden. Eine dauerelastische Abdichtung dieser Fugen ist nur von begrenzter Haltbarkeit und bewirkt wegen der durch das Fugenmaterial beeinträchtigten Wasserdampfdiffusion Schäden an der vom Holz gebildeten Fugenflanke. Es verbieten sich aus diesem Grund Ausfachungsmaterialien mit großem Diffusionswiderstand.

Die einzig handwerksgerechte Ausbildung der senkrechten Fugen und der Fugen an Riegelunterseiten, durch die man annähernde Dichtigkeit erreicht, ist die Anbringung von durch mittig auf die Hölzer genagelte Dreikantleisten. Der Fugenmörtel ist dort von außen und innen einzudrücken. Darüber hinaus soll auf nicht zu sprödem Mörtel und (bei Sichtmauerwerk) auf Vollfugigkeit geachtet werden. Großformatige Mauersteine mit großem Schwindmaß sind wegen der Rissgefahr für Ausfachungen in Holzfachwerk ungeeignet.

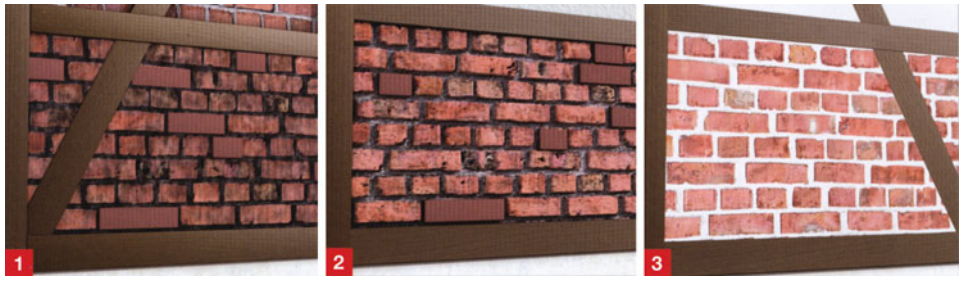


Abb. 1.158 Sanierung von Ziegelgefachen. (Quelle: Remmers Löningen)



Abb. 1.159 Ziegelzierverbände. (Quelle: ILS Hamburg)

Zu empfehlen sind gebrannte Ziegel mit kleinem Schwindmaß und bei Sichtmauerwerk Vollziegel mit guter Diffusionsfähigkeit.

Bei der durch Schlagregen und Spritzwasser besonders gefährdeten Fachwerksockelzone ist stauende Feuchtigkeit im Innern zu vermeiden und auf Möglichkeiten zum guten Abtrocknen des Holzes zu achten.

Der in Abb. 1.160 abgebildete Sockel einer Außenwand aus Holzfachwerk mit Ausfachungen aus Mauerwerk stellt den Fertigzustand nach einer Instandsetzung dar. Der Arbeitsablauf der Instandsetzung besteht aus den folgenden Schritten:

- Freilegen des Fachwerks; ggf. Abfangung der Außenwand
- Instandsetzung des Holzfachwerks
- Unterfüttern der Schwelle, ggf. auf neuem Fundament
- Einlegen einer Sickerwasserdichtung
- Ausfachung des Sichtmauerwerks
- Ausgleichsputz innen
- Aufbringen senkrechter Dachlatten (mit chemischem Holzschutz) und Feuchtigkeitsschutzstreifen gegen kapillarporöse Baustoffe
- Montage von standfesten Wärmedämmplatten, z. B. Mineralwolledämmplatten mit Holzwolledeckschichten
- Fixieren der Sickerwasserdichtung
- Aufmauern der nicht tragenden Innenwand
- Innenputz

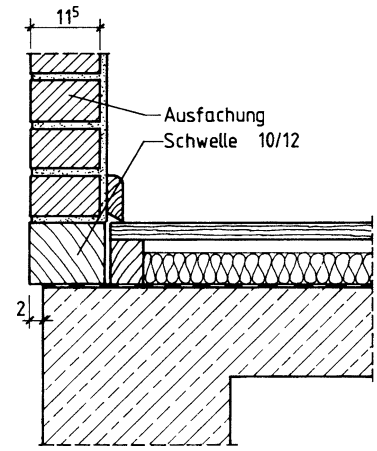


Abb. 1.160 Fachwerksockel. (Quelle: Remmers Löningen)

Wärmetechnische Verbesserungen für die Anordnung einer Ziegelausfachung (Abb. 1.161)

- Außendämmung,
- bei Sichtmauerwerk nur als Innendämmung oder Kerndämmung mit Mauerwerkinnenschale,
- bei Innendämmung Anwendung raumweise nach Bedarf möglich; erforderliche Dämmschichtdicke nach Raumnutzung variabel,
- bei Sichtmauerwerk auf einwandfreien Zustand der Verfugung und Klinkeroberflächen achten, eindringende Feuchtigkeit gering halten,
- sind nur einzelne Gefache eines sonst mit Strohlehm ausgefachten Hauses nachträglich zugemauert, sollte die Ausmauerung entfernt und möglichst in Strohlehm, evtl. auch mit wärmedämmenden Materialien, ergänzt werden.

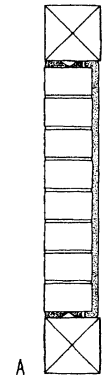


Abb. 1.161 Ziegelausfachung. Fachwerkkonstruktion mit einem Holzquerschnitt von 14/14–16/16 cm, Ausmauerung mit Vollziegeln 12–12,5 cm. Wärmedurchgangskoeffizient U Gefach = 2,959 W/(m^2 K); U Holz = 1,205 W/(m^2 K) (Eiche). (Quelle: ILS Hamburg)

Lehmausfachung

1. Reinigen von losen Bestandteilen
2. Ausbessern mit iQ-Top LM
3. Grundieren mit Silikatfestiger und Beschichten mit Historic Kalkfarbe

Als Lehmbaustoffe für die Ausfachung von Fachwerken (Abb. 1.162) werden Strohlehm, Leichtlehm und Lehmsteine mit Lehmmörtel verwendet. Grünlinge (ungebrannte Steine) sind im Außenbereich nicht geeignet. Lehm kann im feuchten Zustand auffrieren. Feucht eingebaute Lehmbaustoffe Stroh- oder Leichtlehm oder auch Lehmmörtel sind länger frostgefährdet als Wände aus hydraulisch gebundenen Baustoffen. Ferner ist zu beachten, dass Lehmgefache (Abb. 1.163) vor Schlagregen zu schützen sind. Die Trocknungszeiten sind bei der Bauzeitplanung zu berücksichtigen. Feucht eingebaute Lehmbauteile müssen möglichst rasch trocknen können. Zu lange Durchfeuchtung kann das Verrotten organischer Zuschläge, die Schwächung angrenzender Holzbauteile und die Korrosion von Stahlteilen bewirken.

Ausfachung mit Lehmsteinmauerwerk Vor Beginn des Ausmauerns müssen alle Arbeiten am Holzwerk und größere Eingriffe ins statische Gefüge abgeschlossen sein. Zunächst werden Dreiecksleisten im Gefach an die seitlichen Balkenflächen genagelt (Abstand zur Vorderkante ca. 8 cm) (Abb. 1.164). Diese Leisten bilden eine Aufkantung, die die Ausfachung bei der zu erwartenden Querschwindung der Holzbalken stabilisiert. Eine Nutzung der einzelnen Steine ist überflüssig. Bei großen Gefachen können die Dreiecksleisten auch zusätzlich oben und unten an die Balken geschlagen werden.

Die Verarbeitung von Lehmsteinen und Lehmmörtel unterscheidet sich nicht von üblicher Mauerwerkarbeit. Lehmsteine können leicht geschlagen oder durch Zuschnitt mit der Porenbetonsäge angepasst werden. Zum Vermauern wird Lehmmauermörtel oder Leichtlehmmauermörtel verwendet. Der Mörtelbedarf liegt bei ca. 27 l/m^2 für NF-Mauerwerk und bei ca. 20 l/m^2 für 2DF-Mauerwerk. Der Mörtel wird in erdfeuchtem Zustand angeliefert, 1,0 m^3 Schüttmasse ergibt 0,75 m^3 fertigen Mauermörtel.



Abb. 1.162 Sanierungsschritte Lehmgefache. (Quelle: Remmers Löningen)

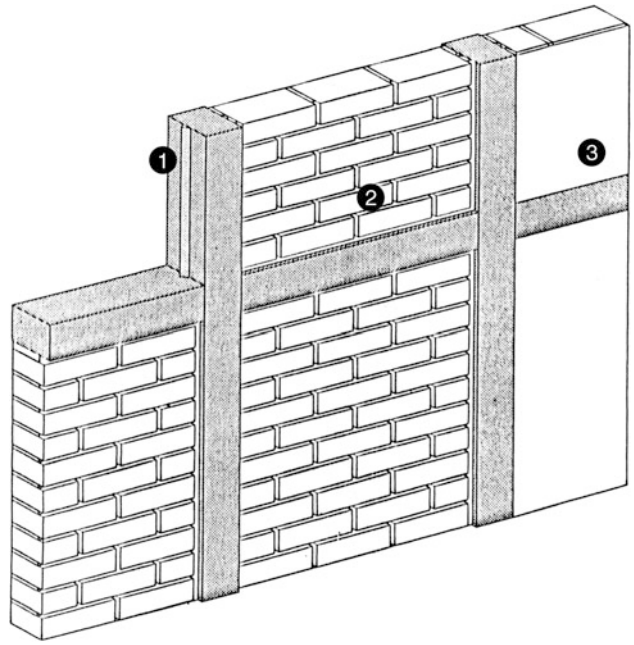


Abb. 1.163 Ausfachung mit Lehmsteinmauerwerk, *1* Dreikantleisten, *2* Leichtlehmsteine (Breite = 11,5 cm), *3* Außenputz (Stärke = 1,5 cm). (Quelle: ILS Hamburg)

Da Lehmmörtel nicht durch einen chemischen Prozess unter Einbindung von Wasser erhärtet („abbindet"), sondern seine Härte nur durch Trocknung erhält, brauchen die Steine nicht wie bei der Verwendung von Kalkmörtel angenässt zu werden. Die Stoß- und Lagerfugen sollten nicht stärker als 1–1,5 cm ausgeführt werden. Bei Lehmsteinmauerwerk muss besonders auf vollfugige Ausführung geachtet werden, um Setzungen in der Höhe auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Lehmmörtel kann zwischen den Arbeitsgängen, also z. B. über Nacht, in den Schläuchen verbleiben und entsprechend lange aufbewahrt und verarbeitet werden. An den Werkzeugen ist lediglich die korrosive Wirkung zu beachten.

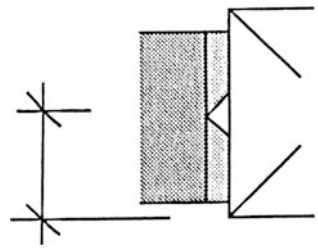


Abb. 1.164 Befestigen der Dreikantleiste. Abstand ca. 8 cm zwischen Außenkante Balken und Mitte Dreikantleiste. Pro m^2 Gefachefläche werden 2,5 laufende Meter Dreikantleisten (Seitenlänge ca. 2 cm, Basis ca. 3 cm) benötigt. (Quelle: ILS Hamburg)

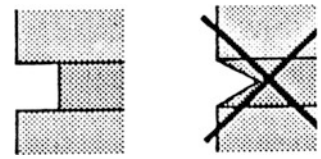


Abb. 1.165 Richtiges Auskratzen der Fuge. Links richtig, rechts falsch ausgekratzte Fuge. (Quelle: ILS Hamburg)

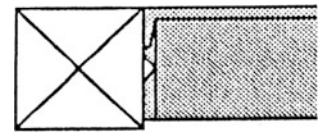


Abb. 1.166 Ausbildung der Anschlussfuge. (Quelle: ILS Hamburg)

Unmittelbar nach der Ausmauerung, solange der Mörtel noch weich ist, sollten die Fugen der Mauerwerkflächen scharfkantig rechtwinklig (nicht V-förmig) ausgekratzt werden. Durch diese Maßnahme wird die Putzhaftung verbessert. Da der später aufzubringende Kalkputz nur mechanisch haftet und beim Aufbau zweilagiger Kalkputze auf Lehmsteinmauerwerk der Deckputz härter als der Untergrund ist, muss dem Haftverbund zwischen den Schichten genug Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Tiefe der Fugen sollte 0,5 bis max. 1 cm betragen.

Auch die gefachbegrenzende Fuge zwischen Ausfachung und Fachwerkbalken muss ausgekratzt werden (Abb. 1.165). Die Fuge muss keilförmig und ausreichend tief sein (ca. 3 cm tief und 2 cm breit). Nach dem Öffnen der Fuge kann, falls noch nicht geschehen, der Grundanstrich des Balkenwerks ausgeführt werden: Das Holzschutzmittel erreicht so auch den feuchtegefährdeten vorderen Flankenbereich der Balken. Die Keilfuge wird beim Verputz mit Kalkmörtel verfüllt. Das zwischen Balken und Putz eindringende Wasser kann bei dieser Ausbildung der Fuge nicht zwischen Außenputz und Lehmschicht ziehen. Andernfalls wäre der Haftverbund zwischen den Schichten am Materialwechsel stark gefährdet (Abb. 1.166).

Strohlehm auf Stakung und Weidengeflecht Am Baubestand ist nachweisbar, dass seit dem Mittelalter die mit Abstand gebräuchlichste und bewährteste Ausfachung Strohlehmmörtel auf Stakung war. In Kerben oder Bohrungen wurden, den Fachgrößen entsprechend, etwa 3–5 cm dicke, meist gespaltene Staken aus Eichenholz senkrecht eingespannt. In diese wurden fingerdicke Weidenruten verflochten (Abb. 1.167). Kein anderer Baustoff lässt sich so einfach in die unterschiedlichen Gefachöffnungen einfügen.

Der verwendete Lehm ist ein Naturgemisch aus Ton und Feinsand. Beimischungen wie Eisenoxid bestimmen die gelbliche oder rotbraune Farbe. Je „fetter“, d. h. tonhaltiger und grauer der Lehm ist, umso mehr schwindet er beim Trocknen. Zur Magerung wurde Sand, zur Verminderung des Schwindens noch Kälberhaare, Schweinsborsten, Heu, Pflanzenfasern, zur Wärmedämmung überwiegend jedoch gehäckseltes Stroh beigesetzt.

Mit Wasser wurde der Strohlehm zu einem Mörtelbrei angemacht, beidseitig in mehreren Lagen angeworfen und fest in das Weidengeflecht gedrückt. Die obere Feinschicht wurde über das Holzgefüge fluchtgerecht, lattengerade abgezogen und leicht abgeglättet.

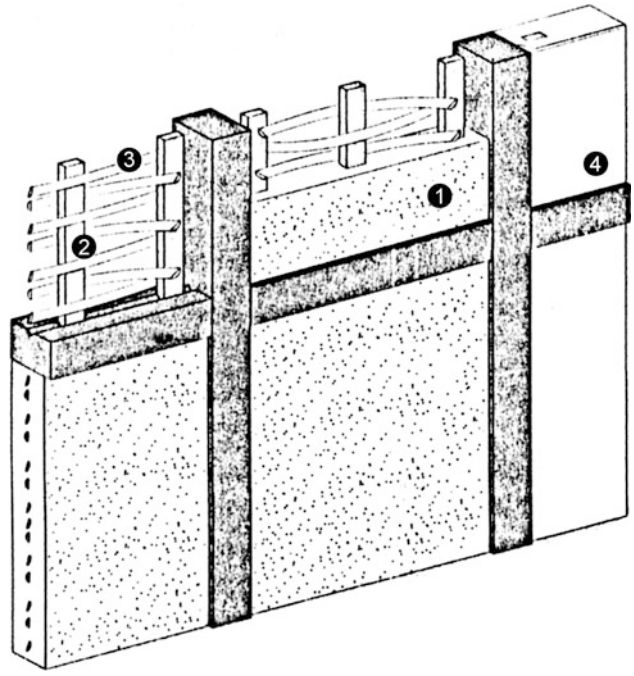


Abb. 1.167 Geflecht und Strohlehm einschließlich Außenputz; *1* Strohlehm, *2* Eichenstaken 6 × 2,6 cm, *3* Weidenruten (Durchmesser ca. 2,5 cm), *4* Außenputz (Stärke = 1,5 cm). (Quelle: ILS Hamburg)

Gegen Ende der Bauzeit oder bei späteren Reparaturen konnten die Anschlüsse am Holz materialgerecht nachgebessert werden.

Es besteht zunehmend die Neigung, gut erhaltene Lehmausfachungen zu belassen. Auch bauphysikalische Eigenschaften begründen die Erhaltung, denn Schall- und Wärmeschutz der bewährten Ausfachungen sind gut und entsprechen den Anforderungen an die EnEV 2014.

Bei der Sanierung alter Lehmgefache sind lose Lehm- und Farbreste zu entfernen und, wenn nötig, die Oberfläche so vorzubereiten, dass das ganze Gefach einen neuen Lehmüberzug von etwa 1,5 cm erhalten kann. Zur besseren Bindung ist der Lehmgrund abzukehren, anzunässen und mit dem Zinkblechkamm diagonal aufzurauen (Abb. 1.168). Die Holzanschlüsse sind, falls erforderlich, vorher auszukratzen, mit Lehmmörtel (möglichst unter Zusatz von Kälberhaar) zu dichten.

Sind durch beträchtliches Schwinden oder größere Bewegungen der Gerüstkonstruktion Fugen im Anschlussbereich entstanden, wird empfohlen, diese mit Teerstrick und Haarkalkmörtel zu schließen (bis Mitte des 20. Jh. wurden Blendrahmen- und Kastenfenster unter Verwendung von Teerstrick und Haarkalkmörtel angeschlagen) (Abb. 1.169).

Erhalten die Gefache einen Verputz, wird in gleicher Weise verfahren, jedoch wird die Lehmoberfläche nicht holzbündig, sondern in der Flucht um Putzstärke (1,5–2,0 cm) zurückliegend ausgebildet. Zu vermeiden ist, dass der Putz kissenartig über der Holzflucht vorsteht.

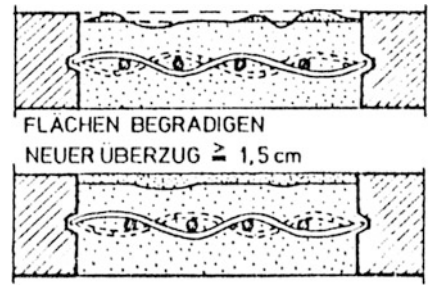


Abb. 1.168 Sanierung von Strohlehmgefachen. (Quelle: ILS Hamburg)

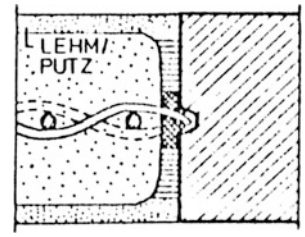


Abb. 1.169 Dichtung mit Teerstrick und Haarkalkmörtel. (Quelle: ILS Hamburg)

Putzausfachung

1. Entfernen der Altausfachung
2. Einbringen von Fachwerkmörtel
3. Grundieren mit Silikatfestiger und Beschichten mit Historic Kalkfarbe

Aufbringen von Putz auf die Ausfachung

Der Untergrund muss vor dem Verputz vollständig durchgetrocknet sein (Abb. 1.170). Eine komplett neu ausgefachte Fachwerkfläche sollte, ganz unabhängig vom Ausfachungsmaterial, möglichst spät verputzt werden. Bewegungen des gesamten Tragwerks und Dreh-, Quell- oder Schwindbewegungen der Balken (häufig auch der alten oder „abgelagerten“ Balken) treten in den ersten Monaten nach einer Instandsetzung verstärkt auf. Der Außenputz sollte im Idealfall erst, wenn das Gebäude genutzt wird und eine Heizperiode vergangen ist, aufgebracht werden. Die Lehmausfachung kann problemlos eine Zeitlang der Witterung ausgesetzt werden, an den Wetterseiten sind notfalls Schutzvorkehrungen zu treffen.

Vor Beginn der Putzarbeiten muss die Fuge zwischen Ausfachung und Fachwerkbalken keilförmig und ausreichend tief ausgekratzt werden (ca. 3–4 cm tief und 2 cm breit). Nach dem Öffnen der Fuge kann, falls noch nicht geschehen, der Grundanstrich des Balkenwerks ausgeführt werden.

Das Holzschutzmittel erreicht so auch den feuchtegefährdeten vorderen Flankenbereich der Balken. Die Keilfuge wird beim Verputz mit Kalkmörtel verfüllt. Das zwischen Balken und Putz eindringende Wasser kann bei dieser Ausbildung der Fuge nicht zwischen Außenputz und Lehmschicht ziehen (Abb. 1.171). Andernfalls wäre der Haftverbund zwischen den Schichten am Materialwechsel stark gefährdet.



Abb. 1.170 Sanierungsschritte Putzgefache. (Quelle: Remmers Löningen)

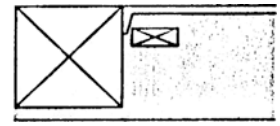


Abb. 1.171 Ausbildung der Anschlussfuge. (Quelle: ILS Hamburg)

Vor dem Auftrag der ersten Putzlage wird der Mörtel sorgfältig angenässt. Der Untergrund hat ein sehr großes Wasseraufnahmevermögen und dem Kalkputz darf nicht das für den Abbindeprozess notwendige Wasser entzogen werden. Bei jedem Gefach muss erneut geprüft werden, ob noch ausreichend Feuchtigkeit im Putzuntergrund ist. Wenn ohne Putzträger direkt auf den aufgerauten Lehmuntergrund gearbeitet wird, dann darf die Gesamtputzstärke höchstens 1,5 cm betragen. Stärkere Putzschichten sind unzweckmäßig und aufgrund ihres großen Eigengewichts riskant.

1.5.5 Fachwerkmörtel

Der Fachwerkmörtel ist speziell für die in der Praxis geforderten spezifischen Anforderungen des Fachwerks entwickelt worden. Für den Verarbeiter ist von entscheidender Bedeutung, dass der Mörtel maschinell verarbeitbar, also spritzbar ist und dass, bedingt durch hohe realisierbare Schichtstärken, die zu verfüllenden Gefache in einem Arbeitsgang gefüllt werden können.

Eigenschaften und Vorteile:

- maschinell verarbeitbar (spritzbar),
- hohe Schichtdicken realisierbar (einlagig bis 80 cm),
- für Fachwerk günstige kapillare Leitfähigkeit und hohe Dampfdiffusionsoffenheit,
- wärmedämmend und schallisolierend.

Haupteinlassstelle für (Regen-)Wasser ist der für das Fachwerk typische Abriss zwischen Gefache und Holz. Infolge seiner Zusammensetzung und des niedrigen E-Moduls wird das Schwind- und Rissverhalten des Fachwerkmörtels deutlich gesenkt. Dies wiederum minimiert die Rissbreiten im Grenzbereich Holzfachwerkkonstruktion/Mörtel.

Die nun wesentlich kleineren Risse haben zur Folge, dass deutlich weniger Regenwasser in die Konstruktion eingetragen wird. Bedingt durch die speziell eingestellte kapillare Wassertransportleistung kann diese geringe Wassermenge schnell an die Baustoffoberfläche gelangen. Somit gewährleistet Fachwerkmörtel ein schnelles Austrocknen des Baustoffes und trägt zum Werterhalt der ganzen Holzfachwerkkonstruktion bei.

1.5.6 Typische Fachwerkdetails

1.5.6.1 Anschlüsse an das Holzgefüge

Zur Fixierung der Ausmauerung im Gefach und zur Vermeidung undichter Fugen (Wärme- und Schalldämmung, Schlagregenwasser, Tauwasserbildung) am Holzwerk sind die Anschlüsse sorgfältig auszuführen (Abb. 1.172). Die Fugenbildung ist an den Ständern, unter den Riegeln und den Rahmen zu befürchten, weniger am Auflager der Ausfachungen. Damit nach dem Austrocknungsprozess kein Durchsichtspalt zwischen Holz und Ausmauerung entsteht, werden unterschiedliche Anschlüsse zur Vermeidung oder Verminderung genutzt.

Die Fixierung der Ausfachung erfolgt durch das Einschlagen verzinkter Nägel, Anschlagen winkelförmiger Bleche, Nutzung von Spezialschienen mit einpassbaren Winkeln oder, wie seit Jahrzehnten, über Anbringung von Dreieckleisten.

Bei der Verwendung der bewährten Dreieckleisten ist für die Herstellung der Anschlüsse im Bereich der Kerben ein beachtlicher, heutzutage nicht mehr üblicher Arbeitsaufwand erforderlich, besonders bei den horizontalen Anschlüssen oben und unten im Gefach. Es ist deshalb zu prüfen, ob die horizontalen Leisten ober- und unterhalb der Riegel mit entsprechenden Kerben in den Steinen erforderlich sind (Abb. 1.173). Das Ausarbeiten der Steine für den seitlichen Anschluss ist mit dem Maurerhammer möglich, die Nuten in den

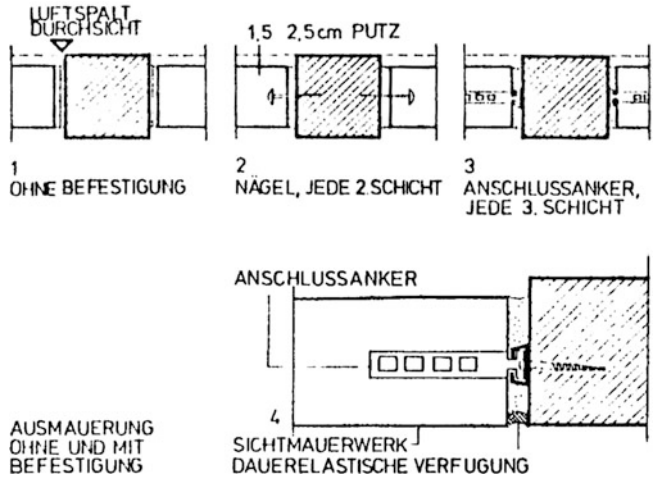


Abb. 1.172 Anschlussvarianten. (Quelle: ILS Hamburg)

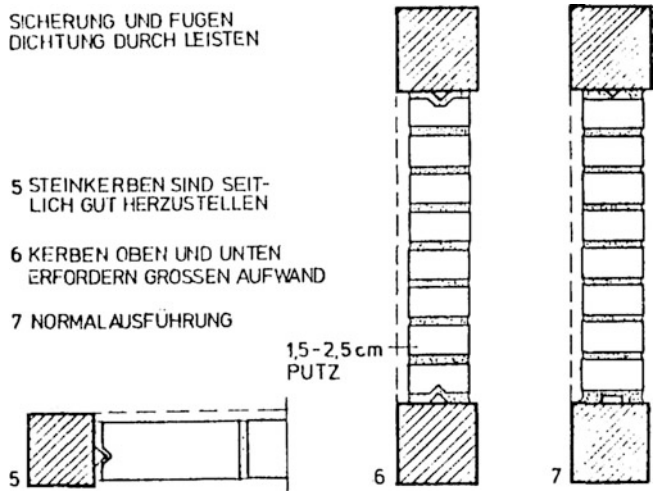


Abb. 1.173 Aufkeilen und Ausfugen. (Quelle: ILS Hamburg)

Lagerflächen der Vollziegel müssten jedoch mechanisch gefertigt (gefräst) werden. Auch das Einbringen der obersten Schicht gegen Leisten ist nur bei abgetreppter Ausmauerung oder durch Aufkeilen und Ausfugen der letzten Schicht möglich.

Über die Verwendung von dauerelastischen Kunststoffen liegen noch keine Langzeiterfahrungen vor (Abb. 1.174). Als Verfahren werden z. B. das Auskratzen der Anschlussfugen und Verfüllen mit Kunststoff oder das Mauern gegen umlaufende Schaumgummistreifen erprobt.

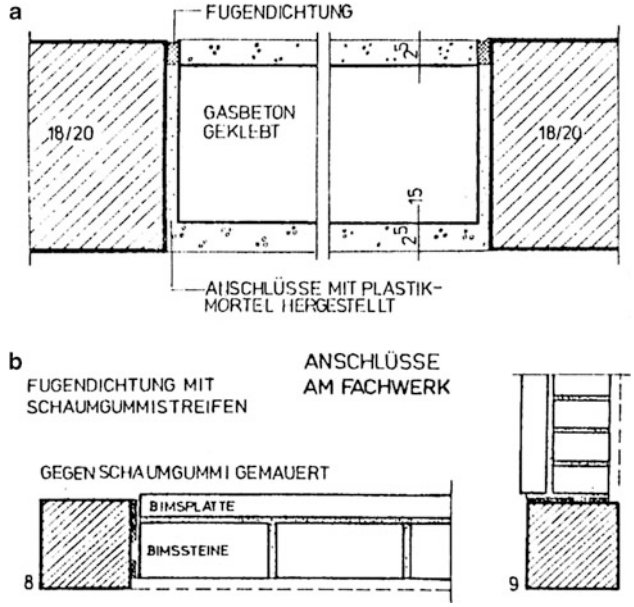


Abb. 1.174 Anschlüsse mit dauerelastischen Kunststoffen, **a** mit Plastikmörtel, **b** mit Schaumgummi. (Quelle: ILS Hamburg)

1.5.6.2 Dachanschluss

Bei dem Dachanschluss geht die Innendämmung in die Dachdämmung über. Gewöhnlich wird im Dachbereich eine Zwischensparrendämmung eingesetzt, die auch durch eine Auf- oder Untersparrendämmung ergänzt werden kann (Abb. 1.175). Als Dämmstoff kommen Mineralwolle oder Zellulose in Verbindung mit einer Folie als Dampfsperre zur Ausführung. Die Folie verhindert den Feuchteeingang in die Dämmung und soll die Luftdichtheit gewährleisten. Auch ein Dachanschluss mit Dachüberstand ist möglich (Abb. 1.176).

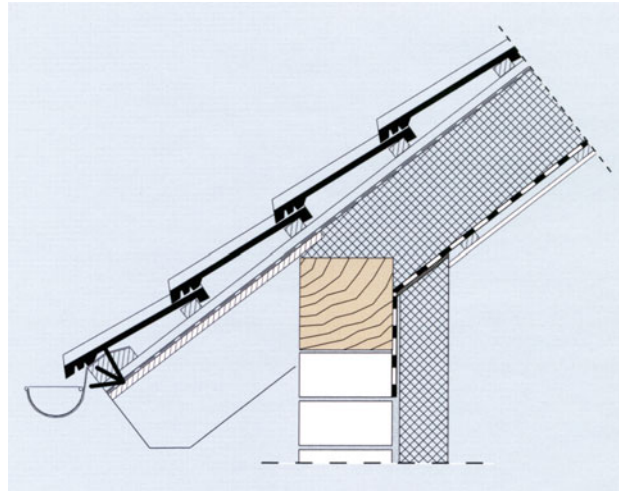


Abb. 1.175 Anschluss Dachdämmung an diffusionsoffene Innendämmung. (Quelle: Grund, Dresden)



Abb. 1.176 Der Dachanschluss mit Dachüberstand reduziert die Schlagregenmenge auf die Fassade erheblich. (Quelle Grund, Dresden)



Abb. 1.177 Der Stockwerküberstand trägt maßgeblich zum Schlagregenschutz bei. (Quelle: Grund, Dresden)

1.5.6.3 Stockwerküberstand

Ein Stockwerküberstand oder Fassadenversatz liefert bei exakt ausgeführtem Dachüberstand zusätzlichen Schlagregenschutz (Abb. 1.177). Allerdings muss auch im Versatzbereich der Farbanstrich des Holzes wasserabweisend und diffusionsoffen sein.

1.5.6.4 Holzfenster im Fachwerkhaus

Fenster an historischen Gebäuden, auch als „Augen des Hauses" beschrieben, haben neben den bauphysikalischen und konstruktiven Aufgaben auch große architektonische Bedeutung für das ganze Fachwerk.

Einfachfenster ohne Anschlag

Das außen bündig in der Fassade liegende Fenster wird an vielen Fachwerkfassaden angetroffen (Abb. 1.178). Bei der Sanierung wird lediglich das Fensterdichtband innen angebracht. Sie schützen das Fensterholz vor Feuchtigkeit und sollen die Wärmedämmung unterstützen. Diese Konstruktion kann natürlich nur geringe konstruktive Anforderungen erfüllen.



Abb. 1.178 Gut gegen Schlagregen geschützte Einfachfenster in der Außenebene. (Quelle: Grund, Dresden)

Einfachfenster mit Anschlag

Einfachfenster mit Anschlag bieten einen deutlich verbesserten Schlagregenschutz (Abb. 1.179). Zum einen lassen sich Fensterblech und Komprimierband gut montieren, zum anderen bietet der Maueranschlag bereits eine geminderte Feuchtebeanspruchung. Das Fensterdichtband wird hier ebenfalls nur innenliegend und diffusionsdicht ausgeführt.

Kastenfenster

Kastenfenster sind infolge ihrer integrierten Luftschicht die biophysikalisch beste Lösung. Eine gut durchdachte Sanierungsvariante ist die Aufdopplung vorhandener Einfachfenster in Kastenfenster. Die optische Veränderung in der Fachwerkfassade ist akzeptabel und die bauphysikalischen Verbesserungen beim Wärme- und Schallschutz sind beachtlich. Feuchte kann durch ein diffusionsoffenes Komprimierband weitgehend verhindert werden (Abb. 1.180). Da allerdings auch in diesen Bereichen Bewegungen nicht ausgeschlossen werden können, ist die Verwendung von PUR-Schaum zu vermeiden.



Abb. 1.179 Einfachfenster mit Anschlag in der Außenebene. (Quelle: Grund, Dresden)



Abb. 1.180 Zum Kastenfenster aufgedoppelte Einfachfenster. (Quelle: Grund, Dresden)

1.5.6.5 Sockelbereich

Der Sockel hat konstruktiv und bauphysikalisch zwei ganz wichtige Aufgaben zu erfüllen:

1. Lastableitung der gesamten Fachwerkkonstruktion in das Erdreich,
2. Sperre gegen aufsteigende Feuchte und Spritzwasser.

Sanierungsmaßnahmen in diesem Bereich sind daher kompliziert und auch kostenaufwendig und sollten daher von versierten Fachleuten gut durchdacht und geplant werden.

Die Gründung des Sockels muss auf jeden Fall frostfrei ($\geq 0{,}80\,\text{m}$) erfolgen. Notfalls ist bei der Sanierung eine Unterfangung erforderlich. Zwischen Sockel und Holzschwelle muss unbedingt eine Horizontalsperre angeordnet werden. Diese soll das Holz vor aufsteigender Feuchte und Salzanreicherungen schützen (Abb. 1.181). Wenn keine Sperre mehr

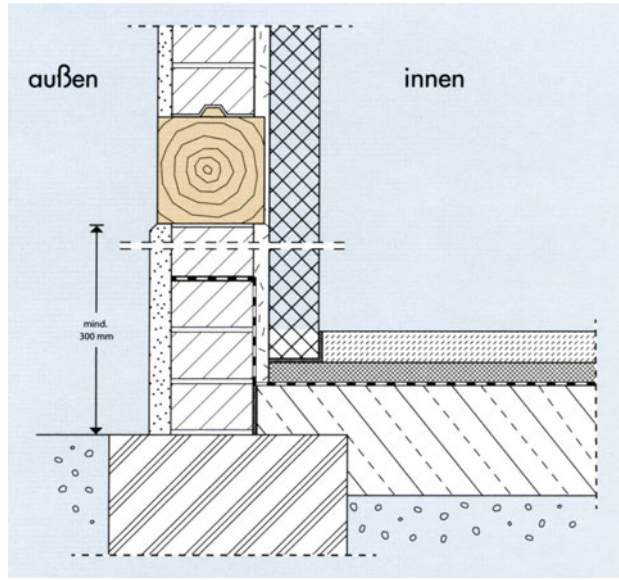


Abb. 1.181 Sockeldetail mit innen gedämmter Fachwerkwand. (Quelle: Grund, Dresden)

vorhanden ist oder diese zerstört ist, muss abschnittsweise die Wand aufgestemmt und z. B. Dachpappe eingeschoben werden. Auf der Innenseite ist bis zum Schwellenbalken eine Vertikalsperre anzuordnen. Sie soll die Feuchteakkumulation über den Innenraum unterbinden. Ungleichmäßige Absenkungen der Schwelle ≤ 30 cm über der Geländeoberkante kann zu dauerhafterer Durchfeuchtung führen. Hier ist durch Stabilisierungsmaßnahmen (z. B. Injektionen) Vorsorge zu treffen.

Soll ein Sockelputz aufgetragen werden, so muss das Material diffusionsoffen und wasserabweisend eingestellt sein. Um von dem sensiblen Holzbalken eine ungehinderte Wasserableitung zu gewährleisten, muss der Putz mit einer 45° geneigten Kante ausgeführt werden (Abb. 1.182).

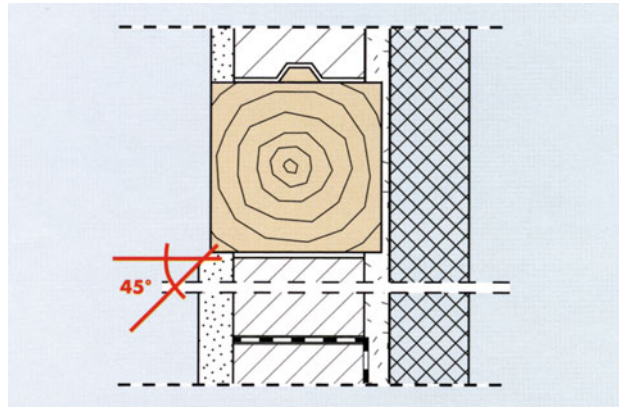


Abb. 1.182 Konstruktionsskizze Sockelbereich mit 45° Neigung des Sockelputzes. (Quelle: Grund, Dresden)

1.6 Sanierung von Fassaden aus Holz und Holzbekleidungen

Holz ist heute einer der wichtigsten Werkstoffe überhaupt und wird auch in der Zukunft zu den meist verwendeten Baustoffen zählen. Er ist ein natürlicher und ökologisch wertvoller Baustoff, weil er der einzige nachwachsende Baustoff ist und bei nachhaltiger Pflege ständig zur Verfügung stehen wird. Holzprodukte können mit dem geringsten Energieaufwand unter allen Baustoffen hergestellt werden, und sie sind wohnhygienisch unbedenklich, wiederverwertbar und problemlos zu entsorgen.

Die Holzvorräte werden in Deutschland von Jahr zu Jahr größer, weil mehr Holz nachwächst, als verarbeitet wird. Das seit 200 Jahren praktizierte Nachhaltigkeitsprinzip der deutschen Forstwirtschaft ist weltweit Vorbild für eine Kreislaufwirtschaft, wie sie vom Umweltgipfel in Rio de Janeiro 1992 nachhaltig gefordert wurde. Vom Wald und seiner ausgleichenden Wirkung auf Boden, Wasserhaushalt, Luft und Klima profitieren wir alle. Die „grüne Lunge“ sorgt für eine höhere Lebensqualität. Voraussetzung ist natürlich, dass nur so viel Holz genutzt wird, wie wieder nachwächst (Prinzip der Nachhaltigkeit). In Deutschland steht zurzeit einem Einschlag von ca. 70 Mio. Kubikmetern ein Zuwachs von 120 Mio. Kubikmetern pro Jahr gegenüber, d. h., unsere Wälder nehmen nicht ab, sondern zu. Jedes Jahr wachsen pro Hektar Waldfläche durchschnittlich 10 m^3 Holz nach. Mit ca. 11 Mio. Hektar ist knapp ein Drittel der Fläche Deutschlands mit Wald bedeckt.

Trotz dieser erfreulichen Entwicklung des deutschen Holzhandels ist der Erhalt des verbauten Holzes von erheblicher Tragweite. Anzuführen sind Fachwerkbauten und Dachstühle, sowohl im Wohnungsbau als auch in öffentlichen Gebäuden wie z. B. in Kirchen. Was für die gesamte historische Bausubstanz gefordert wird, hat für das Holz als ältesten zu sanierenden Werkstoff besondere Bedeutung für dessen Erhalt. Durch Modernisierung, zeitgemäße Nutzung und Erhöhung des Gebrauchswertes und die richtige Auswahl und Anwendung des Holzschutzes sind die Holzbauteile auf Dauer zu sichern. Dabei unterscheidet man zwischen dem konstruktiven bzw. baulichen Holzschutz sowie dem chemischen Holzschutz.

1.6.1 Problemstellung

Die aktuelle Bedeutung des Holzes für den Bausektor zeigt sich an vielen Beispielen. Sowohl im statisch konstruktiven Bereich, z. B. im Hallenbau, oder auch als gestalterisches Element bei Fassadenbekleidungen findet das Material viele Anwendungsformen. Eine wichtige Aufgabe wird somit auch künftig in der Sanierung vorhandener Holzkonstruktionen liegen (Abb. 1.183).

Zu beachten ist, dass Holz vielen tierischen und pflanzlichen Organismen als Lebensgrundlage dient. Als Baustoff verwendetes Holz, besonders wenn es statische Funktionen zu erfüllen hat, muss vor tierischen und pflanzlichen Schädlingen geschützt werden.

Häufig reichen dazu schon vorbeugende Maßnahmen durch holzschützende Konstruktionsvarianten oder chemische Mittel. Ist der Zerstörungsprozess zu weit fortgeschritten,



Abb. 1.183 Liebevoll restauriertes Gebäude. Die ehemals von Putz überdeckten Fachwerkelemente wurden freigelegt und fachgerecht saniert. Die Abstimmung mit der Fenstergestaltung ist gut gelungen. (Quelle: ILS Hamburg)

muss das beschädigte Holz meist ersetzt werden, insbesondere wenn das geschädigte Bauteil eine statisch relevante Funktion besitzt.

Bauliche und chemische Holzschutzmaßnahmen sollen die Güteeigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen erhalten und bei bereits verbautem Holz die Gebrauchsdauer erhöhen. Von Pilzen oder Insekten befallenes Holz ist durch geeignete Maßnahmen zu sanieren. An den bis zu 700 Jahren alten Fachwerkbauten ist ersichtlich, dass die Schadensanfälligkeit bei sorgfältiger Auswahl, Bearbeitung und werkgerechtem Einbau des Holzes, auch ohne chemische Behandlung gering ist. Vorbeugende bauliche Maßnahmen gegenüber Verfärbung, Oberflächenveränderung, Dimensionsveränderungen, Zerstörungen durch Pilzbefall sind deshalb von besonderer Bedeutung.

Durch konstruktive und bauphysikalische Maßnahmen wie rasche Wasserableitung, Dachüberstände, Spritzwassersockel sind eine unzuträgliche Feuchtigkeitsveränderung (Quellen und Schwinden) des Holzes und Pilzbefall zu verhindern. Besonders in Feuchträumen ist durch ausreichende Luftwechsel und die richtige Schichtfolge im Aufbau der Außenwände die Bildung von Tauwasser zu verhindern.

Tab. 1.26 Gefährdungsgrad durch Pilze und Insekten

Lage: Angriff	Pilze	Insekten
Holz im Erdreich (Schwellen, Pfosten, Ständer)	Besonders stark	Gering
Holz im Spritzwasserbereich (niederer Sockel)	Sehr stark	Mittel
Holz außen, ungeschützt auf Sockel- oder Kellermauerwerk stehend	Stark	Mittel
Holz über Keller, Balken oder Lagerhölzer	Stark	Mittel
Fachwerk außen, Verschalung, Fenster	Mittel	Mittel
Dachkonstruktion (trocken)	Gering	Sehr stark
Holz im Innenausbau	Gering	Stark
Holz in Feuchträumen	Stark	Gering

Für die Gefährdung durch Pilze und Insekten sind die Lage und Funktion des Konstruktionsholzes, bedingt auch die Unterschiedlichkeit der Holzverbindungen und die Möglichkeit der Feuchtigkeitsausscheidung (Zapfenlöcher in Schwellen) maßgebend. Der Gefährdungsgrad durch Pilze und Insekten wird allgemein in der Tab. 1.26 dargestellt.

1.6.2 Der Werkstoff Holz

1.6.2.1 Aufbau des Holzes

Durch das Wachstum von Zellen in Ästen, Wurzeln und Stämmen von Bäumen entsteht ein Dauergewebe, das Holz (Abb. 1.184). Die Bildungsschicht, das Kambium, baut das Zellgewebe der Zuwachszone durch Zellteilung auf. Die Zellwand besteht in der Regel aus Zellulose, Hemizellulosen und Pektin. Die meisten Zellen verholzen durch Einlagerung von Lignin. Auch Harze, Fette, Gerb- und Farbstoffe können erzeugt werden, die an der Verkernung und Farbgebung des Holzes beteiligt sind. Zusätzlich werden Elemente wie Kalium, Kalzium, Magnesium, Schwefel, Eisen, Phosphor und Stickstoff aus dem Boden hinzugezogen.

Der Schaft eines Baumes hat die Aufgabe, die Krone zu schützen und die Blätter bzw. Nadeln mit Wasser zu versorgen (Abb. 1.185). Gleichzeitig müssen im Baum die in den Blättern/Nadeln gebildeten Nährstoffe bis zu den Wurzeln nach unten transportiert werden. Der Schaft ist für diese Aufgaben optimal ausgebildet. Außen befindet sich die Rinde, die in einem inneren Teil, Bast genannt, die Nährstoffe nach unten transportiert. Der äußere Teil der Rinde, die Borke, schützt den Baum vor Austrocknung und Verletzung.

Zur Speicherung der Nährstoffe dient dem jungen Spross das Mark. Je nach Holztyp setzt zwischen dem 20. und 40. Baumlebensjahr die Kernbildung ein.

Dabei trennt sich das Holz in Splintholz und Kernholz.

Die äußere Rinde, Borke genannt, erneuert sich ständig und schützt den Baum vor den Gefahren der Außenwelt. Sie hält Regenwasser ab und verhindert zu hohe Verdunstung, schützt ferner gegen Kälte, Hitze, Pilz- und Insektenbefall.

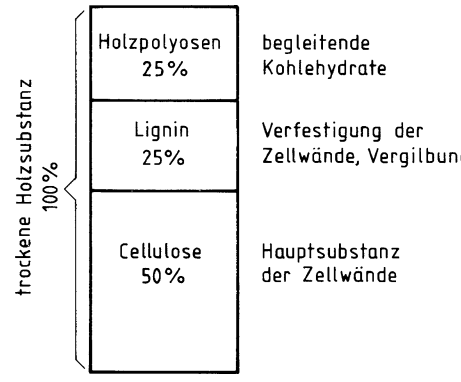


Abb. 1.184 Hauptbestandteile des Holzes. (Quelle: ILS Hamburg)

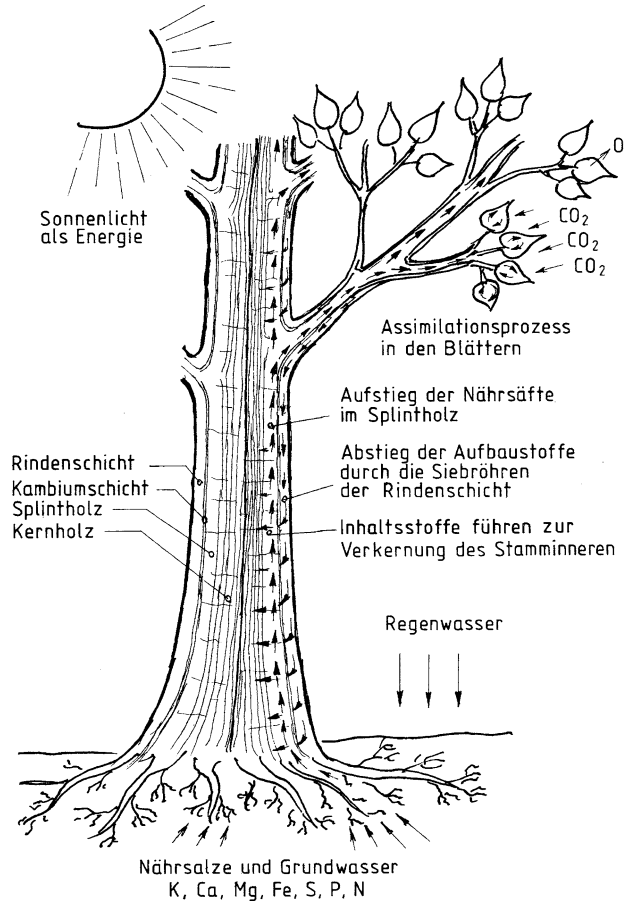


Abb. 1.185 Lebensfunktionen des Baumes. (Quelle: ILS Hamburg)

Die innere Rinde, Bast genannt, ist die Versorgungsleitung des Baumes. Auch sie ist einer ständigen Neubildung unterzogen und wird im Laufe des Baumwachstums zu einem Teil der äußeren Rinde.

Die Zellschicht, Kambium genannt, ist der eigentlich wachsende Teil des Stammes. Das Splintholz ist die Wasserleitung des Baumes, die sich bis in die Kronen erstreckt. Splintholz ist junges Holz und verwandelt sich im Laufe der Zeit zu Kernholz.

Das Kernholz ist die zentrale und stützende Säule des Baumes. Diese Säule ist in vieler Hinsicht so stark wie Stahl. Ein 30 cm langes Kernholzstück mit einem Querschnitt von $2{,}5 \times 5$ cm kann ein Gewicht von bis zu 5 t tragen. Bei der Auswahl der Hölzer für die Rekonstruktion ist daher auf die Kernholzbildung zu achten (Abb. 1.186 und 1.187).

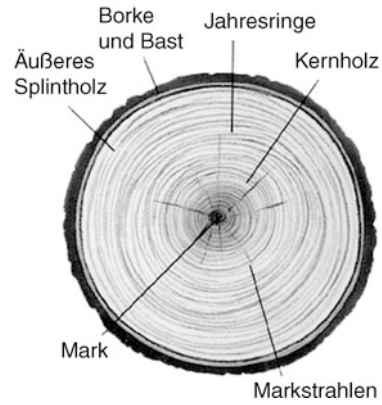


Abb. 1.186 Hirnschnitt. (Quelle: ILS Hamburg)

Nach der Art der Kernholzbildung werden Baumarten wie folgt eingeteilt:

- Bäume mit regelmäßiger Farbkernbildung (auch als Kernholzbäume oder Farbkernhölzer bezeichnet): Hierzu zählen z. B. Kiefer, Lärche, Douglasie, Nussbaum und Kirschbaum.
- Bäume mit unregelmäßiger Farbkernbildung: Diese Baumtypen werden als sogenannte Falschkerne bezeichnet, z. B. Rotbuche oder Esche.

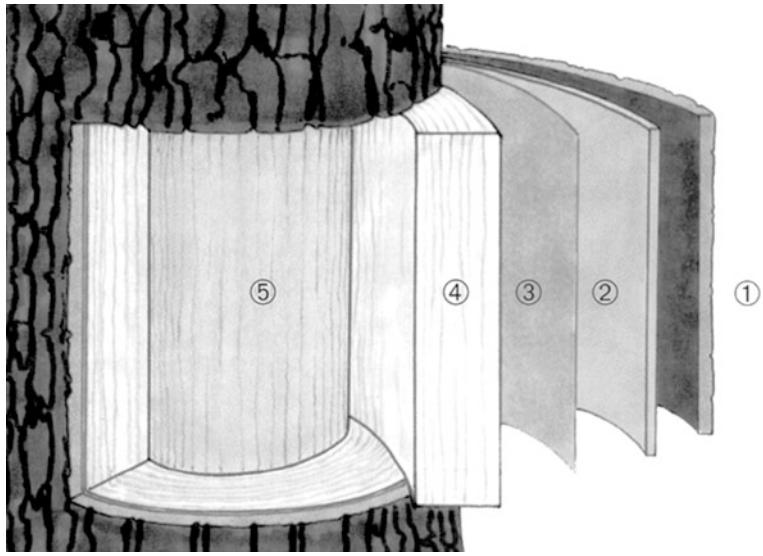


Abb. 1.187 Schematische Darstellung des Holzbaus: *1* äußere Rinde (Borke), *2* innere Rinde (Bast), *3* teilungsfähige Zellschicht (Kambium), *4* Splintholz, *5* Kernholz. (Quelle: ILS Hamburg)

- Bäume mit hellem Kernholz (auch Reifholzbäume genannt): Hierzu zählen z. B. Fichte, Tanne und Birnbaum.
- Bäume mit verzögerter Kernholzbildung (sogenannte Splintholzbäume), zwischen Splint- und Kernholz besteht dabei weder ein Farb- noch ein Feuchtigkeitsunterschied: Hierzu zählen z. B. Birke, Ahorn und Weißbuche.

1.6.2.2 Eigenschaften des Holzes

Holz wird während des Gebrauchs in verschiedenster Weise belastet. Die Belastbarkeit hat, in Abhängigkeit vom jeweiligen Holzaufbau, eine verändernde Wirkung auf die Eigenschaften des Holzes. Für die Sanierung ist es deshalb wichtig, neben der geeigneten Konstruktion, die richtige Holzart und das entsprechende Schutzmittel auszuwählen.

Holz besitzt neben Maserung, Farbe und Geruch eine Reihe weiterer Eigenschaften, die eine vielseitige Verwendung ermöglichen. Das sind vor allem seine Dauerhaftigkeit, Dichte, Härte, Festigkeit, Wärmedämmfähigkeit und das Feuchteverhalten. Eine für das Holz typische Eigenschaft ist das als „Arbeiten" bezeichnete Quellen und Schwinden bei Änderungen der Materialfeuchte.

Dauerhaftigkeit

Werkgerecht verarbeitetes Holz ist sehr dauerhaft. Allerdings kann der ständige Wechsel von Feuchtigkeit und Trockenheit die Dauerhaftigkeit des Materials wesentlich herabsetzen. Zum Beispiel hat Holz, das unter Wasser verbaut wird oder ständiger Feuchtigkeit ausgesetzt ist, eine lange Lebensdauer. Als historische Beispiele sind die unterhalb des Wasserspiegels eingesetzten Hölzer von Kaianlagen und Brückenbauwerken anzuführen. Bekannt ist auch der gute Erhaltungszustand hölzerner Wasserleitungen aus dem Mittelalter, sofern sie nicht aufgrund von hydrogeologischen Veränderungen im umgebenden Boden trockenfallen oder sich in Kontakt mit der Luftatmosphäre zersetzen.

Am dauerhaftesten von den europäischen Hölzern sind das Eichenholz und das Holz der Lärche. Durch eine Behandlung des Holzes mit Holzschutzmitteln kann seine Lebensdauer wesentlich erhöht werden.

Die DIN EN 350-2 behandelt die natürliche Dauerhaftigkeit des Kernholzes der wichtigsten europäischen Nadel- und Laubholzarten gegenüber Holzzerstörern. Die Resistenz gegen Pilze wird in 5 Dauerhaftigkeitsklassen unterteilt (siehe Tab. 1.27).

Tab. 1.27 Dauerhaftigkeitsklassen

Dauerhaftigkeitsklassen		Holzart (Beispiele)
Dauerhaftigkeitsklasse 1	Sehr dauerhaft	Robinie
Dauerhaftigkeitsklasse 2	Dauerhaft	Europäische Eiche, Eibe
Dauerhaftigkeitsklasse 3	Mäßig dauerhaft	Nussbaum
Dauerhaftigkeitsklasse 4	Wenig dauerhaft	Fichte, Tanne
Dauerhaftigkeitsklasse 5	Nicht dauerhaft	Ahorn, Esche

Härte

Unter Härte versteht man den Widerstand der Holzoberfläche gegen Zerspanung, Kratzer und Verschleiß. Die Härte des Holzes ist von der Dicke und Festigkeit der Zellwände, von der Dichte und Feuchte des Zellgefüges und vom Zellinhalt abhängig. Langsam gewachsenes Holz ist in der Regel härter als schnell gewachsenes und Splintholz ist weicher als Kernholz.

Eine Bezugsgröße für die Holzhärte liefert die Prüfung nach der Brinell-Methode, bei der eine Hartmetallkugel mit definiertem Durchmesser und einer festgelegten Prüfkraft in die Holzoberfläche gedrückt wird. Das Verhältnis der Prüfkraft zur eingedrückten Oberfläche definiert die Brinellhärte HB in N/mm^2. Je höher der ermittelte Wert ist, desto härter ist das Holz.

Weiches Holz	z. B. Fichte	HB ca. 10–12 N/mm^2
	z. B. Lärche	HB ca. 18–19 N/mm^2
Mittelhartes Holz	z. B. Birke	HB ca. 27–29 N/mm^2
	z. B. Europäischer Ahorn	HB ca. 27–29 N/mm^2
Hartes Holz	z. B. Eiche	HB ca. 34–41 N/mm^2
	z. B. Esche	HB ca. 37–41 N/mm^2
Sehr hartes Holz	z. B. Robinie	HB ca. 48–56 N/mm^2

Dichte

Beim Holz muss man zwischen Dichte und Rohdichte unterscheiden. Unter Dichte versteht man die Dichte der reinen Holzsubstanz, also der Zellwandsubstanz ohne Zellhohlraum. Sie beträgt bei allen Holzarten 1,56 kg/dm^3. Unter Rohdichte versteht man die Dichte eines Holzes einschließlich seiner Zellhohlräume und deren Inhalt. Die Rohdichte ist neben der Holzart vor allem vom Feuchtegehalt des Holzes abhängig. Im Allgemeinen werden die Werte der Rohdichte von lufttrockenem Holz angegeben (Tab. 1.28). Man bezeichnet sie auch als mittlere Rohdichte.

Festigkeit

Holz zeichnet sich gegenüber anderen Baustoffen durch eine im Vergleich zu seinem Gewicht hohe Festigkeit aus (siehe Abb. 1.188).

Die Festigkeit des Holzes nimmt in der Regel mit steigender Rohdichte zu und mit zunehmender Holzfeuchte ab. Je nach Beanspruchung (vgl. Abb. 1.189) bzw. Anforderung an das Werkstück wird Holz entsprechend seiner Druck-, Zug-, Biege-, Knick- und Schub- bzw. Scherfestigkeit beurteilt.

Die Druckfestigkeit des Holzes ist in Richtung der Holzfaser am größten, rechtwinklig dazu am geringsten. Sie nimmt bei Hölzern mit großer Astigkeit ab.

Die Zugfestigkeit ist bei allen Hölzern in Faserrichtung groß, bei astigem Holz jedoch bedeutend geringer. Quer zur Faser darf Holz auf Zug nur wenig beansprucht werden.

Die Biegefestigkeit hängt von der Faserrichtung des Holzes, von dem Verlauf der Jahresringe, seiner Rohdichte sowie vom Feuchtegehalt, von den Unregelmäßigkeiten im

Tab. 1.28 Rohdichte unterschiedlicher Hölzer in Gramm pro Kubikzentimeter, Mittelwerte bei einem Feuchtegehalt von etwa 15 %, das heißt lufttrocken

Leichtes Holz		Mittelschweres Holz		Schweres und sehr schweres Holz	
Baumart	g/cm^3	Baumart	g/cm^3	Baumart	g/cm^3
Balsa	0,15	Limba	0,58	Eiche	0,72
Abachi	0,38	Kirschbaum	0,61	Rotbuche	0,73
Weide	0,46	Lärche	0,63	Esche	0,73
Pappel	0,47	Ahorn	0,64	Birnbaum	0,74
Fichte	0,48	Sapelli-Mahagoni	0,67	Teak	0,75
Tanne	0,48	Kambala, Iroko	0,67	Afzelia	0,78
Kiefer	0,55	Birke	0,68	Weißbuche	0,82
Brasilkiefer	0,56	Nussbaum	0,70	Buchsbaum	1,1
Linde	0,56			Pockholz	1,36

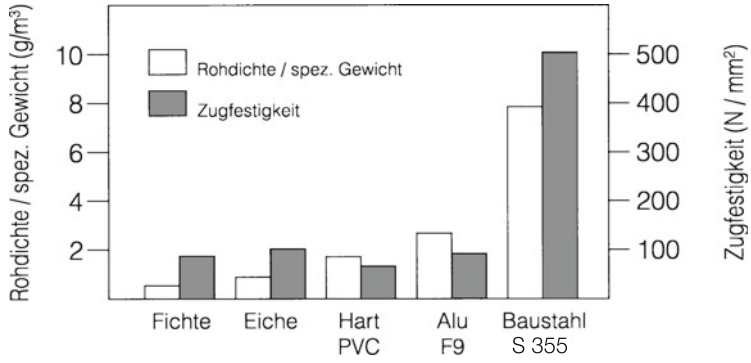


Abb. 1.188 Dichte und Zugfestigkeit von verschiedenen Baustoffen. (Quelle: ILS Hamburg)

Wuchs und von seiner Astigkeit ab. Unregelmäßigkeiten des Wuchses wirken sich vor allem dann auf die Biegezugfestigkeit aus, wenn sie in der Randzone des Baumes oder des Schnittholzes auftreten.

Die Knickfestigkeit des Holzes ist ebenfalls vom Faserverlauf abhängig. Äste, Wuchsfehler und Schwindrisse mindern die Knickfestigkeit.

Die Schub- und Scherfestigkeit des Holzes ist gering. Auf Abscheren werden z. B. Holznägel und Dübelverbindungen sowie die Anschlüsse von Verstrebungen beansprucht.

Holzarten für den Einsatz im tragenden Bereich müssen nach Festigkeit sortiert sein. Nach der DIN 20000-5 in Verbindung mit DIN EN 1995-1-1 sind nur festigkeitssortierte Nadelhölzer und folgende Laubholzarten zugelassen: Buche, Eiche, Afzelia, Angelique, Azobé (Bongossi), Ipe, Keruing, Merbau und Teak.

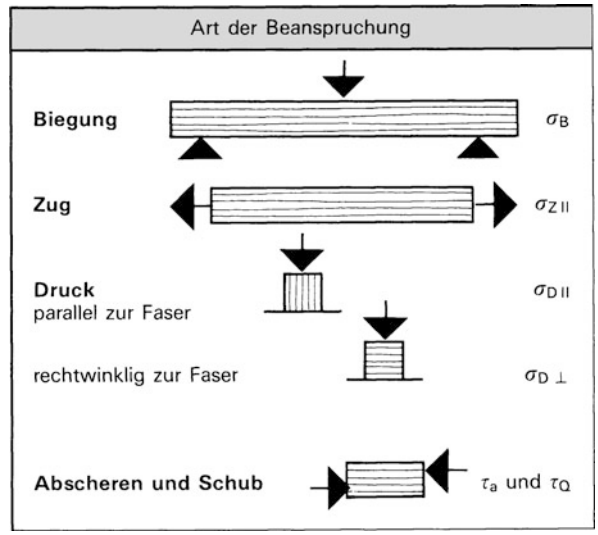


Abb. 1.189 Arten der mechanischen Beanspruchung. (Quelle: ILS Hamburg)

Wärmedämmfähigkeit

Holz hat aufgrund seiner geringen Wärmeleitfähigkeit ein gutes Wärmedämmvermögen. Allerdings ist seine Temperaturbeanspruchung begrenzt, da der Flammpunkt sehr niedrig ist. Das wird oft im Hinblick auf den Brandschutz als Nachteil angesehen, aber zahlreiche Gebäudetypen können unter voller Beanspruchung der für sie geltenden baurechtlichen Brandschutzanforderungen auch in Holzbauweise erstellt werden. Denn obwohl Holz brennt, ist es erstaunlich hitzebeständig, und es behält im Brandfall lange seine Form und Festigkeit. Metalle dagegen werden rasch weich und Kunststoffe schmelzen schnell ab. Im Vergleich mit anderen Baustoffen hat Holz folgende Eigenschaften:

Leichtbausteine aus Ton leiten Wärme etwa dreimal stärker als Holz, Beton zwölfmal, Stahl dreihundertmal. Polystyrolhartschaum hingegen hat wegen seiner sechsfach geringeren Wärmeleitfähigkeit gegenüber dem Holz die sechsfache Dämmfähigkeit. Für die Dämmfähigkeit des Holzes kann man nur Mittelwerte zugrunde legen; so gilt beispielsweise für Fichte und Tanne ein U-Wert von ~ 0,14 W/(m^2 K), für Buche ein U-Wert von ~ 0,17 W/(m^2 K) und für Eiche ein U-Wert von ~ 0,21 W/(m^2 K). Grundsätzlich ist festzustellen, dass Hölzer mit einem lockeren Zellgefüge besser dämmen als Hölzer mit festen, dickwandigen Zellen.

Feuchteverhalten

Holz kann Feuchtigkeit aufnehmen oder abgeben. Durch die Aufnahme oder Abgabe von Feuchtigkeit ändert sich das Volumen und die Form des Holzes. Bei der Feuchteaufnahme vergrößert sich das Volumen; das Holz quillt. Bei Abgabe verringert sich das Volumen; das Holz schwindet (Abb. 1.190). Durch Aufnahme oder Abgabe von Wasserdampf strebt es ein „Feuchtegleichgewicht“ an, das von der jeweiligen Umgebungsfeuchte und Umge-

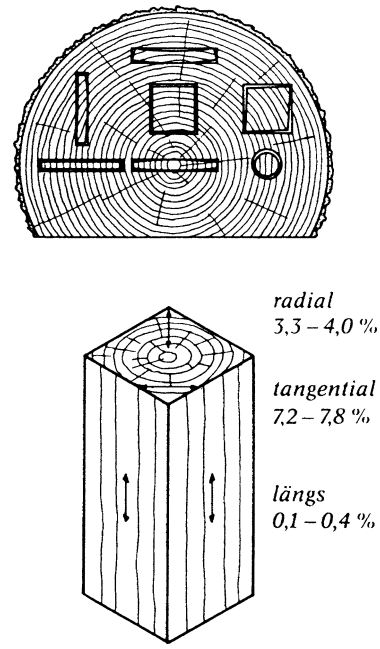


Abb. 1.190 Schwindrisse und Quellverhalten. (Quelle: ILS Hamburg)

bungstemperatur abhängt. Diese Gleichgewichtsfeuchte umfasst einen weiten Bereich von ca. 6 % im Wohnklima bis zu ca. 20 % im winterlichen Außenklima. Bei 100 % relativer Luftfeuchte beträgt die Gleichgewichtsfeuchte von Holz circa 28–30 %. Kommt Holz in permanenten Kontakt mit Wasser, so steigt die Holzfeuchte auf über 30 % an.

Das Feuchteverhalten des Holzes hat einen großen Einfluss auf seine technische Verwendung:

- Ein hoher Feuchtegehalt mindert die Tragfähigkeit und begünstigt den Befall durch Pilze.
- Ein wechselnder Feuchtegehalt hat eine Veränderung des Holzquerschnitts, je nach Einschnitt auch eine Verzerrung zur Folge; das Holz „arbeitet".
- Bei Trocknung des Holzes neigen viele Arten zur Bildung von Schwindrissen, die einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und Tragfähigkeit haben können.

Der unmittelbare Zusammenhang zwischen Pilzbefall und Holzfeuchte ist eine anerkannte Tatsache. Als Grenzwert für das Wachstum holzzerstörender Pilze wird in der DIN 68800 von einer Holzfeuchte von 20 % ausgegangen. Jedoch kann ein Befall mit Pilzen, auch bei Feuchtegehalten unterhalb von 20 %, nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Zudem überdauern Pilzsporen über sehr lange Zeiträume ohne ausreichende Feuchte. Aufgrund ihrer zumeist recht kurzen Entwicklungsstadien von teilweise nur 5 bis 7 Tagen genügt eine entsprechend kurzfristige Feuchtezufuhr, um das Wachstum zu begünstigen.

Durch den Einbau von diffusionsoffenen Folien können bauphysikalische Systeme ausgebildet werden, die eine ausreichend rasche Nachtrocknung auch von halbtrocken eingebauten Holzteilen ohne chemische Schutzbehandlung erlauben (DIN 68800-2). Für die Praxis bedeutet das, dass eine kurzzeitige Befeuchtung durch Niederschläge während Transport und Montage zwar möglichst vermieden werden soll, es aber als unbedenklich angesehen werden kann, wenn im Nachhinein eine ungehinderte Abtrocknung gewährleistet wird.

1.6.2.3 Kennzeichnung und Kategorien der Hölzer

In der DIN EN 13556 ist für alle in Europa verwendeten Handelshölzer ein Kurzzeichen festgelegt, das sich auf die international einheitlichen botanischen Namen bezieht. Die Bezeichnung setzt sich als Vierlettercode nach dem folgenden System zusammen: Der erste und zweite Buchstabe beschreiben die botanische Gattung, der dritte und vierte Buchstabe beziehen sich auf die botanische Art, des Weiteren ist nach einem Komma die Herkunft (Kontinent) mit einem Kürzel angegeben. Ein Beispiel: Das Kurzzeichen für die Fichte (**Pic**ea **ab**ies) aus Europa ist PCAB, EU.

Die Forstwirtschaft unterscheidet Rund- und Schnittholz. Das Rundholz als Rohprodukt ist der gefällte unverarbeitete Stamm mit Astanteilen. In der Weiterverarbeitung wird es zu Industrieholz (z. B. Papierherstellung), Energieholz (z. B. Brennholz, Pellets) oder Schnittholz für die Verwendung als Bauholz und für die Möbelherstellung.

Schnittholz wird nach der Form des Zuschnitts kategorisiert. Ausgehend vom Verhältnis von Dicke zu Breite des Querschnitts werden die Schnittholzarten in aufsteigender Größe mit den Bezeichnungen Latte, Brett, Bohle und Kantholz unterschieden.

Bauschnitthölzer werden nach ihrer Tragfähigkeit sortiert. Gemäß den Regeln der DIN 4074 und der DIN EN 14081 wird das Holz in Sortierklassen eingeteilt. Nach visuellen Merkmalen wird zwischen den Sortierklassen S7, S10 und S13 unterschieden, technisch unterstützt ist eine Zuordnung in die Sortierklasse S15 möglich. Je höher die Klasse, desto tragfähiger ist das Holz. Die Sortierkriterien sind auf eine Holzfeuchte von 20 % bezogen und unterscheiden getrennte Kategorien für Nadelholz (nach DIN 4074-1) und Laubholz (nach DIN 4074-5). Kanthölzer werden zusammen mit vorwiegend biegebeanspruchten Brettern und Bohlen sortiert, Latten werden separat betrachtet.

Die Zuordnung zu den Sortierklassen erfolgt u. a. nach den folgenden Merkmalen:

- Astigkeit (Einzelast/Astansammlung),
- Faserneigung,
- Risse,
- Verfärbungen/Fäule,
- Krümmung,
- Verdrehung des Holzes.

1.6.3 Anwendung im Bauwesen

1.6.3.1 Einsatzmöglichkeiten

Wie der Schnitt durch einen Baumstamm zeigt (Abb. 1.195), lässt sich das Holz komplett verwerten. Fachmännisch aufbereitet und veredelt kann man hochwertige Möbel aus dem Kernholz herstellen sowie andererseits Balken, Bohlen und Bretter für den konstruktiven Holzbau erhalten (Abb. 1.192). Verschnitt und Reste können durchaus nutzbringend einer thermischen Verwertung, z. B. als Häcksel zugeführt werden. Für wirtschaftliche und praktische Bauanwendungen sowie für typische Modernisierungsaufgaben bietet sich Holz für die Verwendung als Wand-, Decken-, und Dachbaustoff an, aber auch für die Herstellung von Fenstern, Türen und Treppen.

Das Kernholz im Stamm des Baumes ist bei den meisten Holzarten sehr widerstandsfähig und formstabil, es wird daher vorzugsweise für tragende Balken und Pfosten verwendet. Werden die Außenbereiche des Stamms zur Gewinnung von Schnittholz genutzt, wird das Holz anfälliger für Rissbildungen und Formveränderungen.

Mit Holz wird im Bauwesen auf die unterschiedlichste Art gearbeitet (siehe Tab. 1.29 und Abb. 1.193).

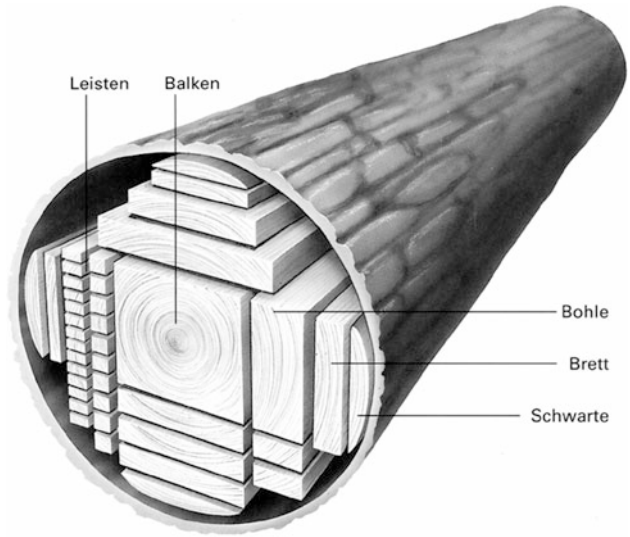


Abb. 1.191 Schnitt durch einen Baumstamm. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.29 Einsatzbeispiele für Holz

Holz			
Bauwerk	Bauteil	Ausbauteile	Landschaftsbauten
Fachwerkhäuser	Dachstühle	Fenster	Zäune
Holzhäuser	Deckenbalken	Türen	Palisaden
Brücken	Treppen	Fußböden	Spielplätze – Geräte
Sporthallen	Balkone	Wandverkleidungen	Sichtschutz

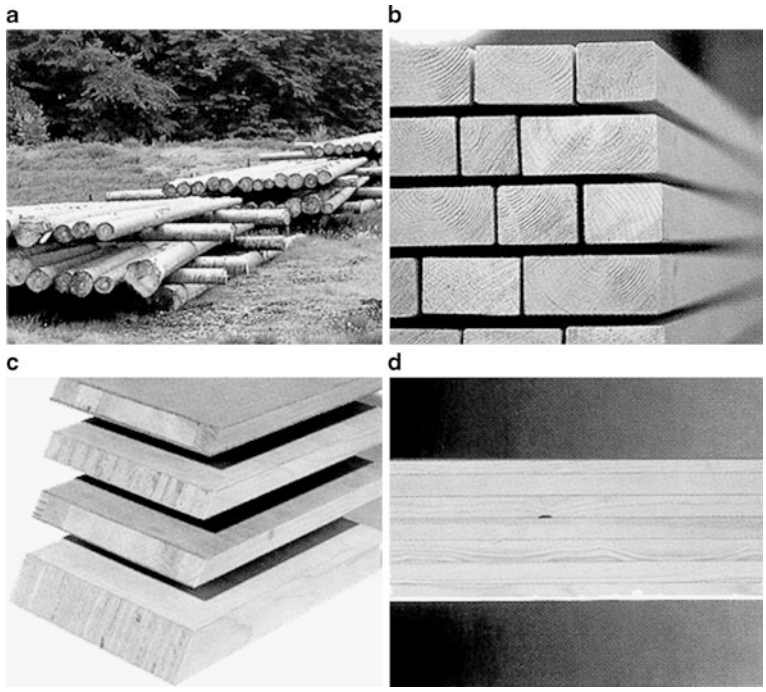


Abb. 1.192 Holzbezeichnungen: **a** Kreuzpolter, **b** Konstruktionsvollholz, **c** Holzwerkstoff, **d** Brettschichtholz. (Quelle: ILS Hamburg)

Die schädigenden Einflüsse auf das Holz sind nicht an allen Baugliedern oder in jedem Bauwerksabschnitt gleich. Der Verwendungszweck, das Alter, die Holzart sind daher in Hinblick auf die auszuführenden Schutzmaßnahmen differenziert zu betrachten und zu bewerten. Allgemein gebräuchlich für die Unterteilung von Konstruktionshölzern nach ihrer Beanspruchung ist die folgende Einteilung:

- tragende/nicht tragende Bauteile,
- maßhaltige/nicht maßhaltige Bauteile,
- Innenbauteile/Außenbauteile.

Tragende Bauteile haben eine statische Funktion. Ihre Bemessung, die Auswahl der Holzart und die Konstruktion sind so zu gestalten, dass ein Versagen und damit eine Gefährdung weitgehend ausgeschlossen sind. Die am häufigsten verwendeten tragenden Holzbauteile sind Stützen und Balken, z. B. bei der Skelettbauweise sowie als Sparren und Pfosten eines Dachstuhles (Abb. 1.194).

Nicht tragende Bauteile sind Ausbauteile wie Fenster, Türen und gestalterische Elemente wie Sichtschutz, Zäune und Pergolen (Abb. 1.195 und 1.196).



Abb. 1.193 Einsatzbeispiele für Holz: **a** mittelalterlicher Fachwerkbau, **b** Detail einer modernen Holzfassade, **c** Brückenkonstruktion aus Holz, **d** Tennishalle mit Brettschichtholzrahmen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.194 Holzdachstuhl mit tragender Funktion. (Quelle: ILS Hamburg)

Maßhaltig müssen solche Bauteile sein, bei denen größere oder häufig auftretende Querschnittsänderungen infolge wechselnden Feuchtegehalts sowohl die Funktion als auch die Nutzungsdauer beeinträchtigen können. Zu den maßhaltigen Bauteilen zählen z. B. Fenster und Türen.

Zu den nicht maßhaltigen Bauteilen gehören beispielsweise Zäune, Pergolen und Lärmschutzwände (Abb. 1.197).



Abb. 1.195 Hölzer in der Außenanwendung. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.196 Nicht tragende Bauteile: **a** Fenster und Türen, **b** Flechtelement aus Holz als Sichtschutz. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.197 Nicht maßhaltiges Bauteil: Pergola aus Holz. (Quelle: ILS Hamburg)

Im Hinblick auf die Gefährdung durch tierische oder pflanzliche Holzschädlinge und die daraus resultierenden Schutzmaßnahmen ist zwischen Innen- und Außenbauteilen zu unterscheiden (vgl. Abb. 1.198).

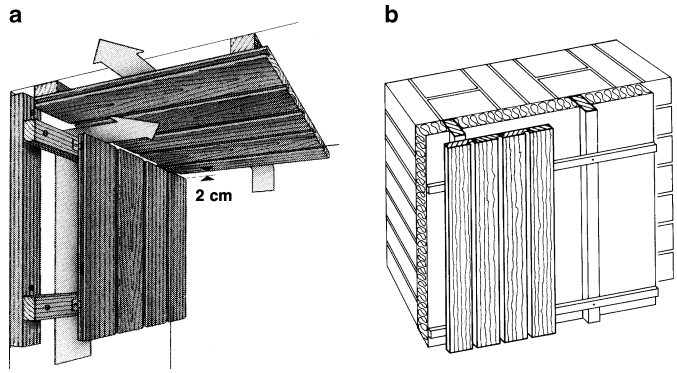


Abb. 1.198 Innen- und Außenbauteile: **a** Innenbauteil, Konterlattung mit Hinterlüftung, **b** Außenbauteil, Fassadenbekleidung aus Holz mit Außendämmung. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.3.2 Gebrauchsklassen

Unterschiedlich beanspruchtes Holz muss auch differenziert behandelt werden. Die DIN EN 335-1 definiert für Holz- und Holzprodukte Gebrauchsklassen, die sich auf die verschiedenen Gebrauchsbedingungen von Bauteilen beziehen. Gleichzeitig ist die Holzfeuchte eines Bauteils im Gebrauchszustand zwingend zu beachten. Zur Charakterisierung des Ausmaßes einer Gefährdung von Holzbauteilen durch Holzschädlinge sind in DIN 68800 Gebrauchsklassen definiert, nach denen Bauteile in bestimmten Anwendungsbereichen zugeordnet sind. Die Tab. 1.30 gibt diese Zuordnung wieder.

Beispiele für die Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse:
GK 0:

- Sichtbar bleibende Hölzer in Wohnräumen, z. B. Türen, Treppen, Bodenbeläge, Wandverkleidungen, Einbaumöbel etc.
- Allseitig insektendicht abgedeckte Bauteile nach DIN 68800-2

GK 1:

- Nicht insektendicht bekleidete Balken
- Balken in unbeheizten Dachstühlen

GK 2:

- Unzureichend wärmegedämmte Balkenköpfe in Altbauten
- Unzugängliche Abseiten nicht ausgebauter, ungedämmter Dächer

GK 3.1:

- Nicht tragende Außenbauteile mit intakter Beschichtung (z. B. Außenfenster, Außentüren)
- Fassaden

Tab. 1.30 Gebrauchsklassen (GK) gemäß DIN EN 335-1 und Holzschutz nach DIN 68800-1

GK	Allgemeine Gebrauchsbedingungen	Holzfeuchte	Gefährdung				
		u (M.-%)	Insekten	Pilze	Moderfäule	Holzschädling im Meerwasser	Auswasch-beanspruchung
0	Holz unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt, Gefahr von Schäden durch Insekten ausgeschlossen	Immer < 20 %	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
1	Holz unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt	Immer < 20 %	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
2	Holz unter Dach, nicht der Bewitterung ausgesetzt, eine mittlere relative Luftfeuchte über 85 % kann zu gelegentlicher, aber nicht dauerhafter Befeuchtung führen	Gelegentlich > 20 %	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
3.1	Holz nicht unter Dach, mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreicherung von Wasser im Holz auch räumlich begrenzt nicht zu erwarten	Gelegentlich > 20 %	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
3.2	Holz nicht unter Dach, mit Bewitterung, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt, Anreicherung von Wasser im Holz ist zu erwarten	Häufig > 20 %	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
4	Holz oder Holzprodukt in Kontakt mit Erde oder Süßwasser und so bei mäßiger bis starker Beanspruchung vorwiegend bis ständig einer Befeuchtung ausgesetzt	Vorwiegend bis ständig > 20 %	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
5	Holz ständig Meerwasser ausgesetzt	Ständig > 20 %	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

GK 3.2:

- Außenbauteile ohne Erdkontakt (GK 4 von Einbausituation möglich)
- Der Witterung ausgesetzte Balkonteile (GK 4 von Einbausituation möglich)

GK 4:

- Palisaden
- Zaunpfähle
- Rebpfähle
- Hölzer für Uferbefestigungen (Süßwasser)

GK 5:

- Dalben
- Kai- und Steganlagen

1.6.3.3 Dauerhaftigkeitsklassen

Die Gefährdung des Holzes durch Schädlinge und die Dauerhaftigkeit sowie damit die Notwendigkeit des Einsatzes eines chemischen Holzschutzes stehen in einem unmittelbaren Zusammenhang. Die Dauerhaftigkeitsklassen sind in der DIN 350-2 definiert und wurden mit der DIN 68800 bauaufsichtlich eingeführt:

Dauerhaftigkeitsklasse 1 = sehr dauerhaft,

Dauerhaftigkeitsklasse 2 = dauerhaft,

Dauerhaftigkeitsklasse 3 = mäßig dauerhaft,

Dauerhaftigkeitsklasse 4 = wenig dauerhaft,

Dauerhaftigkeitsklasse 5 = nicht dauerhaft.

In der DIN 68800 werden die Dauerhaftigkeitsklassen zudem in Beziehung zu den Gebrauchsklassen gesetzt. Tab. 1.31 gibt einen Überblick, inwieweit die natürliche Dauerhaftigkeit einer Holzart gegen Pilzbefall ausreichend für eine Anwendung in einer bestimmten Gefährdungsklasse ist.

Beispielsweise benötigen Fenster oder Außentüren (GK 3.1) aus Eichenkernholz (Dauerhaftigkeitsklasse 2) keinen chemischen Holzschutz, da sie gegen Pilze ausreichend dauerhaft sind und von Insekten kaum befallen werden.

Tab. 1.31 Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit des splintfreien Farbkernholzes gegen Pilzbefall für den Einsatz in den Gebrauchsklassen 1 bis 4

Gebrauchsklassen	Dauerhaftigkeitsklassen nach DIN EN 350-2			
	1	**2**	**3**	**4**
1	+	+	+	+
2	+	+	+	–
3.1	+	+	+	–
3.2	+	+	–	–
4	+	–	–	–

+ Natürliche Dauerhaftigkeit ausreichend
– Natürliche Dauerhaftigkeit nicht ausreichend

Weitere dauerhafte mitteleuropäische Holzarten zeigt die Abb. 1.199. Sie benötigen als maßhaltige Bauteile allerdings eine Oberflächenbehandlung mit einem ausreichend diffusionsdichten Witterungsschutz.

1.6.4 Ursachen der Holzzerstörung

Wenn wir Hölzer für die Sanierung oder auch für neue Ausbauteile auswählen, sollten wir unbedingt darauf achten, nur „gesundes Holz“ zu benutzen. Den Unterschied auszumachen ist selbst für den Fachmann nicht immer einfach, denn man unterscheidet zwischen Holzfehlern und Holzkrankheiten.

Holzfehler liegen vor, wenn die gesunden Fasern des Holzes vom normalen Wuchs abweichen oder der Zusammenhang der Fasern gelockert oder gestört ist.

Holzkrankheiten kommen sowohl am lebenden als auch am gefällten Baum bzw. am verarbeiteten Holz vor. Die Verursacher sind pflanzliche Holzschädlinge (Pilze, Schwämme) oder tierische Holzschädlinge (Insekten, Nager, Rotwild).

1.6.4.1 Holzfehler

Holzfehler werden nach Art und Ursprung in drei Gruppen unterteilt:

- Fehler der äußeren Stammform (Wuchsfehler),
- Fehler im inneren Aufbau des Holzes,
- Holzfehler infolge klimatischer Einflüsse.

Fehler der äußeren Stammform

Den größten Nutzwert haben Stämme, die geradschäftig und vollholzig sind. Vollholzige Stämme verjüngen sich nur wenig zum Zopfende hin, bzw. sie sind wenig abholzig (Abb. 1.200). Fehlerhafte Abweichungen davon können durch Wildfraß, Witterungseinflüsse, Naturereignisse oder Bodenverhältnisse bedingt sein.

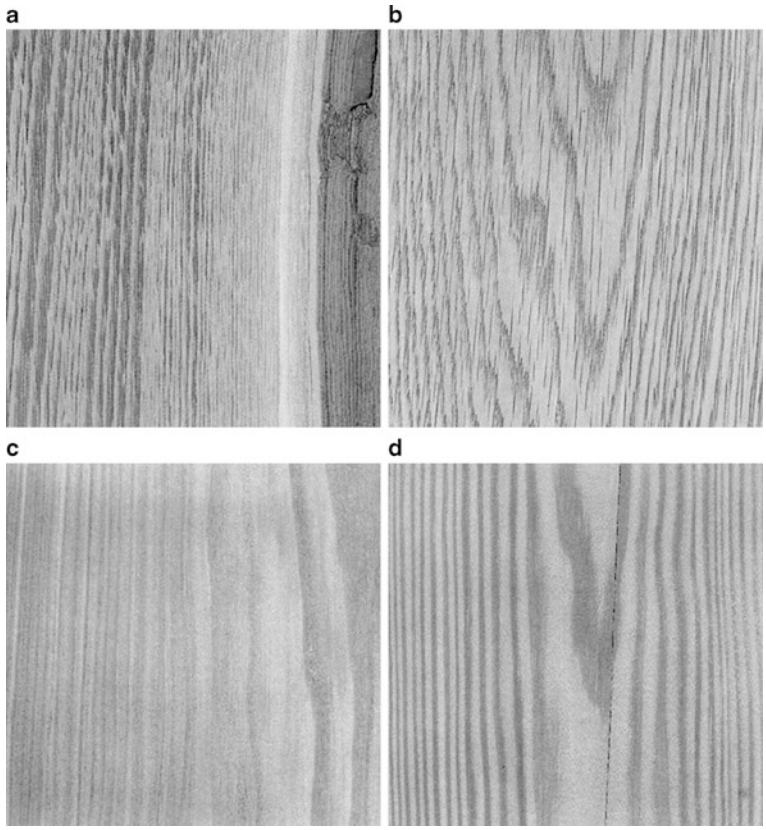


Abb. 1.199 Mitteleuropäische Holzarten (Auswahl), **a** Robinie Dauerhaftigkeitsklasse 1–2, **b** Eiche Dauerhaftigkeitsklasse 2, **c** Douglasie Dauerhaftigkeitsklasse 3–4, **d** Lärche Dauerhaftigkeitsklasse 3–4. (Quelle: ILS Hamburg)

Schon ein abholzig gewachsener Baum (Abb. 1.201a) lässt sich wegen des Verschnitts nicht gut nutzen, und noch schlechter, wenn er gabelwüchsig (Abb. 1.201b) ist. Zwieselwuchs entsteht, wenn drei oder mehrere Seitenknospen das Längenwachstum übernehmen. Krummschäftige und drehwüchsige Stämme (Abb. 1.201c und 1.201d) werden wie andere fehlwüchsige Hölzer in der Plattenindustrie zerspant und gelangen erst gar nicht in den Schnittholzhandel.



Abb. 1.200 Vollholziger Stamm, wenig abholzig. (Quelle: ILS Hamburg)

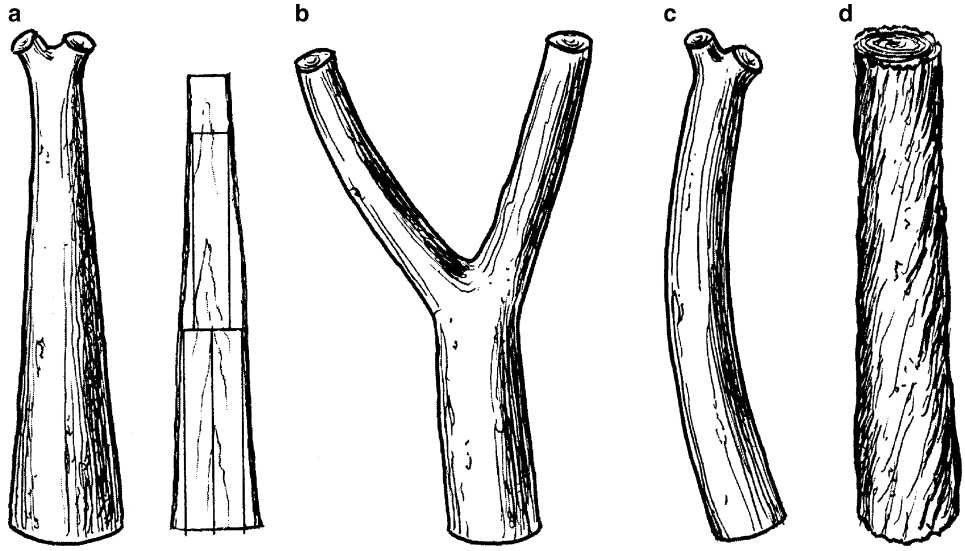
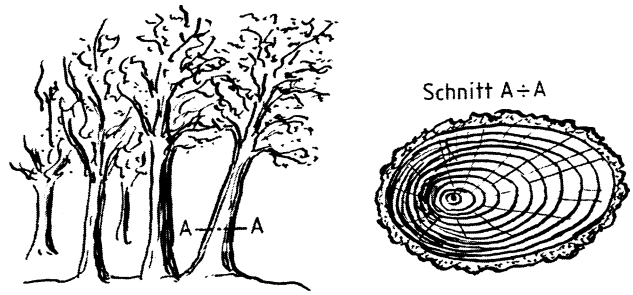


Abb. 1.201 Fehler in der äußeren Stammform: **a** stark abholziger Stamm mit viel Verschnitt, **b** Gabelwuchs, **c** krummschäftiges Holz, **d** drehwüchsiger Stamm. (Quelle: ILS Hamburg)

Fehler im inneren Aufbau des Holzes

Exzenterwuchs (Abb. 1.202) rührt meistens von einseitiger mechanischer Beanspruchung her. Der am Waldrand stehende Baum wird durch Ausdehnung seiner eigenen Krone oder dem Geäst seiner Nachbarn in die Schräglage gedrückt. Er stabilisiert sich durch starken einseitigen Wuchs. Dabei wird der regelmäßige Aufbau des Holzes gestört. Das Holz ist stellenweise nagelhart und spannungsreich, sodass es sich leicht verzieht. In der Regel liegt die Markröhre im Mittelpunkt des Stammquerschnitts. Beim exzentrischen Wuchs liegt das Mark außerhalb der Mitte, und die Jahresringe drängen sich auf der einen Seite dicht zusammen, auf der anderen sind ihre Abstände weit. Dadurch weist das Holz abweichende Festigkeiten auf und es „arbeitet" ungleichmäßig. Exzentrisch gewachsenes Holz ist nur mit erheblichen Einschränkungen verwendbar.

Abb. 1.202 Exzenterwuchs. (Quelle: ILS Hamburg)



Bei spannrückigen Bäumen (Eibe, Weißbuche), die nur eine mäßige Ausbeute an Schnittholz liefern, sind die Jahresringe und damit auch der Querschnitt des Stamms nicht rund (Abb. 1.203).

Als Überwallung oder Wundgewebe bezeichnet man einen raschen Rindenwuchs, den beschädigte Stämme (z. B. durch abgebrochene Äste) zu ihrem Schutz bilden.

Maserwuchs (Abb. 1.204) entsteht, wenn gehäufte Seitenknospen, die mehrere Jahre nicht zur Entfaltung kamen, überwuchert werden. Obwohl sie das Wachstum des Stamms beeinträchtigen, hat das Holz aufgrund des verschlungenen Faserverlaufs eine schöne Zeichnung, die für die Furnierherstellung recht reizvoll sein kann.

Fest mit dem Holz verwachsene Äste mindern seinen Wert nur geringfügig. Sie können im Gegenteil recht dekorativ sein. Beim Sägen quer durchgeschnittene Äste werden als Rundäste, längs durchschnittene Äste werden als Flügeläste bezeichnet. Abgestorbene Äste oder Äste, die beim Überwachsen mit Rinde versehen waren, sind nicht fest mit dem Stammholz verbunden. Diese Äste lösen sich vom Stammholz; sie werden als Durchfalläste bezeichnet.

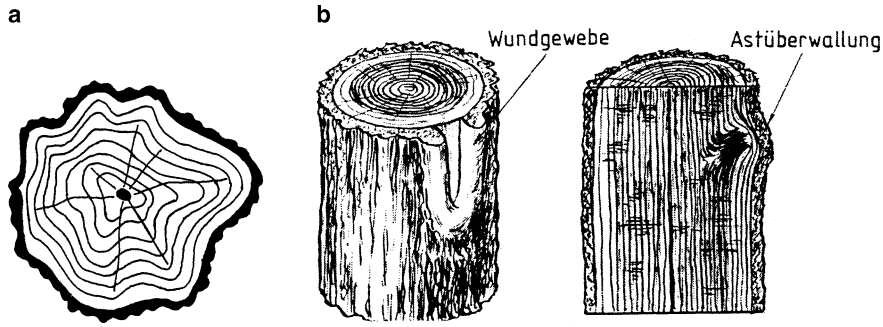


Abb. 1.203 Fehler im inneren Aufbau des Holzes: Spannrückigkeit; Überwallung verwundeter Stellen, das Holz bleibt darunter gesund. (Quelle: ILS Hamburg)

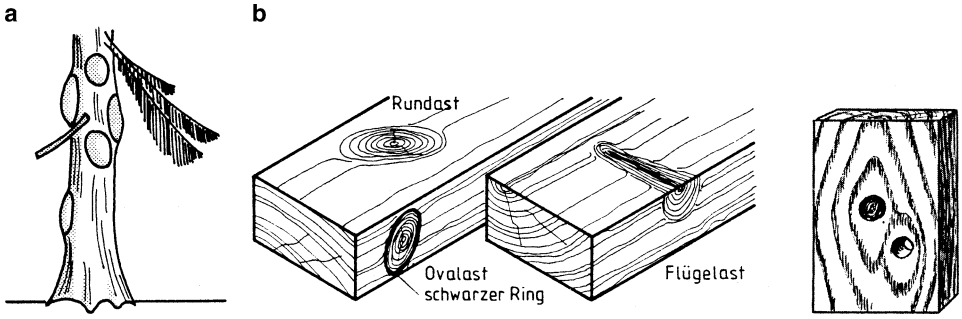


Abb. 1.204 Maserwuchs und Äste: **a** Maserwuchs, **b** Äste; Rundäste lose und verwachsen. (Quelle: ILS Hamburg)

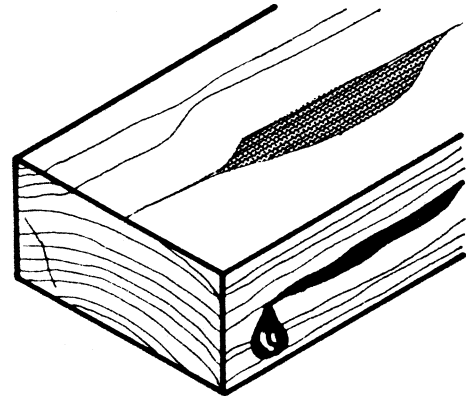


Abb. 1.205 Harzgallen. (Quelle: ILS Hamburg)

Harzgallen (Abb. 1.205) sind längliche, innerhalb eines Jahresringes liegende, harzgefüllte Blasen. Sie entstehen durch eine Verstopfung in den Harzgängen. Harzgallen laufen in warmen Räumen aus und durchdringen selbst Anstriche. Größere Harzgallen müssen beim Schnittholz entfernt und durch Einleimen eines passenden Holzstückes verfüllt werden.

Fehler durch klimatische Einflüsse

Risse (Abb. 1.206) entstehen meist durch unsachgemäßes Fällen und Transportieren des Langholzes sowie durch unsachgemäßes Trocknen des Rund- oder des Schnittholzes. Sie können beim verbauten Holz auch durch große Belastungen verursacht werden. Risse verlaufen in der Regel in Faserrichtung des Holzes. Sie können unterschiedlich tief und lang sein und in verschiedenen Lagen auftreten.

Luft- oder Trockenrisse (Abb. 1.207a–c), die durch ungleichmäßiges Austrocknen entstehen, mindern die Festigkeit des Holzes. In den Rissen können sich auch holzzerstörende Pilze ansiedeln.

Kern- oder Sternrisse (Abb. 1.207d) gehen vom Mark aus, dringen jedoch selten bis zur Rinde vor. Meist entstehen sie nach dem Fällen als Folge ungleichmäßigen Schwindens, seltener durch Spannungsbildungen beim Verkernen des Holzes. Frostrisse (Abb. 1.207e)

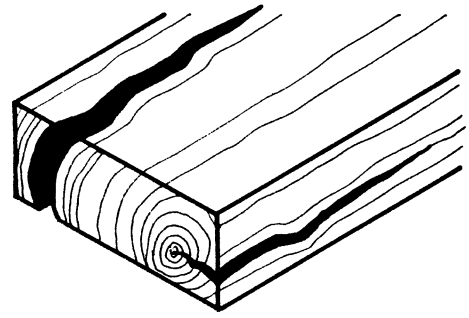


Abb. 1.206 Risse. (Quelle: ILS Hamburg)

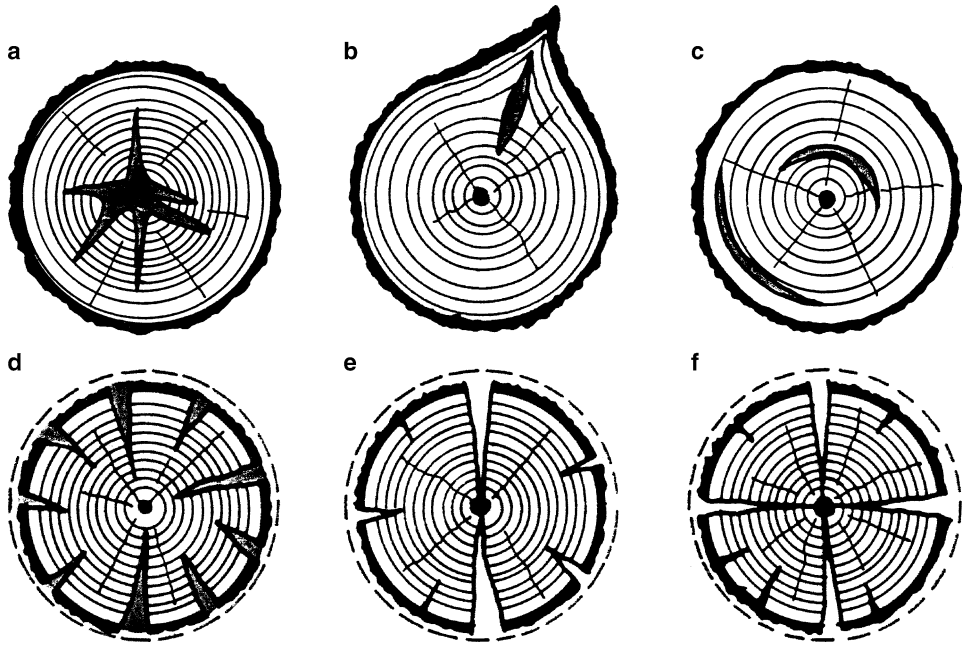


Abb. 1.207 Risse im Holz: Luft- und Trockenrisse, **a** am Rundholz, **b** nach dem Fällen, halbiert, **c** nach dem Fällen, geviertelt, **d** Kern- oder Sternrisse, **e** Frostrisse überwachsen, **f** Ringrisse. (Quelle: ILS Hamburg)

entstehen bei niedrigen Temperaturen und reichen häufig von der Rinde bis zum Mark. Wenn die Risse überwachsen, werden sie am Stamm oft als Frostleisten sichtbar. Ebenfalls bei niedrigen Temperaturen können Ringrisse (auch Ringschäle genannt) auftreten (Abb. 1.207f). Dabei lösen sich Holzlagen in Richtung der Jahresringe, und es entstehen zumeist runde Risse. Hölzer mit Rissen sind als Bauholz für die Verwendung bei Sanierungsvorhaben ungeeignet, da die Risse sich ständig weiter verändern und im Allgemeinen breiter werden.

1.6.4.2 Holzkrankheiten

Erscheinungsformen

Holzkrankheiten werden durch pflanzliche Organismen hervorgerufen. Im Gegensatz zu den Holzfehlern, bei denen gesunde Holzfasern lediglich vom normalen Verlauf abweichen, werden die Fasern durch Holzkrankheiten zerstört, zumindest aber verfärbt.

Bei den holzabbauenden pflanzlichen Organismen handelt es sich überwiegend um Pilze. Die holzzerstörenden und holzverfärbenden Pilze sind Schmarotzer, die ihre Nahrung aus dem Holz entnehmen und es somit im Laufe der Zeit verfärben oder durch Fäulnis zerstören. Am besten entwickeln sich die Pilze im feuchten Holz, das heißt ab einer Holz-

feuchte von 20 % und bei Temperaturen um 25 °C. Da Pilze ihre Nährstoffe nicht durch die Fotosynthese gewinnen, sind sie auch nicht auf das Sonnenlicht angewiesen und können dunklere, versteckt liegende Orte besiedeln. Oft werden die Nutzer der befallenen Gebäude oder Räumlichkeiten daher vom „plötzlichen Auftreten" der Pilze überrascht.

Eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Zerstörung der Hölzer durch tierische oder pflanzliche Organismen ist ein zu hoher Feuchtegehalt. Im Dachbereich kann dies z. B. durch fehlerhafte oder falsch angebrachte Dampfsperren und den Zutritt von Luftfeuchtigkeit aus beheizten Räumen verursacht werden. Auch die Belastung durch Löschwasser nach Brandfällen ist als Ursache zu hoher Feuchtegehalte ein bekanntes Schadensbeispiel. Ausschlaggebend für einen Befall ist immer auch die optimale Temperatur. So liegen die günstigen Temperaturbereiche für das Pilzwachstum zwischen 20 und 25 °C, also im Wohlfühlbereich der Bewohner. Daneben haben die Lichtmenge, das Sauerstoffangebot und der pH-Wert bzw. der Säuregrad des Holzes einen erheblichen Einfluss auf das Wachstumsverhalten der tierischen und pflanzlichen Organismen. Nicht zuletzt ist der Holztyp und damit die Zusammensetzung des Holzes mitentscheidend für die Art des Befalls.

Die holzzerstörenden Pilze haben verschiedene Erscheinungsformen. Der eigentliche Schädling ist das Pilzgeflecht (Pilzmyzel); es besteht aus farblosen oder dunkel gefärbten Fäden (Hyphen). Durch das Ausscheiden von Stoffen (Enzymen) und durch den Entzug von Nährstoffen wird das befallene Holz aufgelöst. Bei einem großen Teil der holzzerstörenden Pilze tritt eine Umbildung des Oberflächenmyzels zu dicken, für manche Pilze charakteristischen Strängen ein. Am Pilzgeflecht bilden sich Fruchtkörper, die wiederum die Sporen (Keime) erzeugen. Die winzigen Sporen werden vom Winde verweht, bleiben mehrere Jahre keimfähig und verbleiben am gesunden Holz.

Außer der Kernfäule unterscheidet man noch die Außenfäule, auch Lagerfäule genannt. Sie wird durch eine zu nasse Lagerung der Stämme verursacht. Die verschiedensten Erreger können Weiß-, Rot-, Stock- oder Ringfäule hervorrufen. Befallenes Holz ist minderwertig, oft sogar wertlos.

Holzpilze kann man in holzverfärbende Pilze und holzzerstörende Pilze einteilen.

Holzverfärbende Pilze

Diese Pilze ernähren sich von den Inhaltsstoffen der Holzzellen und greifen die Zellwände nicht an. Sie bewirken deshalb keine Festigkeitsreduktion und auch keine Fäulnis. Sie führen zu einer Verfärbung des Holzes und können unter Umständen auch Anstrichschäden verursachen. Die Bewertung eines Befalls durch holzverfärbende Pilze hängt also sehr vom Verwendungszweck des Holzes ab. Auch die holzverfärbenden Pilze benötigen für ihre Entwicklung größere Holzfeuchten. Ihr Auftreten an verbautem Holz weist daher zugleich auf ein bestehendes Risiko für einen Befall durch Feuchtigkeit hin.

Die Blaufärbung (auch Blausteifigkeit oder Verbläuung) wird durch Bläuepilze verursacht. Nach ihrem Vorkommen lassen sich drei Typen des Bläuebefalls unterscheiden:

- Die Stammholzbläue, die durch Bläuepilze in waldfrischem Holz verursacht wird.
- Die Schnittholzbläue, die nach dem Aufschneiden des Rundholzes an nicht ausreichend getrockneten Bohlen oder Brettern auftritt.
- Die Anstrichbläue. Eine Verfärbung der Hölzer tritt dann auf, wenn z. B. mit Anstrichen behandeltes Holz erneut Feuchtigkeit aufnimmt und dadurch die Myzelbildung und Fruchtkörperbildung durch den Anstrichfilm hindurch ermöglicht werden.

Bläuepilze befallen vorwiegend Nadelhölzer, z. B. den Splint des Kiefernholzes (Abb. 1.208 und 1.209). Der Pilz dringt besonders bei feuchter, warmer Luft in Ritzen feuchten Holzes, vornehmlich zwischen frisch geschnittenen Brettern ein.

Sofern verbläute Hölzer (Abb. 1.210) für die Sanierung eingesetzt werden, ist Folgendes zu beachten:

Farbveränderungen können auch chemischer Natur sein, z. B. kann frisches Eichenholz bei Kontakt mit Eisenmetallen durch eine Reaktion der im Holz vorhandenen Gerbstoffe

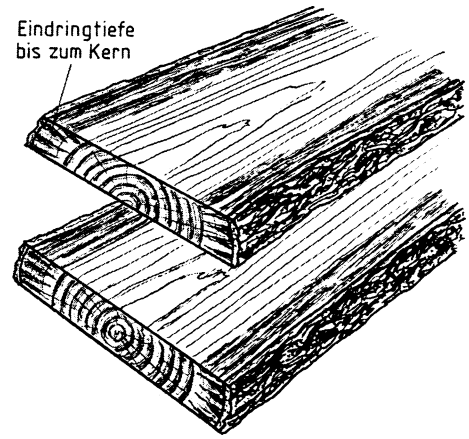


Abb. 1.208 Blaufärbung durch Bläuepilze. Befall an Kiefernsplint bei feuchtwarmen Temperaturen. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.209 Bläuepilzstreifen in Kiefernholz. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.210 Bläuepilz im Holz, hier im Fenster, zerstört nicht nur dieses, er ist auch „Wegbereiter“ für Schwammbefall. (Quelle: ILS Hamburg)

mit dem Eisen zu einer ausgeprägten blauschwarzen Verfärbung führen. Diese Eisengerbstoffreaktion ist auch verantwortlich für die Dunkelfärbung der sogenannten Mooreichen.

Die Rotstreifigkeit kommt vor allem bei frisch gefällten Fichten vor. Nicht entrindete und feucht gelagerte Stämme sind besonders gefährdet. Der die Rotstreifigkeit verursachende Pilz zersetzt vornehmlich den Zellsaft, greift aber auch auf die Zellwände über und mindert dadurch die Festigkeit des Holzes. Rotstreifiges Holz sollte nur für Bauteile verwendet werden, die keinen besonderen Belastungen ausgesetzt sind.

Holzzerstörende Pilze

Im Gegensatz zu den holzverfärbenden Pilzen bauen die holzzerstörenden Pilze die Zellwände der Holzzellen ab und verursachen dadurch Fäulnis. Die holzzerstörenden Pilze werden nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt (Tab. 1.32).

Tab. 1.32 Einteilung holzzerstörender Pilze

Nach der Ausbildung des Myzels	– Substratpilze – Oberflächenpilze
Nach ihrem Auftreten	– Stammfäule – Lagerfäule – Hausfäule
Nach dem Zerstörungsbild	– Braunfäule (Zellulose) – Weißfäule (Lignin) – Nassfäule – Moderfäule – Bläuepilze
Nach dem Holzquerschnitt	– Splintfäule – Kernfäule – Hohlfäule – Stockfäule

Weißfäule
Weißfäulepilze treten bevorzugt an Laubhölzern auf. Die Organismen bauen das Lignin des Holzes ab. Zunächst zeigt das Holz eine weißlich graue Aufhellung, im fortlaufenden Prozess entstehen durch den Ligninabbau wabenförmige Löcher. Durch Weißfäule zerstörtes Holz ist weich und faserig, dunkle Linien grenzen befallene und gesunde Bereiche ab.

Moderfäule
Durch Moderfäule sind besonders Hölzer gefährdet, die einer sehr hohen Feuchtigkeit ausgesetzt sind oder im ständigen Erdkontakt stehen. Die Organismen zerstören die Zellulose, sodass das Holz seine Festigkeit verliert. Eine bräunliche Verfärbung und eine schmierige Oberfläche im nassen Zustand verweisen auf den Befall. Im trockenen Zustand zeigt das Holz eine würfelbrüchige Struktur.

Braunfäule
Exemplarisch wird wegen der oft dramatischen Schädigungen einer der drei wichtigsten Braunfäulepilze, der sogenannte Echte Hausschwamm nachfolgend beschrieben. Der Echte Hausschwamm ist einer der gefährlichsten Schädlinge an verbautem Holz und ist besonders schwierig zu bekämpfen.

Er tritt vorwiegend in Keller- und Erdgeschossen und auf Dachböden von Altbauten auf, wobei er bevorzugt Nadelholz befällt. An Holzschäden in Neubauten ist der Hausschwamm dagegen selten beteiligt. Als einziger Holzpilz greift der Echte Hausschwamm auch auf trockenes Holz über und leitet das hierzu nötige Wasser mit einem hochentwickelten Strangmyzel oft über mehrere Meter. Dabei kann er selbst Mauerwerk durchwachsen und sich rasch über mehrere Stockwerke ausbreiten (Abb. 1.211a).

Der Hausschwamm tritt in drei Erscheinungsformen auf, dem Myzel, den Strängen und den Fruchtkörpern. Das Oberflächenmyzel kann dem Typ nach strangbildend oder fruchtkörperbildend sein. Die Stränge (Abb. 1.212) werden zumeist erst nach dem Absterben des Myzels sichtbar. Fruchtkörper bilden sich auf dem Myzel hinter dem weißlichen Wachstumsrand in Form einer verdichteten, wabenartigen Struktur. Zur Ausbildung des Fruchtkörpers muss Licht in geringer Intensität vorhanden sein, während das Myzel und die Stränge in völliger Dunkelheit wachsen. Die Fruchtkörper können auf den unterschiedlichsten Untergründen wie Holz, Ziegeln, mineralischen Baustoffen oder auch Natursteinen wachsen. Eine Braunfärbung der Fruchtschicht zeigt an, dass die Entwicklung von Sporen begonnen hat. Die Sporen werden von den sogenannten Basidien getragen, welche die Sporen in die Umgebung schleudern. Hausschwammfruchtkörper können erhebliche Mengen von Sporen erzeugen, die die umgebenden Oberflächen wie mit einem Teppich aus brauner Farbe bedecken. Frisch wachsende Fruchtkörper riechen angenehm pilzartig und sind nicht giftig. Allergische Reaktionen beim Menschen werden durch die Sporen sehr selten ausgelöst. Wenn kein weißer Wachstumsrand mehr gebildet wird, ist das ein Anzeichen dafür, dass die Fruchtkörper ausgewachsen sind. Der Fruchtkörper stirbt erst dann ab, wenn er durch die Sporenproduktion erschöpft ist.

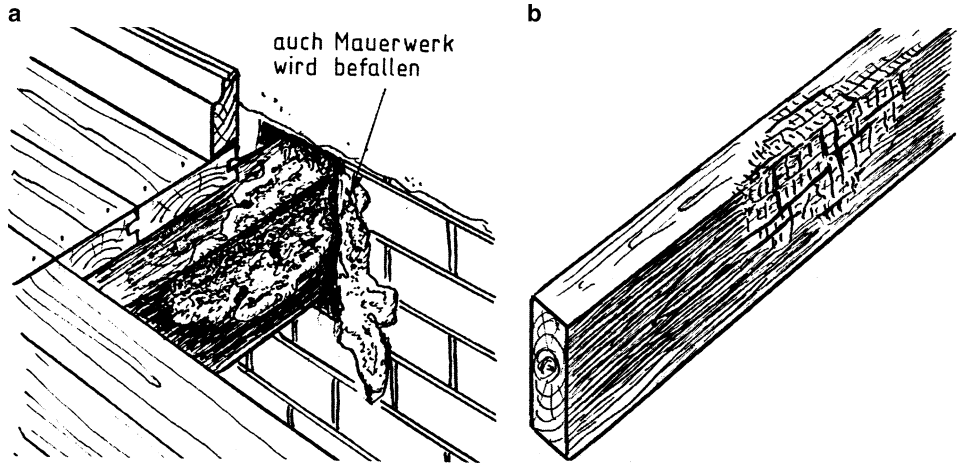


Abb. 1.211 Hausschwamm: **a** feucht liegender Balken vom Hausschwamm befallen, **b** zerstörter Balken. Nach dem Entfernen des Schwammes wird Würfelbrüchigkeit sichtbar. (Quelle: ILS Hamburg)

Der Echte Hausschwamm entzieht dem Holz außer dem Lignin alle weiteren Aufbaustoffe, weshalb das Holz an Härte und Festigkeit verliert. Ein typisches Merkmal ist die einsetzende Braunfärbung des Holzes. Durch den starken Schwund bilden sich Risse längs und quer zur Faserrichtung aus; es wird „würfelbrüchig“ und muss durch neues Holz ersetzt werden (Abb. 1.211b).

Vorbeugender Schutz vor dem Echten Hausschwamm wie auch vor Holzkrankheiten im Allgemeinen:

- nur gesundes und trockenes Holz verwenden,
- Holz fachgerecht einbauen
  (gut gegen Feuchtigkeit schützen, Balkenköpfe im Mauerwerk luftumspült einbauen),

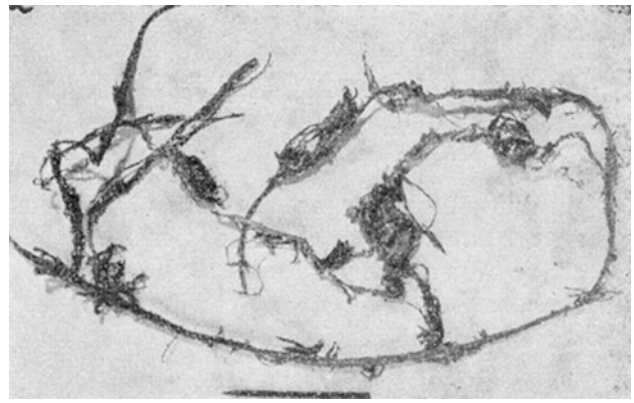


Abb. 1.212 Etwa 1 m langer, bleistiftdicker Strang des echten Hausschwammes. (Quelle: ILS Hamburg)

- Holzkonstruktionen gegen Tauwasserbildung schützen (Dampfsperre, Wärmedämmung),
- dauerhafte Belüftung der Holzkonstruktionen vorsehen,
- gute Wartung des Gebäudes, d. h., Dachschäden, defekte Fassaden, Rohrbrüche usw. sofort instand setzen,
- nur mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800 behandelte Hölzer einbauen.

Neben dem Echten Hausschwamm gibt es weitere Braunfäulepilze, die ähnlich große Schäden anrichten. Einige sind aber leichter zu bekämpfen und entwickeln keine so weitreichenden Myzelstränge.

Brauner Keller- oder Warzenschwamm
Der Braune Keller- oder Warzenschwamm (Abb. 1.213) befällt vornehmlich Holz in Kontakt mit feuchtem Mauerwerk oder feuchten Böden sowie alles Holz in Räumen mit starker Wasserdampfentwicklung (Küche, Bad). Er wächst sehr schnell, allerdings benötigt er einen für Bauholz ausgesprochen hohen Feuchtegehalt von deutlich über 30 %. Bei Austrocknung stirbt er ab. Man findet ihn in Alt- und Neubauten und an Außenbauteilen mit Erdkontakt. Er ist nicht leicht zu erkennen, weil das Holz kaum Oberflächenmyzel aufweist und Fruchtkörper selten sind. Die Fruchtkörper besitzen eine hell- bis dunkelbraune Färbung mit gelblich bis weißer Zuwachszone.

Weißer Porenschwamm
Der Weiße Porenschwamm (Abb. 1.214) befällt vorwiegend Nadelholz mit relativ hohem Feuchtegehalt. Er bildet ein gut entwickeltes weißes Oberflächenmyzel, das eisblumen- oder fächerartig wächst. Die Fruchtkörper sind dünnhäutig und besitzen eine deutlich erkennbare Röhrenschicht.

Da der Pilz in jahrelange Trockenstarre verfallen kann, besteht bei falscher Bekämpfung nach erneutem Durchfeuchten des Holzes die Gefahr des Wiederauflebens.

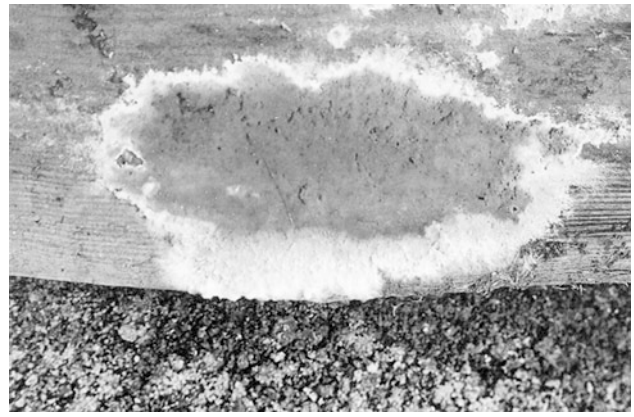


Abb. 1.213 Holzbefall durch den Braunen Keller- oder Warzenschwamm. (Quelle: ILS Hamburg)

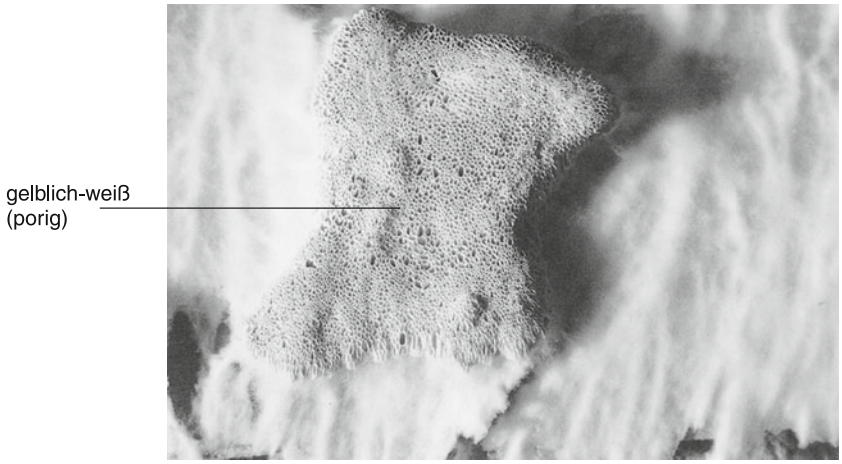


Abb. 1.214 Holzbefall durch den Weißen Porenschwamm. (Quelle: ILS Hamburg)

Blättling

Blättlinge (Abb. 1.215) besitzen eine besondere Bedeutung für die Schädigung von Außenbauteilen. Sie verursachen über 90 % aller Schäden an Fensterhölzern. Sie können aber auch Innenbauteile befallen, die häufigen Feuchteeinwirkungen ausgesetzt sind, z. B. infolge von Undichtigkeiten der Dachhaut.

Blättlinge tolerieren hohe Temperaturen und periodische Austrocknung. Ihre Sporen setzen sich in Holzrissen fest, und das Myzel entwickelt sich im Inneren des Holzes. Des-

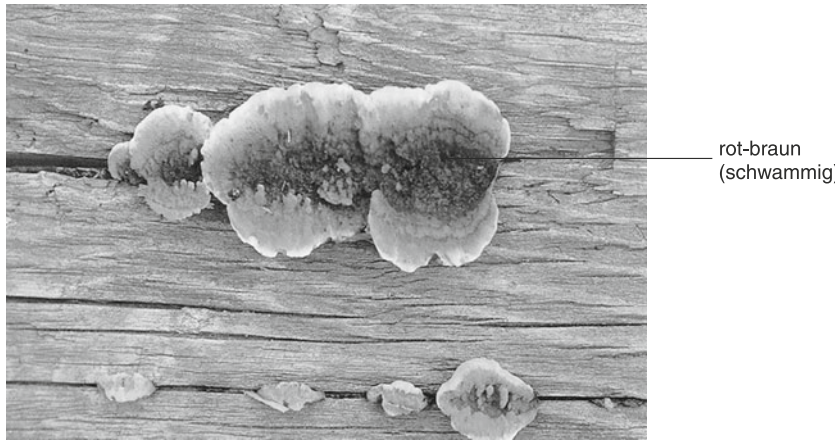


Abb. 1.215 Charakteristisches Wachstum von Blättlingen aus Trockenrissen. (Quelle: ILS Hamburg)

halb bleiben auch bei weitgehender Vermorschung der inneren Holzbereiche die äußeren Holzschichten oft über lange Zeit intakt, und der Schaden wird erst spät erkannt.

1.6.4.3 Tierische Holzschädlinge

Erscheinungsformen

Bau- und Werkholz wird überwiegend durch Insektenbefall geschädigt. Hier sind es meist bestimmte Käferarten, die als Schädlinge auftreten. Die wichtigsten tierischen Holzschädlinge sind Insekten, die den Baum durch Kahlfraß oder durch Unterbrechung der Saftleitungen lebensunfähig machen oder das gefällte Holz durch Larvenfraß zerstören. Bei den holzzerstörenden Insekten wird zwischen Faltern, Käfern und Hautflüglern unterschieden. Sie durchlaufen vier verschiedene Entwicklungsstadien (siehe Abb. 1.216). Aus den Eiern entwickeln sich die Larven bzw. die Raupen. Diese verpuppen sich, und aus den Puppen schlüpfen die fertigen Insekten (Falter, Käfer oder Hautflügler), deren Weibchen dann wieder Eier ablegen.

Die vier Stadien bilden zusammen die sogenannte Generationsdauer. Bei den holzschädigenden Insekten, besonders bei Käfern, kann sie unterschiedlich lang sein. Die meisten einheimischen Käferarten haben eine Generationsdauer von 1 bis 3 Jahren. Bestimmte Käferarten wie z. B. Borkenkäfer sind in der Lage, auch innerhalb eines Jahres eine Generation hervorzubringen. Vor allem die Larven bzw. Raupen zerstören das Holz.

Die große Anzahl tierischer Holzschädlinge erweckt fast den Eindruck, als hätte jede Baumart ihren eigenen Zerstörer: Eichholzbohrer, Buchennutzholzkäfer, Kiefernspinner, Fichtenbock, Ahornbock, Pappelbock, Birkenglasschwärmer, Weidenbohrer und andere. Viele von ihnen treten vereinzelt auf, einige allerdings so massiv, dass der volkswirt-

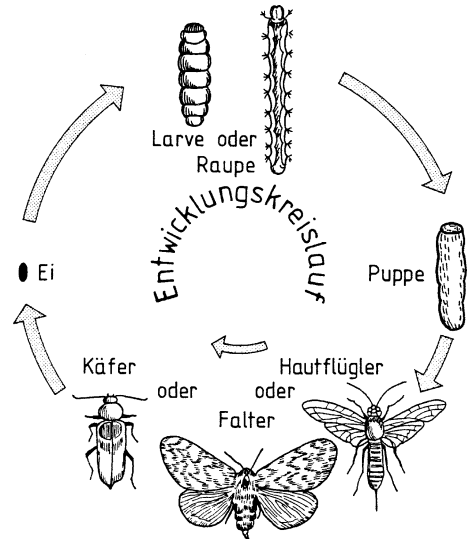


Abb. 1.216 Entwicklungsstadien der Insekten. (Quelle: ILS Hamburg)

schaftliche Schaden beträchtlich ist. Tierische Holzschädlinge werden in die Gruppen der Trockenholz- und Frischholzinsekten eingeteilt.

Trockenholzinsekten

Trockenholzinsekten (in der Fachliteratur auch Bauholz- oder Lagerholzschädlinge genannt) können sich bei geringerer Holzfeuchte entwickeln. Sie befallen lufttrockenes, verbautes Holz und sind die eigentlichen Bauholzschädlinge. Im Gegensatz zu den Frischholzinsekten bleiben Trockenholzinsekten über viele Generationen hindurch in demselben Holz aktiv, bis zu dessen völliger Zerstörung.

Unter den Trockenholzinsekten sind in unseren Breiten die Käfer (Abb. 1.217) die wichtigste Gruppe. Die Schäden werden überwiegend von den Käferlarven verursacht, die das Holz zerkleinern und teilweise fressen. Dabei hinterlassen sie die charakteristischen Fraßgänge. Wenn nach dem Puppenstadium die Käfer ausschlüpfen und das Holz verlassen, geben die Ausfluglöcher Hinweis auf einen aktiven Befall, da Trockenholzinsekten dasselbe Holz immer wieder zur Eiablage benutzen.

Auch die Käfer benötigen eine Mindestholzfeuchte für ihre Entwicklung. Holz mit einem Feuchtegehalt unter 10 % (Räume mit Wohnklima) wird im Allgemeinen nicht von Käfern befallen. Mit steigender Holzfeuchte nimmt das Risiko eines Befalls zu; prädestinierte Ziele sind Dachräume, Keller, Schuppen, Zäune, Außentüren und Fenster. Die Entwicklung der Larven ist außerdem an einen bestimmten Temperaturbereich gebunden, beispielsweise werden von einigen Arten wärmere Brutstätten bevorzugt. Der Befall zeigt sich dann oftmals stärker an süd- oder westorientierten Gebäudeseiten als an Fassaden mit Ost- oder Nordausrichtung. Hohe Temperaturen (ca. ab 55 °C) hingegen führen zum Absterben der Larven. Dies macht man sich bei der Bekämpfung eines Insektenbefalls zunutze. Insektenarten, denen es gelungen ist, auch trockenes Holz als Nahrungsquelle zu nutzen, sind der Hausbockkäfer, einige Nagekäfer (Anobien) und der Splintholzkäfer. Diese drei Käferarten sind die wichtigsten tierischen Zerstörer des verbauten und verarbeiteten Holzes in Mitteleuropa.

Hausbockkäfer

Der Hausbockkäfer (Abb. 1.217b) wird im Volksmund auch „Holzbock“ genannt. Er wird bis zu 22 mm groß und gilt als der schlimmste Schädling des Bauholzes. Das Weibchen dieses Käfers legt etwa 200 Eier, vorwiegend in feine Risse von Nadelhölzern, z. B. von Dachstühlen. Aus den Eiern entwickeln sich Larven mit einem nach hinten verjüngten Körper. Die erwachsenen Larven haben eine Länge von 15 bis 30 mm. Sie benötigen zu ihrer Entwicklung meist 3 bis 5 Jahre, bei geringem Eiweißhaushalt des Holzes aber auch erheblich länger. Die ausschlüpfenden weißen Larven, welche ca. 25 mm lang sind, fressen in Längsrichtung Gänge in das Splintholz, beschädigen dabei aber nicht die Oberfläche. Das Reifholz der Fichte und der Tanne wird im Inneren oft vollständig zerfressen. Da sie 4 bis 8 Jahre bis zur Verpuppung benötigen, wird das Holz, von außen kaum bemerkt, teils völlig zermahlen (Abb. 1.218).



Abb. 1.217 Käferarten: **a** Gewöhnlicher Nagekäfer, **b** Hausbocklarvenfraß, **c** Brauner Splintholzkäfer. (Quelle: ILS Hamburg)

Durch ein einziges längliches Schlupfloch verlässt der Käfer seinen Bau. Ohne Imprägnierung ist kein Dachstuhl sicher, unabhängig davon, um welches Nadelholz es ich handelt. Schutz bietet die „natürliche Imprägnierung" durch Verkernung oder die Verwendung von Laubhölzern. Viele ältere Dachstühle sind stark befallen, ohne dass der Besitzer es wahrnimmt. Wenn der ausgeschlüpfte Käfer nicht ins Freie fliegen kann, legt er seine Eier auch in Risse anderer Werkstücke wie Türen und Fenster; selbst in Möbelstücken aus Nadelholz ist er zu finden.

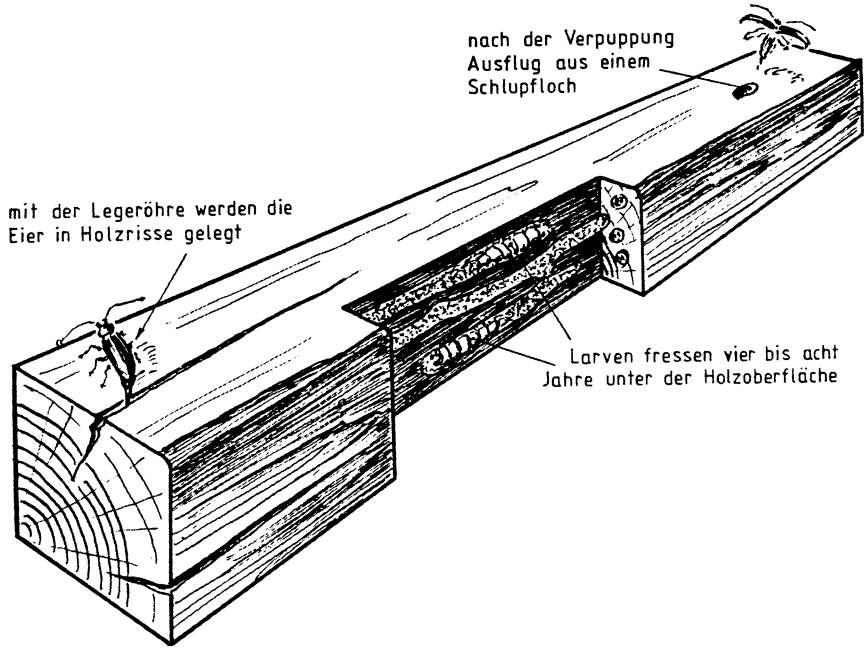


Abb. 1.218 Entwicklung vom Ei zum Käfer. (Quelle: ILS Hamburg)

Gewöhnlicher Nagekäfer

Der Gewöhnliche Nagekäfer (Abb. 1.217a), im Volksmund auch „Holzwurm“ genannt, ist wohl das bekannteste Holzinsekt. Dabei stehen neben Zerstörungen von Bauholz auch Schäden an Ausstattungsgegenständen im Vordergrund. Sehr häufig sind die kleinen runden „Wurmlöcher“ (Abb. 1.219) in alten Holzgegenständen in Kirchen, Schlössern und Museen zu sehen.

Der Nagekäfer befällt hauptsächlich Splintholz von Laub- und Nadelhölzern, vorzugsweise an kühleren, feuchten Orten. In Dachstühlen kommt er deshalb seltener vor als der Hausbockkäfer. Gelegentliche Befeuchtungen des Holzes fördern die Entwicklung der Larven, weshalb sie bevorzugt in Sockelleisten, Möbelfüßen und anderen Holzteilen auftreten, die beim Reinigen mit Feuchtigkeit in Berührung kommen. Länger anhaltende Trockenheit, z. B. in beheizten Räumen, verhindert eine Entwicklung der Larven.

Splintholzkäfer

Der braune, 3 bis 6 mm lange Käfer (Abb. 1.217c) befällt ausschließlich den Splint von Laubhölzern. Die Weibchen legen ihre Eier in den Holzporen ab. Die sich daraus entwickelnden Larven zerstören durch dicht liegenden Fraßgänge das Splintholz. Zu erkennen ist der Befall an den kleinen kreisrunden Ausfluglöchern mit einem Durchmesser von 1 bis 2 mm und an den mit sehr viel lockerem Bohrmehl gefüllten Fraßgängen (Abb. 1.220).



Abb. 1.219 Wurmlöcher. (Quelle: ILS Hamburg)

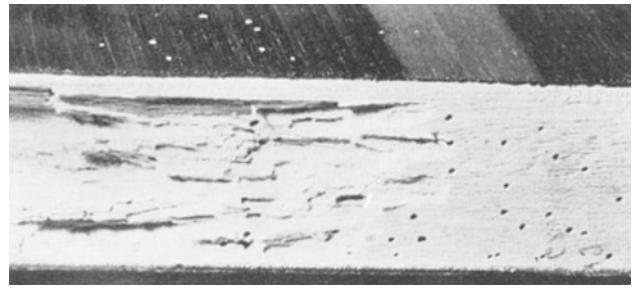


Abb. 1.220 Splintholzkäferbefall. (Quelle: ILS Hamburg)

Frischholzinsekten

Frischholzinsekten brauchen hohe Holzfeuchten als Entwicklungsbedingungen und befallen deshalb lebende Bäume und frisch geschlagenes Holz, nicht dagegen trockenes, schon verbautes Holz. Auch eine spätere Wiederbefeuchtung reicht für einen Befall nicht aus. Der bekannteste Schädlingstyp der Frischholzinsekten ist die Holzwespe (Abb. 1.221).

Die Holzwespe erreicht eine Länge bis zu 35 mm. Von der Gattung der Holzwespe gibt es drei bedeutende Arten:

- Die Gemeine Holzwespe (Stahlblaue Holzwespe): Sie befällt Fichten, Tannen und Kiefern.
- Die Riesenholzwespe: Sie befällt ebenso Fichten, Tannen, Kiefern, aber auch Lärchen.
- Die Schwarze Holzwespe: Sie befällt sowohl Kiefern als auch Fichten und Tannen.

Die Holzwespe bohrt die Rinde von Nadelhölzern an, um dort ihre Eier abzulegen. Die ausgeschlüpften Larven fressen 2 bis 6 Jahre lang Gänge ins Holz, verpuppen sich und fressen als Wespe einen Gang von 5 bis 7 mm Durchmesser ins Freie. Das passiert auch dann noch, wenn das Holz inzwischen verarbeitet wurde. Der Holzwespenfraß wird im Schädlingsgrad oft überschätzt, da er die Tragfähigkeit von Balken nur selten beeinflusst. Dennoch sind vor einer Sanierung gegebenenfalls Einbauten wie Täfelungen und Deckenfurniere auf vorhandene oder sich abzeichnende Schädigungen durch Holzwespen zu prüfen.

Schlüpfende Holzwespen sind in der Lage, Möbel oder auch Lackschichten und Kunststoffbeschichtungen, sogar dünne Bleiplatten oder Dachpappen zu durchfressen.

Oftmals liegt bei Bauwerken ein Mehrfachbefall der Hölzer vor. Die nachstehenden Beispiele (Abb. 1.222) zeigen das Ausmaß einer durch Pilz- und Anobienbefall (Trockenfäule, Hausschwamm, Nagekäfer und Hausbock) zerstörten Konstruktion.

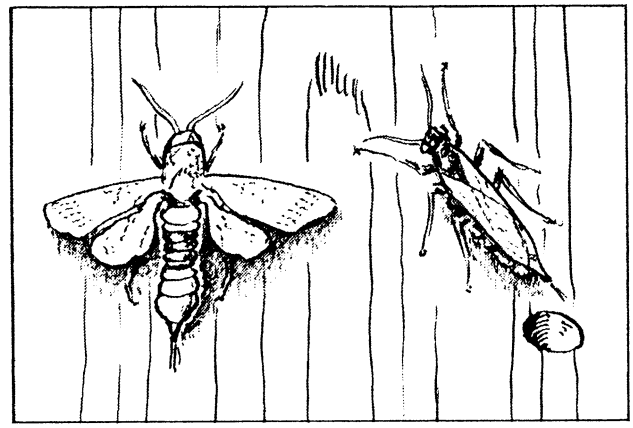


Abb. 1.221 Holzwespe; rechts: aus dem Flugloch geschlüpft (natürliche Größe), Riesenholzwespe bis 4,5 cm lang. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.222 Pilz- und Anobienbefall. (Quelle: ILS Hamburg)

Witterungseinflüsse

Obwohl Witterungseinflüsse wie Regen oder Schnee, aber auch ultraviolette Strahlung durch das Sonnenlicht nicht unmittelbar zur Minderung der statischen Anforderung führen, können sie den Befall des Holzes durch Organismen begünstigen. Die auftretenden Schäden sind allerdings sehr komplex, ortsabhängig und vielfältig, sodass sie umfassend und aussagefähig nur vom Fachmann beurteilt werden können. Dennoch sollte man bei der Restaurierung und auch in der Folgezeit darauf achten:

- keine Risse zu akzeptieren,
- Flecken, Risse, Löcher und Verunreinigungen in der Beschichtung dauerhaft zu beseitigen,
- metallische oder andere Einflüsse im Holz zu überprüfen und notfalls z. B. Rosterscheinungen entfernen zu lassen.

Die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegenüber einem Befall durch Pilze wird durch die Dauerhaftigkeit des Holzes bestimmt und beruht auf der Anwesenheit von Substanzen, die nur im Kernholz vorkommen. Definiert werden die Dauerhaftigkeitsklassen in der DIN EN 350-2 und teilweise auch in der DIN 68364. In der Tab. 1.33 ist die Klassifizierung des Kernholzes einiger Holzarten nach der DIN EN 350-2 dargestellt. Unterschieden wird in 5 Dauerhaftigkeitsklassen. Die Angaben gelten nur für das Kernholz (dunkler, innerer Holzbereich). Das Splintholz ist als „nicht dauerhaft“ einzustufen.

Tab. 1.33 Beispiele für Holzarten mit unterschiedlicher Dauerhaftigkeit

Klasse	Handelsname	NH LH	Dichte (kg/m^3)	Splintbreite (cm)	Herkunft
1 Sehr dauerhaft	Jarrah	LH	830	2–5	Australien
	Teak	LH	680	2–5	Südostasien
1–2	Iroko	LH	650	5–10	West-/Ostafrika
	Robinie	LH	740	< 2	Europa
2 Dauerhaft	Bongossi	LH	1060	2–5	Afrika
	Edelkastanie	LH	590	2–5	Europa
	Eiche	LH	710	2–5	Europa
	Western Red Cedar	NH	370	2–5	Nordamerika
2–3	Sipo/Sipo-Mahagoni	LH	640	5–10	West-/Ostafrika
	Dark Red Meranti Yellow	LH	680	2–5	Südostasien
	Cedar	NH	480	2–5	Nordamerika
3 Mäßig dauerhaft	Douglasie	NH	530	2–5	Nordamerika
3–4	Douglasie	NH	510	2–5	Europa
	Kiefer	NH	520	2–10	Europa
	Lärche	NH	600	2–5	Europa
	Light Red Meranti	LH	520	2–10	Südostasien
4 Wenig dauerhaft	Fichte	NH	460	**	Europa
	Tanne	NH	460	**	Europa
	Southern Pine	NH	450	5–10	Zentral-/ Nordamerika
	Western Hemlock	NH	490	**	Nordamerika
5 Nicht dauerhaft	Buche	LH	710	***	Europa
	Esche	LH	700	***	Europa
	Pappel	LH	440	***	Europa
	Southern Blue Gum	LH	750	***	Europa

Die Einstufung beruht auf Versuchen mit Erdkontakt. Da Holz ein Naturprodukt ist, sind gewisse Schwankungen möglich. Die jeweilige Klassifizierung dient in erster Linie zu einem gegenseitigen Vergleich der Holzarten, insbesondere von unbekannten mit bekannten Holzarten. Es sind die allgemein gebräuchlichen Handelsnamen aufgeführt. Regional können Unterschiede auftreten; heimische Bauhölzer sind fett gedruckt

NH verweist auf ein Nadelholz, LH auf ein Laubholz

Die Dichte (Mittelwert bei 12 % Holzfeuchte) gibt einen Anhaltspunkt für die Festigkeit und das „Gewicht" eines Holzes, mit der allgemeinen Tendenz, je schwerer desto fester.

Die Splintbreite ist ein Hinweis auf den Anteil des nicht dauerhaften Außenholzbereiches am Gesamtholz

**Kein deutlicher Unterschied zwischen Kern und Splint; der ganze Holzquerschnitt kann in Klasse 4 eingestuft werden

***Nicht relevant, kein Unterschied über den Holzquerschnitt

Die Einstufung beruht auf Versuchen mit Erdkontakt. Da Holz ein Naturprodukt ist, sind gewisse Schwankungen möglich. Die jeweilige Klassifizierung dient in erster Linie zu einem gegenseitigen Vergleich der Holzarten, insbesondere von unbekannten mit bekannten Holzarten. Es sind die allgemein gebräuchlichen Handelsnamen auf geführt. Regional können Unterschiede auftreten, heimische Bauhölzer sind fett gedruckt.

NH verweist auf ein Nadelholz, LH auf ein Laubholz.

Die Dichte (Mittelwert bei 12 % Holzfeuchte) gibt einen Anhaltspunkt für die Festigkeit und das „Gewicht" eines Holzes, mit der allgemeinen Tendenz, je schwerer desto fester.
Die Splintbreite ist ein Hinweis auf den Anteil des nicht dauerhaften Außenholzbereiches am Gesamtholz.

** Kein deutlicher Unterschied zwischen Kern und Splint, der ganze Holzquerschnitt kann in Klasse 4 eingestuft werden.

*** Nicht relevant, kein Unterschied über den Holzquerschnitt.

Feuchteschäden

Holzfeuchteschäden sind entweder auf zu hohe Einbaufeuchte oder auf die nachträgliche Feuchteaufnahme im genutzten Bauwerk zurückzuführen, wobei die erste Ursache überwiegt.

Typische Feuchteschäden:

- Undichte raumabschließende Außenbauteile als Folge der Nachtrocknung mit Auswirkung auf die klimabedingte Gleichgewichtsfeuchte.
- Unzulässige Durchbiegung, insbesondere in Dachtragwerken, wenn zu nasses Holz verbaut und sofort die volle Last (Lasteintragung aus Dachaufbau) aufgebracht wird.
- Rissbildung als Folge des Schwindens. Dabei unterscheidet man zwischen Rissen, die die Standsicherheit gefährden (in der Regel selten), und Oberflächenrissen, die das äußere Erscheinungsbild beeinflussen.
- Pilzbefall als Folge zu hoher Einbaufeuchte, wenn die Nachtrocknung behindert ist.
- Pilzbefall als Folge von Tauwasserbildung oder eindringendem Niederschlagswasser bei Leckagen der Außenhaut.

Das nachfolgende Beispiel zeigt eine Möglichkeit, wie mit einem diffusionsoffenen Anstrich (Abb. 1.223) Blasenbildungen und ein Abblättern des Anstrichs als Folge von Feuchteschäden vermieden werden können.

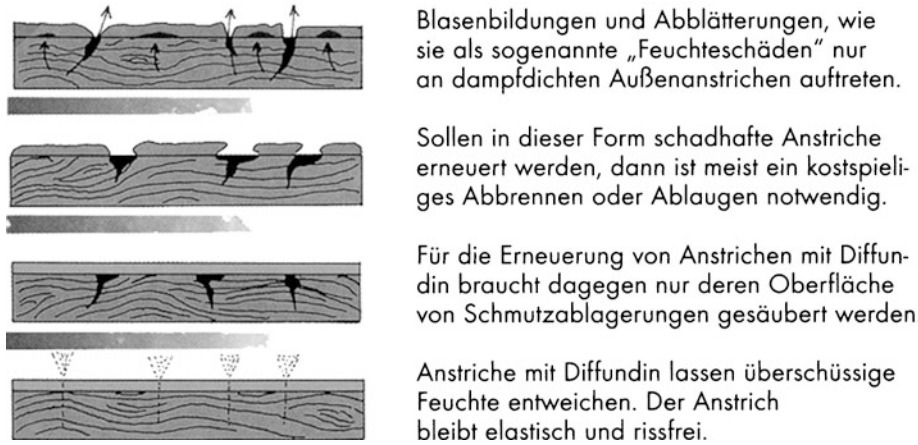


Abb. 1.223 Diffusionsoffener Anstrich zur Verhinderung von Holzschäden infolge Bauwerksfeuchte. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.5 Entscheidungskriterien für Holzschutzmaßnahmen

1.6.5.1 Grundsätze für die Entscheidungsfindung

Wann und wo ist welcher Holzschutz erforderlich?

Wie beim Neubau gilt es auch bei der Altbausanierung diese zentrale Fragestellung zu beachten. Dabei ist auch von Bedeutung, ob es sich um eine komplexe Sanierung handelt oder nur um die Instandsetzung einzelner Bauteile, z. B. der Fenster. Gemeinsam ist aber folgendes Grundproblem:

Hat das zu behandelnde Holz Schäden durch tierische und/oder pflanzliche Schädlinge erlitten? Wenn ja, in welchem Umfang?

Erst dann kann man entscheiden, wie die Holzsanierung konkret vollzogen werden soll. Nachfolgend werden Entscheidungskriterien für Holzschutzmaßnahmen beschrieben, deren Beurteilung dem Sachverständigen überlassen bleiben sollte, da nur er über die erforderliche Fachkompetenz verfügt.

Wenn es im Einzelfall um die Frage geht, welche Holzschutzmaßnahmen bei einem bestimmten Bauteil erforderlich sind, kann eine Vielzahl von Entscheidungen erst nach gewissenhafter Prüfung getroffen werden. Die im nachfolgenden Abschnitt vorgestellte Schadensdiagnostik ist möglich, wobei die Reihenfolge keine Rangfolge darstellt und unabhängig von der Kompetenz des Prüfers ist.

Die im Abschn. 1.6.6 erläuterten Maßnahmen des baulichen Holzschutzes sollten vorher so weit als möglich ausgeschöpft sein. Das gilt unabhängig von der Entscheidung, welche Schutzmaßnahme vorgenommen werden soll.

1.6.5.2 Schadensfeststellung – Schadenskatalog

Schadensfeststellung

1. Bei zu sanierenden Häusern bestehen meistens zwischen den einzelnen Bauteilen wechselseitige Beziehungen (z. B. beim Fachwerkbau). Weist dieser konstruktive Verbund größere Mängel auf, die auf Unsicherheiten in der Standsicherheit schließen lassen, ist unbedingt ein Statiker hinzuzuziehen.
2. Durch Säubern und Abbürsten der Konstruktionsteile, insbesondere der Verbindungen werden Fehlstellen, Risse, Bruchstellen, Schadstellen durch Verwitterung, Fäulnis, Schwamm oder tierische Schädlinge sichtbar. Die visuellen Eindrücke können durch akustische (z. B. Abklopfen) ergänzt werden. Beim Beklopfen mit dem Hammer oder dem Beilrücken wird im gesundem und im befallenen Holz ein sehr unterschiedlicher Klang erzeugt. Hell oder hart bei gesundem Holz und dumpf oder schwach, wenn das Holz befallen ist. Bei dicken Hölzern ist der Schadensanteil durch Abbeilen festzustellen.
3. Durch die Inaugenscheinnahme äußerer Merkmale ist die Qualität und Oberfläche des zu begutachtenden Holzes zu beschreiben. Die fraglichen Teile sollten fotografisch festgehalten werden.
4. Die Struktur des beschädigten Holzes, mögliche Verfärbungen, Verletzungen der Holzoberfläche, Öffnungen (wie z. B. Fluglöcher), aber auch Fruchtkörper von Pilzen sind zu beschreiben bzw. fotografisch festzuhalten. Ist ein Sporenbefall vorhanden, bzw. sind unterhalb der Fruchtkörper verteilte Sporen zu finden, sind diese zu sammeln und gemeinsam mit Teilen des Fruchtkörpers einem Untersuchungsinstitut zur Verfügung zu stellen. Sinn dieser Maßnahme ist, zunächst einmal deutlich abzugrenzen, welche Pilzart als Verursacher infrage kommt.
5. Weiterhin sind die ursprüngliche und die künftige Nutzung des Gebäudes zu berücksichtigen. Wenn in der Vergangenheit eine Nutzungsänderung stattgefunden hat, soll diese, soweit als möglich, dokumentiert werden. Außerdem ist festzustellen, ob in der Nachbarschaft des begutachteten Gebäudes von Schädlingen befallenes Holz vorhanden ist.
6. Die Analyse des Gebäudezustandes und ein genaues Aufmaß (Abb. 1.224) bieten die Möglichkeit der Darstellung aller Konstruktionsdetails. Besonders Zierhölzer, Schmuckmotive, Schnitzereien und Farbbefunde sollten fotografisch und zeichnerisch erfasst werden. Aus alten Anschlüssen und Verbindungsstellen können Rückschlüsse auf Umbauten, Anbauten oder die Wiederverwendung von Hölzern gewonnen werden, die als Grundlage einer Rekonstruktion dienen.

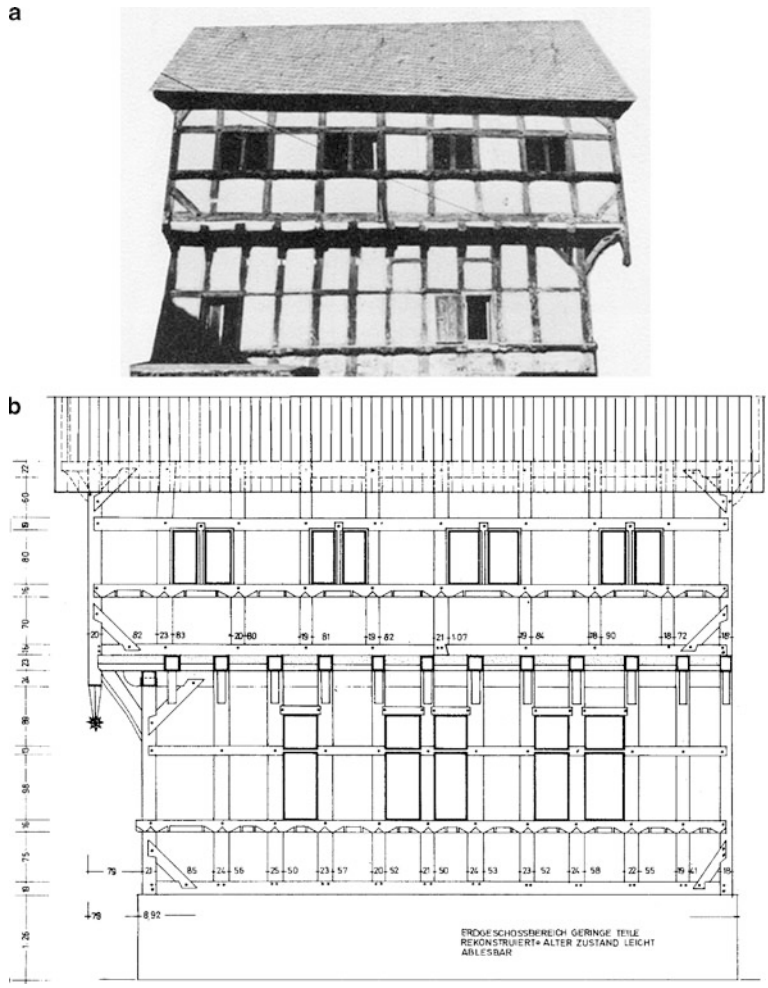


Abb. 1.224 Haus Kirchenstraße 1 in Kobern an der Mosel: **a** Auch ein 600 Jahre altes Gebäude kann im Wesentlichen noch flucht- und lotrecht stehen. Die Hölzer sind Originalbestand. In den Ständern des Erdgeschosses sind oben die Anschlüsse der Oberlichtsturzriegel sichtbar, die dem ursprünglichen Zustand (Bauaufnahme unten) entsprechen. **b** Bauaufnahme Kobern, Kirchenstraße 1, Westseite mit geringen Rekonstruktionen. (Quelle: ILS Hamburg)

Schadenskatalog

Erfahrungsgemäß sollte ein detaillierter Schadenskatalog wie folgt gegliedert werden:

► Unterbau (Keller, Sockel), Gerüstkonstruktion, Dachkonstruktion, Dachdeckung, Außenbekleidung, Installationen der Ver- und Entsorgung, Umbauphasen, bauliche Ausstattung (Treppen, Fenster, Türen und Ähnliches), Haustechnik, Putzarbeiten.

Ergänzend zum Schadenskatalog des Gebäudes sollte eine Holzliste aufgestellt werden, gegliedert nach Holzart, Stückzahl, Länge und Profil, wie es auch bei Neubaumaßnahmen üblich ist. Diese genaue Bedarfsliste sichert die Auswahl und sparsamste Verwendung des Ergänzungsmaterials. Einige Gemeinden unterhalten Bauhöfe, in denen zur Wiederverwendung geeignetes Material, z. B. aus Abbrüchen gelagert wird. Ist altes Holz nicht verfügbar, sollte das Holz aus regionalen Waldbeständen verwendet werden.

Physikalische Verfahren

- Bestimmung der Holzfeuchte:
  - zerstörungsfrei, elektronisch im Holz
  - zerstörend gravimetrisch
- Bestimmung der Luftfeuchtigkeit
- Bestimmung der Holztemperatur
- Endoskopie (Verfahren mit einem Instrument, das mit elektrischer Lichtquelle, Spiegel und Kamera ausgestattet ist, um Hohlräume und verdeckte Bauteile zu untersuchen; vgl. Abb. 1.225)

Vorgehen bei der Schädlingsbestimmung

- Bestimmung der Pilzart anhand von:
  - Schadensbild, Ausbreitung, Standort
  - Aussehen/Vorhandensein von Fruchtkörper, Myzel und Sporen
  - Probenahme und Bestimmung durch ein Labor

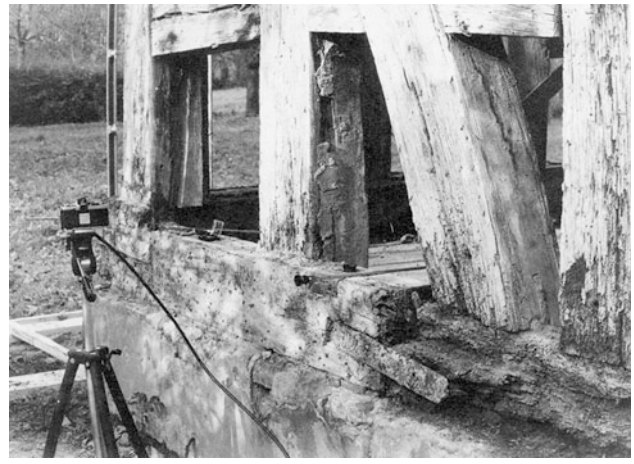


Abb. 1.225 Endoskopische Untersuchungen haben sich als geeignete Untersuchungsmaßnahmen für die Holzsubstanz erwiesen. (Quelle: ILS Hamburg)

- Bestimmung der Schadinsekten durch:
  - Einsammeln von Exemplaren, wenn möglich aus unterschiedlichen Entwicklungsstadien
  - Feststellen von Größe und Form der Fraßgänge und Ausfluglöcher
  - Bestimmung durch ein Institut

Monitoring

Als ganzheitliche Methode im bekämpfenden Holzschutz wird bei großen Sanierungsmaßnahmen das sogenannte Monitoring eingesetzt. Die Methode dient dazu, schwierige Schadenssituationen allseitig aufzuklären und zukünftige Schäden auszuschließen. Neben dem üblichen Umfang der Schadensfeststellung führt eine genauere Untersuchung und Beobachtung der Schädlinge über einen längeren Zeitraum oftmals zu umfassenden Erkenntnissen über die Schadensursache und -entwicklung. Dazu gehören beispielsweise Käfersammlungen, das Aufstellen von Klebefallen (Abb. 1.226) und die Beobachtung und Kartierung des Ausschlupfes am Holz. Gleichzeitig werden Bauwerksumgebung und -nutzung (in der Vergangenheit und zukünftig) in die Betrachtung mit hineingenommen. Das vornehmliche Ziel sollte es sein, durch die gewonnenen Erkenntnisse ganzheitlich die richtigen Maßnahmen des vorbeugenden Holzschutzes einzusetzen. Eine anschließende Kontrolle des Bauwerks ist Bestandteil der Methode, um die Wirksamkeit der ausgeführten Maßnahmen beurteilen zu können und um gegebenenfalls die nachträgliche Ausführung von Zusatzmaßnahmen zu prüfen.



Abb. 1.226 Klebefallen; Larvenfallen aus Naturpapier, Klebung und Haftflächen mit Maismaische. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.6 Holzschutz – Überblick und Begriffe

Einleitend in das Thema Holzschutz soll die folgende Übersicht, mit einer Auswahl von Wegmarken aus der Historie der Holzkonservierung die lange Auseinandersetzung mit den Problemen der Erhaltung von Gegenständen und Bauwerken aus Holz aufzeigen.

2000 v. Chr.	Gilgamesch-Epos	Holz mit Erdpech übergießen
551–479 v. Chr.	Konfuzius	Holz zur richtigen Zeit schlagen
370 v. Chr.	Theophrastos	Dauerhafte Holzarten und Holztrocknung
1452–1519	L. da Vinci	Konservierung Tafelbilder mit Sublima
1832	Kyan	Erstes Patent über Holztränkung
1887	Thompson	Patent Imprägnierung Fluorverbindungen
1921		Begasung des Königsschlosses in Schweden mit Blausäure
1969		Insektenbekämpfung mit Gammastrahlen

Maßnahmen und Aufgaben
Maßnahmen, die Holz und Holzwerkstoffe vor der Zerstörung durch tierische und pflanzliche Schädlinge schützen, bezeichnet man als Holzschutz. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Holzschutz vor dem Befall durch Schädlinge (vorbeugende Maßnahmen) und Holzschutz nach einem Befall (bekämpfende Maßnahmen) durch Schädlinge. Der vorbeugende Holzschutz umfasst Methoden des konstruktiven und baulichen sowie des chemischen Holzschutzes. Ist ein Schädlingsbefall bereits eingetreten und die Tragfähigkeit der befallenen Bauteile nicht mehr sichergestellt, müssen bauliche Maßnahmen wie der vollständige Austausch der Bauteile ergriffen werden. In anderen Fällen kann eine Behandlung mit chemischen Mitteln den Befall stoppen und so den Erhalt des Bestandes ermöglichen.

Holzschutz vor dem Befall durch Holzschädlinge
Holzschutz, der den Befall des Holzes und der Holzwerkstoffe verhindert bzw. einen Befall vorbeugt, bezeichnet man als vorbeugenden Holzschutz. Die wichtigsten vorbeugenden Maßnahmen sind neben der richtigen Holzauswahl, Holztrocknung und Lagerung das werkgerechte Einbauen von Holz und Holzwerkstoffen sowie das Verwenden von Holzschutzmitteln, sofern es für das Bauteil erforderlich ist. Grundsätzlich gilt, dass der baulich konstruktive Holzschutz, einschließlich der Verwendung von natürlich dauerhaften Holzbauteilen gegenüber den Maßnahmen mit Holzschutzmitteln zu bevorzugen ist.

Holzschutz nach dem Befall durch Holzschädlinge
Durch die Behandlung mit Holzschutzmitteln werden die Hölzer widerstandsfähiger gegen schädigende Einflüsse. Durch Pilze oder Insekten befallene Hölzer können damit wirkungsvoll behandelt werden. Als bekämpfende Maßnahmen gelten solche, die am ge-

schädigten Holz ausgeführt werden. Ihre Aufgabe ist es, das Holz von Schädlingen zu befreien und langfristig vor einem Neubefall zu schützen.

Die DIN 68800 regelt die allgemeinen Voraussetzungen und die erforderlichen Maßnahmen für den Schutz von Holzbauteilen und -werkstoffen gegen Zerstörung durch Organismen wie Insekten und Pilze.

1.6.7 Baulicher und konstruktiver Holzschutz

1.6.7.1 Konstruktive Maßnahmen

Zahlreiche Holzschäden können bereits durch bauliche bzw. konstruktive Maßnahmen verhindert werden. Vorbeugender baulicher Holzschutz besteht vor allem in der Verwendung von gesundem Holz, welches frei von Rinde und Bast sowie ausreichend trocken ist. Außerdem muss zum Schutz gegen einen Schädlingsbefall eine spätere Durchfeuchtung des Holzes durch geeignete konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen werden. Das kann durch Konstruktionsarten erreicht werden, die den Zutritt von Feuchtigkeit verhindern, eine rasche Ableitung des Wassers von feuchtebeaufschlagten Flächen ermöglichen und die Austrocknung durchfeuchteter Bauteile sicherstellen. In Teil 2 der DIN 68800 werden vorbeugende bauliche Maßnahmen zum Holzschutz im Hochbau betrachtet. Ziel des baulichen Holzschutzes ist es in erster Linie, durch konstruktive und bauphysikalische Maßnahmen Feuchteanreicherungen in Holz- und Holzwerkstoffen zu verhindern und dadurch einem Pilzbefall vorzubeugen.

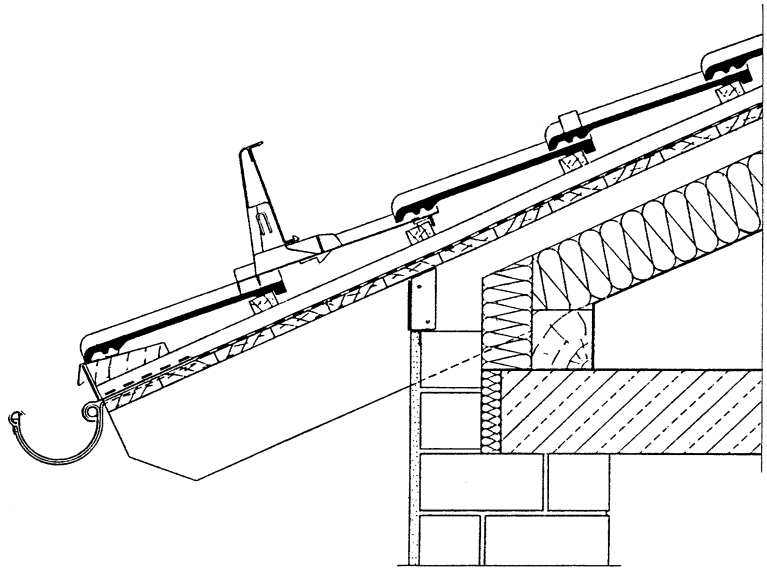


Abb. 1.227 Dachdichtung – Dachentwässerung – Dachüberstand. (Quelle: ILS Hamburg)

Dazu zählt z. B.:

- Schutz gegen Niederschläge und Spritzwasser (Wetterschutz),
- Schutz gegen Feuchtigkeit aus dem Wasser, Erdreich oder angrenzenden Bauteilen,
- Schutz gegen Tauwasser,
- Feuchteschutz während der Bauphase.

Bewährte konstruktive Maßnahmen sind die Ausbildung großer Dachüberstände, zurückspringende Gebäudesockel, die Vermeidung nach außen auskragender Bauteile sowie die Überdeckung des sehr saugfähigen Hirnholzes, beispielsweise an den Köpfen von Sparren und Pfetten (Abb. 1.227).

Einen ausreichenden Wetterschutz für Außenwände bieten Verkleidungen, die aus Holz bestehen können. Zu beachten ist, dass Hohlräume hinter einer Vorhangfassade ausrei-

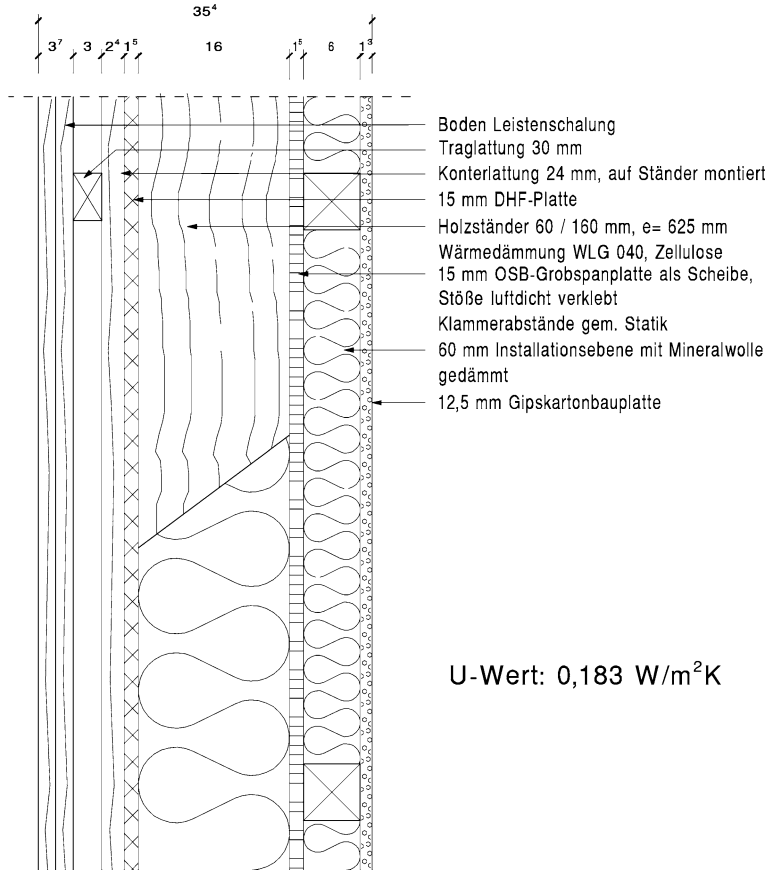


Abb. 1.228 Hinterlüftete Verkleidung als Stülpschalung mit Fenstereinbau. (Quelle: ILS Hamburg)

chend belüftet sein müssen. Im Sinne der Regelwerke sollte ein Abstand von mindestens 2 cm von der Außenwand bzw. der Dämmstoffebene eingehalten werden. Eine punktuelle Reduzierung des Querschnitts der Luftschicht ist möglich, dabei ist jedoch auf ausreichende Be- und Entlüftungsöffnungen zu achten. Verkleidungen aus Holz sind immer zu hinterlüften, wenn das Risiko eines Wasserzutritts durch die Schalung nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann (Abb. 1.228).

Zum Schutz vor Spritzwasser (Abb. 1.229) muss der Abstand vom Boden zum Pfostenfuß und anderen Holzbauteilen mindestens 30 cm betragen. Eine Reduzierung des Abstands auf 15 cm ist durch geeignete Maßnahmen wie z. B. die Anordnung von Einlaufrinnen oder einer grobkörnigen Kiesschüttung möglich. Ist der Schutz vor Regenwasser konstruktiv nicht möglich, sollten bauliche Ausführungen gewählt werden, die einen schnellen Abfluss des Wassers gewährleisten. Dies erreicht man beispielsweise durch geeignete Profile sowie abgeschrägte Unterkanten bei Außenverschalungen und Wassernasen bei vorspringenden Holzbauteilen.

Zum Wetterschutz für Außenbauteile tragen auch Anstriche bei (Abb. 1.230). Um eine gute Haftung zu erzielen, sind die Holzkanten abzurunden und nur solche Anstrichmittel zu verwenden, welche die Poren nicht verschließen. Offenporige Mittel ermöglichen die Verdunstung eingedrungener Feuchtigkeit.

Hirnholzflächen sind immer besonders zu schützen, da das Hirnholz aufgrund der offenporigen Struktur besonders leicht Wasser aufnehmen kann. Holzverbindungen (z. B. Versätze oder Zapfen), in denen sich Wasser ansammeln kann, sind stark gefährdet und ebenso zu vermeiden wie waagerechte Holzflächen, auf denen Wasser stehen bleiben

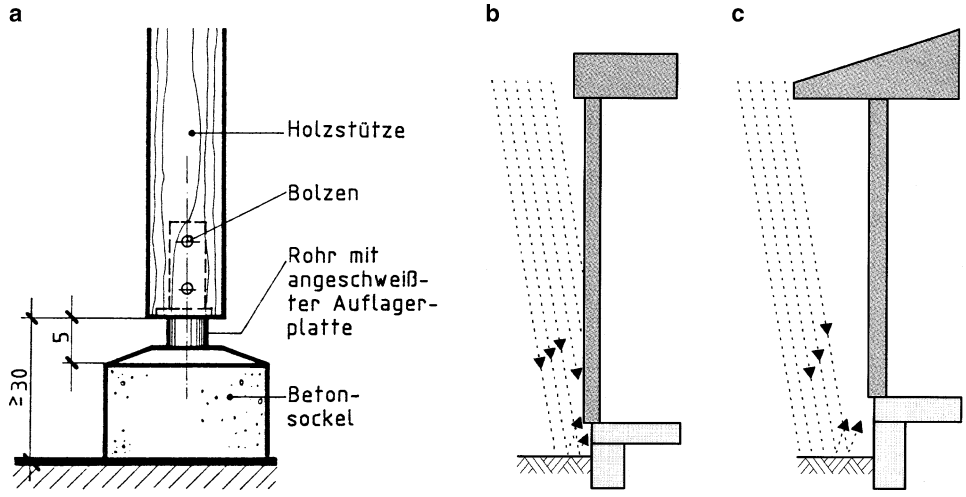


Abb. 1.229 Schutz vor Spritzwasser: **a** Abbund, Pfosten/Boden, **b** starke Beanspruchung der Außenwand durch Schlagregen und Spritzwasser am Fußpunkt, **c** baulicher Holzschutz durch Vordach und ausreichende Sockelhöhe. (Quelle: ILS Hamburg)

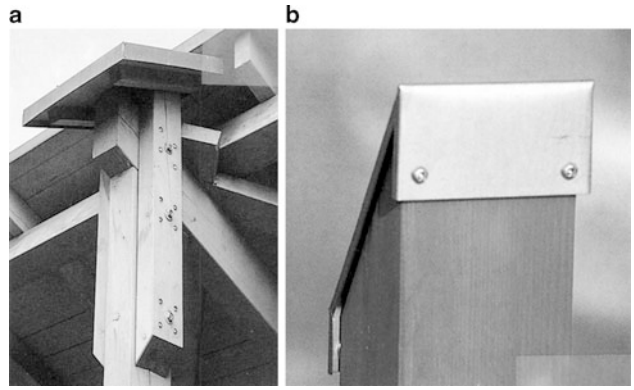


Abb. 1.230 Abdeckung von Hirnholzflächen: An scharfen Kanten platzen Anstriche leichter ab als an abgerundeten Kanten. **a**, **b** Beispiele für die Abdeckung von Hirnholzflächen. (Quelle: ILS Hamburg)

kann. Stumpfe Stöße, aus denen Wasser nur schwer wieder abtrocknen kann, sind möglichst nicht auszuführen.

1.6.7.2 Schutz gegen Feuchtigkeit aus dem Wasser, Erdreich oder angrenzenden Baustoffen

Um den Feuchtegehalt eines Bauteils durch direkten Kontakt mit anderen feuchten Materialien oder Bauteilen (z. B. Erdreich, Fundament oder angrenzende Gebäude) nicht unnötig zu erhöhen, sind geeignete Abdichtungsmaterialien wie z. B. Bitumenbahnen oder Kunststofffolien anzubringen (Abb. 1.231 und 1.232).

Außerdem müssen Balkenköpfe im Auflagerbereich an ihrer Stirnseite und an den Seitenflächen einen Abstand von etwa 2 cm zum umgebenden Mauerwerk aufweisen, damit der Balkenkopf ausreichend luftumspült wird. Diese Zwischenräume dürfen keinesfalls mit Mörtel ausgefüllt werden.

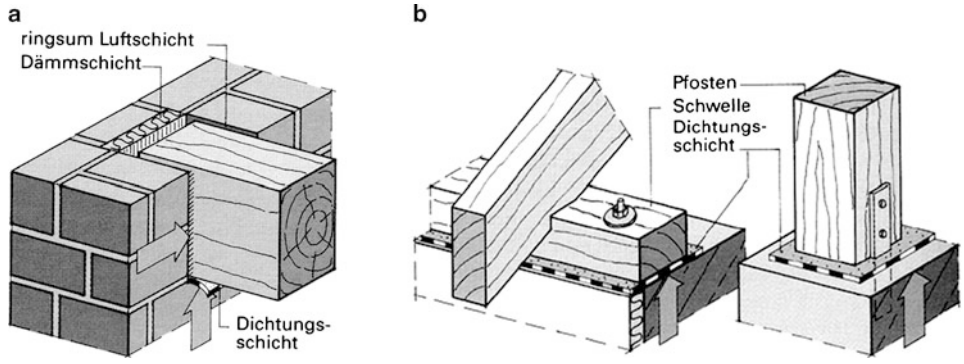


Abb. 1.231 Lage der Abdichtung, **a** gegen aufsteigende Feuchtigkeit, **b** am Balkenkopf im Mauerwerk. (Quelle: ILS Hamburg)

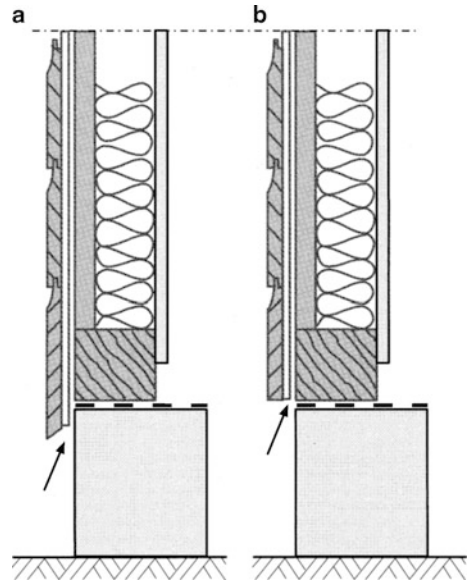


Abb. 1.232 Außenwandfußpunkt: **a** richtig, da waagerechte Fuge zwischen Wand und Sockel abgedeckt; **b** falsch, da Feuchtigkeitszutritt möglich. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.7.3 Schutz gegen Tauwasser

Holz oder Holzwerkstoffe die in trockenen Räumen verwendet werden, sind im Allgemeinen nicht für eine Feuchtebeanspruchung geeignet. Zur Vermeidung einer Tauwasserbildung an den Bauteiloberflächen schützen folgende Maßnahmen:

- Die Wand- und Dachbauteile erhalten einen ausreichenden Wärmeschutz entsprechend der geltenden Energieeinsparverordnung und der DIN 4108-2.
- Wärmebrücken innerhalb dieser Bauteile sind zu vermeiden.
- Bei mittig angeordneter Dämmschicht (Tafelbau) muss gewährleistet sein, dass der Anschluss der Dämmschicht an die Rippen dicht ausgebildet und der Dämmstoff dicht gestoßen wird (vgl. Abb. 1.233).

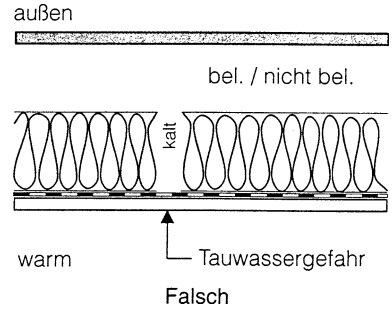
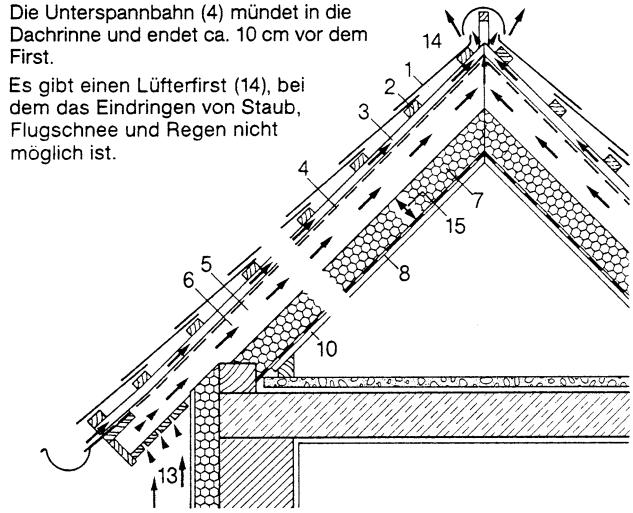


Abb. 1.233 Tauwassergefahr bei unsachgemäß verlegter Dämmschicht. (Quelle: ILS Hamburg)



2 Dämmung unter den Sparren

1 Dacheindeckung
2 Dachlatte
3 Konterlatte
4 Unterspannbahn
5 Dachsparren
6 belüfteter Hohlraum
7 Wärmedämmung
8 Dampfsperre
9 Schalung
10 Spanplatte oder dergleichen
11 Gipskartonplatte (GKF) 12,5 mm
12 Faserzement-Unterdachplatte 5,5 mm
13 Lüftungsquerschnitt an der Traufe
14 Lüftungsquerschnitt am First
15 Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d (s_d 10 m hat eine PE-Folie von 0,2 mm Dicke)

Abb. 1.234 Schutz gegen Tauwasser im ausgebauten Dach; an den Außenwänden und Dächern müssen ausreichend dicke Wärmedämmschichten vorgesehen werden. (Quelle: ILS Hamburg)

Besonders problematisch ist ein Tauwasserausfall innerhalb von Bauteilen wie Wänden oder auch Dächern (vgl. Abb. 1.234, 1.235 und 1.236), da die entstehenden Schäden häufig über einen langen Zeitraum nicht von außen sichtbar werden. Die Hauptursache für Tauwasserschäden innerhalb von Konstruktionen ist die Konvektion der Raumluft über mögliche Undichtigkeiten, daher müssen Anschlüsse an andere Bauteile luftdicht abgeschlossen werden.

Bei Dächern und Fassaden können durch eine Hinterlüftung das auftretende Tauwasser relativ sicher abgeführt und eine nachteilige Feuchteanreicherung in den Baustoffen vermieden werden.

Generell setzt eine korrekte Ausführung des Tauwasserschutzes umfangreiche bauphysikalische und wärmetechnische Kenntnisse voraus und sollte daher von einem Experten ausgeführt werden.

1.6.7.4 Holzfeuchte beim Einbau

Wichtige Voraussetzung für den wirkungsvollen konstruktiven Holzschutz ist die Gewährleistung einer möglichst niedrigen Holzfeuchte des einzubauenden Materials. Beim

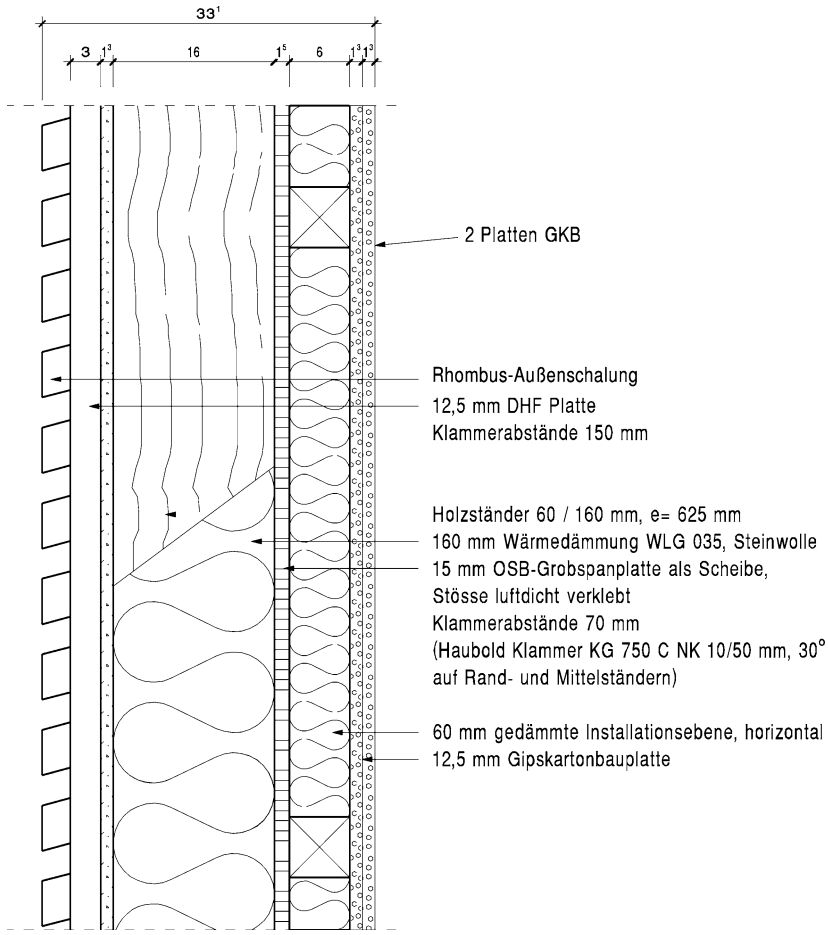


Abb. 1.235 Schutz gegen Tauwasser in der Außenwand. (Quelle: ILS Hamburg)

Transport, bei der Lagerung und während des Einbaus ist das Holz weitestgehend trocken zu halten.

Deshalb sind folgende Punkte zu beachten:

- Holzteile sind während des Transports und der Lagerung durch Abdeckung vor Niederschlägen zu schützen.
- Die Lagerung soll luftumspült und ohne unmittelbaren Erdkontakt erfolgen.
- Im Endzustand wettergeschützte Bauteile sollten auch während des Bauzustandes nach Möglichkeit vor Niederschlägen geschützt werden. Dachkonstruktionen sollten kurzfristig abgedeckt werden.
- Grundsätzlich sind alle Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen während des Einbaus und danach unverzüglich vor Niederschlägen zu schützen.

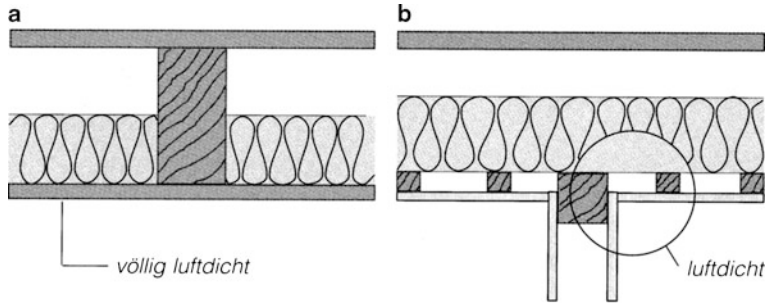


Abb. 1.236 Vermeidung von Wasserdampfkonvektion bei Außenwänden: **a** außen **b** außen vollflächig luftdichte, raumseitige Bekleidung, erforderlichenfalls mit zusätzlicher luftdichter Schicht; luftdichte Ausbildung des Anschlusses der raumseitigen Bekleidung der Wände. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.7.5 Schutz vor Insektenbefall

Eine zusätzliche Maßnahme, Bauschäden durch Insekten zu vermeiden, ist eine allseitig insektenundurchlässige Abdeckung des zu schützenden Holzes (z. B. Insektenschutzgitter am Traufpunkt einer belüfteten Dachkonstruktion). Daneben lässt sich durch die Verwendung von Farbkernhölzern mit einem Splintanteil unter 10 % oder den Einsatz von Brettschichtholz oder anderen Schichtholzwerkstoffen die Gefahr des Insektenbefalls eindämmen.

1.6.8 Chemischer Holzschutz

Unter chemischem Holzschutz wird im nachstehenden Kapitel ausschließlich der vorbeugende chemische Schutz gegen Pilze und Insekten verstanden.

1.6.8.1 Grundsätze

Der Einsatz von Holzschutzmitteln ist aus Sicht des Gesundheits- und Umweltschutzes nicht ganz problemlos. Einerseits besteht die Forderung nach statischer Sicherheit der Gebäude und der Anwendung bzw. Beseitigung von Schäden durch tierische und pflanzliche Schädlinge; andererseits aber ist einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung von Verarbeitern, Bewohnern sowie der Umwelt ein hohes Maß an Beachtung zu schenken. Diesen Tatsachen müssen die auszuführenden Maßnahmen, entsprechend den Vorgaben aus den Landesbauordnungen (in der Musterbauordnung §13) und der DIN 68800 Rechnung tragen.

Grundlegend ist bei der Anwendung von Holzschutzmitteln nach Maßnahmen zum vorbeugenden Schutz nach DIN 68800-3 oder im Rahmen von Bekämpfungsmaßnahmen nach DIN 68800-4 zu unterscheiden.

Die eingesetzten Holzschutzmittel (Biozide) enthalten als wirkende Substanzen Fungizide (Wirkstoffe gegen Pilze) oder Insektizide (Wirkstoffe gegen Insekten). Biozidprodukte zerstören durch ihre chemischen oder biologischen Wirkstoffe lebende pflanzliche und tierische Organismen.

1.6.8.2 Ausführung

Vor der Anwendung von Holzschutzmitteln ist zu prüfen, ob Hölzer in tragenden oder aussteifenden Bauteilen einen Schutz mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800 bedürfen. Im nicht tragenden Bereich, wo bauaufsichtlich kein chemisch vorbeugender Holzschutz erforderlich ist, kann es Gründe für den Einsatz von Holzschutzmitteln geben wie z. B. den Erhalt der Gebrauchstauglichkeit oder die Werterhaltung. Ferner kann der Einsatz chemischer Mittel zum vorbeugenden Holzschutz in Betracht gezogen werden, wenn Hölzer verbaut wurden, die für die jeweilige Gebrauchsklasse keine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweisen. Hier muss im Einzelfall eine Risiko-Nutzen-Abschätzung erfolgen, und der Bauherr muss über die Holzschutzmittelbehandlung entscheiden. Ist ein chemisch vorbeugender Holzschutz erforderlich oder im nicht tragenden Bereich gewünscht, sind folgende Punkte zu beachten:

- Auswahl eines geeigneten Holzschutzmittels unter Beachtung der Gebrauchsklasse nach der DIN 68800-3 für den Anwendungsbereich und das Anwendungsverfahren (Tab. 1.34),
- Ausführung der Holzschutzmaßnahme durch einen Fachbetrieb.

Nach der DIN 68800-3 sind bei der Planung von Holzschutzmaßnahmen, neben der DIN 68800-1 zu beachten:

Tab. 1.34 Prüfprädikate der Holzschutzmittel: Die meisten Holzschutzmittel haben mehrere Eigenschaften, z. B. P, Iv, S

Kurzzeichen	Bedeutung
P	Gegen Pilze wirksam (Fäulnisschutz)
lv	Gegen Insekten vorbeugend wirksam
(lv)	Nur bei Tiefschutz gegen Insekten vorbeugend wirksam
lb	Gegen Insekten bekämpfend wirksam
E	Geeignet auch für Holz, das extremer Beanspruchung ausgesetzt ist, z. B. im ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt steht
S	Auch zum Streichen, Spritzen oder Tauchen geeignet
W	Geeignet auch für Holz, das der Witterung ausgesetzt ist, jedoch nicht im ständigen Erd- oder Wasserkontakt steht
B	Gegen Verbläuung am verarbeiteten Holz wirksam
M	Schwammsperrmittel

Tab. 1.35 Holzschutzmittel

Arten	Zusammensetzung	Holzfeuchte (u) bei Anwendung[a]
Wasserlösliche Holzschutzmittel	Biozid wirkende anorganische oder organische Salze	(im Splintholz) u 50 %
Lösemittelhaltige Holzschutzmittel	Organische Lösungsmittel und biozid wirkende organische Verbindungen	(im Splintholz) u 20 %

[a]Richtwert – es gelten immer die Angaben im technischen Merkblatt des gewählten Produktes.

- Durchführung möglichst aller Holzbearbeitungsschritte nach DIN 68800-2 vor der Schutzbehandlung;
- Beurteilung der zu schützenden Holzart im Hinblick auf ihre Tränkbarkeit und ihre Holzfeuchte zum Zeitpunkt der Tränkung;
- Auswahl der Maßnahmen und des Holzschutzmittels (Tab. 1.34 und 1.35) bzw. des vorbeugend geschützten Holzes mit CE-Kennzeichnung im Hinblick auf den späteren Einsatz des Holzes in der jeweiligen Gebrauchsklasse (siehe DIN 68800-1);
- Durchführung der Maßnahmen nach DIN 68800-3 Abschnitt 5, soweit zutreffend;
- zeitliche Abstimmung im Rahmen des Baufortschritts (z. B. ausreichende Fixierung);
- Nachbehandlung von unbehandelten Flächen, die durch Bearbeitung freigelegt wurden;
- eventuell notwendige Nachbehandlung von Trockenrissen;
- Kontrolle und Dokumentation der Durchführung der Tränkung (siehe DIN 68800-3 Abschnitt 6 und Anhang B, soweit zutreffend).

1.6.8.3 Auswahl der Wirkstoffe und Holzschutzmittel

Welche Wirkstoffe für den chemischen Holzschutz eingesetzt werden dürfen, regeln die Biozid-Verordnung (EU) Nr. 528/2012 sowie die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH). Darüber hinaus dürfen Biozidprodukte nur noch Wirkstoffe von Unternehmen enthalten, die in einer Positivliste der ECHA (Europäische Chemikalienagentur) aufgeführt werden. In Deutschland kann die aktuelle Liste zugelassener Wirkstoffe über die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) abgefragt werden.

Zur Auswahl geeigneter Holzschutzmittel erhält das ständig aktualisierte vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegebene Holzschutzmittelverzeichnis eine vollständige Übersicht der zugelassenen Holzschutzmittel. In das Holzschutzmittelverzeichnis des DIBt werden nur Produkte aufgenommen, deren enthaltene Wirkstoffe den Verordnungen der EU entsprechend zugelassen sind.

Nachfolgende Übersicht in Tab. 1.36 zeigt Ihnen die Holzschutzmitteltypen, Prüfprädikate und Gebrauchsklassen mit den wichtigsten Anwendungsbereichen auf.

Holzschutzmittel, bei denen Wirkstoffe nach der Tränkung des Holzes durch eine chemische Reaktion ganz oder teilweise in wasserunlösliche Verbindungen überführt werden, werden als fixierende Holzschutzmittel bezeichnet. Nicht fixierende Holzschutzmittel bleiben nach der Tränkung und Trocknung des Holzes stets wasserlöslich.

Tab. 1.36 Holzschutzmitteltypen

Wasserlösliche Holzschutzmittel (Auswahl)	**Prüfprädikat**	**Geeignet für GK**
B-Salze (anorganische Borverbindungen): Für witterungsgeschützte Holzbauteile. Nicht für Holzbauteile, die in direktem Kontakt mit Lebens- oder Futtermitteln kommen können. Holz ist vor Niederschlägen auch bei Transport und Montage zu schützen	Iv, P	1 2
SF-Salze (Silikofluoride): Für witterungsgeschützte Holzbauteile. Nicht zur großflächigen Anwendung in Aufenthaltsräumen bzw. für Lager für Lebens- und Futtermittel, sofern sie nicht durch eine Bekleidung abgedeckt sind. Nicht für Holzbauteile, die in direkten Kontakt mit Lebens- oder Futtermitteln kommen können. Holz ist vor Niederschlägen auch bei Transport und Montage zu schützen	Iv, P	1 2
CFB-Salze (Bor- und Fluorverbindungen, Chromate): Für Holzbauteile in Innen- und Außenbereichen; geringe bis mittlere Auswaschungsbeanspruchung. Nicht zur großflächigen Anwendung in Aufenthaltsräumen bzw. für Lager für Lebens- und Futtermittel, sofern sie nicht durch eine Bekleidung abgedeckt sind. Nicht für Holzbauteile, die in direkten Kontakt mit Lebens- oder Futtermitteln kommen können	Iv, P, W	1 2 3
Cu-HDO-Präparate: Für Holzbauteile im Innen- und Außenbereich anwendbar. Nicht zur großflächigen Anwendung in Aufenthaltsräumen bzw. Lager für Lebens- und Futtermittel, sofern sie nicht durch eine Bekleidung abgedeckt sind. Nicht für Holzbauteile, die in direkten Kontakt mit Lebens- oder Futtermitteln kommen können	Iv, P, W, (E)	1 2 3 (4)
Holzschutzmittel in organischen Lösemitteln (Auswahl)	**Prüfprädikat**	**Geeignet für GK**
Holzschutzmittel in organischen Lösemitteln (organische Fungizide und Insektizide, Deltamethrin, Tris-(*N*-Cyclohexyldiazeniumdioxid)-Al): Für alle statisch beanspruchten Holzbauteile im Außenbereich, nicht in Aufenthaltsräumen, in anderen Räumen nur mit staubdichter Bekleidung. Nicht für Holzbauteile, die in direkten Kontakt mit Lebens- oder Futtermitteln kommen können	Iv, P, W	1 2 3
Holzschutzmittel in organischen Lösemitteln ohne Wirksamkeit gegen Pilze (organische Insektizide, Deltamethrin): Bauholz unter Dach, Konstruktionsholz und Fertigbauelemente	lv	1

1.6.8.4 Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Holzschutzmitteln

Holzschutzmittel enthalten Giftstoffe; damit fallen sie in den Anwendungsbereich der Gefahrstoffverordnung. Diese Verordnung schreibt für gefährliche Stoffe Kennzeichnungen vor. Die Kennzeichnungsbestandteile sind auf dem Gebinde in einem Kennzeichnungsfeld ausgewiesen.

Im Zusammenhang mit der weltweiten Harmonisierung im Bereich der Produktkennzeichnung gilt das neue Einstufungs- und Kennzeichnungssystem für Chemikalien nach GHS (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals). Die Stoffe werden in Gefahrenklassen eingeteilt, und diese wiederum werden in Kategorien unterteilt (Tab. 1.37). Auf den Gebinden der Produkte und in den Produkt- bzw. Sicherheitsdatenblättern müssen die entsprechenden Kategorien gekennzeichnet werden. Neben den Signalworten (Gefahr oder Achtung) ist ein genauer Gefahrenhinweis aufgelistet.

Für den Umgang, den Transport, die Lagerung und Verarbeitung von Holzschutzmitteln sind zahlreiche Warn- und Sicherheitsbestimmungen zu beachten. Nachfolgend werden wichtige Handlungsanweisungen aufgeführt:

- Holzschutzmittel müssen so gelagert sein, dass sie für Unbefugte unzugänglich sind.
- Sie müssen stets in Originalbehältern fest verschlossen aufbewahrt werden.
- Beim Verarbeiten dürfen weder Sprühnebel noch Dämpfe entstehen.
- Bei der Sonderbehandlung von gefährdeten Holzstellen mit Pasten oder Bandagen müssen Abdeckungen gegebenenfalls mit Stacheldraht oder Drahtgeflechten angebracht werden, um Vergiftungen von Tieren durch Belecken oder Benagen auszuschließen.
- Chemikalienempfindliche Personen und Personen mit Wunden oder Hautausschlägen dürfen unter keinen Umständen mit Holzschutzmitteln in Berührung kommen.
- Nach dem Verarbeiten sind die Holzschutzmittelreste so zu beseitigen und die Arbeitsgeräte derart zu reinigen, dass für Mensch und Tier jegliche Gefährdung ausgeschlossen ist.
- Die je nach Holzschutzmittel zur Anwendung gelangten Gefahrensymbole sind auf das Genaueste zu befolgen.
- Beim geringsten Anzeichen einer gesundheitlichen Schädigung (z. B. Reizung der Schleimhäute, Hautausschlag usw.) ist sofort ein Arzt aufzusuchen und ihm nach Möglichkeit die Verpackung bzw. das Etikett des verarbeiteten Holzschutzmittels vorzulegen.
- Auch beim Verbrennen von Hölzern, die mit Schutzmitteln behandelt wurden, können Giftgase entstehen. Deshalb sollen solche Holzabfälle niemals verbrannt werden!

1.6.8.5 Einbringverfahren und Eindringtiefe von Holzschutzmitteln

Für das Einbringen von Holzschutzmitteln steht eine Reihe von Verfahren zur Verfügung, die sich im Arbeitsaufwand und den Ergebnissen unterscheiden. Das Einbringen der Holzschutzmittel kann drucklos oder in Druckverfahren erfolgen.

Tab. 1.37 Beispiele für die Kennzeichnung gefährlicher Stoffe gemäß GHS

Piktogramm	Gefahrenklasse Gefahrenkategorie
	Entzündlich Kategorie 1, 2, 3
	Akute Toxizität Kategorie 1, 2, 3
	Akute Toxizität Kategorie 4
	Haut- und augenreizend
	Hautsensibilisierend
	Hautätzend
	Schwere Augenschädigung
	Kann Krebs erzeugen Kategorie 1, 2
	Kann genetische Defekte verursachen Kategorie 1, 2
	Atemwegssensibilisierend

Drucklose Verfahren sind: Streichen, Fluten, Spritzen, Sprühtunnel, Tauchen, Trogtränkung.

Druckverfahren sind: Kesseldrucktränkung, Vakuumtränkung, Wechseldrucktränkung.

Das zu behandelnde Holz muss frei von Borke und Bast sein. Das Werkstück sollte im endgültigen Einbaumaß vorliegen, bevor mit dem Applizieren des Holzschutzmittels begonnen wird, da ansonsten aufwendige Nacharbeiten anfallen oder Fehlstellen im Bereich nachträglicher Eingriffe verbleiben können.

An besonders gefährdeten Bauteilen (z. B. Balkenköpfen im Mauerwerk) oder aber bei sehr schwer tränkbaren Holzarten kann ein Sonderverfahren zum Einbringen des Holz-

Tab. 1.38 Eindringtiefe

Eindringtiefeklasse	Eindringtiefeanforderung
NP 1	Keine
NP 2	Mindestens 3 mm seitlich im Splintholz
NP 3	Mindestens 6 mm seitlich im Splintholz
NP 4	Mindestens 25 mm seitlich im Splintholz
NP 5	Gesamtes Splintholz
NP 6	Gesamtes Splintholz und Mindestens 6 mm im frei liegenden Kernholz

schutzmittels angewandt werden: Die Bohrlochtränkung ermöglicht große Einbringmengen, große Eindringtiefen und eine gleichmäßige Verteilung des Präparates. Am Werkstück werden die Bohrungen in einem geeigneten Raster eingebracht, das Verfüllen der Löcher mit Holzschutzmitteln erfolgt dann drucklos. Das Einbringen der Mittel unter Druckanwendung wird als Bohrlochdrucktränkung bezeichnet. Bei einer mechanischen Perforation mit mehr als 3 mm Einwirktiefe muss der Einfluss auf die Tragfähigkeit des Holzes berücksichtigt werden.

Die erzielbaren Einbringmengen und Eindringtiefen werden aber nicht nur durch das angewandte Verfahren, sondern auch durch die jeweilige Holzart und ihre Beschaffenheit sowie durch das verwendete Schutzmittel stark beeinflusst. So ist Kernholz weniger aufnahmefähig als Splintholz. Fichtenholz und Douglasie zählen zu den schwer tränkbaren Holzarten. Eine Behandlung nassen Holzes mit lösemittelhaltigen Schutzmitteln ist nicht möglich. Bei der Auswahl des Verfahrens ist außer diesen Gesichtspunkten die zu erwartende Gefährdung des Bauteils zu berücksichtigen. Ähnlich verhält es sich mit den möglichen, einzubringenden Mengen an Holzschutzmitteln. Sie sind abhängig von der Art des Holzschutzmittels, vom Einbringverfahren und von der vorgesehenen Verwendung des Holzes. Für die Einbringmengen gelten die Festlegungen der bauaufsichtlichen Zulassungen eines Produktes bzw. die von anderen akkreditierten Stellen festgelegten Angaben.

Für die Eindringtiefe von Holzschutzmitteln legt die DIN 68800 entsprechend des europäischen Standards Eindringtiefeklassen (Tab. 1.38) fest.

1.6.9 Regelausführungen der Sanierung und Bekämpfung von Schädlingsbefall

Nach der Feststellung von Art, Schwere, Umfang und Ausbreitung des Befalls mit Holzschädlingen ist mit heutigen Mitteln eine nahezu vollständige Bekämpfung möglich. Die erfolgreiche Schadensregulierung setzt folgende Kenntnisse voraus:

- Umfang des Befalls.
- Bei Pilzbefall durch Echten Hausschwamm sind besondere Maßnahmen erforderlich.

- Bei Pilzbefall durch andere Pilzarten führen Maßnahmen der Austrocknung zum Erfolg.
- Liegt beim Insektenbefall lebender oder abgestorbener Befall vor? Anzeichen für lebenden Befall sind z. B. helle Ausfluglöcher, Nagegeräusche, frisches Bohrmehl.
- Bei sehr alten Holzbauteilen ($\geq$ 100 Jahre) ist ein Lebendbefall durch den Hausbockkäfer eher unwahrscheinlich, allerdings ist ein Befall durch Amöben möglich.

Die DIN 68800 betrachtet bewährte Verfahren, die als Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen holzzerstörende Pilze und Insekten eingesetzt werden und formuliert mögliche Regelsanierungen

1.6.9.1 Maßnahmen bei Befall durch holzzerstörende Pilze

Zu unterscheiden ist, ob ein Befall durch den Echten Hausschwamm oder einen anderen holzzerstörenden Pilz (Nassfäulepilz) vorliegt. Die Ursache der erhöhten Feuchte ist vorrangig zu beseitigen, um eine Wiederbesiedlung zukünftig zu unterbinden. Vor der Sanierung ist der zu behandelnde Bereich vollständig leerzuräumen. Das Oberflächenmyzel, der Fruchtkörper und alle sichtbar befallenen Holzteile, auch wenn sie noch nicht geschädigt sind, müssen entfernt werden.

Beim Echten Hausschwamm müssen die Hölzer in Längsrichtung mindestens 1,00 m über den sichtbaren Befall hinaus zurückgeschnitten werden. Ein Abbeilen der Oberfläche des Holzes ist unzureichend, da das Myzel das Holz durchwächst. In Ausnahmefällen ist eine Reduzierung auf 50 cm möglich, wenn dort nachweislich kein Befall vorliegt. Die hierzu notwendigen Untersuchungen sind jedoch aufwendig und kostenintensiv, sodass diese Variante nur in Einzelfällen angewendet wird.

Umgebendes Dämmmaterial und Schüttungen sind in jede Richtung im Abstand von 1,50 m vom Befall zu entfernen. Alle angrenzenden Bauteile sind, unabhängig vom Material, mindestens 1,0 m in jede Richtung in die Bekämpfungsmaßnahmen mit einzubeziehen. Alle angrenzenden verdeckten Holzbauteile (z. B. in Decken), einschließlich ihrer Auflager sollten freigelegt werden. Ganz wichtig ist, entfernte Pilze oder befallene Bauteile bereits am Bau zu sichern, zu verpacken und sie gesondert zu entsorgen, da ansonsten ein neuer Pilzbefall entstehen kann. Die Behandlung des verbleibenden sowie des neu einzubauenden Holzes erfolgt mit vorbeugend wirksamen chemischen Holzschutzmitteln, bei deren Auswahl die Gefährdung des Bauteils nach Gebrauchsklassen zu berücksichtigen ist. Besonders gefährdete Stellen wie z. B. Balkenköpfe oder Fußpfetten auf Mauerwerk sind durch Bohrlochtränkung zu behandeln, bei Befallstellen im Mauerwerk ist ein Schwammsperrmittel anzuwenden.

Bei einem Befall durch Nassfäulepilze ist das Bauteil nachhaltig auszutrocknen. Stark geschädigte Hölzer (ohne ausreichenden Restquerschnitt) sind in Längsrichtung mindestens 30 cm über den sichtbaren Befall hinaus abzuschneiden und zu erneuern. Bei geringer Schädigung reicht es oftmals, die befallenen Holzteile mechanisch bis auf das gesunde Holz zu entfernen, gegebenenfalls kann eine Verstärkung zum Erhalt der Tragfähigkeit

erforderlich werden. Alle verbleibenden und neu eingebauten Hölzer sind vorbeugend zu schützen. An Balkenauflagern ist das Bohrlochverfahren anzuwenden.

1.6.9.2 Maßnahmen bei Befall durch holzzerstörende Insekten

Wird Lebendbefall durch Hausbock, Nagekäfer oder Splintholzkäfer an einem Holzbauteil festgestellt, so ist die Ausbreitung des Schädlings anhand der Nage- und Ausflugslöcher zu bestimmen. Die geschädigten Hölzer sind durch Abbeilen, Anritzen oder Bohrungen auf ihre Festigkeit zu prüfen. Falls die Querschnitte sich nach der mechanischen Bearbeitung stark vermindern, ist eine statische Beratung durch einen Tragwerksplaner erforderlich. Ausgebautes Holz und Späne müssen gesondert gelagert und entsorgt werden. Bei der Behandlung mit Holzschutzmitteln ist die Wirksamkeit des Präparates genauestens auf den zu bekämpfenden Schädling abzustimmen – die zulässige Holzfeuchte für den Einsatz des Mittels ist zu beachten. Auch augenscheinlich nicht befallene Teile der Konstruktion sollten mitbehandelt werden. Eine Ausnahme betrifft den Denkmalschutz, wenn beispielweise das Freilegen einer hölzernen Deckenkonstruktion nicht möglich ist. Das Präparat wird in mindestens zwei Arbeitsgängen eingebracht. Dabei ist sorgfältig auf die vom Hersteller angegebenen Einbringmengen zu achten. Bei wasserlöslichen Bekämpfungsmitteln muss gegebenenfalls ein vorhandener Anstrich entfernt werden, da sonst die Aufnahme des Holzschutzmittels verhindert werden könnte.

1.6.9.3 Heißluftverfahren bei Befall durch holzzerstörende Insekten

Beim Heißluftverfahren (Abb. 1.237) wird die Raumluft des zu behandelnden Bereichs auf ca. 60 bis 120 °C erwärmt. In der Regel wird dazu heiße Luft mit Heißluftaggregaten in den Raum geblasen. Zusätzliche Maßnahmen zur Verhinderung des Wärmeabflusses, wenn beispielsweise Dachwerke behandelt werden, können den technischen Aufwand signifikant vergrößern. Vor Beginn der Maßnahme ist die Hitzeempfindlichkeit vorhandener Materialien zu prüfen und eine kontrollierbare Abluftöffnung zu schaffen. Alle freiliegenden Konstruktionshölzer werden kontinuierlich von der heißen Luft umströmt und heizen sich somit langsam auf. Zu beachten ist, dass befallene Hölzer wie z. B. Deckenbalken und Dachsparren gegebenenfalls von Verkleidungen zu befreien sind, das heißt, der Einschub und eine Zwischensparrendämmung sollten entfernt werden. Die zu behandelnden Holzteile werden so lange erwärmt, bis über ihren ganzen Querschnitt hinweg eine ausreichend lange Zeitspanne die letale (tödliche) Wärmedosis erreicht ist. Durch die Zersetzung der körpereigenen Eiweiße wird der Schädling in allen Stadien abgetötet. Als Richtwert ist eine Mindesttemperatur im Holzkern von 55 °C über die Dauer von 1 h anzunehmen. Zur Überwachung der Kerntemperatur werden mittels Bohrungen Messstellen eingerichtet, die stündlich kontrolliert werden. Ein Messprotokoll dokumentiert die Maßnahme. Anzumerken ist, dass das Heißluftverfahren nicht vor Wieder- oder Neubefall schützt. Begleitend sollte ein Einsatz von vorbeugend wirksamen Holzschutzmitteln in den betroffenen Bereichen erfolgen.

Neben den beschriebenen Maßnahmen ist noch das Begasen von befallenen Holzbauteilen zu erwähnen. Es basiert auf der Anwendung toxisch erstickender Gase. Aus

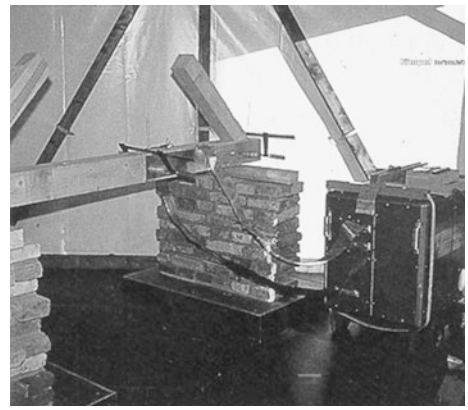


Abb. 1.237 Heißluftverfahren. (Quelle: ILS Hamburg)

Gründen des Umweltschutzes und des Gesundheitsschutzes wird es vornehmlich zur Behandlung von Kunst- und Kulturgütern geringerer Größe angewendet.

Wie Sie aus diesen Ausführungen deutlich erkennen, erfordert eine erfolgversprechende Behandlung der Holzschädlinge umfangreiches Fachwissen. Holzschutzmaßnahmen müssen von einem Fachbetrieb mit Sachkundenachweis für Holzschutz am Bau ausgeführt werden.

1.6.9.4 Unwirksame Maßnahmen

In der Literatur oder in Internetforen findet man gelegentlich auch Hinweise, wie Holz durch „biologische" oder „natürliche" Maßnahmen vor Schädlingen zu schützen ist. Die meisten dieser Aussagen sind sachlich nicht zutreffend, zumindest aber kritisch zu hinterfragen.

Häufig ist eine festgestellte Schutzwirkung gar nicht auf die propagierte Maßnahme zurückzuführen, sondern sie beruht auf dem vorhandenen Holzschutz, auf natürlicher Dauerhaftigkeit des verwendeten Holzes oder auf einer guten Oberflächenbehandlung.

Vielfach mag auch gar keine Gefährdung vorgelegen haben, sodass die angebliche Schutzmaßnahme nur symbolischen Charakter hat.

Die meisten dieser „Rezepte" beruhen häufig auf einem Missverständnis. Einige ausgewählte Beispiele, die immer wieder empfohlen werden:

Holzessig, Zitrusschalenöl, Bienenwachs usw. Diese häufig als ökologische Holzschutzmittel bezeichneten Substanzen haben zwar einen gewissen Schutzeffekt, der jedoch bei Weitem nicht ausreicht, um einen Befall zu verhindern. Denn die gut hinterlüftete Verkleidung hält auch ohne diese Maßnahme und der waagerechte Zaunholm wird mit oder ohne derartige Behandlung faulen.

Die Fällzeit beeinflusst die Haltbarkeit – wintergefälltes Holz sei weniger anfällig Wintergefälltes Holz enthält weniger Zellsaft und trocknet rascher aus als sommergefälltes

Holz. Zudem ist bei den geringeren Wintertemperaturen auch die Gefährdung durch Schädlinge geringer. Wintergefälltes Holz ist zwar während der Rundholzlagerung tatsächlich weniger anfällig, aber vorschriftsmäßig ausgetrocknetes Sommerholz steht in der Qualität und in der Befallsneigung durch Holzschädlinge dem Winterholz in nichts nach.

Wassergelagertes Holz sei weniger anfällig Durch die Wasserlagerung werden einige Inhaltsstoffe aus dem Holz entfernt, sodass die Bläueanfälligkeit herabgesetzt ist. Für einen ausreichenden und dauerhaften Schutz gegen Fäulnispilze und Insekten reicht dies jedoch nicht aus.

1.6.10 Sanierung von Außenbauteilen

Bei der Sanierung von Bauteilen im Freien wird grundsätzlich unterschieden zwischen:

1. Modernisierung und Schutz vorhandener Holzkonstruktionen,
2. Auswechseln einzelner Teile,
3. Neugestaltung durch Umbau, Ausbau und Anbau.

Im Folgenden werden unter dem Blickwinkel der Holzbausanierung die drei Schwerpunkte exemplarisch behandelt. Unabhängig davon, ob es sich um Wände, Fassaden, Fenster, Türen, Balkone, Wintergärten oder andere Holzbauteile handelt, setzt eine erfolgreiche Sanierung auch eine gründliche Vorbereitung voraus. In den vorhergehenden Kapiteln wurden holzzerstörende Prozesse und deren Beseitigung dargestellt, sodass nunmehr die typischen Schadensbilder und deren Ursachen bei Außenbauteilen betrachtet werden.

Dunkle Verfärbung, abblätternder Lack
Ursachen sind ein falscher Aufbau der Beschichtung und Beschädigungen von außen. Der alte Anstrich muss entfernt werden, damit das Holz dann austrocknen kann. Der Feuchtegehalt vor der Instandsetzung sollte bei Nadelhölzern 15 % und bei Laubhölzern 12 % betragen.

Fäulnis und Pilzbefall
Die Ursache ist zumeist eine zu hohe Holzfeuchte aufgrund eines mangelhaften konstruktiven Schutzes oder die fehlende Wartung und rechtzeitige Instandsetzung. Die befallenen Teile können in der Regel nur noch ausgewechselt werden.

Harzausscheidungen bei Nadelhölzern
Ursache ist eine für Nadelhölzer falsche Beschichtung. Der Harzfluss muss entfernt und abgesperrt werden.

Nach Feststellung der Ursache und deren Beseitigung sowie nach einer gründlichen Untergrundvorbehandlung kann die Auswahl der Beschichtungsmaterialien erfolgen.

Fenster und Außentüren

Bei Fenstern und Außentüren ist eine sorgfältige Rekonstruktion, vor allem an kritischen Detailpunkten besonders wichtig. Es ist darauf zu achten, dass Wasser schnell abfließen kann, sich kein Eis bildet und nicht in Fugen und Spalten stehen bleiben kann. Das gilt auch für Kondenswasser, welches sich an den Innenflächen der Gebäudeteile und Wände oder innerhalb der Bauteile bilden kann.

Kaum erforderlich ist der Einsatz von Insektiziden, denn Insekten befallen Fenster und Türen so gut wie nie. Zweckmäßig kann allerdings ein chemischer Holzschutz gegen Pilzbefall sein.

Fenster (Abb. 1.239) und Türen sind maßhaltige Bauteile und benötigen deshalb einen geeigneten Wetterschutzanstrich. Wird dieser Anstrich regelmäßig instand gehalten, können für die GK 3.1 geeignete Holzschutzmittel eingesetzt werden.

Kann eine dauerhafte Wartung nicht gewährleistet werden, sollten Holzschutzmittel für die GK 3.2 zur Anwendung kommen.

Bei der Verwendung von Kiefernsplintholz muss das Schutzmittel zusätzlich gegen Bläuepilze wirksam sein, da sich Bläuepilze (Abb. 1.238) auch unter dem Anstrich entwickeln und diesen zerstören können.

Konstruktionen der Gebrauchsklasse 0

Bei Aufstockungen oder kompletten Erneuerungen von Außenwänden und Dächern können Konstruktionen eingesetzt werden, die keiner weiteren Maßnahme des chemischen



Abb. 1.238 Durch Bläue verursachter Anstrichschaden. (Quelle: ILS Hamburg)

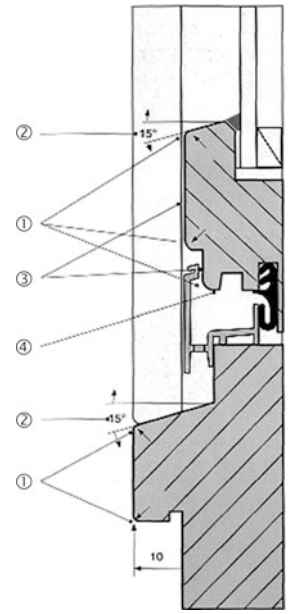


Abb. 1.239 Modernes Fenster mit Isolierverglasung, unteres Blend- und Flügelrahmendetail. Konstruktive Holzschutzmaßnahmen sind: *1* gerundete Kanten für bessere Haltbarkeit der Oberflächenbeschichtung, *2* Ablaufschrägen, das heißt, die Schrägung des unteren Flügelrahmenholzes muss so groß sein, dass auch im gekippten Zustand das Wasser abfließen kann, *3* ein kleiner Spalt am Blendrahmenanschlag verhindert das kapillare Aufsteigen des Wassers in der Fuge, *4* Abtropfkante für herunterlaufendes Wasser. (Quelle: ILS Hamburg)

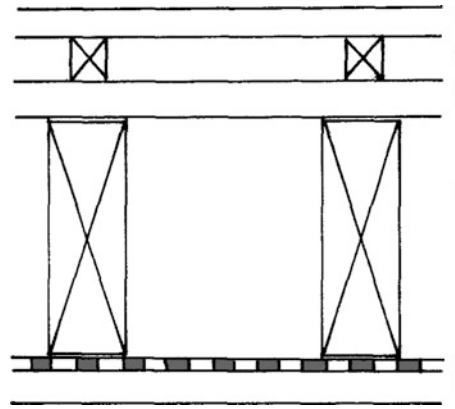


Abb. 1.240 Außenwandkonstruktion: *1* hinterlüftete Bekleidung, *2* belüfteter Raum, *3* äußere Bekleidung sd $\leq$ 0,3 m, *4* im Gefach mineralischer Faserdämmstoff oder für GK 0 zugelassener Wärmedämmstoff, *5* Dampfbremsschicht sd $\geq$ 2,0 m, *6* Beplankung. (Quelle: ILS Hamburg)

Holzschutzes bedürfen. Die Bauteile entsprechen den Anforderungen der DIN 68800-2, das heißt, ein allseitiger Schutz gegen Feuchtigkeit und Dichtigkeit gegen Insekten ist gewährleistet. Die nachfolgenden Prinzipskizzen in Abb. 1.240 und 1.241 zeigen Beispiele für den Aufbau solcher Konstruktionen.

Balkone

Balkone können in Verbindung mit Fassadensanierungen einfach, schnell und ohne vertikale Belastung der vorhandenen Wandkonstruktion selbsttragend vor die Fassade gestellt werden.

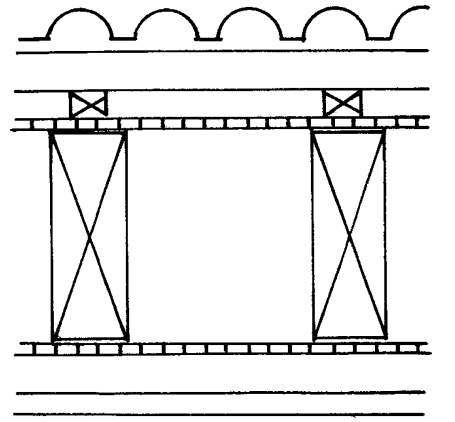


Abb. 1.241 Geneigtes Dach, im Gefach unbelüftet; *1* Dacheindeckung, *2* Traglattung, *3* Konterlattung (belüfteter Zwischenraum), *4* Bekleidung sd ≤ 0,3 m, *5* im Gefach mineralischer Faserdämmstoff oder für GK 0 zugelassener Wärmedämmstoff, *6* Dampfbremsschicht sd ≥ 2,0 m, *7* Querlattung, *8* Beplankung. (Quelle: ILS Hamburg)

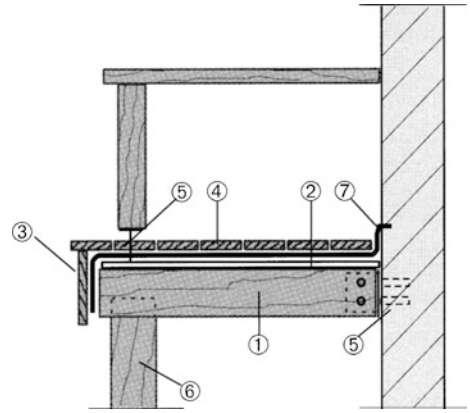


Abb. 1.242 Balkonausbildung; *1* tragender Balken mit *2* Baufurniersperrholz BFU 100 G, *3* Brett- oder Blechabdeckung, *4* Trittbelag, *5* Befestigungen (schematisch), *6* Stütze, *7* Bitumenpappe. (Quelle: ILS Hamburg)

Balkonkonstruktionen sind im Allgemeinen einer unmittelbaren Wetterbeanspruchung ausgesetzt. Sämtliche tragenden Bauteile und solche mit Absturzsicherungsfunktion (Geländer) sind deshalb, sofern nicht ausreichend dauerhaftes Holz verwendet wird, chemisch zu schützen (siehe Abb. 1.242 und 1.243).

Besonders gefährdet an Balkonen sind waagerechte Holzoberflächen, auf denen Wasser stehen bleiben kann (vgl. Abb. 1.244). Sie sind deshalb sorgfältig zu schützen oder mit einem dichten Belag zu versehen. Die Horizontalkräfte, z. B. Wind, sind über Anker in die Deckenscheibe des vorhandenen Gebäudes zu leiten oder beispielsweise durch Streben oder Ähnliches aufzunehmen.

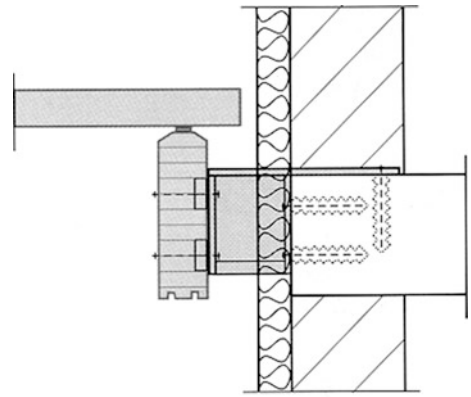


Abb. 1.243 Verbindung Balkon/Außenwand. (Quelle: ILS Hamburg)

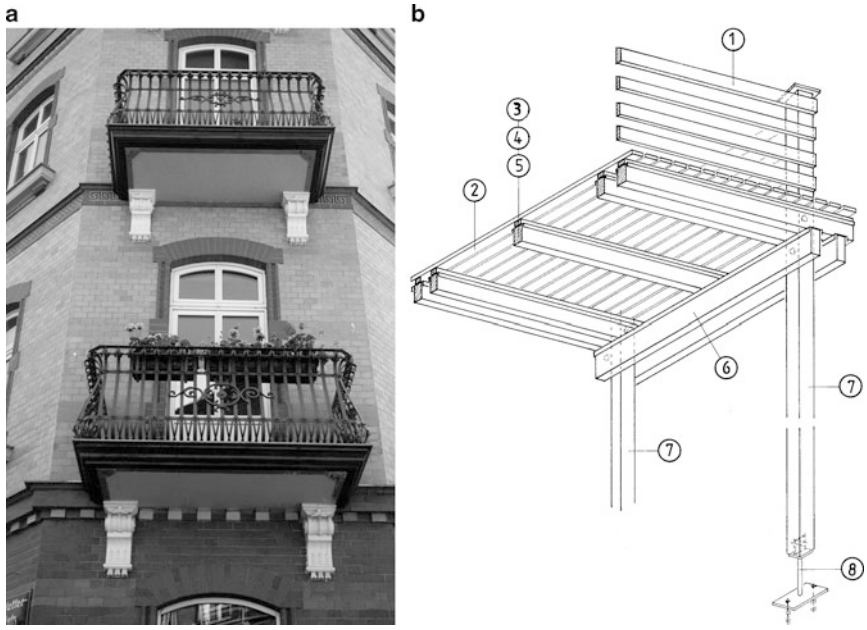


Abb. 1.244 Balkone: **a** vorgesetzter Doppelbalkon, **b** Systemskizze eines Balkons; *1* Geländer (verschiedene Landesbauordnungen fordern Vorkehrungen gegen Überklettern), *2* Balkonbelag, z. B. 5/10 cm Eichenkernholz profiliert, *3* Latte, z. B. 4/6 cm Eichenkernholz, *4* Blechabdeckung (baulicher Holzschutz der tragenden Konstruktion), *5* Balken, z. B. 8/16 cm, *6* Unterzug, z. B. 8/20 cm, *7* Stützen, z. B. 12/12 cm (gleichzeitig Geländerpfosten), *8* Stützenfuß aus feuerverzinktem Stahl (Spritzwasserschutz). (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.11 Nachträgliche Holzbekleidungen als Instandsetzungsvariante

1.6.11.1 Konstruktive Vorüberlegungen

Außenwände und Fassaden von Gebäuden sind häufig mit Mängeln behaftet und/oder entsprechen nicht mehr den Vorstellungen der Eigentümer. Mängel sind beispielsweise eine zu geringe Wärmedämmung, rissige, schadhafte Fassaden, eine fehlende Frostbeständigkeit und Durchfeuchtung bei Schlagregenbeanspruchung sowie optische Beeinträchtigungen und die fehlende architektonische Einbindung in die Umgebung. Alle diese Mängel lassen sich durch eine äußere Bekleidung mit Holz beseitigen.

Die nachträgliche Bekleidung von Fassaden mit Vollholz (siehe Abb. 1.245) gewinnt daher zurzeit ständig an Bedeutung, insbesondere in Verbindung mit einer zusätzlichen, äußeren Wärmedämmung. Eine äußere Bekleidung mit Holz schützt die vorhandene, eventuell beschädigte oder erneuerungsbedürftige Fassade vor der Witterung und verschönert diese gleichzeitig. Schlagregendurchfeuchtungen und bauphysikalische Mängel, insbesondere beim Wärme- und Feuchteschutz, lassen sich mit nachträglichen Fassadenbekleidungen aus Holz zuverlässig und wirtschaftlich abstellen.

Fassadenbekleidungen aus Holz:

- schützen die Außenwand vor Witterungseinflüssen,
- ersparen den erneuten Putzauftrag,
- ermöglichen auch beim Altbau eine Außendämmung,
- werten den Baukörper durch ästhetische Gestaltungsmöglichkeiten auf,
- bieten für nachträgliche Anbauten oder Aufstockungen die Möglichkeit einer einheitlichen Gestaltung.

Fassadenbekleidungen aus Nadelholz etwa schützen die Außenwand vor Witterungseinflüssen, ersparen beim Neubau den Putz, ermöglichen auch beim Altbau eine Außendämmung und gestalten den Baukörper vorteilhaft. Außenbekleidungen aus Massivholz haben in letzter Zeit große architektonische Bedeutung erlangt. Insbesondere bei der Gesamtsanierung älterer Gebäude, z. B. aus den 1950er- und 1960er-Jahren, die mit einem Anbau erweitert oder mit einem weiteren Geschoss aufgestockt werden, bietet sich eine einheitliche Fassadengestaltung mit Massivholz an.



Abb. 1.245 Anwendungsmöglichkeit: Die Gestaltung von Fassaden mit Holz, das heißt die Bekleidung von Fassaden mit Vollholz wie Profilbrettern, Stülpschalungen etc., gewinnt ständig an Bedeutung. (Quelle: ILS Hamburg)

Beispiel: Schule in Hannover

Das 1969 erstellte zweigeschossige Schulgebäude besaß ursprünglich verputzte Außenwände aus Blähton. Die Fassade durchfeuchtete immer wieder, und der Putz fiel teilweise ab. Der notwendige Schlagregenschutz war nicht gegeben. Darum entschied sich die Kommune dazu, die gesamte Fassade mit einer hölzernen Boden-Deckel-Schalung zu bekleiden (siehe Abb. 1.246). Gleichzeitig wurde die Wärmedämmung verbessert. Ein wesentliches Argument für die Holzfassade war deren Ballwurfsicherheit, die notwendig ist, um Beschädigungen beim Spielen mit Bällen gegen die Wand zu vermeiden. Durch den Einsatz von Holz in der Fassade wurden die Kosten für deren Unterhaltung entschieden reduziert.

Mehrgeschossige Wohngebäude lassen sich ebenfalls durch eine äußere Wärmedämmung und eine schützende Bekleidung aus Holz renovieren und aufwerten (vgl. Abb. 1.247). Die Verwendung kurzer Brettlängen führt zu interessanten, ansprechenden Fassaden mit einem individuellem „Gesicht“. Für Gebäude geringer Höhe gibt es



Abb. 1.246 Nachträglich angebrachte Holzbekleidung an der Fassade eines Schulgebäudes. (Quelle: ILS Hamburg)

nach den Bauordnungen der Bundesländer meist keine Einschränkungen hinsichtlich der Verwendung von Holz als Fassadenbekleidung. Außenbekleidungen aus Holz belasten aufgrund ihres geringen Gewichts im Vergleich zur Ziegelverblendung die Außenwände nur wenig, sodass eine Verstärkung der bestehenden Gründung nicht erforderlich ist.

Eine Fassadenbekleidung mit Vollholzprofilen erhöht die Wärmedämmung, da in der Unterkonstruktion zusätzlicher Dämmstoff eingebracht werden kann.



Abb. 1.247 Holzfassade an einem mehrgeschossigen Wohngebäude. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.248 Wohnhaus vor und nach der Sanierung mit Holz. (Quelle: ILS Hamburg)

Beispiel: Einfamilienhaus aus dem Jahr 1946

Das im Jahr 1946 aus Abbruchmaterial errichtete Gebäude war unbewohnt, als es die jetzigen Eigentümer erwarben und durch die Verwendung von Holz außen und innen aufwerteten und den heutigen Anforderungen anpassten. Aus einem unscheinbaren, grauen Putzbau wurde ein freundliches und einladend wirkendes „Holzhaus“ (Abb. 1.248). Die diagonal und waagerecht angebrachte Profilbrettbekleidung aus Lärchenholz gestaltet die Fassade. Balkone, vor beide Giebel gestellt und überdacht, erweitern das Angebot an Wohnfläche.

1.6.11.2 Konstruktive Ausführung

Holzbekleidungen

Holzbekleidungen gibt es als Schindeln, Profilbretter, Stülpschalungsbretter sowie als besäumte und unbesäumte Bretter. Die beiden Letzteren lassen sich in Form von Stülp-, Boden-Deckel- (Abb. 1.249) und/oder Leistenschalung verwenden. In technischer Hinsicht eignen sich auch preiswerte Sortierungen, ja sogar sogenannte Schwarten. Von den heimischen Holzarten eignen sich Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie besonders gut.

Die Holzqualität sollte nach optischen, das heißt, nach gestalterischen Gesichtspunkten ausgewählt werden. Die in VOB, Teil C, DIN 18334 geforderte Mindestqualität für ungehobelte Bretter und Bohlen „Güteklasse II nach DIN 68365“ entspricht wegen der dort zugelassenen Astigkeit häufig nicht den Vorstellungen und Wünschen der Planer und Bauherren. Die Brettdicke sollte 20 mm nicht unterschreiten. Ausgenommen davon sind Stülpschalungsbretter mit einer Dicke von 19,5 mm und einem Toleranzbereich von $\pm$ 0,5 mm.

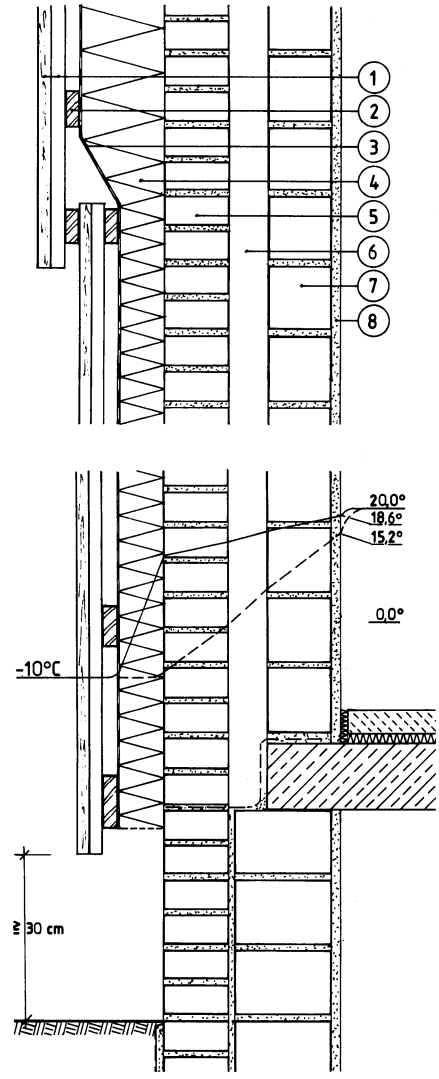


Abb. 1.249 Wandaufbau: *1* Außenwandbekleidung als Boden-Deckel-Schalung, *2* Lattung, *3* diffusionsoffene Wetterschutzbahn, *4* Wärmedämmung, *5* Ziegelverblendmauerwerk, *6* Luftschicht, *7* Hintermauerwerk, *8* Innenputz, *9* hölzerne Unterkonstruktion, *10* vorhandenes Altbaufenster, *11* (Doppel-)Fenster, *12* Isolierglasfenster, *13* Vollmauerwerk, *14* Außenwandputz. (Quelle: ILS Hamburg)

Aus ästhetischen und handwerklichen Gründen sind Profilhölzer in der Ausführung gegenwärtig am verbreitetsten. Die Anordnung der Profilhölzer kann senkrecht, waagerecht oder diagonal erfolgen, auch unterschiedlich innerhalb der Fassade (Abb. 1.250 und 1.251). Senkrecht angeordneten Bekleidungen, insbesondere Deckbrett- und Stülpschalungen, ist aus technischer Sicht der Vorzug zu geben, da diese Holzbekleidungen eine rasche Ableitung von Regenwasser begünstigen.

Für die Befestigung der Profilhölzer auf der Unterkonstruktion (Lattenabstand zwischen 40 und 60 cm) müssen korrosionsgeschützte Befestigungsmittel (Nägel, Schrauben, Klammern) verwendet werden. Besonders zu empfehlen sind Ausführungen aus Edelstahl.

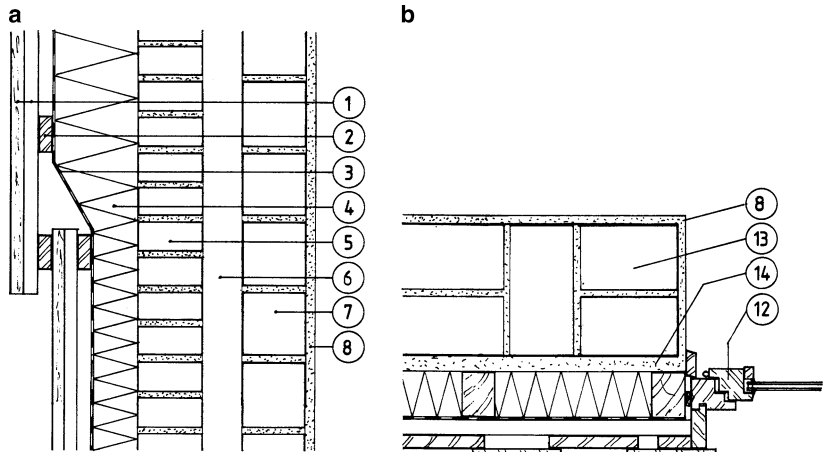


Abb. 1.250 Wandaufbau und Fensteranschluss: **a** Wandaufbau, **b** Grundriss Fensteranschluss; *1* Außenwandbekleidung als Boden-Deckel-Schalung, *2* Lattung, *3* diffusionsoffene Wetterschutzbahn, *4* Wärmedämmung, *5* Ziegelverblendmauerwerk, *6* Luftschicht, *7* Hintermauerwerk, *8* Innenputz, *12* Isolierglasfenster, *13* Vollmauerwerk, *14* Außenwandputz. (Quelle: ILS Hamburg)

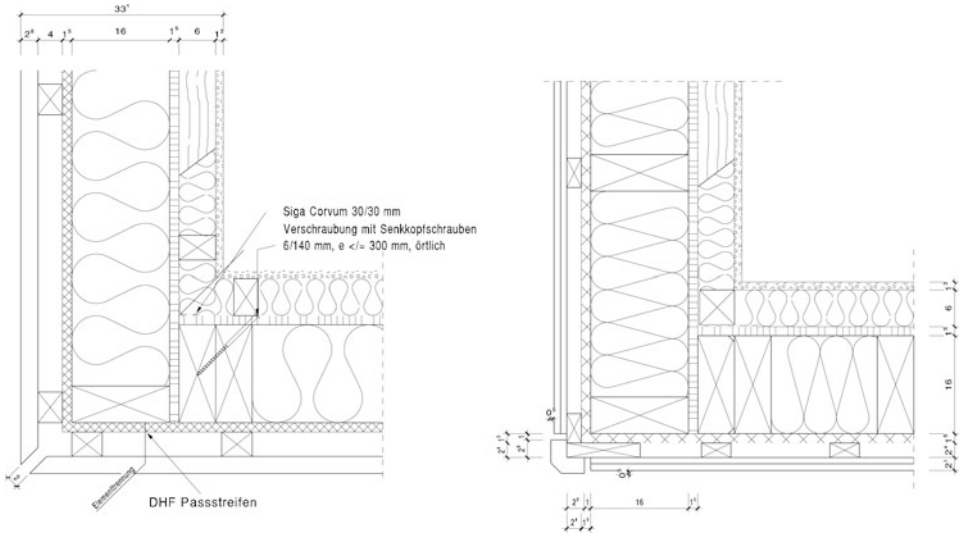


Abb. 1.251 Eckausbildung – die Hinterlüftung darf durch Anschlüsse und Eckverbindungen nicht beeinträchtig werden. (Quelle: ILS Hamburg)

Verzinkte Nägel oder Schrauben sind erfahrungsgemäß ungeeignet, da die Schutzschicht meist bereits bei der Montage verletzt wird und hierdurch die Dauerhaftigkeit eingeschränkt ist. Sichtbare Befestigungen erfolgen mit Nägeln oder Schrauben (Abb. 1.252), verdeckte ebenfalls mit Nägeln oder Spezialklammern (Profilholzkrallen).

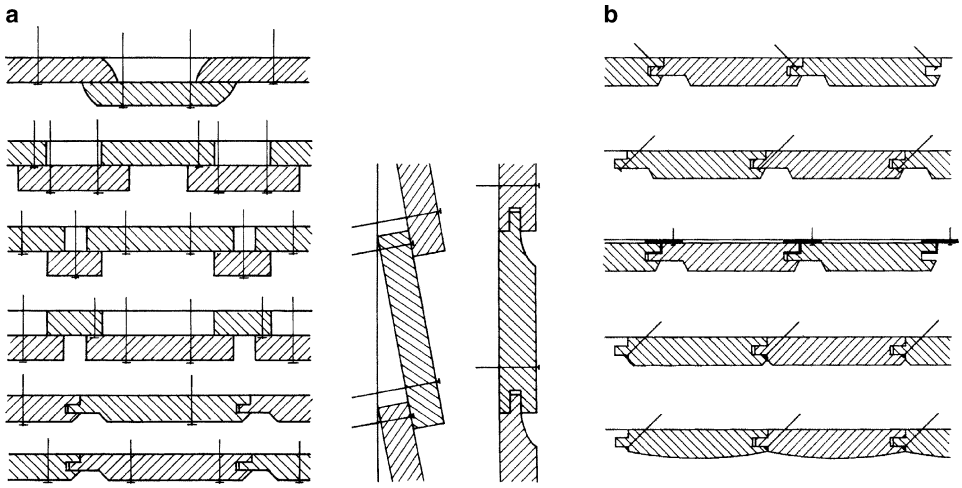
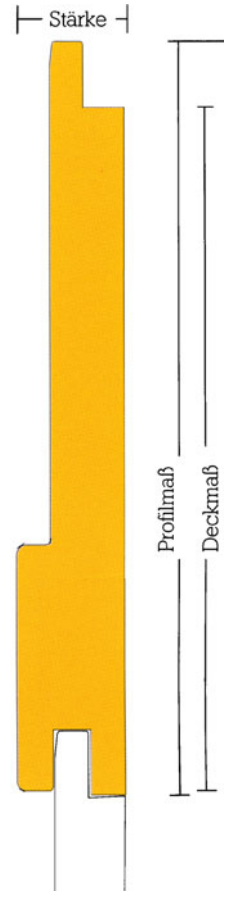


Abb. 1.252 Befestigungen mit Nägeln (**a**) oder Schrauben (**b**). (Quelle: ILS Hamburg)

Abb. 1.253 Fassadenprofil Nut und Feder. (Quelle: ILS Hamburg)



Fassadenprofile sind die Alternativen zur konventionellen, senkrecht verlegten Deckelschalung. Optisch gleichwertig, vereinfacht das Fassadenprofil die Montage erheblich, weil es wie ein Profilbrett mit Nut und Feder (Abb. 1.253) verlegt wird. Dadurch kann sich die Arbeitszeit um bis zu 40 % reduzieren. Außerdem wird eine deutliche Materialeinsparung im Vergleich zur herkömmlichen Deckelschalung erreicht.

Fassadenprofile sind in verschiedenen Varianten im Handel erhältlich. Die Nut-Feder-Konstruktion fängt das natürliche Schwinden und Quellen des Holzes gut auf, wodurch die Rissbildung minimiert wird. Durch das Zusammenstecken von Nut und Feder ist das Profil „winddichter" als die Deckelschalung. Die Profilschräge und die Tropfkante (Abb. 1.254) ermöglichen ein schnelles Abfließen des Regenwassers. Nut und Feder geben den Massivholzprofilen einen besonders verwindungssteifen Verbund. Die Befestigung durch das volle Material erfolgt an der Nagelfuge mit Nägeln, Schrauben oder Klammern. Das abgerundete Profil namens „Sanfte Linie" (Abb. 1.255) erhöht die gestalterischen Möglichkeiten, ohne die Funktion von Nut und Feder zu beeinträchtigen.

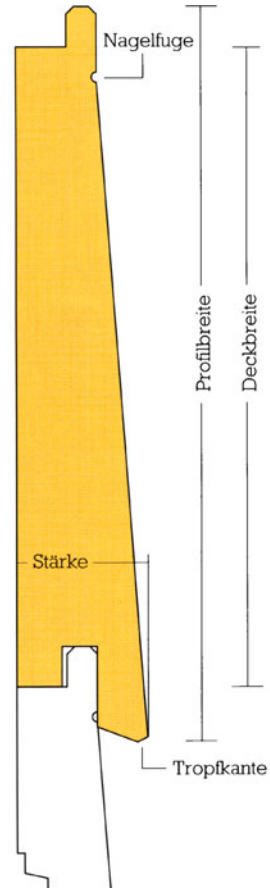


Abb. 1.254 Fassadenprofil Profilschräge – Tropfkante. (Quelle: ILS Hamburg)

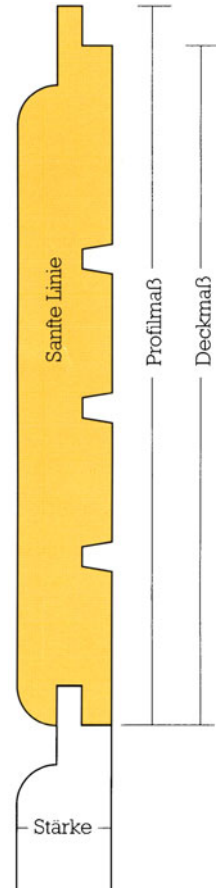


Abb. 1.255 Fassadenprofil „Sanfte Linie“. (Quelle: ILS Hamburg)

Kantenausbildung

An scharfen Kanten wird eine erheblich geringere Schichtdicke der nachfolgenden Anstriche erreicht. Der Beschichtungsstoff unterliegt der sogenannten „Kantenflucht“, das heißt, der Beschichtungsstoff zieht sich aufgrund der Oberflächenspannung vor dem Trocknen von der Kante zurück. Deshalb kann es insbesondere bei deckenden Beschichtungssystemen und dickschichtigen Lasurbeschichtungssystemen an scharfen Kanten zu Rissen und Haftungsstörungen kommen.

Alle Außenkanten (vgl. Abb. 1.256) müssen aus diesem Grund gerundet sein (Rundungsradius circa 2 mm), damit durch eine ausreichende Schichtdicke ein guter Kantenschutz erreicht wird. Noch wichtiger als der Rundungsradius ist die sogenannte Ablaufschräge. Die angrenzenden Flächen werden dabei im Kantenbereich mit einem Neigungswinkel von mindestens 15° ausgebildet.

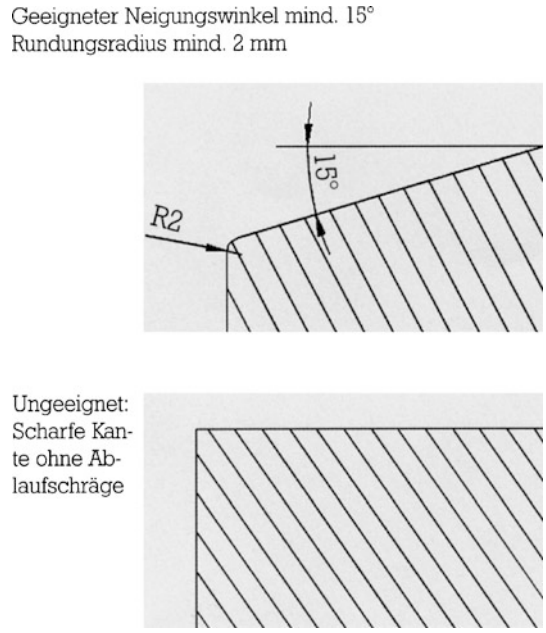


Abb. 1.256 Kantengestaltung. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.11.3 Holzarten und ihre Eigenschaften

Grundsätzlich können alle einheimischen Holzarten für Fassadenbekleidungen verwendet werden. Besonders geeignet sind Lärche und Douglasie, da sie quasi über einen eigenen natürlichen Schutz verfügen und nicht mehr behandelt werden müssen. Fichte und Tanne eignen sich dagegen für Holzfassaden, die einen farbigen Anstrich erhalten sollen.

Für Holzarten, die einen Schutz benötigen, sollte eine pigmentierte Beschichtung verwendet werden. Sie schützt vor Feuchtigkeit und UV-Strahlung. Die Wartungsintervalle für eine beschichtete Fassade liegen bei ca. 10 Jahren. Unbeschichtetes Holz wie Lärche und Douglasie ist dagegen nahezu wartungsfrei.

Für die Herstellung nicht maßhaltiger Außenbauteile aus Nadelhölzern werden hauptsächlich Fichte, Kiefer, Lärche, Douglasie (Oregon Pine) und Red Cedar verwendet. Bei harzreichen Nadelhölzern wie z. B. Kiefer oder Lärche kann es zum Ausscheiden von Harz an der Oberfläche kommen. Dunkel getönte Beschichtungen führen außenseitig zu einer erhöhten Oberflächenerwärmung (bis zu 80 °C), die das Ausscheiden von Harz fördert.

Bei der Ausführung von Beschichtungsarbeiten sind harzreiche Holzanteile nicht immer erkennbar. Harzaustritte sind mit beschichtungstechnischen Maßnahmen nicht zu verhindern. Lärche ist, neben dem hohen Harzgehalt, auch wegen ihrer Neigung zur Rissbildung wenig geeignet für eine Endbehandlung im Außenbereich.

Bei Holzarten mit einem hohen Gehalt an Holzinhaltsstoffen, z. B. Douglasie (Oregon Pine), Hemlock und Red Cedar, sind sichtbare Verfärbungen nicht auszuschließen, wenn helle Farbtöne im Anstrich verwendet werden. Daher sollten bei diesen Holzarten vor allem bräunliche bzw. kräftigere und deckende Farbtöne verwendet werden.

Holzinhaltsstoffe
Holzinhaltsstoffe sind in der Regel wasserlöslich. Das „Durchbluten“ dieser Holzinhaltsstoffe kann im Astbereich vorkommen und bei helleren Farbtönen und speziell bei Weiß zu Verfärbungen führen. Die Verfärbungen wittern in der Regel ab.

Holzfeuchtigkeit
Zu feuchtes Holz ist als Beschichtungsuntergrund ungeeignet, da dies zu Konstruktions- und Beschichtungsschäden führt. Der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes darf, an mehreren Stellen in mindestens 5 mm Tiefe gemessen, bei Nadelhölzern 15 %, bei Laubhölzern 12 % laut DIN 18363 nicht überschreiten.

Die Einbauholzfeuchte ist abhängig von der Art der Bekleidung und muss auf das zulässige Maß der Schwindverformung abgestimmt werden. Bekleidungen, bei denen jedes Brett für sich „arbeiten“ kann, beispielsweise Boden-Deckel- und Stülpschalungen, sind relativ unempfindlich gegenüber trocknungsbedingten Schwindverformungen. Die Einbauholzfeuchte sollte jedoch 20 % nicht überschreiten. Profilbretter sollten vor dem Anbringen auf ca. 16 % heruntergetrocknet sein.

1.6.11.4 Wärmedämmung

Dämmstoffe
Eine nachträgliche Holzbekleidung der Fassade bietet eine relativ einfache und kostengünstige Möglichkeit, die Wärmedämmung des Hauses zu verbessern. In den meisten Fällen kann das neue Holzkleid ohne große Instandsetzungsmaßnahmen auf die Außenwand montiert werden.

Technische Wärmedämmstoffe können den Wärmehaushalt der massiven Wand im Winter wie im Sommer positiv beeinflussen. Schon durch den rechnerischen Anstieg der Temperatur der inneren Wandoberfläche um ca. 3,4 von 15,2 auf 18,6 °C bei 80 mm zusätzlicher Außendämmung erhöht sich das Wohlbehagen der Personen im Raum in erheblichem Umfang, wie vom Institut für Technische Physik München nachgewiesen wurde. Darüber hinaus verringern sich die Heizkosten auf ein Maß, das die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) problemlos erfüllt.

Doch für einen verbesserten Wärmedämmwert sorgt dabei nicht die Fassade selbst. Zwar hat Holz auch gute Eigenschaften zur Wärmedämmung, entscheidend ist jedoch der Dämmstoff, der zusätzlich angebracht wird.

Mit einer Holzfassade lassen sich alle gängigen Dämmstoffe kombinieren. Während mineralische Materialien für einen besonders guten U-Wert sorgen, bieten Holzfaserdämmplatten einen anderen Vorteil: Sie stellen einen relativ festen Untergrund dar, auf dem die Unterkonstruktion für die Holzfassade stabil angebracht werden kann. Tab. 1.39 zeigt die 11 wichtigsten Dämmstoffe für den Einsatz an Holzfassaden.

Um gegen Regen und Feuchtigkeit gewappnet zu sein, sind weitere Maßnahmen erforderlich. Ein ausreichender Dachüberstand schützt von oben. Zum Boden sollte die Holzfassade einen Abstand von mindestens 30 cm haben. Da Holz bei Feuchtigkeits-

Tab. 1.39 Dämmstoffe für Holzfassaden

Dämmstoff	Dämmwirkung	Wasserdampfdurchlässigkeit
EPS (Styropor)	Hoch	Gering
Mineralwolle	Hoch	Hoch
Holzfaserdämmplatte	Hoch	Hoch
Mineraldämmplatte	Hoch	Hoch
XPS-Hartschaum	Hoch	Hering
PUR-Hartschaum	Sehr hoch	Gering
Zellulose	Hoch	Hoch
Perlite	Hoch	Hoch
Hanf/Flachs	Hoch	Hoch
Schaumglasplatten	Hoch	Gering
Schaumglasschotter	Gering	Hoch

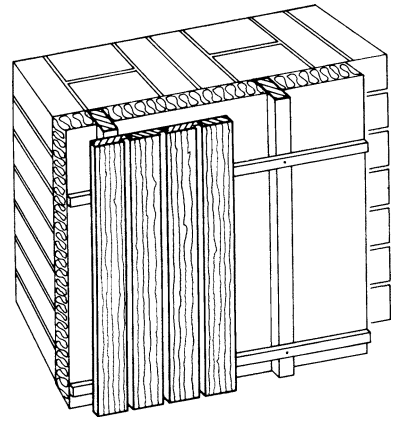


Abb. 1.257 Unterkonstruktion. (Quelle: ILS Hamburg)

schwankungen „arbeitet“, sind Bretter zu empfehlen, die mindestens 18 mm dick und höchstens 200 mm breit sind.

Während der Rohbauphase hat sich die Anordnung einer diffusionsoffenen Wetterschutzbahn bewährt. Sie verhindert die Durchfeuchtung der Wärmedämmung vor dem Anbringen der Außenwandbekleidung.

Die Unterkonstruktion (Abb. 1.257) ist abhängig von der Dämmung, der eventuellen Hinterlüftung und der Anordnung der Bretter. Sie ist mit bauaufsichtlich zugelassenen Dübeln auf bzw. an der Wand zu befestigen.

Hinterlüftung
Die Belüftung zwischen Dämmstoff und Verkleidung hat folgende Aufgaben:

- Austrocknung von eindringender Niederschlagsfeuchte;
- Austrocknung von Oberflächenfeuchte auf der Verkleidung und der Unterkonstruktion (Frost-Tau-Wechsel – die Konstruktionsteile kühlen oftmals stärker aus als die Umgebungsluft, dann entsteht Tauwasser);
- Abführung von Wasserdampf, der durch die Wandkonstruktion nach außen diffundiert und ohne Hinterlüftung hinter einer dampfdichteren Außenverkleidung (Metall, Keramik etc.) als Tauwasser auskondensieren würde.

Durch die Belüftung der Außenhaut ist die Konstruktion nach DIN 4108 ohne weiteren Nachweis ausreichend feuchtigkeitssicher bezüglich inneren Tauwasserausfalls (Diffusion). Die Größen der Belüftungsöffnungen sind in den DIN-Normen geregelt:

- 4108 – Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden,
- 18516 – Außenwandbekleidungen, hinterlüftet,
- 68800 – Holzschutz.

Die Hinterlüftung darf durch die Anschlüsse und Eckverbindungen nicht beeinträchtigt werden. Die Eckausbildung (Abb. 1.258) kann sowohl bei waagerechten wie bei senkrechten Bekleidungen auf unterschiedliche Weise ausgeführt werden.

Der Verzicht auf Hinterlüftungen führt bei hölzernen Außenwandbekleidungen in aller Regel nicht zu schädlichem Tauwasserausfall infolge Dampfdiffusion.

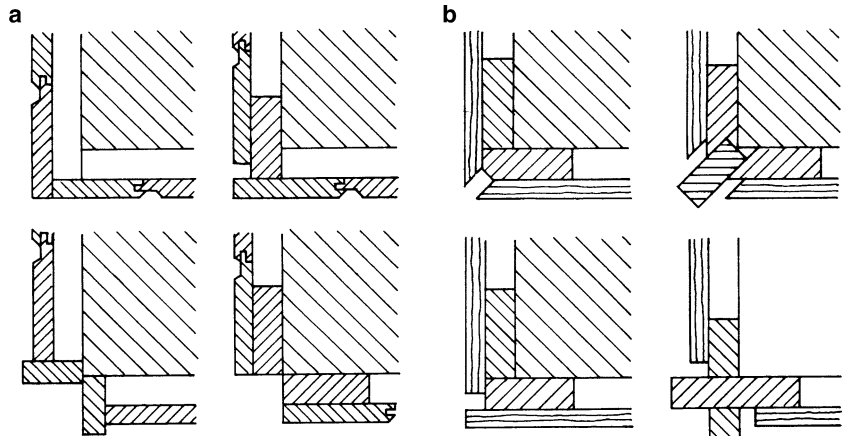


Abb. 1.258 Eckausbildung: **a** waagerechte Bekleidung, **b** senkrechte Bekleidung. (Quelle: ILS Hamburg)

1.6.11.5 Schutzmaßnahmen an Holzbekleidungen

Konstruktiver Holzschutz
Der konstruktive Holzschutz ist eine wesentliche Voraussetzung für eine dauerhafte Beschichtung. Die Konstruktion der Außenbauteile aus Holz sollte wasserabweisend sein. Waagerechte Flächen sind zu vermeiden, anfallendes Wasser muss unmittelbar abgeleitet werden. Wasser- und Feuchtenester sowie Kapillarfugen in der Konstruktion müssen vermieden werden.

Außenwandbekleidungen sollten so hinterlüftet sein, dass die Luft weitgehend frei hinter der Holzbekleidung zirkulieren kann und sich kein Tauwasser am Holz bildet (≥ 2 cm Luftraum).

Unterkanten von Außenwandbekleidungen sollten über horizontalen Bodenflächen einen Abstand von 30 cm haben, damit Spritzwasser das Holz nicht erreicht. Die Unterkanten sollten mit Tropfnasen versehen und/oder abgedeckt sein und/oder zumindest wasserschützend beschichtet werden. Verbindungen und Verleimungen müssen so gestaltet sein, dass möglichst wenig Wasser in die Konstruktion eindringen kann.

Beschläge, Verbindungs- und Befestigungsmittel müssen für den jeweiligen Verwendungszweck ausreichend gegen Korrosion geschützt sein. Dazu gehören Nägel und Schrauben aus rostfreiem Stahl. Eine galvanische Verzinkung der Befestigungsmittel bietet hier erfahrungsgemäß keinen ausreichenden und dauerhaften Korrosionsschutz.

Baulicher Holzschutz
Baulicher Holzschutz wird gewährleistet durch:

- ausreichende Dachüberstände,
- ausreichende Abstände der Bekleidung vom Boden zum Schutz gegen Spritzwasser,
- wasserabführende Ausbildung der Bekleidung, insbesondere an den Anschlüssen,
- werkstoffgerechte Ausbildung der Details wie Verbindungen, Anschlüsse oder Übergänge.

Chemische Mittel oder andere geeignete Anstriche unterstützen den baulichen Holzschutz, ersetzen ihn aber nicht. Für die Oberflächenbehandlung kommen je nach Gestaltungsabsicht Lasuranstriche, die fungizid eingestellt sein können, oder deckende Anstriche infrage. Zuvor kann ein chemisches Holzschutzmittel aufgebracht werden. Der Einsatz von Hölzern mit besserer natürlicher Resistenz gegen Pilzbefall wie Lärchen- oder Douglasienkernholz erhöht die Standdauer der Holzbekleidung auch ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz.

Chemischer Holzschutz
Abschn. 1.6.8 „Chemischer Holzschutz“ bietet zur Thematik generelle Aussagen, die sinngemäß auf nachträgliche Holzbekleidungen übertragen werden können.

1.6.11.6 Wartung und Pflege

Beständigkeit
Die Beständigkeit der Farboberfläche hängt von der Intensität der Witterungseinflüsse ab. Wichtigste Voraussetzung um das Material vor der Witterung zu schützen, sind Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes. Generell werden Farbanstriche an Fassaden auf den der Sonne zugewandten Gebäudeseiten aufgrund der einfallenden UV-Strahlung stärker beansprucht als sonnenabgewandte Fassadenflächen. Die Länge der Renovierungsintervalle ist von der Intensität der Beanspruchung abhängig. Generell ist die Beständigkeit der Farboberfläche bei feingesägten Vollholzprofilen höher als bei gehobelten Oberflächen.

1.7 Fassaden aus Beton und Stahlbeton

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich Beton zu dem am meisten verwendeten Baustoff entwickelt, der sich durch seine Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit auszeichnet. Allerdings zählen Betonschäden (Abb. 1.259) aufgrund der häufigen Anwendung von Beton auch zu den zahlreichsten Schadensbildern. Dies zeugt eben auch von einer ge-

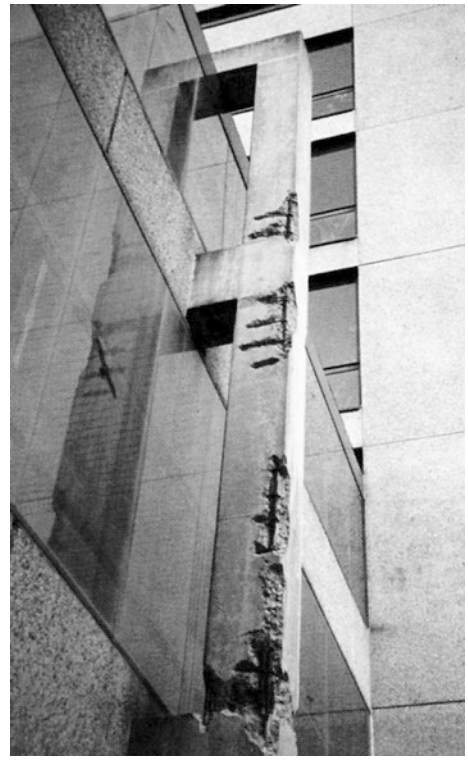


Abb. 1.259 Durch äußere Einflüsse und unsachgemäße Verarbeitung erzeugte Ausbrüche der Betonoberfläche und freiliegende Bewehrung. (Quelle: ILS Hamburg)

wissen Schadensanfälligkeit des Baustoffs Beton. Aus der Erfahrung mit dem Material ist bekannt, dass aus Fehlern in der Planung und Ausführung in Verbindung mit dem Alterungsprozess, dem Zusammenwirken von Beton und Stahl sowie den Einwirkungen während der Nutzungsphase eine Vielzahl an Schäden resultieren.

1.7.1 Zusammensetzung und Eigenschaften von Stahlbeton

Beton besteht als Materialgemisch aus den wesentlichen Komponenten Bindemittel, Zuschlägen (Gesteinskörnung) und Wasser. Die Hauptausgangsstoffe sind natürlichen Ursprungs und weisen daher Schwankungen in ihrer Zusammensetzung und Qualität auf. In der jüngeren Vergangenheit wurden darüber hinaus vermehrt industriell hergestellte Zusatzmittel und Zusatzstoffe eingesetzt, um die Eigenschaften des Frisch- und des Festbetons gezielt zu beeinflussen.

Im Erstarrungs- und Erhärtungsprozess des Betons laufen einige Hundert chemische Reaktionen ab; einige der Reaktionen sind noch wenig bekannt. Darüber hinaus bestehen zwischen diesen Reaktionen bzw. den im Reaktionsprozess entstehenden Produkten umfangreiche Wechselwirkungen, die ein noch erheblich größeres Forschungsfeld darstellen.

Mit der Verwendung von Stahlbewehrung werden die geringe Biege- und Biegezugfestigkeit des Betons signifikant erhöht. Im erhärteten Stahlbeton werden Druckspannungen vom Beton und die Zug- und Biegezugspannung vom Stahl aufgenommen.

Eine weitere wichtige Ausgangsgröße für die Eigenschaften des Betons ist der Verarbeitungsprozess. Die Herstellung im Werk, der Einbau auf der Baustelle und die Nachbehandlung bestimmen die Qualität des Endproduktes ebenso nachhaltig wie die im Prozess herrschenden klimatischen Bedingungen. Für die Dauerhaftigkeit von Betonfassaden spielen die richtige Bewertung der Expositionen bei der Erstellung der Betonrezeptur oder

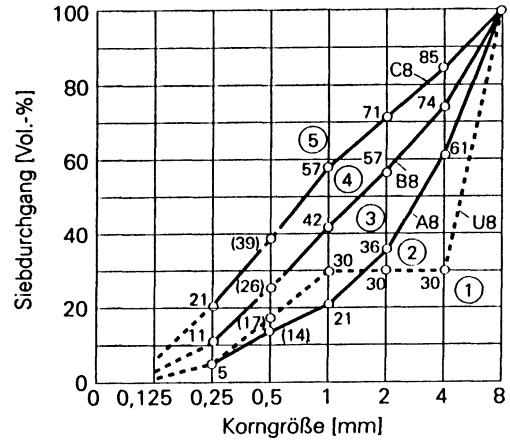


Abb. 1.260 Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 8 mm. (Quelle: ILS Hamburg)

auch die Einhaltung einer ausreichenden Betonüberdeckung der Bewehrung eine entscheidende Rolle.

1.7.1.1 Zement

Die Auswahl der zur Verfügung stehenden Zemente (Tab. 1.40) ist beachtlich. Inzwischen werden 28 Zementarten, davon 27 unterschiedliche Normalzemente nach DIN EN 197-1 unterschieden. Daneben werden Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164, Sonderzemente nach DIN EN 14216 sowie Tonerdezemente nach DIN EN 14647 geregelt.

Hauptbestandteile von Zement sind Portlandzementklinker, Hüttensand, Silikastaub, Puzzolane, Flugasche, gebrannter Schiefer und Kalkstein. Als Nebenbestandteile können natürliche anorganische mineralische Stoffe oder anorganische mineralische Stoffe aus der Klinkerherstellung enthalten sein. Nach der DIN EN 197-1 werden 5 Hauptzementarten (CEM I bis CEM V) unterschieden, welche wiederum in die 27 Zementfamilien entsprechend ihrer Zusammensetzung (Portlandzemente, Hochofenzemente, Puzzolanzemente und Kompositzemente) unterteilt sind.

Zemente unterscheiden sich in ihren Eigenschaften u. a. nach:

- Festigkeitsentwicklung (langsam, normal, schnell, sehr schnell),
- Erstarrungsverhalten (früh, normal, spät),
- Sulfatwiderstand,
- Hydratationswärmeentwicklung,
- Ausblühneigung, abhängig z. B. von der Menge enthaltener Salzbildner,
- Farbgebung (hell, dunkel),

Tab. 1.40 Zementfestigkeitsklassen nach EN 197 und Kennzeichnung nach DIN 1164

Bezeichnung	Druckfestigkeit (N/mm^2)			Kennfarbe	
	Nach 2 Tagen	Nach 7 Tagen	Nach 28 Tagen	Sackfarbe	Aufschriftfarbe
32,5 L	–	$\geq$ 12,0	$\geq$ 32,5 und $\leq$ 52,5	Hellbraun	
32,5 N	–	$\geq$ 16,0	$\geq$ 32,5 und $\leq$ 52,5		Schwarz
32,5 R	$\geq$ 10,0	–	$\geq$ 32,5 und $\leq$ 52,5		Rot
42,5 L	–	$\geq$ 16,0	$\geq$ 42,5 und $\leq$ 62,5	Grün	
42,5 N	$\geq$ 10,0	–	$\geq$ 42,5 und $\leq$ 62,5		Schwarz
42,5 R	$\geq$ 20,0	–	$\geq$ 42,5 und $\leq$ 62,5		Rot
52,5 L	$\geq$ 10,0	–	$\geq$ 52,5	Rot	
52,5 N	$\geq$ 20,0	–	$\geq$ 52,5		Schwarz
52,5 R	$\geq$ 30,0	–	$\geq$ 52,5		Weiß

- Wasserrückhaltevermögen,
- Nacherhärtung (gering, normal, hoch),
- Eignung für Einbau unter bestimmten klimatischen Bedingungen (kühle Witterung oder hohe Temperaturen),
- Tauglichkeit für massige Bauteile, abhängig z. B. von der freigesetzten Hydratationswärme,
- Alkaliempfindlichkeit,
- Einsatz für Ortbeton oder Fertigteile und Betonwaren,
- Bindemittel für Beton, Estrich oder Putz- und Mauermörtel,
- Verwendung für Unterwasserbauwerke.

Bei der Herstellung von Außenwänden und Fassadenelementen werden vorrangig CEM I- und CEM II-Zemente eingesetzt. Seltener werden dort CEM III-Zemente (Hochofenzemente) oder Sonderzemente eingesetzt. Aufgrund der erhöhten Widerstandfähigkeit von CEM III-Zementen gegenüber Salzen und Kohlensäure sind Anwendungen für Bauten in Meeresnähe oder in Anlagen der Chemieindustrie prädestiniert.

1.7.1.2 Gesteinskörnungen für Beton

Die Zusammensetzung der eingesetzten Gesteinskörnungen ist abhängig von der Region sehr variantenreich. Als normative Grundlagen für die Beurteilung der Eignung von Gesteinskörnungen bei der Herstellung von Beton gelten u. a. die DIN EN 12620 „Gesteinskörnungen für Beton“, DIN 13055-1 „Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel“, DIN 4226-10 „Rezyklierte Gesteinskörnungen“ sowie die DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädliche Alkalireaktionen im Beton“.

Gesteinskörnungen werden nach ihrer Herkunft (natürlich, industriell hergestellt, rezykliert, Kies, Splitt), der Rohdichte (normal: Kornrohdichte $> 2000\,\mathrm{kg/m^3}$ oder leicht: Kornrohdichte $\leq 2000\,\mathrm{kg/m^3}$), der Sieblinie (Abb. 1.260) und dem Feinheitsgrad (grob, fein, dem Feinanteil, der Menge Gesteinsmehl/Füller) eingeteilt.

Anforderungen an Gesteinskörnungen werden nach geometrischen, chemischen, physikalischen und sonstigen Eigenschaften unterschieden und in Kategorien eingeteilt (Tab. 1.41). Die Zuordnung in die Kategorien (Klassen) erfolgt entsprechend dem charakteristischen Niveau der Eigenschaften als Bandbreite oder der Angabe von Grenzwerten.

Die Vielzahl der Anforderungen an Gesteinskörnungen sind vornehmlich bei der Betonherstellung von Interesse, um die vereinbarte Beschaffenheit zu erreichen. In der Instandhaltung, respektive bei der Schadensdiagnose, der Festlegung der Sanierungsverfahren sowie der Auswahl geeigneter Materialien können einige Eigenschaften der verwendeten Gesteinskörnungen von besonderer Bedeutung sein. Dazu zählen beispielsweise:

- der Frost-Tau-Widerstand, Kategorie F,
- die Magnesiumsulfatwiderstandsfähigkeit, Kategorie MS,
- die Feuchteempfindlichkeit, Feuchtigkeitsklassen WO, WF, WA, WS (Tab. 1.42),

Tab. 1.41 Anforderungen, Eigenschaften und Kategorien von Gesteinskörnungen

Anforderungen	Eigenschaften	Kategorie
Geometrische	Korngruppe Kornzusammensetzung Kornform Feinanteile Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen	d/D G FI, SI f SC
Chemische	Gehalt an wasserlöslichen Chloridionen Gehalt an säurelöslichem Sulfat Gesamtschwefel	Herstellerangabe AS
Physikalisch-mechanische	Widerstand gegen Zertrümmerung Verschleißwiderstand von groben Gesteinskörnungen Polierwiderstand von groben Gesteinskörnungen Abriebwiderstand von groben Gesteinskörnungen Widerstand von groben Gesteinskörnungen gegen Abrieb durch Spikereifen	LA, SZ M_{DE} PSV AAV A_N
Dauerhaftigkeit	Frost-Tau-Widerstand Raumbeständigkeit Alkali-Kieselsäure-Reaktivität	F, MS
Sonstige	Erstarrungs- und erhärtungsstörende Stoffe Leichtgewichtige organische Verunreinigungen	

Tab. 1.42 Feuchtigkeitsklassen

Feuchtigkeitsklasse	Abkürzung	Beispiele
Trocken	WO	– Innenbauteile eines Hochbaus – Bauteile, auf die Außenluft, aber kein Niederschlag, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken und/oder die nicht ständig einer rel. Luftfeuchte > 80 % ausgesetzt sind
Feucht	WF	– Ungeschützte Außenbauteile – Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, in denen die rel. Luftfeuchte überwiegend > 80 % ist – Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung – Massige Bauteile, deren kleinstes Maß > 0,80 m ist
Feucht + Alkalizufuhr von außen	WA	– Bauteile mit Meerwassereinwirkung – Bauteile mit Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung – Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken mit Alkalisalzeinwirkung
Feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische-Beanspruchung	WS[a]	– Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z. B. Betonfahrbahnen)

[a] Für die Festlegungen der vorbeugenden Maßnahmen für Fahrbahndecken aus Beton gelten die TL Beton-StB sowie die Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

- der säurelösliche Sulfatgehalt, Kategorie AS,
- die Alkaliempfindlichkeit, Alkaliempfindlichkeitsklassen E I-O bis E III-S.

An Außenwänden und Fassaden eingesetzte Betone werden überwiegend den Feuchtigkeitsklassen WF (feucht) und WO (trocken) zugeordnet. In weiteren Fällen, z. B. bei einer Beanspruchung durch Meerwasser oder an Bauten der Industrie und Landwirtschaft kann die Feuchtigkeitsklasse WA (feucht + Alkalizufuhr von außen) vorliegen.

1.7.1.3 Zugabewasser

Schäden an Betonbauteilen, die nachweislich auf verunreinigtes oder ungeeignetes Zugabewasser zurückzuführen sind, stellen ein eher untergeordnetes Schadensphänomen dar. Der Grund dafür liegt in der überwiegenden Verwendung von Trinkwasser bei der Betonherstellung, das bekanntermaßen hohen Qualitätsanforderungen unterliegt. Trinkwasser ist nach der DIN EN 1008 ohne vorherige Prüfung im Herstellungsprozess einsetzbar. Alle anderen, nach DIN EN 1008 für die Verwendung als Zugabewasser möglichen Bezugsquellen unterliegen hingegen einem zwingend einzuhaltenden Prüfregime. Neben Trinkwasser können, nach Prüfung, als Zugabewasser verwendet werden:

- Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung,
- Grundwasser,
- natürliches Oberflächenwasser (z. B. Fluss-, See-, Quellwasser) und industrielles Brauchwasser,
- Meerwasser oder Brackwasser im Allgemeinen nur für unbewehrten Beton.

1.7.1.4 Zusatzmittel

In den zurückliegenden Jahrzehnten hat die Anzahl an Betonzusatzmitteln erheblich zugenommen. Mittlerweile werden 18 verschiedene Wirkungsgruppen bzw. -arten unterschieden. Betonzusatzmittel beeinflussen die Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons durch chemische und/oder physikalische Wirkungen. Handelsüblich werden Betonzusatzmittel als flüssige, pulverförmige oder granulatartige Gebinde angeboten. Die Zugabemengen werden bezogen auf den Zementgehalt des Betons eingestellt. Zugabemengen flüssiger Zusatzmittel > 3 l/m^3 Beton müssen bei der Berechnung des Wasserzementwertes berücksichtigt werden.

Für die Auswahl und Wirksamkeit von Instandsetzungsmaterialien kann die Kenntnis der bei der Betonherstellung eingesetzten Zusatzmittel von Bedeutung sein. Beispielsweise wird die Eindringtiefe und Wirksamkeit von nachträglich aufgebrachten Hydrophobierungsmitteln bei Luftporenbeton herabgesetzt. Zu berücksichtigen sind auch mögliche Materialunverträglichkeiten mit Instandsetzungsprodukten oder veränderte Eigenschaften der Betonoberfläche, die gegebenenfalls haftungsmindernd wirken können. Hierzu besteht jedoch noch Forschungsbedarf, bzw. die diesbezügliche Kenntnislage ist für belastbare Aussagen noch nicht ausreichend. Die nachfolgende Tab. 1.43 gibt einen Überblick der Zusatzmittel und ihre Verwendung.

Tab. 1.43 Übersicht Zugabemittel

Wirkungsgruppe/-art	Kurz-/Farbkennzeichen	Einsatz mit	Wirkung	Anwendung
Betonverflüssiger	BV/gelb	CE-Zeichen	Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit des Betons	– Einhaltung eines vorgegebenen Wasserzementwertes (z. B. bei Beton mit hohem Wassereindringwiderstand oder der Betonkonsistenz F3) – Verbesserung der Pumpbarkeit – Erleichterung beim Rütteln – Erzielung besserer Sichtfläche
Fließmittel	FM/grau	CE-Zeichen	Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton der Konsistenzklassen ≥ F4	– Verflüssigung bis zum Fließbeton bei gleichem Wasserzementwert – Wassereinsparung (Wasserzementwertreduzierung) bei gleicher Konsistenz – Wassereinsparung und gleichzeitige Verflüssigung
Fließmittel/ Verzögerer	FM/grau	CE-Zeichen	Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton der Konsistenzklassen ≥ F4 bei gleichzeitiger Verzögerung des Erstarrens des Zements	– Transportbeton in fließfähiger Konsistenz bei warmer Witterung und bei der Herstellung größerer monolithischer Bauteile
Luftporenbildner	LP/blau	CE-Zeichen	Einführung gleichmäßig verteilter kleiner Luftporen, z. B. zur Erhöhung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton	– Betone im Straßen-, Brücken- und Wasserbau, die Frost- und Tausalzeinwirkungen unterliegen – Luftporen ersetzen im Frischbeton fehlendes Mehlkorn, die Verarbeitbarkeit des Betons wird verbessert und die Neigung zum „Bluten“ wird reduziert
Dichtungsmittel	DM/braun	CE-Zeichen	Vermindern die kapillare Wasseraufnahme des Betons und können dem Beton wasserabweisende (hydrophobe) Eigenschaften geben	– Betone, die am Bauwerk gegen aufsteigende Feuchtigkeit und herabfließendes Wasser zusätzlich geschützt werden sollen. Bei Beton mit hohem Wassereindringwiderstand sind trotzdem die betontechnologischen Anforderungen der DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und ggf. DAfStb-Richtlinie einzuhalten

Tab. 1.43 (Fortsetzung)

Wirkungsgruppe/-art	Kurz-/Farbkennzeichen	Einsatz mit	Wirkung	Anwendung
Verzögerer	VZ/rot	CE-Zeichen	Verlangsamen die Hydratation des Zements und verzögern das Erstarren des Zements sowie die Wärmeentwicklung	– Herstellung größerer monolithischer Bauteile (Massenbeton), z. B. im Brückenbau, Fundamente – Transportbeton – Betonieren bei hohen Außentemperaturen
Erhärtungsbeschleuniger	BE/grün	CE-Zeichen/ Zulassung	Beschleunigen das Erhärten von Beton	– Betonieren bei tiefen Außentemperaturen (Frosthilfe) – Betonwaren (zur Frühfestigkeitssteigerung)
Erstarrungsbeschleuniger	BE/grün	CE-Zeichen	Beschleunigen das Erstarren (Erstarrungsanfang > 30 min) und das Erhärten von Beton	– Betonieren bei tiefen Außentemperaturen (Frosthilfe) – Betonwaren (zur Frühfestigkeitssteigerung)
Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton	SBE/grün	Zulassung	Beschleunigen das Erstarren (Erstarrungsanfang < 10 min) von Beton	– Spritzbeton, z. B. im Tunnelbau – Blitzmörtel zur Abdichtung von Wassereinbrüchen
Einpresshilfen	EH/weiß	CE-Zeichen	Verbessern die Fließfähigkeit, vermindern den Wasseranspruch sowie das Absetzen und bewirken ein mäßiges Quellen von Einpressmörtel	– Einpressmörtel für Spannbeton gemäß DIN EN 447
Stabilisierer	ST/violett	CE-Zeichen	Verringern die Neigung des Betons zum „Bluten“ und Entmischen	– Leichtbeton in weicher Konsistenz (Aufschwimmen der Leichtzuschläge wird verhindert, das Pumpen wird möglich) – Sichtbeton und Estrich; Verbesserung der Homogenität – Unterwasserbeton

Tab. 1.43 (Fortsetzung)

Wirkungsgruppe/-art	Kurz-/Farbkennzeichen	Einsatz mit	Wirkung	Anwendung
Viskositätsmodifizierer	–	CE-Zeichen	Begrenzung der Entmischung durch Verbesserung der Kohäsion	– Selbstverdichtender Beton
Sedimentationsreduzierer	SR/gelb-grün	Zulassung	Verhindern das Sedimentieren von Betonbestandteilen im Frischbeton	– Selbstverdichtender Beton (Verhinderung des Entmischens, Verringerung der Auswirkungen von Wasserschwankungen)
Chromatreduzierer	CR/rosa	Zulassung	Reduzieren den wasserlöslichen Chromatanteil in zementhaltigen Produkten	– Bei Verarbeitung von Beton und Mörtel mit direktem Hautkontakt
Schaumbildner	SB/orange	Zulassung	Durch Schaumerzeugung mittels Schaumgerät werden gleichmäßig verteilte Luftporen eingeführt	– Schaumbeton bzw. Beton mit porosiertem Zementstein – Porenleichtbeton
Elastische Hohlkugeln für Luftporenbeton	–	Zulassung	Hohlkugeln ($d < 0{,}08$ mm) mit elastischer Kunststoffhülle zum einfachen und zielsicheren Erreichen des erforderlichen Luftporengehalts	– Betone im Straßen-, Brücken- und Wasserbau, die Frost- und Tausalzeinwirkungen unterliegen
Abdichtungsmittel	–	Zulassung	Vermindern der Wasseraufnahme und des Eindringens von Wasser in Beton und Erhöhung der Wasserundurchlässigkeit durch gezielte Kristallbildung	– Herstellung von wasserundurchlässigem Beton
Passivator	–	Zulassung	Verzögerung der chloridinduzierten Depassivierung der Stahlbewehrung im ungerissenen Beton	– Stahlbeton unter Einwirkung von Chloriden; z. B. Parkdecks und Meeresbauwerke

1.7.1.5 Zusatzstoffe

Betonzusatzstoffe sind fein verteilte Stoffe, die im Beton verwendet werden, um bestimmte Eigenschaften zu erreichen oder zu verbessern. Es werden zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen unterschieden:

Typ I: nahezu inaktive Zusatzstoffe wie Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 oder Pigmente nach DIN EN 12878;
Typ II: puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe wie Trass nach DIN 51043, Flugasche nach DIN EN 450 oder Silikastaub mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

Darüber hinaus werden Kunststoffdispersionen sowie Stahl- und Polymerfasern den Zusatzstoffen zugerechnet.

In der Herstellung von Betonelementen für Außenwände und Fassaden haben Zusatzstoffe, mit Ausnahme von Pigmenten, keine nennenswerte Bedeutung. Kunststoffdispersionen dagegen werden als Bindemittel in kunststoffmodifizierten Mörteln und Betonen eingesetzt, die beispielsweise in der Betoninstandsetzung Anwendung finden. Betone mit Kunststoffen als Zusatzmittel werden grundsätzlich nach der Art ihrer Herstellung in drei Gruppen unterschieden:

- Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone PCC („polymer cement concrete“): Zement und Kunststoff erfüllen gemeinsam die Bindemittelfunktion.
- Kunstharzgebundene Mörtel und Betone PC („polymer concrete“): Reaktionsharze sind einziges Bindemittel.
- Kunstharzimprägnierte Mörtel und Betone PIC („polymer impregnated concrete“): Kunststoff füllt die Kapillarporen eines zementgebundenen, bereits erhärteten Betons aus.

1.7.1.6 Betonstahl

Der Einzug des Eisenbetons (heute: Stahlbeton) in das Bauwesen begann in den 1870er-Jahren mit ersten Bauwerken aus bewehrtem Beton und einer Reihe daraus entwickelter Patente des französischen Bauunternehmers Joseph Monier. Nach dem Ende des Deutsch-Französischen Krieges (1870–1871) errichtete Monier einige Wasserreservoirs aus dem neuen Verbundwerkstoff. Die ersten Tragkonstruktionen, eine Eisenbetontreppe auf seinem Firmengelände und eine Eisenbetonbrücke am Schloss Chazelet (beide 1875) begründeten seinen Ruf als Pionier eines neuen Bauzeitalters. In einem im Jahr 1878 eingereichten Patent für Betonschwellen (Patent Nr. 120 989), das später auf Betonbalken mit Eisenbewehrung erweitert wurde, ist erstmals die Aussage, dass der Zement das Eisen vor Rost schützt, enthalten. In Deutschland übernahmen in den 1880er-Jahren u. a. die Firmen „Freytag & Heidschuch“, „Martenstein & Josseaux“ und später „G.A. Wayss“ das deutsche Monier-Patent. Mit dem Völkerschlachtdenkmal in Leipzig (erbaut 1898–1913) ist ein bedeutendes Zeugnis des frühen Eisenbetonbaus in Deutschland erhalten geblieben.

So wurde das Fundament aus sächsischem Eisenportlandzement in Stampfbetonbauweise erstellt, während die Bewehrung der in Gips gefertigten Reiterkuppel überwiegend aus genietetem Profilstahl besteht. Bis heute ist Joseph Monier beziehungsweise der Begriff des „Moniereisen“ auf den Baustellen anzutreffen, wenn auch immer seltener.

Seit den ersten Versuchen von Joseph Monier unterlag Eisen oder später der Stahl als Bewehrung (Abb. 1.261) einer stetigen Weiterentwicklung. Während zu Beginn ausschließlich schlecht schweißbares Flusseisen eingesetzt wurde, kamen ab Anfang des 20. Jh. zunehmend höher vergütete Eisen- und Stahlsorten sowie erste Betonstahlmatten auf den Markt. Mit den gestiegenen Anforderungen an Baustahl und neuen Stahllegierungen mussten Regelungen geschaffen werden, um eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Qualitäten zu ermöglichen. Der Verein Deutscher Eisenhüttenleute forderte in den „Vorschriften für die Lieferung von Eisen und Stahl“ für Flusseisen mit Stabdurchmessern von 7 bis 28 mm eine Zugfestigkeit von 370 bis 440 N/mm^2. Dabei sollten eine Streckgrenze von 65 % der Zugfestigkeit und eine Dehnung von mindestens 20 % eingehalten werden. Vornehmlich wurden unprofilierte runde Stäbe und rechteckige Bandstähle verwendet. Ab 1925 erfolgte die Einführung auch heute noch bekannter Stahlsorten wie beispielsweise St 37 und St 48; Letztere wurde ab 1932 durch die hochwertigere Stahlsorte St 52 ersetzt. Zeitgleich zur Entwicklung der Herstellungstechnologien von Eisen und Stahl wurden weitere Problemfelder wie der Haftverbund zwischen Eisen/Stahl und Beton experimentell untersucht. Im Laufe der Jahrzehnte wurde so eine fast unüberschaubare Vielzahl an Baustählen aus unterschiedlichsten Stahllegierungen, Stabquerschnitten und Profilierungen entwickelt.

Für die Instandsetzung historischer Fassaden aus Stahlbeton sind Kenntnisse zu den verwendeten Baustählen unumgänglich, um fachgerechte Sanierungsvarianten entwickeln zu können und um schadensträchtige Eingriffe in die Altsubstanz zu vermeiden. Die Bestimmung der historischen Eisen- und Stahlbewehrungen erfordert ein spezielles Fachwissen. Beispielsweise sind vertiefte Kenntnisse über die von den frühen Herstellern ver-

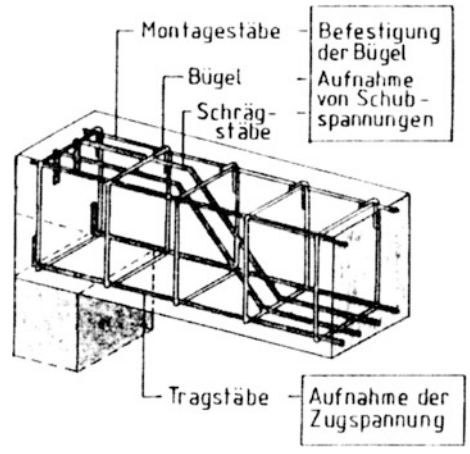


Abb. 1.261 Bewehrung eines Stahlbetonbalkens. (Quelle: ILS Hamburg)

wendeten Walzmarken, die hersteller- und zweckabhängigen Standard- und Sonderprofilierungen oder die Querschnittsformen notwendig. Zusätzlich sollten die Eigenschaften und Qualitäten der Eisen- und Stahlerzeugnisse der verschiedenen Hütten bekannt sein.

Einen weitreichenden Überblick zu dieser sehr umfassenden Thematik bietet das Fachbuch *Betonstähle vom Beginn des Stahlbetonbaus bis zur Gegenwart* von P. Bindseil und M. Schmitt. Zur orientierenden Einarbeitung in das Sachgebiet kann die Lektüre des DBV-Merkblatts „Beton und Betonstahl“ empfohlen werden.

1.7.1.7 Festbetoneigenschaften

In der DIN EN 206 werden wichtige Festbetoneigenschaften aufgeführt, die der Beton nach der Herstellung aufweisen muss. Für die Charakterisierung von Altbeton sind darüber hinaus noch weitere Parameter von Interesse, da sich durch die Beanspruchungen und Einwirkungen in der Nutzungsphase die Betoneigenschaften ändern können. Die umfassende Kenntnis über die Eigenschaften des zu sanierenden (Stahl-)Betons ist von entscheidender Bedeutung bei der Auswahl von Instandsetzungsverfahren sowie der dabei einzusetzenden Materialien und Produkte (Tab. 1.44).

Für die Schadensanalyse und die fachgerechte Instandsetzungsplanung stellen die Festbetoneigenschaften, in Abhängigkeit vom Zustand des Betons und der Zielstellung der Sanierung maßgebliche Parameter dar. Im Folgenden wird anhand ausgewählter Festbetoneigenschaften deren Bedeutung für die Betoninstandsetzung erläutert. Darüber hinaus können für die Schadens- und Bauteilanalyse noch die Dichte, die Zug- und Biegezugfestigkeit, der Gehalt an betonschädlichen Stoffen, der Bewehrungsgehalt sowie Art und Zustand der Bewehrung von Bedeutung sein.

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit ist eines der wichtigsten Kriterien zur Bestimmung der Betonqualität. Sie wird u. a. zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit bzw. der Restnutzungsdauer, der Standsicherheit oder der Gebrauchstauglichkeit herangezogen (Abb. 1.262). Zudem kann ein markanter Anstieg oder eine starke Abnahme der Druckfestigkeit ein Indiz für be-

Tab. 1.44 Bauphysikalische Eigenschaften von Beton

Wasserdampfdiffusionswiderstand[a]	70 (feucht) bis 150 (trocken)
Wärmeleitfähigkeit[a]	2,1 W/(m K) (Normalbeton), stark abhängig vom Zuschlagstoff
Spezifische Wärmekapazität[a]	1000 J/(kg K), stark abhängig vom Zuschlagstoff
Wärmeausdehnungskoeffizient[a]	10^{-5}/K nach DIN 1045-1:2001-07, in Abhängigkeit vom Zuschlagstoff, Zementgehalt und Feuchtezustand sind Werte im Bereich von (6–14) × 10^{-6}/K
Ausgleichsfeuchte[a]	Bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte ca. 25 l/m^3 Bei 23 °C und 80 % relativer Luftfeuchte ca. 40 l/m^3

[a]Werte sind temperaturabhängig.

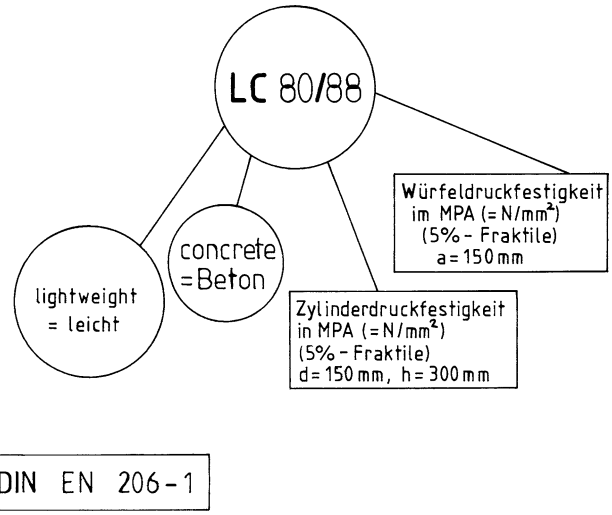


Abb. 1.262 Bezeichnung der Druckfestigkeitsklassen. (Quelle: ILS Hamburg)

tonschädigende Vorgänge sein. So ist bei der Karbonatisierung von Beton ein Anstieg der Druckfestigkeit im oberflächennahen Bereich feststellbar. Eine Erhöhung der Druckfestigkeit ist auch zu Beginn treibender Schadensvorgänge, aufgrund der anfänglichen Verdichtung des Porengefüges festzustellen. Hingegen ist bei gefügezerstörenden Schädigungen, z. B. im fortgeschrittenen Stadium der sekundären Ettringitbildung oder bei der Bildung von Thaumasit, eine deutliche Abnahme der Festigkeit zu beobachten.

Für die Auswahl geeigneter Betonersatzmaterialien ist die Kenntnis der Druckfestigkeit maßgeblich. Beispielsweise sollten Reprofilierungsmörtel ähnliche Festigkeiten wie der Altbeton aufweisen, um Folgeschäden aufgrund von Zwängungsspannungen im Gefüge nach der Instandsetzung ausschließen zu können.

In alten Planungsunterlagen sind oftmals nicht mehr gebräuchliche Angaben zu den Druckfestigkeitsklassen enthalten. Mit Einführung der Neufassung der DIN 1045 im Jahr 2003 wurden die bis dahin gebräuchlichen „B-Klassen“ durch die heute gültigen „C-Klassen“ abgelöst. Dabei erfolgte auch die Einführung weiterer Druckfestigkeitsklassen, sodass nicht jeder neuen Klasse eine alte zugeordnet werden kann. In der Tab. 1.45 sind die alten und neuen Betondruckfestigkeitsklassen gegenübergestellt. Aktuell erfolgt die Zuordnung der Festigkeitsklassen nach DIN EN 206 „Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ beziehungsweise im Eurocode 2.

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul oder kurz der E-Modul beschreibt den Zusammenhang zwischen der Dehnung und der Spannung im Beton unter Lasteinwirkung. Bei Beton wird der E-Modul im Wesentlichen durch die Art der Gesteinskörnung und den Verbund zwischen der Gesteinskörnung und der Zementmatrix bestimmt. Je kleiner die Verformung ist, die ein Körper unter einer bestimmten Last erfährt, umso größer ist der E-Modul. Daher

Tab. 1.45 Druckfestigkeitsklassen für Normalbeton nach Eurocode 2 und nach alter DIN 1045

Festigkeitsklasse	Charakteristische Zylinder-druckfestigkeit f_{ck} (N/mm^2)	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit f_{cm} (N/mm^2)	Mittlere Zugfestigkeit f_{ctm} (N/mm^2)	Mittlerer E-Modul E_{cm} (N/mm^2)	Bezeichnung nach alter DIN 1045
C8/10	8	–[a]	–[a]	–[a]	*B10*
C12/15	12	20	1,6	27.000	*B15*
C16/20	16	24	1,9	29.000	–[b]
C20/25	20	28	2,2	30.000	*B25*
C25/30	25	33	2,6	31.000	–[b]
C30/37	30	38	2,9	33.000	*B35*
C35/45	35	43	3,2	34.000	*B45*
C40/50	40	48	3,5	35.000	–[b]
C45/55	45	53	3,8	36.000	*B55*
C50/60	50	58	4,1	37.000	–[b]
C55/67	55	63	4,2	38.000	*B65*
C60/75	60	68	4,4	39.000	*B75*
C70/85	70	78	4,6	41.000	*B85*
C80/95	80	88	4,8	42.000	*B95*
C90/105	90	98	5,0	44.000	–[b]
C100/115	100	108	5,2	45.000	–[b]

[a]Keine normative Festlegung von Messgrößen.
[b]Keine entsprechende Festigkeitsklasse in der alten DIN 1045 definiert.

können anhand von Untersuchungen zum E-Modul an entnommenen Bohrkernen Rückschlüsse auf mögliche Gefügeschädigungen gezogen werden. Treibende Reaktionen wie beispielsweise die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR), Gipsneubildungen oder die verspätete Ettringitbildung führen zu einem verringerten E-Modul. Tab. 1.45 enthält Angaben zum mittleren E-Modul der Normalbetone nach DIN EN 206.

Oberflächenzugfestigkeit

Mit der Oberflächenzugfestigkeit (umgangssprachlich ungenau: Abreißfestigkeit) wird die Kohäsion an der Betonrandzone beschrieben. Sie ist abhängig von der Festigkeitsklasse des Betons. Die Oberflächenzugfestigkeit zeigt an, ob die oberflächennahen Bereiche des Betons eine ausreichende mechanische Belastbarkeit und Spannungsaufnahme aufweisen. Dies ist relevant bei der Beurteilung des Betons hinsichtlich seiner Eignung zum dauerhaften Haftverbund von Reprofilierungen, Anstrichen, Beschichtungen oder Belägen. Die dabei einzuhaltenden Werte der Oberflächenzugfestigkeit richten sich nach den Anforderungen der aufzubringenden Materialarten und sind produktabhängig. Bei Altbeton oder einem gefügegeschädigten Beton nimmt die Oberflächenzugfestigkeit oftmals Werte an, die deutlich kleiner als 1,0 N/mm^2 sein können. In diesen Fällen ist ein Abtrag der

Betonoberfläche bis auf den tragfähigen Untergrund notwendig. Gegebenenfalls sind vorbereitende Maßnahmen zur nachträglichen Ertüchtigung des Betons auszuführen, oder die zu applizierenden Materialien werden auf die Festigkeit des Betons eingestellt, sofern die beabsichtigte Nutzung dem nicht entgegenspricht.

Häufig wird im Sprachgebrauch die Oberflächenzugfestigkeit mit der Haftzugfestigkeit, welche die Adhäsion oder Haftung von Schichten (z. B. Beschichtungen, Anstriche, Putze) auf Betonoberflächen kennzeichnet, verwechselt.

Porosität

Die Porosität ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Qualität eines Betons und eine der häufigsten Ursachen von Schäden an Bauteilen aus Stahlbeton. Sie bestimmt maßgebliche Eigenschaften des Betons wie die Festigkeit, den E-Modul, die Dichte, die Durchlässigkeit gegenüber Flüssigkeiten und Gasen, die Wasseraufnahme sowie das Schwind- und Quellverhalten. Mit steigendem Porengehalt nimmt die Festigkeit proportional ab, der E-Modul verringert sich, und bei den übrigen genannten Eigenschaften ist eine Zunahme unerwünschter Auswirkungen festzustellen. Im Frischbeton beträgt der Porenraum etwa 1,5 Vol.-%, wobei die weitere Erhöhung des Porenraumes um je 1 Vol. % eine Verringerung der Festigkeit um ca. 5 % bewirkt. Die wichtigsten Größen zur Regulierung der Porosität im Festbeton sind das Verhältnis von Wasser und Zement im Frischbeton, der sogenannte w/z-Wert, sowie der Hydratationsgrad (Abb. 1.263), der u. a. durch die gezielte Nachbehandlung des Betons beeinflusst werden kann.

Eine hohe Porosität führt meistens zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber Frost- und Frost-Tausalz-Schäden, einer beschleunigten Karbonatisierung und stellt ein Risiko für die Korrosion der Bewehrung dar. Eine Ausnahme bildet Luftporenbeton, in den geschlossenzellige Kugelporen zielgerichtet zur Erhöhung der Frostbeständigkeit eingebracht werden.

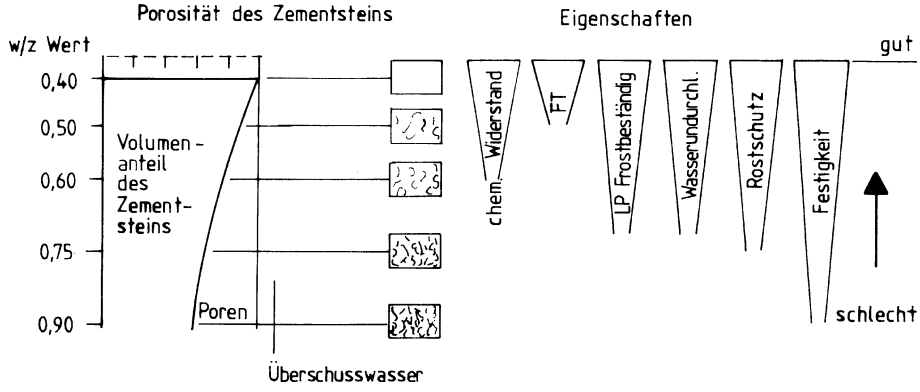


Abb. 1.263 Zusammenhang zwischen Hydratation und Betoneigenschaften. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.46 Porenarten im Beton

Porenart und -größe	Entstehung und Bedeutung
Gelporen (Ø ca. 0,1–10 nm)	– Entstehen als Teil des Hydratationsprozesses – Enthalten physikalisch gebundenes Gelwasser – Nicht kapillaraktiv – Trocknung durch Hitzeeinwirkung möglich
Schrumpfporen (Ø ca. 10 nm)	– Die Reaktionsprodukte der Hydratation haben ein kleineres Volumen als die Ausgangsstoffe; die Folge sind Schrumpfporen – Nicht kapillaraktiv
Kapillarporen (Ø 10 nm–100 µm)	– Entstehen durch das Austrocknen des für die Hydratation nicht benötigten Wassers – Beeinflussen die Festigkeit und den E-Modul – Kapillaraktiv – Ihr Gesamtvolumen ist durch die Wahl eines günstigen w/z-Wertes steuerbar
Luftporen (Ø 1 µm–1 mm)	– Luft gelangt beim Mischvorgang in das Zementgel und bildet Luftporen – Stellen einen Ausweichraum für gefrierendes Wasser dar und erhöhen somit die Frostbeständigkeit – Anteil an Luftporen kann durch Luftporenbildner gezielt beeinflusst werden
Verdichtungsporen (Ø > 1 mm)	– Entstehen durch unzureichende Verdichtung des Betons – Beeinflussen aufgrund ihrer Größe die Festigkeit – Sind bei der Herstellung von Sichtbetonoberflächen zumeist unerwünscht

Beton weist verschiedene Arten von Poren auf (siehe Tab. 1.46), die sich voneinander erheblich in Entstehung und Auswirkung unterscheiden. Nicht jede Porenart ist kapillaraktiv. Bei der Hydratation des Zements wird das zugegebene Anmachwasser nur zu ca. einem Drittel physikalisch und chemisch gebunden. Bei vollständiger Hydratation (theoretisch) werden ca. 40 % des Wassers gebunden. Überschüssiges Wasser verdunstet und hinterlässt saugfähige Kapillarporen im Beton.

Bei der labortechnischen Bestimmung der Betonporosität werden die Gesamtporosität, die Porenverteilung, die Porenabstände, der Anteil an Luftporen und die Kapillarporosität bestimmt.

1.7.2 Schäden an Bauteilen aus Beton und Stahlbeton

1.7.2.1 Herstellungsbedingte Schäden

Zementhaut

Als äußere Schicht auf geschaltem Beton entstehende dünne Schicht aus Zementstein. Die Zementhaut oder Zementsinterschicht kann hohe Festigkeiten aufweisen und ist in Abhängigkeit vom verwendeten Schalmaterial oft ein unzureichender Haftgrund für nach-

trägliche Beschichtungen. Neben der fehlenden Rauigkeit stellen Reste von Trenn- und Nachbehandlungsmitteln sowie Poren und Lunker haftmindernde Beeinträchtigungen dar.

Zementschlämme und Feinmörtel
Verarbeitungs- und Nachbehandlungsfehler, aber auch die Nichteinhaltung des Mischungsverhältnisses (w/z-Wert) können eine Entmischung im Bereich der oberflächennahen Schicht verursachen. Feinbestandteile aus der Betonmatrix werden dabei an die Oberfläche getragen und angelagert. Die Randzone weist häufig geringere Festigkeiten und einen mangelhaften Verbund auf, was zum Absanden der oberflächennahen Schicht führt.

Poren und Lunker
Poren und Lunker (Abb. 1.264) entstehen an Oberflächen geschalter Betonelemente infolge von Wasser- oder Lufteinschlüssen. Häufig sind diese kavernenartigen Fehlstellen mit einer Zementhaut überzogen und daher von außen nicht erkennbar. Ursachen können beispielsweise eine unzureichende Verdichtung, die verminderte Wasseraufnahme der Schalhaut oder die nach dem Auftrag des Trennmittels beregnete Schalhaut sein.

Verfärbungen durch Trenn- und Nachbehandlungsmittel
Durch den ungleichmäßigen oder zu intensiven Auftrag von Trennmitteln (Schalöl) und Nachbehandlungsmitteln (Verdunstungsschutz bei Frischbeton) verursachte Verfärbungen in Form von Verlaufspuren und flächigen Verdunkelungen.

Abb. 1.264 Poren, Lunker



Kiesnester

Entmischungszonen in der Betonmatrix, hervorgerufen durch den unsachgemäßen Einbau des Betons (Fallhöhe, Anschüttmischung) oder durch mangelhaftes Verdichten des Frischbetons (Abb. 1.265).

Unzureichende Betondeckung

Die ausreichende Betondeckung (vgl. Abb. 1.266) dient dem Schutz der Bewehrung vor einer karbonatisierungs- oder chloridabhängigen Depassivierung sowie dem Schutz vor dem Versagen der Tragfähigkeit bei einer Brandbeanspruchung. Darüber hinaus bestehen besondere Anforderungen an die Betondeckung bei Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton.



Abb. 1.265 Kiesnester



Abb. 1.266 Unzureichende Betondeckung



Abb. 1.267 Freiliegende Bewehrung

Freiliegende Bewehrung
Ursachen können Planungsfehler wie z. B. eine zu enge Bewehrungsführung und fehlende Rüttelgassen oder Verarbeitungsmängel wie Kiesnester (siehe oben) sein. Häufig sind Abplatzungen der Betondeckung infolge korrosiver Vorgänge im Beton und an der Bewehrung sowie chemische und physikalische Beeinflussungen von außen (Frost und Frost-Tausalz-Beanspruchung) zu beobachten (Abb. 1.267).

Rissbildungen (herstellungsbedingt)
Herstellungsbedingte Rissbildungen entstehen durch Zwängungsspannungen infolge eines zu hohen Hydratationswärmeabflusses, zu großen Temperaturdifferenzen zwischen Kern- und Randbereich, Erschütterungen des frischen Betons und durch das Frühschwin-



Abb. 1.268 Netzartig ausgeprägte Schwindrisse

den des Betons. Während thermisch bedingte Ursachen überwiegend zu Mikrorissen führen, die anfangs visuell nicht erkennbar sind, können Schwind- oder Erschütterungsrisse bereits im Frühstadium eine erhebliche Breite aufweisen (siehe Abb. 1.268).

1.7.2.2 Physikalische und chemische Schadensmechanismen

Rissbildungen

Spät auftretende Rissbildungen können durch thermische Einwirkungen im Brandfall oder Wärmedehnungen bei gleichzeitig behinderter Verformung bedingt sein. Andere Ursachen sind z. B. statische oder dynamische Lasteinwirkungen, Setzungen des Baugrundes, Verschieben/Schiefstellungen von Bauteilen und die Bewehrungskorrosion. In den meisten Fällen verlaufen die Rissbildungen durch das Bauteil (Trennrisse) oder erfassen einen wesentlichen Teil des Bauteilquerschnitts (siehe Abb. 1.269). Treten Lastumlagerungen oder starke Brandlasten am verfestigten Beton ein, so sind auch gerissene Gesteinskörnungen möglich.

Kalkausblühungen und Sinterschichten

Anlagerungen von herausgelösten Kalk infolge von Wasserzu- und -durchtritten auf der Oberfläche und dem anschließenden Verdunsten des Wassers (Abb. 1.270). Unterschieden werden kristalline Anlagerungen (Ausblühung) an jungem Beton und dickschichtige krustenartige Anlagerungen (Sinterschicht bzw. Aussinterung). Sinterschichten sind das Ergebnis langjähriger Feuchtebeeinflussung.



Abb. 1.269 Feuchte bzw. wasserführende Risse in einer Betonwand



Abb. 1.270 Kalkausblühungen sowie Kiesnester und freiliegende Bewehrung

Verunreinigte Gesteinskörnungen
Sind reaktive Eisensulfide oder leichtgewichtige organische Stoffe als Bestandteil der Gesteinskörnung in den Beton gelangt, so können an betroffenen Betonoberflächen Schädigungen in Form von Fleckenbildung, Verfärbungen, Quellen oder Aussprengungen (Abb. 1.271) hervorgerufen werden. Das Risiko für solche Schäden steigt, wenn die Verunreinigungen oberflächennah vorhanden sind. Grobe Gesteinskörnungen sind anfälliger als feine Körnungen.

Feuchteempfindliche Gesteinskörnung
Ein sehr typisches Schadensbild sind Abplatzungen der Zementmatrix im Bereich oberflächennah liegender Gesteinskörnungen. Übersteigt die Wasseraufnahmefähigkeit der Ge-



Abb. 1.271 Absprengung infolge verunreinigter Gesteinskörnung



Abb. 1.272 Abplatzungen auf feuchteempfindlicher Gesteinskörnung

steinskörnung einen kritischen Wert, verursacht das Quellen und Schwinden der Körnung Spannungen im Gefüge. Abplatzungen der aufliegenden Zementmatrix oder auch der Zementhaut sowie sternförmig ausgeprägte Rissbilder sind die Folge (Abb. 1.272). Die Wasseraufnahmefähigkeit ist entscheidend für die Frost-Tau-Beständigkeit einer Gesteinskörnung.

Abwitterung der Oberfläche

Abwitterungen betreffen anfangs die Zementmatrix direkt an der Oberfläche und sind kaum sichtbar. Mit fortschreitender Schadensdauer wird die oberflächennah liegende Gesteinskörnung erkennbar (siehe Abb. 1.273). Im Spätstadium liegt Körnung frei und die Oberfläche ähnelt einem Waschbeton. Auslösend können eine mindere Betonqualität und/oder der Eintrag aggressiver Substanzen sein.



Abb. 1.273 Freiliegende Gesteinskörnung aufgrund von Abwitterung

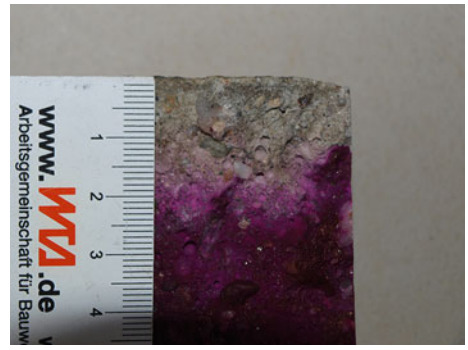


Abb. 1.274 Bestimmung der Karbonatisierungsgrenze mit Phenolphthalein

Karbonatisierung

Das im Beton vorhandene Kalziumhydroxid reagiert mit Kohlendioxid zu Kalziumkarbonat. In der Folge sinkt der pH-Wert des Betons von ca. 12,5 in einen Bereich unter 10, beginnend an der Betonoberfläche oder in Rissen und Spalten. Erreicht die Karbonatisierungsfront (Abb. 1.274) den Bewehrungsstahl erfolgt dessen Depassivierung und das Risiko einer Bewehrungskorrosion steigt. Die Karbonatisierung bewirkt zunächst eine Verengung des Porengefüges durch Einlagerung von Kalziumkarbonat im oberflächennahen Bereich bzw. eine Festigkeitserhöhung des Betons. Quellen für das benötigte Kohlendioxid sind das atmosphärische Kohlendioxid und Rückstände aus verbranntem PVC, insbesondere in Verbindung mit Löschwasser bei Gebäudebränden. Zum Vergleich: Die CO_2-Konzentration in der Luft beträgt gerade einmal 0,038 %. Signifikant erhöhte Einträge von Kohlendioxid in Betonbauwerke durch die Verkehrsbelastung sind daher sehr unwahrscheinlich.

Sekundäre Ettringitbildung/Sulfattreiben

Entsteht Ettringit (Abb. 1.275) zu einem späteren Zeitpunkt im erstarrten Beton durch Reaktion infolge Sulfatangriffs von außen oder als Produkt einer Reaktion mit Sulfaten aus dem Zement bzw. Zuschlagstoffen, kann dies zu einer weitgehenden Zerstörung des Betongefüges führen. Hauptmerkmal der Ettringitbildung ist der durch die Volumenvergrößerung entstehende Kristallisationsdruck im Betongefüge. Häufigste innere Sulfatquellen sind Gips oder Anhydrit ($CaSO_4$) als Zugabe bei der Zementherstellung oder als direkter Zuschlag bei der Herstellung des Betons, um das Erstarren zu beschleunigen. Ferner können Bestandteile der Gesteinskörnung als Quelle dienen, z. B. eisensulfidhaltiges Pyrit (umgangssprachlich Katzengold), das durch Oxidation Sulfate freisetzt. Ist bei der Betonherstellung die Hydratationswärmeentwicklung zu groß, wird ab Temperaturen über 70 °C die primäre Ettringitbildung unterdrückt. Mit der Folge des Verbleibs unreagierten (Mono-)Sulfates, das dann als Depot für eine spätere Ettringitbildung zur Verfügung steht. Der Schutz vor Schäden durch Ettringitbildung kann bei Bestandsbauten durch die Vermeidung eines Feuchteeintrags erreicht werden.

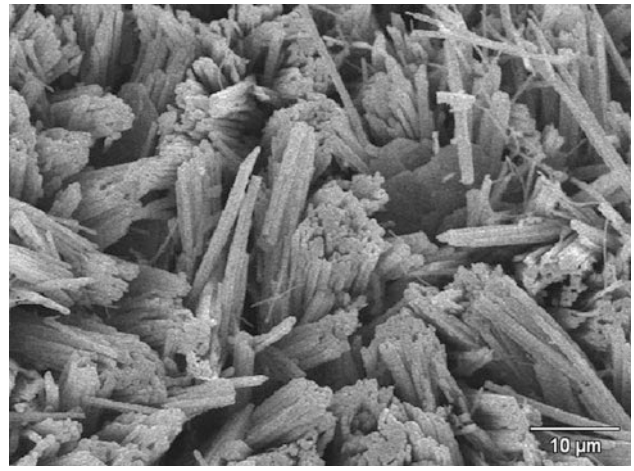


Abb. 1.275 Stängelige Kristalle aus sekundärer Ettringitbildung. (Quelle: MFPA Leipzig)

Kalktreiben

Kalktreiben ist ebenfalls ein betonkorrosiver Schadensvorgang. Auslösend ist ein Überschuss an Kalziumoxid im Zement bei ausreichend Feuchtezufuhr. Häufig ist ein mangelhafter Zement die Quelle des Kalziumoxids. Das freie, ungebundene Kalziumoxid reagiert sehr langsam mit Wasser, auch wenn die Festigkeitsentwicklung des Zements abgeschlossen ist. Die dabei eintretende Volumenzunahme führt zu Zwängungsspannungen im Betongefüge und letztendlich zu einer zersetzenden Gefügeschädigung.

Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

Die AKR ist der bekannteste Schadprozess aus der Gruppe der Alkali-Aggregat-Reaktionen (AAR), deren gemeinsames Merkmal die Reaktion der Porenlösung bzw. darin gelöster Alkalien mit Bestandteilen der Gesteinskörnung ist. Bei der AKR reagieren Alkalimetallhydroxide (NaOH, KOH) mit alkalireaktiver amorpher Kieselsäure der Gesteinskörnung (SiO_2), unter Vorhandensein von ausreichend Feuchtigkeit zu Alkalisilikaten (Abb. 1.276). Das Volumen der Reaktionsprodukte ist größer als das der Ausgangsstoffe, weshalb Gefügeschäden auftreten und zur Zersetzung der Betonmatrix oder auch zu gerissener Körnung führen können. Betone mit einem hohen Porengehalt oder herstellungsbedingten Hohlräumen (z. B. Stampfbeton) reagieren daher weitaus weniger anfällig. Zu Beginn der Reaktion weisen die Alkalisilikate eine wässrige bzw. gelartige Konsistenz auf, ältere Anlagerungen können in kristalliner Form auftreten. Da die Reaktion unmittelbar feuchteabhängig ist, nimmt der beobachtbare Schadensverlauf in den durchfeuchteten Randbereichen des Bauteils seinen Anfang. Die auf deutschen Autobahnen in den letzten Jahren aufgetretenen Schäden, in der Presse als „Betonkrebs“ tituliert, haben in der AKR ihre Ursache.

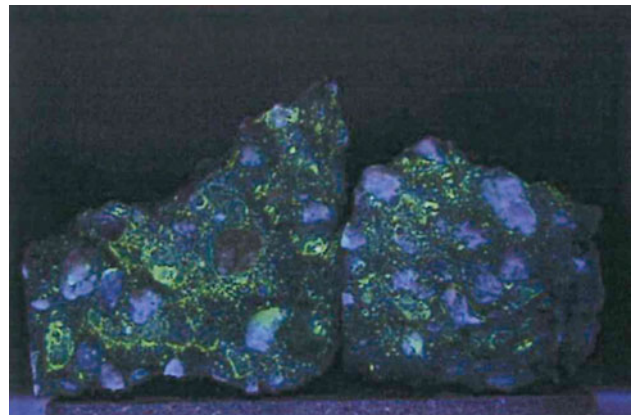


Abb. 1.276 Alkalisilikatgel in den Poren und an alkalireaktiver Gesteinskörnung, Uranylacetat-Fluoreszenz-Schnelltest. (Quelle: MFPA Weimar)

Thaumasitbildung

Die Thaumasitbildung wird wegen ihrer gefügeverändernden Vorgänge als Betonkorrosion eingestuft, wenngleich die Reaktionsprodukte mit dem Potenzial für Treiberscheinungen auftreten. Kennzeichnend ist die Entfestigung des Betongefüges. Die Bildung des komplex aufgebauten, expansiven Thaumasits kann bereits nach wenigen Jahren, zumeist von der Betonoberfläche ausgehend, zu einer Auflösung des Betongefüges führen und zeigt sich auch in Form von Rissen. Thaumasit kann bei ausreichend Feuchte in einer Reaktion der CSH-Phasen mit Gips und Kalziumkarbonat oder seltener als Substitution des Ettringits mit den CSH-Phasen gebildet werden. Begünstigend bzw. schadensauslösend kann auch eine Sulfatzufuhr von außen sein. Darüber hinaus werden Wechselwirkungen mit einer sekundären oder späten Ettringitbildung beschrieben. Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft kann nur eine Verhinderung von Feuchtezufuhr die Gefährdung durch Thaumasit ausschließen.

Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Beanspruchung

Ursache für eine mangelhafte Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Beständigkeit können Planungsfehler wie z. B. eine falsche Betonrezeptur bzw. die Annahme falscher Expositionsklassen sein. An Beton mit zugesetzten Luftporenbildnern (LP-Beton) kann ein Übermaß an Verdichtungsenergie oder eine falsche Nachbehandlung wie z. B. das Glätten der frischen Oberfläche zu einer Verringerung des Mikroporengehalts in den oberflächennahen Schichten führen. Die unzureichende Beständigkeit ist beispielsweise in Form von Abplatzungen der oberflächennahen Betonmatrix, Absprengungen größeren Ausmaßes oder Rissbildungen unterschiedlicher Ausprägung festzustellen (Abb. 1.277).

Chloridbelastung

An den Oberflächen aktiver Metalle tritt die Rostbildung flächig auf. Wird das Metall passiviert, z. B. durch den Zutritt von Chlorid oder Kohlensäure, besteht das Risiko einer Lochfraßkorrosion (Abb. 1.278). Da die Lochfraßkorrosion zumeist lokal stark begrenzt



Abb. 1.277 Frost-Tausalz-Schaden im Fußpunkt einer Außenwand



Abb. 1.278 Lochfraßkorrosion an Bewehrungsstahl infolge Chlorideinwirkung

abläuft, bleibt sie anfangs oft unbemerkt. Ermöglichen Fehlstellen oder Risse im Beton den Kontakt des Stahls mit der Umgebungsluft und sind hohe Konzentrationen an Chloriden im Beton (nach DAfStb: $\geq 0{,}4$ M.-% bezogen auf den Zementgehalt) sowie ausreichend Wasser vorhanden, reagieren sie miteinander in einer Oxidationsreaktion. Die Chloridlösung fungiert dabei als Elektrolyt bzw. als Reaktionsraum. Aus dem unbelüfteten Bereich, dem Stahl, werden Elektronen Fe^{2+} und Fe^{3+} abgegeben (anodische Teilreaktion), während gleichzeitig aus H_2O und O_2 gebildete OH^--Ionen zurückfließen (kathodische Teilreaktion). An der Grenzfläche der Potenziale, der Stahloberfläche, erfolgt die Reaktion zu Eisen(III)-oxidhydroxid FeO(OH) (Rost). Quellen für das Chlorid können Streusalze, Meersalze oder auch Verbrennungsrückstände von PVC sein.

1.7.2.3 Schädliche Beeinträchtigungen im Nutzungszeitraum

Mechanische Einwirkungen

Physikalische oder statische Einwirkungen, über kurz- oder langfristige Zeiträume eingetragen, sind die wesentlichsten Ursachen mechanischer Schädigungen. Die Schadensbilder können als Abplatzungen, Abrieb, Brüche oder Risse erkennbar werden.

Bewuchs

Moose bevorzugen überwiegend waagerechte oder geneigte Flächen. Sofern die Oberfläche eine ausreichende Rauigkeit aufweist, werden von einigen Arten auch vertikale Flächen besiedelt. Raue Oberflächen und ein feuchtes Klima begünstigen ebenfalls die Bildung von Algen und Flechten auf Beton. Gewährleisten Lunker, Risse, Spalten oder Fehlstellen die Ansammlung organischen Materials als Nährsubstrat, ist auch die Ansiedlung höherer Pflanzen nicht ausgeschlossen. In den Beton eindringende Wurzeln entwickeln dabei nicht selten einen Sprengdruck der zu Abplatzungen führen kann (Abb. 1.279).

Mangelhaft ausgeführte Instandsetzung

Schäden treten nicht ausschließlich an der ursprünglichen Substanz von Betonbauteilen auf, sondern können auch nachträglich ausgeführte Instandsetzungsmaßnahmen betreffen (siehe Abb. 1.280). Die Ursache ist dabei häufig eine falsche Materialauswahl oder die unzureichende Untergrundvorbereitung. Daneben führen die ungenügende Berücksichtigung der auftretenden Belastungen aus der Nutzung und die Nichtbehebung der eigentlichen Ursachen (z. B. Feuchtezutritte) zu Schädigungen.

Ungenügende Wartung

Die Möglichkeiten zur Vermeidung von Schäden enden nicht mit der fachgerechten, mangelfreien Planung und Erstellung von Betonbauteilen. Soll das Bauwerk seine Funktionalität über einen möglichst langen Zeitraum behalten bzw. soll es seine geplante Nutzungsdauer erreichen, sind Inspektionen und Wartungsmaßnahmen ein unverzichtbarer Bestandteil des Instandhaltungskonzeptes (Abb. 1.281 und 1.282). Rechtzeitig ausgeführte Pflege- und Wiederherstellungsmaßnahmen erhalten die Gebrauchstauglichkeit und können wesentlich kostenintensivere Instandsetzungen vermeiden oder zumindest deutlich hinauszögern.

Ab- und Anlagerungen

Kohlenwasserstoffverbindungen aus Erdöl, Erdgas, Kohle und anderen fossilen Stoffen wie z. B. Öle, Fette, Paraffin, Wachs, Bitumen und Teer können in Abhängigkeit von ihrer Viskosität und der Umgebungs- oder Bauteiltemperatur bis zu mehrere Zentimeter tief in



Abb. 1.279 Abplatzungen nach Durchwurzelung



Abb. 1.280 Abplatzung des Betonersatzes nach Instandsetzung



Abb. 1.281 Flankenabriss an Fugenverschluss aufgrund unzureichender Wartung

den Beton eindringen. Neben einer möglichen Herabsetzung der Betonfestigkeit ist vor allem ein Haftungsverlust aufliegender Beschichtungen und Bekleidungen problematisch. Entstehende Öl- und Fettsäuren haben eine korrosive Wirkung auf den Zementstein.

Andere An- und Ablagerungen aus Staub und Schmutz können millimeterdicke Schichten ausbilden und zu krustenartigen Belägen führen. Befahrene Betonflächen werden durch den Abrieb von Reifen belastet. Diese Anlagerungen wie auch Beschichtungsreste von Dispersionen oder Reaktionsharzbeschichtungen wirken wie Trennschichten und zeigen hohe Haftungskräfte.



Abb. 1.282 Abplatzungen und Korrosion an einem Notüberlauf

1.7.3 Grundlagen der Instandhaltung

Hintergrundinformation
Zum Redaktionsschluss lag die Instandhaltungsrichtlinie des „Deutscher Ausschuss für Stahlbeton“ (DAfStb) im Gelbdruckentwurf vom Juni 2016 vor. Die in der Entwurfsphase umstrittensten Bestandteile der Richtlinie blieben beim Verfassen des vorliegenden Buches weitgehend unberücksichtigt. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass mit Einführung der Instandhaltungsrichtlinie (voraussichtlich im Frühjahr 2017) noch Änderungen gegenüber dem Gelbdruckentwurf bekannt werden. Dem Leser wird daher empfohlen, die dann bauaufsichtlich eingeführte Ausgabe der Instandhaltungsrichtlinie zu beachten. Zu erwähnen ist noch, dass die Instandhaltungsrichtlinie mit ihrer Einführung den Status als Anwendungsvorschrift zur DIN EN 1504 erhalten wird.

In der Praxis spielt die Frage danach, ob überhaupt die Instandsetzungsfähigkeit des Bauteils gegeben ist, eine entscheidende Rolle. Fast immer gibt es im konkreten Fall verschiedene Alternativen für die Instandsetzung, von der Betonkosmetik bis hin zum Abbruch. Die Varianten unterscheiden sich in technischer Hinsicht und auf der Kostenseite gravierend. Erst durch eine sachverständige Beurteilung des Istzustandes besteht die Möglichkeit, verschiedene Varianten auszuarbeiten und mit dem Bauherren über die Art der Ausführung zu entscheiden. Für die Erfassung des Istzustandes sind wichtige Aspekte wie die Bauteileigenschaften, die Einflüsse und Widerstände oder auch die Instandsetzungsanforderungen zu ermitteln. Darüber hinaus ist eine umfassende Schadensanalyse

durchzuführen. Charakteristische Schadensbilder werden im Abschn. 1.7.2 „Schäden an Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“ erläutert.

Die folgenden Kapitel betrachten ausgewählte Aspekte der Instandhaltung in Bezug auf Bauteile aus Beton und Stahlbeton. Eine grundlegende Darstellung der Instandsetzungsplanung wird in dem Abschn. 1.3 „Baudiagnostik“ gegeben.

1.7.3.1 Instandhaltung – Wartung und Instandsetzung

Die Aufgabe der Instandhaltung ist es, die zur vereinbarten Nutzung unabdingbaren Eigenschaften eines Bauwerks über den Nutzungszeitraum zu erhalten bzw. den Schädigungsgrad auf einen tolerierbaren Bereich zu begrenzen. Zum Erreichen dieses Ziels sieht die Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb ein Konzept aus Wartung und Instandsetzung vor.

Ausgang einer jeden Instandsetzungsmaßnahme ist die Feststellung des Istzustandes hinsichtlich der gegenwärtigen und der zukünftig beabsichtigten Nutzung, die Ermittlung der Einwirkungen sowie der vorhandenen Materialkennwerte, welche den Widerstand des Bauteils gegenüber den Einwirkungen kennzeichnen. Aus der Gegenüberstellung der erfassten Daten sind dann Rückschlüsse auf die absehbare Gefährdung des Bauwerks bzw. des Bauteils abzuleiten. Darauf aufbauend erfolgt die Erstellung eines Instandsetzungskonzepts zur Herstellung des der Nutzung entsprechenden Zustandes. Instandsetzungskonzepte orientieren sich jedoch nicht allein an dem Erreichen oder dem Wiederherstellen des Zustandes vor Beginn eines Schädigungsprozesses. Ebenso sind erhöhte Anforderungen an das Bauwerk aus Nutzungsänderungen zu berücksichtigen oder die Anpassung der Bausubstanz aufgrund zwischenzeitlich geänderter technischer Regeln. Anzuführen ist hierzu die Erhöhung der Betonüberdeckung ($\min_c$), die aus veränderten Lasteinwirkungen resultieren kann oder, um ein anderes Beispiel zu nennen, um den Schutz der Bewehrung vor einem Chlorideintrag zu verbessern.

Aufgrund der Komplexität von Instandsetzungen an Bauteilen aus Stahlbeton fordert die Instandhaltungsrichtlinie, dass die Planung von Instandhaltungen und Instandsetzungen zwingend durch einen sachkundigen Planer zu erfolgen hat. Im Ausführungszeitraum der Instandsetzung muss eine Person mit nachgewiesener Eignung als qualifiziertes Führungspersonal und umfassenden technischen Kenntnissen (SIVV-Schein) ständig anwesend sein.

Jede Instandsetzung ist, wie in der DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie definiert wird, Teil eines Instandhaltungskonzepts, das neben der Wiederherstellung oder Verbesserung der Bauteileigenschaften auch regelmäßige Inspektionen und Wartungen berücksichtigen muss (Tab. 1.47). Regelmäßig durchgeführte Wartungen, das heißt das Bewahren des Sollzustandes, erhöhen die Lebensdauer eines Bauwerks und können dazu beitragen, die Wiederherstellungskosten signifikant zu reduzieren.

Die Beurteilung des Zustandes eines Bauwerks oder Bauteils hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und zur Abschätzung seiner Restnutzungsdauer ist immer durch einen Vergleich zwischen Ist- und Sollzustand zu führen. Auf der Grundlage des Abgleichs von Ist- und Sollzustand kann der Planungs- und Instandsetzungsaufwand ermittelt werden. Für eine

Tab. 1.47 Schema Instandhaltungsmaßnahmen

Instandhaltungsmaßnahmen			
Regelmäßige			Außerordentliche
Inspektion	Wartung	Instandsetzung	Verbesserung
Erfassung und Beurteilung des Istzustandes	Bewahren des Sollzustandes	Wiederherstellen des Sollzustandes	Steigerung auf einen neuen Sollzustand

Vergleichbarkeit der bei Bauzustands- und Schadensanalysen gewonnen Ergebnisse kann die Verwendung von definierten Zustandskategorien sinnvoll sein. Empfohlen wird die nachfolgend vorgestellte und im *Betonkalender* 2013, Band 1 veröffentlichte Einteilung in Zustandsklassen.

Zustand a: Der Istzustand entspricht zu 85 % dem Zustand zum Zeitpunkt der Abnahme, das heißt, es sind keine bzw. lediglich unbedeutende Schäden vorhanden.
Zustand b: Der Istzustand entspricht zu zwischen 60 und 85 % dem Zustand zum Zeitpunkt der Abnahme, das heißt, es sind geringe Schäden vorhanden.
Zustand c: Der Istzustand entspricht zu zwischen 20 und 60 % dem Zustand zum Zeitpunkt der Abnahme, das heißt, die Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist erheblich gemindert; es können schwere Schäden eintreten.
Zustand d: Der Istzustand entspricht weniger als 20 % dem Zustand zum Zeitpunkt der Abnahme, das heißt, das Bauteil hat seine Lebensdauergrenze erreicht; ein sofortiger oder baldiger Austausch oder Instandsetzung sind auszuführen.

1.7.3.2 Einwirkungen und Widerstände

Bauwerke und Bauteile aus Beton bzw. Stahlbeton werden unter der Prämisse errichtet, eine hohe Dauerhaftigkeit zu erreichen, das heißt, sie sollten die ihnen zugedachten Eigenschaften über einen festgelegten Nutzungszeitraum beibehalten. Den auftretenden Einwirkungen, die in Eurocode 0 und 1 definiert sind, werden Widerstände des Bauwerks entgegengesetzt, die entsprechend der gewählten Expositionsklassen in Leistungserklärungen vereinbart werden. Um den Anspruch der Dauerhaftigkeit entsprechend der ihm zugedachten Aufgabe über den Nutzungszeitraum zu erreichen, muss das Bauwerk entsprechend geplant, hergestellt und gewartet werden (vgl. Tab. 1.48).

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen sind in der DIN EN 206-1 die Einwirkungen der Umgebungsbedingungen in Expositionsklassen für Bewehrungs- und Betonkorrosion sowie Feuchtigkeitsklassen für Betonkorrosion eingeteilt. Mit der Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb, die als deutsche Anwendungsregel der DIN EN 1504 eingeführt wurde, erfolgte die Aufnahme wesentlicher Neuerungen, bzw. es wurden weitere Klassen eingeführt. Dazu zählen:

- Festlegung von Einwirkungen aus der Umgebung und der Nutzung sowie aus dem Betonuntergrund bei Altbeton,

Tab. 1.48 Einwirkungen, Dauerhaftigkeit und Widerstände bei Stahlbeton

Einwirkungen ⇒	Dauerhaftigkeit	⇐ Widerstände
Belastungen	Nutzung	Gegen Karbonatisierung
Grenzwerte	Nutzungszeit	(Alkalität, Passivität)
Häufigkeit	Hinzunehmende Eigenschafts-	Gegen Chloride
Einwirkungszeit	änderungen	Gegen Frost- und Taumittelan-
Umgebung	Tragfähigkeit	griff
Herstellung	Gebrauchstauglichkeit	Gegen chemischen Angriff,
Standort	Instandhaltung	Angriffsgrad (AKR, Sulfate)
Klima	Gestaltung	Gegen mechanischen Ver-
	Konstruktion	schleiß
	Bauweise	
	Geometrie	
	Betondeckung, Rissbreite	

- Einbeziehung der Expositionsklassen aus der DIN EN 206-1 und der alten DIN 1045-2,
- Einführung von Altbetonklassen in Anlehnung an ZTV-W, LB 219,
- Ergänzung und Modifizierung der Instandsetzungsprinzipien und Verfahren nach DIN EN 1504-9.

Damit ist für die Instandhaltung von Beton und Stahlbeton das bisher umfangreichste Regelwerk, unter Einbeziehung bewährter Richtlinien und Normen, eingeführt worden. Tab. 1.49 zeigt zusammenfassend die bereits bekannten sowie die neu eingeführten Expositionsklassen.

Das wichtigste Kriterium für das Erreichen der Expositionsklassen ist der w/z-Wert (Wasser-Zement-Wert) mit dem Ziel der Begrenzung der Kapillarporosität. Der w/z-Wert wird auf der Grundlage der gewählten Druckfestigkeitsklasse, über den Bindemittelgehalt und gegebenenfalls über Zusatzanforderungen festgelegt.

Für die Beurteilung von Altbeton sowie in Bezug auf die Festlegung geeigneter Verfahren und für die Klassifizierung von Instandsetzungsprodukten wurden in Anlehnung an ZTV-W, LB 219 nunmehr Altbetonklassen (Tab. 1.50) eingeführt.

1.7.3.3 Überwachungsklassen in der Instandhaltung

Nach der Instandhaltungsrichtlinie gelten für die Überwachung der Ausführung von Instandsetzungsmaßnahmen die Überwachungsklassen ÜK-I 1 bis ÜK-I 3 (Tab. 1.51). Die Überwachungsklassen sind wie folgt definiert:

ÜK-I 1: nicht standsicherheitsrelevante Instandsetzung;
ÜK-I 2: standsicherheitsrelevante Instandsetzung;
ÜK-I 3: Verstärkungen.

Tab. 1.49 Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklassen

	Beschreibung der Umgebung	Klassenbezeichnung
1	Einwirkungen aus der Umgebung	
1.1	Ohne Bewehrung, Frost und chemischen Angriff	X0
1.2	Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung	XC 1 bis XC 4
1.3	Bewehrungskorrosion infolge Chlorid (aus Meerwasser)	XS 1 bis XS 3
1.4	Bewehrungskorrosion infolge Chlorid (außer Meerwasser)	XD 1 bis XD 3
1.5	Frostangriff ohne und mit Taumittel	XF 1 bis XF 4
1.6	Betonkorrosion durch chemischen Angriff	XA 1 bis XA 3
1.7	Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung	XM 1 bis XM 3
1.8	Freie Bewitterung	XNW
1.9 1.10 1.11	Dauernde Wasserbeaufschlagung Temporäre, zyklische Wasserbeaufschlagung Feuchtigkeitsklassen	XPW XCW WO bis WS
2	Einwirkungen aus dem Betonuntergrund	
2.1	Festigkeit, Verformungsverhalten, Untergrund	Altbetonklassen A 1 bis A 5
2.2	Statisch mitwirkend bei Änderung der äußeren Lasten	XST
2.3	Rückseitige Durchfeuchtung, Wasserzutritt, Wasserdampf	XRD
2.4 2.5	Risse Dynamische Beanspruchung (auch bei Applikation)	XCR XDY

Tab. 1.50 Altbetonklassen, Bezeichnung und Kennwerte

Altbetonklasse	Mittelwert der Druckfestigkeit (N/mm^2)	Mittelwert der Oberflächenzugfestigkeit (N/mm^2)	Kleinster Einzelwert der Oberflächenzugfestigkeit (N/mm^2)
A1	≤ 10	–	–
A2	> 10	$\geq 0{,}8$	$\geq 0{,}5$
A3	> 20	$\geq 1{,}2$	$\geq 0{,}8$
A4	> 30	$\geq 1{,}5$	$\geq 1{,}0$
A5	> 70[a]	$\geq 3{,}0$[a]	$\geq 2{,}5$[a]

[a]Bestätigung der Werte ausstehend (Stand: März 2015).

Für jede der Überwachungsklassen (ÜK-I 1 bis ÜK-I 3) muss das ausführende Unternehmen eine Eigenüberwachung durchführen. Zusätzlich sind bei standsicherheitsrelevanten Instandsetzungen (ÜK-I 2) und Verstärkungen (ÜK-I 3) stets Überwachungen durch eine hierfür jeweils anerkannte Überwachungsstelle durchzuführen. Im Rahmen der Eigenüberwachung muss das ausführende Unternehmen, in Abhängigkeit der Überwachungsklassen, Prüfungen in entsprechender Häufigkeit nachweisen.

Spritzbeton nach DIN EN 14487-1/DIN 18551 ist in die ÜK-I 2 einzuordnen, die Überwachungskategorien 1 bis 3 nach DIN EN 14487-1 und DIN EN 14487-2 sind auf Spritzbeton in der Instandsetzung nicht anzuwenden.

Tab. 1.51 Überwachungsklassen in der Instandhaltung nach DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie

	ÜK-I 1	ÜK-I 2	ÜK-I 3
Anwendungsbereich	Nicht standsicherheitsrelevante Instandsetzung	Standsicherheitsrelevante Instandsetzung	Verstärkung
Eignungsnachweise	Übliche Nachweise für Personal und Geräte gemäß 3.2 und 3.3 der DAfStb-Instandhaltungsrichtlinie Teil 3		Besondere Nachweise für Personal und Geräte entsprechend den jeweils für die Verstärkungsmaßnahme gültigen Regelwerken
Beispiele	Maßnahmen im Zuge der Wartung und Inspektion Instandsetzungsmaßnahmen an Bauteilen der Expositionsklasse X0 Nacharbeiten vor der Abnahme an Betonbauteilen der Überwachungsklasse 1 (ÜK1) nach DIN EN 13670 und DIN 1045-3, sofern keine Anforderungen an den Brandschutz betroffen sind	Instandsetzungsmaßnahmen an Bauteilen aller Expositionsklassen außer X0, insbesondere: – tragfähigkeitsrelevanter Betonersatz bis hinter die Bewehrung (z. B. Spritzbeton, Beton, RM, SRM), – Betonersatz bei durch Chlorid geschädigten oder kontaminierten Bauteilen, – Beschichtungsmaßnahmen zum Schutz von Bauteilen der Expositionsklasse XD3, – kraftschlüssiges Verbinden gemäß Teil 1, Verfahren 4.5 Nacharbeiten vor der Abnahme an Betonbauteilen der Überwachungsklassen 2 und 3 (ÜK2 und ÜK3) nach DIN EN 13670 und DIN 1045-3 bzw. wenn Anforderungen an den Brandschutz betroffen sind	Maßnahmen zum Verstärken von Bauteilen – mit geklebter Bewehrung gemäß DAfStb- Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“

1.7.4 Vorbereitung der Instandsetzung

1.7.4.1 Anforderungen

Die Instandsetzung von Bauteilen aus Beton oder Stahlbeton erfordert die Einhaltung spezifischer Voraussetzungen, um Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen durchführen zu können und um mit größtmöglicher Sicherheit die Dauerhaftigkeit der Maßnahmen zu gewährleisten. Zu diesen Voraussetzungen gehören neben den mechanischen Kennwerten und der Beschaffenheit der Oberfläche auch die physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie Kenntnisse der klimatischen Randbedingungen.

Neu hergestellte Betonbauteile, an denen Nachbesserungen auszuführen sind, sollten Mindesteigenschaften aufweisen. Dazu zählt zuallererst das Erreichen der 28-Tage-Festigkeit. Darüber hinaus sollte der Schwindvorgang weitgehend abgeschlossen sein und die Bauteilfeuchte in der oberflächennahen Zone darf den Haftverbund nicht nachteilig beeinflussen.

Grundsätzlich sind vor dem Aufbringen von Anstrichen und Beschichtungen alle Kanten und Außenecken zu fasen oder abzurunden, während Innenecken mit einer runden oder keilförmigen Hohlkehle „gebrochen“ werden müssen. Andernfalls besteht eine hohe Rissanfälligkeit oder ein erhebliches Risiko für Ablösungen infolge von Spannungskonzentrationen in den Eckbereichen.

Druckfestigkeit

Im Allgemeinen weisen heutige Betonersatzmaterialien Festigkeiten von mindestens 30–40 N/mm^2 auf, weshalb der instand zu setzende Beton der Festigkeitsklasse C 20/25 (alt: B 25) oder höher entsprechen sollte. Geringere Betonfestigkeiten sind an historischen Bauwerken jedoch keine Seltenheit. In diesen Fällen sind die Instandsetzungsmaßnahmen anzupassen, z. B. durch das Einstellen der Materialien auf eine geringere Festigkeit. Mit dem Auftraggeber sind die Sonderlösungen abzustimmen und entsprechend zu vereinbaren.

Oberflächenzugfestigkeit

Um eine ausreichende mechanische Belastbarkeit und Spannungsaufnahme für die Aufnahme von Betonergänzungen oder Beschichtungen zu gewährleisten, muss der Beton in der oberflächennahen Zone Mindestwerte der Oberflächenzugfestigkeit (Abb. 1.283) aufweisen. Für Betonoberflächen gilt ein Mindestwert von $\geq 1{,}5\ N/mm^2$ (Mittelwert), wobei der kleinste Einzelwert $1{,}0\ N/mm^2$ betragen darf. Geringere Oberflächenzugfestigkeiten sind als kritisch einzustufen und Ablösungen der Applikationen sind dann möglich. In einzelnen Fällen können abweichende Werte einzuhalten sein. Beispielsweise sind für epoxidharzgebundene Oberflächenschutzsysteme (OS 8) Mittelwerte von $\geq 2{,}0\ N/mm^2$ maßgeblich.



Abb. 1.283 Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit; der Bruch der Prüffläche erfolgte im Beton

Ebenheit

Insbesondere bei Oberflächenschutzsystemen ist die Funktionalität der Beschichtung durch die Einhaltung der vom Hersteller vorgegebenen Schichtdicken sicher zu stellen. Entsprechend ist der Untergrund, sofern die Ebenheitsabweichungen zu groß sind, durch das Aufbringen von Ausgleichschichten, z. B. als Kratzspachtel, zu egalisieren. Zur Feststellung der Ebenheitsabweichungen sind die Ausführungen in der DIN 18202 zu beachten.

Rautiefe

Ein entscheidendes Kriterium für den Haftverbund der Instandsetzungs- und Beschichtungsmaterialien zum (Beton-)Untergrund ist die spezifische oder benetzbare Oberfläche des Bauteils. Die spezifische Fläche kann die mit dem menschlichen Auge sichtbare Fläche um Werte im Bereich des Hundert- bis Tausendfachen übersteigen. Für Anstriche und Feinspachtel reicht es oftmals aus, die Poren und Lunker zu öffnen und die Zementhaut oder Feinmörtelschicht anzurauen, um einen ausreichenden Haftverbund zu erreichen. Soll eine Dickbeschichtung auf Basis eines Reaktionsharzes oder ein Spritzmörtel aufgetragen werden, muss die Oberfläche eine materialspezifische Rautiefe aufweisen bzw. einer festgelegten Rautiefeklasse entsprechen, wie in Tab. 1.52 dargestellt wird.

Zur Untergrundvorbereitung sind Verfahren zu wählen, die möglichst geringe Erschütterungen in das Bauteil eintragen und dabei die oberflächennahe Körnung nicht lockern.

Tab. 1.52 Rautiefeklassen

Rautiefenklasse	Anforderung an die mittlere Rautiefe[a] R_t in mm	Körnungsgröße im Sandflächenverfahren in mm
RT0,5	$0{,}5 \leq R_t < 1{,}0$	0,2–0,7
RT1,0	$1{,}0 \leq R_t < 1{,}5$	0,7–1,2
RT1,5	$1{,}5 \leq R_t < 3{,}0$	1–2
RT3,0	$R_t \geq 3{,}0$	–

[a]Im Zuge der Untergrundvorbereitung darf die Rautiefe nicht mehr als unvermeidlich erhöht werden.

Baupraktisch wird die Rautiefe auf horizontalen und schwach geneigten Flächen nach dem Sandflächenverfahren nach DIN EN 1766 bestimmt, wobei Alternativverfahren zulässig sind, wenn eine Korrelation zum Sandflächenverfahren nachgewiesen ist.

An vertikalen Bauteilen wie z. B. an Fassaden oder auch an stärker geneigten Flächen ist das Sandflächenverfahren nach DIN EN 1766 nicht anwendbar. Hier ist die Rautiefe mit dem Streulichtverfahren oder der Laserlichtschnitttechnik zu ermitteln. Allerdings erfordern diese Verfahren die dazu notwendigen hochwertigen Geräte, was sich auf der Kostenseite erheblich niederschlägt. Anwenderfreundlicher sind Hilfsverfahren, beispielsweise unter Verwendung von 1 l eines Mörtels mit entsprechender Körnung oder einer anderen geeigneten Masse. In gleicher Art wie beim Sandflächenverfahren ist dann das eingesetzte Volumen durch den mittleren Durchmesser der Prüffläche zu teilen, um den Wert der Rautiefe zu erhalten.

Da das Sandflächenverfahren oder auch gleichartige Hilfsverfahren handwerklich ausgeführt werden, hängt das Ergebnis stark von der prüfenden Person ab, wodurch die Ergebnisse eine nicht unerhebliche Varianz aufweisen. Es sollten daher entweder mehrere Prüfflächen angelegt werden, oder die Prüfung wird von weiteren Personen wiederholt, um einen statistischen Mittelwert ermitteln zu können.

Haftungsmindernde und -trennende An- und Ablagerungen

Die zu behandelnde Oberfläche muss frei von haftungsmindernden oder -trennenden Substanzen sein. Das können arteigene Stoffe wie Zementschlämme, Feinmörtel, Aussinterungen oder Ausblühungen sein. Ebenfalls restlos zu entfernen sind artfremde Stoffe, z. B. Ablagerungen wie Öle, Fette, Gummiabrieb, Schmutz und Staub, Bewuchs sowie Reste von Altbeschichtungen.

Fest haftende Altbeschichtungen können auf der Oberfläche verbleiben, sofern keine Materialunverträglichkeiten mit der neuen Beschichtung bestehen und der Verbund sichergestellt ist.

Feuchtegehalt

Soll eine reaktionsharzgebundene Beschichtung aufgebracht werden, darf der Feuchtegehalt üblicherweise 4 M.-% nicht übersteigen. Im Übrigen sind die jeweiligen Herstellerangaben zu beachten. Kunstharzbeschichtungen sind praktisch nicht diffusionsfähig, daher können bei rückwärtiger Feuchtebeaufschlagung mit hoher Wahrscheinlichkeit Ablösungen und Blasenbildungen auftreten.

Da zementgebundene Materialien überwiegend auf einen mattfeuchten Untergrund aufzubringen sind, bestehen keine Grenzwerte für den Feuchtegehalt im Bauteil. Zu vermeiden ist jedoch ein Wasserfilm, um den Haftverbund nicht zu mindern.

Die nach der Instandhaltungsrichtlinie nunmehr gültigen Kurzbezeichnungen für die Zuordnung von Feuchtezuständen sind:

- trocken („dry“): DY;
- feucht („damp“): DP;

Tab. 1.53 Grenzwerte für den Chloridgehalt im bewehrten Beton

Regelwerk	Cl-Gehalt in M.-%
DIN EN 206	0,4
Rili-SIB	0,5
DIN 1164-1	0,1[a]

[a] Anforderung an den Gehalt im Ausgangszement bei der Betonherstellung.

- nass („wet"): WT;
- fließendes Wasser („waterflow"): WF.

Chloridgehalt
Nach der Instandhaltungsrichtlinie soll der Chloridgehalt, bezogen auf das Zementgewicht, bei Stahlbeton 0,5 M.-% und bei Spannbeton 0,2 M.-% nicht übersteigen, um eine Gefährdung durch chloridinduzierte Bewehrungskorrosion auszuschließen (Tab. 1.53). Von diesen Richtwerten kann jedoch abgewichen werden, wenn zukünftig ungünstige Randbedingungen wie Feuchtezutritte oder zu hohe Luftfeuchtigkeit vermieden werden. Chloridgehalte bis 1,0 M.-% sind dann bei sorgfältiger Planung und Ausführung tolerabel.

Liegen die ermittelten Werte oberhalb dieser Grenzwerte, besteht ein erhöhtes Risiko für die chloridinduzierte Bewehrungskorrosion. Auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse kann es jedoch, in Abhängigkeit von den Betoneigenschaften und den äußeren Einflussfaktoren, baupraktisch zu einer chloridinduzierten Korrosion bei Chloridgehalten ab 0,18 M.-% kommen.

Sulfatgehalt
Erhöhte Sulfatgehalte können Treiberscheinungen im Beton wie das Ettringit- oder Sulfattreiben auslösen. Die vorhandene Konzentration sollte den Grundsulfatgehalt des Betons (bis zu 1,0 M.-%) daher nicht übersteigen, gegebenenfalls ist der Sulfatgehalt labortechnisch zu ermitteln. Lokale Anreicherungen im Beton oder bereits vom Sulfattreiben zerstörtes Gefüge sind zu entfernen.

Oberfläche der Bewehrung
Vor dem Auftragen von Korrosionsschutzbeschichtungen oder vor dem Wiederherstellen des alkalischen Milieus durch einen Betonersatz sind Korrosionsrückstände zu entfernen. Nach der DIN EN ISO 12944-4 ist für Reaktionsharzbeschichtungen der Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 1/2 zu gewährleisten. Zementgebunde Korrosionsschutzsysteme sind per Norm gleichzubehandeln, jedoch kann erfahrungsgemäß ein Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 ausreichend sein, wenn bestimmte Bedingungen bei der Ausführung eingehalten werden.

Wird auf eine Korrosionsschutzbeschichtung verzichtet, weil eine ausreichende Betondeckung ausgeführt wird, muss ein Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 bzw. St 2 nach

ZTV-W eingehalten werden. Das gleiche Ergebnis ist auch durch Hochdruckwasserstrahlen (HDW-Strahlen) erreichbar, bei chloridinduzierter Korrosion ist nur das HDW-Strahlen zulässig.

Die Prüfung des Oberflächenvorbereitungsgrades hat unmittelbar nach dem Absetzen der Strahldüse zu erfolgen. Da bei Nassverfahren in kürzester Zeit mit Flugrostbildungen zu rechnen ist, muss trocken nachgestrahlt werden.

Umgebungs- und Bauteiltemperaturen
Die einzuhaltenden Temperaturen sind von den eingesetzten Materialien abhängig, bzw. es sind die Herstellerangaben zu befolgen. Im Allgemeinen sind bei Verwendung mineralischer Produkte Temperaturen zwischen +5 und +30 °C sowie bei Epoxidharzen im Bereich von +8 bis +40 °C einzuhalten.

Luftfeuchte
Für mineralische bzw. zementgebundene Instandsetzungsprodukte gelten die gleichen Vorgaben an die Luftfeuchte wie in der Betonherstellung bezüglich der Nachbehandlung. Ein zu geringer Luftfeuchtegehalt ist zu vermeiden, bzw. das Bauteil muss vor Austrocknung geschützt werden, während sich eine hohe Luftfeuchte günstig auf die Erhärtung auswirkt.

Bei Kunststoffbeschichtungen ist dagegen die Luftfeuchtigkeit auf maximal 80 % zu begrenzen, insbesondere die Verfilmung von Dispersionen kann beeinträchtigt werden.

Taupunktunterschreitung
Wird auf der Bauteiloberfläche der Taupunkt unterschritten, wirkt das auftretende Kondenswasser wie ein Trennfilm bei nachfolgenden Beschichtungen oder Reprofilierungen. Mineralische Systeme sind weit weniger anfällig, jedoch ist abtropfendes Wasser zu vermeiden, um den Haftverbund nicht zu vermindern. Ein Risiko besteht vor allem für Kunststoffbeschichtungen. Es ist daher sicherzustellen, dass die Bauteiltemperatur um mindestens 3 K oberhalb des Taupunktes liegt.

Zu beachten sind auch mögliche Taupunktunterschreitungen innerhalb des Bauteils im Zeitraum nach der Instandsetzungsmaßnahme, z. B. wenn dickschichtige Systeme mit einem geringen Diffusionsverhalten oder deutlich abweichenden Wärmedurchgangswiderständen appliziert wurden. Hierzu sind bereits in der Planungsphase entsprechende hygrothermische Berechnungen zur Risikobeurteilung durchzuführen.

1.7.4.2 Untersuchungs- und Prüfverfahren

Zur Beurteilung des Istzustandes steht eine Vielzahl an Untersuchungsverfahren zur Verfügung. Neben der visuellen Begutachtung stehen dem sachkundigen Planer einfache Untersuchungsverfahren (z. B. Abklopfen auf Hohlstellen, Ermittlung der Bauteilfeuchte), Prüfverfahren mit erhöhten Anforderungen (z. B. Betondeckung und Karbonatisierungstiefe messen, Oberflächenzugfestigkeit ermitteln) und Verfahren mit hohem technischen Aufwand (z. B. Ultraschall- oder Radarmessungen) zur Verfügung (siehe Tab. 1.54). Die

Anwendung von Verfahren mit hohem technischen Aufwand ist an Fassaden eher unüblich; sie werden vorrangig an Bauwerken des konstruktiven Ingenieurbaus eingesetzt.

1.7.5 Prinzipien der Instandsetzung

1.7.5.1 Schutz der Bewehrung vor Korrosion

Hauptsächlich schadensauslösend für korrosive Vorgänge an der Bewehrung sind, neben Planungs- und Ausführungsfehlern, die zu einer Unterschreitung der notwendigen Betonüberdeckung führen, die chloridabhängige und die karbonatisierungsabhängige Depassivierung der Stahloberfläche.

Zur chloridabhängigen Depassivierung kann es trotz ausreichender Alkalität des den Stahl umgebenden Betons kommen. Auslöser dafür sind kleinste Defekte in der Passivierungsschicht der Stahloberfläche. Über wasserführende Rissbildungen, die bis an die Bewehrung reichen, werden Chloride eingetragen und bilden in der Tiefe eine kleine Anode. Im Gegensatz zu einer flächigen Korrosion sind hierbei die auftretenden Spannungen aufgrund der geringen Größe der übertragenden Fläche besonders hoch.

Die karbonatisierungsabhängige Korrosion wird durch eine Neutralisation des Betonporenwassers verursacht, in deren Folge die Alkalität der Passivierungsschicht unterhalb eines pH-Wertes von $\leq 10{,}5$ absinkt. Auslöser für die Neutralisationsreaktion sind von außen eingetragene saure Luftbestandteile wie Kohlendioxid (CO_2) oder Schwefeldioxid (SO_2).

Tab. 1.54 Untersuchungsverfahren zur (Stahl-)Betondiagnostik (Auswahl)

Kriterien	Verfahren	Ergebnisse
Klangprüfung	Hammer	Feststellen von Hohlstellen, Verbundprüfung
Oberflächenkorrosion	Wischprobe, Handfläche	Abmehlen, Absanden, Krustenbildung, und andere
Oberflächenzustand auf An- und Ablagerungen sowie auf Verschmutzungen prüfen	Optische Begutachtung, Benetzprobe mit Wasser	Bei Verunreinigungen mit Ölen und Fetten perlt das Wasser ab
Einsichtnahme unzugänglicher Gebäudeabschnitte	Fernglas, kamerabestückte Drohne	Bestand und Zustand
Einsichtnahme verdeckter Bauteile	Bauteilöffnungen, Endoskopie; seltener: Ultraschall, Röntgenstrahlen	Bestand und Zustand

Tab. 1.54 (Fortsetzung)

Kriterien	Verfahren	Ergebnisse
Benetzbarkeit, Kapillarität	Wasserflasche, Karsten-Röhrchen	Porosität, Saugfähigkeit
Beurteilung und Aufnahme von Rissen	Rissbreitenmaßstab, Risslupe, Bohrkern	Rissbreite, Risstiefe, Rissverlauf
Rissbewegung	Wegaufnehmer, Gipsmarke, Messuhr	Quantitative Bestimmung der Rissbewegung
Klimatische Bedingungen	Hygrometer, Thermometer	Luft- und Oberflächentemperaturen, Luftfeuchte
Bauteilfeuchte	CM-Gerät, Darr-Methode	Wassergehalt im Baustoff
Betondeckung	Messgerät zur Betondeckung, Freilegung	Lage und Durchmesser der Bewehrung
Korrosion der Bewehrung	Optische Begutachtung	Rostender Stahl, Haarrisse, Abplatzungen, Rostfahnen
Abrostungsgrad der Bewehrung	Schieblehre	Soll-Ist-Vergleich mit den Bemessungsquerschnitten
Nachweis bauschädlicher Salze (Chloride, Sulfate, Nitrate, Karbonate)	Nasschemische Analyse, potenziometrische Titration, ionensensitive Elektroden	Qualitative und quantitative Gehalte an wasserlöslichen Salzen in Massenprozent, Salzbilanz
Karbonatisierungstiefe (Zielgröße: pH-Wert $\geq 9{,}2$)	Besprühen des Bohrkerns oder der Ausbruchstelle mit Phenolphtalein oder Thymolphtalein	Phenolphtalein: blauvioletter Farbumschlag im pH-Wertebereich von 8,3–10 (relativ ungenau) Thymolphtalein: bläulicher Farbumschlag im pH-Wertebereich von 9,3–10,5 (sichere Methode)
Bestimmung der hygroskopischen Feuchteaufnahme	Lagerung der getrockneten Proben im Klimaschrank	Aufnahmefähigkeit des Materials an Feuchtigkeit aus der umgebenden Luft
Dünnschliffuntersuchungen	Durchlichtmikroskopie	Mineralbestandteile, Gefüge, Kornverteilung, Porenraum
Phasenanalyse	Röntgendiffraktometrie	Mineralzusammensetzung
Rasterelektronenmikroskopie (REM)	Elektronenmikroskopie	Verwitterungs- und Porenbestimmung in Verbindung mit einer Mikrosonde
Frostbeständigkeit in Verbindung mit Salzeinwirkung	Frost-Tau-Wechselversuche (CDF-Test)	Treiberscheinungen, Risse, Abtrag in mg/cm^2 (Masseverlust)
Druck- und Biegezugfestigkeit	Bohrkern ziehen und im Labor prüfen	Mechanische Widerstandsfähigkeit R in N/mm^2
Oberflächenzugfestigkeit und Oberflächenhaftzugfestigkeit	Aufkleben von Prüfstempel und Messung mit einem servohydraulischen Haftzugprüfgerät	Zugfestigkeit oberflächennaher Schichten bzw. Haftzugfestigkeit der Beschichtung/des Putzes
Korrosionsprüfung bei Schadstoffeinwirkung	SO_2-Immission, Cl-Einwirkung, NO_2-Immission	Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen saure Immissionen

Schutz- und Instandsetzungsprinzipien nach DIN EN 1504 und der Instandhaltungsrichtlinie

Sofern die grundsätzliche Entscheidung zur Ausführung von Schutz- und Instandhaltungsmaßnahmen getroffen wurde, ist festzulegen, welches Instandsetzungsprinzip sich für das Bauteil aufgrund der konkreten Randbedingungen am besten eignet. Die DIN EN 1504-9 und die Instandhaltungsrichtlinie, als maßgebliche zu beachtende Regelwerke, unterscheiden für den Korrosionsschutz der Bewehrung 5 elektrochemische Schutzprinzipien, die, wenn notwendig, miteinander kombiniert werden können. Zur technischen Umsetzung der Instandsetzungsprinzipien werden zahlreiche Anwendungsverfahren beschrieben. Allerdings werden nicht alle Verfahren aus der DIN EN 1504-9 durch die Instandhaltungsrichtlinie als geregelte Verfahren angesehen. Begründet wird das mit der unzureichenden Wirksamkeit einiger Verfahren. Zudem enthält die Instandhaltungsrichtlinie Verfahren, die in der DIN EN 1504-9 nicht aufgeführt werden. Diese zusätzlichen Verfahren werden an dieser Stelle nicht weiter behandelt, da sie für eine Anwendung an Fassaden ohnehin keine Bedeutung haben. Die Systematisierung der Schutzprinzipien ge-

Tab. 1.55 Wiederherstellung des Korrosionsschutzes

Schutz- und Instandsetzungsprinzip (Kurzzeichen, engl. Bezeichnung)	Verfahren
7. Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität „restoring passivity“ (RP)	– 7.1 Erhöhung der Betondeckung der Bewehrung mit zusätzlichem Mörtel oder Beton[a] – 7.2 Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton[a] – 7.3 Elektrochemische Realkalisierung des karbonatisierten Betons – 7.4 Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion[a] – 7.5 Elektrochemische Chloridextraktion
8. Erhöhung des elektrischen Widerstandes „increasing resistivity“ (IR)	– 8.1 Hydrophobierung[a] – 8.2 Versiegelung – 8.3 Beschichtung[a]
9. Kontrolle kathodischer Bereiche „cathodic control“ (CC)	– 9.1 Begrenzung des Sauerstoffgehalts (an der Kathode) durch Sättigung oder Oberflächenbeschichtung
10. Kathodischer Schutz „cathodic protection“ (CP)	– 10.1 Anlegen eines elektrischen Potenzials[a]
11. Kontrolle anodischer Bereich „control of anodic areas“ (CA)	– 11.1 Anstrich der Bewehrung durch aktive pigmentierte Beschichtungen – 11.2 Anstrich der Bewehrung mit Beschichtungen nach dem Barriereprinzip – 11.3 Anwendung von Korrosionsinhibitoren auf den oder zum Beton

[a]Geregelte Verfahren nach der Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb.

gen Bewehrungskorrosion wird, wie in Tab. 1.55 dargestellt, nach den Prinzipien 7 bis 11 wie folgt vorgenommen.

1.7.5.2 Instandsetzung von Schäden am Beton

Schäden am Beton entstehen aufgrund vielfältiger Einwirkungen und erfordern daher variantenreiche Schutz- und Instandhaltungsmaßnahmen. Ursächlich für Betonschäden können mechanische Einwirkungen, Überlastungen der Tragfähigkeit, physikalische und chemische Belastungen oder unplanmäßige Durchfeuchtungen sein. Als auslösende Faktoren kommen Mängel in der Planung und Ausführung, Nutzungsänderungen, unzureichende Schutz und Wartungsmaßnahmen sowie geänderte äußere Randbedingungen infrage. So können Abplatzungen der Betonoberfläche z. B. auf eine Bewehrungskorrosion, treibende Prozesse in der Betonmatrix, die Auswahl der falschen Gesteinskörnung oder Anpralllasten zurückzuführen sein. Für eine fachgerechte und dauerhafte Sanierung sind neben der konsequenten Ursachenermittlung, die Festlegung des richtigen Instandsetzungsverfahrens und die Auswahl geeigneter Instandsetzungsmaterialien entscheidend. Für die Ausführung von Schutz- und Instandhaltungsmaßnahmen an einem geschädigten Beton werden dem fachkundigen Planer in der DIN EN 1504-9 und in der Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb bewährte Sanierungsvarianten an die Hand gegeben.

Schutz- und Instandsetzungsprinzipien nach DIN EN 1504 und der Instandhaltungsrichtlinie

Für den Schutz und die Instandsetzung von Beton ist festzulegen, welches Instandsetzungsverfahren für die Sanierung des geschädigten Bauteils unter Beachtung der jeweiligen Randbedingungen anwendbar ist. Die Anwendung der Verfahren bedingt zudem, dass die Schäden nicht in Zusammenhang mit einer karbonatisierungs- oder chloridabhängige Bewehrungskorrosion stehen. In diesen Fällen ist nach den Instandsetzungsprinzipien 7 bis 11 zu verfahren. Ferner dürfen durch die Einzelmaßnahmen keine bauphysikalisch oder chemisch ungünstigen Verhältnisse im Bauteil geschaffen werden, aus denen Folgeschäden resultieren können. Beispielhaft wird auf die Möglichkeit des Feuchtestaus innerhalb des Bauteils in den Schichtgrenzen zwischen dem Altbeton und dem Betonersatz hingewiesen. Das gilt insbesondere für Reaktionsharzmörtel, die über einen hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand verfügen und das Ausdiffundieren der im Altbeton gegebenenfalls vorhandenen Restfeuchte behindern. In der Folge kann ein Abplatzen des Betonersatzes nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

In der DIN EN 1504-9 werden 6 Schutz- und Instandsetzungsprinzipien (die Prinzipien 1 bis 6), unterteilt nach der Schadensursache bzw. dem Sanierungsziel aufgezeigt (siehe Tab. 1.56).

Tab. 1.56 Prinzipien der Betoninstandsetzung

Schutz- und Instandsetzungs-prinzip	Verfahren
1. Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	1.1 Hydrophobierung[a] 1.2 Versiegelung 1.3 Beschichtung[a] 1.4 Örtliche Abdeckung von Rissen (Bandagen)[a] 1.5 Füllen von Rissen[a] 1.6 Umwandlung von Rissen in Dehnfugen 1.7 Montage von Vorsatzplatten[b] 1.8 Aufbringen von Membranen[b]
2. Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	2.1 Hydrophobierung[a] 2.2 Versiegelung 2.3 Beschichtung[a] 2.4 Montage von Vorsatzplatten 2.5 Elektrochemische Behandlung
3. Betonersatz	3.1 Mörtelauftrag von Hand[a] 3.2 Querschnittsergänzung durch Betonieren[a] 3.3 Beton- oder Mörtelauftrag durch Spritzverarbeitung[a] 3.4 Auswechseln von Bauteilen[a]
4. Verstärkung des Betontragwerks	4.1 Zufügen oder Auswechseln von eingebetteten oder außenliegenden Bewehrungsstäben 4.2 Einbau von Bewehrung in den Beton in vorgebildete oder gebohrte Löcher 4.3 Verstärkung durch Laschen[a] 4.4 Querschnittsergänzung durch Mörtel oder Beton[a] 4.5 Injizieren in Risse, Hohlräume oder Fehlstellen[a] 4.6 Füllen von Rissen, Hohlräumen oder Fehlstellen (drucklos) 4.7 Vorspannen (mit nachträglichem Verbund)
5. Erhöhung des physikalischen Widerstandes	5.1 Beschichtung[a] 5.2 Versiegelung 5.3 Mörtel- oder Betonauftrag[a]
6. Erhöhung des Chemikalienwiderstandes	6.1 Beschichtung[a] 6.2 Versiegelung 6.3 Mörtel- oder Betonauftrag[a]

[a]Geregelte Verfahren nach der Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb.
[b]Diese Verfahren dürfen auch für andere Prinzipien angewendet werden.

1.7.5.3 Instandsetzung nach der alten Instandsetzungsrichtlinie des DAfStb

Zukünftig werden Bauteile zu beurteilen oder zu sanieren sein, die nach der alten Instandsetzungsrichtlinie ertüchtigt worden sind. Daher werden in den nachfolgenden Abschnitten wesentliche Grundsätze der Instandsetzungsrichtlinie zum besseren Verständnis der Alt-Maßnahmen zusammengefasst.

Instandsetzungsprinzipien
In der alten Instandsetzungsrichtlinie wurden Instandsetzungsprinzipien und daraus abgeleitete Grundsatzlösungen für die Instandsetzungsverfahren unterschieden. Die Kombinierbarkeit der verschiedenen Prinzipien war möglich, jedoch musste dabei mindestens ein Instandsetzungsprinzip vollständig durchgeführt werden. Die in der Instandsetzungsrichtlinie beschriebenen Verfahren waren für die Anwendung an nicht vorgespannter Bewehrung geeignet.

Instandsetzungsprinzip R (Wiederherstellung des alkalischen Milieus) Ziel ist die erneute Bildung einer Passivschicht (Repassivierung) auf der Stahloberfläche durch das Auftragen zementgebundener Instandsetzungsprodukte. Die Stahloberfläche darf dabei nicht mit einer Beschichtung versehen sein, durch welche die Repassivierung verhindert wird. Eine erneute Depassivierung der Stahloberfläche während der Restnutzungsdauer soll ausgeschlossen bleiben.

Instandsetzungsprinzip W (Begrenzung des Wassergehalts im Beton) Hierbei wird der Wassergehalt im Beton durch Instandsetzungsmaßnahmen soweit abgesenkt, dass die elektrolytische Leitfähigkeit und die relative Luftfeuchte im Beton für eine maßgebliche Korrosion nicht ausreichen bzw. die Korrosionsgeschwindigkeit auf ein vernachlässigbares Maß herabgesetzt wird.

Instandsetzungsprinzip C (Beschichtung der Bewehrung) Durch das Herstellen einer Beschichtung auf der Stahloberfläche wird die anodische Eisenauflösung verhindert.

Instandsetzungsprinzip K (kathodischer Korrosionsschutz) Das Prinzip beruht darauf, dass die gesamte Bewehrung kathodisch wird. Erreicht wird das durch eine Beaufschlagung mit Fremdstrom über Inertanoden oder die Anordnung von Opferanoden.

Grundsatzlösungen für den Schutz der Bewehrung vor Korrosion
Die in der Instandhaltungsrichtlinie des DAfStb beschriebenen Grundsatzlösungen orientieren sich zunächst an den Instandsetzungsprinzipien R, W, C und K. Darüber hinaus werden Grundsatzlösungen nach der Ursache der Bewehrungskorrosion unterschieden:

- Korrosion aufgrund der Karbonatisierung des Betons,
- Korrosion durch die Einwirkung von Chloriden.

Zur Festlegung der geeigneten Grundsatzlösung ist daher im Vorfeld eine fachlich fundierte Schadensdiagnose und darauf aufbauend die Erstellung eines Instandsetzungskonzepts in jedem Fall durchzuführen. In der Instandhaltungsrichtlinie sind ausführliche Beschreibungen der Grundsatzlösungen enthalten und können dort nachgelesen werden. An dieser Stelle wird daher lediglich eine Übersicht der Grundsatzlösungen aufgeführt.

Korrosion als Folge einer Karbonatisierung des Betons
R1: Realkalisierung durch flächigen Auftrag von alkalischem Beton bzw. Mörtel
R2: Örtliche Ausbesserung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel

W: Absenkung und Vergleichmäßigung des Wassergehalts
C: Beschichten der Bewehrung mit zement- oder kunstharzgebundenen Stoffen

Korrosion als Folge einer Chlorideinwirkung Vor der Ausführung von Betoninstandsetzungen nach einer Chlorideinwirkung ist der mit Chloriden belastete Beton zu entfernen, wenn der Chloridgehalt 0,5 M.-% (bezogen auf die Zementmasse) übersteigt. Da die Betonrezeptur des Altbetons jedoch nur in seltenen Fällen bekannt ist, muss die Entscheidung über den Umfang des Rückbaus durch den fachkundigen Planer auf der Grundlage einer Risikoabschätzung und unter Berücksichtigung von zusätzlichen Sicherheiten erfolgen.

R1-Cl: Dickbeschichtung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel
R2-Cl: Örtliche Ausbesserung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel
W-Cl: Absenkung und Vergleichmäßigung des Wassergehalts
C-Cl: Beschichten der Bewehrung mit zement- oder kunstharzgebundenen Stoffen

Grundsatzlösungen für die Betoninstandsetzung
Die in der alten Instandsetzungsrichtlinie aufgeführten Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen wurden in Abhängigkeit vom Schadensbild und des zu erreichenden Zustandes nach der Art der Ausführung als Einzelmaßnahmen unterschieden. Die Ausführbarkeit dieser Einzelmaßnahmen war an die Vorgabe gebunden, dass die Schäden nicht in Zusammenhang mit einer karbonatisierungs- oder chloridabhängigen Bewehrungskorrosion stehen. Andernfalls musste nach den Instandsetzungsprinzipien R, W, C und K verfahren werden. Ferner war auszuschließen, dass durch die Einzelmaßnahmen bauphysikalisch oder chemisch ungünstige Verhältnisse im Bauteil geschaffen werden, aus denen Folgeschäden resultieren konnten. Hierzu wurde beispielhaft auf die Möglichkeit des Feuchtestaus innerhalb des Bauteils in den Schichtgrenzen zwischen dem Altbeton und dem Betonersatz hingewiesen. Das galt insbesondere für Reaktionsharzmörtel, die über einen hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand verfügen und das Ausdiffundieren der im Altbeton gegebenenfalls vorhanden Restfeuchte behindern. In der Folge kann ein Abplatzen des Betonersatzes nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Die nach der Instandhaltungsrichtlinie zulässigen Einzelmaßnahmen waren:

- das Füllen von Rissen und Hohlräumen,
- das Ausfüllen örtlich begrenzter Fehlstellen,
- das großflächige Auftragen von Mörtel und Beton,
- das Auftragen von Hydrophobierungen,
- das Auftragen von Imprägnierungen,
- das Auftragen von Beschichtungen.

1.7.6 Ausführung der Instandsetzung

1.7.6.1 Untergrundvorbereitung

Eine Vielzahl der Mängel an instand gesetzten Bauteilen werden durch unzureichende, fehlerhafte oder unterlassene Maßnahmen zur Vorbereitung der Beton- oder Stahloberflächen verursacht. Beispielsweise vermindern verbleibende Fremdstoffe oder eine zu geringe Rauigkeit die Haftung zum Untergrund soweit, das der dauerhafte Verbund nachfolgender Beschichtungen erheblich beeinträchtigt ist. Daher muss der Vorbereitung des Untergrundes eine besondere Aufmerksamkeit und technische Sorgfalt zukommen (Abb. 1.284), um die Funktionalität der Instandsetzungsmaßnahme zu sichern und um Folgeschäden zu vermeiden.

Nach der Instandhaltungsrichtlinie werden die allgemeinen Anforderungen an den Betonuntergrund für örtliche Ausbesserungen bzw. flächige Beschichtungen wie folgt formuliert:

- frei sein von losen und nicht tragfähigen Teilen (z. B. auch von minderfesten Risskanten) und von sich leicht ablösenden arteigenen Schichten (z. B. Zementhaut); darf nicht abmehlen oder absanden;
- frei sein von etwa parallel zur Oberfläche oder schalenförmig im oberflächennahen Bereich verlaufenden Rissen und Ablösungen;
- frei sein von Graten; in begründeten Fällen können sie belassen werden;
- aufweisen einer dem zu verwendenden Stoff angepassten Rauheit;



Abb. 1.284 Betonoberfläche nach dem Kugelstrahlen, gleichzeitig wurden die Rissufer für den nachfolgenden Verguss ausreichend aufgeweitet

- frei sein von artfremden Stoffen (wie Gummiabrieb, Trennmittel, ungeeigneten Altbeschichtungen, Ausblühungen, Öl, Bewuchs und Ähnlichem).

Für die Oberflächenbehandlung der instand zu setzenden Bauteile steht eine Vielzahl an Verfahren, Geräten und Maschinen sowie chemischen Mitteln, beispielsweise zum Entfetten von Stahl, zur Verfügung. Um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen, ist die Auswahl des geeigneten Verfahrens unumgänglich. Dabei sind die konkreten Verhältnisse am Objekt zu berücksichtigen:

- Lage der Flächen (waagerecht, senkrecht, geneigt, über Kopf),
- Größe der Flächen,
- Zugänglichkeit (begehbar, befahrbar, Gerüst, Hubbühne etc.),
- Zustand und Materialeigenschaften des Bauteils,
- beabsichtigtes Instandsetzungsverfahren,
- zukünftige Nutzung und Beanspruchung,
- Witterung,
- Umweltschutz, Beeinträchtigungen für Anwohner,
- Kosten.

Bevor die vorbereitenden Maßnahmen ausgeführt werden, kann das Anlegen von Probeflächen zur Überprüfung der Wirksamkeit des ausgewählten Verfahrens sinnvoll sein. Die zwei folgenden Übersichten in Tab. 1.57 und 1.58 stellen, nach ihrer Anwendung auf Beton- und Stahloberflächen getrennt betrachtet, die wichtigsten Verfahren vor.

Grundsätzlich ist ein Abtrag geschädigten Betons soweit wie nötig, jedoch in einem möglichst geringen Umfang durchzuführen. Das gilt insbesondere im Bereich der Bewehrung. Dem Verbleib intakter Verbundbereiche zwischen Beton und Bewehrung sollte immer der Vorrang eingeräumt werden. Denn Instandsetzungen können nicht die Qualität eines fachgerecht hergestellten Stahlbetons, z. B. in Hinblick auf die Verdichtung des Betons, erreichen.

Sind die vorbereitenden Leistungen zur Herstellung einer für die nachfolgenden Schritte geeigneten Oberfläche erbracht, ist der Untergrund hinsichtlich seiner Verwendbarkeit zu prüfen. Die Prüfungen (siehe hierzu: Abschn. 1.7.4.1 „Anforderungen“ und Abschn. 1.7.4.2 „Untersuchungs- und Prüfverfahren“) sind entsprechend der geltenden Prüfvorschriften durchzuführen, und die Ergebnisse müssen dokumentiert werden.

1.7.6.2 Produkteigenschaften

Die Entscheidung über die Art der auszuführenden Maßnahme zum Erreichen einer dauerhaften Mangelbeseitigung ist entsprechend des Schadensbildes sowie der Anforderungen an die Verfahren und Materialien zu erbringen. Generell müssen Materialien entsprechend der nachfolgenden Eigenschaften geprüft sein, bzw. die Beständigkeit gegenüber diesen Einwirkungen ist nachzuweisen:

Tab. 1.57 Verfahren zur Vorbereitung von Betonoberflächen

Verfahren	Anwendung/Hinweise
Schneiden	– Mit diamantbesetzten Sägeblättern oder Hochdruckwasserstrahl – Herstellen von Durchbrüchen und Aussparungen oder Abtrennen von Bauteilen sowie bei Anforderungen an geradlinige Ausbrüche – Geradlinige Schnittkanten sind vor den weiteren Instandsetzungsschritten aufzurauen
Stemmen	– Mit Hammer und Meißel oder elektrisch bzw. pneumatisch betriebenen Geräten – Für grobe Abbrucharbeiten sowie das Entfernen von Graten und Wulsten – Ausbruchkanten sind im 45°-Winkel herzustellen – Gefahr der Beschädigung der Bewehrung und des Verbundes zwischen Beton und Bewehrung sowie von Gefügestörungen im intakten Beton – Korrodierter Bewehrungsstahl ist bis 1–2 cm über die Schadstelle hinaus freizulegen
Stocken	– Elektrisch bzw. pneumatisch betriebene Geräte sowie Stockhämmer – Entfernen von Schlämmen, Feinmörtel, Krusten und Ähnlichem – Gefahr von Gefügestörungen im oberflächennahen Bereich beim Einsatz schwerer Geräte – Nacharbeiten durch z. B. Strahlen empfehlenswert
Nadeln	– Elektrisch bzw. pneumatisch betriebene Nadelpistolen – Freilegen von oberflächennaher Bewehrung oder Entfernen von Schlämmen, Feinmörtel, Krusten und Ähnlichem – Geringe Flächenleistung, daher auf Kleinflächen sinnvoll – Gefahr von Gefügestörungen im oberflächennahen Bereich bei Einsatz schwerer Geräte
Schleifen	– Zum Beispiel Tellerschleifmaschinen mit und ohne Absaugvorrichtung – Zur Nachbereitung grober Verfahren – Ebene Flächen werden vorausgesetzt
Bürsten	– Stahlbesen oder rotierende Aufsätze – Entfernen von Schlämmen, Feinmörtel, Krusten und Ähnlichem – Geringe Leistungsfähigkeit, daher auf Kleinflächen sinnvoll
Fräsen	– Elektrisch betriebene Geräte mit Arbeitsbreiten bis 80 cm (für Anwendung im Innenbereich) und bis Fahrspurbreite (im Straßenbau) oder Handgeräte für Kleinflächen an Wänden, über Kopf etc. – Flächiger Abtrag mit definierter Tiefe auf waagerechten, schwach geneigten oder begehbaren Flächen – Abtragtiefe je Arbeitsgang sollte 5 mm nicht überschreiten – Gefahr der Gefügestörungen – Nacharbeiten durch z. B. Strahlen erforderlich
Druckstrahlen mit Luft und Feststoffen	– Druckluftstrahlen unter Zugabe fester Strahlmittel (z. B. Schmelzkammerschlacke, Korund, Siliziumkarbid oder Stahlgranulat) – Schonendes Verfahren zur Vorbereitung von Beton und Stahl, Entfernen von Zementhaut, Öffnen von Poren und Lunkern – Hohe Staubentwicklung, daher große Umweltbelastung; Einhausungen notwendig

Tab. 1.57 (Fortsetzung)

Verfahren	Anwendung/Hinweise
Druckstrahlen mit Wasser	– Wasserdrücke von 100 bis 3000 bar – Reinigen von Oberflächen, durch Beheizen des Druckwassers bis 140 °C größerer Reinigungseffekt – Betonabtrag ohne Beschädigung der Bewehrung und Gefügestörungen – Abtragungstiefe nicht exakt steuerbar – Bei Einsatz rotierender Düsen ähnliches Ergebnis wie Druckluftstrahlen, jedoch ohne dessen Feinrauigkeit
Druckstrahlen mit Wasser und Feststoffen	– Wie Druckstrahlen mit Wasser, jedoch mit Zugabe fester Strahlmittel zur Vergrößerung des Abtrags bei gleichzeitig geringerem Wasserdruck – Keine Staubentwicklung, aber Strahlschlamm muss entsorgt werden – Erzielen von Feinrauigkeit der Oberfläche
Feucht- bzw. Nebelstrahlen	– Druckluftstrahlen mit festem Strahlmittel unter Wasserzugabe an der Düse – Gleiche Wirkung wie Trockenstrahlen, bei reduzierter Staubentwicklung – Gefahr der Schlammanlagerung auf benachbarten, unbehandelten Flächen; Reinigung durch Druckwasserstrahlen notwendig
Vakuumstrahlen	– Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln – Absaugung am Strahlkopf mittels erzeugtem Unterdruck, daher Vakuumstrahlen genannt – Flächenleistung gegenüber Sandstrahlverfahren deutlich geringer – Nicht für das Entrosten von Bewehrungsrückseiten geeignet
Schleuderstrahlen bzw. Kugelstrahlen	– Trockenes Druckluftstrahlen mit Stahlkugeln als Strahlgut – Vor allem auf befahrbaren Flächen zur Nachbereitung von gefrästen Flächen oder Abtrag von Anlagerungen und Ähnlichem; für vertikale Flächen mit Hängevorrichtung – Stahlkugeln werden durch Schleuderrad auf die Oberfläche geschleudert, magnetische Abtrennung der Stahlkugeln und Wiederzuführung in den Strahlkreislauf – Nicht auf feuchten oder unebenen Untergründen einsetzbar – Hohe Flächenleistung umweltschonend erzielbar
Flammstrahlen	– Maschinenbrenner bis 75 cm Arbeitsbreite und Handbrenner bis 50 cm Breite – Vorteilhaft bei öl- und fettbelasteten Böden, Reduzierung der Chloridbelastung – Flammkegeltemperatur 2900 °C (Mischgase) und 3200 °C (Acetylen + Sauerstoff) – Nachfolgende mechanische Bearbeitung und gegebenenfalls Epoxidharzgrundierung notwendig – Hohe Flächenleistung (Vorschubgeschwindigkeit $\geq$ 1 m/min)
Absaugen	– Reinigung nach Maßnahmen der Untergrundvorbereitung auf waagerechten und schwach geneigten Flächen, mit Handgeräten auch an Wänden und Decken – Aufnahme von Wasser möglich
Entstauben	– Mit Sauggeräten, Besen oder Druckluft – Vorteilhaft an senkrechten Flächen und über Kopf – Absetzen von aufgewirbeltem Staub auf bereits gereinigten Flächen sollte vermieden werden
Trocknen	– Mit Warmluft oder mit Elektro- und Gasstrahlern – Stehendes Wasser ist zuvor aufzunehmen – Druck- oder Zugluft wirken begünstigend

Tab. 1.58 Verfahren zur Vorbereitung von Stahloberflächen

Verfahren	Anwendung/Hinweise
Nadeln	– Elektrisch bzw. pneumatisch betriebene Nadelpistolen – Entfernen von Blattrost und Rostkrusten – Oberflächenvorbereitungsgrad für das Beschichten von Stahl wird nicht erreicht, weitere Bearbeitung notwendig
Schleifen	– Zur Bearbeitung flächiger Stahlteile – Für Bewehrungsstahl in Schadstellen nicht bzw. sehr bedingt geeignet
Druckstrahlen mit Luft und Feststoffen	– Druckluftstrahlen unter Zugabe fester Strahlmittel (z. B. Schmelzkammerschlacke, Korund, Siliziumkarbid oder Stahlgranulat) – Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 1/2 bis Sa 3 erreichbar – Am meisten eingesetztes Verfahren – Entrosten der Bewehrungsrückseiten mit gutem Ergebnis möglich
Druckstrahlen mit Wasser	– Wasserdrücke von 100 bis 3000 bar – Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 1/2 nicht erreichbar – Einsetzbar, wenn Korrosionsschutz durch Passivierung mit alkalischen Stoffen (Mörtel bzw. Beton) ausgeführt wird – Problematisch bei versalzten Bauteilen, Nachbearbeitung im Trockenverfahren notwendig
Druckstrahlen mit Wasser und Feststoffen	– Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2 1/2 bis Sa 3 unmittelbar nach Beendigung des Vorganges erreichbar, jedoch Flugrostbildung beim Trocknen
Feucht- bzw. Nebelstrahlen	– Ähnliche Ergebnisse wie beim Druckstrahlen mit Wasser und Feststoffen, jedoch geringere Neigung zur Flugrostbildung
Vakuumstrahlen	– Sehr gute Ergebnisse, jedoch sind die Bewehrungsrückseiten schwer zu erreichen
Schleuderstrahlen bzw. Kugelstrahlen	– Sehr hoher Oberflächenvorbereitungsgrad – Bevorzugt an flächigen Bauteilen einsetzbar bzw. an Bauteilen, die der Breite des Strahlgerätes entsprechen, daher keine Entrostung von Bewehrungen möglich
Entstauben	– Mit Druckluft – Absetzten von aufgewirbelten Staub auf bereits gereinigten Flächen sollte vermieden werden
Trocknen	– Beim Trocknen von Stahlteilen besteht das Risiko von Flugrostbildungen – Nacharbeiten im Trockenstrahlverfahren ist notwendig

- Festigkeit (Druck, Zug);
- temperatur- und feuchteabhängiges Verformungsverhalten
  - unter Last (Kurzzeit, Langzeit),
  - lastfrei (Schwinden, Quellen, Temperaturdehnung);
- Durchlässigkeit gegenüber
  - Wasser,
  - Wasserdampf,
  - anderen Flüssigkeiten, Gasen, Ionen;

- Widerstand gegen
  - Frost und gegebenenfalls Frost-Tausalz,
  - Feuchtigkeit,
  - von außen einwirkende Schadstoffe in wässriger oder organischer Lösung,
  - Alkalität des Zementsteins,
  - UV-Strahlung,
  - Temperatur,
  - mechanischen Verschleiß;
- Haftung am Beton und zwischen einzelnen Schichten;
- Dauerhaftigkeit der oben genannten Eigenschaften.

Es dürfen nur zugelassene Produkte eingesetzt werden, die den Einwirkungen aus Umwelt und Gebrauch über den Zeitraum der geplanten Nutzungsdauer widerstehen.

1.7.6.3 Füllen von Rissen und Hohlräumen

Rissmerkmale

Das von Rissen ausgehende Risiko besteht im Zutritt korrosiver Medien zum Betongefüge und zur Bewehrung sowie in der Auflösung des Verbundes, wodurch die Tragfähigkeit eines Bauteils aus Stahlbeton beeinträchtigt wird. Da der Beurteilung von Rissen, insbesondere des Rissverlaufs innerhalb eines Bauteils, Grenzen gesetzt sind, sollten die vorhandenen Möglichkeiten der Diagnose vollständig ausgeschöpft werden. Vor Beginn der Instandsetzung sind die Rissmerkmale hinsichtlich

- Rissart,
- Rissverlauf,
- Rissbreitenänderungen,
- Zustand der Risse und Rissufer,
- vorangegangenen Maßnahmen,
- Zugänglichkeit der Risse und
- Rissursachen

unter Ausschöpfung der in Tab. 1.54 beschriebenen Untersuchungsmethoden zu erfassen und zu dokumentieren. Durch eine ausführliche Inaugenscheinnahme und Entnahme von Bohrkernen können bereits wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden.

Die Bestimmung der Rissbreite wird zumeist vor der Durchführung vorbereitender Oberflächenbehandlungen (Strahlen etc.) durchgeführt, um die Rissufer im „Originalzustand“ erfassen zu können (Abb. 1.284). Tatsächlich werden beim Strahlen die Kanten gebrochen, und der Riss wird aufgeweitet, womit der Riss dann breiter erscheint. Andererseits kann, z. B. bei einem stark gestörten Zustand der Rissufer, erst nach dem Strahlen das wirkliche Ausmaß der Risse erkennbar werden.



Abb. 1.285 Sternriss, ausgehend von einer zwischenzeitlich ausgewaschenen Betonverunreinigung

Interessant ist jedoch vor allem die Breite der Risse im Bereich der Bewehrung, um das Risiko durch eine Bewehrungskorrosion zu beurteilen. Hierzu liefern die an der Oberfläche gemessenen Rissbreiten bestenfalls Hinweise. Daher sollten immer, wenn der Verdacht besteht, dass der Riss Feuchtigkeit bis zur Bewehrung transportiert, Bohrkerne aus dem Rissbereich entnommen werden. In der Tab. 1.59 werden injizierbare Rissarten vorgestellt. Fortschreitende Rissbildungen infolge von Betonkorrosion und Treiberscheinungen, bei denen eine Rissinjektion keine Erfolgsaussichten aufweist, bleiben unberücksichtigt.

Feuchtezustand von Rissen

Für die Auswahl des Füllstoffs und des Verfahrens sind der Feuchtezustand des Risses und der Rissufer maßgeblich zu beachten. Unterschieden wird zwischen den Feuchtezuständen

- trocken bzw. Ausgleichsfeuchte entsprechend der Umgebungsbedingungen,
- feucht,
- drucklos wasserführend,
- unter Druck wasserführend.

Das Ermitteln des Feuchtezustandes kann visuell oder zur Unterscheidung zwischen trocken und feucht durch trocken gebohrte Kerne vorgenommen werden. Epoxidharze dürfen nicht zur Tränkung oder Injektion feuchter Risse angewendet werden.

Injektionsverfahren und Füllstoffe

Zur Auswahl stehen Verfahren zum Instandsetzen von Rissen oder Hohlräumen mit Rissfüllstoffen unter Druck durch Injektion oder drucklos durch Vergießen oder Tränken. Durch die Füllung muss sichergestellt werden, dass das Eindringen oder Durchdringen von betonangreifenden Stoffen oder Wasser auch bei zu erwartenden Rissbreitenänderungen auf ein unschädliches Maß reduziert wird. Weitere Zielstellungen sind das Sicherstellen oder das Wiederherstellen der Tragfähigkeit des Bauteils. Folgende Prinzipien kommen zur Instandsetzung von Rissen zur Anwendung:

Tab. 1.59 Arten und Merkmale verschiedener Rissformen

Rissart		Merkmal
Oberflächennahe Risse	Risse längs der Bewehrung	Verlaufen häufig oberhalb der oberen Bewehrungslage an nicht geschalten Bauteilflächen. Je nach Ursache (Setzen des Frischbetons, Frühschwinden) entstehen Fehlstellen unterhalb der Bewehrung
	Verbundrisse	Ähnliche Erscheinungsform wie zuvor. Verlaufen parallel zu den Bewehrungsstäben. Sie dringen in der Regel bis zur Bewehrung vor
	Netzrisse	Treten an der Oberfläche von flächigen Bauteilen auf. Sie können der Bewehrung folgen oder aber „wild“ verlaufen. Die Risstiefe ist meistens gering
Trennrisse	Zugrisse	Gehen durch den gesamten Bauteilquerschnitt und treten bei zentrischem Zug oder bei Zugbeanspruchung mit kleiner Ausmitte auf
	Biegerisse	Verlaufen annähernd senkrecht zur Biegebeanspruchung. Beginnen am Zugrand und enden im Bereich der Nulllinie
	Schubrisse	Sind zur Stabachse geneigt. Können sich aus Biegerissen entwickeln
	Sammelrisse und Zwischenrisse	Nur wenige Risse dringen bis zur Nulllinie vor. Sie treten meist an stark bewehrten Randzonen infolge von Biegung (vgl. Biegerisse) oder bei dicken Bauteilen infolge zentrischer Zugbeanspruchung (vgl. Zugrisse) auf
		Zwischen den Sammelrissen entstehen oft Zwischenrisse, das heißt feine Risse zwischen Biegerissen oder Sammelrissen, die auf den Bereich der Bewehrungslage beschränkt bleiben

- Reduzieren der Rissbreite als Schutz gegen das Eindringen von Schadstoffen in das Bauteil,
- Abdichten der Risse als Schutz gegen das Durchdringen des Bauteils,
- dehnfähiges Verbinden der Rissflanken mit elastischen Materialien zum dauerhaft begrenzt beweglichen Verschluss des Risses,
- kraftschlüssiges Verbinden der Rissflanken zur Herstellung eines zug- und druckfesten Verbundes im Bauteil.

Verfahrensbedingt beinhalten das kraftschlüssige wie auch das dehnfähige Verbinden das Schließen und Abdichten von Rissen. Daher besteht, sofern die Risstränkung ausscheidet, ausschließlich die Wahl zwischen diesen beiden Prinzipien.

Entsprechend dem vorgesehenen Verwendungszweck werden die Rissfüllstoffe in drei Kategorien eingeteilt:

- Rissfüllstoffe für kraftschlüssiges Füllen von Rissen, Hohlräumen und Fehlstellen in Beton (F): Rissfüllstoffe, die in der Lage sind, einen Verbund mit der Rissflanke zu

bilden und Zug-, Druck- und Schubkräfte mit rissfüllstoffabhängigen Festigkeitseigenschaften zu übertragen (kraftschlüssig, „force transmitting“: F);
- Rissfüllstoff für begrenzt dehnbares Füllen von Rissen, Hohlräumen und Fehlstellen in Beton (D): dehnbarer Rissfüllstoff, der nach dem Füllen in der Lage ist, einen Verbund mit der Betonflanke zu bilden und Rissbreitenänderungen aufzunehmen (dehnbar, „ductile“: D);
- Rissfüllstoff für quellfähiges Füllen von Rissen, Hohlräumen und Fehlstellen in Beton (S): Rissfüllstoff, der in der Lage ist, wiederholt durch Wasseradsorption zu quellen, wobei die Wassermoleküle physikalisch an die Moleküle des Rissfüllstoffs gebunden werden (quellfähig, „swelling“: S).

In Abhängigkeit von der stofflichen Zusammensetzung werden folgende Materialien unterschieden:

- Epoxidharz (EP) – für Tränkung, Injektion für kraftschlüssiges Verbinden;
- Polyurethanharz (PUR) – Injektion für dehnfähiges Verbinden;
- Zementleim (ZL) – Tränkung, Injektion für kraftschlüssiges Verbinden;
- Zementsuspension (ZS) – Tränkung, Injektion für kraftschlüssiges Verbinden.

Die genannten Stoffgruppen sind bauaufsichtlich zugelassen. Daneben existieren weitere Stoffe wie z. B. Acrylatgele mit Zulassungen für den Einsatz bei Schleierinjektionen. Diese Materialien können unter Umständen bei Rissinstandsetzungen als Alternative eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich jedoch um eine Sonderlösung, und diese ist daher vom Bauherren festzulegen.

Von einigen Herstellern werden inzwischen Injektionsmittel auf der Basis von Polyurethan angeboten, die eine ähnliche hohe Verbundwirkung zum Beton erreichen, wie epoxidharzgebundene Füllstoffe. Diese Materialien werden baupraktisch jedoch noch wenig eingesetzt und sind für das kraftschlüssige Verbinden bauaufsichtlich noch nicht zugelassen. Auch hier gilt, dass der Verwendung durch den Bauherren zugestimmt werden muss.

Wurden im Bauteil bereits Tränkungen oder Injektionen vorgenommen, sind Materialunverträglichkeiten auszuschließen. Das zuvor verwendete Produkt oder zumindest die Füllstoffart sollten bekannt sein. Hierzu sind in der Tab. 1.61 Hinweise enthalten.

Tränken/Vergießen Das Tränken bzw. Vergießen von Rissen (Abb. 1.286) kann unter Verwendung von Zementemulsionen, Zementsuspensionen oder Epoxidharz erfolgen. Zur Erhöhung der Materialaufnahme sind die Risse, z. B. durch Ausblasen oder Fluten mit Wasser zu reinigen und gegebenenfalls an der Oberfläche auszuweiten.

Dehnfähiges Verbinden Sind gerissene Bauteile abzudichten und unterliegen die Rissflanken auch zukünftig noch Bewegungen, werden zweikomponentige Polyurethanharze

Tab. 1.60 Einsatzmöglichkeiten der Rissfüllstoffe nach DAfStb[e]

Zielstellung	Verfahren	Füllart	Feuchtezustand der Füllbereiche			
			Trocken[a] DY („dry“)	Feucht DP („damp“)	Drucklos wasserführend WT („wet“)	Unter Druck wasserführend[b] WF („water-flow“)
Schließen (Begrenzung der Rissbreite durch Füllen)	1.5a 7.6a	Durch Injektion	F-I (P) F-I (H) D-I (P)	F-I (P)[c] F-I (H) D-I (P)	– F-I (H) D-I (P)	– F-I (H) D-I (P)
	1.5b[d] 7.6b[d]	Durch Vergießen	F-V (P) F-V (H)	– F-V (H)	– –	– –
Abdichten	1.5a 2.6	Durch Injektion	F-I (P) F-I (H) D-I (P)	F-I (P)[c] F-I (H) D-I (P)	– F-I (H) D-I (P)	– – D-I (P)
	1.5b	Durch Vergießen	F-V (P) F-V (H)	– F-V (H)	– –	– –
Kraftschlüssiges Verbinden	4.5a	Durch Injektion	F-I (P) F-I (H)[e]	F-I (P)[c] F-I (H)[e]	– F-I (H)[e]	– F-I (H)[e]
	4.5b[d]	Durch Vergießen	F-V (P) F-V (H)[e]	– F-V (H)[e]	–	–

[a]Flanken von Rissen und innere Oberflächen von Hohlräumen müssen gegebenenfalls gemäß Angaben zur Ausführung vorgenässt werden.
[b]Zusammen mit Maßnahmen zur Druckminderung (z. B. Entlastungsbohrungen, Wasserhaltung) und rückseitigem Abdichten (SPUR)
[c]F-I (P) mit explizit nachgewiesener Feuchteverträglichkeit
[d]Füllgrad muss durch Bohrkernentnahme nachgewiesen werden
[e]Gilt sinngemäß auch für Hohlräume
F: Rissfüllstoff für kraftschlüssiges Füllen von Rissen, mit reaktivem Polymerbindemittel (P) hergestellt, z. B. Epoxidharz (EP), mit hydraulischem Bindemittel (H) hergestellt, z. B. Zementleim (ZL) oder Zementsuspension (ZS)
D: Rissfüllstoff für begrenzt dehnbares Füllen von Rissen, mit reaktivem Polymerbindemittel (P) hergestellt z. B. Polyurethan (PUR); evtl. mit zugehörigem schnellschäumenden Polyurethan (SPUR)
I: Injektion, V: Vergießen

injiziert. Nach der Aushärtung bleiben PUR-Harze bedingt dehnfähig und erreichen dennoch eine abdichtende Wirkung. Bei der Instandsetzung wasserführender Risse kann es notwendig sein, zunächst die Belastung durch das drückende Wasser zu reduzieren. Hierzu eignen sich schnell schäumende Polyurethane (SPUR), die an der Wassereintrittsstelle im hinteren Drittel oder hinter dem Riss injiziert werden. SPUR sind nicht dauerhaft abdichtend, sondern ermöglichen den nachfolgenden Einsatz des regulären Injektionsmaterials.

Kraftschlüssiges Verbinden Für die Instandsetzung statisch bedingter Risse zur Wiederherstellung zug- und druckfester Verbindungen werden Zementemulsionen, Zementsus-

Tab. 1.61 Füllstoffe

Kurzbezeichnung	Füllgut	Füllart	Rissbreite in mm[a]	Mindesttemperatur[b]	Vorhergehende Maßnahmen
EP-T	Epoxidharz	Tränken	≥ 0,20	8 °C	Keine
ZL-T	Zementleim	Tränken	≥ 0,80	5 °C	Keine mit EP
ZS-T	Zementsuspension	Tränken	≥ 0,40	5 °C	Keine mit EP
EP-I	Epoxidharz	Injektion	≥ 0,10	8 °C	Keine mit Kunststoff
PUR-I	Polyurethanharz	Injektion	≥ 0,30	6 °C	Nachinjektion zulässig
ZL-I	Zementleim	Injektion	≥ 0,80	5 °C	Keine mit Kunststoff
ZS-I	Zementsuspension	Injektion	≥ 0,25	5 °C	Keine mit Kunststoff

[a]Unter bestimmten Umständen und materialabhängig sind Rissbreiten bis 0,1 mm erreichbar.
[b]Temperatur von Füllgut, Bauteil und Umgebungsluft.

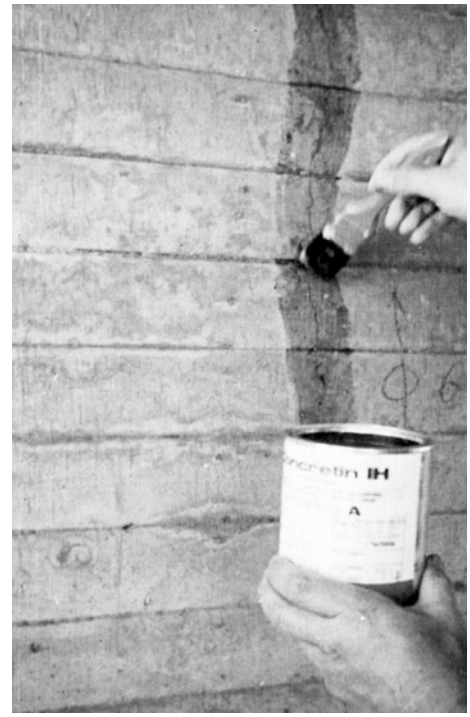


Abb. 1.286 Pinseltränken. (Quelle: ILS Hamburg)

pensionen oder Epoxidharz verwendet. Aufgrund der sehr unregelmäßigen Oberfläche und der Rauigkeit der Rissflanken können nach einer Injektion zum kraftschlüssigen Verbinden nicht nur senkrecht zum Riss wirkende Kräfte aufgenommen werden, sondern auch schräg oder parallel wirkende. Die Festigkeit von Zementleimen und Zementsuspensionen ist aufgrund der eingesetzten Füllstoffe begrenzt. Ein kraftschlüssiges Verbinden von Rissflanken in Beton der Druckfestigkeitsklassen ≥ C 20/25 mit zementgebundenem Füllgut ist daher zweifelhaft.

Grundsätzlich sollten Injektionen bei möglichst geringen Temperaturen ausgeführt werden, da dann die Rissbreite aufgrund der temperaturbedingten Dilatation der Bauteile am größten ist. Hierdurch wird sichergestellt, dass ein Maximum an Füllgut in den Riss eingebracht werden kann. Insbesondere bei dehnfähigen Injektionsmaterialien, deren Dehnfähigkeit lediglich im Durchschnitt 5–10 % der Rissbreite beträgt, steigen dadurch die Erfolgsaussichten der Maßnahme. Mittlerweile werden von einzelnen Herstellern Injektionsmittel auf PUR-Basis mit einer Dehnfähigkeit von bis zu 30 % angeboten. Doch selbst bei diesen Produkten beträgt die aufnehmbare Rissbreitenänderung des Materials in einem 0,3 mm breiten Riss lediglich ca. 0,1 mm. Es ist in jedem Fall sicherzustellen, dass die Rissflanken frei von haftungsmindernden Verunreinigungen sind.

Weitere Verfahren der Rissinstandsetzung

- Örtliche Abdeckung von Rissen (Bandagen)
- Umwandeln von Rissen in Dehnfugen

Ausführung von Injektionen

Bohrlöcher/Einfüllstutzen Das Einbringen des Injektionsmittels erfolgt über Einfüllstutzen (umgangssprachlich Packer), die zwischen Bohrpackern und Klebepackern unterschieden werden (Tab. 1.62).

Klebepacker (siehe Abb. 1.287, 1.288 und 1.289) werden mit EP- oder PUR-Harz außen auf dem Bauteil mittig über dem Riss im Abstand der halben Bauteildicke (D/2) befestigt. Der übrige Rissverlauf wird mit dem gleichen Material wie der Kleber verdämmt. Das Aufkleben der Bohrpacker ist jedoch nur auf einem trockenen Untergrund möglich.

Die Bohrlöcher zur Aufnahme der Bohrpacker (vgl. Abb. 1.290, 1.291 und 1.292) werden in einem Winkel von 45° zur Bauteiloberfläche so eingebracht, dass die Bohrung den Riss mittig trifft. Der Abstand der Bohrungen beträgt die Hälfte der Bauteildicke, also D/2. Bei Bauteilen mit einer Dicke ≥ 60 cm sollte der Abstand auf D/4 reduziert werden. Aus praktischen Erfahrungen empfiehlt es sich, die Bohrungen möglichst immer beidseitig im Wechsel einzubringen. Nach dem Bohren sind die Bohrlöcher durch Aussaugen oder Ausblasen gründlich zu reinigen.

Von den beschriebenen Regelanordnungen kann, wenn die baulichen Bedingungen es erfordern, auch abgewichen werden. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass das Füllgut dennoch den Riss vollständig erreicht.

Tab. 1.62 Vergleich der Verfahren

	Vorteile	Nachteile
Klebepacker	– Bauteil wird nicht beschädigt – Einfache Montage – Zeitaufwand gering – Anzahl der Packer halbiert sich gegenüber Bohrpackern – Kostenaufwand geringer	– Injektionsdruck auf max. 60 bar begrenzt – Verdämmung erforderlich, daher Untergrundvorbereitung notwendig – Nur auf trockenen Oberflächen anwendbar – Füllgut verteilt sich von außen nach innen; Erfolg in der Tiefe nicht prüfbar
Bohrpacker	– Injektionsdruck $\geq$ 60 bar möglich – An nassen Bauteilen anwendbar – Verdämmung nicht zwingend notwendig – Füllgutverteilung von innen nach außen; Erfolg in der Tiefe, wenn Füllgut an der Oberfläche austritt	– Bauteil wird geschädigt, Nacharbeiten erforderlich und Risiko für Beschädigung der Bewehrung – Zeitaufwand höher – Doppelte Anzahl Bohrpacker als bei der Verwendung von Klebepackern – Kostenaufwand größer

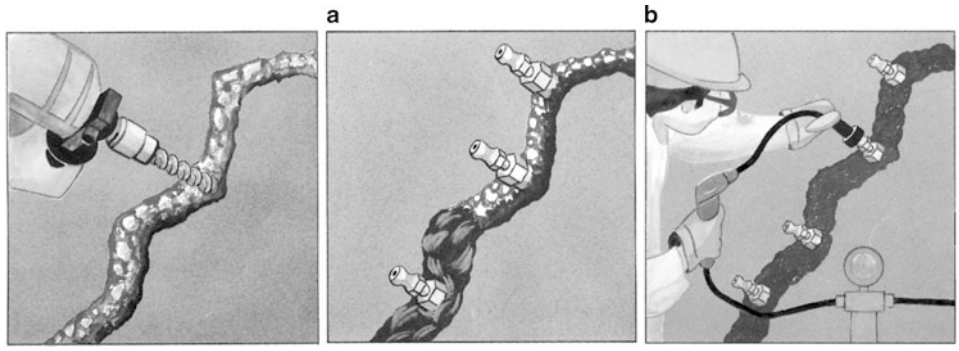


Abb. 1.287 Schematische Darstellung der Arbeitsschritte bei der Verwendung von Klebepackern. (Quelle: ILS Hamburg)

Verdämmung Das Verdämmen der Risse wird ausgeführt, um das unkontrollierte Austreten des Injektionsmaterials zu verhindern. Insbesondere bei der Verwendung von Klebepackern muss aufgrund der Injektionsrichtung von außen nach innen, bzw. um den dafür notwendigen Druck aufbauen zu können, der Riss grundsätzlich verschlossen werden. Abweichend davon kann auf das Verdämmen beim Einsatz von Bohrpackern an waagerechten oder schwach geneigten Flächen, wenn von oben nach unten verpresst wird, verzichtet werden. Gleiches gilt, wenn PUR-Injektionen ausgeführt werden, nicht zuletzt, weil auf feuchten oder nassen Oberflächen kein ausreichender Haftverbund mit dem Verdämmmaterial erreichbar ist.

Für das Verdämmen muss die Haftung auf dem Betonuntergrund durch geeignete Maßnahmen wie das Schleifen oder der Einsatz der Nadelpistole zuvor verbessert werden. Der

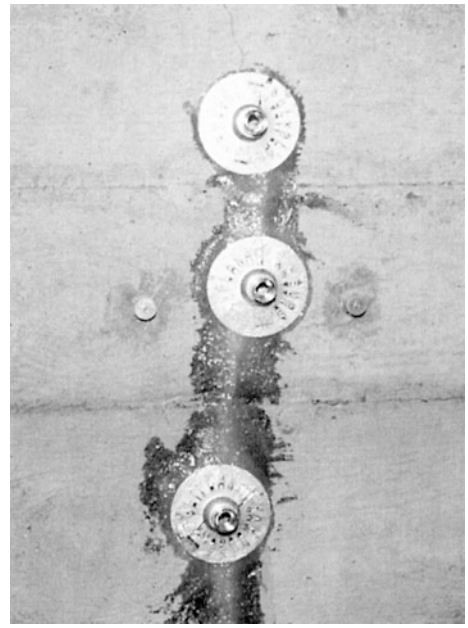


Abb. 1.288 Klebepacker. (Quelle: ILS Hamburg)

Riss ist dann beidseitig mindestens 5 cm breit zu überdecken. Die besten Ergebnisse beim Verdämmen erreichen Spachtelmassen auf der Basis von Polyurethan. Einerseits haften sie gut und widerstehen dabei dem Injektionsdruck, auf der anderen Seite sind sie rückstandslos entfernbar. Um die Verdämmung leichter entfernen zu können, sollte der Randbereich vor dem Auftrag der Spachtelmasse abgeklebt werden. Hiermit wird ein scharfkantiger Abschluss erzielt, der das Ansetzen der Stemmwerkzeuge erleichtert.

Injektionspumpen Überwiegend werden nach wie vor Ein- und Zweikomponenteninjektionspumpen (Abb. 1.293) eingesetzt. Neuerdings sind jedoch Injektionsprodukte auf dem Markt, die aus 3 Komponenten bestehen und dementsprechende Injektionspumpen erfordern.

Injektionspumpen nehmen das Füllgut entweder über integrierte Einfüllbehälter auf, in die das Material nach dem Anmischen eingebracht wird, oder das Injektionsmaterial wird direkt aus den Gebinden angesaugt. Letzteres ist bei zwei- oder mehrkomponentigen Füllgütern die Standardmethode.

Tränken Auf waagerechten Flächen ist das Tränken relativ einfach anzuwenden, der Füllstoff wird so lange eingebracht, bis vom Riss kein Material mehr aufgenommen werden kann. Um die Materialaufnahme zu intensivieren, können entlang des Risses beidseitig kleine Dämme aus Mörtel, Kleber oder Kitt angelegt werden, und/oder der Riss wird zuvor aufgeweitet.

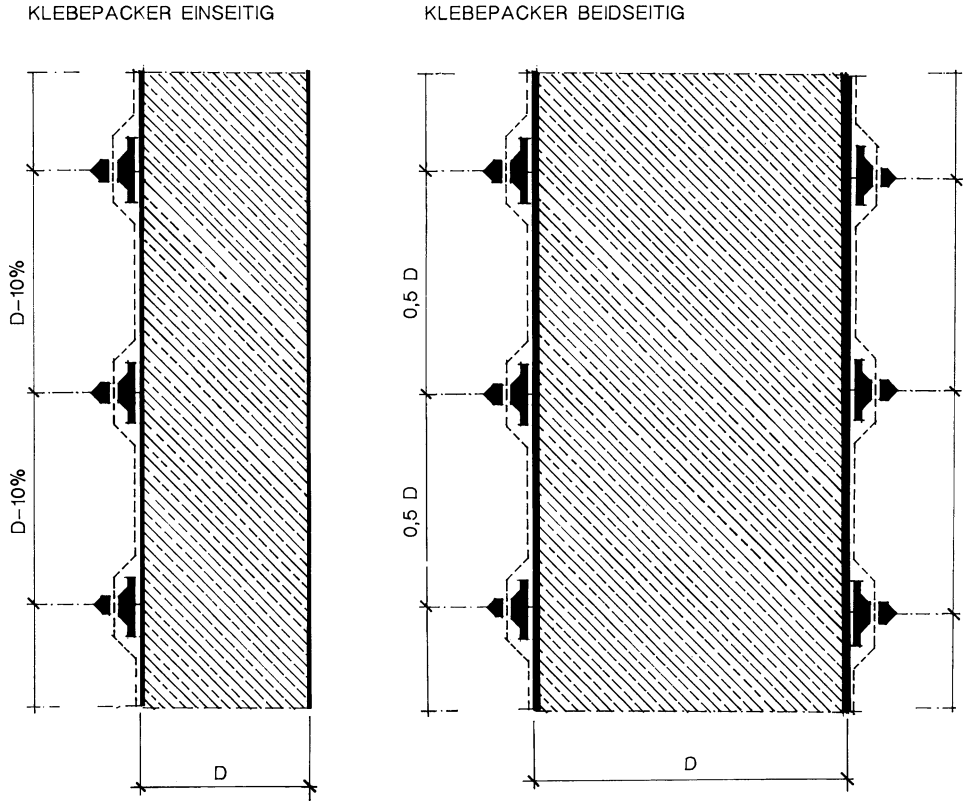


Abb. 1.289 Einbauabstände von Klebepackern in Abhängigkeit von der Bauteildicke. (Quelle: ILS Hamburg)

An senkrechten Flächen oder über Kopf muss der Füllstoff mit dem Pinsel aufgetragen werden. Mit dieser Methode ist kein signifikanter Materialeintrag möglich, sondern der Riss wird lediglich an der Oberfläche verschlossen. Daher entspricht die „Pinselinjektion“ im Grunde keinem Füllverfahren, das zum Schließen von Rissen geeignet ist.

Injektion Beim Injizieren an senkrechten oder geneigten Flächen wird grundsätzlich von unten begonnen. Der Vorgang wird so lange ausgeführt, bis am nächsten oberen Packer das eingebrachte Füllgut austritt. Am oberen Ende des verdämmten Risses muss eine Austrittsöffnung planmäßig angelegt sein, damit der Austritt des Materials kontrolliert erfolgt und der Füllvorgang prüfbar bleibt (Abb. 1.294).

Der Arbeitsablauf an waagerechten Flächen, unabhängig davon ob an der Ober- oder Unterseite eines Bauteils injiziert wird, beginnt am Rissabschnitt mit der größten Breite und endet dort, wo der Riss gegen null ausläuft.

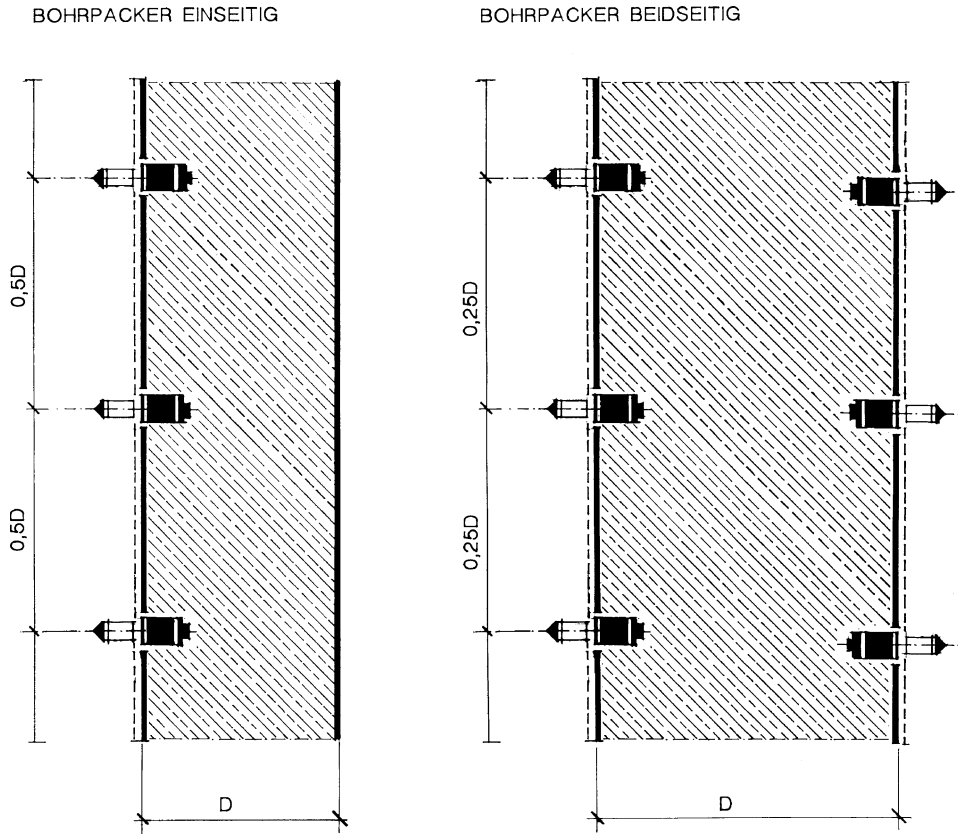


Abb. 1.290 Einbauabstände von Bohrpackern in Abhängigkeit von der Bauteildicke. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 1.291 Das fachgerechte Anlegen der Bohrlöcher wird durch die Verwendung einer 45°-Lehre erheblich vereinfacht



Abb. 1.292 Lagerichtige Anordnung der Bohrpacker entlang einer Arbeitsfuge. Die roten Markierungen kennzeichnen die obere Bewehrungslage der Bodenplatte



Abb. 1.293 2-K-Injektionspumpe

Als sehr vorteilhaft zur Überprüfung der Lage der Bohrpacker sowie der Feststellung des Materialdurchganges im Bohrkanal und im Riss hat sich das Vorverpressen mit Wasser bewährt. Diese Methode kann jedoch nicht angewendet werden, wenn Epoxidharze injiziert werden sollen oder der Riss in Bezug auf das injizierte Material trocken sein muss. Sofern die Möglichkeit besteht, sollte jedoch immer mit Wasser vorverpresst werden.

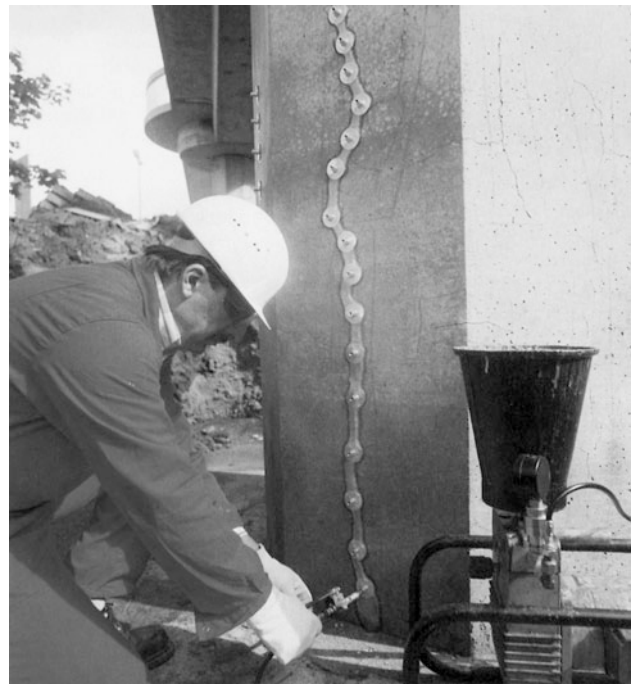


Abb. 1.294 Rissverpressung an einer Stütze bei Verwendung von Klebepackern. (Quelle: ILS Hamburg)

1.7.6.4 Korrosionsschutz der Bewehrung

Neben dem Beschichten der Bewehrung um den Stahl vor dem Zutritt korrosionsauslösender Stoffe zu schützen, besteht die Möglichkeit des kathodischen Korrosionsschutzes. Allerdings wird auf den kathodischen Korrosionsschutz hier nicht näher eingegangen, da das Hauptaugenmerk in diesem Buch auf den handwerklichen Verfahren liegt.

Vor der Applikation einer Korrosionsschutzbeschichtung ist sicherzustellen, dass die Stahloberfläche trocken, staub- und fettfrei ist. Die Materialtemperatur der Bewehrung und die Temperatur der unmittelbar umgebenden Luft müssen mindestens 3 K über der Taupunkttemperatur liegen, um kondensierende Feuchte auf der Stahloberfläche und Haftungsprobleme zu vermeiden.

Für die Beschichtung der Bewehrung werden überwiegend reaktionserhärtende Systeme (epoxidharzgebundene PC-Beschichtung) mit einer Mindestschichtdicke von 300 µm oder kunststoffmodifizierte zementgebundene Systeme (PCC) mit einer Mindestschichtdicke von 1000 µm eingesetzt. Die Beschichtung muss in mindestens zwei Arbeitsgängen ausgeführt werden, um an jeder Stelle die Mindestschichtdicke zu erreichen. Üblicherweise sind die Materialien für jeden Arbeitsgang unterschiedlich eingefärbt, so kann der Auftrag der einzelnen Arbeitsgänge nachvollziehbar geprüft werden (Abb. 1.295).

PC-Beschichtungen für Bewehrungen sind ausschließlich für die Applikation auf Stahloberflächen zugelassen, jedoch sollten für einen dichten Anschluss die Übergänge zum Beton um einige Millimeter überlappend ausgebildet werden. Da die Oberflächen-

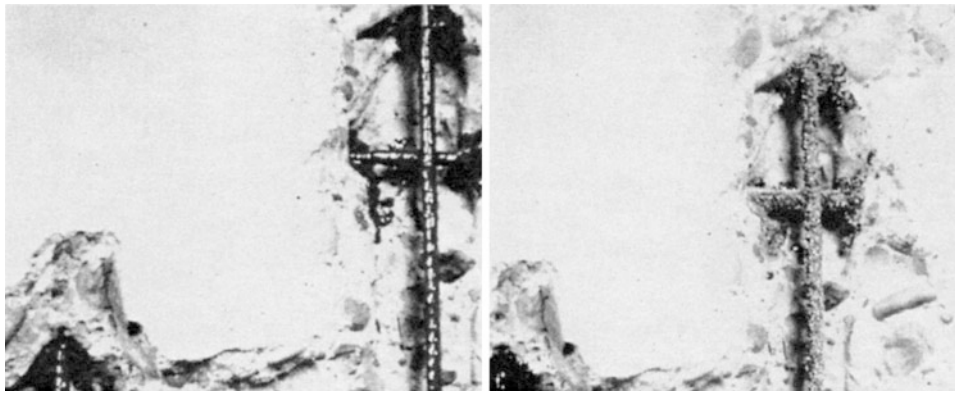


Abb. 1.295 Korrosionsschutz an der entrosteten Bewehrung: **a** erste Schicht, **b** zweite Schicht mit Absandung. (Quelle: ILS Hamburg)

rauigkeit von reaktionserhärtenden Systemen für einen ausreichenden Haftverbund mit nachfolgenden Betonersatzstoffen nicht immer ausreichend ist, wird das Absanden mit einem feuergetrockneten Quarzsand zur Verbesserung des Verbundes empfohlen.

Reaktionserhärtende Systeme sind geschlossene Systeme und müssen die Bewehrungsoberfläche vollständig bedecken. Fehlstellen in der Beschichtung bilden kleine Anoden, die einer sehr großen Kathode gegenüberstehen. Daher kann die mangelhafte Ausführung der Beschichtung zu einem beschleunigten Korrosionsprozess führen oder Korrosion an Stellen provozieren, die bisher frei von ihr waren.

Kunststoffmodifizierte zementgebundene Systeme (PCC) werden weitaus häufiger als reaktionserhärtende Systeme (PC) für den Schutz der Bewehrung eingesetzt. Der Nachteil von PC-Beschichtungen gegenüber PCC-Systemen liegt in dem spröderen Materialverhalten. PC-Beschichtungen sind daher anfälliger für Rissbildungen bei Temperaturdehnungen oder bei wechselnden Lasteinwirkungen.

Aufgrund des Zements als Bindemittel in PCC-Systemen liegt kein geschlossenes System vor, sondern der Korrosionsschutz besteht in der aktiven Passivierung der Stahloberfläche. Ein weiterer Vorteil ist in der gleichzeitigen Verwendbarkeit vieler PCC-Systeme als Haftbrücke auf der Betonoberfläche der Schadstelle zu sehen. Die Beschichtung der Bewehrung muss daher nicht mit der Präzision einer PC-Beschichtung ausgeführt werden, und die Ausbildung der Übergänge zwischen Bewehrung und Beton ist weit weniger risikobehaftet. Bei der Verwendung des gleichen PCC-Systems als Haftbrücke auf der Betonoberfläche ist zwingend erst der Korrosionsschutz der Bewehrung aufzubringen. Nachdem die Beschichtung vollständig ausgehärtet ist, kann in einem weiteren Arbeitsgang die Haftbrücke aufgetragen werden. Der Betonersatz ist dann „frisch in frisch“ aufzutragen.

1.7.6.5 Betonersatz – Reprofilierung

In der Zustandsklasse „c“ treten die häufigsten Betonschäden auf. Als Instandsetzungsmaßnahme hat sich dabei der handwerklich ausgeführte Betonersatz (Abb. 1.296), welcher aus Mörtel und Beton oder aus polymermodifiziertem Mörtel und Beton besteht, bewährt. Ist eine höhere Verdichtung oder Festigkeit des aufzubringenden Systems gefordert oder werden großflächige Schäden beseitigt, so ist die Anwendung spritzbarer Mörtel und Betone zu bevorzugen.

Instandsetzungsschritte (beispielhafte Ausführung):

1. Entfernen des lockeren und gestörten Betongefüges sowie Vorbereiten der Bewehrungsoberflächen mit den Verfahren aus Tab. 1.56 (Beton) und Tab. 1.57 (Bewehrung)
2. Ausführen des Korrosionsschutzes entsprechend des gewählten Instandsetzungssystems. Gegebenenfalls ist die Schlussbeschichtung zur Verbesserung des Verbundes mit Quarzsand abzustreuen

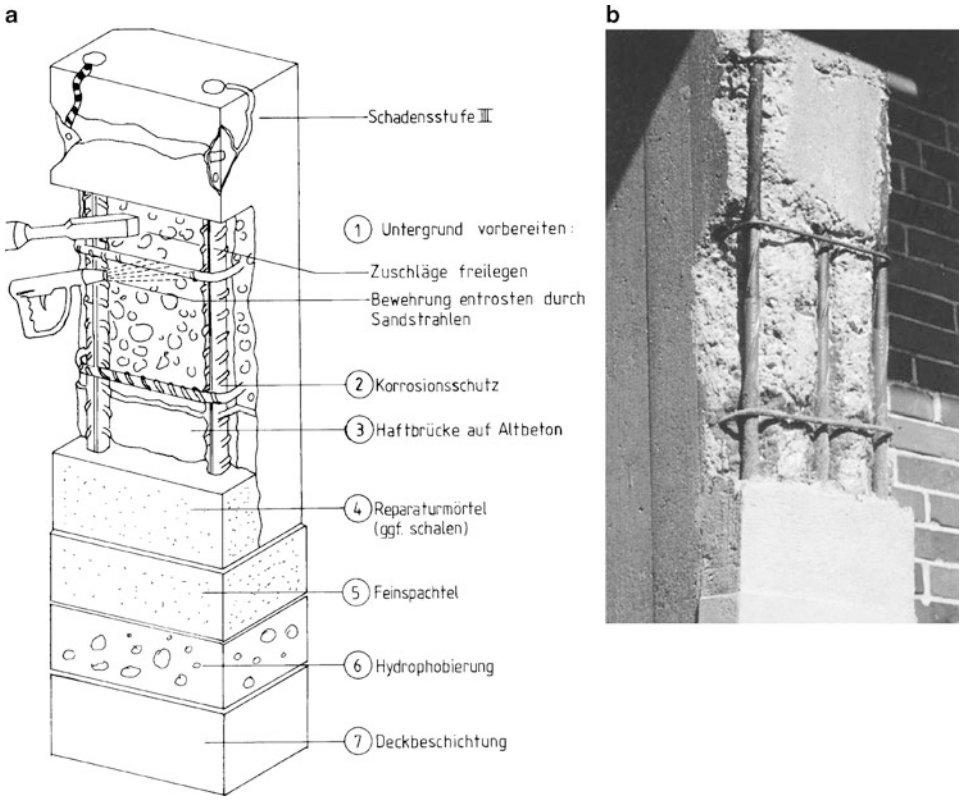


Abb. 1.296 Instandsetzungsschritte im handwerklich ausgeführten Betonersatzsystem. (Quelle: ILS Hamburg)

3. Auf den vorgenässten Altbeton wird eine Haftbrücke aufgebracht, um den Verbund zwischen dem Altbeton und dem Betonersatz zu verbessern
4. Reprofilieren der Ausbruchstelle mit einem Betonersatz. Die Schichtdicken sind entsprechend der Herstellerangaben einzuhalten. Sofern die Tiefe oder Lage der Ausbruchstelle es erfordert, ist der Instandsetzungsbereich einzuschalen
5. Bestehen Anforderungen an die Oberflächenqualität, ist mit einem Dünnputz oder einem Betonspachtel ein optischer Angleich zwischen neu und alt vorzunehmen
6. Sind zukünftig Rissbildungen und/oder ein erhöhter Feuchteanfall nicht auszuschließen, wird eine Hydrophobierung empfohlen
7. Als Oberflächenschutz ist, in Abhängigkeit von den auftretenden Belastungen, ein abschließender Anstrich, z. B. auf Siloxan-Acrylharzbasis oder eine witterungs- und alkalibeständige Kunststoffdispersion (Erhöhung der Frost-Tausalz-Beständigkeit) möglich

Untergrund Vor der Instandsetzung mit Beton, Spritzbeton, Vergussbeton oder Trockenbeton bzw. Trockenmörtel muss der Betonuntergrund frühzeitig und ausreichend vorgenässt sein. Bei der Verwendung der Betonersatzprodukte und -systeme RM, RC, SRM, SRC, PRM und PRC sind die Angaben zur Ausführung des Herstellers zu beachten. Baupraktisch bedeutet das, dass bereits einen Tag vor dem Applizieren der Instandsetzungsmaterialien mit dem Vornässen begonnen wird.

Die zu bearbeitende Fläche ist so weit zu egalisieren, dass nachteilige Effekte aufgrund differierender Schichtdicken des nachfolgenden Instandsetzungssystems ausgeschlossen sind, das heißt, Kiesnester und andere Fehlstellen sind sachgerecht auszuarbeiten und auszufüllen.

Haftbrücke Für den dauerhaften Verbund zwischen dem Altbeton und dem Betonersatz ist der Auftrag einer Haftbrücke auf den Untergrund von erheblicher Bedeutung (Abb. 1.297). Die Materialbasis der Haftbrücke sollte mit dem des Betonersatzmaterials identisch sein.

Der Einsatz zementgebundener Haftbrücken erfolgt nur unter hydraulisch erhärtendem Mörtel oder Beton, während Haftbrücken aus polymergebundenen Stoffen nur bei gleichartigen Betonersatzmaterialien angewendet werden. Damit die Haftbrücke nicht zur Trennschicht wird, muss der Betonersatz „frisch in frisch“ auf die Haftbrücke aufgetragen werden.

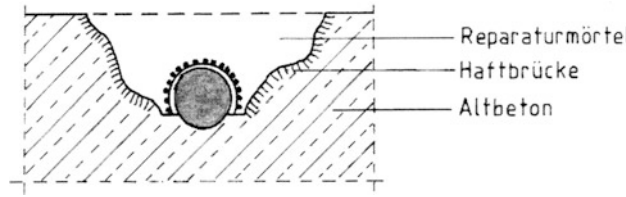


Abb. 1.297 Haftbrücke zwischen Altbeton und Betonersatz. (Quelle: ILS Hamburg)

Betonersatzmörtel und -betone Betonersatzprodukte sollten so eingestellt sein, dass ihre Materialkennwerte wie Festigkeit, Schwindmaß und Temperaturausdehnungsverhalten denen des auszubessernden Betons weitgehend ähnlich sind. Dabei ist zwischen dem Zustand nach dem Einbau und dem Verhalten gegenüber den Beanspruchungen während der späteren Nutzung zu unterscheiden. Welcher Mörtel- oder Betontyp für die jeweilige Instandsetzung am besten geeignet ist, muss nach den Erfordernissen des Einzelfalls entschieden werden. Hierbei sind vor allem Fragen der Bauphysik, des gewünschten Erscheinungsbildes, des Brandschutzes und nicht zuletzt der Kosten zu beachten.

Die Ausführung von Betonersatzmaßnahmen kann mit zement- oder kunststoffgebundenem Beton oder Mörtel mit zugehöriger Haftbrücke sowie Korrosionsschutz erfolgen. Ausgleichs- bzw. Kratzspachtel (Auftrag im Hand-, Betonier-, Verguss- oder Spritzverfahren) sind ebenfalls zulässig. Zusätze wie z. B. Fasern können die Verarbeitungsfähigkeit, die Dauerhaftigkeit und die bauphysikalischen Eigenschaften verbessern. Als Betonersatz nach der Instandhaltungsrichtlinie gelten:

- Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2,
- Spritzbeton nach DIN EN 14487 und DIN 18551,
- Betonersatz aus Trockenbeton nach DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel“,
- Betonersatz aus Spritzmörtel mit Anforderungen nach DIN EN 14487 in Verbindung mit DIN 18551,
- Betonersatz aus Vergussbeton nach DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussmörtel und Vergussbeton“,
- Betonersatz im Handauftrag (RM und RC),
- Betonersatz im Spritzverfahren (SRM und SRC),
- Polymermörtel (PRM) und Polymerbetone (PRC) im Handauftrag.

Daneben sind in der Instandhaltungsrichtlinie noch weitere Mörtel und Betone aufgeführt, die jedoch in der Fassadeninstandsetzung keine große Bedeutung haben.

Im Rahmen der europäischen Harmonisierung der Regelwerke wurde mit der Instandhaltungsrichtlinie eine neue Nomenklatur eingeführt, welche die alten Stoffbezeichnungen ablöst. Die aktuellen Bezeichnungen der Stoffgruppen lauten:

- Repair Concrete (RC): Beton als Betonersatz im Handauftrag;
- Repair Mortar (RM): Mörtel als Betonersatz im Handauftrag;
- SRC (Sprayable Repair Concrete): spritzbarer Beton als Betonersatz;
- SRM (Sprayable Repair Mortar): spritzbarer Mörtel als Betonersatz;
- PRM (Polymer Repair Mortar): Polymermörtel als Betonersatz im Handauftrag;
- PRC (Polymer Repair Concrete): Polymerbetone als Betonersatz im Handauftrag

Als Polymermörtel (PRM) und Polymerbetone (PRC) werden nach DIN EN 1504-1 Mischungen von reaktiven Polymerbindemitteln und abgestuften Gesteinskörnungen, die

durch eine chemische Reaktion, z. B. Polymerisation, Polyaddition oder Polykondensation verfestigen, bezeichnet.

Sollen Polymermörtel oder Polymerbeton in statisch relevanten Bereichen eingesetzt werden, ist zwingend zu prüfen, ob das Produkt einen ausreichenden Widerstand gegenüber einer Brandbeanspruchung aufweist bzw. ob es für diesen Anwendungsfall bauaufsichtlich zugelassen ist.

Feinspachtel Feinspachtelmassen (auch: Betonspachtel) werden hauptsächlich als dünnschichtige Überarbeitungen der Betonoberfläche, u. a. zum Egalisieren, dem Füllen von Poren und zur Strukturangleichung angewandt. In der Regel dienen sie dabei der optischen Verbesserung der Betonoberfläche. Darüber hinaus sind Feinspachtel zum Verfüllen von Leitungs- und Rohrschlitzen oder für Kratz- und Ausgleichspachtelungen als Bestandteil von Betonersatzsystemen erhältlich.

Für die speziellen Einsatzbereiche werden verschiedene Feinspachtel als zementgebundene, polymermodifizierte und als polymergebundene Varianten angeboten. Die Auswahl wird durch Produkte mit Faserzusatz oder mit einer Zulassung für statische Ertüchtigungen ergänzt.

Werden Feinspachtel für das Oberflächenfinish eingesetzt, lassen sich trotz sorgfältiger Ausführung, im Streiflicht erkennbare, störende Unebenheiten kaum vermeiden. Aus diesem Grund kann es unter Umständen sinnvoll sein, bei der Ausbesserung strukturbetonter Betonoberflächen mit einem geringen Schadstellenanteil stattdessen eine Schlämme zu verwenden.

1.7.6.6 Oberflächenschutzsysteme

Oberflächenschutzsysteme (OS) kommen dann zum Einsatz, wenn andere, bereits ausgeführte Instandsetzungsverfahren den Schutz des Betons gegen das Eindringen von Stoffen während der festgelegten Nutzungsdauer nicht oder nicht ausreichend sicherstellen. Das Aufbringen eines Oberflächenschutzsystems kann auch als vorbeugende Schutzmaßnahme bzw. als Bestandteil des Erstellungskonzepts bei Neubauten erfolgen und darüber hinaus auch als Wartungs- oder Verbesserungsmaßnahme dienen, um den Nutzungszeitraum eines Bauwerks zu verlängern.

Nach der DIN EN 1504 werden drei grundlegende Verfahren zur Anwendung von Oberflächenschutzsystemen unterschieden: die Hydrophobierung, die Versiegelung und die Beschichtung. Die Instandhaltungsrichtlinie sieht jedoch die Versiegelung nicht als geregeltes Verfahren an, da ihre Dauerhaftigkeit häufig eingeschränkt ist. In der Praxis ist die Funktionalität von Versiegelungen durch ihre geringe mechanische Belastbarkeit und wegen der unregelmäßigen Schichtdicke stark reduziert.

Die nach der Instandhaltungsrichtlinie geregelten Oberflächenschutzsysteme, mit Bedeutung für die Fassadeninstandsetzung sind in der Tab. 1.63 aufgeführt.

Tab. 1.63 Nach der Instandhaltungsrichtlinie geregelte Verfahren und zugeordnete Oberflächenschutzsysteme

Verfahren	Oberflächenschutzsysteme
Hydrophobierung (Verfahren 1.1)	OS 1
Beschichtung (Verfahren 1.3)	OS 2, OS 4, OS 5a, OS 5b, OS 8[a], OS 11[a], OS 14[a]

[a]Einsatzmöglichkeiten sind Zuwegungen (Außentreppen, Rampen) oder andere Gebäudeteile mit Frost-Tausalz-Belastung (Sockel und Ähnliches) sofern diese Bereiche einer Fassadensanierung mit hinzugerechnet werden.

Hydrophobierung

Eine Hydrophobierung erzeugt eine wasserabweisende Wirkung oder reduziert zumindest die Wasseraufnahme der behandelten Oberfläche. Die wasserabweisende Wirkung entsteht durch eine Belegung der Poren- und Kapillaroberflächen durch den hydrophobierenden Wirkstoff. Ein vollständiger Verschluss der Poren und Kapillaren wird jedoch nicht erreicht, sodass die Diffusionsfähigkeit (Atmungsaktivität) des Baustoffs weitgehend erhalten bleibt. Die schützende Wirkung verhindert das Eindringen von Flüssigkeiten, die Wirksamkeit ist jedoch gegenüber Gasen wie Kohlendioxid (CO_2) erheblich eingeschränkt. Darüber hinaus verbessert eine Hydrophobierung die Haftung filmbildender Beschichtungen am Untergrund. Das Hauptanwendungsgebiet im Bauwesen sind die Oberflächen poröser Baustoffe im Außenbereich.

Auch wenn die Hydrophobierungsmittel hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit verbessert worden sind, müssen Imprägnierungen im Intervall neu aufgetragen werden. Der Zeitraum ist dabei von vielen Einflussfaktoren abhängig, beispielsweise sind zu beachten:

- Eindringtiefe
- Beanspruchung des Bauteils
- klimatische Randbedingungen

Im Wesentlichen werden 4 Wirkstoffe eingesetzt, um eine hydrophobierende Wirkung der Produkte zu erreichen: Silane (Alkoxysilane), Siloxane (Alkoxysiloxane), Silikonharze (Alkylpolysiloxane) und Silikonate (Alkalisilikonate). Unabhängig davon, welcher Wirkstoff dem Imprägniermittel beigegeben wird, entsteht immer ein Silikonharz, das die Hydrophobierung bewirkt. Silane und Siloxane reagieren mit Feuchtigkeit, Silikonate reagieren mit dem CO_2 der Luft zu Silikonharz. Wird ein Silikonharz als Wirkstoff eingesetzt, verdunstet lediglich das Lösungsmittel, und das eigentliche Harz bleibt zurück.

Die zwei hauptsächlichen Handelsformen der Imprägniermittel unterscheiden sich hinsichtlich des Lösungsmittels in organisch gelöste und wassergelöste Produkte. Die gebräuchlichsten Handelsformen sind:

- wässrige Imprägnieremulsionen
- Imprägnierpaste

- lösungsmittelhaltige Imprägnierlösungen
- wässrige Imprägnierlösungen

Die Wirksamkeit einer Imprägnierung wird maßgeblich durch die Eindringtiefe bestimmt, je größer die Eindringtiefe, umso besser die Wirkung. Als Mindesteindringtiefe sollten bei Fassaden 2 bis 4 mm und bei Flächen, die einer Frost-Tausalzbeanspruchung ausgesetzt sind, 6 bis 8 mm erreicht werden.

Grundsätzlich wird die erzielbare Eindringtiefe bedingt durch:

- die Saugfähigkeit des zu imprägnierenden Baustoffs, dessen Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der Imprägnierung sowie den chemisch-physikalischen Wechselwirkungen zwischen Baustoff und Wirkstofflösung;
- die Art des Wirkstoffs bzw. die Größe der gebildeten Moleküle;
- die Konzentration des Wirkstoffs; der übliche Wirkstoffgehalt beträgt ca. 5 %, zu hohe Konzentrationen können nachteilig sein;
- die Art des Lösungsmittels, das optimale Lösungsmittel hängt vom Wirkstoff und den Untergrundgegebenheiten ab;
- die Anwendungstechnik (Verarbeitungsweise, Auftragsmenge, Kontaktzeit, Anzahl und Zeitabstand der einzelnen Arbeitsgänge).

Das Auftragen sollte am besten durch Flutung der Flächen erfolgen, um eine möglichst lange Kontaktzeit zwischen Baustoff und Imprägniermittel zu erreichen. Geeignet sind beispielsweise sogenannte Airless-Geräte und für kleinere Flächen auch Quast, Pinsel oder Malerrolle.

Empfohlen wird ein mehrmaliger Auftrag, um eine möglichst große Eindringtiefe zu erzielen, wobei die Fläche vor dem nächsten Auftrag nicht abgetrocknet sein darf.

Versiegelung (Imprägnierung)

Eine versiegelnde Imprägnierung erzeugt einen ungleichmäßigen Film, der gegen das Eindringen von Flüssigkeiten oder Gasen schützt, dieses aber nicht vollständig verhindert. Die Poren und Kapillaren werden weitgehend gefüllt. Versiegelte Flächen sind nur gering mechanisch belastbar. Eine Versiegelung wird aber auch als Grundierung für nachfolgende Beschichtungen angewendet.

Beschichtung

Beschichtungen zum Schutz gegen mechanische und chemische Angriffe sowie gegen Witterungseinflüsse sind zumeist mehrere in sich zusammenhängende Schichten, welche aus einer Grundierung, Abdichtungs- oder Oberflächenschutzschicht und einer Deck- oder Kopfversiegelung bestehen. Unterschieden werden starre und bedingt rissüberbrückende Systeme.

Ein ernstzunehmendes Risiko besteht in der rückseitigen Durchfeuchtung des instand zu setzenden Bauteils (Einwirkung XBW1). Die Applikation und Erhärtung des Instandsetzungssystems kann durch Wasserzutritt derart gestört werden, dass Ablösungen und

Tab. 1.64 Mindestwerte der Oberflächenzugfestigkeit

Schutz- bzw. Instandsetzungsmaßnahme: örtliche Ausbesserung bzw. flächige Beschichtung[a]	Mindestwerte der Oberflächenzugfestigkeit in MPa	
	Mittelwert	Kleinster Einzelwert
OS 2	0,8	0,5
OS 4	1,3	0,8
OS 5a, OS 5b	1,0	0,6
OS 8	2,0	1,5
OS 11, OS 14	1,5	1,0

[a]Für Hydrophobierungen (OS 1) werden keine Anforderungen an die Oberflächenzugfestigkeit des Betons gestellt.

Blasenbildungen entstehen. Wenn eine rückseitige Durchfeuchtung während der Nutzung nicht ausgeschlossen werden kann, sind als Oberflächenschutzsysteme ausschließlich Systeme einzusetzen, die für diesen Anwendungsfall geeignet sind, z. B. diffusionsoffene mineralische Beschichtungen.

Maßgeblich für einen dauerhaften Verbund der Beschichtungssysteme mit der Oberfläche sind die Oberflächenzugfestigkeit (vgl. Tab. 1.64) des Betons und der Feuchtegehalt des Bauteils.

Vor dem Auftrag des Beschichtungssystems sollten vorhandene Risse gefüllt werden, um zu vermeiden, dass der Beschichtungsstoff in die Risse eindringt und die Dilatation des Beschichtungssystems behindert wird. Gegebenenfalls ist dafür eine ohnehin erforderliche Grundierung oder Reprofilierung mit Reaktionsharzmörtel ausreichend.

Wenn neben der Zielstellung der Schutzmaßnahme, den erwarteten Rissbreitenänderungen und den Anforderungen an die Beanspruchbarkeit die sonstigen Randbedingungen hinreichend abgeklärt sind, kann nach Tab. 1.65 ein geeignetes Oberflächenschutzsystem festgelegt werden.

Auch für die Oberflächenschutzsysteme gilt, dass zwingend ein Wartungskonzept vorzulegen ist und die Inspektionen konsequent durchzuführen sind, um die Dauerhaftigkeit der Maßnahme sicherzustellen.

Tab. 1.65 An Fassaden eingesetzte Oberflächenschutzsysteme nach der Instandhaltungsrichtlinie (Auswahl)

	OS 1 (OS A)	OS 2 (OS B)	OS 4 (OS C)	OS 5a (OS DII) OS 5b (OS DI)
Kurzbeschreibung	Hydrophobierung	Beschichtung für nicht begeh- und befahrbare Flächen (ohne Kratz- bzw. Ausgleichsspachtelung)	Beschichtung mit erhöhter Dichtheit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichsspachtelung)	Beschichtung mit geringer Rissüberbrückungsfähigkeit[a] für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw. Ausgleichsspachtelung)
Anwendungsbereiche	Reduzierung der Wasseraufnahme bei vertikalen und geneigten, freibewitterten Betonbauteilen, z. B. Stützwände. Nicht wirksam bei drückendem Wasser	Beschichtung zur Erhöhung des Karbonatisierungswiderstandes an freibewitterten Betonbauteilen mit ausreichendem Wasserabfluss; bedingt auch im Sprühbereich von Auftausalzen	Freibewitterte Betonbauteile auch im Sprühbereich[b] von Auftausalzen	Frei bewitterte Betonbauteile mit oberflächennahen Rissen[c] auch im Sprühbereich[b] von Auftausalzen
Eigenschaften	*Gefordert:* – Zeitlich begrenzte Reduzierung der kapillaren Wasseraufnahme, – Zeitlich begrenzte Verbesserung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes, *Nicht gefordert:* – Reduzierung der Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen, – Größerer Karbonatisierungsfortschritt im Vergleich zu nicht hydrophobiertem Beton im Freien, – Keine Veränderung der Wasserdampfdurchlässigkeit, – Keine Veränderung des optischen Erscheinungsbildes	*Gefordert:* – Reduzierung der Wasseraufnahme, – Reduzierung des Eindringens beton- und stahlangreifender Stoffe, – Reduzierung der Kohlendioxiddiffusion, – Begrenzte Wasserdampfdurchlässigkeit, – Verbesserung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes. *Nicht gefordert:* – Optische Wirkung, farbliche Oberflächengestaltung möglich		*Gefordert:* – Verhinderung der Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen, – Verbesserung der Chemikalienbeständigkeit, – Verbesserung des Verschleißwiderstandes, – Verbesserung des Frost- oder Frost-Tausalz-Widerstandes, – Erhöhung der Schlagfestigkeit, – Verbesserung der Griffigkeit. *Nicht gefordert:* – Verhinderung der Kohlendioxiddiffusion, – Starke Reduzierung der Wasserdampfdiffusion

Tab. 1.65 (Fortsetzung)

	OS 1 (OS A)	OS 2 (OS B)	OS 4 (OS C)	OS 5a (OS DII) OS 5b (OS DI)
Rissüberbrückung	–	–		B.2 (−20 °C)
Bindemittelgruppen der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht	Silan Siloxan	Polymerdispersion Mischpolymerisat (gelöst) Polyurethan Silan/Siloxan: für Hydrophobierung		a) Polymerdispersion b) Polymer-Zement-Gemisch
Regelaufbau	Hydrophobierung	1. Hydrophobierung[e], 2. Gegebenenfalls Grundierung, 3. Mindestens zwei Oberflächenschutzschichten (hwO)	1. Kratz-/Ausgleichsspachtelung[f], 2. Gegebenenfalls Hydrophobierung[e], 3. Gegebenenfalls Grundierung, 4. Mindestens zwei Oberflächenschutzschichten (hwO)	a) Polymerdispersion 1. Kratz-/Ausgleichsspachtelung[f], 2. I. d. R. Grundierung, 3. Mindestens zwei Oberflächenschutzchichten (hwO), 4. Gegebenenfalls Deckversiegelung
				b) Polymer-Zement-Gemisch 1. Gegebenenfalls Kratz-/Ausgleichsspachtelung[f], 2. Mindestens zwei elastische Oberflächenschutzschichten (hwO), 3. Gegebenenfalls Deckversiegelung

A: Da sich die ursprüngliche Nomenklatur OS 1 bis OS 14 allgemein etabliert hat, wird trotz Wegfalls einzelner OS-Systeme die alte Nummerierung beibehalten

[a]Siehe Teil 2, Tab. A.1

[b]Mit entsprechendem Nachweis auch im Spritzbereich

[c]Mit entsprechendem Nachweis auch für Bauwerke mit Trennrissen

[d]Bei nur gelegentlichem Begang (z. B. Dienststege) kein Nachweis der Verschleißfestigkeit erforderlich

[e]Gegebenenfalls Wirksamkeitsnachweis gemäß DIN EN 13580

[f]Dispersionsspachtel und Ähnliches. erfordern unter Umständen eine gesondert zu vereinbarende Prüfung

7 Eine nur durch Abstreuen gefüllte Schicht ist nur bei gelegentlichem Begang zulässig

9 Abhängig von der Viskosität (mindestens 20 M.-%)

10 Systeme mit Deckversiegelung sind ohne Versiegelung komplett zu prüfen; Griffigkeit, Verschleiß und Rissüberbrückung sind zusätzlich mit Versiegelung zu prüfen

1.8 Wärmedämmung an Fassaden

Die Instandsetzung älterer Gebäude sollte heute nach Möglichkeit mit einer energetischen Verbesserung der Gebäudehülle einhergehen. Die wärmeschutztechnische Sanierung von Außenwänden erfolgt in den meisten Fällen unter Verwendung eines außenseitig aufgebrachten Wärmedämmverbundsystems. In vielen Fällen darf oder kann die Fassade jedoch nicht verändert werden, sodass eine Außendämmung nicht infrage kommt. Eine Alternative ist dann das Anbringen einer Innendämmung.

Setzt der Denkmalschutz dem baulich Machbaren enge Grenzen, so gilt es, einen tragbaren Kompromiss zwischen Wärmeschutz und Wohnkomfort, dem vorhandenen Budget und möglicherweise dem Erhalt einer historischen Fassade zu finden.

Die Planung und Ausführung von Maßnahmen zur nachträglichen Ertüchtigung des Wärmeschutzes müssen immer unter der Beachtung bauphysikalischer Grundlagen, rechtlicher Vorgaben und baulicher Vorschriften erfolgen. Grundsätzlich zu betrachtende Aspekte sind:

- winterlicher Wärmeschutz
- sommerlicher Wärmeschutz
- konstruktiver Feuchteschutz
- klimabedingter Feuchteschutz
- Brandschutz
- Schallschutz

In Deutschland ist der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 bei jeder Sanierung zu beachten und muss im Baugenehmigungsverfahren nachgewiesen werden. Im Jahr 2002 wurde zudem die Einhaltung der Anforderungen aus der Energieeinsparverordnung (EnEV) rechtswirksam eingeführt. Die EnEV gilt sowohl für Neubauten wie auch für Bestandsgebäude. Ausgenommen sind denkmalgeschützte Bauten, wenn vom zuständigen Landesamt eine entsprechende Ausnahmebescheinigung erteilt wurde. Umfasst die Sanierungsmaßnahme an einem Außenbauteil eine Fläche von $\leq 10\,\%$ der Gesamtbauteilfläche, kann auf die Anwendung der EnEV verzichtet werden.

Die Nachhaltigkeit einer Sanierungsmaßnahme zeichnet sich nicht nur durch eine gute Funktionalität und Dauerhaftigkeit aus, sondern auch durch die Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien. Als Hilfestellung bei der Materialauswahl können beispielsweise Prüfsiegel und Zertifikate vom Rosenheimer Institut für Baubiologie oder die Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) vom Institut Bauen und Umwelt e. V. Berlin herangezogen werden. Prüfsiegel und Zertifikate wie das vom Rosenheimer Institut für Baubiologie oder die Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) zur ganzheitlichen Ökobilanzierung ebenfalls ausgestellt vom Institut Bauen und Umwelt e. V. Berlin informieren über die Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit der Herstellung sowie über die Recyclingfähigkeit der Baustoffe.

Wärmedämmung bei Grenzbebauung

Nachträgliche Dämmmaßnahmen bilden einen großen Anteil der Sanierungs- und Modernisierungsvorhaben. Besonders in Stadtzentren oder bei dicht aneinanderliegenden Bebauungen (Grenzbebauungen) können neue Wärmedämmungen, die von außen auf die Gebäudewände angebracht werden, zu Problemen und Streitfällen führen.

Im Falle einer Sanierungsmaßnahme auf der Grundstücksgrenze muss während der Bauzeit ein Gerüst auf der Nachbarseite stehen. Das sogenannte Hammerschlag- und Leiterrecht erlaubt grundsätzlich das Nachbargrundstück zu betreten, um Arbeiten am eigenen Haus auszuführen. Die Maßnahme ist allerdings rechtzeitig anzukündigen und darf keinen Schaden verursachen. Falls der Nachbar den Zugang untersagt, darf der Bauherr sich jedoch nicht einfach über das Verbot hinwegsetzen, er muss sein Recht erst einklagen.

Werden Wärmedämmungen angebracht, die die Grundstücksgrenze überbauen, folgen nicht selten Auseinandersetzungen vor Gericht. Die grenzüberschreitende Dämmung ist noch nicht gesetzlich geregelt. Einige Bundesländer arbeiten bereits an neuen Regelungen. Derzeit ist die Rechtsprechung dahingehend eindeutig, dass der Nachbar eine Grenzüberbauung mit Dämmstoffen nicht in jedem Fall akzeptieren muss. Die Arge Baurecht empfiehlt deshalb, eine Regelung mit dem Nachbarn auszuhandeln. Denkbar wäre laut der Arbeitsgemeinschaft eine sogenannte Überbaurente oder eine Abfindung für die überbaute Fläche. Es wird allerdings dringend geraten, die getroffene Vereinbarung schriftlich zu fixieren und ins Grundbuch eintragen zu lassen. Nur dann ist sichergestellt, dass sich auch spätere Grundstückseigentümer daran halten müssen.

1.8.1 Bauphysikalische Grundlagen

Die wärmedämmenden Eigenschaften einer Außenwand zu verbessern, bedeutet mehr als nur auf Kosteneinsparungen während der Heizperiode zu achten. Der winterliche Wärmeschutz ist bei Instandsetzungen das wesentliche Argument für nachträgliche Fassadendämmungen. Jedoch bieten Dämmmaßnahmen auch die Gelegenheit, den Wärmeeintrag in den Sommermonaten zu regulieren. Das ist insbesondere bei leichten Wandkonstruktionen aus Materialien mit geringer Masse und Wärmespeicherfähigkeit oder bei Gebäuden mit einem hohen Anteil an Fensterflächen empfehlenswert. Daher sollten zur Dämmung von Außenbauteilen Materialien gewählt werden, die gleichermaßen vor dem Abfließen der Wärme im Winter schützen und einen zu großen Wärmeeintrag im Sommer verhindern. Mit Dämmmaßnahmen allein ist jedoch ein ausreichender sommerlicher Wärmeschutz zumeist nicht zu erreichen. Ergänzend können beispielsweise Verschattungsmöglichkeiten vor den Fenstern, eine helle Fassadengestaltung oder Fassadenbegrünungen den Wärmeeintrag weiter reduzieren. In der nachfolgenden Übersicht in Tab. 1.66 werden einige wärmetechnische Größen zur Ermittlung der Bauteileigenschaften sowie für die Auswahl geeigneter Dämmstoffe erläutert.

Wenn man auf der Grundlage der vorstehenden Tab. 1.66 eine Charakterisierung für den idealen Dämmstoff treffen möchte, so müsste dieses Material gänzlich entgegen-

Tab. 1.66 Übersicht wärmetechnischer Größen

Größe, Formelzeichen, Einheit	Erläuterung	Baupraktische Bedeutung
Wärmespeicherfähigkeit, Q $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ in J oder Ws	– Größer, je mehr Masse (m), je größer die Wärmespeicherkapazität (c) und je größer die Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen Bauteil und umgebender Luft ist – Bestimmt die Wärmespeicherfähigkeit eines Materials	Hohe Wärmespeicherfähigkeit: – Langsamere Erwärmung beim Aufheizen, – Langsame und geringere Abkühlung bei Heizunterbrechung, – Langsamere und geringere Erwärmung im Sommer
Spezifische Wärmespeicherkapazität, c c in J/(kg K)	– Stoffkonstante – Wärmemenge, die nötig ist um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen – Je größer c, umso größer die Wärmespeicherfähigkeit Q eines Materials/Bauteils	Hohe spezifische Wärmespeicherkapazität: – Zeitverzögerung bei der Abgabe aufgenommener Wärme nimmt zu, – Bauteile/Räume bleiben länger kühl
Wärmeleitfähigkeit, λ λ in W/(K m)	– Temperaturabhängige Materialkonstante – Vermögen eines Stoffes, thermische Energie mittels Wärmeleitung zu transportieren – Geringere Wärmeleitfähigkeit = besserer Dämmwert des Materials	– Ein besserer λ-Wert ermöglicht geringere Schichtdicken – Dämmvermögen steigt mit der Schichtdicke des Dämmstoffs
Wärmeeindringkoeffizient, b $b = \sqrt{\rho \cdot \lambda \cdot c}$ in J/(m^2 K s$^{1/2}$)	– Materialkennwert ist u. a. von der Rohdichte des Baustoffs abhängig	– Baustoffe mit einem hohen Wärmeeindringkoeffizienten nehmen Wärme schneller auf, das Aufheizen der Raumluft verläuft daher langsamer

gesetzte Eigenschaften verbinden. Eine hohe Wärmespeicherfähigkeit (Q) bedingt eine große Masse, die jedoch den Materialeigenschaften für eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit (λ) entgegensteht. Insbesondere mit Blick auf den zusätzlichen Lasteintrag in die Bestandskonstruktion durch den nachträglichen Einbau von Dämmstoffen sind die jeweiligen baulich konstruktiven Gegebenheiten zu beachten. Dies gilt jedoch vornehmlich bei Instandsetzungen an Gebäuden in Leichtbauweise oder an Dachtragwerken. Fassadendämmungen an massiven Gebäuden können zumeist problemlos eine Dämmschicht aufnehmen. Daher ist die Auswahl des für den jeweiligen Einsatzzweck technisch vorteilhaftesten und kostengünstigsten Dämmstoffs immer ein Kompromiss.

Der Vorteil der am häufigsten verwendeten Dämmstoffe EPS und Mineralwolle liegt in ihrem geringen Eigengewicht und dem Preisvorteil gegenüber den meisten anderen Materialien. Aufgrund ihrer sehr geringen Wärmeleitfähigkeit sind die Zielvorstellungen des winterlichen Wärmeschutzes leicht zu erfüllen. Zu einer Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes tragen sie dennoch bei, auch wenn hierfür deutlich effektivere Dämmstof-

Tab. 1.67 Eigenschaften und Anwendung von Dämmmaterialien für Außenwände

	Rohdichte* (kg/m^3)	WLS* (W/mK)	µ-Wert*	Energiebedarf* (kWh/m^3)	Baustoff-klasse	Anwendung**
Anorganisch, synthetisch						
Mineralwolle	10–200	032–045	1–2	270	A1, A2	1, 3–8 / I
Schaumglas	100–220	040–067	0	424–750	A1	1–4, 6, 8, 9 / I
Blähglas	150–420	070–090	1–5	350–1000	A1	4, 5, 9 / II
Kalziumsilikat	115–300	040–065	3–20	800–1200	A1	1, 3, 6 / II
Aerogel	115–300	014–021	2–18	2200	B1, B2	1, 2, 6 / III
Pyrogene Kieselsäure	90–170	020–023	6	K. A.	A1	2, 3, 6 / III
Anorganisch, natürlich						
Blähton	260–600	085–160	2–8	300–450	A1	5, 6, 8 / II
Blähperlit	85–600	050–110	3–5	200–240	A1 bis B2	1, 3–8 / I
Vermiculite expandiert	60–220	046–070	1–10	80–150	A1, B1	1, 3–8 / I
Wärmedämm-ziegel***	500–750	070–140	5–10	K. A.	A1	3, 6 / II
Organisch, synthetisch						
EPS	15–60	032–040	20–100	870	B1, B2	1–4, 6 / I 9 / II
XPS	20–60	030–040	80–300	870	B1, B2	1–4, 9 / I
PU-Hartschaum	30–100	023–030	30–100	780–830	B1, B2	1–6 / I 9 / II
PU-Ortschaum	40–60	027–030	110–600	1140–1330	B2	4 / II
PF-Schaum	35–40	022–030	10–60	K. A.	B1, B2	1–4, 6 / I
Melamin-schaum	8–11	035	1–2	K. A.	B1	6, 8 / III
PE-Faser	20–40	035–045	1–2	600	B1	5, 7 / III
Organisch, natürlich						
Holzwolle/ HWL-Platte	350–600	035–090	2–5	583–733	B1, B2	1, 3, 5, 6 / I
Holzfaser	25–600	038–083	1–5	50–780	B1, B2	1, 3–6, 7 / I
Zellulosefasern	30–80	040	1–3	50–230	B2	5, 6, 8 / II

Tab. 1.67 (Fortsetzung)

	Rohdichte* (kg/m^3)	WLS* (W/mK)	µ-Wert*	Energiebedarf* (kWh/m^3)	Baustoff-klasse	Anwendung**
Hanfwolle	24–100	040–050	1–2	40–67	B1, B2	1, 5, 6, 8 / II
Schafwolle	15–115	035–045	1–15	20–80	B2	1, 5, 6, 8 / II
Seegras	65–130	049	1–2	37–50	B2	5 / III
Baustroh	85–120	045–080	2–3	7	B2	1, 3, 5 / III
Kork expandiert	60–220	040–060	20–30	90–440	B2	1, 3–6, 8 / I

*Abhängig von Einbauart und Zusammensetzung
**1) Außendämmung hinter Bekleidung, 2) Außendämmung hinter Abdichtung, 3) Außendämmung unter Putz, 4) Kerndämmung in zweischaligen Wänden, 5) Holzrahmen- und Holztafelbauweise, 6) Innendämmung, 7) in Haustrennwänden mit Schallschutzanforderung, 8) in Raumtrennwänden, 9) erdberührt, außerhalb der Abdichtung
I) nach DIN 4108-10 und bauaufsichtlicher Zulassung, II) mit bauaufsichtlicher Zulassung, III) noch selten eingesetzt
***Wärmedämmziegel werden herstellerabhängig mit unterschiedlichen Füllungen wie Mineralwolle, Perlite, Holzfasern oder Polystyrol angeboten. In der Regel liegt eine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt vor, jedoch bestehen teilweise Abweichungen zur DIN 105-2

fe wie z. B. Holzfaserplatten existieren. Die nachfolgende Tab. 1.67 stellt die wesentlichen bauphysikalischen Eigenschaften bekannter Dämmstoffe für den Einsatz an Außenwänden gegenüber.

1.8.2 Außendämmsysteme

1.8.2.1 Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Bei dieser nachträglichen Wärmedämmmaßnahme werden Dämmstoffplatten (in der Regel Polystyrol- oder Mineralfaserplatten) auf der Außenwand aufgebracht. Die Befestigung erfolgt durch Verklebung oder auf einem Schienensystem. Vorhandene, ausreichend tragfähige Altputze oder Beschichtungen können an der Wand verbleiben und werden nachfolgend mit dem WDVS überdeckt (Abb. 1.298). Ist eine vollflächige Verklebung gefordert, muss der Untergrund egalisiert werden, um einen gleichmäßigen Kleberauftrag zu gewährleisten. Variierende Schichtdicken des Klebers können zu Verwölbungen der Dämmplatten führen. Alternativ ist die Verklebung mit der „Wulst-Punkt-Methode“ möglich, hierbei ist unbedingt auf eine vollständige Randverklebung zu achten. Vor Anwendung der „Wulst-Punkt-Methode“ muss eine Tauwasserbildung innerhalb der Klebeschicht durch einen entsprechenden Nachweis ausgeschlossen werden, und es muss sichergestellt sein, dass kein Wasser von außen in die Klebeschicht eindringen kann. Sofern erforderlich, erfolgt eine zusätzliche Befestigung mit Kunststoffdübeln zur Windsogsicherung nach der DIN EN 1991-1-4 sowie entsprechend den Angaben des WDVS-Herstellers.



Abb. 1.298 Nachträgliche Montage eines WDVS aus EPS-Platten mit Verdübelung

Auf die Dämmplatten wird eine Spachtelmasse aufgebracht, in die ein Armierungsgewebe eingearbeitet wird. In den Eckbereichen von Öffnungen ist eine ausreichend dimensionierte Diagonalbewehrung einzuarbeiten. Ebenfalls ist auf das fachgerechte Einbinden der Anschlussfahnen von z. B. Eckschutzschienen oder Putzendschienen zu achten. Danach folgt der Außenputz im Dünn- oder Dickschichtsystem.

Es dürfen nur komplette, aufeinander abgestimmte Wärmedämmverbundsysteme eines Herstellers verwendet werden. Eine Kombination verschiedener Einzelprodukte ist nicht zulässig.

Vorteile der WDVS:

- Reduzierung von Wärmebrückenwirkungen (Deckeneinbindungen, Sockel),
- guter Wärmeschutz (im Sommer mit bedingter Auswirkung).

Nachteile der WDVS:

- bei stark gegliederten Fassaden aufwendig,
- bei Gebäuden, die dem Denkmalschutz unterliegen, ist eine Außendämmung meist nicht möglich.

In die Fassade einbindende Bauteile wie z. B. die Kellerdecke müssen außenseitig ausreichend weit überdämmt werden, um Kältebrücken auszuschließen. Am Gebäudesockel und im erdberührten Bereich eingesetzte Dämmstoffe müssen über eine Zulassung als Perimeterdämmstoff verfügen. Bei vorspringenden Natursteinsockeln ist die Weiterführung des Dämmstoffs technisch nicht sinnvoll.

Die Befestigung von Vordächern, Außenleuchten, Hausnummern, Regenfallrohren sowie die Neubemessung der Bauteiltiefe für Außenfensterbänke muss bereits in der Planungsphase bedacht und bei der Kostenermittlung einbezogen werden. Die Montagekosten der Anbauten können je nach Objekt und Material stark variieren. Zu beachten ist, dass z. B. bei einer ohnehin anfallenden Putzerneuerung durch eine zusätzliche Wärmeschutzmaßnahme nur der „energetische Kostenanteil" zusätzlich entsteht.

Für die Herstellung und Verarbeitung von Wärmedämmverbundsystemen sind zahlreiche Normen und Vorschriften zu beachten. Beispielhaft wird auf die DIN 55699 „Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen" und die DIN EN 13499 „Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol" an dieser Stelle hingewiesen. In Bezug auf die brandschutztechnischen Anforderungen an WDVS aus EPS-Platten sind bei der Planung und Ausführung zwingend die Merkblätter des „Deutsches Institut für Bautechnik" (DIBt) anzuwenden (beispielsweise Merkblatt „Konstruktive Ausbildung von Maßnahmen zur Verbesserung des Brandverhaltens von als ‚schwerentflammbar' einzustufenden Wärmedämmverbundsystemen mit EPS-Dämmstoff").

Beispiel: Fassadensanierung einer Stadtvilla in Bonn/Bad Godesberg

Planung:	Privater Bauherr, Fassadensanierung, Bonn
Ausführungsjahr:	2012
Anwendung:	Putzfassade, ca. 400 m^2
Dämmschicht:	Dicke 180 mm, verklebt und mechanisch gesichert
Bekleidung:	natürlich hydraulischer Kalkputz mit Armierungsgewebe

Die Anforderungen an die Warmfassade (Abb. 1.299 und 1.300) waren anspruchsvoll: Hohe Wärmedämmwerte mussten erfüllt werden. Zusätzlich sollte der massive Charakter der Stadtvilla im Gründerzeitstil erhalten bleiben. Ästhetik, Brandsicherheit, Feuchteschutz und ökologische Vorgaben waren zu beachten. Die angebrachte Dämmung sollte keine Feuchtigkeit aufnehmen, robust sein, resistent gegen Schädlinge und den geltenden Vorschriften für die energetische Sanierung entsprechen. Alte Wärmebrücken sollten am Gebäude entfernt und die Dämmung wärmebrückenfrei ausgebildet werden.

Putzfassaden sind langlebige Konstruktionen. Der Wunsch der Bauherren hinsichtlich Nachhaltigkeit und energetischer Optimierung wurde erfüllt. Der neue U-Wert beträgt 0,2 W/(m^2 K), ein gewaltiger Schritt gegenüber dem alten Wert von 1,0 W/(m^2 K).

1.8.2.2 Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen

Wärmedämmverbundsysteme werden bereits seit mehr als 40 Jahren zur Wärmedämmung von Außenwänden eingesetzt. Insbesondere seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. mit den Aktualisierungen der EnEV sind die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz deutlich erhöht worden. Die verwendeten Dämmstoffdicken und



Abb. 1.299 Warmfassade an einer Stadtvilla. (Quelle: ILS Hamburg)

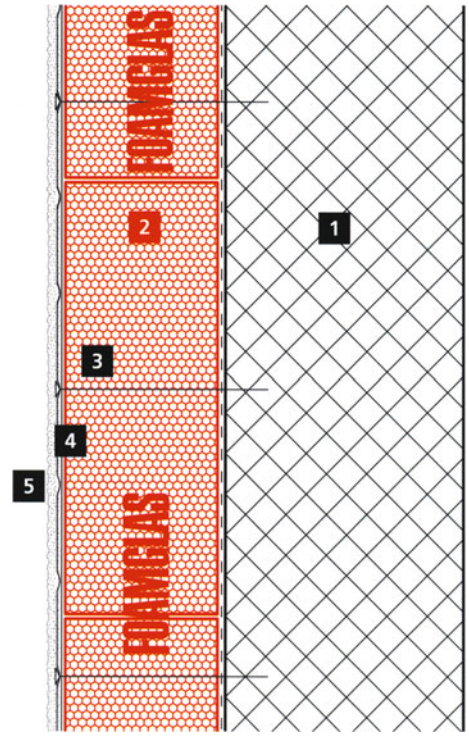


Abb. 1.300 Schichtenaufbau der Fassade: *1* Massivwand (Beton, Mauerwerk), *2* Dämmung, *3* Einzelanker, *4* Oberflächenabspachtelung, *5* Mineralischer Putz mit Putzträger. (Quelle: ILS Hamburg)

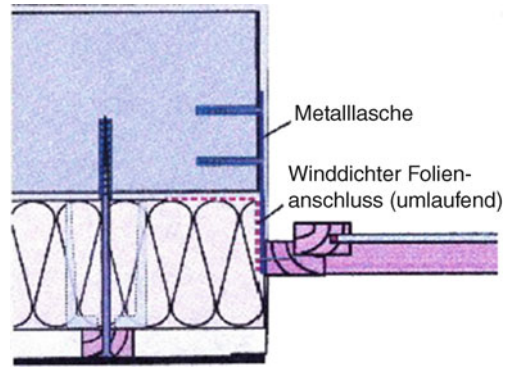


Abb. 1.301 Sanierungsvariante Fenster: eine Lösung, die das Fenster weiter außen anordnet. Der Blendrahmen wird mittig in die Dämmstofflage eingepasst. Der Rahmen muss winddicht, z. B. durch Anordnung von Folien, eingebaut werden. (Quelle: ILS Hamburg)

Wärmeleitwerte von älteren WDVS genügen deshalb oft nicht mehr den heutigen energetischen Anforderungen. Im Sanierungsfall ist bei diesen Systemen die Aufdoppelung die kostengünstigste Variante. Auf die Entfernung und Entsorgung des vorhandenen WDVS kann dabei zumeist verzichtet werden. Der vorhandene Putz kann ebenfalls erhalten bleiben, lediglich lose Bestandteile müssen entfernt werden. Die Standsicherheit und Tragfähigkeit des alten WDVS muss jedoch überprüft werden, um die Befestigungsart des neuen Systems festzulegen. Dafür ist eine partielle Öffnung des alten WDVS notwendig. Je nach Tragfähigkeit und Systemeigenschaften ist eine Aufdoppelung zu kleben und zu dübeln. Einige Hersteller bieten Platten mit Nut- und Federtechnik an, die das stoßversetzte Verlegen zur alten Dämmschicht und die Bestimmung des alten Verlegerasters überflüssig machen. Aus brandschutzrelevanten Gründen müssen bei EPS-Dämmungen Brandriegel aus nicht brennbarem Material (Mineralwolle) entsprechend den Vorgaben des „Deutsches Institut für Bautechnik“ (DIBt) ergänzt werden. Hierfür wird das alte WDVS in den relevanten Bereichen bis auf die Mauer bzw. den Putz abgebrochen und nach den brandschutztechnischen Vorgaben ergänzt.

Fensterbänke sowie weitere Anschlusselemente sind bei der Aufdoppelung in ihrer Dimensionierung den neuen Gegebenheiten anzupassen (Abb. 1.301). Am Gebäude vorhandene Schadensbilder wie Risse, Dübelabzeichnungen oder Wärmebrücken werden automatisch mitsaniert. Es gibt inzwischen einige Hersteller, die eine bauaufsichtliche Zulassung für Systeme zur Aufdoppelung von Wärmedämmverbundsystemen vorweisen können. Den bauaufsichtlich zugelassenen Systemen sollte im Fall einer Sanierung der Vorrang gegeben werden, da die einzelnen Systemkomponenten aufeinander abgestimmt sind und somit ein geringeres Mängelrisiko besteht.

1.8.2.3 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF)

Nachdem vorgehängte hinterlüftete Fassadenkonstruktionen (auch: Vorhangfassade; Abb. 1.302) in den zurückliegenden Jahrzehnten vorrangig bei der Neuerrichtung an Gebäuden mit großen Fassadenflächen (z. B. Hochhäuser, Büro- und Geschäftshäuser,

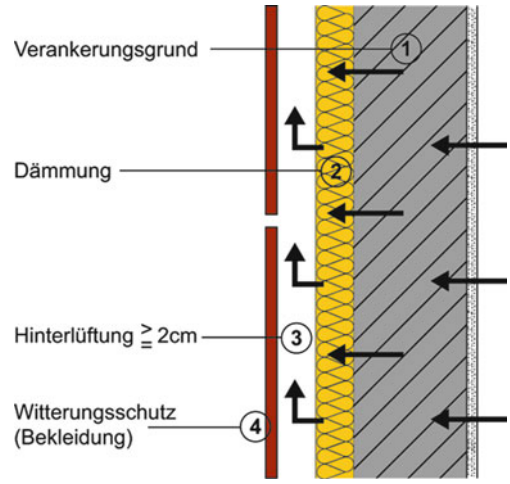


Abb. 1.302 VHF-Aufbau. (Quelle: FVHF e. V.)

Industriegebäude) eingesetzt wurden, erlauben moderne Materialien und individuelle Liefermaße inzwischen auch die sinnvolle Anwendung an Mehr- und Einfamilienhäusern.

Wegen des Konstruktionsprinzips eignen sich VHF auch sehr gut für die nachträgliche Ertüchtigung von Bestandsgebäuden. Dabei ist das Prinzip keineswegs neu, wie zahlreiche hinterlüftete Holzverschalungen an historischen Gebäuden zeigen.

Die äußere Schale einer Vorhangfassade schützt die Dämmung vor Witterungseinflüssen wie Niederschlags- und UV-Beanspruchung. Zudem erlauben VHF in der Planung die getrennte Betrachtung ihrer beiden Hauptbestandteile. Die Dämmebene und die Witterungsschale können aufgrund ihrer konstruktiven Trennung weitgehend unabhängig voneinander gestaltet werden. Eine große Auswahl an Werkstoffen für die Dämmung (z. B. EPS, PUR, Mineralwolle, Vakuumpaneele, Holzwolleplatten und Holzfaserplatten) sowie für die schützende Bekleidung (z. B. Holz (Abb. 1.304), Kunststoff, Ziegel, Naturstein, Glas, Zementplatten, Schindeln) gestatten abwechslungsreiche Gestaltungsmöglichkeiten. Der Wahl der Dämmstoffdicke sind fast keine technischen Grenzen gesetzt, daher können die Anforderungen an den Wärmschutz aus der Energieeinsparverordnung (EnEV) relativ einfach erfüllt werden.

Im Aufbau bestehen zwischen den verschiedenen Ausführungsarten der VHF keine gravierenden Unterschiede. Ein tragender Untergrund (z. B. Mauerwerk, Beton- oder Stahlskelett) dient als Verankerungsebene der Befestigungsmittel für die Außenschale. Auf der Verankerungsebene wird die Dämmschicht angeordnet, und davor in einem Abstand von 2 bis 4 cm (Luftzirkulationsebene) erfolgt die Montage der Außenschale. Bauphysikalisch kritische Punkte können insbesondere die Befestigungsmittel der Außenschale sein (Abb. 1.303). Die dabei verwendeten Materialien (z. B. Stahl, Aluminium, Metalllegierungen) weisen häufig eine hohe Wärmeleitfähigkeit auf und durchörtern die Dämmebene, sodass lokale Kältebrücken auftreten können. Werden Glas oder andere



Abb. 1.303 Austausch einer beschädigten Sandsteinplatte. Als Dämmung wurden im Sockelbereich XPS-Platten und oberhalb Mineralwolleplatten verwandt. Die Befestigung der Bekleidung erfolgte durch Aufstecken auf Dornen, was bei späteren Eingriffen zu Beschädigungen der Sandsteinplatten führt

transluzente Fassadenbekleidungen gewählt, kommt dem sommerlichen Wärmeschutz eine noch größere Beachtung zu, als ohnehin zu berücksichtigen ist.

Vorteile der VHF gegenüber anderen außenseitigen Fassadendämmungen sind beispielsweise:

- eine hohe Langlebigkeit der Außenschale,
- ein geringerer Wartungsaufwand gegenüber anderen Fassadenarten,
- die Luftzirkulation innerhalb der Konstruktion lässt eingedrungene Feuchtigkeit schnell wieder abtrocknen,
- die Dämmebene ist optimal vor Witterungseinflüssen geschützt.

Demgegenüber ist im Vergleich zu den anderen nachträglichen Fassadendämmungen der finanzielle Aufwand, mit Kosten in Höhe ab ca. 90 €/m^2, als wesentlich höher einzuschätzen.

Soll eine vorgehängte hinterlüftete Fassade an einem Bestandsgebäude montiert werden, können vorhandene Putze mit ausreichender Haftung zum Untergrund an der Wand verbleiben. Die Unterkonstruktion aus Holz oder Metall kann direkt auf der alten Fassade befestigt werden und übernimmt dann die Lastabtragung aus der Außenschale.

1.8.3 Nachträgliche Dämmung zweischaliger Wände

Die Konstruktionsweise zweischaliger Außenwände, bestehend aus dem tragenden Mauerwerk, einer Luftschicht und dem Sichtmauerwerk, ist vor allem in Norddeutschland verbreitet. Die energetische Sanierung dieser Konstruktion kann mit einer nachträglichen Kerndämmung bzw. Hohlraumdämmung durch das Einblasverfahren erfolgen. Hierbei bleibt die alte Fassade unangetastet. Das Einblasverfahren lässt sich leicht durchführen



Abb. 1.304 Regionaltypische Ausführung der Bekleidung mit Holzschindeln im Allgäu

und ist im Vergleich zu anderen Dämmmaßnahmen wie z. B. einer Innendämmung relativ günstig. In Abhängigkeit von den baulichen Voraussetzungen und von der Qualität der Ausführung lassen sich mit einer nachträglichen Dämmung von Außenwänden bis zu 25 % des Heizenergieverbrauchs einsparen.

Vor Beginn der Arbeiten muss der Wandaufbau überprüft werden und die Dicke der vorhandenen Luftschicht ist zu ermitteln. Dies geschieht durch kleine Kernbohrungen im Sichtmauerwerk, in die Endoskop und Zollstock eingeführt werden können. Die Dichtheit des Mauerwerks wird mit einer Luftdichtigkeitsmessung und einem Nebelgenerator geprüft. Nur wenn beide Schalen des Mauerwerks dicht sind, kann das Dämmmaterial nicht wieder herausrieseln.

Die Einblasöffnungen werden, je nach Fassadengröße, an mindestens 5 Stellen pro Geschoss und Wandfläche gebohrt. Unterhalb der Fenster sind zusätzliche Bohrlöcher vorzusehen, um eine bessere Verteilung der Dämmung zu gewährleisten. Über einen flexiblen Schlauch wird der Dämmstoff mithilfe eines Kompressors in die Hohlräume zwischen den Mauerwerksschalen eingebracht und durch Druck hohlraumfrei verdichtet. Die Bohrlöcher werden anschließend wieder verschlossen (siehe Abb. 1.305).

Als Dämmmaterial werden vorrangig Zellulose, Polystyrol, Steinwolle und Perlite eingesetzt. Wichtig ist, dass man ein feinkörniges Granulat mit möglichst geringem Durchmesser verwendet, damit es sich optimal im Mauerzwischenraum verteilt und ausreichend verdichtet werden kann. Die verwendeten Dämmstoffe müssen hydrophob (wasserabweisend) sein, da durch das Sichtmauerwerk Feuchtigkeit eindringen kann.

Wird eine zweischalige Konstruktion, bestehend aus 24 cm tragendem Mauerwerk, 10 cm Luftschicht und 12,5 cm Sichtmauerwerk mit Polystyrolgranulat gedämmt, lässt sich der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) der Wand von 1,058 auf 0,263 W/(m^2 K) reduzieren. Grundsätzlich kann die Verfüllung eines nur 4 cm schmalen Mauerzwischenraums die Wärmedämmeigenschaften einer Wand um das Doppelte erhöhen.

1.8.4 Innendämmungen

Das Materialspektrum der Innendämmungen hat sich in den letzten Jahren deutlich erweitert, allerdings auch die Planungs- bzw. Ausführungsmängel. Da sehr viele Faktoren für das Raumklima ausschlaggebend sind, bedarf der Eingriff in einen Altbau immer einer sehr umsichtigen Planung und Ausführung. Allen potenziellen Wärmebrücken wie Decken, Trennwänden, Türen und Fenstern gebührt bei der Ausführung besondere Aufmerksamkeit. Als konstruktive Lösungen für Innendämmungen können zwei grundsätzliche Prinzipien umgesetzt werden: Entweder wird die Innendämmung als eine dampfdichte vorgesetzte Schale konzipiert oder sie wird als luftdichte aber diffusionsoffene Schale aus einem kapillaraktiven Dämmstoff hergestellt.

Ein Kernproblem ist, dass durch die Innendämmung der Wärmeeintrag aus der Raumluft in die Bestandswand deutlich verringert wird. In der Folge kühlt die Wand aus, und der Taupunkt der Konstruktion verschiebt sich von der Außenseite weiter in den Wandaufbau. Aufgrund der komplexen hygrothermischen Zusammenhänge wurde mit Erscheinen der DIN 4108 (2016) die zwingende Anwendung instationärer Berechnungsmodelle für die Simulation nachträglicher Innendämmungen eingeführt.

Insgesamt kommen viele Materialien für Innendämmungen infrage, u. a. Polystyrol, Polyurethan, Kalziumsilikat, Glas- und Steinwolle, Holzwolleleichtbauplatten, Wärmedämmziegel, Holzweichfaserplatten, Schaumglasplatten oder auch Schilfrohr. In der Regel sind es die Anforderungen des Denkmalschutzes, die zum Einsatz einer Innendämmung führen, beispielsweise, wenn der Erhalt einer Natursteinfassade gefordert wird.



Abb. 1.305 Nachträgliche Hohlraumkonservierung. (Quelle: ILS Hamburg)

Vielfach werden dampfdichte Innendämmmaßnahmen für Bauschäden wie Schimmelbefall verantwortlich gemacht. Ursache dieser Probleme ist jedoch nicht die neue Innendämmung an sich, sondern die handwerklich unsachgemäße Ausführung oder nicht beseitigte Ursachen von Durchfeuchtungen:

- Durch die Dämmung auf der Innenseite wird die Außenwand insgesamt kälter. Dies hat z. B. Auswirkungen auf Hausinstallationsleitungen (z. B. Wasser, Heizung), die im ungünstigsten Falle sogar einfrieren können.
- Es muss auf eine luftdichte Ausführung der inneren Verkleidung (Fugen, Decken- und Wandanschlüsse) geachtet werden. Verbundplatten mit Dämmstoff sind für solche Maßnahmen gut geeignet.
- Es besteht auch die Möglichkeit, Dämmstoffe zwischen Unterkonstruktionen einzubauen. Hierbei ist es notwendig, eine Dampfsperre zwischen Dämmstoff und raumseitiger Verkleidung anzubringen. Auf eine luftdichte Anschlussausbildung ist zu achten.
- Wärmebrücken, wie sie besonders im Laibungsbereich von Fenstern, bei Geschossdeckeneinbindungen und an Innenwänden auftreten, sollten entsprechend gedämmt werden. Ansonsten wächst die Gefahr der Schimmelpilzbildung.
- Die Nischen von Heizkörpern müssen nicht nur rückseitig, sondern auch an den Seiten – Fensterlaibung – gedämmt werden.
- Schwierigkeiten treten häufig in Küchen und Bädern auf. Hier behindern Einbaumöbel und sanitäre Einrichtungen die durchgehende Anbringung der Wärmedämmung. An ungedämmten Stellen, die vielfach hinter Schränken und anderen Einbaugegenständen liegen, kann es zu verstärkter Schimmelpilzbildung kommen.
- Beeinträchtigungen bezüglich der Möblierung und der Verkabelung im Bereich der Außenwände müssen vor Inangriffnahme einer Innendämmmaßnahme bedacht werden.

1.8.4.1 iQ-Therm-Dämmung

Im Gegensatz zu „klassischen“, dampfbremsenden Innendämmsystemen, die aufgrund ihrer Schadensanfälligkeit und Dauerhaftigkeit aktuell in der Kritik stehen, ermöglichen die Feuchtetransporteigenschaften kapillaraktiver und diffusionsoffener Innendämmsysteme ein hohes Trocknungspotenzial, was auch bereits vorgeschädigten Bauteilen zugutekommt (Abb. 1.306).

- Eine diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung puffert Feuchtespitzen der Innenluft und trägt zur Regulierung und Verbesserung des Innenklimas bei.
- Die Kapillaraktivität sorgt für eine schnelle und großflächige Verteilung der Feuchte während der Winterperiode.
- Die Trocknung wird beschleunigt und die Dämmwirkung verbessert.

iQ-Therm hat diese Eigenschaften bereits an vielen denkmalgeschützten Objekten unter Beweis gestellt. Neben klimatischen Aspekten, dem Wohn- und Nutzungskomfort wird insbesondere auch dem Denkmalschutz Rechnung getragen.

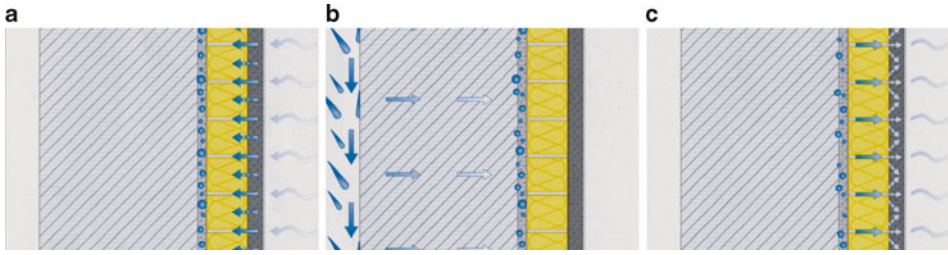


Abb. 1.306 Das iQ-Therm-Prinzip: **a** Feuchteentwicklung durch Wechselwirkung zwischen Wärme und Kälte, **b** Feuchteentwicklung durch äußere Bewitterung wie z. B. Schlagregen, **c** Feuchtetransport (Kapillarität) zur raumseitigen Oberfläche und feuchtigkeitsregulierende Verdunstung

Das neu entwickelte, intelligente Innenwanddämmsystem verbindet Kapillarität, Wärmedämmung und Raumluftfeuchtigkeitsregulierung in einem System. iQ-Therm ist eine bauphysikalisch wirkungsvolle Kombination aus der Anwendungssicherheit bewährter kapillaraktiver Kalziumsilikatwerkstoffe und der hohen Wärmedämmleistung organischer Schäume. Vor der Applikation eines Innenwanddämmsystems sind die Ursachen einer gegebenenfalls vorhandenen Feuchtebelastung der zu dämmenden Bauteile zu beseitigen, nur dann können die Vorteile des Systems ganz ausgeschöpft werden wie beispielsweise:

- höchste Dämmeigenschaften (λ = ca. 0,031 W/(m K));
- hohe Kapillaraktivität und somit weitgehende Sicherheit vor Feuchte und Schimmel;
- luftfeuchtigkeitsregulierend, sorgt für angenehmes Raumklima;
- reduziert deutlich und dauerhaft die Heizkosten;
- in allen Gebäuden und Wohnräumen einsetzbar, ohne die Fassadenoptik zu verändern;
- extrem geringe Aufbauhöhe, einfach einsetzbar;
- positive Ökobilanz, geprüft vom Institut für Bauen und Umwelt.

Im Gesamtsystem steht durch die feuchtepuffernde Sorptionsschicht zusätzlich eine Luftfeuchteregulierung zur Verfügung, die ein angenehmes Raumklima und einen sicheren Schutz vor Schimmelbildung gewährleistet. Zur Realisierung dieser multifunktionalen Anforderungen wird eine hochdämmende Polyurethanschaumplatte verwendet, welche mit regelmäßigen, senkrecht zur Oberfläche stehenden Lochungen versehen ist. Diese Lochungen sind werkseitig mit einem speziellen, hoch kapillaraktiven mineralischen Material verfüllt.

Die Platten werden mit einem abgestimmten mineralischen Klebemörtel auf die Innenwandoberflächen angekoppelt und abschließend mit einem porosierten mineralischen Leichtmörtel überputzt, der mit einer Stärke von 10 bis 15 mm die Sorptions- und Installationsschicht darstellt.

1.8.5 Schäden an Wärmedämmverbundsystemen

Schäden an Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) entstehen zumeist durch Ausführungsfehler bei der Ausbildung von Details wie Anschlüssen oder Übergängen sowie durch bioziden Befall wie beispielsweise Schimmelpilzwachstum an den Wandinnenseiten und Algenbildung auf Kunstharzputzen.

Verklebung
Schadensursachen sind hier oft ungenügende Haftung am Untergrund durch fehlende oder ungenügende Vorbereitung des Untergrundes, feuchter Untergrund sowie zu geringer und nicht vollflächiger Kleberauftrag (vgl. Abb. 1.307). Weiterhin bestehen Risiken durch Wechselwirkungen von Altanstrichen/Beschichtungen und den bei der Sanierung eingesetzten Klebern. Bei nicht vollflächiger Verklebung besteht das Risiko von Tauwasserausfall in der Klebeebene. Ein ungleichmäßiger Kleberauftrag führt zu Hohllagen und Schiefstellungen, die oftmals mit einem Dünnschichtputz nicht mehr auszugleichen sind.

Wärmedämmung
UV-Schädigung von Polystyrol (lange Lagerung in der Sonne) führt ebenso zu mangelhafter Haftung des Unterputzes wie eine fehlende Hydrophobierung und die ungenügende Quersteifigkeit von Mineralfaserplatten. Als schlimmste Folge kann es zum Ablösen und Herabfallen des Putzes kommen.

Eckschutzschienen
Häufige Fehlerquellen sind ein falscher Einbau, eine mangelhafte Putzüberdeckung, unzureichende oder fehlende Einbindung in die Flächenarmierung und eine unzweckmäßige Materialauswahl (siehe Abb. 1.308 und 1.309).



Abb. 1.307 Mit einem Kleberauftrag von bis zu 3 cm Dicke im Anschluss Laibung/Fenster sollte das Öffnungsmaß „korrigiert“ werden. Die eingelegte Dämmplatte dient der Visualisierung



Abb. 1.308 Rissbildung entlang einer Laibungsecke. Die Eckschutzschiene aus dem Trockenbau wurde im Außenbereich eingesetzt und die eingelegte Armierung ist zu kurz ausgeführt



Abb. 1.309 Die untere Eckschiene ist aufgrund falscher Materialauswahl vollständig korrodiert, während die aufgedoppelte Schiene (*links* im Bild) aus dem Trockenbau stammt. Die Befestigung erfolgte „fachgerecht" mit Drahtstiften

Dehnungsfugen

Bewegungen in der Tragkonstruktion bei einer fehlenden Dehnungsfuge führen zu Rissen, welche wiederum Durchfeuchtung, Ausbeulung oder Abblättern des Putzes nach sich ziehen. Konstruktiv unzureichende Dehnungsfugen haben die gleichen Schäden zur Folge.

Fenster-, Türanschlüsse/Fensterbänke

Die am weitesten verbreitete Lösung um das WDVS bzw. die Putzbeschichtung an Fenster- und Türrahmen schlagregen- und luftdicht anzuschließen ist die Anputzleiste, ein Kunststoffprofil mit Schutzlippe, Dichtband und Gewebe. Mängel betreffen dort den nicht bündigen Putzanschluss oder eine ungenügende Verklebung am Rahmen infolge von haftmindernden Verschmutzungen. Bei Fensterbänken immer wieder auftretend ist der Einsatz nicht zugelassener Montageschäume und die mangelhafte Putzüberdeckung der Seiten-



Abb. 1.310 Undichtigkeiten am Fensterbankanschluss lassen Wasser in den Putz eindringen. Die Seitenborde sind nicht ausreichend überputzt und der üppig verwendete Montageschaum ist nicht dauerhaft raumbeständig



Abb. 1.311 Stumpf an die Laibung angeschlossene Fensterbank. Die Anschlussfuge wurde lediglich mit Dichtstoff gefüllt, was keine dauerhafte Funktionalität gewährleistet

borde (siehe Abb. 1.310 und 1.311). Auch eine unzureichende Bemessung der Fensterbänke (Überstand bzw. Tropfkante zu gering) führt zu Problemen.

Dübel

Nicht bündig bzw. erhaben eingebaute Dübel können zu sogenannten Dübeltellern führen, die in Form von Beulen und Feuchteschäden auftreten. Sofern das verwendete System dies zulässt, sollten die Dübel versenkt und die Fehlstelle mit dem Dämmmaterial flächenbündig geschlossen werden. Hierdurch kann der häufig entstehenden Algenbildung auf den Dübeln entgegengewirkt werden, deren Ursache das unterschiedliche Abtrocknungsverhalten auf Dämmung und Dübel nach einer Feuchtebeaufschlagung ist.

Putz

Putzschäden an WDVS entstehen aufgrund fehlender Überdeckung/Einbettung des Armierungsgewebes, fehlender Diagonalbewehrung oder Falten im Gewebe. Ein fehlender Voranstrich auf dem Unterputz bedingt eine mangelnde Haftung des Oberputzes und kann somit einen Feuchteeintritt zwischen Unterputz und Oberputz (Beulen) zur Folge haben (Abb. 1.312).



Abb. 1.312 Aufgrund erheblicher Unebenheiten wurde statt eines Dünnschichtsystems ein Dickschichtputz aufgetragen und die zulässige Putzdicke dabei noch um ca. 50 % überschritten. Der Haftungsverlust (Abriss zwischen Armierungslage und Grundputz) ist durch das hohe Eigengewicht und die fehlende Haftgrundierung bedingt

1.8.5.1 Sanierung biozider Erscheinungen an WDVS-Fassaden

Wärmedämmverbundsysteme auf Gebäudeaußenwänden unterbinden den Wärmefluss von innen nach außen. Daher ist die Oberflächentemperatur an der Außenseite von WDVS-Fassaden im Winter signifikant niedriger ist als bei konventionellen (ungedämmten) Außenwänden. Da Wärmedämmverbundsysteme selbst keine Speichermasse aufweisen, kühlen die WDVS-Fassaden in der Nacht, vor allem durch Wärmeabstrahlung, auf Werte unterhalb der Lufttemperatur ab, und Luftfeuchte kondensiert als Tauwasser auf der Oberfläche. Die dünnschichtigen Beschichtungssysteme der Wärmedämmverbundsysteme sind oftmals hydrophob (wasserabweisend) aufgebaut, um die Dämmung vor zu viel Feuchtigkeit zu schützen. Da das Wasser von den Putzen nicht aufgenommen werden kann, bildet sich in Tauperioden flüssiges Wasser in Tropfenform auf den Fassadenoberflächen. Aufgrund der geringeren Oberflächentemperatur benötigen gedämmte Fassaden sehr lange um wieder abzutrocknen. Das Problem tritt fast nur an Wärmedämmverbundsystemen auf. Bei monolithischen Mauerwerken aus Porenbetonbausteinen oder zweischaligen Backsteinklinkerwänden können sich Algen und Schimmelpilze kaum ansiedeln. Diese Materialien speichern auch im Winter bis tief in die Nacht hinein genügend Wärme aus dem am Tage einfallenden Sonnenlicht, um zu verhindern, dass zu viel Luftfeuchtigkeit an den Wänden kondensiert. Vorteilhaft zur Vermeidung von Algen und Schimmelpilzen auf Fassaden sind traditionelle Putzmörtel mit einem hohen alkalischen Milieu.

In Kombination von Regen und Staubeinwirkung können ausreichend Nährstoffe auf Fassaden angereichert werden, um das Wachstum von Algen erst zu ermöglichen (Abb. 1.313). Hier spielen die örtlichen Gegebenheiten eine große Rolle, z. B. die Orientierung der Wandfläche, der Schutz gegen Wind, Nachbarbebauungen oder eine exponierte Lage. Allgemeine Klimatendenzen wie zunehmend feuchtkalte Winter mit kurzen Frostperioden oder auch sinkende Luftschadstoffwerte begünstigen diese Effekte. So haben Sulfatverbindungen im Niederschlag, auch als saurer Regen bekannt, lange Zeit auf „natürliche“ Weise das Algenwachstum an Fassaden behindert. Dazu kommt noch, dass aus architektonischen Gründen vermehrt mit geringen Dachüberständen gebaut wird. So wird



Abb. 1.313 Algenbewuchs auf einer wärmegedämmten Fassade (WDVS)

auch bei häufigerem Regen, das heißt nicht nur bei sturmartigen Ereignissen, die Fassade großflächig benässt.

Die Entwicklung geeigneter Maßnahmen zur Vermeidung von Algen- und Flechtenbefall ist noch nicht abgeschlossen; im Folgenden werden einige der bestehenden Lösungsansätze beschrieben.

Biozide Ausrichtung der Beschichtungssysteme
Viele Farben- und Putzhersteller bieten biozide Beschichtungssysteme an. Biozide enthalten Wirkstoffe, die Mikroorganismen auf chemischem oder biologischem Weg abtöten. Die Wirkstoffe waschen sich jedoch mit der Zeit aus und belasten dann die Umwelt.

Alkalische Beschichtungssysteme
Die am Anfang wirksame Alkalität von Kalkhydrat- und Zementputzen wird aufgrund der geringen Beschichtungsdicken und damit einhergehend der herabgesetzten Pufferkapazität durch die Karbonatisierung infolge des Zutritts von Kohlendioxid relativ schnell neutralisiert.

Nanotechnologie in Fassadenfarben
Seit einiger Zeit werden Beschichtungssysteme mit Nanopartikeln angeboten. Die entstehende mikroglatte Oberfläche mindert die Feuchtigkeitsaufnahme der hydrophobierenden wasserdampfdiffusionsoffenen Silikonharzbeschichtungen. An der Oberfläche gebildete (Kondensat) oder auftreffende (Niederschlag) Wassertropfen werden in viele kleine Partikel aufgelöst. Dieser sehr dünne Wasserfilm benetzt die Oberfläche vollflächig und soll die umfassende Reinigung ebenso wie das schnelle Trocknen der Fassade ermöglichen. Über die Langzeitwirksamkeit dieser Systeme gibt es zurzeit noch keine Erkenntnisse.

Dickere Beschichtungssysteme
Die fehlende Speichermasse der WDVS-Fassadensysteme wird durch dickere Systeme so weit wie möglich ausgeglichen. Dadurch soll die Oberflächentemperatur erhöht und somit das Erreichen der Taupunkttemperatur zeitlich verzögert werden. Außerdem sind Dickbeschichtungssysteme zumeist nicht hydrophob eingestellt und weisen ein mineralisches Milieu auf. Die hydrophilen Putze und Farben nehmen einen Teil der anfallenden Feuchtigkeit sofort auf, sodass kein Feuchtefilm auf der Oberfläche verbleibt.

Einfärben der Oberflächen mit dunklen Farben
Die Einfärbung der Oberflächen mit dunklen Farben erhöht den Strahlungsenergiegewinn. Bei gleichzeitiger Erhöhung der Speichermassen, z. B. in Kombination mit Latentwärmespeichern, kann die Bildung von Tauwasser auf der Oberfläche zumindest verzögert werden.

Latentwärmespeicher in Beschichtungssystemen
Latentwärmespeicher speichern die Wärme durch die Veränderung des Aggregatzustandes. Durch die Entladung der Speicher bei absinkenden Temperaturen wird die Bildung von Tauwasser verzögert bzw. vermieden.

Infrarotreflektierende Anstriche
Die Beschichtung mit infrarotreflektierenden Anstrichen verringert den Wärmeverlust der Gebäudehülle durch Wärmeabstrahlung. Dadurch steigt die Oberflächentemperatur und die Taupunktunterschreitungen werden seltener.

Konstruktive Maßnahmen
Viele Sachverständige fordern baukonstruktive Maßnahmen wie große Dachüberstände für den Schutz der Fassaden. Diese Entscheidung sollte jedoch im Einklang mit dem architektonischen Konzept und den regionaltypischen Gestaltungsformen gefällt werden.

1.9 Begrünte Fassaden

Neben der „klassischen“ bodengebundenen Fassadenbegrünung mit selbstklimmenden Pflanzen oder Gerüstkletterpflanzen etablieren sich in geringem Umfang, aber stetig die wandgebundenen Begrünungssysteme. Folgender Abschn. 1.9.1 beschäftigt sich ausschließlich mit den wandgebundenen Begrünungssystemen.

1.9.1 Vorteile – Eigenschaften

Die vollflächige Begrünung einer Fassade ist in den Stadtbildern noch eher die Ausnahme als die Regel. Dennoch sprechen, neben dem ungenutzten Flächenpotenzial, viele Gründe für diese, zugegeben gewöhnungsbedürftige Architektur.

Zum Beispiel:

- Aufwertung des Stadtbildes;
- positive gesundheitliche Auswirkungen und Wohlfühlaspekte;
- Schalldämmung und Minderung der Schallreflexion;
- Verbesserung des Stadt- und Raumklimas;
- Verminderung von Überhitzung und Smog;
- Luftbefeuchtung;
- Schutzhülle für das Gebäude und Gebäudeklimatisierung: Kühleffekte im Sommer, Dämmwirkung im Winter;
- Feinstaubbindung und Schadstofffilterung;
- CO_2-Bindung und Sauerstoffproduktion;
- Regenwasserrückhalt und damit Entlastung der Kanalisation;
- Erhöhung der Artenvielfalt in der Stadt;
- Lebensraum für Fauna und Flora;
- keine Angriffsfläche für Graffiti.

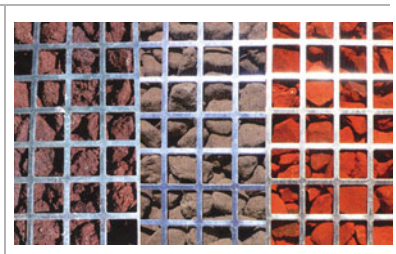
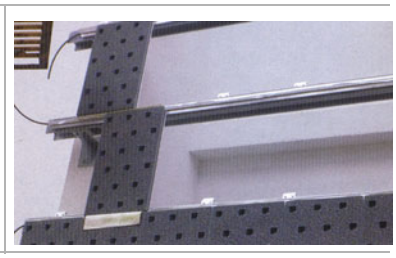
Bei allen Vorteilen, die eine Fassadenbegrünung mit sich bringt, bleibt jedoch zu bedenken, dass die die wandgebundenen Begrünungssysteme für die Pflanzen keine natürliche Umgebung darstellen. Daher müssen für die Vegetation geeignete Wachstumsbedingungen ganzjährig mit hohem technischem Aufwand gewährleistet werden.

Nachfolgend werden in Tab. 1.68 einige technische und architektonische Eigenschaften von Fassadenbegrünungen aus verschiedenen Betrachtungsweisen aufgezeigt.

Tab. 1.68 Systemkomponenten begrünter Fassaden

1 Fassadengebundenes System mit Substrat	
Fassadengebundenes Begrünungssystem ohne Bodenanschluss auf Substratbasis, ohne Kunststoffplatten und Vliesmatten Substratkultur mit vielen Vorteilen: bessere Frostbeständigkeit der Pflanzen, höhere Wasserspeicherung und Feuchtigkeitspufferung Seriengröße der Fassadenelemente: 60 × 100 cm. Zusätzlich projektbezogene Sonderanfertigungen, sodass bauwerkspezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden können Extrem witterungsbeständig gegen UV-Strahlung, Frost und Windeinflüsse	

Tab. 1.68 (Fortsetzung)

2 Material und Design	
Optisch elegantes Erscheinungsbild, selbst ohne Begrünung (wie zu Beginn oder in der Vegetationsruhe) Die Fassadenelemente umschließt ein Alurahmen, sodass sich ein ansprechendes Fassadenbild ergibt Nicht brennbar Einfacher Einbau der Fassadenelemente und schnelle Montage	
3 Farben und Oberflächenbefüllung	
Hohe Flexibilität in Oberflächenfarbe und Befüllung der Aluminiumfassadenelemente Farbe der Fassadenelemente: jeder RAL-Farbton (pulverbeschichtet) oder Aluminium unbehandelt; langlebig und kratzfest Oberflächenbefüllung: beispielsweise mit Bims (weiß), Lava (braun), Tuff (beige-braun) oder Ziegelsplitt (rot) Damit ergibt sich eine Fülle an individuellen Gestaltungsmöglichkeiten	
4 Pflanzen	
Große Artenvielfalt an bewährten Pflanzen Bepflanzung der Fassadenelemente vor Ort nach Installation der Elemente Einfache Bepflanzung nach Pflanzplan Bepflanzung in Vorkulturen möglich	
5 Flexibilität	
Sowohl die Fassadenelemente, die Pflanzen als auch die Tropfbewässerung können unabhängig voneinander an der Fassade entnommen und ausgetauscht werden Das Bewässerungssystem kann bei Bedarf von der Seite her ausgetauscht werden	

1.9.2 Bauliche Voraussetzungen – Systembestandteile

Grundvoraussetzung für die Montage einer konstruktiv durchdachten Fassadenbegrünung ist eine statisch geeignete Fassaden- bzw. Wandkonstruktion (mit oder ohne Wärmedämmung), die mindestens 83 kg/m^2 an zusätzlicher Last aufnehmen kann (Tab. 1.69).

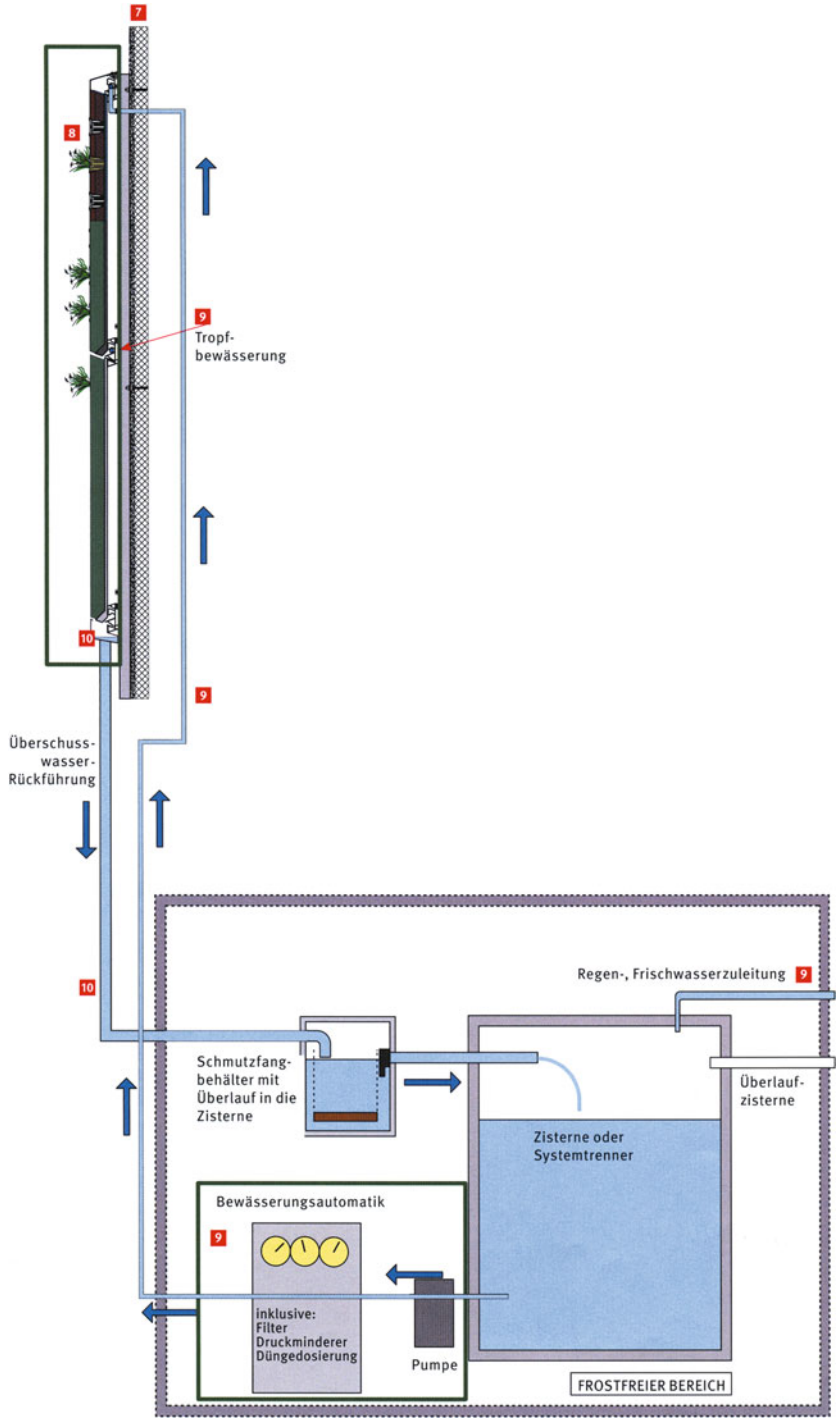


Abb. 1.314 Fassadengebundenes Begrünungssystem. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 1.69 Kennwerte

Material	Aluminium
Farbe	Aluminium natur bzw. nach RAL
Höhe[a]	100 cm
Breite[a]	60 cm
Tiefe[a]	6 cm (zzgl. der Einhangschiene von 4 cm)
Gewicht[a]	50 kg (0,5 kN)/Kassette 83 kg (0,83 KN) m^2

[a]Maße und Gewicht eines Standardelements. Andere Abmessungen sind herstellerabhängig und objektbezogen möglich.

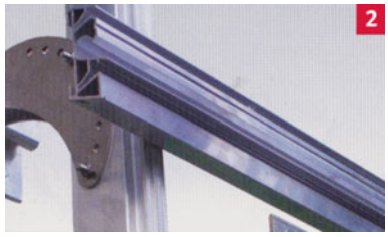
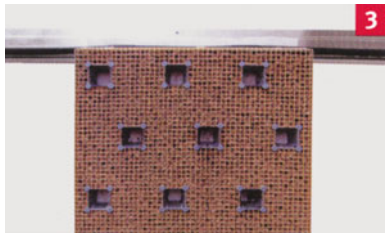
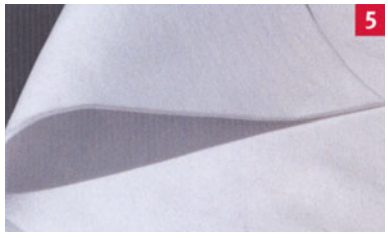
An die Wand werden die Einhangschienen mit bauaufsichtlich zugelassenen Befestigungsmitteln montiert und ausgerichtet. Sie können, wenn die baulichen Gegebenheiten es erlauben, direkt an die Wand montiert werden. Ist dies nicht möglich, sind Tragschienen vorzusehen, an denen die Einhangschienen befestigt werden.

Für die Bepflanzung fassadengebundener Begrünungssysteme eigenen sich besonders Stauden, Gräser, Farne, Kleingehölze und Moose. Bedingt geeignet bzw. nur bei sehr vorteilhaften baulichen Voraussetzungen und verbunden mit einem erhöhten technischen Aufwand sind Blumenzwiebeln und Wurzelkletterer. Als empfehlenswert können beispielsweise Geranien, Bergenien, Steinbrech, Waldsteinien, Hainsimse, Streifen- und Schildfarne, Zwergmispel, Spindelstrauch, Johanniskraut und Immergrün angesehen werden.

1.9.3 Fassadengebundenes Begrünungssystem

Fassadengebundene Begrünungssysteme (siehe Tab. 1.70 und Abb. 1.314) benötigen grundsätzlich eine permanente und bedarfsgerechte Wasser- und Nährstoffversorgung. Hierfür bietet sich ein Bewässerungssystem mit integrierter Nährstoffversorgung an. Eine wesentliche Voraussetzung zur Integration in die Haustechnik sind ausreichend dimensionierte Anlagen für die Strom- und Wasserversorgung des Gebäudes. Um den Frischwasserverbrauch so gering wie möglich zu halten, haben sich computergesteuerte Kreislaufsysteme bewährt. Dabei messen Feuchtefühler den Feuchtigkeitsgrad des Substrates und geben bei Bedarf die Wasserzufuhr über Tropfschläuche frei bzw. schalten diese wieder ab. Sofern geeignete bauliche Gegebenheiten es erlauben, kann auch das Regenwasser von Dachflächen zu Bewässerungszwecken genutzt werden.

Tab. 1.70 Systembestandteile

1 Aluminiumrahmenelemente mit Ecken, Seitenteilen, Rinne und Abdeckblech oben	
	Aus Aluminium; Farbe: Aluminium natur bzw. nach RAL-Farbton Einfassung der Fassadenelemente und damit sauberer Abschluss Entwässerungsrinne zur gezielten Ableitung des Überschusswassers
2 Einhangschiene	
	Aus Aluminium Spezielle Profilgeometrie mit Führung der Bewässerungsschläuche Befestigung direkt an der statisch geeigneten Wand oder auf einer geeigneten Tragkonstruktion (bauseits) Einfaches Einhängen der Fassadenelemente
3 Fassadenkorb	
	Substratgefülltes Kassettensystem aus Aluminium; Oberflächenfarben der Aluminiumkörbe nach RAL Standard- (100 × 60 cm) und Sondermaße Befüllung mit Spezialsubstrat, ca. 20 l/m^2 Mit Pflanztöpfen
4 Pflanztopf	
	Aus Recyclingkunststoff Einfaches Einsetzen der Pflanzen Direkter Kontakt der Wurzelballen zum Saug- und Kapillarvlies 600 K Bei Bedarf einfaches Entfernen der Pflanzen
5 Saug- und Kapillarvlies 600 K	
	Speichert und verteilt das Wasser gleichmäßig an alle Fassadenelemente Vorgefertigt im Fassadenkorb integriert Nicht verrottend und mit hoher Zugfestigkeit

Tab. 1.70 (Fortsetzung)

6 Tropfbewässerung	
	Automatische Bewässerung mit Bewässerungscomputer Zugabe von Nährstoffen Geringer Wasserbedarf, wenig Wasserverlust

Tab. 1.71 Fassadengebundenes Begrünungssystem und konstruktive Forderungen

	Begrünungssystem	Baulich-konstruktive Forderungen
Tragkonstruktion		– Dämmung – Tragkonstruktion – Verbindungselement abhängig von Unterkonstruktion
Fassadenbegrünung	– Einhangschiene mit Halterung – Fertig befüllte Fassadenkassetten – Aluminiumrahmen – Pflanzen	
Bewässerung	– Komplett automatisches Bewässerungssystem inkl. aller Leitungen	– Frostfreier Technikraum – Wasserzuleitung inkl. Rohrnetztrennung – Stromzuleitung – Leitungen vom Technikraum bis an die Fassade des Gebäudes – Alle bauseitigen Anschlüsse sollten von der Haustechnik gemacht werden
Entwässerung	– Entwässerungsrinne aus Aluminium	– Entwässerungsanschlüsse (Zisterne/Kanalisation)

1.9.4 Pflege und Wartung

Wandgebundene Fassadenbegrünungen erfordern eine regelmäßige Pflege, die über die Wasser- und Nährstoffversorgung hinausgeht. Als wesentlichste gärtnerische Tätigkeiten sind der Rückschnitt und Austausch von Einzelpflanzen zu nennen, wobei die Intensität der Pflege in starkem Maße von den eingesetzten Pflanzenarten, den Jahreszeiten und dem damit verbundenen Pflanzenwachstum bestimmt wird. Die Pflege der Fassadenbegrünung kann vom kundigen Bauherrn, aber auch durch geschulte Fachbetriebe ausgeführt werden.

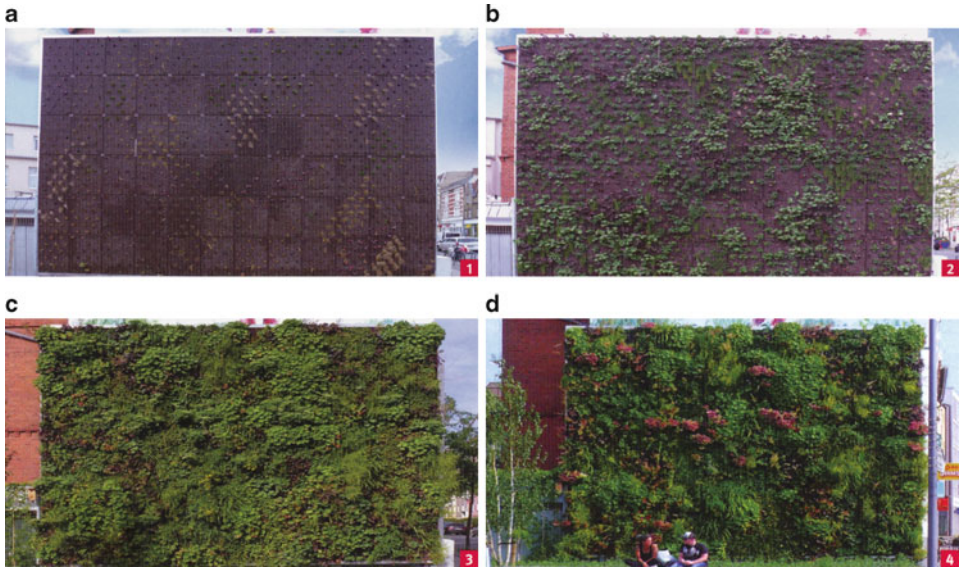


Abb. 1.315 Vegetationsentwicklung. **a** April: Die Fassade ist frisch bepflanzt, **b** Mai: Schon ca. 6 Wochen später ist die Fläche zu 50 % grün, **c** Juli: Die Fassade ist vollständig begrünt, **d** Oktober: Die Vegetation zeigt herbstlichen Aspekt. (Quelle: ILS Hamburg)

1.9.5 Vegetationsentwicklung

Neben der Vielzahl der bereits aufgezeigten Vorteile bieten begrünte Fassaden im Wechsel der Jahreszeiten ein optisch interessantes und abwechslungsreiches Bild, wie die nachfolgenden Aufnahmen in Abb. 1.315 zeigen.

A Anhang

Normen, Richtlinien und Merkblätter

Nachfolgend werden in alphabetischer Reihenfolge die wesentlichen Standards aus dem deutschen Regelwerk genannt, die üblicherweise am häufigsten bei der Anwendung der vorgestellten Verfahren, Materialen und Produkte zur Anwendung kommen.

Die aufgeführten Regelwerke erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und berücksichtigen, wenn nicht anders vermerkt, die jeweils aktuell gültige Fassung.

Biozid-Verordnung (EU) Nr. 528/2012

DAfStb-Richtlinie „Instandhaltung von Betonbauteilen“ (Instandhaltungsrichtlinie), Gelbdruckentwurf 06/2016

DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungsrichtlinie)

DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädliche Alkalireaktionen im Beton“

DBV-Merkblatt-Sammlung, lfd. Jahrgänge

DIN 1045	Tragwerke aus Beton
DIN 105	Mauerziegel
DIN 105-100	Mauerziegel mit besonderen Eigenschaften
DIN 1053	Mauerwerksbau (teilweise zurückgezogen)
DIN 1164	Zement mit besonderen Eigenschaften
DIN 1187	Dränrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC hart); Maße, Anforderungen, Prüfungen
DIN 13055	Leichte Gesteinskörnungen
DIN 18162	Wandbauplatten aus Leichtbeton, unbewehrt
DIN 18195	Abdichtung von Bauwerken
DIN 18202	Toleranzen im Hochbau
DIN 18516	Außenwandbekleidungen, hinterlüftet
DIN 18531	Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen
DIN 18532	Abdichtung von befahrbaren Verkehrsflächen aus Beton
DIN 18533	Abdichtung von erdberührten Bauteilen
DIN 18534	Abdichtung von Innenräumen
DIN 18535	Abdichtung von Behältern und Becken
DIN 18550	Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen
DIN 18551	Spritzbeton – Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen
DIN 1986-100	Gebäude- und Grundstücksentwässerungen
DIN 20000	Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken
DIN 398	Hüttensteine – Vollsteine, Lochsteine, Hohlblocksteine (zurückgezogen)
DIN 4074	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit
DIN 4095	Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung
DIN 4102	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
DIN 4108	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau

DIN 4123	Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude
DIN 4226	Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel
DIN 4242	Glasbausteinwände; Ausführung und Bemessung
DIN 4262	Rohre und Formstücke für die unterirdische Entwässerung im Verkehrswege- und Tiefbau
DIN 51043	Traß; Anforderungen, Prüfung
DIN 55699	Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen
DIN 68364	Kennwerte von Holzarten – Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten
DIN 68800	Holzschutz
DIN EN 1008	Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton
DIN EN 12620	Gesteinskörnungen für Beton
DIN EN 12878	Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 13499	Wärmedämmstoffe für Gebäude – Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
DIN EN 13556	Rund- und Schnittholz – Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer
DIN EN 13580	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Wasseraufnahme und Alkalibeständigkeit für hydrophobierende Imprägnierungen
DIN EN 13670	Ausführung von Tragwerken aus Beton
DIN EN 14081	Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt
DIN EN 14216	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
DIN EN 14487	Spritzbeton
DIN EN 14647	Tonerdezement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien
DIN EN 1504	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken
DIN EN 1766	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Referenzbetone für Prüfungen
DIN EN 197	Zement
DIN EN 1991	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
DIN EN 1994	Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton
DIN EN 1995	Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
DIN EN 1996	Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

DIN EN 335	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten
DIN EN 350	Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten
DIN EN 447	Einpressmörtel für Spannglieder
DIN EN 450	Flugasche für Beton
DIN EN 752	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
DIN EN 771	Festlegungen für Mauersteine
DIN EN ISO 12944	Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme
DIN V 18152-100	Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton
DIN V 18153-100	Mauersteine aus Beton (Normalbeton)
DIN V 18599	Energetische Bewertung von Gebäuden
DIN 18164	Einführung Technischer Baubestimmungen; DIN 18164 Teil 1; Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung
EnEV 2014	Energieeinsparverordnung für Gebäude

GHS (Globally Harmonised System of Classification an Labelling of Chemicals)

Holzschutzmittelverzeichnis vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt)

Positivliste der ECHA (Europäische Chemikalienagentur)

Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)

WTA-Merkblätter, lfd. Jahrgänge

ZDB-Merkblätter, lfd. Jahrgänge

Verwendete und empfohlene Literatur

AG Holz e. V.: Technische Arbeitsblätter; Düsseldorf 2009

AK Forschung: Schadensatlas Ziegelmauerwerk, Forschungsbericht Bd. 2. Schutz und Erhalt europäisches Kulturerbe; Brüssel 1998

Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e. V. (Hrsg.): Bemessung von Ziegelmauerwerk, Eigenverlag, Bonn

Arendt, Claus, Selle, Jörg: Feuchte und Salze in Gebäude; Verlagsanstalt Alexander Koch; 2000

Arendt, Claus: Leitfaden zur Erhaltung und Modernisierung alter Häuser; Deut.-Verlag-Anstalt; Stuttgart 1993

Bartusch Dr.-Ing., Rainer: Stand und Trends der Extrusionstechnik in der Technischen Keramik; Keramische Zeitschrift 05/2010; Expert Fachmedien GmbH; Düsseldorf 2010

Benedix, Roland: Bauchemie; 6. Aufl.; Springer-Vieweg; Wiesbaden 2015

Betonkalender 2013, Band 1; Ernst & Sohn Verlag; Berlin 2013

Betonkalender 2015, Band 1; Ernst & Sohn Verlag; Berlin 2015

Bick, Almut: Die Steinzeit; Theiss Wissen Kompakt; Stuttgart 2006

Binsteiner; Alexander: Rätsel der Steinzeit zwischen Donau und Alpen; Linzer Arch. Forsch. Band 41; Linz 2011

Budde, Christina; Cachola Schmal, Peter: Von der Urhütte zum Wolkenkratzer – Eine Geschichte der Architektur in 23 Modellen; Ausstellungskatalog DAM; Frankfurt am Main 2012

Cziesielski, Erich (Hrsg.): Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen; Springer Fachmedien; Wiesbaden 1997

Dachverband Lehm e. V.: Lehmbauregeln; Vieweg-Verlagsgesellschaft Wiesbaden 2002

Eichler, Friedrich; Arndt, Horst: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz; VEB Verlag für Bauwesen; Berlin 1989

Evemarie Brändle: Bauernhaussanierung; Verlagsgesellschaft München, München 1988

Gerner, M.: Fachwerksünden; Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz Bonn 1997

Gerner, M.: Fachwerksünden; 3. Auflage; Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz; 1999

Gunkler, E.; Budelmann, H. (Hrsg.): Mauerwerk Kompakt, Werner-Verlag, Köln 2008

Haacke: Technische Arbeitsblätter; Celle 2012

Heidelberg Zement AG (Hrsg.): Betontechnische Daten; lf. Jahrgänge; Leimen

Holzbau Deutschland / Bund Deutscher Zimmermeister (Hrsg.): Fachregeln des Zimmererhandwerks – Balkone und Terrassen; Fachregeln 02, Berlin 2015

Horn, Kornelia; Gänßmantel, Jürgen: Risse – Ursachen, Diagnostik, Instandsetzung; WEKA Media GmbH & Co.KG; Kissing 2013

Jäger, W. (Hrsg.): Mauerwerkskalender, lf. Jahrgänge, Verlag Ernst & Sohn

Keim Farben: Technische Arbeitsblätter; Diedorf 2013

Kröpf, Hans: Bildwörterbuch der Architektur; 2. Auflage; Alfred Kröner Verlag; Stuttgart 1974

Kussauer, Robert; Ruprecht, Max: Die häufigsten Mängel bei Beschichtungen und WDVS – Erkennen, vermeiden, beheben; 3. Aufl.; Rudolf Müller GmbH & Co.KG, Köln 2014

Lohmeyer, Gottfried C.O. (Hrsg.): Praktische Bauphysik; 8. Aufl.; Springer Vieweg; Wiesbaden 2013

Lohmeyer, Gottfried C.O.; Lohmeyer, Bergmann, Heinz; Ebeling, Karsten: Stahlbetonbau Bemessung – Konstruktion – Ausführung; 7. Aufl.; B.G. Teubner Verlag; Wiesbaden 2006

Lufsky, Karl (Hrsg.): Bauwerksabdichtung; 7. Aufl.; Vieweg+Teubner; Wiesbaden 2010

Luik, Harry: WDVS – Systeme, Verarbeitung, Details; Rudolf Müller GmbH & Co.KG, Köln 2015

Nebel, H.: Sanieren und Modernisieren von Fachwerken; Kraft; Mönchengladbach 2000

Neufert, E.: Bauentwurfslehre; 41. Auflage; Vieweg-Verlag; Wiesbaden 2016

Pothorn, H.: Baustile; Cormoran Verlag; München 1997

Plagge, R. et.al.: Fachwerk richtig gedämmt: Studie: Fachwerkdämmung, KNAUF Dortmund 2015

Plagge/Heinze: Studie: Fachwerkdämmung; TU Dresden 2015

Rau; Braune: Der Altbau; 8. Auflage; DRW-Verlag; Stuttgart 2013

Remmers: Architektenmappen, Prospekte, Arbeitsblätter; Hauptwerk; Löningen 2013

Schiller, M.: Studienunterlagen; Potsdam 2013

Schneider, K.-J.; Sahner, G.; Rast, R. (Hrsg.): Mauerwerksbau aktuell, lf. Jahrgänge, Bauwerk Verlag

Scholz, Wilhelm: Baustoffkenntnis; 17. Aufl., Werner-Verlag; Düsseldorf 2011

Schönburg, Kurt: Bauschäden sind vermeidbar; 2. Aufl.; VEB Verlag für Bauwesen; Berlin 1978

Schrenk, Friedemann: Die Frühzeit des Menschen; C. H. Beck; München 2003

Schröder, Manfred (Hrsg.), et al.: Schutz und Instandhaltung von Stahlbeton; 7. Aufl.; expert Verlag; Renningen 2015

Schubert, P; Schneider, K.-J., Schoch, T. (Hrsg.): Mauerwerksbau-Praxis nach Eurocode 6. Bauwerk, Berlin 2013

SIVV Handbuch: IRB Verlag; Stuttgart 2009

Stahr, M. (Hrsg.), et al.: Bausanierung. 6. Auflage; Springer-Vieweg; Wiesbaden 2015

Stahr,M.: Sanierung von Fassaden und Außenwänden. Institut für Lernsysteme Hamburg 2014

Stahr,M.: Sanierung von Betonbauteilen. Institut für Lernsysteme Hamburg 2014

Stark, Wicht: Dauerhaftigkeit von Beton; 2. Aufl.; Springer-Vieweg; Wiesbaden 2013

Stark, Wicht: Zement und Kalk; F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg.); Birkhäuser Verlag; 2000

Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.): Zement-Taschenbuch; Verlag Bau+Technik; Düsseldorf 2002

Weber, Jürgen (Hrsg.); Hafkesbrink, Volker (Hrsg.): Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung; 4. Aufl.; Springer Vieweg; Wiesbaden 2016

Wendehorst, R.: Baustoffkunde 35. Aufl.; Beuth Verlag; Berlin 2015

Wohnen in der Steinzeit; in: http://www.steinzeitung.ch/wohnen-in-der-steinzeit/; abgerufen am 17. November 2015.

Zimmermann, Günter; Sander, Martin; Schloenbach, Renate: Schadensfreies Bauen, Schäden an Außenmauerwerk aus Naturstein; IBR-Verlag; Stuttgart 1995

Sanierung von Putzen

2

Virginie Schulz

2.1 Geschichte des Putzes

2.1.1 Allgemeiner geschichtlicher Überblick

Der Putzmörtel ist ein historisches Baumaterial, welcher im alten Ägypten bereits um 2500 v. Chr. und in Mesopotamien um 1500 v. Chr. zum Einsatz kam. Um 500 v. Chr. erfolgte die erste schriftliche Erwähnung des Kalkes in Europa. Diese bezieht sich auf die langen Mauern Athens.

Der ursprüngliche Nutzen des Außenputzes basierte auf dem Schutz des Mauerwerks, welcher bei Verschleiß durch Bewitterung erneuert wurde. Erst ab dem 12. Jh. erhielt der Außenputz auch eine schmückende Funktion, welche das Erscheinungsbild des Gebäudes aufwerten sollte. Ebenfalls wurde die Illusion höherwertiger Materialien hervorgerufen. An den Scheunen in der Zisterzienserabtei Altzella (Sachsen), welche sich zwischen Dresden, Leipzig und Chemnitz befindet, ist die Putzquaderung, eine der frühsten Werke dieser Putzgestaltung, zu finden (Abb. 2.1).

Schon in der frühen Antike haben sich in dicht besiedelten Gebieten Putztechniken entwickelt, welche nicht nur zum Abdichten von Decken und Wänden dienten, sondern auch Oberflächen ausgleichen und glätten sollten. Diese wurden zum einen als Untergrund für farbliche Gestaltungen und Wandmalereien und zum anderen zur Einbindung von Mosaiken verwendet. Des Weiteren hatten sie selbst eine farbgestaltende Aufgabe, z. B. als Stuccolustro-Träger. Diese hochwertigen Putze wurden jedoch vorwiegend nur für repräsentative Profan- und Sakralbauten genutzt. Die Mehrzahl der einfachen Unterkünfte erhielt einen Außenputz als Abdichtung gegen Witterungseinflüsse.

V. Schulz (✉)
Leipzig, Deutschland
E-Mail: schulz@weber-bauschaden.de

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

M. Stahr (Hrsg.), *Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen*,
https://doi.org/10.1007/978-3-658-08407-3_2



Abb. 2.1 Zisterzienserkloster Altzella bei Nossen 13. Jh. (Quelle: ILS Hamburg)

Unverputztes Mauerwerk erhält erst mit einem Putz einen gebrauchsfertigen Zustand, welcher die Aufgabe hat, das Mauerwerk einzuebnen und vor äußeren Einflüssen zu schützen.

Die ornamentalen und bildhaften Putzmörtelgestaltungstechniken nahmen zu allen Zeiten eine Sonderstellung in der Putztechnik ein. Zumeist war dabei der Putzmörtel oder frischer Putz das Gestaltungsmaterial, z. B. bei der Putzritzung, dem Putzrelief sowie in der Sgraffito-, Putzschnitt-, Putzintarsien-, Stuckmarmor- und Scagliolatechnik.

Putze kamen bei der Ausführung von Farbanstrichen und Malereien als Malgrund zum Einsatz. Dabei bildete der chemische Verbund zwischen dem Putz und dem Farbanstrich eine technische Einheit. Als Beispiel sind dazu die Fresco- und Stuccolustro-Technik und der Auftrag von eiweiß- bzw. kaseingebundenen Farben auf frischen Kalkmörtelputzen zu erwähnen (Abb. 2.2).

Für die historische Betrachtung der Putztechniken ist neben der Anwendung auch die Art der Putzmörtel von Bedeutung. Da das Verputzen im Vergleich zu anderen Techniken wie das Bearbeiten von Naturstein und Metallen eine einfache und leicht variierbare Arbeitstechnik ist, haben sich schon in früherer Zeit grundlegende Kenntnisse und Erfahrungen in den Putztechniken herausgebildet.

An erster Stelle stand sicher die Entnahme von Stoffen wie Ton, Lehm, Flussschlamm, Sedimenten und vulkanischen Sanden, Gesteins- und Muscheltrümmern aus der Natur, die meist gemischt und mit Wasser angemacht wurden. An Mauerwerk, Geflechten usw. ergaben diese einen haftenden Mörtel. Des Weiteren wurde dieser mit natürlichen Zusatzstoffen wie Tierblut und Milch vermischt, um eine verbesserte Verarbeitbarkeit und Anhaftung zu erreichen. Ebenfalls wurden Tierhaare, trockene Gräser und Pflanzenfasern als natürliches Bewehrungsmaterial verwendet, welche die Zug- und Bruchfestigkeit von

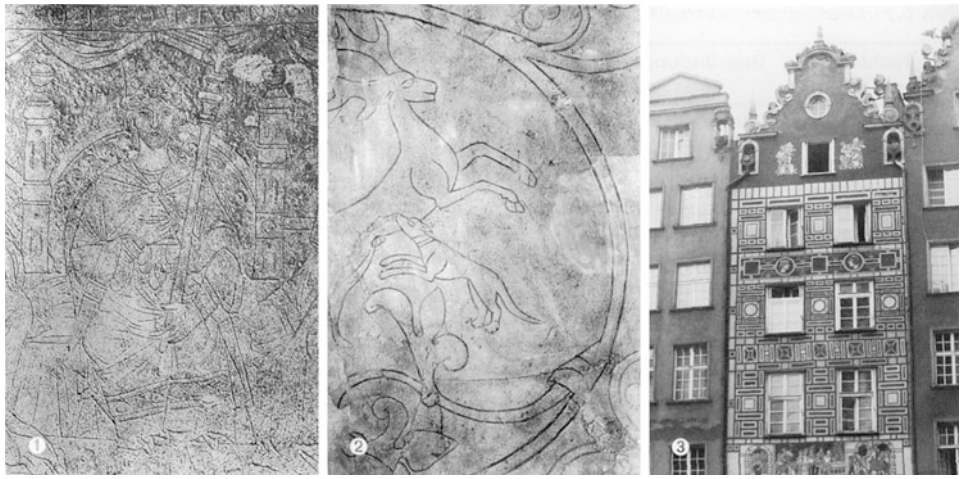


Abb. 2.2 Historische Putzmörtelgestaltung. (Quelle: ILS Hamburg)

Putzen verbessert haben, die für formunstabile Untergründe aus Holz, Geflechten usw. zur Anwendung kamen.

Letztlich geht auch die Herstellung von Kalkbindemitteln, ohne und mit natürlichen hydraulischen Anteilen und von Gips bis in prähistorische Zeiten zurück, da die Umwandlung von Kalk- und Gipsstein durch Feuer und Wasser mit reaktionsfähigem Bindemittel sich aus der damaligen Lebensweise ergaben.

Aus all diesen Gründen ist zu schussfolgern, dass die historischen Putztechniken in ihrer Materialgrundlage sehr stark von den territorialen Bedingungen, insbesondere von den örtlich vorkommenden Rohstoffen, geprägt waren.

2.1.2 Entwicklung der Baustoffe

2.1.2.1 Gips

Bei Gips handelt es sich um einen natürlichen Baustoff, welcher bereits in Ägypten 3000 v. Chr. als Baustoff verwendet wurde. In dieser Zeit kam er als Fugenmörtel zwischen Steinquadern an den Pyramiden als auch als Verputzmaterial zum Einsatz.

In der römischen Antike wurde Gips lediglich für die Ornamenttechnik im Innenbereich verwendet. Erst im 11. Jh. tauchte der Gipsmörtel in Europa wieder für die Verfugung von Mauerwerk auf.

Für Stuckarbeiten wurde der Gips ab dem 17. Jh. genutzt.

2.1.2.2 Kalk

Die ältesten Anwendungen von Kalkmörtel als Baumaterial sind im 17. Jh. v. Chr. aus Mesopotamien und aus der Zeit 12.000 v. Chr. durch Funde in der Osttürkei belegt. Etwa

6000 Jahre später wurde in Palästina Kalk als Bindemittel für Ziegelbauten verwendet. Auch in Ägypten, Troja und Pergamon ist die Verwendung von Kalkmörtel nachgewiesen. Die Griechen kannten den gebrannten Kalk seit dem 17. Jh. v. Chr. Er wurde mit zerstoßenem Marmor als Putz verwendet. Die Phönizier verwendeten das vulkanische Gestein der Insel Santorin als gemahlenen Zusatzstoff zum Kalkmörtel. Sie erhielten damit einen wasserfesten Mörtel. Andere bekannte hydraulische Bindemittel (z. B. vulkanische Asche) und Puzzolane (z. B. Trass) wurden eingesetzt.

Es sind auch ältere Mörtelfunde bekannt, die jedoch ein Gemisch aus Kalziumkarbonat und Gips darstellen. Das bedeutet, dass als Ausgangsmaterial ein Mineralgemenge verwendet worden ist.

Da jedoch gebrannter Kalk bei sehr viel höheren Temperaturen hergestellt wird als Stuckgips, ist es unwahrscheinlich, dass in diesen Fällen gebrannter Kalk zur Anwendung gelangte.

2.1.2.3 Zement

Eine Art hydraulisches Bindemittel kannten die Römer schon seit etwa dem 1. Jh. v. Chr. In die Baugeschichte ist er als „opus caementitium“ oder auch als Romanzement eingegangen. Bei dem Werkstoff handelt es sich um Kalkstein ohne oder mit Ton. Er wird bei etwa 1000 °C gebrannt und mit Puzzolanen gemischt.

Erst seit dem 15. Jh. sind Berichte über die Herstellung von Mörtel mit hydraulischen Bindemitteln und somit von hydraulischem Kalk bekannt. Im 18. Jh. wurde durch Brennen einer besonders tonhaltigen Kalksteinsorte der sogenannte Romankalk (fälschlicherweise: Romanzement) hergestellt. Anfang des 19. Jh. gelangte in England erstmals der sogenannte Portlandzement zur Anwendung. Das damalige Produkt war für heutige Begriffe noch stark verunreinigt. Der erste Portlandzement wurde bei 900–1000 °C (unter der Sintergrenze) aus bereits gebranntem Kalk, der mit Ton versetzt worden war, gebrannt. 1838 gelang der durchschlagende Erfolg. Damals hat man bei Brenntemperaturen zwischen 1300 und 1500 °C (über der Sintergrenze) eine Temperatur erreicht, die durch eine Teilaufschmelzung der Silikate deren glasartiges Erstarren während der Abkühlung bewirkte.

2.2 Allgemeines

Der Putz hat die Aufgabe ein Gebäude dauerhaft vor äußeren Einflüssen wie Wind, Regen und Temperaturwechsel zu schützen. Ebenfalls dient er für die Behaglichkeit durch Schall- und Wärmedämmung. Neben diesen Aufgaben wird dem Gebäude ebenfalls mit einem Putz ein ästhetischer Charakter verliehen, durch verschiedene Putztechniken, Form- und Farbgestaltung.

Um eine lange Lebensdauer eines Putzsystems zu erhalten, ist eine fachgerechte Planung, Ausführung, Instandhaltung und Wartung notwendig.

Dennoch sind in der Praxis oft umfangreiche, teilweise komplizierte und kostenaufwendige Sanierungsmaßnahmen notwendig, da eine sach- und fachgerechte Planung, Ausführung bzw. Instandhaltung nicht erfolgt ist.

2.2.1 Bindemittel

Als Bindemittel werden anorganische pulverförmige Stoffe bezeichnet, die die Eigenschaft besitzen, Gesteinskörnungen „einzubinden“. Unter Wasserzugabe wird ein form- und gießbarer Leim erzeugt.

Unter bestimmten physikalisch-chemischen Vorgängen erstarrt und erhärtet das Gemisch aus Bindemittel, Wasser und Gesteinskörnung zu einem künstlichen Gestein. Bindemittel werden in zwei Gruppen eingeteilt:

- hydraulische Bindemittel
- nicht hydraulische Bindemittel

Hydraulische Bindemittel erhärten an der Luft und unter Wasser. Nicht hydraulische Bindemittel erhärten ausschließlich an der Luft und sind nach dem Erhärten nicht wasserbeständig.

Die wichtigsten Bindemittel sind Gips, Kalk und Zement.

2.2.1.1 Gips

Um Gipsstein als Bindemittel zu verwenden, muss es gebrannt werden. So entsteht aus Kalziumsulfat-Dihydrat ($CaSO_4 \cdot 1/2\ H_2O$) bei der Erhitzung auf eine Temperatur von 120 °C das Kalziumsulfat-Halbhydrat ($CaSO_4 \cdot 1/2\ H_2O + 1\ 1/2\ H_2O$), welches als Bindemittel für Stuckgips Verwendung findet.

Durch die Erhitzung auf über 200 °C wird das restliche gebundene Wasser ausgetrieben. Das Ergebnis ist das Anhydrit, welches als Bindemittel im Gipsputz verwendet wird.

2.2.1.2 Kalk

Aus Kalkstein ($CaCO_3$) wird beim Brennen unter der Sintergrenze (1000–1200 °C) Luftkalk gewonnen. Beim Erhärten benötigt das Bindemittel Kohlendioxid aus der Luft, daher die Bezeichnung Luftkalk.

Aus tonhaltigem Kalk, dem sogenannten Kalkmergel, entsteht hydraulischer Kalk. Bei der Reaktion mit Wasser erhärtet dieser zementartig.

2.2.1.3 Zement

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel. Es gibt fünf Hauptzementarten. Die wichtigste Zementart ist der Portlandzement (CEM I).

Als Rohstoff für die Herstellung von Portlandzement werden primär Kalk und Ton verwendet.

Beim Brennen im Drehrohrofen bei einer Temperatur von ca. 1450 °C entsteht eine Schmelze. Bei dieser Temperatur erfolgt die Sinterung, das heißt, die Silikate stehen kurz vor dem Wechsel von dem Aggregatzustand fest nach flüssig.

Dabei verdichten sich die Partikel. Durch rasches Herabkühlen der Masse entstehen kleinere Brocken, die als Portlandzementklinker (Name analog dem Ziegelklinker) bezeichnet werden. Durch die Feinmahlung vergrößert sich die reaktive Oberfläche. Das Produkt ist ein rasch erstarrendes, hydraulisches Bindemittel: der (Portland-)Zement.

Die Erhärtungsprodukte sind wasserbeständig.

2.2.2 Putzarten

Gemäß DIN 998-1: 2010 „Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Putzmörtel“ werden die in Tab. 2.1 angegebenen Bezeichnungen für Bindemittel verwendet.

Tab. 2.1 Putzarten

Bezeichnung	Druckfestigkeitsklasse	Ehemalige Putztypbezeichnung nach DIN V 18550	Beschreibung	Anwendung
Mörtel mit Luftkalk (CL)	CS I	PI	Hauptbindemittel ist Luftkalk (mineralischer Putz)	Innenbereich, Denkmalpflege
Mörtel mit hydraulischem Kalk (NHL, HL)	CS I/CS II	PI	Hauptbindemittel ist hydraulischer Kalk (mineralischer Putz)	Innenbereich, Denkmalpflege
Kalkzementmörtel	CS II/CS III	PII	Bindemittel sind Baukalk und Zement (mineralischer Putz)	Innenbereich, Feuchträume, Außenbereich, Sockelbereich
Zementmörtel	CS III/CS IV	PIII	Bindemittel ist Zement (mineralischer Putz)	Innenbereich, Außenbereich (Sockel, Kelleraußenwände)
Silikatputz/ Dispersionssilikatputz		P org 1	Bindemittel sind Kaliwasserglas und Kunststoffdispersion (organischer Putz)	Innenbereich
Kunstharzputz/ Dispersionsputz		P org 1	Bindemittel ist Polymerdispersion (organischer Putz)	Innenbereich
Silikonharzputz		P org 1	Bindemittel sind Silikonharzemulsion und Polymerdispersion (organischer Putz)	Innenbereich

Tab. 2.2 Eigenschaften mineralischer Putze. (Quelle: ILS Hamburg)

Eigenschaften	Bezeichnung	Anforderung
Druckfestigkeit (nach 28 Tagen)	CS I CS II CS III CS IV	0,4–2,5 N/mm^2 1,5–5,0 N/mm^2 3,5–7,5 N/mm^2 > 6,0 N/mm^2
Kapillare Wasseraufnahme	w 0 w 1 w 2	Nicht festgelegt c < 0,40 kg/(m^2 min^{0,5}) c < 0,20 kg/(m^2 min^{0,5})
Wärmeleitfähigkeit	T 1 T 2	< 0,1 W/(m^2 K) < 0,2 W/(m^2 K)

2.2.2.1 Mineralischer Putzmörtel

Mineralische Putze werden meist als Trockenmörtel in Säcken oder im Silo auf die Baustelle geliefert. Angemischt wird der Trockenmörtel dann mit Wasser. Dies erfolgt per Hand oder maschinell. Danach erfolgt der Auftrag auf die zu verputzende Oberfläche.

Als Zuschläge (Gesteinskörnung) werden zum einen Natursande, Marmor oder Kalkstein verwendet. Bei Leichtputzen handelt es sich um eine leichte Gesteinskörnung wie Blähton, Bims, Perlite oder Blähglas.

Als Bindemittel kommen Baukalke und Zemente zum Einsatz. Dadurch erhält der Putz ein feinporiges und diffusionsoffenes Gefüge, wodurch die Putze Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben können.

In der Regel sind mineralische Putze nicht brennbar. Es sind jedoch die Herstellerangaben zu beachten.

Mineralische Putze werden in verschiedenen Festigkeitsklassen und Rohdichten hergestellt (Tab. 2.2). Des Weiteren bestehen Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit und kapillare Wasseraufnahme.

2.2.2.2 Organischer Putz

Organische Putze werden in der Praxis pastös (also gebrauchsfertig) in Eimern oder speziellen Silos auf die Baustelle geliefert. Die Bestandteile der einzelnen organischen Putze sind in Tab. 2.1 „Putzarten“ enthalten.

2.2.2.3 Putzträger

Putzträger (Abb. 2.3) kommen zum Einsatz, wenn der Untergrund keine ausreichende Haftung zum Putz aufweist. Diese werden auf dem Untergrund aufgebracht und stellen eine dauerhafte Tragfähigkeit des Putzes sicher. Um diese Funktion erfüllen zu können, sind die Anforderungen aus den Regelwerken und die Herstellerangaben zu beachten.

Nachfolgende Putzträger werden angeboten:

- metallische Putzträger (z. B. Rippenstreckmetall)
- Holzwolle- und Holzwollemehrschichtplatten

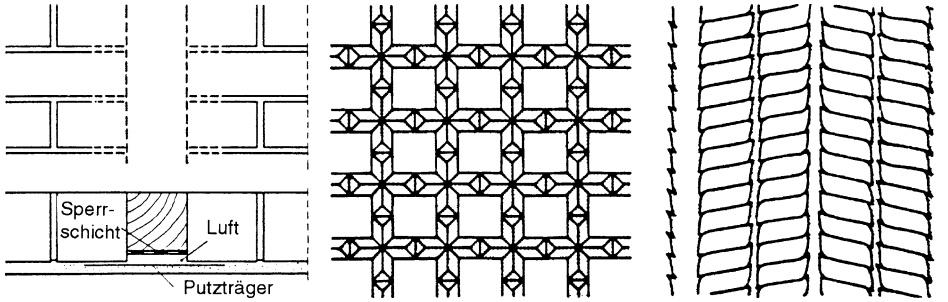


Abb. 2.3 Putzträger. (Quelle: ILS Hamburg)

- beidseitig gewebearmierte Putzträgerplatten
- Ziegeldrahtgewebe
- Rohrmatten

2.2.2.4 Armierungsgewebe/Putzbewehrung

Das Armierungsgewebe erfüllt die Funktion, Zugkräfte, welche vom Putz nicht aufgenommen werden können, zu verteilen, damit eine Rissbildung verhindert werden kann.

Die Gewebeeinlage wird als Einlage im Armierungsmörtel eingebettet. Die Anwendung erfolgt je nach Aufgabenstellung vollflächig oder lediglich an rissgefährdeten Bereichen (z. B. Fensteröffnungen). Es wird jedoch angemerkt, dass konstruktionsbedingte Rissbildungen nicht durch die Putzarmierung verhindert werden können.

Die Putzbewehrung kann zum einen aus Metall (Drahtgewebe), mineralischen Fasern (Glasfasergewebe) oder Kunststofffasern bestehen. Am häufigsten kommt das Glasfasergewebe zum Einsatz, da diese zur Erreichung der Alkalibeständigkeit und Verschiebefestigkeit mit einer Kunststoffbeschichtung versehen ist.

2.2.3 Sanierungskonzept

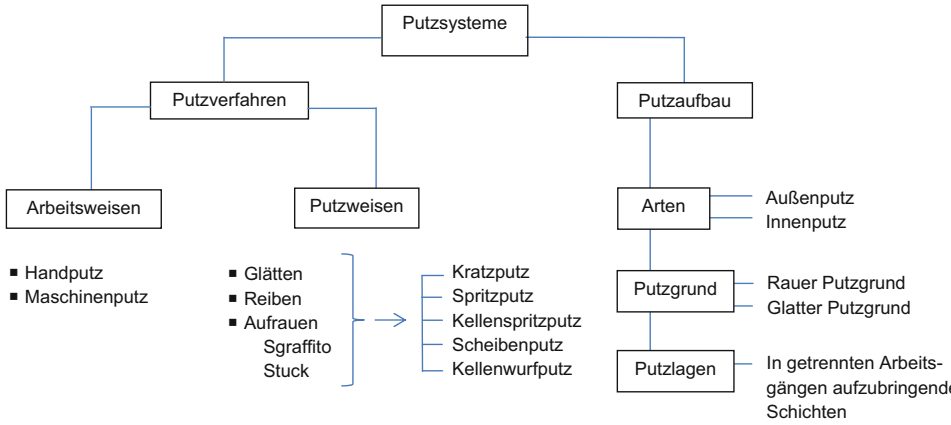
Schäden an den Außenputzen sind auf Planungsfehler, Ausführungsfehler oder auf Umweltbedingungen zurückzuführen. Des Weiteren fehlt es oft an den notwendigen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen.

Somit macht sich oft eine Sanierung von Putzsystemen (Tab. 2.3) notwendig, welche mithilfe der Erstellung eines Sanierungskonzepts zu erfolgen hat.

Bei der Erstellung eines Sanierungskonzepts gibt es drei Varianten, welche zur Anwendung kommen können:

1. Komplettabbruch des Putzsystems und Wiederherstellung,
2. Teilabbruch des Putzes und Anarbeitung an den Bestand,
3. Instandsetzung des Bestandes ohne Rückbau.

Tab. 2.3 Putzsysteme. (Quelle: ILS Hamburg)



Dabei ist zu berücksichtigen, was die Ursachen für die Putzschäden sind und welcher Schädigungsgrad und -umfang vorliegt. Erst nach Feststellung und Beseitigung der Ursache kann eine Sanierung des Putzsystems erfolgen.

2.3 Schadenserscheinungen und Fehleranalyse

2.3.1 Schadenserscheinungen an Putzen

Schäden können durch physikalische und/oder chemische sowie biologische Einflüsse auf dem Putz entstehen. Somit können diese oberflächennah oder in den tiefer liegenden Schichten vorhanden sein. Nur durch umfangreiches Fachwissen kann der Entstehung von Schäden an Putzen entgegengewirkt werden. Dies beinhaltet insbesondere Kenntnisse über die Baustoffe und deren Einsatzmöglichkeiten, die chemischen und physikalischen Vorgänge bei der Herstellung sowie ausreichendes Wissen über die Entstehung von Schäden an Putzen.

2.3.2 Veränderung der mineralischen Baustoffe unter Umweltbedingungen

Bauwerke unterliegen aufgrund ihrer Lage und den örtlichen Gegebenheiten unterschiedlichen Umwelteinflüssen, welche bei der Planung bereits beachtet werden müssen.

Zum einen sind die nachfolgenden klimatischen Einflüsse zu beachten:

- Sonneneinstrahlung/Wärmentwicklung
- Temperaturwechsel

- Frost
- Regen
- Schnee und Tau
- Wind
- Staubbelastung durch z. B. die Industrie

Ebenfalls sind die chemischen Einflüsse zu beachten, welche die Bausubstanz schädigen können:

- Säuren und Basen
- Salze
- organische Stoffe
- Rauchgase
- Abgase

Zuletzt sind auch aus der Natur die biologischen Einflüsse zu berücksichtigen:

- Mikroorganismen (Bakterien)
- Pilze
- Algen
- Flechten
- Moose
- Tiere (Insekten, Vögel)
- Pflanzen (Ranken)

All diese Einflüsse können sich auch überlagern und in Kombination eine noch stärkere Zerstörung erreichen als im Einzelnen.

2.3.3 Fehleranalyse

Putzschäden sind auf Planungsfehler, Ausführungsfehler und/oder einer fehlenden Wartung und Instandhaltung zurückzurückführen. Putze sind physikalischen, chemischen und/oder biologischen Einflüssen ausgesetzt, welche bereits in der Planung berücksichtigt werden müssen. Ebenfalls ist bei der Verarbeitung der Baustoffe auf eine sach- und fachgerechte Ausführung zu achten, damit Schadensbilder wie Rissbildungen, Absanden usw. verhindert werden können.

Die Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an Putzen ist für die Lebensdauer eines Putzes dahingehend wichtig, dass größere Sanierungsmaßnahmen dadurch verhindert werden können, sofern Schäden rechtzeitig erkannt werden.

2.3.3.1 Planungsfehler

Bereits in der Planungsphase wird durch die Wahl der Konstruktion und der Baustoffe die Funktionstüchtigkeit und Lebensdauer des Bauwerks beeinflusst. Ebenfalls wird bereits in dieser Phase die Entscheidung getroffen, welche Ausführung zur Anwendung kommt.

In der Abb. 2.4 wird veranschaulicht, welche Faktoren bei der Planung beachtet werden müssen. Des Weiteren ist erkennbar, wie sich diese Faktoren im Einzelnen überschneiden und wie Komplex die Planungsphase ist.

Zu den häufigsten Planungsfehlern gehören u. a. die Festlegung ungeeigneter Baumaterialien, die falsche Bemessung der Standort- und Nutzungsbeanspruchen sowie die unzureichende Detailplanung von Bauwerksabdichtungen, Wärmedämmungen und Anschlüssen.

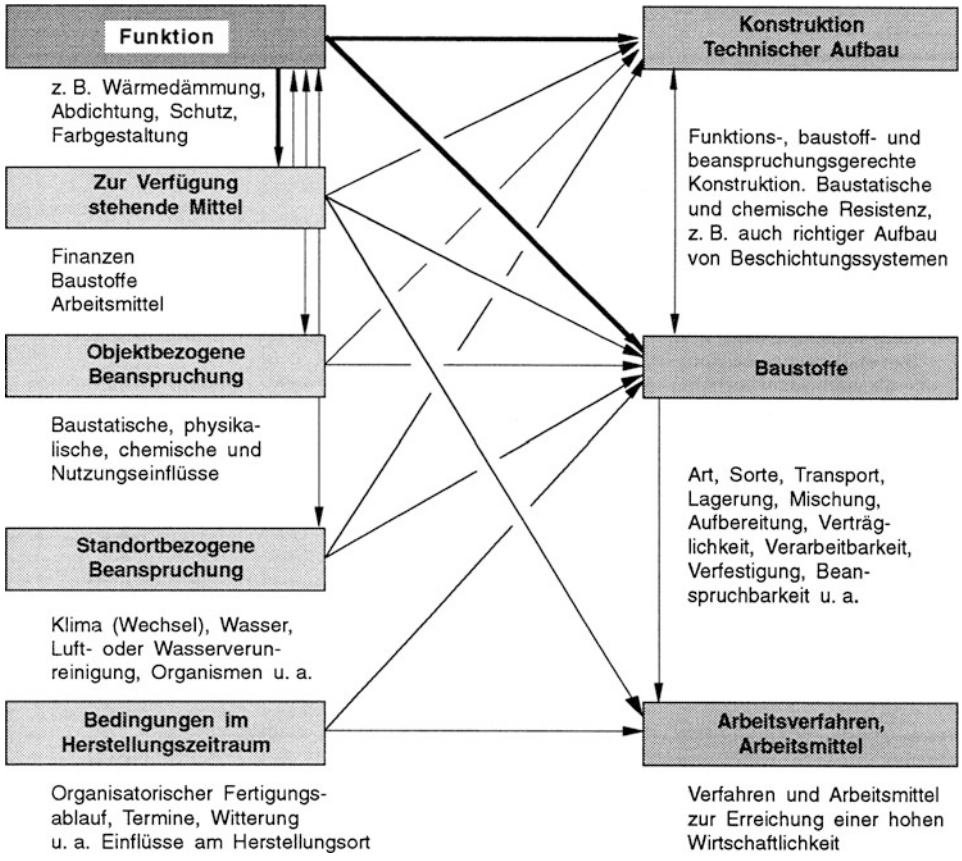


Abb. 2.4 Faktoren in der Planungsphase von Bauwerken. (Quelle: ILS Hamburg)

2.3.3.2 Ausführungsfehler

Putze gehören auch unter den Bedingungen des heutigen Bauens im „System“ zu den am häufigsten angewendeten Oberflächenbeschichtungen. Sie zählen in der Praxis zu einer handwerklichen Selbstverständlichkeit, welche keiner besonderen Bauüberwachung unterliegen wie z. B. Bauwerksabdichtungen.

Die ersten Ausführungsfehler können bereits bei der ungenügenden Vorbereitung des Untergrundes entstehen. Es können dann Putzabplatzungen und Hohllagen entstehen. Jedoch gibt es noch weitere Einflüsse, die dazu führen können, dass kein ausreichender Haftverbund mit dem Untergrund gegeben ist. Dazu zählen zum einen die physikalischen Einflüsse wie z. B. eine unterschiedliche Wärmeausdehnung von zwei verschiedenen miteinander verbundenen Bauteilen. Zum anderen sind die chemischen Vorgänge zu beachten wie z. B. die Reaktion mit Kohlendioxid der Luft und Luftverunreinigungen.

Weitere Schadensbilder, die durch eine nicht sach- und fachgerechte Ausführung von Putzarbeiten entstehen können, sind:

- Abplatzungen
- Absanden
- Ausblühungen
- Bitumen- und Fettflecken
- Rostflecken
- Farbschattierungen
- Putznester
- Risse
- und viele mehr

2.3.3.3 Fehlende Wartung und Instandhaltung

Durch eine fehlende Wartung und Instandhaltung kann es ebenfalls zu Putzschäden kommen, da jeder Baustoff nur eine gewisse Lebensdauer besitzt. Diese kann durch eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung verlängert werden.

Dies wird damit begründet, dass es u. a. über die Nutzungsdauer des Putzes und die einwirkenden äußeren Umwelteinflüsse z. B. zum Absanden des Putzes kommen kann. Erfolgen eine Wartung und Instandsetzungen des Oberflächenschutzes, so kann verhindert werden, dass es zu größeren Schäden am Putz kommt und eine vollständige Erneuerung des Putzes notwendig wird.

Ebenfalls kann bei der frühzeitigen Erkennung und Instandsetzung von Putzrissen verhindert werden, dass kostenaufwendige Sanierungen durch die Entstehung von Folgeschäden wie z. B. Feuchteeintritt in den Wohnbereich erforderlich werden.

Daher wird durch eine regelmäßige Wartung und durch Durchführung notwendiger Instandsetzungsmaßnahmen die Lebensdauer des Putzes verlängert.

2.4 Erkennen und Beurteilen von Schäden

Die Ursachen von Putzschäden sind teilweise schwer festzustellen. Daher werden diese in Erscheinungsformen unterschieden:

1. Rissbildung
2. Zerstörung der Putzoberfläche
3. Feuchtschäden
4. Farbschattierungen bzw. Verschmutzungen an der Putzoberfläche

2.4.1 Erscheinungsformen und Ursachen

Rissbildung Es können sich an Putzen Einzelrisse bilden (Abb. 2.5), die aufgrund von verschiedenen Ursachen entstanden sein können. Unter anderem können nachfolgende Ursachen zu Einzelrissen führen:

- Bauwerkssetzung;
- der Putzuntergrund besteht aus Mischmauerwerk;
- Arbeitsfugen sind nicht sach- und fachgerecht ausgebildet;
- Putzträger sind auf Untergründen wie Holz und Stahl nicht sach- und fachgerecht angebracht.



Abb. 2.5 Einzelriss durch Bauwerkssetzung

Des Weiteren können Risse im Fugenverlauf des Untergrundes entstehen. Dies kann auf nachfolgende Ursache zurückgeführt werden (Abb. 2.6):

- Die Mauerwerksfugen sind mangelhaft ausgebildet.
- Die Putzstärke ist zu gering.
- Der Putzträger ist unsachgemäß angebracht.

Putzrisse können auch netzartig (Abb. 2.7) und unregelmäßig verlaufen, welche nachfolgende Ursachen haben können:

- Es ist ein zu hoher Bindemittelanteil im Mörtel vorhanden.
- Der Feinanteil der Körnung ist zu hoch.
- Im Hochsommer durch Sonnenstrahlung erhärtet der Putz zu schnell.
- Es erfolgt eine technische Trocknung.
- Es bildet sich ein bindemittelhaltiger Oberflächenfilm bei Kellen- und Glättputzen.
- Die Festigkeit zwischen Unter- und Oberputz ist nicht aufeinander abgestimmt.

Zerstörung der Putzoberfläche An der Putzoberfläche können unterschiedliche Schadbilder entstehen.

Zum einen kann es zu kraterförmigen Absprengungen kommen. Diese können auf nachfolgende Ursachen zurückgeführt werden:

- Es kann zu einem zeitverzögerten Löschen des Kalkes kommen.
- Im Sand sind Ton- oder Kohleteilchen enthalten, welche zum Quellen führen.



Abb. 2.6 Risse im Fugenverlauf



Abb. 2.7 Netzartige Risse

Ebenfalls kann es zu einer blätterteigartigen Schichtstruktur im Putzmörtel kommen, was auf nachfolgende Ursachen zurückgeführt werden kann:

- Treiberscheinungen (z. B. Ettringit [Zementbazillus]),
- Frosteinwirkung auf den frischen Putz,
- Frosteinwirkung auf durchfeuchteten Putz.

Ein weiteres Schadbild an der Putzoberfläche stellt das Absanden (Abb. 2.8) des Putzes dar. Dies resultiert aus nachfolgenden Ursachen:

- Der Anteil an aufschlämmbaren oder organischen Bestandteilen im Sand ist zu hoch.
- Der Bindemittelanteil im Mörtel ist zu gering.
- Der Putzuntergrund ist stark saugend und entzieht das Anmachwasser des Mörtels zu schnell.
- Die Putzfläche trocknet zu schnell aus durch z. B. zu hohe Sonneneinstrahlung.

Es kann sich außerdem der Putz vom Untergrund lösen und zu Schäden führen, was durch nachfolgende Ursachen auftreten kann:

- Es erfolgt ein starker Wasserentzug aufgrund des hohen Saugverhaltens des Putzuntergrundes.
- Der Putzuntergrund ist nicht ausreichend aufgeraut.
- Die Putzstärke ist zu dick in einem Arbeitsgang aufgebracht worden (Abb. 2.9).
- Der Spritzbewurf fehlt.



Abb. 2.8 Absanden der Putzoberfläche

Des Weiteren können sich auch nur einzelne Putzschichten lösen. Dieses Schadensbild entsteht durch diese Ursachen:

- Der Aufbau des Putzsystems ist nicht sach- und fachgerecht hergestellt.
- Die Festigkeit des Unter- und Oberputzes ist nicht aufeinander abgestimmt.
- Es ist keine ausreichende Rauigkeit des Unterputzes vorhanden.

Auch Ausblühungserscheinungen stellen ein Schadensbild an der Putzoberfläche dar (Abb. 2.10). Diese entstehen durch nachfolgende Ursachen:

- Der Putzuntergrund (z. B. altes Ziegelmauerwerk) enthält wasserlösliche Salz, welche beim Feuchtetransport (z. B. aufsteigende Feuchtigkeit) an der Oberfläche auskristallisieren.
- Lagerung bzw. Streuung von Streusalz

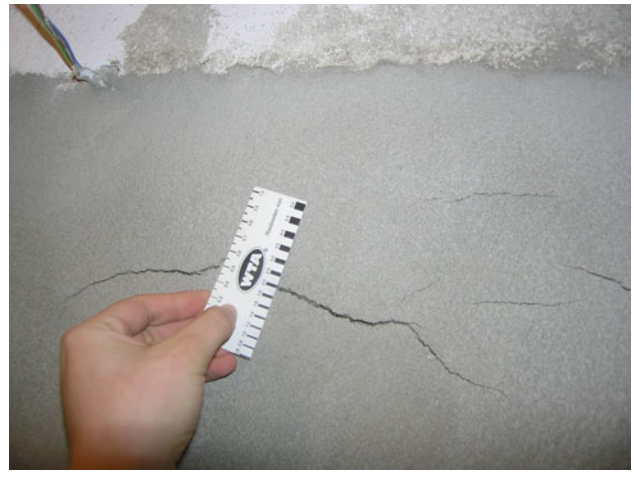


Abb. 2.9 Rissbildung durch zu dicke Putzstärke in einem Arbeitsgang



Abb. 2.10 Salzausblühungen und Putzabplatzung

Feuchteschäden Wie bereits im Vorgenannten, kann eindringende Feuchtigkeit zu Schäden an den Putzen führen. Dass Feuchtigkeit in den Putz eindringt, ist auf nachfolgende Ursachen zurückzuführen:

- fehlende bzw. keine funktionstüchtige Bauwerksabdichtung,
- Verarbeitung von wassersaugenden Putzen im Sockelbereich (Abb. 2.11),
- fehlende bzw. nicht sach- und fachgerechte Ausführung der Putzabdichtung,
- Außenputz wirkt als Sperrschicht und verhindert Feuchtetransport aus dem Inneren des durchfeuchteten Mauerwerks.



Abb. 2.11 Wassersaugender Sockelputz

Farbschattierung bzw. Verschmutzung an der Putzoberfläche Es können Farbschattierungen u. a. durch diese Ursachen an Putzoberflächen entstehen:

- Salzausblühungen
- Feuchtschäden
- Algenbildung
- unsachgemäße Ausführung der Putzoberfläche

2.4.2 Schadensformen und Beurteilung

2.4.2.1 Putzrisse

Gemäß der DIN 18550 „Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen“ ist nicht jeder Riss als Mangel einzustufen. Es ist dabei zu beachten, ob eine technische und/oder optische Beeinträchtigung am Putz vorliegt. Das WTA-Merkblatt 2-4-14/D „Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden“ sieht ebenfalls diese Herangehensweise vor.

Eine technische Beeinträchtigung des Putzes liegt vor, wenn der Putz sowie der Anstrich das Bauwerk nicht mehr vor Witterungseinflüssen schützen können. Dabei wird jedoch von dem Normenausschuss keine explizite Angabe über die maximale Rissbreite gegeben. Es wird darauf verwiesen, dass jeweils nach dem verwendeten Putzsystem eine technische Bewertung zu erfolgen hat.

Auch für die Bewertung von optischen Beeinträchtigungen gibt es keine einheitliche Regelung. Es wird lediglich darauf verwiesen, dass bei einer gebrauchsüblichen Betrachtung keine störenden Risse in der Putzfläche vorhanden sein dürfen. Um eine gebrauchsübliche Betrachtung handelt es sich, wenn keine Hilfsmittel wie Hebebühne, Gerüst oder ein Fernglas bei der Bewertung des Risses zur Anwendung kommen. Dies hat zur Folge, dass nur noch erschwert eine Bewertung von optischen Beeinträchtigungen in der Putzoberfläche erfolgen kann, da jeder Mensch eine andere Wahrnehmung von störenden Rissen in der Putzfläche hat.

Die WTA jedoch stellt bei der Beurteilung von optischen Mängeln Anhaltswerte zur Verfügung. Diese sehen vor, dass eine optische Beeinträchtigung vorliegt, sofern eine Rissbreite bis 0,1 mm bei einem Putz mit feiner Struktur mit einem Größtkorn bis 2 mm bzw. eine Rissbreite bis 0,2 mm bei einem Strukturputz mit einem Größtkorn größer gleich 2 mm festgestellt wird.

Ebenfalls weist das WTA-Merkblatt 2-4-14/D auf vertragliche Vereinbarungen hin, welche bei der Bewertung von Rissen vorrangig zu berücksichtigen sind.

Grundsätzlich ist bei der Beurteilung von Rissen als Erstes zu prüfen, ob es sich um ruhende oder baudynamische Risse handelt. Des Weiteren ist festzustellen, ob die Risse an der Putzoberfläche im Putzsystem entstanden sind oder durch Risse im Untergrund (Konstruktion) bzw. eine Kombination aus beiden.

Wichtige Erkenntnisse bei der Beurteilung von Rissen können des Weiteren aus nachfolgenden Informationen gewonnen werden:

- Welcher Verlauf und welche Verteilung weisen die Risse auf?
- Welche Rissbreite und Risstiefe ist vorhanden?
- Verläuft der Rissflankenversatz parallel oder senkrecht zur Bauteiloberfläche?
- Ist das Rissalter bekannt?
- Sind zukünftig Bewegungen an der Rissflanke zu erwarten?
- Welche Materialien wurden verwendet (mineralischer oder organischer Putz, beschichtet/unbeschichtet)?

Die Ermittlung der Ursache für Risse kann mit nachfolgenden Untersuchungen erfolgen:

- zerstörungsfreie Untersuchungen: Risskartierung (Rissverlauf), visuelle Feststellungen der örtlichen Gegebenheiten (Alter, Konstruktion), Vergleichsmaßstab, Messlupe (Rissbreite);
- zerstörungsarme Untersuchungen: Gipsmarke setzen (Rissweitenänderung), Messschieber, gegebenenfalls Rissaufweitung notwendig (Risstiefe);
- zerstörende Untersuchung: Kernbohrung.

Mit zerstörenden Untersuchungen mittels einer Kernbohrung können die meisten Erkenntnisse aus der Probe gewonnen werden:

- Rissverlauf im Putz und im Untergrund,
- Risstiefe,
- Zustand des Putzgrundes,
- Eigenschaften des Putzes (Putzstärke, Lagen, Druck- und Biegezugfestigkeit, Wasseraufnahme, chemische Zusammensetzung), gegebenenfalls sind Laboruntersuchungen notwendig.

Putzrisse werden in bauwerksbedingte, putzgrundbedingte und putzbedingte Risse eingeteilt.

Bauwerksbedingte Risse (Abb. 2.12) Bei dieser Rissart entstehen nach Fertigstellung der Putzarbeiten Risse aufgrund von Volumen-, Lage- oder Formänderungen. Ebenfalls können Erschütterungen zur Rissbildung führen.

Volumen-, Lage- oder Formänderungen an den Konstruktionen können u. a. durch Durchbiegungen der Decken, Längenänderung der Betonbauteile, Fundamentänderungen, Schwinden und Quellen durch Temperaturwechsel sowie durch Kriechen der tragenden Wände und Stützen entstehen.

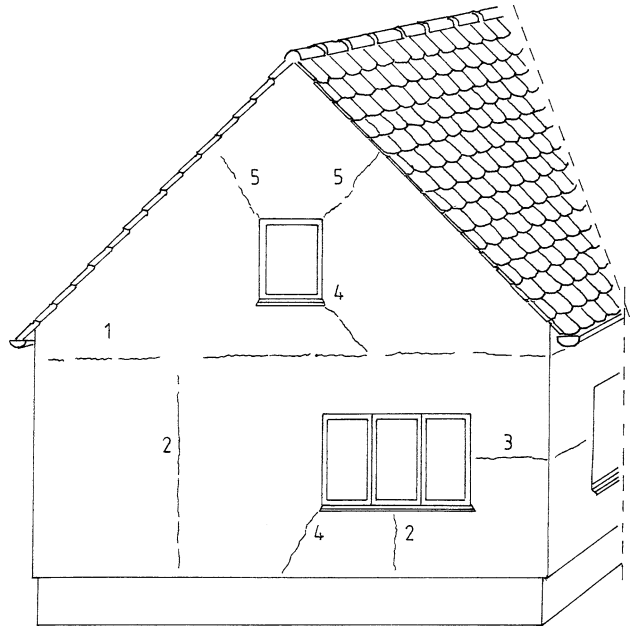


Abb. 2.12 Bauwerksbedingte Risse. (Quelle: ILS Hamburg)

Erschüttungen an Bauwerken treten auf, wenn z. B. Bauarbeiten durchgeführt werden, Dauererschüttungen durch Zugverkehr oder Industrieanlagen herrschen oder Erdbeben einsetzen.

Diese Ursachen sind bei der Planung zu berücksichtigen, sofern diese hervorgesehen werden können. Jedoch kann auch bei der Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht immer eine Rissbildung an der Konstruktion vermieden werden. Insbesondere kann eine Rissbildung im Putz durch Konstruktionsrisse nicht verhindert werden.

Eine wesentliche Erhöhung des Risikos für die Entstehung von Putzrissen wird gefördert, wenn eine ausreichende Austrocknung des Rohbaus bei Neubauten nicht eingehalten wird.

Putzgrundbedingte Risse Putzgrundbedingte Risse (Abb. 2.13) können auf eine Vielzahl von Ursachen zurückgeführt werden. Zum einen kann es durch eine hygrische Volumenänderung zu Quellen oder Schwinden kommen, wenn der Putzauftrag auf einem feuchten Wandbaustoff erfolgt.

Es sind auch thermische Volumenänderungen möglich, durch Aufheizen bzw. Abkühlen der Wandbaustoffe. Dazu sind in den entsprechenden Jahreszeiten zusätzliche Maßnahmen notwendig bzw. der Putzauftrag kann nicht ausgeführt werden.

Ebenfalls können thermische Volumenänderungen zu Putzrissen führen, wenn in den Bereichen von Materialwechseln keine besonderen Maßnahmen erfolgen, da unterschiedliche Materialien auch eine unterschiedliche Volumenänderung vorweisen. Daher sollten Materialwechsel möglichst gering gehalten und bei der Herstellung eines Putzsystems be-

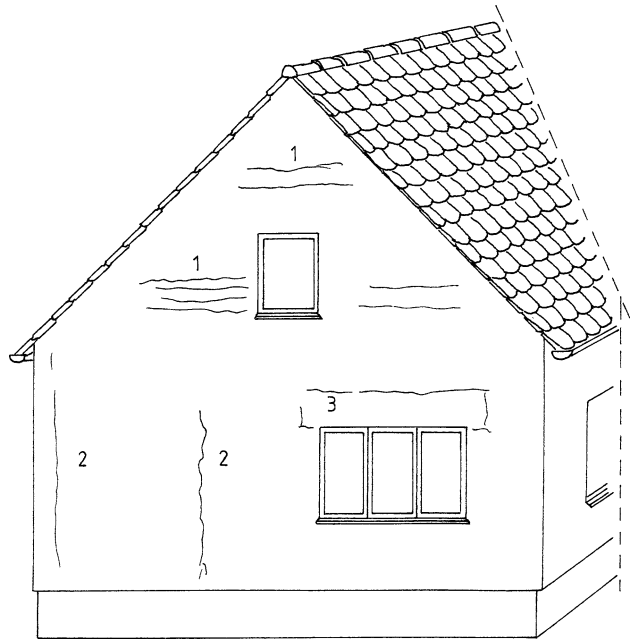


Abb. 2.13 Putzgrundbedingte Risse. (Quelle: ILS Hamburg)

achtet werden. Auch weisen unterschiedliche Baumaterialien ein unterschiedliches Saugverhalten auf, welches zu veränderten Festigkeiten des Putzes führen kann. Somit kann es in diesen Bereich zu Spannungen im Putz kommen.

Durch das Fachunternehmen ist vor der Ausführung der Putzarbeiten der Untergrund zu untersuchen, ob dieser für eine sach- und fachgerechte Herstellung eines Putzsystems geeignet ist.

Insbesondere ist Nachfolgendes zu prüfen:

- sach- und fachgerechte Herstellung des Fugenbildes;
- es ist eine ebene Oberfläche der Mauerwerkswand gegeben (Versatz, Überzähne);
- Feuchtegehalt und Saugverhalten des Untergrundes;
- Risse im Untergrund sind nicht vorhanden;
- Fugenanschlüsse sind sach- und fachgerecht sowie ausreichend ausgebildet.

Somit ist bereits bei der Planung, jedoch auch bei der Ausführung zu beachten, ob zusätzliche Maßnahmen notwendig sind wie z. B. ein Spritzbewurf, Armierungsputz mit Gewebeeinlage, Putzträger mit partieller Entkopplung vom Putzgrund oder die Ausführung von Bewegungsfugen.

Putzbedingte Risse (Abb. 2.15) Die Ursache für Putzbedingte Risse ist aufgrund einer nicht sach- und fachgerechten Ausführung und/oder auf den Putzmörtel zurückzuführen.

Nachfolgende Rissbilder können entstehen:

- Sackrisse
  Diese Risse entstehen kurze Zeit nach dem Aufbringen des Mörtels im noch plastischen Zustand. Es sind horizontal durchhängende Risse mit einer Länge zwischen 10 und 20 cm festzustellen. Die Rissbreite kann bis zu 3 mm in der Mitte betragen und Hohlstellen können entstehen.
  Sackrisse entstehen, wenn in einer Lage der Putz zu dick aufgetragen wurde, die Haftung am Untergrund nicht gegeben ist, eine zu intensive Bearbeitung im frischen Zustand des Putzes erfolgte oder der Putz eine zu weiche Konsistenz besitzt.
- Schwindrisse
  Es wird ein netzartiges Rissbild festgestellt, welches Rissbreiten bis 0,5 mm aufweist. Die Risse entstehen unmittelbar nach wenigen Stunden nach Auftragen des Mörtels. Häufig ist die Putzhaftung an den Rissflanken nicht mehr gegeben. Sofern die Haftung des Mörtels am Untergrund gegeben ist und die Rissbreite 0,2 mm nicht überschreitet, führen Schwindrisse im Unterputz zu keinen Beeinträchtigungen im Putzsystem.
  Schwindrisse können jedoch auch nach mehreren Monaten und Jahren nach der Herstellung, bei ungünstigen Trocknungsbedingungen entstehen. Das Schadbild entspricht dem vorgenannten, jedoch entstehen diese durch z. B. die Wahl eines ungeeigneten Putzsystems, keine ausreichende Haftung des Unterputzes auf dem Untergrund, kein Haftverbund zwischen den Putzlagen, wenn die Putzdicken ungleichmäßig oder zu dick sind, die Trocknungszeiten der Putzlagen nicht eingehalten bzw. eine zu schnelle Austrocknung der Lagen erfolgt ist.
- Fettrisse
  Fettrisse sind eine besondere Form von frühen Schwindrissen. Es handelt sich dabei um oberflächliche Haarrisse, welche in der Regel keine optische bzw. technische Beeinträchtigung darstellen. Diese entstehen bei einer Anreicherung von Feinanteilen wie Bindemitteln.
- Kerbrisse
  Kerbrisse (Abb. 2.14) entstehen aufgrund von Spannungen im Putzgrund oder im Putz. Diese treten in Ecken von Öffnungen (Fenster), bei sprunghaften Unterschieden in der



Abb. 2.14 Kerbriss



Abb. 2.15 Putzbedingte Risse. (Quelle: ILS Hamburg)

Putzdicke (Versätze im Putzuntergrund), bei verlegten Leitungen im Putzuntergrund, bei Kreuzfugen und bei zu dicken bzw. dünnen Putzstärken auf.

- Fugenrisse
  Diese Risse zeigen ein regelmäßige Rissbild, welches überwiegend im Bereich der Fugen des Untergrundes vorhanden ist und durch die gesamte Putzdicke reicht. Ursache für dieses Rissbild ist eine nicht sach- und fachgerechte Ausführung der Fugen im Untergrund (Fehlstellen, falscher Mauermörtel), feuchtes Mauerwerk, eine zu geringe Putzstärke, zu hohe Putzfestigkeit, Ausführung eines ungeeigneten Putzsystems, wechselnde Putzstärken bzw. eine nicht sach- und fachgerechte Nachbehandlung.

Risse können des Weiteren im Zusammenhang mit der Putzbewehrung (mangelnde Überlappung, falsche Lage, ungeeignete Produktauswahl bzw. fehlende Bewehrung) entstehen.

Auch durch eine unzureichende Überdeckung des Putzträgers, die falsche Wahl der Befestigung und ungeeignete Wahl des Putzträgers ist eine Rissbildung möglich.

Zuletzt können auch an Profilstöße, Putzübergänge an Profilen und an Anschluss- und Abschlussprofilen Risse entstehen.

2.4.2.2 Hohlstellen

Putzhohlstellen (Abb. 2.16) und daraus resultierende Abplatzungen können verschiedene Ursachen besitzen.

Abb. 2.16 Putzhohlstellen



Zum einen kann die Haftfestigkeit zwischen den Putzlagen, z. B. aufgrund von Sinterschichten oder durch Erschütterungen, fehlen. Des Weiteren kann eine nicht ausreichende Haftung des Putzmörtels am Untergrund aufgrund der fehlenden Grundierung bzw. eines nicht angepassten Putzsystems auf den Untergrund vorhanden sein. Bei der Wahl der Baustoffe ist ebenfalls immer die Verträglichkeit zu prüfen, da eine Unverträglichkeit der Produkte ebenfalls die Haftung am Untergrund beeinflussen kann.

Hohlstellen entstehen nicht zwangsläufig direkt nach der Ausführung der Putzarbeiten. Auch äußere Einflüsse können ein Ablösen und Abplatzen des Putzes vom Untergrund verursachen.

Durch Abklopfen mit einem metallischen Gegenstand (z. B. Schlüssel) oder einem Holzstiel können Hohlstellen akustisch festgestellt werden.

Werden Hohlstellen in der Putzfläche festgestellt, sind die fehlerhaften Putzstellen bzw. der gesamte Putz abzuschlagen und neu herzustellen. Dabei sind die Anforderungen aus der Energieeinsparverordnung zu beachten.

2.4.2.3 Festigkeit

Bei einer Sanierung eines Altputzes ist immer zu prüfen, ob dieser eine ausreichende Festigkeit aufweist. Dies kann zum einen durch das Anritzen des Putzes erfolgen. Dazu ist jedoch vorher die oberste Beschichtung zu entfernen. Die Beurteilung hat durch einen Fachmann zu erfolgen.

Die Druckfestigkeit für das Aufbringen von einem organisch gebunden Oberputz auf einen Altputz ist mit $< 2\,N/mm^2$ einzuhalten, sofern der Hersteller des Putzsystems keine anderen Hinweise gibt.

Sofern keine ausreichende Festigkeit des Bestandsputzes festgestellt wird, ist dieser vollständig zu entfernen und ein neues geeignetes Putzsystem aufzubringen.

Ist eine Überarbeitung des Bestandsputzes geplant, so ist die Abreißfestigkeit des Putzes zu untersuchen. Dazu wird eine Musterfläche mit den vorgesehenen Materialien aufgebracht (Armierungsgewebe mittig in Armierungsspachtel einbetten). An der Musterfläche hat die Gewebeeinlage ca. 40 cm nach unten herauszuragen. Nach ausreichender Trocknung der Musterfläche (mindestens sieben Tage) wird das Gewebe von unten nach oben abgezogen. Sofern sich der Altputz dabei ablöst, ist keine ausreichende Haftzugfestigkeit

festzustellen und der Altputz ist als Untergrund ungeeignet. Sollte sich jedoch das Gewebe vom Armierungsspachtel trennen, ist eine ausreichende Haftzugfestigkeit des Bestandsputzes gegeben.

2.4.2.4 Absanden

Eine Putzoberfläche hat in der Regel eine Abriebfestigkeit zu gewährleisten. Jedoch kann zum Beispiel bei Kratzputz das Ablösen von einzelnen Körnern durch das Abreiben mit der Hand nicht vollständig verhindert werden. Somit ist immer eine Beurteilung im Einzelfall notwendig.

Kann jedoch über die gesamte Putzfläche und gegebenenfalls über mehrere Putzlagen ein Absanden festgestellt werden, ist ein technischer Mangel zu attestieren. Auch bei diesem Schadensbild können verschiedene Ursachen vorliegen. Zum einen kann der Untergrund zu stark saugend sein und das Anmachwasser dem Putz beim Erhärten zu schnell entziehen. Zum anderen können Witterungseinflüsse wie starker Wind und Sonneneinstrahlung in der Erhärtungsphase zum frühzeitigen Entzug des zugegebenen Wassers führen.

Ist ein Absanden des Putzes festzustellen, sind die losen Putzbestandteile durch Reinigen mit Druckluft oder Stahlbesen zu entfernen. Nach der gründlichen Reinigung kann eine neue Putzlage, angepasst an den Putzgrund, aufgebracht werden.

2.4.2.5 Optische Beeinträchtigungen

Eine wesentliche Stellung, neben dem Witterungsschutz, nimmt die Optik einer Putzfassade ein. Dabei spielen die farbliche Gestaltung sowie die Struktur des Putzes eine wesentliche Rolle (Abb. 2.17). Daher führen optische Unregelmäßigkeiten zu Beanstandungen.

Diese können u. a. durch Farb- und Strukturunterschiede, Verschmutzungen und durch Algenbildung vorhanden sein.

Farb- und Strukturunterschiede sind bereits nach der Fertigstellung der Putzfläche festzustellen. Diese entstehen, wenn der Ausführende eine unterschiedliche Bearbeitung des Putzes vornimmt. Ein technischer Mangel ist zwar nicht zu attestieren, jedoch ist eine optische Beeinträchtigung am Erscheinungsbild des Gebäudes vorhanden.

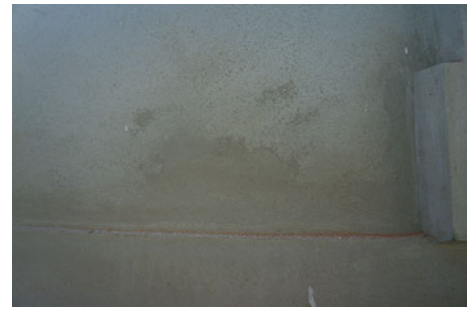


Abb. 2.17 Unterschiedliche Putzstruktur



Abb. 2.18 Schmutzfahnen am Putz

Ebenfalls können Witterungseinflüsse, insbesondere bei eingefärbten Putzen zu Farbunterschieden führen.

Verschmutzungen an Fassaden treten in der Regel nach einer längeren Nutzungsdauer auf. Diese können durch z. B. ablaufendes Wasser an den Fensterbänken auftreten. Es sind dann vertikal verlaufende Schmutzfahnen (Abb. 2.18) festzustellen, welche in der Regel mit einem neuen Anstrich der Fassade beseitigt werden können.

Sofern eine Putzoberfläche dauerhaft feucht ist, kann es zu einer Algenbildung kommen. Dieses Schadensbild ist vorwiegend an Nordfassaden vorzufinden, da diese stark bewittert und kaum besonnt werden. Somit sind die Umwelteinflüsse bei diesem Schadensbild maßgebend. Durch eine sach- und fachgerechte Reinigung der Putzoberfläche kann eine Beseitigung erreicht werden.

2.4.2.6 Feuchtigkeit

Feuchtigkeit in Putzen kann über einen längeren Zeitraum mehrere Schadensbilder verursachen. Es können Algenbildung, Putzabplatzungen, Putzhohlstellen, Risse, Farbschattierungen und Salzausblühungen entstehen.

Als maßgebliche Ursache für Feuchteschäden kann eine nicht vorhandene bzw. nicht sach- und fachgerecht ausgeführte Bauwerksabdichtung sein. Des Weiteren kann das Fehlen der Putzabdichtung eine weitere Ursache für Feuchteschäden darstellen.

An oberen Fassadenbereichen können auch nicht sach- und fachgerecht ausgeführte Dachanschlüsse die Ursache für Feuchteschäden an Putzen sein.

Den Feuchtegehalt und Durchfeuchtungsgrad im Putz und im Untergrund kann man mittels der DARR-Methode feststellen. Es handelt sich um eine zerstörende Untersuchung, da die Entnahme eine Putzprobe notwendig ist.

Die Putzprobe wird direkt nach der Entnahme gewogen. Danach erfolgt eine vollständige Trocknung der Probe im Trockenschrank bei 104 °C (gips- und kalziumsulfathaltige Baustoffe bei 40 °C). Die Trocknung erfolgt so lange, bis durch mehrmaliges Wiegen die Massekonstanz festgestellt wird (Differenz zwischen zwei Wägungen < 0,01 %). Die Feuchtedifferenz zwischen Entnahmezeitpunkt und Trocknung der Probe ergibt den Wassergehalt.

Nach Ermittlung des Feuchtegehalts wird die Probe in ein Wasserbad gelegt, um die maximale Wasseraufnahme der Probe zu ermitteln. Dabei ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass zwischen zwei Wägungen die Differenz < 0,01 % ist.

Setzt man nun den Feuchtegehalt nach Probeentnahme und den maximalen Feuchtegehalt ins Verhältnis, so erhält man den Durchfeuchtungsgrad.

Die entsprechenden Formeln für die Berechnung des Feuchtegehaltes und des Durchfeuchtungsgrades können in Abschn. 1.2.4 „Feuchteschutz“ entnommen werden.

2.4.2.7 Ausblühungen

Ausblühungen entstehen, wenn ein Feuchtetransport über den Mauerwerksquerschnitt erfolgt. Dabei werden die Salze im Mauerwerk gelöst und an die Oberfläche transportiert. Dabei handelt es sich um Nitrate, Sulfate oder Chloride. Diese werden vorwiegend in Altbauten angetroffen. Die Salze treten entweder aus den Baustoffen aus oder werden durch die Nutzung (z. B. als Stall) eingetragen. Daher ist vor einer Sanierungsmaßnahme zwingend die Durchführung einer Salzanalyse notwendig.

2.4.2.8 Metalle im Putz

Metalle im Putz sind immer mittels gesonderten Maßnahmen zu verputzen bzw. anzuarbeiten, da diese andere physikalische Eigenschaften (z. B. Ausdehnung) aufweisen als der Putzmörtel.

Dabei ist zu beachten, um welches Metall es sich handelt, da z. B. Aluminium im alkalischen Milieu zerstört wird und verzinktes Metall und Kupfer resistent sind. Somit ist zu prüfen, ob eine Beschichtung der Metalle notwendig ist.

Bei unlegierten Metallen ist generell eine alkaliresistente Beschichtung notwendig, da das Metall bei einer feuchten Umgebung korrodiert. Der Zementanteil im Putz ist zu gering, um einen Korrosionsschutz zu erreichen.

2.4.3 Schadensanalyse

Um den Reparaturaufwand wirtschaftlich begrenzen zu können, ist ein wichtiges Kriterium die frühzeitige Erkennung von vorhandenen Schäden. Bereits in der Planungsphase wird die Wechselwirkung zwischen den Eigenschaften der Baustoffe, den Beschichtungen und der Untergründe nicht ausreichend beachtet.

Wenn Schädigungen an einem Putzsystem festgestellt werden, ist eine genaue Beurteilung des gegenwärtigen Zustandes notwendig. Im Nachfolgenden ist ein Mängelaufnahmeprotokoll als Beispiel für die Schadensanalyse beigefügt (Tab. 2.4 „Mängelaufnahmeprotokoll“).

Tab. 2.4 Mängelaufnahmeprotokoll. (Quelle: ILS Hamburg)

Planungsbüro/Bauherr

DENKMALSCHUTZ: O ja O nein

VORHANDENE UNTERLAGEN:
O Ansichten O Grundrisse
O Gutachten O Fotos
O fotogrammetrische Aufnahme
O kunsthistorische Beschreibung
O Bautagebücher
O Konstruktionspläne

Anzahl der beigefügten Formblätter: _____

ANZAHL DER STOCKWERKE /
GEBÄUDEGLIEDERUNG: _____

AUSSENWÄNDE: (Bewertung als Putzgrund)
O einschalig O zweischalig
O Ziegel O Bims O Mischbauweise
O Sandstein O Kalkstein O Tuffstein
O Zyklopen O Bruchstein O Quader
O Holzfachwerk
O Stahlskelett
O Stahlbetonskelett
O sonstiges: _____

AUSSENPUTZ: O ja O nein

Putzart: _____
Putzdicke: _____ cm
Putzerneuerung im Jahre: _____

ANSTRICH: O ja O nein

Anstrichart: _____
Anstricherneuerung im Jahre: _____

BESONDERE ERKENNBARE UMWELTBELASTUNGEN:
O Bodenfeuchtigkeit
O Industrie
O Straßenverkehr
O sonstige: _____

BEMERKUNGEN: _____

_____

_____

BEARBEITER: _____ **DATUM:** _____

Tab. 2.4 (Fortsetzung)

Mängelaufnahme	**Teil 1: Putzmängel**
Bauwerk: _____	Baunummer: _____
Bauteil: O Wandflächen	O Sockel
Lage: _____	Datum: _____
Mangel	**Mangelumfang**
Absanden	O gesamte Fläche Teilflächen v. _____ m^2 Tiefe der mürben Schicht: _____ cm
Putzablösungen	O hohlklingende Stellen O erkennbare Ablösungen O gesamte Fläche Teilflächen v. _____ m^2 O obere Putzlage O gesamte Putzlage
Fleckenbildungen und Verfärbungen	Art des Mangels: _____ O gesamte Fläche Teilfläche v. _____ m^2 Lage: _____
Zerstörung des Mörtelgefüges	O gesamte Fläche Teilfläche v. _____ m^2 Tiefe der Zerstörung: _____ cm
Unregelmäßig netzartig verlaufende Risse	O gesamte Fläche Teilfläche v. _____ m^2 Rissabstand: _____ cm Rissweiten: _____ mm O oberflächig O durchgehend
Horizontale Strukturrisse	O gesamte Fläche Teilflächen v. _____ m^2 O oberflächig O durchgehend Risslängen: _____ cm Risstiefen: _____ mm
Risse im Fugenverlauf des Putzgrundes	O gesamte Fläche Teilflächen v. _____ m^2 Rissweiten: _____ mm Risstiefen: _____ mm Risslängen: _____ cm Lage: _____
Einzelrisse	Anzahl der Risse: _____ Lage der Risse: _____ Verlauf der Risse: _____ Rissweiten: _____ mm Risslängen: _____ cm Risstiefen: _____ mm
Konstruktiv bedingte Risse	Anzahl der Risse: _____ Lage der Risse: _____ Verlauf der Risse: _____ Rissweiten: _____ mm Risslängen: _____ cm Risstiefen: _____ mm
BEMERKUNGEN:	_____ _____ _____

Tab. 2.4 (Fortsetzung)

Mängelaufnahme	**Teil 2: Bautechnische Mängel**
Bauwerk: _____	Baunummer: _____
Lage: _____	Datum: _____

Bauteil:	**Mangel:**
Dachrinnen	Durchmesser: _____ mm O undicht O beschädigt O verstopft O Traufblech fehlt O Traufblech undicht O kein ausreichendes Gefälle
Regenfallrohre	Anordnung der Einläufe: O in Dachkehlen O vor aufgehenden Wänden Durchmesser: _____ mm Anzahl: _____ O undicht O beschädigt O verstopft Abstand vom Bauwerk: _____ mm Lage der Längsnaht: _____
Wasserableitung	Ableitung des Wassers in Entwässerungsleitungen gewährleistet: O ja O nein
Dachrand-anschlüsse	Ausführung: _____ Höhe über Dachdeckung: _____ cm O undicht O beschädigt Absicherung gegen Hinterwandern von Niederschlagwasser gewährleistet: O ja O nein
Fensterbänke	Gefälle: _____ % Überstand: _____ cm O keine Metallabdeckung O keine Tropfkanten O offene Fugen
Gesimse	Gefälle: _____ % Überstand: _____ cm O keine Metallabdeckung O keine Tropfkanten O offene Fugen
Pfeilabdeckungen	Gefälle: _____ % Überstand: _____ cm O keine Metallabdeckung O keine Tropfkanten O offene Fugen
Waagerechte Wandabdichtung	Gefälle: _____ % Überstand: _____ cm O keine Abdichtung vorhanden O Ersatzmaßnahme ist nicht funktionsfähig O keine Dränage vorhanden
BEMERKUNGEN:	_____ _____ _____

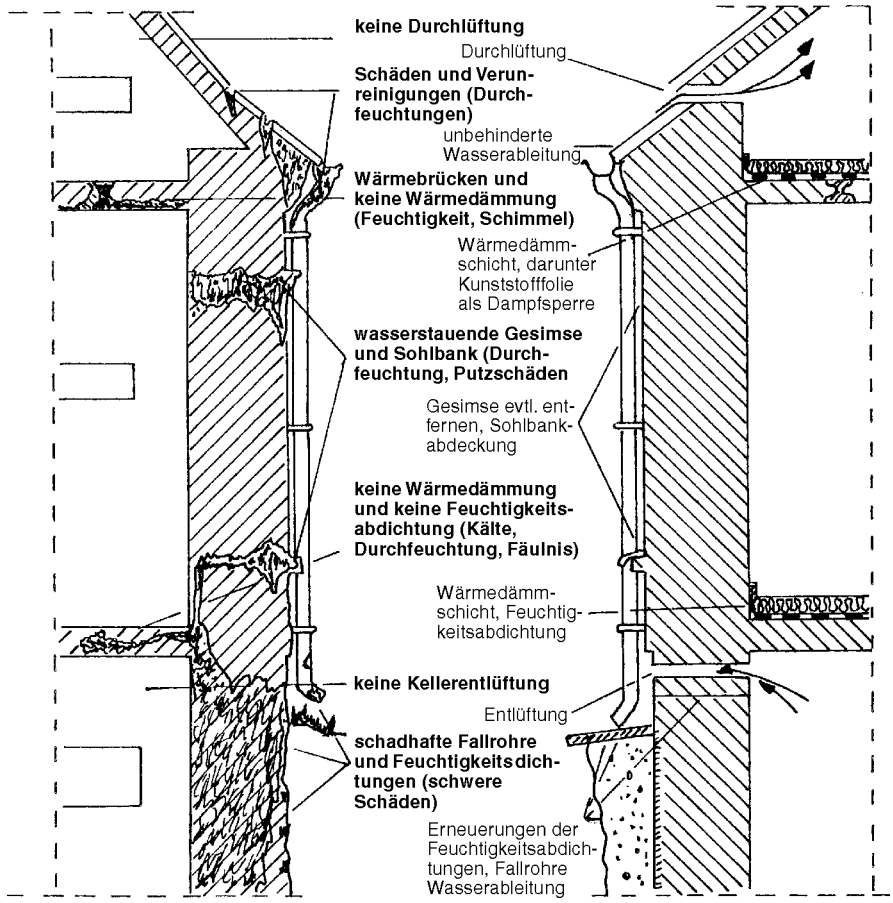


Abb. 2.19 Putzschäden durch konstruktive Mängel. (Quelle: ILS Hamburg)

Die Abb. 2.19 zeigt, durch welche konstruktiven Mängel Putzschäden entstehen können.

Bei der Schadensanalyse ist jedoch nicht nur die Ursache für den Schaden festzustellen, sondern ebenfalls der Schädigungsgrad und der Schadensumfang.

Die Schadensanalyse erfordert vielfältige Kenntnisse und Erfahrungen und ist daher durch ausgebildete Sachkundige durchzuführen. Dies wird damit begründet, dass Bauschäden nicht selten aufgrund einer Ursache, sondern auch durch mehrere Einflüsse entstehen können.

Bei der Beurteilung für die Putzschäden sind nicht nur die unter dem Abschn. 2.4.2 „Schadensformen und Beurteilung“ genannten Untersuchungen am Putz durchzuführen, sondern auch bautechnische Mängel an der Gesamtkonstruktion zu berücksichtigen.

So sind zum einen Dachrinnen, Regenfallrohre, Wasserableitungen, Dachrandanschlüsse, Mauervorsprünge und Bauwerksabdichtungen auf sach- und fachgerechte Ausführung bzw. das Vorhandensein zu prüfen.

2.5 Disposition – Vorbereitungsmaßnahmen

In der Entwicklung des Bauens hat sich ein Wandel der Anforderungen an den Putz ergeben.

Zunächst kam der Putz an historischen Bauwerken zum Einsatz, um Fehlstellen an Fugen zu kaschieren und die Fassade zu schmücken.

In der heutigen Zeit jedoch besitzt der Außenputz die Aufgabe, das Bauwerk vor äußeren Einflüssen wie Wärme, Kälte und Niederschlag zu schützen. Somit sind weit höhere Anforderungen an den Putz zu erfüllen.

2.5.1 Konstruktive und technologische Disposition

Im modernen Bauwesen, das heißt im „Bauen im System“, hat sich eine Fassadenschutztheorie herausgebildet, die sich auch auf die Anforderungen an das Putz-Anstrich-System bezieht.

Für die Disposition sind vorrangig technische und gestalterische Vorüberlegungen einzubeziehen. Diese beinhalten:

- Wiederherstellung des vor Schadenseintritt herrschenden Zustandes,
- Vorsorge gegen eine Wiederholung des Schadens im reparierten Bereich,
- Verhinderung einer Ausbreitung des Schadens in angrenzende Bereiche.

Bei der Erstellung eines Sanierungskonzepts ist zu berücksichtigen, dass die Auswahl der Verfahren und Materialien zur Behebung des Schadens von der Schadensanalyse, der Konstruktion und den gegenwärtigen Begleitumständen abhängt.

Dabei sind nachfolgende Punkte zu berücksichtigen:

- Schadensumfang und Schadensverteilung,
- Art des geschädigten Bauteils (Wandfläche, Konsole, Brüstung, Kragplatte usw.),
- Beanspruchung der Reparaturbereiche (mechanisch, chemisch, atmosphärisch),
- Forderungen an die Umweltverträglichkeit des Reparaturvorganges (Staub- und Lärmentwicklung),
- erforderliche Dicke der Reparaturschicht,
- Brandschutzbestimmungen,
- denkmalpflegerische Anforderungen,
- statische Gesichtspunkte,
- Wirtschaftlichkeit.

Die Tab. 2.5 „ein- und zweilagiger Außenputz aus Werktrockenmörtel“ zeigt, wie ein Putzsystem aufgebaut sein kann.

Das Bauen im System setzt umfangreiche Materialkenntnisse und technologische Strukturbeziehungen voraus.

Mineralische Putze setzen sich wie folgt zusammen:

1. Bindemittel: Luftkalk, hydraulischer Kalk, Zement, Gips, Anhydrit;
2. Zuschlagsstoff: Flusssand, Grubensand, Brechsand, Schlackensand;
3. Zusatzmittel: Dichtungsmittel, Plastifizierungsmittel, Frostschutzmittel, Pigmente, Kunststoffdispersion.

Mineralische Putze lassen sich unter verschiedenen technologischen Gesichtspunkten zusammenfassen. Tab. 2.6, 2.7, 2.8 und 2.9 verschaffen einen entsprechenden Überblick.

Die konstruktive und technologische Disposition von Putzsystemen hat nach der DIN 18550 für den Außenputze drei wesentliche Aufgaben zu erfüllen:

1. das Bauwerk vor Durchfeuchtung schützen,
2. dem Bauwerk ein ästhetisches Aussehen zu verleihen,
3. das Bauwerk so zu konstruieren, dass es wärme-, schalldämmend und brandsicher ist.

Da ein üblicher Putz kapillarsaugende Eigenschaften aufweist, kann Feuchtigkeit von der Putzoberfläche über den kapillaren Wandaufbau in das Mauerwerk eindringen und zur Durchfeuchtung führen sowie die Wärmedämmfähigkeit der Wand erheblich mindern. Daher müssen Außenputze dort, wo sie Feuchtigkeit ungeschützt ausgesetzt sind, wasserhemmende oder wasserabweisende (hydrophobe) Eigenschaften besitzen. Sie müssen zudem dampfdurchlässig sein, um eine Durchfeuchtung im Außenmauerwerk zu vermeiden (Abb. 2.20, 2.21 und 2.22)

Tab. 2.5 Ein- und zweilagiger Außenputz aus Werktrockenmörtel. (Quelle: ILS Hamburg)

Putzsystem für zweilagigen Außenputz aus Werktrockenmörtel			
Vorbehandlung des Putzuntergrundes	**Unterputz**	**Oberputz**	**Putzoberfläche**
Zementmörtel, falls erforderlich	Kalkzementmörtel für Außenputz	Kalkzementmörtel für Außenputz	Anstrich
		Edelputz	Kratzputz Reibe- oder Strukturputz
		Organischer Mörtel	
Putzsystem für einlagigen Außenputz aus Werktrockenmörtel (OC)			
Vorbehandlung des Putzgrundes		**Putz**	**Putzoberfläche**
Zementmörtel		Luftporenedelputzmörtel	Kratzputz
		Vergüteter Luftporen-edelputzmörtel	

Tab. 2.6 Einteilung der Putze nach dem Bindemittel. (Quelle: ILS Hamburg)

Bezeichnung	Bindemittel
Kalkputze	Luftkalk oder hydraulischer Kalk
Kalkzementputze	Zement und Luftkalk oder Zement und hydraulischer Kalk
Zementputze	Zement, evtl. mit etwas hydraulischem Kalk
Gipsputz	Gips mit oder ohne Luftkalkanteil
Anhydrit	Anhydrit mit oder ohne Luftkalkanteil

Tab. 2.7 Einteilung der Putze nach dem Zuschlagsstoff. (Quelle: ILS Hamburg)

Bezeichnung	Zuschlagsstoff
Schweißputz	Mit Sandanteil unter 1 mm, der Putz wird abschließend glatt gefilzt (seltene Anwendung, aber bei Restaurierungen noch erforderlich)
Quarzputz	Nur mit sortierten Quarzsanden hergestellter Putz
Rauputz	Putz mit groben Zuschlagsstoffen von 0–7 mm

Tab. 2.8 Einteilung der Putze nach dem Arbeitsverfahren. (Quelle: ILS Hamburg)

Bezeichnung	Arbeitsverfahren
Scheibenputz	Mit dem Hobel abgezogener und verriebener Putz
Kratzputz	Die Oberfläche des Putzes wird nach dem Anziehen mit einem Nagelbrett aufgeraut
Maschinenputz	Für die maschinelle Verarbeitung geeignet
Münchner Rauputz oder Kellenwurfputz	Gleichmäßig angeworfener, sehr rauer Putz
Kellenstrichputz	Mit der Kelle strichartig verdichteter Putz
Reibeputz	Putz mit Rillenstruktur, Oberfläche wird mit Reibebrett abgerieben
Waschputz	Der angezogene Putz wird mit einer weichen Bürste gewaschen, und nach einigen Tagen Standzeit wird mit Wasser oder verdünnter Salzsäure der vorhandene Zementschleier entfernt

Tab. 2.9 Einteilung der Putze nach der Anwendung

Bezeichnung	Anwendung
Innenputze	Vorwiegend oder ausschließlich für innen geeignete Putze auf Gips- und Anhydritbasis
Außenputze	Für innen und außen geeignete Kalk- und Zementputze
Sgraffitoputze	Eingefärbte Mörtel für Putzkratztechnik
Edelputze	Eingefärbte Putze für die obere Putzlage

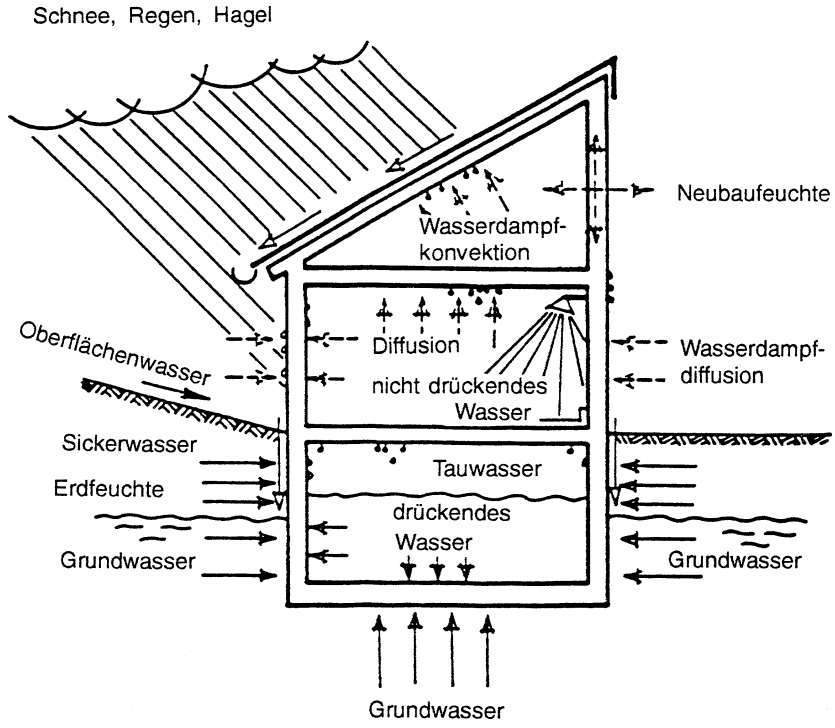


Abb. 2.20 Feuchteeinflüsse auf Gebäude. (Quelle: ILS Hamburg)

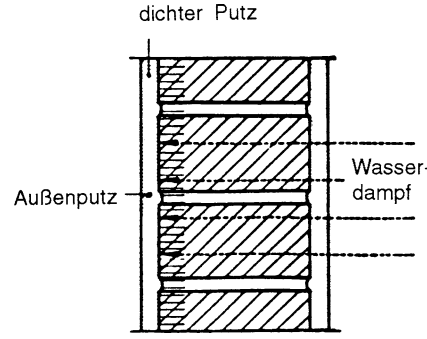


Abb. 2.21 Wassersperrender Außenputz. (Quelle: ILS Hamburg)

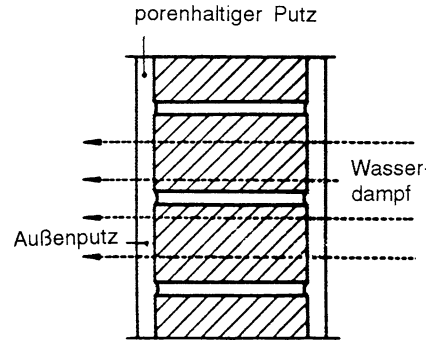


Abb. 2.22 Hydrophober Außenputz. (Quelle: ILS Hamburg)

2.5.2 Anforderungen an die Untergrundvorbereitung

2.5.2.1 Untergrundvorbereitung

Grundsätzlich müssen Untergründe frei von Verunreinigungen und losen Teilen sein, damit vorbereitende Maßnahmen vor einem Putzauftrag erfolgen können.

Als Vorbereitung von Putzarbeiten können nachfolgende Maßnahmen notwendig sein:

- Altputz abschlagen oder abfräsen.
- Hochdruckreinigen der Putzfläche.
- Spritzbewurf aufbringen.
- Auftrag einer organischen oder mineralischen Haftbrücke.
- Bei stark saugenden Untergründen sind zusätzliche Maßnahmen notwendig, wie z. B. eine Aufbrennsperre auf den Putzgrund aufzubringen, damit ein gleichmäßiger Untergrund entsteht und der Wasserentzug des Mörtels reduziert wird. Es ist darauf zu achten, dass sich kein Film bildet. Eine zweischichtige Arbeitsweise (nass in nass) sollte bevorzugt zur Anwendung kommen.
- Anbringung eines Putzträgers.
- Aufrauen der Oberfläche.
- Trocknung des Putzgrundes bis Ausgleichsfeuchte.
- Egalisierung des Untergrundes.

Bei Kalk- bzw. Kalkzementputzen ist in der Regel bei stark saugenden Untergründen ein Spritzbewurf oder ein Haftmörtel volldeckend auf den Untergrund aufzubringen, damit die Saugeigenschaften des Putzgrundes reguliert werden. Im Allgemeinen ist es jedoch ausreichend, wenn ein spezieller Putz oder ein Unterputz nass in nass aufgetragen wird.

Sofern der Putzgrund aus Beton besteht, ist ein Haftmörtel aufzubringen, welcher mit einer Zahntraufel abgezogen wird. Jedoch gibt es auch für diesen Putzgrund geeignete Haftmörtel, welche zur Anwendung kommen können, die dann keine besonderen Vorbereitungsmaßnahmen benötigen. Es sind jedoch die Herstellerangaben zu beachten.

Bei Putzen mit organischen Bindemitteln muss der Putzgrund mit einer geeigneten Grundierung vorbehandelt werden.

Tab. 2.10 Besondere Vorbereitungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Putzuntergründen

Untergrund	Vorbereitungsmaßnahmen
Ziegel	Keine besonderen Vorbereitungsmaßnahmen notwendig, bei sach- und fachgerechter Ausführung. Unterputz wird „nass in nass“ aufgetragen
Kalksandsteine	Bei gleichmäßig saugendem Untergrund sind keine besonderen Maßnahmen notwendig. Ist ein unterschiedliches Saugverhalten des Kalksandsteins festzustellen, ist z. B. eine mineralische Haftbrücke erforderlich
Porenbetonsteine	Vornässen oder das Aufbringen einer Grundierung ist notwendig
Betonflächen	Es ist eine Haftbrücke mit einer Zahntraufel auf die Betonfläche vollflächig aufzubringen. Die Putzdeckung der Rillen muss mindestens 2 mm betragen und eine Standzeit von mindestens zwei Tagen eingehalten werden
Leichtbetonsteine	Es sind keine besonderen Maßnahmen notwendig, da die Oberfläche rau ist und ein schwaches Saugverhalten vorliegt
Altputzflächen	Sofern die Oberfläche fest, tragfähig und sauber ist, kann der Putz mit Haft- und Renovierungsmörtel überarbeitet werden. Sollten Risse in der Putzfläche vorhanden sein, ist vollflächig ein Armierungsgewebe im Putzmörtel einzubetten
Salzhaltiger Putzgrund	Bei Vorhandensein von wasserlöslichen Salzen im Putzgrund sind Sanierputze bzw. Sanierputzsysteme aufzubringen. Es ist jedoch zu beachten, dass salzgeschädigte Untergründe auf einen Feuchtetransport hinweisen und die Ursache dafür ermittelt und beseitigt werden muss

2.5.2.2 Besonderheiten unterschiedlicher Putzgründe

Die unterschiedlichen Putzgründe unterscheiden sich stark in ihrem Saugverhalten. Daher sind die in Tab. 2.10 aufgeführten Besonderheiten zu beachten.

2.6 Sanierungsschritte an der Putzfassade

2.6.1 Altputzflächenreinigung

Sofern lediglich die Beschichtung des Bestandsputzes erneuert werden soll, ist eine gründliche Reinigung (z. B. mit Hochdruckreiniger) unerlässlich. Dabei werden haftungsmindernde Bestandteile wie Staub und lose Teile entfernt.

2.6.2 Entfernen des Altputzes

Sofern der Putz stark geschädigt ist und Hohllagen und Putzabplatzungen aufweist, ist ein vollständiger Abbruch des Putzes notwendig. Ob ein vollflächiger Abbruch zwingend erforderlich ist oder es ausreicht, dass Teilflächen der geschädigten Bereiche abgebrochen werden, ist durch Voruntersuchungen und Sachkundige zu planen.

2.6.3 Festigung

Putzfestiger werden angewendet, wenn der Altputz nicht abgebrochen wird, dieser jedoch absandet bzw. keine ausreichende Festigkeit mehr aufweist. Mit einem Putzfestiger wird dann die Oberflächenfestigkeit des Bestandsputzes erhöht sowie die Saugfähigkeit reduziert. Alte Farbbeschichtungen sind vor dieser Maßnahme zu entfernen.

2.6.3.1 Hydrophobierung/Imprägnierung

Eine Hydrophobierung ermöglicht die Reduzierung der Wasseraufnahme, jedoch besitzt dieses Verfahren nur eine Wirkungsdauer von ca. zehn Jahren. Diese Maßnahme erhöht den Frost-Tau- und Frost-Tausalz-Widerstand.

Die meisten Hydrophobierungsmittel bestehen aus Silanen, Siloxanen, Silikonharzen und Alkalisilikonaten. Jedoch gibt es auch Produkte, die eine Mischung aus organischen Harzen, Kieselsäureestern, Titanestern oder Ähnlichem hergestellt werden, da diese dann gleichzeitig eine Verfestigung der Oberfläche erzielen (Abb. 2.23).

Die Produkte sind als wässrige Emulsion, Paste, lösungsmittelhaltige Lösung und wässrige Lösung erhältlich.

Vor dem Aufbringen des Hydrophobierungsmittels sind die Saugfähigkeit und der Feuchtegehalt des Untergrundes zu prüfen.

Das Flutverfahren eignet sich besonders an vertikalen Flächen und sollte in mehreren Durchgängen „nass in nass“ ausgeführt werden, um eine große Eindringtiefe zu erzielen.

2.6.3.2 Aufziehen von Feinputzmörtel

Bei diesem Verfahren wird alter, mürber Putz durch die Ausbesserung von uneinheitlichen Oberflächen verfestigt. Es wird der geschädigte lose Putz entfernt und die Putzfläche mit einem Nagelbrett aufgeraut, damit eine Haftung zwischen Bestandsputz und Feinputzmörtel gegeben ist. Danach erfolgt die Anfeuchtung des Altputzes und der Auftrag des

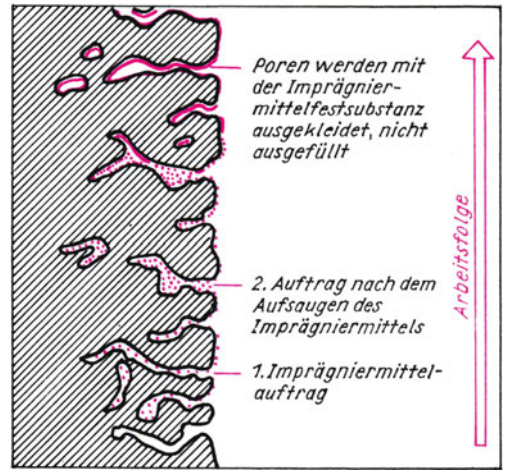


Abb. 2.23 Festigung durch Hydrophobierung/Imprägnierung. (Quelle: ILS Hamburg)

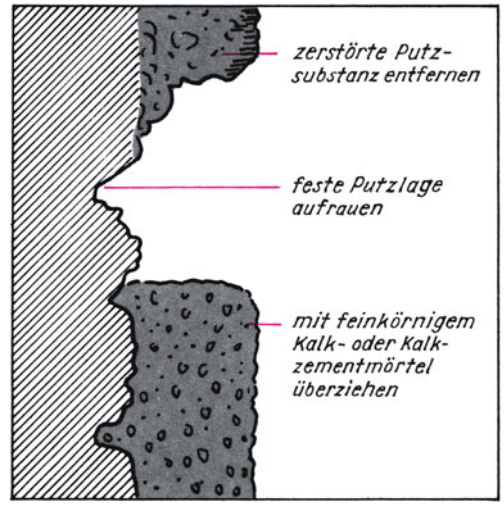


Abb. 2.24 Altputzsanierung durch Aufziehen von Feinputzmörtel. (Quelle: ILS Hamburg)

Feinputzmörtels (Abb. 2.24). Dieser ist mit einer Schichtdicke von 4–6 mm aufzutragen. Letztendlich erfolgt das Ausreiben mit einem filzbelegten Reibebrett.

2.6.3.3 Versiegelung

Die Versiegelung von Putzflächen bewirkt einen Verschluss der Oberflächenporen. Es werden die Wasseraufnahme, die Aufnahme von wassergelösten Schadstoffen und die Kohlendioxiddiffusion reduziert. Ebenfalls wird die mechanische Verschleißfestigkeit verbessert.

Wasserglas, meist als Kaliwasserglas (K_2SiO_3) angewendet, zerfällt unter dem Einfluss von Kohlendioxid in Kieselsäure und Kaliumkarbonat (K_2CO_3). Ist in dem Baustoff Kalk vorhanden, so reagiert es mit diesem unter Bildung von Kalziumsilikat ($CaSiO_3$).

Der Auftrag des Wasserglases erfolgt mehrmalig in drei bis vier Arbeitsgängen im Bürstenstreichverfahren. Zwischen den Arbeitsgängen ist die vollständige Austrocknung der vorherigen Schicht notwendig. Die Arbeiten sollten nicht bei direkter Sonneneinstrahlung oder Frosteinwirkung erfolgen, da das Produkt dann zu schnell anzieht und eine Funktionstüchtigkeit eventuell nicht erreicht wird. Da Wasserglas ätzend wirkt, sind sämtliche angrenzende Bauteile zu schützen.

2.6.4 Egalisierung und Unterputz

Ein Putzuntergrund muss rissfrei, eben und frei von losen Teilen und Verschmutzungen sein. Offene Fugen und Unebenheiten werden mit einem Unterputz egalisiert.

Der Unterputz wird in zwei Arbeitsgängen „nass in nass“ aufgetragen. Die erste Putzlage weist eine Dicke von ca. 10 mm auf und ist mit einer Kartätsche, vorzugsweise einer

Zahnkartätsche zu verziehen. Wenn die Putzoberfläche von glänzend in matt umschlägt, wird der zweite Arbeitsgang ausgeführt. Dabei ist die Gesamtunterputzstärke von 15–20 mm zu erreichen.

2.6.5 Rissinstandsetzung

Es gibt verschiedene Verfahren zur Risssanierung in Putzsystemen. Wichtigstes Kriterium für die Auswahl des geeigneten Instandsetzungsverfahrens ist, ob es sich um ruhende Risse oder um Risse handelt, welche weiterhin ihre Rissbreite ändern bzw. an deren Rissflanken Bewegungen auftreten, auch nach der Sanierungsmaßnahme.

Vor einer Risssanierung im Putzsystem ist zu untersuchen, ob die Putzrisse ihren Ursprung im Untergrund besitzen. Sofern die Putzrisse im Untergrund entstanden sind, ist vorerst eine Risssanierung am Untergrund erforderlich, was jedoch nicht Gegenstand dieses Kapitels ist.

Im Nachfolgenden werden Instandsetzungsverfahren bei Einzelrissen und bei Rissbildung über die gesamte Fassadenfläche aufgeführt, welche gemäß dem gültigen WTA-Merkblatt 2-4-14/D „Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden“ sich in der Praxis bewährt haben.

2.6.5.1 Instandsetzung von Einzelrissen – Verfahren E

Bei der Instandsetzung von Einzelrissen werden je nach der Putzstruktur optische Beeinträchtigungen im Fassadenbild verbleiben. Um zumindest nur Strukturunterschiede im Fassadenbild zu erhalten, ist in der Regel eine Neubeschichtung der Fassadenflächen erforderlich.

Ebenfalls kann es nach der Instandsetzungsmaßnahme aufgrund von temperatur- und feuchtebedingten Verformungen im Untergrund erneut zu einer feinen Rissbildung kommen.

Rissverschluss mit gefüllter Beschichtung – Verfahren E1 Dieses Verfahren kann bei ruhenden Einzelrissen mit einer Rissbreite bis 0,1 mm angewendet werden, welche nach der Fertigstellung der Putzfassade entstanden sind.

Vor der Instandsetzungsmaßnahme ist die Reinigung des Risses notwendig. Dann wird der Riss mit einer gefüllten Beschichtung (Streichfüller, Füllfarbe) verschlämmt. Bei der Anwendung des Materials zum Verschlämmen des Risses ist darauf zu achten, dass dieses auf die Beschichtung, welche nach der Instandsetzungsmaßnahme aufgebracht wird, chemisch und physikalisch abgestimmt ist.

Sofern es sich um einen unbeschichteten Oberputz handelt, kann nach der Maßnahme ein teil- oder vollflächiger Anstrich notwendig sein.

Starrer Rissverschluss mit Mörtel – Verfahren E2 Dieses Verfahren kann angewendet werden, wenn keine hohen ästhetischen Anforderungen an die Putzfassade gestellt wer-

den. Ebenfalls kann es erneut zu einer feinen Rissbildung kommen. Bei konstruktions- und putzbedingten Rissen ist ein anderes Instandsetzungsverfahren heranzuziehen.

Bei diesem Verfahren ist der Riss aufzuweiten und zu reinigen. Dann wird auf dem Riss eine Grundierung aufgebracht, um einen besseren Haftverbund herstellen zu können und das Saugverhalten zu vergleichmäßigen. Danach erfolgt das Ausfüllen des Risses mit dem Mörtel (z. B. kunstharzmodifizierter mineralischer Feinmörtel oder organisch gebundener Feinmörtel). Dabei ist darauf zu achten, dass mit dem Mörtel die Putzstruktur des Oberputzes möglichst erreicht wird.

Flexibler Rissverschluss mit Fugendichtstoff – Verfahren E3 Auch dieses Rissverfahren sollte nur zur Anwendung kommen, wenn keine hohen Anforderungen an die Ästhetik der Putzoberfläche gefordert sind. Rissbreitenänderungen nach der Instandsetzungsmaßnahme können aufgenommen werden.

Der Riss ist 5–10 mm breit auf die gesamte Tiefe v-förmig aufzuweiten und dann zu reinigen. Danach ist eine Grundierung aufzubringen, um den Haftverbund zu verbessern. Der Riss wird mit einem überstreichbaren Fugendichtstoff verfüllt und dann mit Sand abgestreut.

Rissüberbrückung mit Trennlage und Putzträger – Verfahren E4 Dabei handelt es sich um ein Entkopplungssystem. Dieses Verfahren kann bei Rissbreitenänderungen bis 0,2 mm angewendet werden, auch wenn es sich um konstruktionsbedingte Risse handelt, jedoch muss die Rissbildung abgeschlossen sein. Ebenfalls ist die Anwendung dieses Verfahrens bei Rissen an Materialwechseln im Untergrund möglich.

Bei diesem Verfahren wird der Bestandsputz ca. 20 cm über beide Seiten des Risses bis auf den Putzgrund entfernt. Der Oberputz ist noch zusätzlich weitere 5 cm zu entfernen. Danach erfolgt eine Reinigung des Risses und des Putzgrundes. Als Trennlage kann z. B. ein mehrlagiges Glasvlies mit einer Mindestbreite von 20 cm aufgebracht werden. Der Putzträger kann mit einem punktverschweißten Drahtgitter (Maschenweite 12 mm, Dicke 1 mm) oder einem anderen geeigneten Material angebracht werden. Punktverschweißter Draht ist mit einem Abstand von 5 mm vom Putzgrund und an den Rändern zu befestigen (Abstand ca. 25 cm). Sofern die Putzfassade einer hohen Witterung ausgesetzt ist, sind Edelstahlputzträger zu verwenden. Schlussendlich ist der Putzmörtel zweilagig aufzubringen und an die Bestandsputzstruktur anzupassen.

Dehnfuge mit Fugendichtstoff – Verfahren E5 Bei diesem Verfahren wird eine sichtbare Dehnfuge verbleiben. Es ist nur bei geradlinigen Rissen anzuwenden, welche eine geringe Rissbreitenänderung aufweisen. Unter anderem kann dieses Verfahren bei Rissen zwischen Brüstungen und Außenwänden zur Anwendung gebracht werden.

Als Erstes wird bei diesem Verfahren der Riss über die gesamte Putzdicke zu einer Fuge aufgeweitet. Dabei ist zu beachten, dass diese Fuge eine Breite erreicht, die mindestens das Vierfache der zu erwartenden Rissbreitenänderung beträgt, jedoch mindestens 8 mm. Danach erfolgt die Reinigung der Fuge. Eventuell ist eine Hinterfüllung der Fuge mit einer

Schaumstoffschnur notwendig. Die Rissflanken sind mit einer Grundierung zu behandeln, um die Haftung zu verbessern. Letztendlich wird mit einem geeignetem Fugendichtstoff gemäß DIN EN 26927 „Fugendichtstoffe“ die Fuge verfüllt.

Sollte eine Farbbeschichtung der Fuge vorgesehen sein, so ist zu beachten, dass feine Risse in der Fuge entstehen können.

Schlussendlich ist darauf hinzuweisen, dass bei einer Dehnfuge eine regelmäßige Wartung erforderlich ist.

Dehnfuge mit Profil – Verfahren E6 Auch dieses Verfahren ist nur bei geradlinigen Rissen einzusetzen, jedoch kann es bei größeren Rissbreitenänderungen angewendet werden. Es wird ebenfalls eine Dehnfuge ausgebildet, welche sichtbar verbleiben wird.

Der Putz ist am Riss beidseitig ca. 10 cm bis auf den Putzgrund zu entfernen (jedoch abhängig vom Fugenprofil). Der Oberputz ist noch weitere 5 cm zu beseitigen. Danach erfolgen eine Reinigung der Fuge und der Einbau des Profils. Zuletzt ist der Putz zweilagig und an das Profil anzuarbeiten. Dabei ist zu beachten, dass die Struktur des Bestandputzes angeglichen wird, jedoch wird ein optischer Unterschied zwischen Neuputz und Altputz bestehen bleiben.

2.6.5.2 Flächige Instandsetzungsverfahren – Verfahren F

Eine flächige Rissinstandsetzung ist anzuwenden, wenn hohe technische und optische Anforderungen an die Fassade gestellt werden, die Witterungsbeanspruchung hoch ist, viele Risse in der Putzfassade vorhanden sind sowie eine Rissbreitenänderung und weitere Rissbildungen zu erwarten sind.

Bei den Instandsetzungsverfahren gibt es zwei verschiedene Materialsysteme. Es gibt mineralische und organisch gebundene Systeme, die als Putzsysteme oder Beschichtung zur Anwendung kommen können.

Das System ist entsprechend den örtlichen Gegebenheiten zu wählen. Dazu sind die bereits genannten Voruntersuchungen zwingend notwendig. Des Weiteren sollte immer ein System eines Herstellers verwendet werden, damit keine Materialunverträglichkeiten zu erneuten Rissbildungen führen können.

Organische Beschichtungssysteme – Verfahren F1 Organische Beschichtungssysteme können für alle Risse mit einer Rissbreitenänderung bis 0,1 mm angewendet werden.

Bei der Wahl der Produkte und des Schichtenaufbaus sollten die Empfehlungen der Hersteller berücksichtigt werden. Besonders geeignete Untergründe sind Putze mit einem hohen Zementanteil (Druckfestigkeit ab CS III), welche mit oder ohne Beschichtung ausgeführt wurden.

Organische Beschichtungssysteme besitzen einen hohen Diffusionswiderstand gegenüber Wasserdampf. Für Putze mit hohem Kalkanteil (Druckfestigkeitsklasse CS I und CS II) sind diese Beschichtungssysteme nicht geeignet, da auch der Diffusionswiderstand gegenüber Kohlendioxid hoch ist und somit die notwendige Karbonatisierung verhindert wird, welche für die Erhärtung erforderlich ist.

Ebenfalls ist zu prüfen, dass eine Hinterfeuchtung der Beschichtung ausgeschlossen werden kann (z. B. Anschlüsse von Verblechungen), da sonst organische Beschichtungssysteme nicht eingesetzt werden können. Somit sind diese Systeme auch rissfrei herzustellen.

Nach Durchführung der Untergrundprüfung (z. B. Ritztest) wird die Fläche gereinigt und eine Grundierung auf die gerissene Fläche aufgebracht. Risse, welche eine Rissbreite über 0,2 mm aufweisen, sind mit einem Riss- bzw. Streichfüller zu verschlämmen. Die daraufzubringende Zwischenbeschichtung ist gegebenenfalls mit einer Vlieseinlage auszuführen. Letztendlich wird eine Schlussbeschichtung auf die gesamte Fläche mit einer plastisch verformbaren Dispersionsfarbe aufgetragen.

Rissfüllende Beschichtungssysteme – Verfahren F2 Dieses Verfahren ist bei Rissen bis zu einer Rissbreite von 0,2 mm anwendbar und hält Rissbreitenänderungen stand.

Dispersionssilikatfarben, Silikonharzfarben und Dispersionsfarben sind als rissfüllende bzw. für rissüberbrückende Systeme geeignet.

An diese Systeme sind die Anforderungen gemäß DIN 1062 „Beschichtungsstoffe“, s_d-Wert < 0,14 m (wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke) und w-Wert < 0,1 kg/(m^2 h^{0,5}) (Wasseraufnahmekoeffizient) einzuhalten. Es kann jedoch erforderlich sein, niedrigere s_d-Werte anzustreben, da die vorgenannten Werte nicht immer einen ausgewogenen Feuchtehaushalt sicherstellen.

Vor Ausführung des Systems ist eine Untergrundprüfung notwendig sowie die Reinigung der Fläche. Danach wird eine hydrophobierende Grundierung auf die gerissene Fläche aufgetragen. Es kann die Verschlämmung von Rissen mit Riss- bzw. Streichfüllern notwendig werden. Dann wird eine Zwischenbeschichtung aufgetragen, und zuletzt die Schlussbeschichtung.

Rissfüllende Beschichtungssysteme für kalkreiche Putze – Verfahren F3 Dieses Verfahren ist geeignet, um putzbedingte Risse mit einer Rissbreite von bis zu 0,2 mm zu verfüllen. Eine Rissbreitenänderung kann bei diesem System nicht überwunden werden. Dispersionssilikatfarben und Silikonharzfarben sind als Beschichtungssysteme geeignet. Diese können auch als Füllfarben bzw. Streichfüller zum Einsatz kommen.

Bei kalkreichen Putzen (CS I oder CS II) sind Beschichtungssysteme anzuwenden, welche einen geringen Diffusionswiderstand gegenüber Wasserdampf und Kohlendioxid besitzen. Jedoch muss für die notwendige Karbonatisierung zur Erhärtung eine ausreichende Durchlässigkeit für Kohlendioxid gewährleistet sein.

Zuerst sind wieder eine Untergrundprüfung sowie die Reinigung der Fläche notwendig. Risse über 0,2 mm sind mit einem Rissfüller bzw. Streichfüller zu verschlämmen. Die gerissene Putzfläche ist mit einer hydrophobierenden Grundierung vorzubehandeln. Es empfiehlt sich, auch die Rissflanken zusätzlich zu hydrophobieren, da dann bei einer erneuten Öffnung des Risses die Wasseraufnahme verhindert werden kann. Sofern erforderlich, ist eine Zwischenbeschichtung aufzutragen, bevor die Schlussbeschichtung erfolgt.

Mineralische Oberputze – Verfahren F4 Bei tragfähigen Altputzen mit oder ohne Beschichtung kann zur Überdeckung von vorhandenen Rissen ein mineralischer Oberputz aufgetragen werden. Jedoch ist dieses Verfahren nur bei putzbedingten Rissen mit einer Rissbreite bis zu 0,2 mm einsetzbar. Eine rissüberbrückende Wirkung besitzt dieses Verfahren nicht.

Kalk- und Zementoberputze können mit Kunststoffzusätzen modifiziert werden, um die Haftung zu verbessern und das E-Modul (Elastizitätsmodul) zu verringern. Dabei ist die Druckfestigkeit auf den vorhandenen Untergrund abzustimmen, was durch Voruntersuchungen ermittelt werden kann.

Nicht tragfähige Putze und haftungsmindernde Beschichtungen sind zu entfernen und eine Reinigung der gesamten Fläche vorzunehmen.

Sofern von den Herstellern die Freigabe erfolgt, kann auch eine Überarbeitung von tragfähigen organischen Putzen und Beschichtungen (Kunstharzputze, Anstriche) mit einem modifizierten mineralischen Oberputz erfolgen.

Vor dem Aufbringen des Oberputzes kann es unter Umständen notwendig sein, eine Grundierung aufzubringen, damit eine Schädigung der vorhandenen Beschichtung durch den frisch aufgebrachten Mörtel, welcher eine hohe Alkalität besitzt, verhindert wird.

Vor dem Aufbringen des Oberputzes ist gegebenenfalls eine Beschichtung aufzutragen.

Mineralischer Armierungsputz und mineralischer Oberputz – Verfahren F5 Mineralische Armierungsputze und mineralische Oberputze können bei Rissbreitenänderungen bis zu 0,2 mm eingesetzt werden. Ebenfalls kann es bei einer Rissüberdeckung sowie bei Kalkputzen (CS II) zur Anwendung kommen.

Insbesondere bei Stein-Putz-Rissen hat es sich in der Praxis bewährt dieses Verfahren mit dem Verfahren E4 (Rissüberbrückung mit Trennlage und Putzträger – Einzelrisse) zu kombinieren.

Nach einer Untergrundprüfung sind haftungsmindernde Altputze und Beschichtungen zu entfernen. Danach erfolgt eine Reinigung des Untergrundes. Damit es nicht zu einer Verseifung kommt, ist gegebenenfalls eine Grundierung aufzubringen, welche verhindert, dass die hohe Alkalität des frischen Armierungsmörtels die Bestandsbeschichtung beschädigt.

Bei rauen Putzstrukturen ist die grobe Körnung zu entfernen. Dann erfolgt ein Ausgleich mit dem Armierungsmörtel. In den Armierungsmörtel wird mittig ein alkalibeständiges Glasfasergewebe frisch in frisch eingebettet. Die Dicke des Mörtels hat eine Dicke von mindestens 4 mm aufzuweisen.

Danach ist ein wasserabweisender mineralischer Oberputz aufzutragen, welcher gegebenenfalls mit einer Beschichtung versehen wird.

Organischer Armierungsputz und organischer Oberputz – Verfahren F6 Dieses Verfahren kann bei tragfähigen Altputzen mit einer Rissüberbrückung und Rissbreitenänderung bis zu 0,2 mm angewendet werden. Auch dieses Verfahren kann mit dem Verfahren E4 (Rissüberbrückung mit Trennlage und Putzträger – Einzelrisse) kombiniert werden.

Eine bauphysikalische Berechnung ist notwendig, um bei Mauerwerk mit einem niedrigen Diffusionswiderstand die Eignung des Verfahrens nachzuweisen.

Durch eine Untergrundüberprüfung ist zu untersuchen, ob der Bestandsputz tragfähig ist oder die Beschichtung haftungsmindernd wirkt. Gegebenenfalls sind diese zu entfernen.

Ebenfalls ist bei rauen Putzstrukturen das Grobkorn zu entfernen und ein Ausgleich mit Armierungsmörtel herzustellen.

Der Armierungsmörtel ist mit einer Mindestdicke von 4 mm aufzutragen. In diesem ist mittig ein Glasfasergewebe frisch in frisch einzubetten. Danach erfolgt der Auftrag des wasserabweisenden organischen Oberputzes.

Wärmedämmputzsysteme – Verfahren F7 Eine Anwendung für dieses Verfahren sollte erfolgen, wenn thermisch bedingte und/oder konstruktionsbedingte Risse vorhanden sind. Rissbreitenänderungen bis 0,5 mm können überwunden werden. Durch die Dämmputzlage werden temperaturbedingte Risse reduziert.

Bei diesem Verfahren kann eine Entkopplung zwischen Putzgrund und Oberputz erreicht werden. Auch unebene Untergründe werden mit diesem System ausgeglichen. Dafür ist eine Mindestschichtdicke von 50 mm bei der Entkopplungsschicht einzuhalten.

Sofern der Untergrund nicht tragfähig ist, sind spezielle wellenförmige oder ebene Putzträger aus geschweißtem Drahtnetz anzuwenden.

Sind Risse vorhanden, bei denen eine Bewegung zu erwarten ist, muss zwischen Putzträger und Untergrund eine Trennlage aufgebracht werden. Diese ist mit dem Verfahren E4 (Rissüberbrückung mit Trennlage und Putzträger – Einzelrisse) auszuführen. Diese Trennlage verhindert, dass der Altputz eine Verbindung mit dem Dämmputz erhält.

Dann wird ein Dämmputz aufgetragen. Auf den Dämmputz ist ein Armierungsputz mit vollflächiger Gewebeeinlage aufzubringen. Zuletzt erfolgt der Auftrag des Oberputzes, welcher wasserabweisend und abgestimmt auf das System ist.

Wärmedämmverbundsystem – Verfahren F8 Bei gerissenen Fassaden eignet sich das Instandsetzungsverfahren F8, vorzugsweise bei thermischen und/oder konstruktiv bedingten Rissen. Rissbreitenänderungen von bis zu 1 mm und eine einmalige Rissaufweitung von bis zu 2 mm können von dem System aufgenommen werden.

Die Dämmstoffplatten bewirken eine Entkopplung zwischen Oberputz und Putzgrund. Die Dicke der Dämmstoffplatten muss mindestens 40 mm betragen, jedoch ist dabei die derzeit gültige EnEV (Energieeinsparverordnung) zu beachten. Durch die Dämmschicht wird eine thermische Rissbildung nahezu unterbunden.

Die Verarbeitung und Befestigung von Wärmedämmverbundsystemen hat gemäß DIN 55699 „Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen“ zu erfolgen. Ebenfalls sind die Herstellerangaben zu berücksichtigen. Der Systemaufbau ist in den jeweiligen Zulassungen geregelt.

2.6.6 Oberputz

Mit den mineralischen Oberputzen, Feinputz oder Dekorputz, die sowohl von Hand als auch mit Putzmaschinen aufgebracht werden oder alternativ mit Silikonharzputz, wird die endgültige Struktur der Fassade hergestellt.

2.6.7 Stuck

Geschädigte Stuckelemente können zum einen auf der Baustelle mit Grob- und Feinzugmörtel nachgezogen oder mit Stuckmörtel können Elemente neu gegossen und auf der Baustelle an die Fassade angebracht werden.

2.6.8 Beschichtung

Die Endbeschichtung erfolgt flächendeckend. Entweder mit hochdiffusionsoffenen und stark wasserabweisenden Silikonharzfarbsystemen oder mineralischen Beschichtungssystemen. Der Auftrag erfolgt in mindestens zwei Arbeitsgängen mit Grund- und Deckbeschichtung gemäß den Herstellerangaben.

2.7 Putzsysteme

Als Putzsystem bezeichnet man die einzelnen Lagen eines Putzes, welche dann in ihrer Gesamtheit mit dem Putzgrund die Anforderungen an die Fassadenfläche erfüllen.

Die Wahl des Putzmörtels erfolgt nach der Beschaffenheit des Untergrundes. Ebenfalls sind die Anforderungen an den Putz zu berücksichtigen. Neben der ästhetischen Gestaltung des Gebäudes hat der Putz auch eine Schutzfunktion gegen Witterungseinflüsse zu erfüllen. Dies beinhaltet zum einen den Feuchteschutz, jedoch auch den Wärmeschutz. Dabei sind die Anforderungen aus der Energieeinsparverordnung (EnEV) zu beachten.

- Mineralische Putzsysteme werden als Unter-, Armierungs- und Oberputz verwendet.
- Organische Putze setzt man als Armierungs- und Oberputz ein.
- Die Putzlagen sind so aufeinander abzustimmen, dass die Spannungen zwischen Putzgrund und dem Putz abgetragen werden können.

2.7.1 Normalputz (GP)

Als Normalputz bezeichnet man einen Putzmörtel (CS II und CS III), welcher keine besonderen Eigenschaften aufweisen muss. Die Trockenrohdichte beträgt 1300–1800 kg/m^3.

2.7.2 Leichtputzsysteme (I, W)

Leichtputzsysteme sind Putzmörtel (CSI und CS II), welche besondere Eigenschaften aufweisen. Die Trockenrohdichte beträgt 1000–1300 kg/m^3 (Typ I) und 600–1100 kg/m^3 (Typ II).

Besonders für wärmedämmende Wandbaustoffe sind Leichtputzsysteme geeignet. Dies wird damit begründet, dass der Mörtel eine begrenzte Festigkeit (CS I und CS II) und eine geringe Rohdichte besitzt. Ebenfalls weist dieser geringe Schwindwerte auf.

- Leichtputzsysteme müssen grundsätzlich wasserabweisend sein.
- Sind erhöhte Anforderungen an das Putzsystem gestellt, weil z. B. eine erhöhte Feuchtebelastung aus dem Untergrund oder viele Unregelmäßigkeiten im Putzgrund vorhanden sind, ist das Aufbringen eines Armierungsputzes mit einer vollflächigen Gewebeeinlage sinnvoll.
- Als Armierungsputz kommen polymervergütete Mörtel zum Einsatz.
- Wenn organische Putzmörtel als Oberputz vorgesehen sind, muss ein mineralischer Unterputz der Druckfestigkeitsklassen CS II, CS II oder CS IV verwendet werden.

Leichtputz Typ I Der Leichtputz Typ I weist eine Rohdichte von 1000–1300 kg/m^3 auf und hat sich daher für den Einsatz bei wärmedämmenden Wandbaustoffen bewährt.

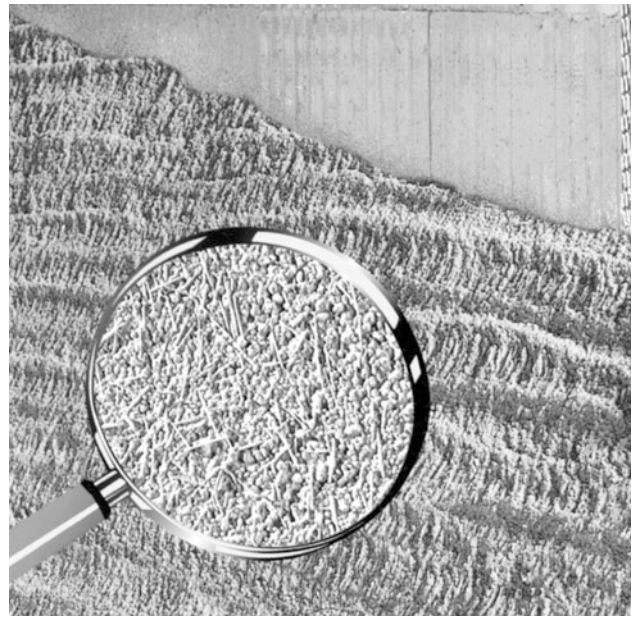


Abb. 2.25 Leichtputz mit Zugabe von Fasern. (Quelle: ILS Hamburg)

Leichtputz Typ II Der Leichtputz Typ II ist in der Praxis auch bekannt unter den Bezeichnungen „Faserleichtputz“, „Ultraleichtputz“ und „Superleichtputz“, welcher eine Trockenrohdichte von 600–1100 kg/m^3 besitzt.

Dieses Putzsystem wird für hochwärmedämmende Untergründe verwendet, da das Verhältnis zu den E-Modulen des Putzes und des Untergrundes sehr günstig ist.

Gibt man Fasern zu dem Putzmörtel dazu (Abb. 2.25), werden die Bildung von Frühschwindrissen minimiert sowie die Verarbeitung verbessert.

2.7.3 Armierungsputz

Ein Armierungsputz besteht aus polymervergütetem Putzmörtel mit einem vollflächig eingebetteten Armierungsgewebe. Dieses wird zur Verhinderung von Putzrissen eingesetzt.

Die auftretenden Spannungen in den Putzschichten werden aufgenommen und verteilt. Dies ist notwendig, da bei mineralischen Baustoffen die Zugfestigkeit bedeutend geringer ist als die Druckfestigkeit. Bei Überschreitung der Zugfestigkeit tritt die Bildung eines Risses auf.

Um die Zugspannungen möglichst vollständig aufnehmen zu können, ist es notwendig, dass ein guter Verbund zwischen Putz und Gewebeeinlage vorliegt. Dies wird damit erreicht, dass die Einbettung des Gewebes „nass in nass“ erfolgt.

Bei Leichtputzen ist zu beachten, dass die Verwendung von ungeeigneten und zu feinen Geweben zu einer Trennwirkung zwischen den Putzschichten führen kann. Des Weiteren sollte ein polymervergüteter Armierungsmörtel verwendet werden, damit ein ausreichender Verbund zwischen Mörtel und Gewebeeinlage erreicht wird.

Sofern keine vollflächige Gewebeeinlage geplant wird, sondern nur in den rissgefährdeten Bereichen (Fensterecken, Deckenränder usw.) Gewebestreifen eingebettet werden, ist der Auftraggeber darüber zu informieren, welche Auswirkungen dies auf die Fassadenflächen haben kann.

Erfolgt eine Teilflächenarmierung bei dicklagigen Oberputzen (z. B. Kratzputz) oder bei Putzen mit einem Größtkorn über 3 mm, kann es trotz der Teilflächenarmierung zu Fleckenbildung (durch unterschiedliches Saugverhalten des Untergrundes) und zu Rissbildungen (aufgrund von Unebenheiten durch unterschiedliche Putzdicken) kommen. Bei dieser Variante wird zunächst auf der gesamten Fassadenfläche ein Unterputz aufgetragen. An den rissgefährdeten Bereichen wird ein Armierungsputz mit einer Gewebeeinlage aufgebracht. Dabei ist zu beachten, dass an Ecken (Fensteröffnungen) ein zusätzlicher Gewebestreifen diagonal (Diagonalbewehrung) eingebettet wird. In der Praxis hat sich bewiesen, dass bei der Einbettung der Diagonalbewehrung im oberen Drittel der Armierungsputzdicke die Rissbildung minimiert werden kann. Nach dem Auftragen des Armierungsputzes in den rissgefährdeten Bereichen wird auf die gesamte Fassadenfläche ein Oberputz aufgetragen.

Werden Teilflächenarmierungen bei dünnlagigen Oberputzen mit einem Größtkorn von 3 mm und kleiner ausgeführt, ist die Gewebeeinlage vor dem Aufbringen des Unterputzes

direkt auf den Untergrund anzubringen. Ebenfalls ist an Ecken eine Diagonalbewehrung einzulegen. Dann wird der Armierungsputz mit einer Mindestdicke von 5 mm aufgekämmt. Darauf erfolgt die Ausführung des Unter- und Oberputzes. Bei dieser Anordnung des Gewebes werden Spannungen aufgenommen, welche aus einem Materialwechsel im Untergrund herrühren, da die Verteilung der Spannungen in die Putzfläche besser erfolgen kann. Jedoch ist eine Aufnahme von hygrothermischen Spannungen im Putzsystem nicht möglich.

Grundsätzlich sollte jedoch eine vollflächige Gewebearmierung einer Teilflächenarmierung vorgezogen werden.

2.7.4 Oberputze

2.7.4.1 Mineralische Edelputze (CR)

Mineralische Edelputze werden am häufigsten für die Oberflächengestaltung von Putzfassaden verwendet. Unter Zugabe von UV-beständigen Pigmenten können diese auch farbig hergestellt werden.

Bei der Verarbeitung von mineralischen Edelputzen sind die Herstellerangaben zu beachten. Sofern diese eine Grundierung vorsehen, muss diese auf den Untergrund und auf den Oberputz abgestimmt sein.



Abb. 2.26 Münchner Rauputz. (Quelle: ILS Hamburg)

Bei mineralischen Putzen sind Haarrisse bis zu einer Rissbreite von kleiner 0,2 mm als technisch unkritisch einzustufen. Je rauer die Putzoberfläche ist, umso geringer ist die optische Wahrnehmung.

Die Edelputze werden zwischen dünnschichtigen und dickschichtigen unterschieden.

Dünnschichtige Edelputze werden mit einem Größtkorn zwischen 2 und 5 mm hergestellt. Der Auftrag erfolgt in Korngröße und wird dann zur Struktur gerieben. Als Strukturvarianten gibt es Rillenputz, Reibeputz, Münchner Rauputz (Abb. 2.26) und Scheibenputz.

Dickschichtige Edelputze werden mit einer Schichtendicke größer als das Größtkorn hergestellt.

Der am meisten zum Einsatz kommende dickschichtige Edelputz ist der Kratzputz (Abb. 2.27). Dieser wird nach dem Verputzen der Wandfläche und einer Anhärtung von ca. einem Tag mit dem „Kratz-Igel“ verrieben und erhält dadurch seine gleichmäßig raue Struktur.

Kellenwurfputze (Abb. 2.28) erhalten ihre Struktur durch das Anwerfen des Mörtels.



Abb. 2.27 Kratzputz. (Quelle: ILS Hamburg)



Abb. 2.28 Kellenwurfputz. (Quelle: ILS Hamburg)

2.7.4.2 Organische Putze

Putze mit organischen Bindemitteln werden auf mineralischen Untergründen bzw. Unterputzen als Oberputz aufgebracht. Die Schichtendicke ergibt sich aus dem Größtkorn, welches zwischen 2–5 mm beträgt.

Sofern von den Herstellern eine Grundierung auf dem Untergrund empfohlen wird, muss diese auf den Unter- und Oberputz abgestimmt sein.

Die mineralischen Unterputze müssen den Festigkeistklassen CS II, CS III oder CS IV entsprechen. Die Mindestdruckfestigkeit beträgt 2 N/mm^2, bzw. die Freigabe für die Eignung des Unterputzes ist vom Hersteller abzufordern.

Auch bei organischen Putzen lassen sich Oberflächenstrukturen wie Kratzputzstruktur, Reibeputzstruktur, Spritzputzstruktur, Rollputzstruktur, Buntstein- und Modellierputz herstellen.

2.7.5 Wärmedämmputzsysteme (T)

Besitzen Putze einen hohen Anteil an leichten Zuschlägen wie z. B. Polystyrolkügelchen sowie eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,2 W/(m^{2}K), werden diese als Wärmedämmputze bezeichnet. Die Erreichung der Wärmeleitfähigkeit erfolgt in der Regel mit einer Rohdichte von kleiner gleich 600 kg/m^3.

Die Ausführung von Wärmedämmputz erfolgt auf einem Unterputz, der mindestens eine Schichtdicke von 20 mm aufweist. Die Schichtdicke des Wärmedämmputzes beträgt höchstens 100 mm bzw. ist nach Herstellerangaben einzuhalten.

- Dieser Putz ist der Druckfestigkeitsklasse CS I (0,4–2,5 N/mm^2) zuzuordnen.
- Als mechanischer Schutz ist auf den wasserhemmenden Unterputz ein wasserabweisender Oberputz (Druckfestigkeit 0,8–3,0 N/mm^2) aufzutragen, da der Wärmedämmputz sehr weich ist. Der Oberputz ist mit einer Schichtdicke von 6–12 mm aufzutragen. Ebenfalls hat sich in der Praxis bewährt, einen Armierungsputz mit einer Schichtdicke von 4–6 mm, einschließlich Gewebeeinlage auf den Unterputz aufzutragen. Dieser kann gleichzeitig als Ausgleichsputz zum Einsatz kommen.

2.7.6 Sockelputze

Die Ausbildung eines Sockels an einer Fassade dient als optische Trennung der Konstruktionsabschnitte und erfolgt in der Regel in Höhe der Untergeschossdecke.

Vorerst ist die obere und untere Sockellinie durch den Planer festzulegen, da besonders die untere Sockellinie sach- und fachgerecht geplant werden muss. Bei der Planung der unteren Sockellinie ist insbesondere der Feuchteschutz des Putzes (Putzabdichtung) zu beachten.

Je nach Untergrund ist auch im Sockelbereich der Putzmörtel zu wählen. Auf Mauerwerk und Beton, welche eine hohe Druckfestigkeit besitzen (größer 8 N/mm^2), wird ein

mineralischer wasserabweisender Putzmörtel (CS IV bzw. PIII) aufgebracht. Bei hochwärmedämmendem Mauerwerk sollte ein Putz der Druckfestigkeitsklasse CS III (bzw. PII) angewendet werden.

Handelt es sich um eine Sockelausbildung einschließlich Wärmedämmung, sollte die Dämmung eine raue Oberfläche besitzen, da auf glatten Oberflächen ein Putzauftrag nicht möglich ist. Ist eine erhöhte mechanische Beanspruchung im Sockelbereich zu erwarten, dann sollte vor dem Auftrag des Sockelputzes (Oberputz) auf die erste Lage Armierungsputz (einschließlich Gewebeeinlage) eine zweite Armierungslage aufgebracht werden.

Ansonsten wird auf die Wärmedämmung eine kunststoffvergütete Putzhaftbrücke aufgebracht, welche horizontal mit einer groben Zahntraufel verzogen wird. Dann erfolgt der Auftrag eines Unterputzes (PII) mit einer Mindestschichtdicke von 15 mm. Auf den Unterputz wird eine 5–8 mm dicke Armierungslage mit einem mineralischen Putz aufgebracht. Zuletzt erfolgt der Auftrag des Oberputzes, welcher gegebenenfalls mit einer Beschichtung versehen wird.

Sind keine Anforderungen an den Mindestwärmeschutz gemäß DIN 4108 bzw. der EnEV (Energieeinsparverordnung) einzuhalten, kann die Ausführung des Putzes direkt auf der Bauwerksabdichtung erfolgen.

Handelt es sich als Putzgrund um eine mineralische Abdichtung, ist eine mineralische kunststoffvergütete Putzhaftbrücke aufzutragen, welche eine Mindestschichtdicke von 5 mm beträgt und mit der Zahntraufel zu verziehen ist. Dabei ist zu beachten, dass die Vertiefungen eine Mindestputzdicke von 2 mm besitzen. Danach erfolgen der Auftrag des Unterputzes, eines Armierungsputzes mit Gewebeeinlage und der Oberputz mit gegebenenfalls einer Beschichtung.

Ist eine polymermodifizierte Bitumendickbeschichtung (PMBC früher KMB) als Putzgrund vorhanden, ist zu beachten, dass diese nicht verputzbar ist. Es ist auf die bituminöse Abdichtung eine haftvermittelnde Schicht wie aufgekämmte flexible Dichtschlämme oder bitumenfreie Dickbeschichtung aufzubringen, bevor ein Putzauftrag erfolgen kann. Jedoch sind die Herstellerangaben in Bezug auf die Materialverträglichkeit zu beachten. Alternativ kann ein Edelstahlputzträger zum Einsatz kommen. Dieser kann ab einer Höhe von 15 cm über Oberkante Gelände gedübelt werden.

Als Sockelputze eignen sich nachfolgende Putzmörtel:

- Unterputz:
  - Kalkzementputze (CS III),
  - Zementputze (CS IV),
  - Sanierputze nach WTA (jedoch nicht unter Oberkante Gelände),
- Oberputz:
  - Kalkzementputze (CS III), CS II nur mit einer Druckfestigkeit über 2,5 N/mm^2,
  - Zementputze (CS IV),
  - Dispersionsputz (P Org 1).

Die Armierungsputze sind gemäß Herstellerangaben zu wählen.



Abb. 2.29 Mineralische Putzabdichtung

Im Bereich der unteren Sockellinie ist zum Schutz des Putzes vor Feuchtigkeit an Außenwärmedämmungen eine flexible Dichtschlämme bzw. eine bitumenfreie Dickbeschichtung aufzutragen (Abb. 2.29). Diese wird zweilagig aufgebracht. Die Mindesttrockenschichtdicke ist gemäß den Herstellerangaben auszuführen. Die Ausführung erfolgt auf dem Putz im erdberührten Bereich von −5 cm unter Anschluss Putz/Bauwerksabdichtung bis mindestens +5 cm über Oberkante Gelände bzw. bei Treppen bis mindestens +8 cm über Oberkante Gelände.

Danach wird eine Schutzschicht (z. B. Noppenbahn mit Gleitfolie, Vliesmatten oder Dränmatten etc.) angebracht, um die Putzabdichtung vor mechanischen Einflüssen zu schützen.

2.7.7 Putze für erdberührte Außenwände

Bei Putzen in erdberührten Bereichen ist wie bei dem Sockelputz die Wahl des Putzmörtels abhängig vom Untergrund (siehe Abschn. 2.7.6 „Sockelputze“).

Des Weiteren ist im erdberührten Bereich der Putzmörtel vor Feuchtebelastungen zu schützen. Die Abdichtung ist gemäß DIN 18195 „Bauwerksabdichtung“ bzw. der DIN 18533 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“ auszuführen.

Vor die Abdichtungslage ist ein mechanischer Schutz (Noppenbahn mit Gleitfolie, Dränplatten etc.) vorzusehen.

2.7.8 Sanierputzsysteme (R)

Sanierputzsysteme kommen bei feuchtem und/oder salzhaltigem Mauerwerk zum Einsatz (Abb. 2.30).

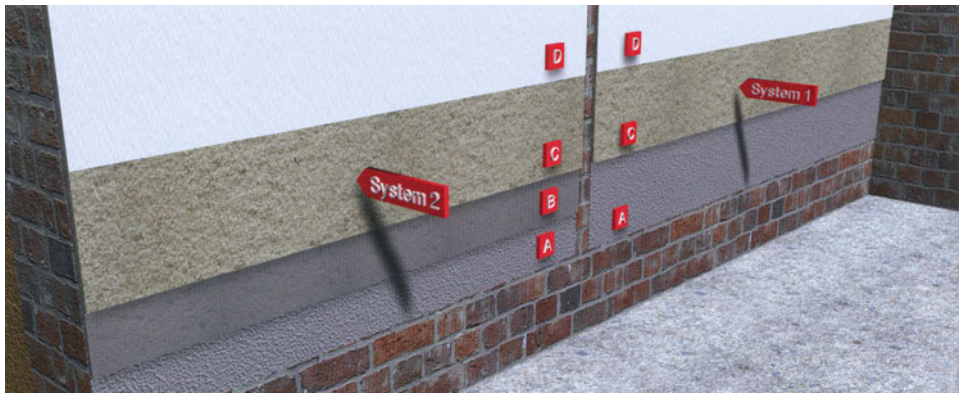


Abb. 2.30 Systemaufbau Sanierputz. (Quelle: ILS Hamburg)

Dieses System lagert baustoffschädigende Salze im Putz ein und begünstigt die Austrocknung von feuchtem Mauerwerk aufgrund der hohen Wasserdampfdurchlässigkeit.

Aufgrund des Porengefüges kann Feuchtigkeit nur wenige Millimeter in den Putz eindringen. Kristallisieren Salze aus dem Mauerwerks aus, so werden diese in dem porigen Gefüge des Putzes gespeichert.

Sanierputzsysteme stellen keinen Sperrputz sowie keine Abdichtungsmaßnahme im Sinne der DIN 18195 „Bauwerksabdichtung“ bzw. der DIN 18533 „Abdichtungvon erdberührten Bauteilen“ dar. Diese Putzsysteme können jedoch als flankierende Maßnahme bei Bauwerkstrockenlegungen zum Einsatz kommen.

Sofern vom Hersteller nicht ausgeschlossen, können Sanierputzsysteme im Sockelbereich eingesetzt werden, da diese frostbeständig sind. Ein Einsatz im erdberührten Bereich ist jedoch nicht möglich, da diese Putzsysteme keinem hydrostatischen Wasserdruck standhalten.

Bei kapillar aufsteigender Feuchtigkeit kann ebenfalls das Mauerwerk bis zur Porensättigung mit Wasser gefüllt sein. Auch dann sind Abdichtungsmaßnahmen zwingend erforderlich.

Ebenfalls ist zu beachten, dass während der Erhärtung des Sanierputzes eine relative Luftfeuchtigkeit von 65 % nicht überschritten wird, da dies zu einer beschleunigten Salzeinwanderung führen kann und somit Salze an der Putzoberfläche durchschlagen können.

Zur Vorbereitung des Putzgrundes ist der eventuell vorhandene durchfeuchtete Altputz mindestens +80 cm über dem letzten sichtbaren Schädigungsbereich zu entfernen. Haftungsmindernde Teile wie Mörtelreste, Schlämme und Anstriche sind vollständig zu entfernen. Besitzt der Fugenmörtel keine ausreichende Festigkeit mehr, sind die Fugen bis ca. 2 cm Tiefe auszukratzen. Danach erfolgt eine mechanische Reinigung des Mauerwerks.

Auch wenn der Untergrund eine ausreichende Tragfähigkeit vorweist, ist in der Regel eine Haftbrücke (Spritzbewurf, nicht zwingend vollflächig) erforderlich. Der Spritzbewurf darf eine Schichtdicke von 5 mm nicht überschreiten und darf nicht zum Verfüllen von Fugen verwendet werden. Ebenfalls muss der Spritzbewurf bereits Bestandteile des gewählten Sanierputzsystems enthalten.

Besteht der Untergrund aus inhomogenem Mauerwerk, ist es sinnvoll einen korrosionsbeständigen Putzträger aufzubringen.

Nach der Vorbereitung des Untergrundes erfolgt der Auftrag des Grundputzes. Dieser ist in einer gleichmäßigen Schichtdicke aufzutragen.

Dann wird einlagig oder zweilagig der Sanierputz aufgebracht. Die Schichtdicke bei Sanierputz beträgt 2 cm bzw. 2,5 cm bei Porengrundputz und Sanierputz als System. Ebenfalls sind die Herstellerangaben zu beachten. Bei mehrlagigen Arbeiten ist zu berücksichtigen, dass eine Lage mit mindestens 1 cm Dicke ausgeführt wird. Ebenfalls darf die Gesamtschichtdicke des Sanierputzes von 4 cm nicht überschritten werden.

Nach Ansteifen der Putzlagen sind die Oberflächen horizontal anzurauen. Die Trocknungszeiten zwischen den Lagen werden vom Hersteller angegeben, jedoch hat sich in der Praxis ca. 1 Tag/mm Putzdicke bewährt.

Werden mit dem Sanierputz die Anforderungen an die Oberflächenausbildung nicht erreicht, darf unter Beachtung der Herstellerangaben ein mineralischer Oberputz aufgetragen werden. Dabei ist zu beachten, dass der Oberputz, aber auch die Beschichtungen oder Anstriche die Wasserdampfdurchlässigkeit des Systems nicht beeinflussen.

Besonders bei trockener Witterung, Wind- und Sonneneinfall ist eine Nachbehandlung am Sanierputzsystem erforderlich. Insbesondere ist der Putz vor zu schneller Austrocknung durch Beschattung oder vorsichtiges Benetzen mit Wasser zu schützen.

2.8 Historische Formen der Putzgestaltung

Michael Stahr

Zu einer anspruchsvollen, seit Jahrhunderten bewährten Gestaltung von Fassaden im deutschsprachigen Raum gehören:

- Putzritzungen
- Putzschnitt
- Putzintarsien
- Sgraffitotechnik
- Scagliola
- Stuckmarmor
- Putzmodellierung

Allerdings sind diese Gestaltungstechniken handwerklich sehr aufwendig und kostenintensiv.

Vor allem Sgraffito kam daher fast ausschließlich an Schlössern, Kirchen und Theatern zum Einsatz. Dagegen wurden Putzschnitte und Putzritzungen auch an Bürgerhäusern ausgeführt.

2.8.1 Putzritzungen

Ein naturfarbener, eventuell auch schwach eingefärbter, sorgfältig geglätteter feinkörniger Kellenstrichglattputz oder Klosterputz bildet die Putzfläche. Als Putzmaterial wird weißer Kalkmörtelputz (Weißkalkhydrat) verwendet. Bei sommerlichen Temperaturen können schon nach kurzer Standzeit von etwa < 2–4 h die darzustellenden Applikationen durch Einritzen oder Aufpausen markiert werden. Für das Umritzen von verbleibenden glatten Putzflächen verwendet man ein Sgraffitomesser (Abb. 2.31), und geritzt wird mit einem Nagel oder Stahlstichel. Dunkle Flächen werden aus der Putzoberfläche mit Sgraffitowerkzeugen (Abb. 2.31) herausgestichelt oder herausgeschabt.

2.8.2 Putzschnitt

Grundvoraussetzung für einen Putzschnitt (Abb. 2.32) ist ein ebener, riss- und salzfreier Wanduntergrund.

Zunächst wird ein Mehrkornputz (CS II) als rauer Unterputz aufgetragen. Nach dem Abbinden, aber bei noch vorhandener Restfeuchte wird der mindestens 5 mm starke, farbige mehrkörnige Putz aufgetragen. Die Korngröße darf nicht mehr als 1 mm betragen.

Bei mehrfarbigen Putzschnitten empfiehlt es sich, die teerfarbige Schicht jeweils etwas stärker als die folgende aufzutragen. Auf dem angezogenen aber noch feuchten farbigen



Abb. 2.31 Putzritztechnik. (Quelle: Schönburg, Milzau)



Abb. 2.32 Putzschnitttechnik. (Quelle: Schönburg, Milzau)



Abb. 2.33 Ausführung einer zweilagigen Putzschnittgestaltung. (Quelle: Gasch/Glaser Dresden)

Putz wird der in der Regel mörtelsichtige Oberputz mit einer Stärke von etwa 5 mm aufgetragen, abgerichtet und verrieben.

Nach dem Abtrocknen, jedoch noch leicht feuchten Putzlagen wird eine weitere, andersfarbige Putzlage (Abb. 2.33) oder auch schon die obere Putzschicht aufgebracht, ausgerieben oder geglättet.

Nach kurzer Standzeit (4–6 h) werden die Konturen mit einem Schneidemesser bis fast auf die Höhe des farbigen Unterputzes eingeschnitten. Im Anschluss werden die tiefer liegenden farbigen Flächen mit einem Kratzeisen oder mit Schlingen gleichmäßig freigekratzt und nochmals nachgeschnitten.

Die Kanten von tiefer liegenden Flächen werden nach außen leicht abgeschrägt.

Sobald der Oberputz fest angezogen ist, muss die gesamte Putzschnittfläche mit einem weichen Haarbesen abgekehrt werden, wodurch die aufgekratzten Flächen eine gewisse Schließung erfahren (Abb. 2.34).

Putzschnittflächen müssen besonders sorgfältig und kontinuierlich abbinden. Durch Verschattungen sind sie vor zu schnellem Austrocknen zu schützen. Gegebenenfalls müssen sie je nach Wetterlage (1–6 Tage) wiederholt eingesprüht werden (Abb. 2.35).



Abb. 2.34 Zweilagige Putzschnittdekorationen in einer Ziehputzfassade, 1911, Dresden, Klingerstraße. (Quelle: Gasch/Glaser Dresden)



Abb. 2.35 Detail Türausschnitt, Fassade Klingerstraße, Dresden. (Quelle: Gasch/Glaser Dresden)

2.8.3 Putzintarsien

Aus der frisch aufgetragenen Putzschicht werden die darzustellenden Formen herausgeschnitten oder herausgeschabt. Die nun freigelegten Flächen müssen sofort mit dem gleichen aber nunmehr eingefärbten Putzmörtel aufgefüllt und ebenflächig ausgerieben werden.



Abb. 2.36 Kratzputzintarsie. (Quelle: Schönburg, Milzau 5.33)

Die gesamte Putzfläche wird nach dem Erhärten mit einer Zahnkelle oder einem Schaber (Abb. 2.36) gleichmäßig abgetragen. Durch sorgfältige Bearbeitung entstehen kantenscharfe Intarsien.

2.8.4 Sgraffitotechnik

2.8.4.1 Historische Entwicklung

Im Gegensatz zur Putzschnitttechnik ist die Sgraffitotechnik eine reine Kratztechnik (ital. sgraffiare = kratzen). Früheste erhaltene Beispiele finden sich in Florenz aus der zweiten Hälfte des 14. Jh. In Italien zur Blüte gebracht im 15. und 16. Jh., wird die Technik erstmals ausführlich 1568 von Giorgio Vasari in seinem Buch *Le vite de piu eccellenti pittori [. . .]* beschrieben. Nach Deutschland gelangte sie Mitte des 16. Jh. Seit Beginn des 17. Jh. nicht mehr ausgeübt, wurde sie seit Mitte des 19. Jh. im Zusammenhang mit dem Aufkommen der Neorenaissance bewusst gefördert und wiederbelebt, z. B. durch Gottfried Semper (1803–1879).

► Gegenwärtig wird die künstlerisch höchst anspruchsvolle und auch kostenintensive Technik bei der Sanierung historisch anspruchsvoller Gebäude wieder angewandt (Abb. 2.37 und 2.38, Residenzschloss Dresden, Humboldt Forum Berlin).

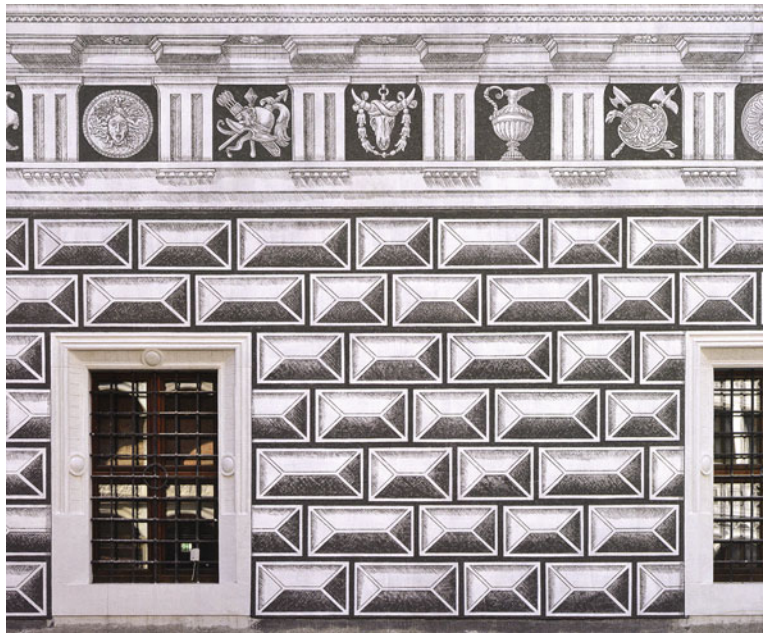


Abb. 2.37 Sgraffito von 1554 – im Jahre 2009 vorbildlich saniert; Fassadenausschnitt im Erdgeschoss



Abb. 2.38 Dresden – Residenzschloss, Großer Hof, Zwischenflügel Nord

2.8.4.2 Ausführung

Voraussetzung für die künstlerisch höchst anspruchsvolle und damit auch kostenintensive Technik ist ein hinreichend ebener, riss- und salzfreier Wanduntergrund. Versalztes Mauerwerk wäre zunächst mit einem „Opferputz" aus Kalkmörtel zu versehen, der mindestens ein Jahr stehen sollte, um die Salzkristalle aus dem Untergrund aufnehmen zu können. Nach dessen Entfernung ist der Salzgehalt im Mauerwerk erneut zu überprüfen und ein Opferputz gegebenenfalls ein zweites Mal aufzubringen. Hat sich die Salzbelastung auf begrenzte Bereiche reduziert, empfiehlt sich hier die Anwendung von Kompressenputz oder Zellstoffkompressen, die etwa vier Wochen wirksam sein sollen.

Um ganz sicherzugehen, sollte als Unterputz ein mehrkörniger Porengrundputz von 45 Vol.-% Porosität nach WTA-Merkblatt, aber ohne hydrophobe Zusätze, die zu Schalenbildung führen können, Verwendung finden, in der Regel 10–15 mm stark. Zur besseren Haftung sollte vor einer Ausführung ein 50–60 % flächendeckender Spritzbewurf auf das sorgfältig gesäuberte Mauerwerk aufgebracht werden. Da der Porengrundputz häufig auch dem Ausgleich von Wandunebenheiten dienen und deshalb stärker ausgeführt werden muss, ist bei mehr als 20 mm Stärke Zweilagigkeit geboten und eine Bewehrung durch Glasfasergewebe von 6–8 mm zu empfehlen.

► Um eine einwandfreie Qualität der nachfolgenden Sgraffitibearbeitung zu gewährleisten, muss die Abbindezeit von einem Tag pro einem Millimeter Putzstärke unbedingt eingehalten werden.

Der eigentliche Sgraffitoputz wurde in historischer Zeit auf der Baustelle von Hand als Kalkmörtel hergestellt, die Festigkeit z. B. durch Zugabe von Ziegelmehl erhöht, die dunkle Farbigkeit als kühler Ton durch Holzkohle, als warmer Ton durch Rebschwarz (verkohlte Weintreber) erzielt, gegebenenfalls durch Eisenoxidpigmente noch weiter abgestuft. Er wird heute auch industriell als Trockenmörtel hergestellt und in 25-kg-Säcken geliefert. Der Trockenmörtel enthält keine zerstoßene Holzkohle, die in unterschiedlichen Fraktionen jedoch für die Oberflächenwirkung des gekratzten dunklen Putzes durch ihr leichtes Glitzern unerlässlich ist. Deshalb müssen etwa 10 l gestoßene Holzkohle (35 % 0,2–1,0 mm, 35 % 1,6–4,0 mm, 30 % 4,5–6,0 mm vorzugsweise verkohltes Weichholz) einem Sack von 25 kg auf der Baustelle zugegeben und sorgfältig verrührt werden. Für den auf den Sgraffitoputz abschließend aufzubringenden weißen Tünnich wird dreijährig eingesumpfter Weißkalk, in kleinen Mengen Quarzmehl, Kasein und weißer Zement zugesetzt, verwendet.

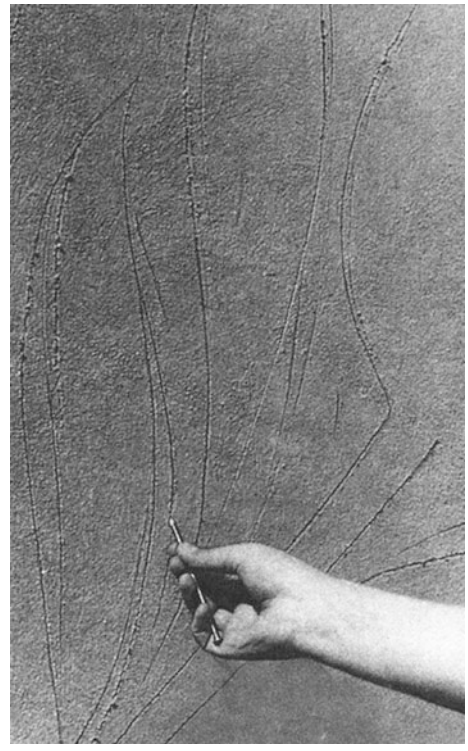


Abb. 2.39 Formen markieren, z. B. durch Ritzen

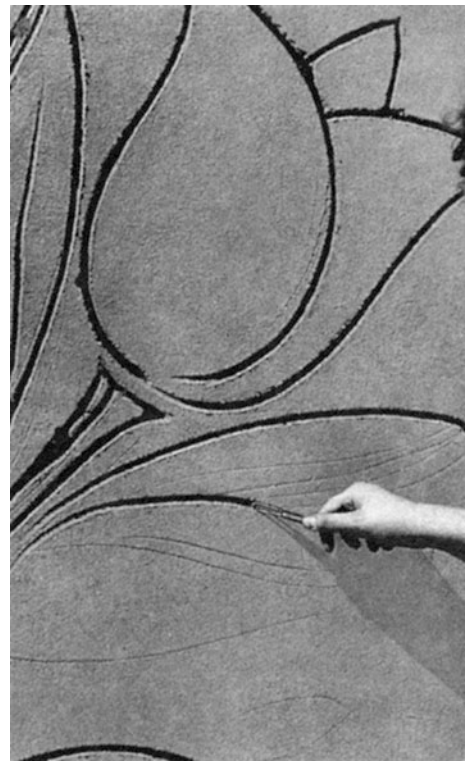


Abb. 2.40 Konturen mit der Drahtschlinge herauskratzen

► Das Aufbringen des Sgraffitoputzes und des Tünnichs sowie das Auskratzen müssen innerhalb **eines Tages** erfolgen.

Die Abb. 2.39, 2.40 und 2.41 zeigen die Ausführung eines Sgraffitos.

Um die Absätze der „Tagwerke“ möglichst unsichtbar zu halten, sind für einen Tag möglichst natürlich abgegrenzte Flächen zu wählen. Je nach Wetterverhältnissen ist mit dem Anwerfen des dunklen Sgraffitoputzes morgens zwischen 5 und 6 Uhr zu beginnen. Nach etwa einer halben Stunde kann er grob verschleppt, nach weiteren 1,5–2,5 h ausgerieben werden. Das Glätten mit der Traufel kann dann nach 0,75–1 h, wenn die Oberfläche nicht mehr glänzt, erfolgen. Ist der Putz nach 1–2 h hinreichend abgebunden, wird der Tünnich aufgestrichen, auf diesen nach etwa 1 h das Bild mittels Lochpause und Puderbeutel aufgepaust. Gekratzt wird bei noch feuchtem Tünnich mithilfe von Schnitt- und Kratzlanzetten, Kratzeisen und Schlingen (vgl. Abb. 2.42). Die für den Entwurf verantwortlichen Künstler sollten selbst den Tünnich aufziehen, das Bild aufpausen und kratzen. Erst durch ständiges Beobachten der entstehenden Wirkung während des Kratzvorganges erhält der Entwurf seine endgültige künstlerische Gestalt. Um das „Tagewerk“ vor Abbinden des Tünnichs rechtzeitig zu beenden, müssen in der Regel mehrere Künstler neben- und übereinander arbeiten. Nach weiterem Abtrocknen, aber vor dem völligen



Abb. 2.41 Flächen mit dem gezahnten Schaber herausschaben



Abb. 2.42 Werkzeuge zur Herstellung von Putzschnitten und Sgraffiti: Sprühflasche, kleine Rechteckkelle, Traufel, Japanspachtel, Bürste, Puderbeutel, sieben verschiedene Schlingen, Pinsel, drei breite Kratzeisen (Grundkratzer), sechs Schnitt- und Kratzlanzetten



Abb. 2.43 Sgraffitobild aus farbigen mehrlagigen Putzschichten

Durchtrocknen sollte die Fläche mit einem weichen Haarbesen übergangen werden, um die Rauigkeit der aufgekratzten Fläche etwas zu mildern. Eine abschließende Hydrophobierung gegen Oberflächenwasser kann nach frühestens zwei Monaten, spätestens acht Monaten geschehen und wäre in Abhängigkeit von der erzielten Festigkeit von Tünnich und Sgraffitoputz zu entscheiden.

Während aller Arbeitsgänge, vom Aufbringen des Spritzbewurfs bis zum vollständigen Abbinden des Sgraffitoputzes mit dem Tünnich, muss die Fassade gegen wechselnde Witterungseinflüsse vollständig geschützt sein, das heißt, das Gerüst muss oberseitig mit einer Verdachung versehen, und die Gerüstetagen müssen mit lichtdurchlässigen Planen verhängt werden. Die Planen müssen wegen der laufenden Beurteilung des entstehenden Kratzbildes einzeln abnehmbar sein.

Für die Zeiteinteilung ist es üblich, am ersten Tag den Unterputz und am darauffolgenden Tag alle weiteren Putzschichten (Abb. 2.43) aufzubringen.

2.8.5 Scagliola (Gipsintarsie)

Feingemahlener Marmorgips oder Alabaster, dessen Versteifung mit etwas Glutinleim verzögert wird, bringt man etwa 15 cm dick auf eine Wand auf oder in einen Holzrahmen ein. Danach wird die Oberfläche geglättet. Von jeder Zeichnung fertigt man eine feingestochene Lochpause an, die auf den Gipsuntergrund aufgepaust wird, und die Strukturen werden mit einem Holz- oder Linolschnittmesser mehrere Millimeter herausgestochen.

Mit eingefärbtem Gips werden die Vertiefungen Farbe um Farbe ebenflächig ausgefüllt und abgezogen.

Nach dem Aushärten wird die Fläche so lange abgeschliffen, bis das Motiv kantenscharf erkennbar ist (Abb. 2.44).

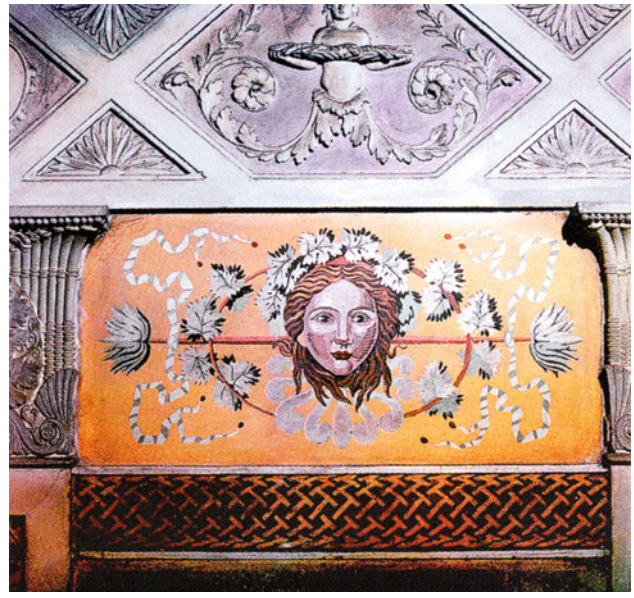


Abb. 2.44 Scagliolatechnik für einen Wandschmuck im Schloss Weimar. (Quelle: Schönburg, Milzau)

Für einen dauerhaften Schutz wird die Fläche abschließend mit Wachs überzogen und gründlich poliert.

2.8.6 Stuckmarmor

In der Zusammensetzung ähnelt der Stuckmarmor (Abb. 2.45) den Gipsintarsien. Die Ausführung erfolgt in folgenden Arbeitsschritten (nach Schomburg 2):

- Vorbereitung des Untergrundes (z. B. Vorleimen des Leimwassers).
- Anmachen und Einfärben des Gipses mit Glutinleimwasser und farbigen Pigmenten.
- Kneten des Gipses unter Berücksichtigung der Struktur des Marmors.
- Abschneiden von etwa 10 mm dicken Gipsscheiben vom Gipsklumpen und Auflegen der Gipsscheiben auf ein Holzbrett. Die mit den Gipsscheiben belegten Holzscheiben werden kräftig auf den Untergrund gedrückt.
- Die durchgehärtete Gipsmasse wird anfangs mit einem groben Schleifkörper und dann nach und nach mit einem immer feinkörnigeren Bimsstein abgeschliffen.
- Abschließend wird der fertiggestellte Stuckmarmor mit Wachsemulsion überzogen und auf Glanz poliert.



Abb. 2.45 Stuckmarmor in der Dresdener Semperoper. (Quelle: Schönburg, Milzau)

2.8.7 Putzmodellierung

Wieder sehr in Mode, aber auch sehr sanierungsbedürftig sind plastische Formen wie Ornamente und Wappen.

Zunächst werden in den Träger korrosionsbeständige Stahldrähte als Bewehrung eingelegt (Abb. 2.46).

Dann wird eine Plastik aus grobkörnigem Mörtel vorgeformt. Nach dem Erhärten wird die Modelliermasse aus hochhydraulischem Kalkmörtel, Weißkalkmörtel oder auch Kalkgipsmörtel ausgeformt und geglättet.



Abb. 2.46 Barockkartusche am Klugen-Haus, Dresden. (Quelle: Schönburg, Milzau 5.35)

2.8.8 Putzsanierung durch Ziehen von Profilen

2.8.8.1 Anwendung und Aufgaben

Profile an Fassaden sind besonders an Haupt- und Zwischengesimsen, an Tür- und Fenstergewänden, an vertikalen säulenartigen Bändern sowie an Sockelgesimsen (Abb. 2.47) zu finden.

Profile sind gestaltende Elemente, die um ein Bauteil herumgeführt werden oder an angrenzenden Baukörpern enden. Sie haben entsprechende Bezeichnungen.

Profiltotlauf Ein Profillauf mit einer beliebig ausgebildeten Abwicklung stößt an eine Wand und wird dadurch unterbrochen oder abgeschlossen. Die Abschlusswand kann z. B. bei einem Sockelgesims durch einen Lisenen- oder Pfeileraufstand gebildet werden (Abb. 2.48).

Profilwiederkehr Bei einer Profilwiederkehr stoßen zwei gleichförmige Profilläufe aufeinander. Sie können dabei spitz-, stumpf- oder rechtwinklig zueinander stehen. Treffen sich zwei Profilläufe in einem Grat, entsteht eine äußere Wiederkehr (Abb. 2.49). Ste-

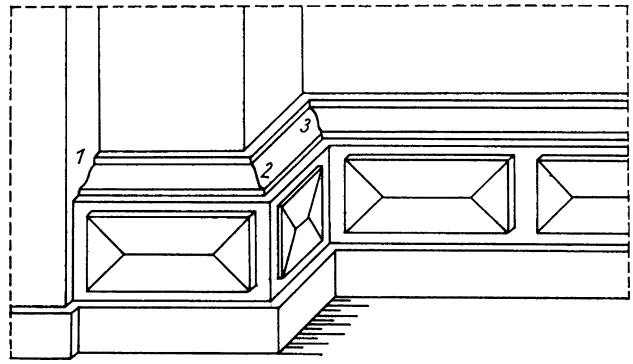


Abb. 2.47 Sockelgesims, in verschiedenen Profilarten. (Quelle: ILS Hamburg)

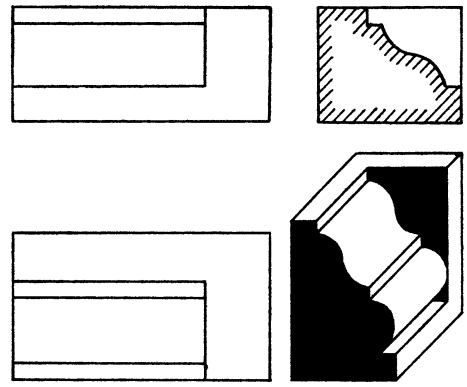


Abb. 2.48 Profiltotlauf. (Quelle: ILS Hamburg)

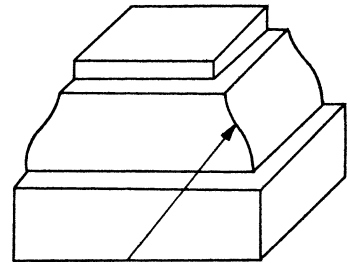


Abb. 2.49 Äußere Profilwiederkehr

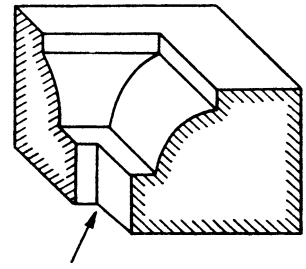


Abb. 2.50 Innere Profilwiederkehr

hen sich beide Profilläufe als Innenprofil gegenüber und stoßen an einer Gehrungslinie zusammen, wird diese Profilart innere Wiederkehr genannt (Abb. 2.50).

2.8.8.2 Sanierung durch Ziehen von Profilen

Die handwerkliche Herstellungstechnik wurde schon im Mittelalter angewandt und hat sich in der technischen Ausführung kaum verändert. Allerdings muss man einschränken, dass diese Technik sehr aufwendig ist und ein hohes Maß an präziser Arbeit verlangt.



Abb. 2.51 Beschädigtes Hauptgesims am Holstentor in Lübeck vor der Sanierung

Die Schädigung an Profilen kann von Rissbildungen bis zur vollständigen Zerstörung durch z. B. Frost-Tau-Wechsel reichen (Abb. 2.51).

Besteht bei der Instandsetzung die Anforderung, das ursprüngliche Aussehen in allen Details wiederherzustellen, so muss der Ausführende in der Lage sein, in der alten Technik sämtliche Elemente der geputzten Fassaden zu fertigen. Bei Beherrschen der Zugtechnik stellt dies eine ökonomisch günstige Lösung der Fassadenerneuerung dar.

2.8.8.3 Abnahme des alten Profils

Das Profil muss im Verlauf exakt aufgezeichnet werden, um danach die Schablonen zuschneiden zu können. Da die genauen Abmessungen und Formen der Gesimse aus alten Bauunterlagen meist nicht entnommen werden können, müssen sie von erhaltenen Teilen der Gesimse oder Gewände abgenommen werden.

Als zerstörungsfreie Variante kann das Profil mit einem Profilkamm erfasst werden.

2.8.8.4 Herstellen von Zugschablonen

Die Herstellung der Zugschablone hat ebenso präzise zu erfolgen wie die Abnahme des Bestandprofils.

Nachfolgende Schablonen sind erforderlich, um Profile zu sanieren.

Schablonenblech Zink- und Stahlbleche mit einer Dicke von 0,5–1,0 mm haben sich als geeignet erwiesen. Auch Leichtmetalle können angewendet werden.

Bei der Herstellung der Schablonen ist zu beachten, dass die Kanten nicht verzogen und uneben sind. Die Schablonenkante ist gemäß Abb. 2.52 herzustellen.

Schablonenbrett Auf ein Weichholzbrett mit einer Mindestdicke von 2 cm wird dann die Blechschablone aufgelegt und der Profilverlauf aufgezeichnet.

Nach Aussägen des Profils wird die Blechschablone mit einem Überstand von 2–4 mm auf der Holzschablone befestigt.

Schlussendlich wird das Schablonenbrett auf einem Schlittenbrett befestigt, welches um die Hälfte länger ist als das Schablonenbrett.

Mittelschablone Zum Ziehen langer durchgehender Gesimsprofile wird das Schablonenbrett mittig auf dem Schlittenbrett angebracht und mit zwei Streben befestigt (Abb. 2.53).

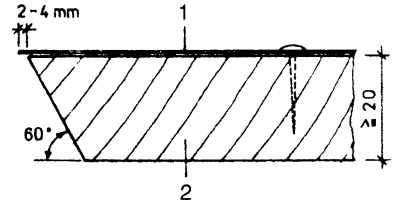


Abb. 2.52 Schablonenkante

Abb. 2.53 Mittelschablone

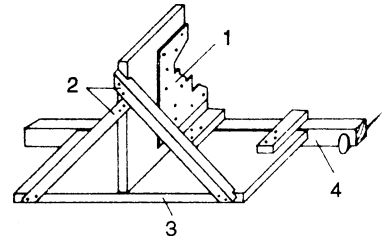
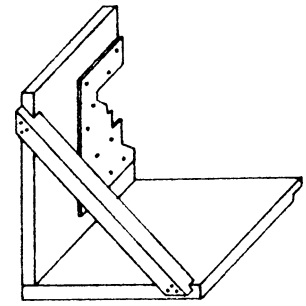


Abb. 2.54 Kopfschablone



Kopfschablone Werden Fenstergewände oder ähnlich räumlich begrenzte Ausbildungen hergestellt, dann wird das Schablonenbrett am Ende des Schlittenbrettes mit einer Strebe befestigt (Abb. 2.54).

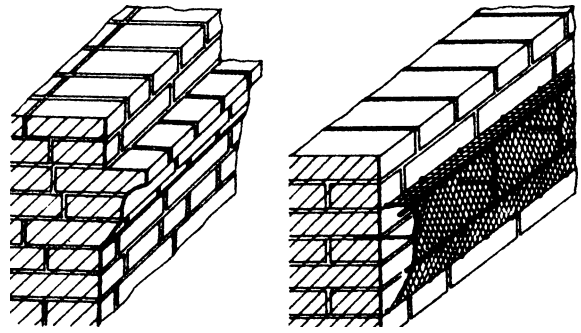
2.8.8.5 Handwerkliche Herstellung

Meist besteht der Untergrund aus Mauerwerk und ist entsprechend den Voruntersuchungen vorzubereiten.

Vorerst sind alle losen Bestandteil zu entfernen. Lose Steine sind zu erneuern und fehlende Teile vorzumauern. Danach erfolgt eine Reinigung der Oberfläche, damit keine haftungsmindernden Bestandteile den Verbund stören.

Profile die dicker als 50 mm sind, müssen entweder mit einer auskragenden Ziegelschicht hergestellt werden, oder es ist ein Putzträger aus Drahtgeflecht anzubringen (Abb. 2.55).

Abb. 2.55 Kern des Profils



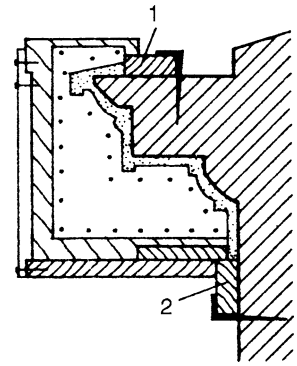


Abb. 2.56 Lattengang und Führung

Das Profil sollte so genau wie möglich vorgemauert oder geformt werden, damit keine Rissbildung durch zu dicke Putzlagen entstehen kann.

Dann wird jeweils eine Führungslatte ober- und unterhalb des Profils am Mauerwerk angebracht (Abb. 2.56). Die Führungslatten sind an der Schablonenseite gehobelt.

Bei bogenförmigen Gesimsen ist im Mittelpunkt des Bogens eine drehbare Latte zu befestigen, welche die Schablone führt.

Auf den vorgenässten Kern wird Mörtel (Grobanwurf) aufgetragen, welcher so aufzutragen ist, dass die Profilform bereits mit der Schablone gezogen werden kann.

Nach Anhärtung des Mörtels wird mit der Schablone das Profil gezogen. Dabei ist darauf zu achten, dass die abgeschrägte Seite der Schablone verwendet wird. Man erhält die Rohform des Profils.

Nachdem die erste Putzschicht ausreichend erhärtet ist, wird eine weitere Putzlage aufgetragen, welche mit einem feineren Putzmörtel erfolgt. Nach dem Durchziehen der Schablone ist bereits die Profilform scharf erkennbar. Als letzter Arbeitsschritt wird ein

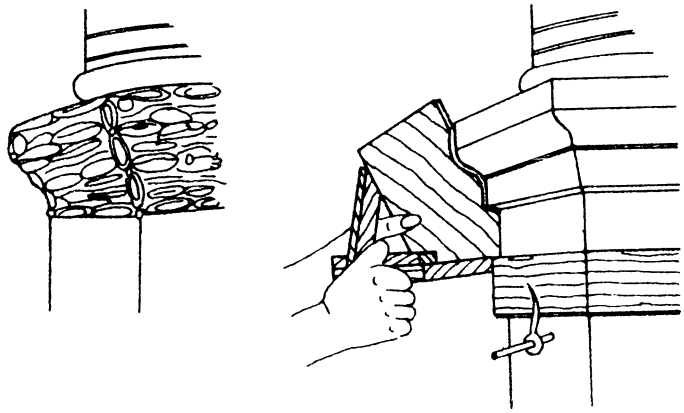


Abb. 2.57 Putzen des Profils

Feinzugmörtel angespritzt und mit der scharfen Kantenseite der Schablone abgezogen, um eine glatte Oberfläche zu erhalten.

Nach jedem Durchgang des Profilziehens ist die Schablone von Mörtelresten zu reinigen (Abb. 2.57).

Es wird angemerkt, dass nicht alle Profile mit dieser Technik hergestellt werden können. Sofern erforderlich sind Hilfskonstruktionen erforderlich.

Als geeignete Putzmörtel haben sich Kalkmörtel bewährt, welche mit Gips zur schnelleren Erhärtung zugesetzt werden. Ebenfalls eignen sich Kalkzementmörtel und reine Zementmörtel.

Da bei zu dicken Putzstärken eine Rissbildung entstehen kann, sollten bei ausladenden Gesimsen viele dünnschichtige Putzlagen aufgetragen werden.

Der Profilkern kann mit einem Mörtel mit grobem Sand hergestellt werden. Der Feinzug erfolgt mit einem feinen Mörtel. Welche Putze sich in der Denkmalpflege eignen, kann der Tab. 2.1 „Putzarten“ entnommen werden.

Literatur

DIN EN 1062- Beschichtungsstoffe. (2004). Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 12570. (2013). *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur.* Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 15148. (2003). *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweise Eintauchen.* Beuth Verlag GmbH.

DIN V 18550 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. (2017). Beuth Verlag GmbH.

DIN 18195. (2000). *Bauwerksabdichtung.* Beuth Verlag GmbH.

DIN 18350 ATV Putz- und Stuckarbeiten. (2016). Beuth Verlag GmbH.

DIN 998-1 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Putzmörtel. (2010). Beuth Verlag GmbH.

EnEV Energieeinsparverordnung. (2016).

Stahr, D. M. (2010). *Bausanierung – Sanierung von Putzen.* Hamburg: ILS Hamburg.

Stahr, D. M. (2015). *Bausanierung – Erkennen und Beheben von Bauschäden.* Wiesbaden: Springer Vieweg.

Jürgen Weber, Volker Hafkesbrink. (2016). *Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung, Verfahren und juristische Betrachtungsweise.* Wiesbaden: Springer Vieweg.

Wilhem Scholz, K. H. (2007). *Baustoffkenntnis, 16. Auflage.* Köln: Werner Verlag.

Wissenschaftlich-Technische Arbeitesgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (1999). *WTA-Merkblatt 4-5-99/D: Beurteilung von Mauerwerk.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (2001). *2-7-01/D Kalkputze in der Denkmalpflege.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (2002). *4-11-02/D: Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (2004). *2-9-04/D Sanierputzsysteme.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (2014). *2-4-14/D Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden.* Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Fugen

3

Winfried Förster

3.1 Eine Standortbestimmung und Einführung

Nicht nur Baufachleute können sich unter „Fugen“ am Bauwerk etwas vorstellen, aber oftmals ohne diese Sachverhalte genauer beschreiben und eingrenzen zu können. In früherer Baugeschichte wurden die Fugen oft gestalterisch besonders betont, wie Zierverbände des Mauerwerkes oder Kapitelle als Übergang von Säule zum Sturz zeigen, und es gab damals eigentlich nur die Möglichkeit, die Fugen starr mit Mörtel, Bitumen oder Kitten auszufüllen.

Das Problem besteht darin, dass plastische Stoffe wie Mörtel, Ton oder Kitt nach mehrmaliger Stauchung dünner werden und reißen, weil sie im Gegensatz zu elastischen Stoffen über kein Rückstellvermögen verfügen.

Somit wird gedanklich vorschnell ein Bezug zum „Riss“ hergestellt, der aber doch eigentlich – so die allgemeine Vorstellung – durch die Fugen vermieden werden sollte.

Vereinfacht wird das durch folgenden Gedanken ausgedrückt: Eine Fuge ist gewollter Spalt, ein Riss entsteht ungewollt und „von allein“, wo vielleicht besser eine Fuge angeordnet worden wäre …

Im Sprachgebrauch der DIN 52460 ist „eine Fuge der beabsichtigte oder toleranzbedingte Raum zwischen Bauteilen“, Fugen sind „also Räume zur Vermeidung von Zwängungskräften und/oder zur Erzielung eines passungsgerechten Zusammenfügens von Bauteilen, die angeordnet werden bzw. angeordnet werden müssen.“

„Fugen sollen also Bewegungen des Baukörpers aus Temperatureinflüssen, Schwind- und Kriechprozessen und Belastungen in Baukonstruktionen ohne Schaden aufnehmen und nach außen einen Abschluss bilden, damit z. B. kein Niederschlagswasser eindringt“.

W. Förster (✉)
Schkeuditz, Deutschland
E-Mail: winfoe@gmx.de

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

M. Stahr (Hrsg.), *Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen*,
https://doi.org/10.1007/978-3-658-08407-3_3

Im Weiteren gilt das natürlich auch hinsichtlich Wind, Rauch, Schall und anderen Einflüssen sowie dem Ausgleich von Bauteiltoleranzen.

Die möglichen Fehlerquellen bei der Fugenausbildung und deren Dichtung sind vielschichtig und können von einer fehlerhaften Fugenplanung (Fugenabstände, Fugengeometrie) über falsche Fugendichtstoffe und Fugenmaterialien bis zu Ausführungsfehlern (Ausbildung der Haftflächen, mangelhafte Tiefenbegrenzung) reichen.

Diese Ausführungen verdeutlichen bzw. daraus ist zu schlussfolgern:

Fugen sind konstruktions- und baustoffgerecht entsprechend der Bauaufgabe auszuwählen, handwerklich exakt auszuführen und sollen den technischen und ästhetischen und vor allem auch den physikalischen und witterungsbedingten Anforderungen und den statischen Bedingungen genügen.

Und all dies trifft natürlich über die gesamte Bandbreite für die verschiedensten nutzbaren Baustoffe/Baumaterialien, für die gewählte Baukonstruktion und das Bauverfahren sowie die Methoden und Verfahren bei der Bausanierung zu.

Allerdings sind im allgemeinen Sprachgebrauch und aus der Baugeschichte abgeleitet auch andere Bezüge festzustellen, die nicht nur den „toleranzbedingten Raum zwischen Bauteilen“ als „Leerraum zwischen den Fugenflanken“ kennzeichnen. Beispiele dazu sind die historisch geprägten Begriffe wie „Stoß- oder Lagerfuge“ zwischen Ziegeln des Mauerwerkes oder auch die „Scheinfuge“, die letztendlich als Sollbruchstelle zu einem Riss führt.

Die gedankliche Verbindung von „Riss“ und „Fuge“ – möglichst mit der Überlegung und dem Ziel, das Erste durch das Zweite verhindern zu wollen – greift aber aus baustofflichen, bauphysikalischen, statischen sowie anderen Gründen zu kurz und bedarf einer weiteren Erörterung.

Auch dort, wo Fugen angeordnet sind, können auf den Bauteilen dazwischen Risse auftreten, man denke nur beispielsweise an Risse auf Putzoberflächen, und auch der etwas hämische Satz von Menschen, die den Beton nicht so sehr mögen – „der Beton ist ein wunderbarer Baustoff, besonders zwischen den Rissen“ – weist zumindest auf das Problem hin …

Möglicherweise ist er aber auch für den Bauherren oder Immobilienbesitzer, der den Riss zuerst als Mangel ansieht, dessen Tragweite er in der Regel nicht erfassen kann und deshalb mit Sorge betrachtet und beobachtet, ein Grund für Argwohn.

Nicht zuletzt deshalb, weil ggf. Nacharbeiten oder ein Abstellen der Mängel eingefordert werden müssen.

Vielleicht ist auch ein Gutachter heranzuziehen, der den Umfang möglicher Schäden, beginnend von einer behebbaren Qualitätsbeeinträchtigung ggf. bis zur Bewertung der Standsicherheit einer Konstruktion untersucht.

Vor allem dann, wenn in der Konstruktion Risse durch eine Veränderung der Bauteile in ihrer Position (Lage, Ausrichtung), ihrer Geometrie (Verformung, Durchbiegung) oder dem Volumen nach (Verringerung oder Aufweitung von Fugen oder Spaltmaßen) auftreten.

Dennoch ist nicht jeder Riss vermeidbar und nicht jeder Riss schädlich – entscheidend sind die Wirkmechanismen, die durch den Riss ermöglicht werden, und dies ist letztendlich in besonderem Maße abhängig von der Charakteristik des Baustoffes, der konstruktiven Lösung der Bauaufgabe, der Rissbreite und den Einwirkungen der Umgebungsbedingungen (Wasser, Temperatur, chemische Einflüsse . . .).

So erscheint es folgerichtig, den Ausführungen zu den Anforderungen an Fugen eine allgemeine Klärung zur Rissentstehung voranzustellen und damit zu verdeutlichen, wie diese entstehen können und/oder bautechnisch einzuordnen sind.

So vielseitig die Gründe sind, durch die Risse entstehen können, so unterliegen ihre Bewertungen hinsichtlich Ursache, Schädlichkeit (insbesondere auch aus der Sicht der Umgebungsbedingungen) und Vermeidbarkeit einem breiten Spektrum notwendiger Untersuchungen, um die Ist-Situation bewerten und konkrete Sanierungsmaßnahmen vorschlagen und vornehmen zu können.

Ausgangspunkt der Rissbildung können sowohl Mängel in Planung und/oder Ausführung der Baukonstruktion oder Bauteile sein als auch deren Nutzungsbedingungen, Probleme der Gründung des Bauwerkes u. ä.

Verschiedene Baustoffe oder Baukonstruktionen unterliegen nun einmal ihrer spezifischen Eigenart, deren Kenntnis Voraussetzung für eine sachgerechte Planung und Ausführung der Bauaufgabe darstellt.

Fehler in dieser Hinsicht werden dann ggf. noch durch Mängel der Bauausführung, der Baugrundverhältnisse oder Nutzungsänderungen überlagert.

Und es geht darum, zu erkennen, was man anders und richtiger machen sollte.

Risse im Betonbau und Stahlbeton

Als erstes Beispiel soll hier auf den Baustoff „Stahlbeton“ eingegangen werden, im Sinne der Kenntnisvoraussetzungen des Baustoffs und möglichen Fehlerursachen sowie deren Einwirkungen auf die Rissbildung.

Wie auch für Laien leicht erkennbar ist, weisen „Rostfahnen“ auf Betonoberflächen auf Risse hin, denn weil das Korrodieren des Stahles mit seiner Volumenvergrößerung (Bildung von Rost) verbunden ist, wird die Betondeckung über dem Stahl abgedrückt und es entsteht ein Riss! Und dieser Riss ist nun Angriffspunkt für einen weiteren Wasserzutritt!

Allgemein: Im Stahlbeton, als Verbundbaustoff von Beton und Stahl, werden die Zugspannungen vom Stahl und die Druckspannungen vom Beton aufgenommen, da letzterer zwar sehr druckfest ist, aber nur geringe Zugspannungen aufnehmen kann.

Zu den Voraussetzungen für die Funktion des Stahlbetons, wie dem gleichen Wärme-Ausdehnungskoeffizienten von Beton und Stahl und dem Korrosionsschutz der Bewehrung durch das alkalische Milieu des Zementsteines (der Stahl ist „passiviert“), zählt auch die unverschiebbare Einbettung der Stahlstäbe oder Bewehrungsmatten im Beton, die durch die Profilierung der Stahloberfläche und/oder der Endhaken und verschweißte Querstäbe begünstigt wird.

Durch eine auftretende Belastung, die zu Biegespannungen führt, tritt die Spannungsaufnahme durch den Bewehrungsstahl erst dann ein, wenn die geringe Dehnungsfähigkeit des Betons überschritten und damit die Spannung dem Stahl „zugewiesen“ und von ihm übernommen wird.

Deshalb wird beim „normalen“ Stahlbeton, im Gegensatz zum Spannbeton, auch von einer „gerissenen Zugzone“ gesprochen.

Die Entscheidung zur Rissbewertung und seiner möglichen Schädlichkeit hinsichtlich der Dauerhaftigkeit hängt maßgeblich von der vorhandenen Rissbreite in Bezug auf seine Umgebungsbedingungen (chemische Einwirkungen, Nässeeinwirkung, mechanische Beanspruchung u. a. (welche Expositionsklasse ist zutreffend?) ab.

So können durchaus Rissbreiten bei Spannbeton und bei kritischen Umweltbedingungen von mehr als 0,1 mm Breite schädlich sein, währenddessen Stahlbeton, bei ständig trockener Umgebung und ausreichender Betondeckung, und die Gebrauchsfähigkeit der Konstruktion, auch bei einer Rissbreite von 0,4 mm, keinen Schaden nehmen müssen.

Als Rissursachen (und damit verbunden eine Verminderung der Dauerhaftigkeit des Stahlbetons) sollen beispielhaft aufgeführt werden:

Fehler bei der Verarbeitung des Betons

- ungeeignete Frischbetonkonsistenz hinsichtlich der Bauaufgabe/Bauteil
- unsachgemäßes Einbringen und dessen Verteilung (Fallhöhe, Entmischungen)
- Nichteinhaltung der Regeln zum Verdichten des Betons
- ungenaue Lage der Bewehrungsstähle (Bewehrung verschiebt sich, keine Rüttelgassen, zu wenig Abstandhalter, fehlerhafte Verlegung)
- Nachlässigkeiten bei der Nachbehandlung des Betons
- mangelnder Schutz des Betons während seiner Erhärtung vor Hitze, Kälte, Regen – zu frühzeitige Lasteintragungen (Ausschalungsfristen . . .)

Planungstechnische Fehler Planungsfehler können sowohl bei der Projektierung des Betons (Wahl der Ausgangsstoffe und seine Zusammensetzung) als auch der Bauteilbemessung (mangelhafte Bewehrungsverlegepläne, Maße der Betondeckung, Lastannahmen) liegen, sollen aber an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden.

Ungleichmäßige Setzungen In Abhängigkeit der Bedingungen durch den Baugrund können nach Umfang und zeitlicher Dauer unter Neubauten ungleichmäßige Setzungen auftreten, die zwar nach einigen Jahren zum Erliegen kommen, wenn die Spannungen abgeklungen sind und sich das Bauwerk „gesetzt“ hat, aber bis dahin zu Setzungsrissen geführt haben.

Unabhängig davon sind mögliche Schädigungen durch den Riss, z. B. die Möglichkeit, dass Wasser in das Bauwerk eindringen kann, fachmännisch zu beurteilen.

Ein wichtiger Arbeitsschritt zur Bewertung der Risse ist neben der Erfassung der Rissbreite, deren Verlauf und Verteilung, die Dokumentation möglicher Rissbewegungen, z. B. mittels Gipsmarken, um festzustellen, ob die Risse zur Ruhe gekommen sind.



Abb. 3.1 Rissbreitenmesslupe

Die Rissbreiten können mittels Rissbreitenmesslupe (Abb. 3.1, ggf. auch mittels Messstreifen) abgelesen werden.

Ergänzend dazu und als Ausrundung des Themas Rissbildung in Bauwerken und im Sinne der Überleitung zu der Problematik der Fugen zwischen Bauteilen seien zumindest aufgeführt die Einflüsse aus

- der Witterung; thermische Belastungen durch die Ausdehnung der Baukörper bei Wärme oder ihre Verkürzung bei Kälte, der Einfluss von Wasser/Feuchtigkeit hinsichtlich „Schwinden“ und „Quellen“;
- statischen und dynamischen Einwirkungen auf das Bauwerk/Bauteil;
- Überlastung durch Anbauten, ungeplante Lasteintragungen, Nutzungsänderung;
- Erschütterungen/Schwingungen durch Fahrverkehr;
- Erdbewegungen (Erdbeben, Erdfälle, Setzungen).

Risse im Mauerwerk

Risse im Mauerwerk können sowohl den Stoß- und Lagerfugen folgend verlaufen als auch durch die Steinflächen hindurch. Sie unterscheiden sich hierdurch prinzipiell in der Beurteilung ihrer Auswirkungen und möglichen Maßnahmen zu der Sanierung gegenüber Haarrissen im Putz (Rissweite < 0,2 mm; Putznorm DIN 18550-2), die den technischen Wert des Putzes nicht beeinträchtigen und i. d. R. optisch hinnehmbar sind.

Den Unterschied macht hier die Ursache zur Rissbildung aus – ist diese baustofflich auf chemisch-physikalische Ursachen (Kriechen, Schwinden), auf Verarbeitungsfehler des Putzes oder Witterungseinwirkungen (Hitze, Kälte, Regen) zurückzuführen oder ggf. z. B. auf Formänderungen des Putzuntergrunds, also des Mauerwerks, wie ein Setzungsriss durch den Anbau einer Mauer an ein Gebäude (Abb. 3.2) oder wie ein Riss infolge einer fehlenden Fuge in dieser 12 m langen Mauer (Abb. 3.3) oder wie Risse dem Fugenverlauf folgend, wahrscheinlich infolge einer Fundamentsetzung einer Hausecke (Abb. 3.4).

Sofern es aus Gründen des Erscheinungsbilds möglich ist und technisch als vertretbarer Aufwand mit positiver Nutzungsprognose eingeschätzt wird, kann nach Aufweitung des Risses oftmals eine Umwandlung in eine Dehnfuge durchgeführt werden.



Abb. 3.2 Setzungsriss durch einen Anbau



Abb. 3.3 Riss infolge fehlender Fuge in einer Wand



Abb. 3.4 Risse im Fugenverlauf einer Ecke

Neben verzögerter oder ausbleibender Instandsetzungen der Bausubstanz treten auch Bauschäden, ausgehend von Putzschäden und übergreifend auf die Mauerwerksfugen und Ziegeloberflächen, auf, die durch *Baukonstruktionsmängel* ausgelöst werden.

Ein typisches Beispiel ist der häufig anzutreffende Rücksprung des Mauerwerks bei Gebäuden über dem Sockelbereich im Erdgeschoss, der dazu führt, dass durch Verbleiben der Feuchte (Regen, Schnee) in dieser Kehle die aufsteigende Feuchte zu Putzschäden und danach auch zu Aussandungen der Mauerwerksfugen führt, denn der Mörtel wird über die Zeit seine strukturelle Festigkeit verlieren, und das eindringende Wasser verstärkt im Ergebnis das Absanden und Auswaschen der Fugen. Des Weiteren bilden Risse ein Kapillarnetz, welches Regenwasser bis tief in das Mauerwerk transportieren lässt.

Dieser Materialverlust setzt sich dann bis zur Ablösung kleiner Partikel und dünner Schalen fort.

Und bei größeren Vorsprüngen gewährleisten deren metallische Abdeckungen auch nur Schutz, wenn diese selbst instand gehalten werden.

Abb. 3.5 und 3.6 zeigen Bauschäden, die durch mangelnde Instandsetzung der Abdeckung zu fortschreitenden Schäden im Putz, den Mauerwerksfugen und den Ziegeln führten.

Und auch den Fugen im Montagebau ist nicht geholfen, wenn sich darin Verästelungen von Kletterpflanzen in immer stärkerem Maße verankern, ausbreiten und an Masse zunehmen (Abb. 3.7, 3.8, 3.9 und 3.10).

Der nachvollziehbare Wunsch nach einer grünen Fassade, z. B. mit Efeu bewachsen und unterlegt mit den Verweisen auf positive ästhetische und klimatische Effekte, führt



Abb. 3.5 Putzschäden durch schadhafte Abdeckung



Abb. 3.6 Schadhafte Fugen als Folgeerscheinung



Abb. 3.7 Verästelungen in einer Wandfuge



Abb. 3.8 Flächiger Bewuchs an einer Montagebaufassade



Abb. 3.9 Wandbewuchs



Abb. 3.10 Wandbewuchsflächen

oftmals zum Interessenkonflikt aus Sicht der Bauwerkserhaltung, hier insbesondere wegen der Fugen in der Wandfläche.

Die Haftwurzeln sind schwer zu entfernen, und die Triebe nehmen an Dicke zu und setzen sich in den Fugen fest.

Zu bemerken wäre hierbei noch, dass selbst den Laien, geschweige denn den Bauwerkserhaltungsverantwortlichen klar sein müsste, dass eine zweistufige Fugenabdichtung/offene Fuge im Montagebau nicht dazu ausgelegt ist, daumendicken und noch stärkeren Verästelungen von Kletterpflanzen Raum und Halt zu bieten und die Masse des Blattwerks an der Fassade zu tragen …

Dennoch zeigen die Abb. 3.9 und 3.10, dass die vormaligen offenen Fugen durch Dichtstoffe *teilweise* geschlossen wurden – offenbar waren bereits Fugenschädigungen aufgetreten – ohne die mögliche Ursache zu hinterfragen!

Abb. 3.11 zeigt eine erfolgte Sanierung der Fugen des Giebels eines Montagebaus bei gleichzeitiger Verbesserung des Wärmeschutzes durch ein Wärmedämmverbundsystem, wo zugleich alternativ eine Rankhilfe für einen Bewuchs vorgesehen wurde.



Abb. 3.11 Giebel mit Rankhilfe

Allen diesen Schäden ist gemeinsam, dass für ihre Entstehung und Vergrößerung des Schadensumfangs – neben den ursprünglichen planerischen bautechnischen Mängeln – offenbar eine unzureichende zyklische Bauwerksbegutachtung erfolgte und selbst bei großen Bauobjekten, verwaltet durch z. B. die Wohnungsbaugesellschaften oder auch private Eigentümer, Reparatur- und Instandsetzungsmaßnahmen oftmals nicht planmäßig vorbereitet und durchgeführt wurden.

Als Ergebnis der fehlenden Reparaturen und nach Eintritt umfangreicherer Instandsetzungsmaßnahmen werden höhere Kosten verursacht.

3.2 Funktionelle Gestaltung und bautechnische Unterscheidungen der Fugen

3.2.1 Funktionelle Gestaltung der Fugen

Im Baubereich haben die Fugen in der Regel die Aufgabe, die Entstehung von Spannungen zu vermeiden bzw. Längenänderungen auszugleichen und damit gegen die Gefahr der Rissbildung vorbeugend zu wirken, sie sind aber gleichzeitig auch Schwachstellen.

Durch sie können sowohl Wasser, flüssig oder dampfförmig, als auch Gase und Rauch einschließlich warmer oder kalter Luft in das Bauwerk eindringen. Des Weiteren gehören dazu natürlich auch noch andere Einwirkungen, wie Schall oder die Wirkungen von Wärme oder Kälte.

Um dies zu verhindern, müssen die Fugen abgedichtet werden.

Von einer guten Fugenausbildung hängen in hohem Grade Reparaturanfälligkeit, Wohnwert und Lebensdauer eines Gebäudes ab.

Eine völlige Abdichtung der Außenwandfugen gegen Wind- und Regenwasserdruck ist unerlässlich.

Nicht nur infolge der oftmals schwierigen Zugänglichkeit der Fugen, sondern auch wegen der Problematik, die genaue Schadensstelle zu lokalisieren – als Voraussetzung einer möglicherweise punktuellen Schadensbehebung – lassen sich Schäden später sehr schwer, und dann nur mit hohen Kosten, beseitigen.

Einfach gesagt: Wasser, welches vielleicht in der 2. Etage als „feuchte Ecke“ in einer Wohnung im Großtafelbau erkennbar wird, ist ggf. in der 5. Etage in einer undichten Fuge eingetreten, aber dort als Ursache und Fehlerquelle schwer auszumachen.

Verwiesen sei hier auf die millionenfach angewendete sogenannte „offene Fuge“ im Großtafelbau nach dem Prinzip einer zweistufigen Fugendichtung, mit vorgefertigten, montierbaren Außenwandplatten für Gebäude auf dem Gebiet der neuen Bundesländer, beispielsweise im Bausystem „WBS 70“ u. a., wo nach relativ kurzer Zeit infolge mangelnder Ausführung und fehlender geeigneter Werkstoffe bauphysikalische Mängel an den Fassaden auftraten. Die Sanierung brachte einen großen Aufwand mit sich.

Aber auch alternativ dazu entstehen bei der einstufigen Fugendichtung, bei der die Regen- und Winddichtung durch eine Dichtungsmasse oder ein Dichtungsband gewährleistet werden soll, Undichtigkeiten, wenn z. B. ein Abriss des Fugenmaterials von der Fugenflanke des Bauteils auftritt.

Je nach Fugenart, Anforderung und Art der Belastung ist die richtige Abdichtungsart zu wählen.

Fugen haben in Abhängigkeit von ihrer Geometrie und Lage im Bauwerk, inneren und äußeren Einwirkungen wie statische und dynamische Belastungen, Dehnungen, Scherbewegungen, Schwinden, Kriechen, klimatischen Einflüssen (Temperatur, Feuchtigkeit und den daraus resultierenden Formänderungen des Baukörpers) die unterschiedlichsten Anforderungen zu erfüllen. Damit ist die Fuge der empfindlichste Teil einer Wandfläche, der bei Sichtmauerwerksfassaden z. B. eine Fläche von 15 bis mehr als 20 % ausmachen kann.

Die Erfassung des vorherrschenden Bauzustands der Fugen kann, zumindest als erster Schritt der technischen, stofflichen und ökonomischen Bewertungen, in

Arbeitsschritten wie folgt, am Beispiel der Fugen im Großtafelbau dargestellt, vorgenommen werden:

1. Allgemeine Angaben zum Bauwerk
   - Baujahr oder Entstehungszeitraum
   - Prüfung auf das Vorliegen von Schadstoffen
     So wurde beispielsweise der Fugendichtstoff „Morinol“ bei der Block- und Streifenbauweise u. a. für die geschlossene Fuge auf dem Gebiet der neuen Bundesländer bis zur Einführung der Wohnungsbauserie WBS 70 mit der zweistufigen Fugendichtung (offene Fuge) in den 1980er-Jahren eingesetzt. Dieses Material ist asbesthaltig, daher sind die Vorschriften der TRGS 519 /1/ hinsichtlich der Sanierungsmaßnahmenvorbereitung, des Ausbaus der Altmaterialien und ihrer sachkundigen Entsorgung zu beachten und einzuhalten. Betroffen sind im Außenbereich die Horizontal- und Vertikalfugen einschließlich der Fugen zwischen Außenwand und Loggia-Platten und Loggia-Seitenwänden.
     In /2/ ist eine weitgehende Übersicht zu den betroffenen Baukonstruktionstypen, Fugenabmessungen sowie dem typischen Einsatz des Dichtungsstoffes „Morinol“ und eine Arbeitsanleitung zu dessen Rückbau unter technischen und arbeitsschutzrelevanten Gesichtspunkten dargestellt.
   - Konstruktionsweise, Anzahl der Geschosse, Gesamtgeometrie der Bauwerke und Mengenangaben (Fugenlängen, Stoffmengen usw.)
   - Historie zu den aufgetretenen Mängeln
   - Art der Mängel und aufgetretene Schäden
   - Kenntnis von Mängeln bei Vergleichsobjekten
   - Anteil geschädigter Fugen zu den Gesamtfugen im Bauwerk
   - Mögliche Einflüsse von Lage, Himmelsrichtung, Nachbarbebauung, Bewuchs, sowie
   - Historie zu früheren Reparaturmaßnahmen

2. Angaben zur Fugenkonstruktion
   - Art der Fuge (z. B. einstufige/geschlossene oder zweistufige/offene Fugendichtung)
   - Alter und Art der eingebrachten Fugendichtungsmaterialien
   - zwischenzeitliche punktuelle Reparaturen (z. B. teilweise Einsatz von Fugenbändern oder Dichtungsmassen)
   - Ist-Zustand der Plattenränder/Fugenflanken
3. Planungstechnische Maßnahmen
   - Festlegung der bautechnischen (maßlichen) und stofflichen Sanierungslösung
   - Erfassung des Schadensumfangs und des Gesamtsanierungsbedarfs nach lfd. m Fugen; Masse an Fugenmaterialien,
   - Einsatz von Maschinen und Geräten
   - zeitlicher Rahmen der Sanierungsdurchführung, einschließlich Jahreszeit
4. Bautechnische Vorbereitungen
   - Bautechnische (Gerüste, Werkzeuge) sowie materialtechnische (Fugenmaterialien) Planungen, Einsatz der Arbeitskräfte und Realisierungszeiträume

Bereits eine in entsprechenden Zeiträumen durchzuführende Bauwerksbegehung mit solch lapidaren Feststellungen (ggf. auch mit prozentualen Einschätzungen) wie

- gut erhalten, keinerlei Funktionsminderung, keine erkennbaren Schäden und Mängel;
- geringe Instandsetzungen sind durchzuführen, um eine Ausweitung der Schäden zu vermeiden;
- schwere Schäden, der weitere Bestand oder die Funktionsfähigkeit der Fugen ist gefährdet, es sind größere Instandsetzungsmaßnahmen notwendig;
- Sofortmaßnahmen zur Gewährleistung einer eingeschränkten Funktionsfähigkeit bis zur Wirksamkeit einer dauerhaften Funktionsfähigkeit der Fugen durch erfolgte Sanierungsmaßnahmen

würde bereits wichtige Informationen geben und Anstöße zu Maßnahmen der Bauwerkserhaltung liefern.

Fugen stellen aber nicht nur einen wesentlichen Teil der Gesamtkonstruktion dar und müssen dauerhaft verschlossen werden, sondern funktionell eben auch Folgendes gewährleisten:

- eine flexible und flüssigkeits- sowie gasdichte Verbindung der Bauteile,
- den Wärme- und Schallschutz,
- die Aufnahme von Dehnungen, Scherbewegungen, Schwinden, Kriechen und thermischen Maßänderungen des Baukörpers sowie die Einwirkungen von Bauwerkssetzungen,
- einen Ausgleich von Montagetoleranzen und Ungenauigkeiten der Oberflächen von Bauteilen und Bauelementen in den vorgegebenen Toleranzbereichen.

Das zur Verfugung verwendete Dichtungsmaterial muss bauphysikalisch geeignet, umweltverträglich sowie temperaturbeständig und resistent gegen aggressive Medien sein.

Ebenso wichtig ist auch eine Verträglichkeit zwischen dem Baumaterial und den Oberflächenbeschichtungen der angrenzenden Bauteile, insbesondere dabei der Fugenflanken.

Hinzu kommt der Wunsch nach praxisnahen Verarbeitungsbedingungen (Aufbereitung, Temperaturen, Verarbeitungsdauer) und natürlich deren Dauerhaftigkeit/Langzeitfunktion.

Im weiteren Sinne gehört auch die Vermeidung von Wärmebrücken dazu.

3.2.2 Begriffe

In der DIN 52460 aber auch im „Baulexikon“ /3/, in /4/, /5/ und weiteren Publikationen werden die Begriffe übereinstimmend oder z. T. weiter erläuternd ausgeführt und die

„Fuge als Stelle, an der mehrere zueinander passende Teile zusammengefügt sind“, bezeichnet.

Es wird dabei unterschieden in Fugen,

- die durch Fügung von Bauteilen entstehen und über die Kräfte übertragen werden können,
- zur Trennung von Bauteilen, um zerstörungsfreie Bewegungen dieser Bauteile zu ermöglichen (Bewegungsfugen, Dehnfugen, Schwindfugen),
- die (als Risse, wie bereits beschrieben) ungewollt dort entstehen, wo diese Bewegungen behindert werden.

Im Mauerwerksbau wird nach der Lage der Fugen zwischen den Mauersteinen/Mauerziegeln unterschieden in *Lagerfugen* (senkrecht zur Hauptkrafteinwirkungsrichtung, 12 mm dick, bzw. 2 mm bei Dünnbettmörtel) und

Stoßfugen (in Richtung der Hauptkrafteinwirkung, 10 mm dick oder unvermörtelt, „knirsch“, gestoßen).

Längsfugen sind die zwischen Läuferreihen oder zwischen Läufer- und Binderreihen parallel zur Mauerflucht verlaufenden Stoßfugen. Als *Schnittfugen* werden Stoßfugen bezeichnet, die im Maßsprung eines Läufers durch die ganze Dicke der Mauer verlaufen (Abb. 3.12).

Begriffe nach DIN 52460 sind:

- *Fase* ist eine abgeschrägte Bauteilkante (Abb. 3.13)
- *Fugenbreite* ist der Abstand zwischen den Fugenflanken (Abb. 3.14).
- *Fugenflanken* sind die seitlichen Begrenzungen der Fugenbreite.
- *Fugentiefe* ist die Tiefe des Leerraums, der von den parallelen Fugenflanken begrenzt wird, *t* in (Abb. 3.14).
- *Stoßfuge,* Fuge, bei der die Flanken senkrecht zur Bauteilebene stehen (Abb. 3.15).

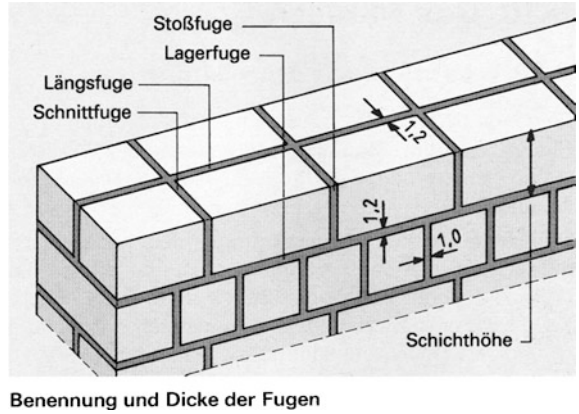


Abb. 3.12 Arten und Benennung am Beispiel von Mauerwerksfugen. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

- *Haftfläche* (Kontaktfläche) ist die Fläche der Fugenflanke, die mit dem Dichtstoff in direkten Kontakt kommt.
- *Kontaktmaterial* sind Baustoffe, die mit den Dichtstoffen in direkte Berührung kommen.
- *Scherfuge* (siehe Überlappungsfuge).
- *Wartungsfuge* ist eine starken chemischen und/oder physikalischen Einflüssen ausgesetzte Fuge, deren Dichtstoff in regelmäßigen Zeitabständen überprüft und gegebenenfalls erneuert werden muss, um Folgeschäden zu vermeiden.

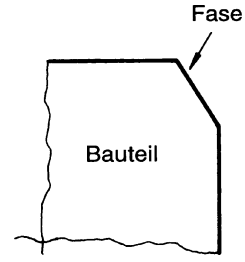


Abb. 3.13 Fase

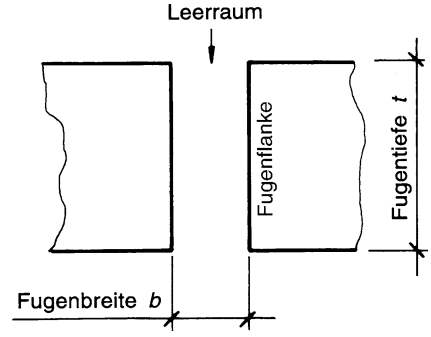
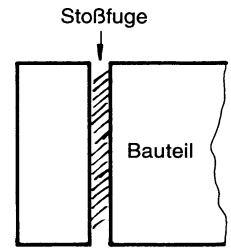


Abb. 3.14 Fugentiefe, Fugenbreite, Leerraum

Abb. 3.15 Stoßfuge



- *Trennfuge*, Fuge zwischen Gebäuden oder Gebäudeteilen.
- *Überlappungsfuge*, Fuge, bei der die Flanken parallel zur Bauteilebene liegen.
- *selbstverlaufend* ist eine Eigenschaft von Dichtstoffen, vor dem Abbinden zu einer ebenen Fläche zu verlaufen.
- *Sperrgrund* ist ein Vorbehandlungsmittel der Haftfläche zur Unterbindung möglicher Bindemittelabwanderungen und/oder chemischer Wechselwirkungen.
- *Standvermögen* (Standfestigkeit) ist die Eigenschaft eines Dichtstoffes, nach der Verarbeitung in der vorgegebenen Form zu verbleiben.
- *Umläufigkeit* (Umwanderung) ist der Wasserdurchgang in der Nähe einer Abdichtung durch Bauteile infolge von Rissen und Porosität.
- *Verarbeitbarkeit* ist eine Materialeigenschaft von Dichtstoffen, die es gestattet, diese Materialien mit den geeigneten Handwerkszeugen in Fugen zur Herstellung einer funktionsfähigen Abdichtung einzubringen.
- *Zulässige Gesamtverformung* ist der Verformungsbereich (Gesamtheit von Dehnung, Stauchung, Scherung), innerhalb dessen die Fugenabdichtung ihre Funktionsfähigkeit beibehält.
- *Glättmittel* sind Verarbeitungshilfsmittel zum Glätten der Oberfläche von nicht gehärteten Dichtstoffen.
- *Thixotropie* ist die Eigenschaft von Stoffen, durch mechanische Einwirkungen (z. B. Rütteln, Rühren, Kneten) vorübergehend in einen Zustand niedrigerer Viskosität überzugehen, d. h. zähflüssig zu werden.
- *Topfzeit* ist die Verarbeitungszeit; *überstreichbar*, in Anlehnung an DIN 55945, ist ein Dichtstoff, der ganzflächig überdeckend mit einem oder mehreren Anstrichen beschichtet werden kann, ohne dass sich schädigende Wechselwirkungen ergeben.

3.2.3 Fugenarten und Fugenbewegungen im Bauwerk

Aufgrund der im Bauwerk zu erfüllenden Aufgaben, werden Fugen in starre und bewegliche Fugen eingeteilt (Tab. 3.1).

Bei beweglichen Fugen können sich die durch die Fuge getrennten Bauelemente gegeneinander verschieben.

Bei starren Fugen muss die Kraftübertragung gewährleistet sein.

Tab. 3.1 Unterscheidungen der Fugen

Starre Fugen	Bewegliche Fugen
Arbeitsfugen entstehen, wenn bei der Herstellung eines Bauwerks eine Unterbrechung erforderlich ist. Arbeitsfugen werden in der Regel eingeplant. Auch beim Wechsel von Baustoffen, z. B. Fertigteilstürze und Mauerwerk, treten Arbeitsfugen auf.	**Dehnungsfugen** zwischen Bauteilen, die das Auftreten von zwängungsfreien Bewegungen zwischen den Bauteilen ermöglichen sollen, wobei die Bauteilbewegungen aus thermischen und hygrischen Veränderungen entstehen können. Im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen ist insbesondere von Bedeutung, dass sich bei den Dehnungsfugen die Fugenbreite entsprechend der wechselnden Temperaturen und Feuchtigkeiten laufend verändert, sodass eine adhärierende Fugenabdichtung laufend gedehnt oder gestaucht wird.
Scheinfugen sind keine echten Fugen. Sie werden z. B. in großflächigen Betonböden meist nachträglich eingeschnitten, oder in diesem Bereich wird eine Kunststoffeinlage eingerüttelt. Beim Schwinden des Betons reißt dann die darunterliegende Betonschicht nahezu senkrecht durch. Im oberen Teil werden die geschnittenen Scheinfugen mit Fugenvergussmasse verfüllt. Sie haben den Zweck, möglicherweise auftretende Risse vorzubestimmen. Scheinfugen sind in weißen Wannen und Gründungswannen zu finden und wurden auch bei Fassaden („Wetterschale“) angewendet.	**Bewegungsfugen** sind alle Arten von Fugen zwischen Gebäudeteilen, Flächenteilen bzw. einzelnen Konstruktionsteilen, die Bewegungen zulassen und schädliche Spannungen abbauen.
Schwindfugen sind Fugen, die nach dem Schwindvorgang des Betons verschlossen werden, um entstehende Fehlstellen auszufüllen.	**Setzungsfugen** sollen die aus den Bodenbewegungen herrührenden Relativbewegungen zwischen den Baukörpern zwängungsfrei ermöglichen. Meistens sind die Bodenbewegungen schon abgeklungen, sodass die Fugenabdichtung durch Bewegungen kaum oder gar nicht mehr beansprucht wird.
Pressfugen entstehen beim Betonieren von Fugen an angrenzenden Plattenfeldern. Die daraus resultierende Querkraft in der Fuge kann durch Verzahnung oder Dübel gewährleistet werden.	**Passungsfugen** sollen das zwängungsfreie Zusammenfügen von Bauteilen unter Beachtung eventueller Maßabweichungen dieser Bauteile ermöglichen. Die Ausbildung erfolgt je nach Anwendungsfall durch: – Konstruktive Gestaltung der Bauteilträger – Verschluss mit elastischem Dichtstoff – Überbrückung durch bandförmig vorgefertigten Dichtstoff – Offenlassen der Fugen
Standfugen Hier treten keine oder nur geringe Bewegungen auf, z. B. bei Mauerwerksfugen.	**Konstruktionsfugen** Eine, zwischen aneinander anstoßenden Bauteilen liegende Fuge kann gleichzeitig Dehn- oder Setzungsfuge sein.

Fugenbewegungen

Infolge statischer, dynamischer und thermischer Belastung vollziehen sich am Bauwerk *Veränderungen*, die sich auf die Fugen auswirken.

Mögliche Schäden an Gebäudeabdichtungen sind häufig darauf zurückzuführen, dass der Dauerbelastbarkeit der Fugendichtmasse bzw. der Fugenprofilauswahl oder auch der handwerklichen Verarbeitung zu wenig Bedeutung beigemessen wurde.

Hier gilt der Grundsatz, dass eine werkstoffgerechte Auswahl und eine exakte Bewegungsrechnung durch den Planer einerseits und im Zusammenwirken mit der sorgfältigen und fachgerechten Ausführung durch den Unternehmer/Handwerker andererseits die Grundlage für eine fach- und sachgerechte Arbeit ist.

Als hauptsächlichste Formen der Fugenbewegungen unterscheidet man:

Setzbewegungen	haben ihren Ursprung in dem natürlichen (zumeist gleichmäßig verlaufenden) Setzungsverhalten mineralischer Baustoffe. Aber auch die unterschiedlichen Einflüsse auf die Bodenstruktur können ihre Ursachen im Verschieben und Verdichten des Baugrunds haben.
Formänderungen	treten häufig bei Temperaturwechselbeanspruchungen durch Dehnen und Zusammenziehen von Bauwerksteilen auf.
Fremdeinwirkungen	durch wechselnde thermische und mechanische Einflüsse wie Wind, Vibrationen durch Maschinennutzungen und Verkehrsmittel.
Schwinden durch	chemische, physikalische oder chemisch-physikalische Abbindeprozesse (z. B. Kalk, Gips, Zement)
Quellen und Schwinden	durch Feuchtigkeitszutritt bzw. -verlust, besonders an Holzkonstruktionen und mineralischen Erzeugnissen.

Zu einem speziellen Problem bei der Fugenausbildung gehören „Wärmebrücken“.

Wärmebrücken	sind einzelne, örtlich begrenzte „*Schwachstellen*“ in Außenbauteilen, die eine geringere Wärmedämmung aufweisen als die umgebenden Flächen. Durch die erhöhte Wärmestromdichte ergeben sich herabgesetzte Oberflächentemperaturen an der Innenseite der Bauteile und somit die Gefahr der Tauwasserbildung. Wärmebrücken können auftreten, wenn entweder Stoffe mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit verwendet wurden (stoffbedingte Wärmebrücke) oder eine ungünstige geometrische Formgebung (geometrische Wärmebrücke) vorliegt (Abb. 3.16).

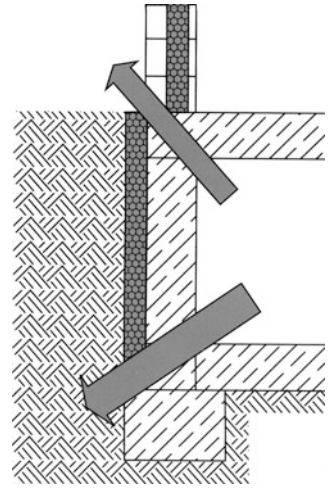


Abb. 3.16 Wärmebrücken. Besondere Schwachstellen befinden sich u. a. am Mauerfuß und am Fundament. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Zu den wichtigsten stoffbedingten Wärmebrücken gehören Fugen an Deckenauflagern, Stahlbetonstützen, Fensteranschlüssen und an den Stößen von Wand- und Bodenplatten.

Sie finden als besondere Problemzonen folgerichtig im Nachweisverfahren der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014 und Ergänzung 01.01.2016) Berücksichtigung.

Zunehmend werden die Fugensanierungsarbeiten dazu genutzt, um gleichzeitig insgesamt den gestiegenen Anforderungen der Energieeinsparverordnung besser gerecht zu werden, denn gegenwärtig überwiegen bei Sanierungen die Arbeiten, die den Wärmeschutz verbessern sollen.

Wärmeschutz im Verbund wird größtenteils über eine Außendämmung erzielt.

Das erfolgt relativ problemlos (sofern architektonische Gründe nicht dagegen sprechen), und Wärmebrücken können weitestgehend vermieden werden.

Bei der Fassadensanierung im Großtafelbau gelingt es damit nicht nur, den Wärmeschutz zu verbessern, sondern die schadhaften Fugen können auch ab einer Dämmstoffdicke von 60 mm überbrückt und das Erscheinungsbild der Fassade architektonisch neu gestaltet werden.

Zugleich wird der Wasserzutritt auf die sogenannten Wetterschalen verhindert, die zum Teil auch Risse in der Fläche aufweisen.

Zwar kann damit der Zutritt von CO_2 nicht gänzlich verhindert werden, aber der ggf. noch mögliche Fortschritt einer Karbonatisierung des Betons ist nicht mit einem Zutritt von Wasser, wie zuvor, verbunden.

In der Regel wird mit dieser Maßnahme das Erscheinungsbild der Fassade in ihrer möglichen Vielfalt aufgewertet.

3.2.4 Fugenverbindungen bei Fertigteilen und Mauerwerk

Ein prinzipielles Kriterium für die Ausführung von Fugen bei Fertigteilbauten aus Beton ist die Ermittlung und Einhaltung der Fugenbreiten und Fugentiefen der Bauteile untereinander. Die Notwendigkeit ergibt sich daraus, dass sich alle festen Baustoffe unter Wärmeeinwirkung ausdehnen und dadurch eine Längendehnung entsteht, bzw. eine Verkürzung bei einer Temperaturminderung.

Diese Längenveränderungen sind als Elementarkräfte nicht zu verhindern und müssen deshalb konstruktiv berücksichtigt werden. Dazu ist festgelegt:

a) die Fugenbreite
Nach der **DIN 18540** ist die **Fugenbreite** so zu bemessen, dass die *Gesamtverformung der Dichtmasse* (Summe aus Stauchung und Dehnung) höchstens 25 %, bezogen auf die Fugenbreite *b* und auf eine Bauteiltemperatur von 10 °C, beträgt.

Dieser sogenannte „Längenausdehnungskoeffizient“ (lineare Ausdehnungswert) ist natürlich bei den Baustoffen unterschiedlich und wird mit dem griechischen Buchstaben „Alpha“ abgekürzt.

Dabei gibt „Alpha“ an, um wie viele mm sich ein Stab von 1 m Länge bei einer Erwärmung von 1 K (entspricht 1 °C Temperaturdifferenz) ausdehnt, bzw. sich bei 1 K Abkühlung verkürzt, Tab. 3.2 (K = Temperatur Kelvin).

Das heißt die Längenveränderung „Delta L“ in mm ergibt sich aus:

$$\text{Delta L} = \text{Länge des Bauteiles in m} \times \text{Alpha in mm/m} \times \text{Temperaturdifferenz in } ^\circ\text{C}.$$

Die Richtwerte für die Planung der Fugenbreite ergeben sich somit aus der DIN 18540 und zeigen (vgl. Tab. 3.3), dass bei einem Fugenabstand bis zu 2 m eine Mindestfugenbreite von 15 mm erforderlich ist.

Tab. 3.2 Ausgewählte Längenausdehnungszahlen

Baustoff	Alpha in mm/(m K)
Normalbeton, Stahlbeton	0,010
Betonwerkstein	0,011 bis 0,018
Porenbeton	0,008
Fliesen	0,005 bis 0,008
Wand und Bodenplatten	0,008
Keramische Spaltplatten	0,007
Mauerziegel	0,005
Klinker	0,001
Kalk- und Zementputz	0,010
Stahl	0,010 bis 0,014
Kupfer	0,0017
Aluminium	0,024
Zinkblech	0,021 bis 0,033

Tab. 3.3 Maße zu den Fugen und der Fugendichtung, DIN 18540. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Fugenabstand in m	Fugenbreite		Dicke des Fugendichtstoffs[c]	
	Nennmaß[1a] b in mm	Mindestmaß[b] b_{min} in mm	d in mm	Grenzmaß in mm
0 bis 2	15	10	8	±2
Über 2 bis 3,5	20	15	10	±2
Über 3,5 bis 5	25	20	12	±2
Über 5 bis 6,5	30	25	15	±3
Über 6,5 bis 8	35	30	15	±3

[a] Nennmaß für die Planung
[b] Mindestmaß zum Zeitpunkt der Fugenabdichtung
[c] Die angegebenen Werte gelten für den Endzustand, dabei ist auch die Volumenänderung des Fugendichtstoffes zu berücksichtigen.

Tab. 3.4 Verhältnis Fugenbreite zu Fugentiefe

Fugenbreite	Verhältnis	Fugentiefe (Mindestdicke der Dichtmasse)
8 mm	1 : 1	8 mm
15 mm	3 : 2	10 mm
30 mm	2 : 1	15 mm

Hinsichtlich der einzuhaltenden Fugenbreiten muss beachtet werden, dass die nach DIN 18540 einzuhaltenden Mindestfugenbreiten auch bei der Sanierung der Fugen einzuhalten sind, damit die Dichtmassen nicht überdehnt werden.

b) Fugentiefe
Um Schäden durch Überdehnung des Dichtstoffs zu vermeiden, sind entsprechende Fugentiefen vorgeschrieben.

Aus der Tab. 3.4 kann das Verhältnis von Fugenbreite zu Fugentiefe entnommen werden.

3.2.5 Beispiele zu bautechnischen Unterscheidungen

a) Betonelemente mit *einstufiger Fugendichtung (geschlossene Fuge)*
Bei der einstufigen Fugendichtung werden Regen- und Winddichtung durch eine Dichtungsmasse oder ein Dichtungsband gewährleistet.

Die Ausbildung der mit Dichtungsmassen abgedichteten Fugen muss, wie beschrieben, der DIN 18540 entsprechen.

Dazu gehören (weitere Ausführungen siehe Abschn. 3.6.3.4 „Sanierung“) folgende Aspekte:

- Kanten der Bauteile sollen abgefast sein,
- parallel verlaufende Fugeninnenflächen,
- ausreichend Halt für das Hinterfüllmaterial (Tiefenbegrenzung),
- dieses Hinterfüllmaterial darf nicht Wasser saugen und muss mit der Fugendichtungsmasse verträglich sein und einen ausreichenden Widerstand leisten beim Einbringen und Abplätten der Fugendichtungsmasse,
- bei der Arbeitsausführung der Arbeiten sind Umgebungsbedingungen sowie die Temperatur zu beachten,
- Dreiseitenhaftung vermeiden,
- Gewährleistung der Materialverträglichkeit,
- Auswahl geeigneter Fugenbandbreiten und Beachtung von möglichem Fugenversatz sowie der Kreuzungspunkte.

Je nach Fugenart, Anforderung und Art der Belastung ist die zweckmäßigste Abdichtungsart zu wählen.

Der Vorzug des Fugenbandes erfolgt oftmals deshalb, um die vorherige verschlissene Dichtungsmasse nicht entfernen zu müssen.

Hierbei müssen die Klebeflächen tragfähig, sauber, trocken und staub- sowie fettfrei sein (mit Lösungsmitteln, z. B. mit Aceton, reinigen). Damit ist es auch möglich, optische Mängel im Fugenbild (unterschiedliche Fugenbreite, keilförmige Fugen) zu verdecken oder die Fugenbänder in die farbliche Gestaltung der Fassade mit einzubringen oder sogar hervorzuheben.

Abb. 3.17 und 3.18 zeigen schematisch eine geschlossene Fuge mit Dichtungsmasse, die Abb. 3.19 die Abdichtung einer Bewegungsfuge.

Zwischen massiven Bauteilen können auch vorkomprimierte Dichtungsbänder nach DIN 18542 eingesetzt werden, die bis ca. 15 % der Ausgangsdicke vorkomprimiert sind, wenn die Fugenflanken nicht keilförmig verlaufen und die Fugen ausreichend breit sind.

Nach dem Aufkleben auf die Fugenflanken entwickelt sich eine Rückstellkraft gegen die Fugenflanken, die Fuge wird dadurch abgedichtet.

Vorkomprimierte Dichtungsbänder bestehen aus offenzelligem Polyurethanschaumstoff, der mit einem Paraffin-Neoprengemisch imprägniert ist.

Die DIN 18540 enthält die Banddimensionen-Empfehlungen in Zuordnung zur Fugentiefe und Fugenbreite, wobei die Schwankungen der Fugenbreite durch Sommer- und Wintertemperaturen berücksichtigt und vorgegeben werden.

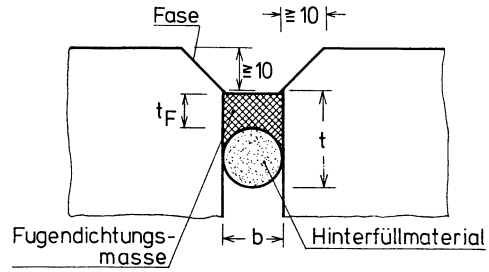
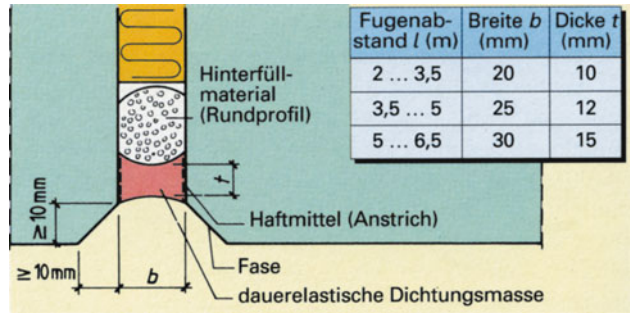


Abb. 3.17 Geschlossene Fuge mit Dichtungsmassen nach DIN 18540:2014-09. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)



Fugenabstand l (m)	Breite b (mm)	Dicke t (mm)
2 … 3,5	20	10
3,5 … 5	25	12
5 … 6,5	30	15

Abb. 3.18 Fugenausbildung und Fugendichtung. (Quelle: MIGUA-Fugensysteme, Wülfrath)



Abb. 3.19 Abdichten einer Bewegungsfuge. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Beispiel

Fugenabstand über 2 und bis 3,5 m:

Fugenbreite: Nennmaß 20 mm; Mindestmaß 15 mm
Banddimension: Fugentiefe 30 mm

Fugenbreiten:

Sommer: min. zul. Fugenbreite 13 mm
Winter: max. zul. Fugenbreite 24 mm

Bandbezeichnung: 30/13–24

Abb. 3.20 zeigt ein komprimiertes Fugenband in einer Wand aus Natursteinen und Abb. 3.21 ein Fugenband (optisch allerdings nicht beispielgebend) auf einer bekiesten Fassadenoberfläche.



Abb. 3.20 Verwendung eines komprimierten Dichtungsbandes

b) Betonelemente als zweistufige Fugendichtung zwischen vorgefertigten Wandplatten (offene Fuge); *Schlagregenschutz nach DIN 4103-3*

Die zweistufig abgedichtete Fuge unterscheidet sich in ihrer Ausbildung von der Vertikal- und der Horizontalfuge und wird vornehmlich bei der Plattenbauweise bzw. Großtafelbauweise eingesetzt.

Die Dichtung wird aufgelöst in die Gliederung des Schlagregenschutzes und der Windsperre und ermöglicht, in der Fuge eine Wärmedämmung in der Ebene der Dämmung in der Platte bzw. auch dabei übergreifend innerhalb der Fuge anzuordnen.



Abb. 3.21 Fugenband auf einer Fassadenoberfläche

Vertikalfuge Der Schlagregenschutzstreifen, das PVC-Profil (weich) verschiedener Breiten, um die Fugenweiten ausgleichen zu können, oder Fugenbänder unterschiedlicher Ausführung weisen die Regenbeaufschlagung ab, die dahinterliegende Windsperre gewährleistet die Winddichtigkeit.

Horizontalfuge Die Stauschwelle der unteren Platte in Verbindung mit der überstehenden „Nase“ der darauf stehenden Platte bildet einen Widerstand gegenüber dem Staudruck des Windes (plus Wasser), und vor der Lagerfuge ist eine Windsperre angeordnet.

Siehe schematische Darstellungen der Fugen in den Abb. 3.22 und 3.23.

Die Abb. 3.23, 3.24, 3.25, 3.26 und 3.27 zeigen weitere schematische Darstellungen zu den Fugen (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

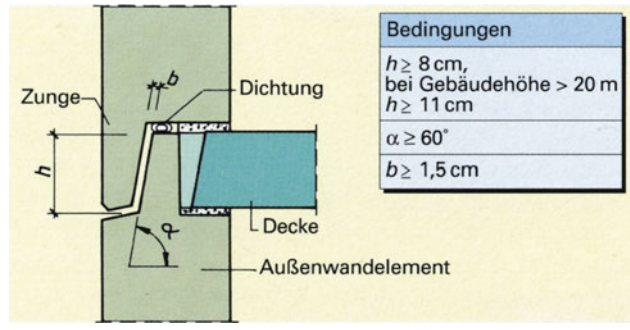


Abb. 3.22 Schematische Darstellung zur offenen (zweistufigen) Außenwandfuge. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

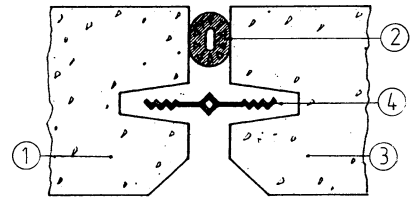


Abb. 3.23 Fuge zwischen Fassadenelementen (schematisch)

① Beton-Fassadenelement
② Polychloroprenschlauch mit Lochzellen und selbstklebender Oberfläche
③ Beton-Fassadenelement
④ PVC-Fugenband

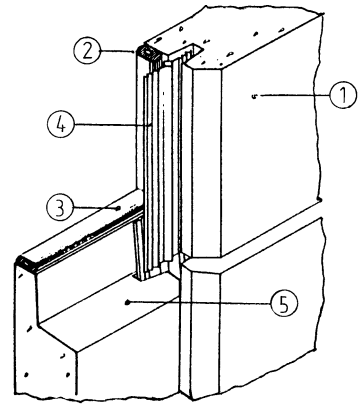


Abb. 3.24 Kreuzung von Horizontal- und Vertikalfuge

① Beton-Fassadenelement
② Schaumstoff-Dichtungsschlauch mit selbstklebender Oberfläche (Vertikal)
③ Schaumstoff-Dichtungsschlauch mit selbstklebender Oberfläche (Horizontal)
④ PVC-Fugenband
⑤ Beton-Fassadenelement

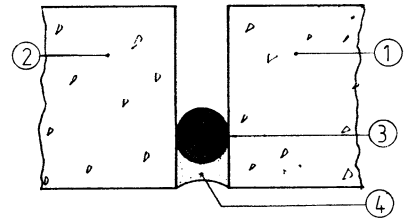
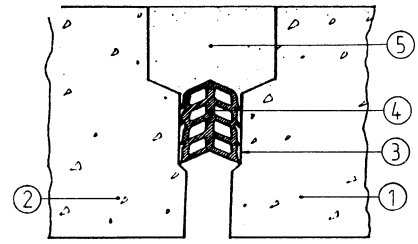


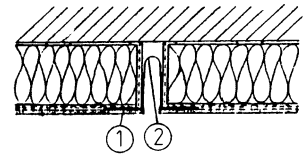
Abb. 3.25 Stoßfuge mit Dichtungsmasse und Fugenverschluss

① vorgefertigtes Beton-Fassadenelement
② vorgefertigtes Beton-Fassadenelement
③ Schaumstoff-Dichtungsschlauch mit selbstklebender Oberfläche
④ Gepresstes, flexibles PVC-Band



① Beton-Wandplatte
② Beton-Wandplatte
③ Grundierung (butyllöslicher Anstrich mit Harzzusatz)
④ Dichtungsband aus hochwertigem Polychloropren
⑤ Füllmörtel

Abb. 3.26 Stoßfuge mit Dichtungsband und Füllmörtel

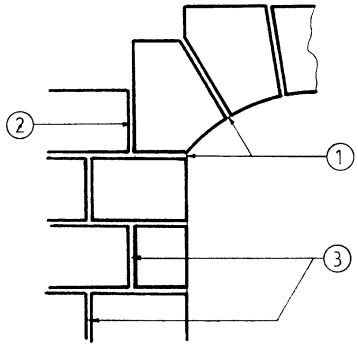


① zwei Gewebe-Eckwinkel, verbunden durch
② gummierte Dehnungsschlaufe

Abb. 3.27 Ausbildung von Bewegungsfugen mit Dehnungsfugenprofil

c) Mauerwerksfugen und Fugenverbindungen

Mauerwerksfugen Die Abb. 3.28a–h zeigen Darstellungen zu möglichen Fugenausbildungen an Gewölben, Abb. 3.28, Stoßfugenverbindungen, Abb. 3.29, sowie eine Übersicht zu den gebräuchlichen Mauerwerksfugen, Abb. 3.30 (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg).



① Lagerfuge, Horizontal- oder Radialfuge zwischen Gewölbesteinen.

② Stoßfuge, vertikale Mörtelfuge zwischen Steinen oder Ziegelsteinen. Eine Sichtfuge ist jener Teil der Fuge, der von außen im Mauerwerk zu sehen ist.

③ Versetzte Fuge, Anordnung der Steine so, dass sich keine durchlaufenden Fugen ergeben.

Abb. 3.28 Fugenausbildung an Gewölben



a) trockene Stoßfuge, Fuge im Werksteinmauerwerk ohne Fugenverguss



b) vergossene Fuge, Fuge zwischen Steinen, die mit Vergussmaterial gefüllt ist



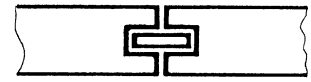
c) Eckfuge mit angeformtem Schenkel, mit einem Eckstein ausgeführte Stoßfuge



d) Steinverklammerung, Fuge im Werksteinmauerwerk, ähnlich der Nut- und Spundverbindung im Tischlerhandwerk.



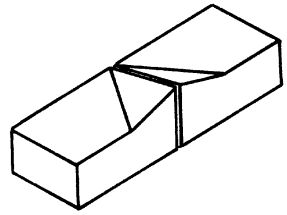
e) Überfalzung, Fuge, in der die Steine einen korrespondierenden Falz aufweisen.



f) verdübelte Fuge, Fuge, die durch ein Steinplättchen oder einen nicht rostenden Metalldübel verbunden ist. Findet sowohl horizontal (z. B. Mauerabdeckung) als auch vertikal (z. B. zwischen den Steinen einer Stütze) Anwendung.



g) schwalbenschwanzförmig verdübelte Fuge, Fuge mit schwalbenschwanzförmigen Nuten, in denen ein ebenfalls schwalbenschwanzförmiger Dübel aus Schiefer, Blei oder nicht rostendem Metall eingebracht wird.



h) Stoßfuge mit Überhöhung, Fuge zwischen zwei Steinen einer Abdeckung, die so ausgebildet sind, dass kein Wasser in die Fuge laufen kann.

Abb. 3.29 Stoßfugenverbindungen

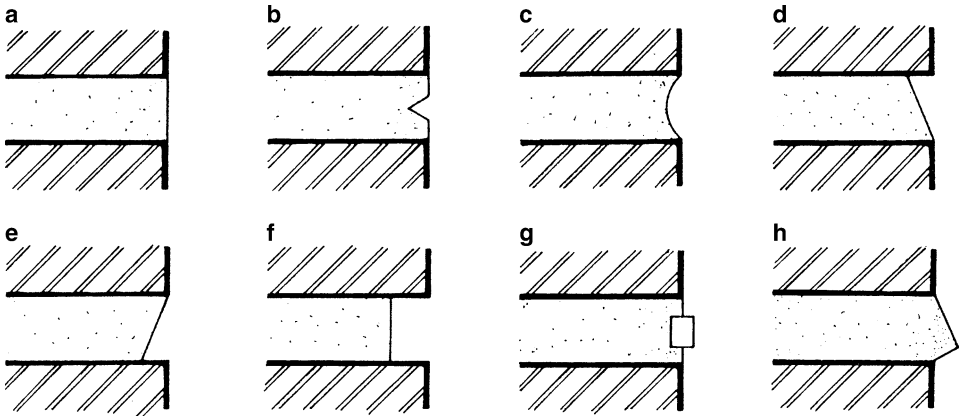


Abb. 3.30a–h Mauerwerksfugen

Abb. 3.30a: bündige Fuge, deren Oberfläche mit der Außenfläche des Mauerwerks bündig verläuft. Das Verstreichen der Fuge erfolgt im Verlauf des Mauerns. Der Mörtel wird mit einer Kelle flach gestrichen und erhält ein glanzartiges Aussehen. Eine sandige Oberflächenstruktur wird erreicht, indem die Oberfläche mit einem Stück Holz oder Polystyrol abgerieben wird.

Abb. 3.30b: bündige Fuge mit Kellenschnitt, in deren Mitte mit einer Kelle oder einem Spezialwerkzeug eine schmale Nut unter Zuhilfenahme eines Lineals geschnitten wird. Der entstehende Schatten verleiht der Wand zusätzlich ein regelmäßiges Aussehen.

Abb. 3.30c: Hohlfuge, das ist eine Mörtelfuge, deren Oberfläche einer gekrümmten, flachen Vertiefung folgt. Sie kann geformt werden, indem ein Stab von 13 mm Durchmesser in die noch frische Fuge gedrückt wird. Diese Fuge wird im Verlauf des Mauerns verstrichen und ist sehr haltbar.

Abb. 3.30d: Lippenfuge I, das ist eine Mörtelfuge, die so verstrichen wird, dass der Mörtel im oberen Bereich nach innen geneigt ist. Der Verstrich, die Lippenfuge, wird in der Regel im Verlauf des Mauerns ausgeführt. Weicht die Farbe des Fugenverstrichs von der Farbe des übrigen Fugenmörtels ab, so wird der Verstrich notwendigerweise zu einem separaten Arbeitsgang.

Abb. 3.30e: Lippenfuge II, das ist eine Mörtelfuge, die so verstrichen wird, dass der Mörtel im unteren Bereich nach innen geneigt ist. Der auf dem unteren Stein entstehende Vorsprung kann Wasser ansammeln, sodass diese Fuge nur ausgeführt werden kann, wenn die Wand gut geschützt ist. Es sollte bedacht werden, dass beide Arten der Lippenfuge trotz ihrer sehr unterschiedlichen Eigenschaften den gleichen Namen aufweisen.

Abb. 3.30f: vertiefte Fuge, das ist eine Mörtelfuge, die so ausgekratzt wird, dass eine rechteckige Vertiefung entsteht, ca. 6 mm tief, und in voller Fugenbreite. Sie betont die Fugen, sollte aber nicht bei weichen Steinen oder bei ungeschützten Wänden verwendet werden, da Wasser und gelöste Chemikalien angesammelt werden können. Mörtelabplatzungen werden jedoch vermindert.

Abb. 3.30g: vorspringende Fuge, eine Art des Fugenverstrichs einer Mörtelfuge, bestehend aus weißem Kalkbrei, der entlang der Fugenmitte hervorspringt. Die Fuge wird ausgekratzt und bündig mit in der Wandfarbe eingefärbtem Mörtel verstrichen. Eine schmale Nut wird entlang der Fugenmitte geschnitten und der Mörtel dem Abbinden überlassen. Die Nut wird dann mit Kalkbrei verstrichen und der Vorsprung angeformt.

Abb. 3.30h wetterrechte Fuge, Mörtelfuge, die so verstrichen wird, dass eine V-Form entsteht. Horizontalfugen haben asymmetrische Schenkel. Vertikalfugen bilden eine symmetrische V-Form.

3.2.6 Zusammenfassung

Die Fuge ist der baustofflich, bautechnisch und bauphysikalisch anspruchsvollste und am meisten gefährdete Teil einer Fassade.

Nur bei sorgfältiger Ausführung kann sie ihre bautechnisch wichtigen Aufgaben erfüllen.

Dazu gehören statische und dynamische Belastungen, Dehnungen, Scherbewegungen, Schwinden, Kriechen, klimatische Einflüsse, Temperatur, Feuchtigkeit und aggressive Medien.

Infolge *statischer* und *dynamischer Belastung* vollziehen sich am Bauwerk Veränderungen, die auch auf die Fugen Auswirkungen haben können. Eine genaue Berechnung durch den Planer ist hier zwingend notwendig.

Fugen stellen einen wesentlichen Teil der Gesamtkonstruktion dar und müssen dauerhaft verschlossen werden, um die Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten.

Fugendichtmassen haben die Aufgabe, die zwischen den Bauteilen auftretenden Bewegungen aufzufangen und Fugen zu verschließen.

Man unterscheidet zwischen „starren und Bewegungsfugen". Die starren Fugen werden nochmals unterteilt in Arbeitsfugen, Scheinfugen, Schwindfugen, Pressfugen und Standfugen.

Zu den Bewegungsfugen zählen noch Dehnungsfugen, Setzungsfugen Passungsfugen und Konstruktionsfugen.

Fugenbewegungen entstehen aus den Veränderungen im Bauwerk.

Die Fugenbreite einer Bewegungsfuge richtet sich nach dem Maß der auftretenden Dauerbewegung, die durch Längenveränderungen der Baustoffe entsteht.

3.3 Einflüsse, Anforderungen und Beanspruchungen der Fugen

3.3.1 Einflüsse aus der Bautechnik und Baukonstruktion

Neben den Anforderungen an die Fugen selbst hinsichtlich ihrer Geometrie und den Fugenmaterialien gilt übergreifend, dass die Fugen ihrerseits keinen negativen Einfluss auf die statischen und bauphysikalischen Eigenschaften der angrenzenden Bauteile ausüben dürfen und insbesondere auch den Anforderungen, Gegebenheiten sowie Voraussetzungen der Bauweisen und Bauverfahren hinsichtlich der technologischen Lösungen – z. B. bei der Montage großflächiger Elemente – entsprechen müssen.

Dieser Grundsatz gilt über die Phase des Bauens der Baukörper hinaus und umfasst auch die Betrachtung der Behebung möglicher Schäden – beginnend bei optischen Beeinträchtigungen des Erscheinungsbildes – bis zur punktuellen Beseitigung funktioneller Störungen infolge Verschleiß während der Nutzungsdauer bis hin zur kompletten Sanierung der Fugen unter der Maßgabe, dass in der Regel die Nutzungsdauer der Bauwerke die Dauerhaftigkeit der Fugen bzw. Fugenmaterialien übertrifft.

Daraus ist für die Fugen abzuleiten:

1. Ein geometrischer Entwurf für die Fugen soll nicht nur maßlich hinsichtlich ihrer notwendigen Breite und Tiefe entsprechen, sondern auch die Prozesse der Lagerung, den Transport und die Montage der Bauelemente berücksichtigen und damit ihre Schädigung, z. B. durch Kantenausbrüche o. ä., vermeiden.
2. Vorgaben zu den Rändern der Bauteile (Berücksichtigung beispielsweise bei Oberflächenbeschichtungen, Belegung mit Keramik, Abfasung . . .) bei genauer Kenntnis der Materialien zur geplanten Fugenabdichtung.
3. Gewährleistung einer einfachen und sicheren Montage der Fertigteile. Um diese Forderungen zu erfüllen, müssen die Fugen so ausgebildet und bemessen sein, dass sie alle notwendigen Bewegungen eines Elements während der Montage bzw. des Verlegens und beim Justieren zulassen. Die Fugenräume müssen so groß sein, dass Bewehrung, Mörtel oder Beton, Dämmstoffe, Dichtungsmittel, Leerrohre und andere Bauteile einfach und sachgerecht eingebracht werden können. Bestimmte Fugen haben ferner die Aufgabe, das Element während des Montageablaufs in seiner Lage zu halten und zu sichern.
4. Aufnahme aller Verbindungen zum einwandfreien Übertragen aller im Fugenbereich auftretenden Kräfte. Dieser Aufgabenbereich der Fugen bei Großtafelbauweisen ergibt sich aus der Weiterleitung der Druck-, Zug- und Querkräfte und Momente bei der Verbindung der vorgefertigten Elemente untereinander und/oder bei ihrem Anschluss an Ortbetonteile.
   Den statisch-konstruktiven Funktionen der einzelnen Fugen entsprechend zeigen die verschiedenen Montagebauarten hier eine Vielzahl verfahrenstypischer Lösungen.
5. Übereinstimmung mit der gewollten architektonischen Gestaltung als sichtbare Fuge in der Außenwand oder im Inneren des Gebäudes.
   Schon durch die Wahl der Fugenabstände können Räume kürzer, tiefer, höher oder niedriger als sie tatsächlich sind oder Fassaden gerade oder gewellt erscheinen.
   Die Anordnung der Fugen (Fugenschnitt, Verband, Ziermuster) spielt neben Farbe, Oberflächenbeschaffenheit und Format der Bauteile eine wichtige Rolle für die harmonische Gesamtwirkung.
6. Ausgleichen von zulässigen, baustoffbedingten Maßtoleranzen und schadensfreie Kompensation von Spannungen zwischen den Bauteilen.
   Manche Bauelemente weisen Maßunterschiede auf, die nur eine ausreichend breite Fuge ausgleichen kann. Knirsch- oder Pressfugen sind dazu nicht in der Lage und sollten vermieden werden.
   Durch die vielfältigsten Einflüsse wie Quellen oder Schwinden des Bauteils, des Mörtelbetts oder des Belagmaterials (Fliesen) und unterschiedliche Längenänderung bei Frost und Hitze können Spannungen auftreten.
   Die starre Mörtelfuge kann Stauchungen oder Dehnungen nur bis zu 0,25 % der Fugenbreite schadlos aufnehmen. Belagsflächen mit hohem Fugenanteil (Mosaik) weisen hier Vorteile auf.

3.3.2 Bauphysikalische Parameter

Hierbei bestehen gravierende Unterschiede hinsichtlich der Betrachtung der Fuge nach ihrer Lage im Bauwerk.

Nach den bauphysikalischen Anforderungen gliedern sich die Fugen in *innere* und *äußere* Fugen.

Die Fugen im Gebäudeinneren, zwischen Mauerwerk, Beton- oder Leichtbetonfertigteilen angeordnet, werden nach bautechnischen Forderungen und bauphysikalischen Gesichtspunkten bemessen, wie z. B. Wärmedämmung und Wärmebeharrungsvermögen, Schalldämmung und statische Aufgaben. Letzteres z. B. bei aussteifenden Wänden, da die Bewegungen der Bauteile infolge von Feuchtigkeits- oder Temperaturschwankungen im Inneren des Gebäudes im Normalfall unwesentlich sind.

Da die Verbindungen in der Regel aus den gleichen Baustoffen wie die Elemente selbst bestehen, können auch die Einflüsse aus Schwinden und Kriechen weitestgehend unberücksichtigt bleiben.

Dagegen haben die Fugen zwischen den Außenwandelementen des Gebäudes verschiedene bauphysikalische Bedingungen zu erfüllen.

Die wichtigste bauphysikalische Aufgabe der Außenwandfuge besteht darin, dass sie gegenüber Wind- und Regenwasserdruck völlig dicht ist und verhindert, dass Gase (Rauch), Schall, Kälte, Wärme und Feuchtigkeit in das Gebäudeinnere dringen.

Um Wärmeverluste aus dem Gebäude zu minimieren, wird der Fugenraum mit Wärmedämmstoffen versehen.

Dauerplastische Dichtungsmassen oder dauerelastische Dichtungsprofile verhindern im Zusammenwirken mit einer entsprechenden Fugengeometrie das Eindringen von Niederschlagswasser.

Diese Fugen müssen ferner die Formänderungen und Bewegungen der sie umschließenden Elemente aufnehmen können. Denn die Witterung mit ihren wechselnden Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen führt zu Bewegungen in den Außenwandelementen.

Neben diesen aus der Dimensionsänderung der Bauteile resultierenden Bewegungen treten Verformungen auf, die sich aus Kriech- und Schwindvorgängen herleiten oder auf Setzbewegungen oder Bewegungen unter dem Einfluss *äußerer Kräfte* (Windkraft, Verkehrslast) zurückzuführen sind.

Die Breite der Fugen zwischen den Außenwandbauteilen muss daher nach den zu erwartenden Längenänderungen und Verformungen der Elemente, wie bereits dargestellt, berechnet werden.

Sie soll diese Eigenschaften über eine der Lebensdauer des Gebäudes angemessene Zeit möglichst unverändert beibehalten bzw. lange Zyklen zwischen den notwendigen Reparaturen oder Sanierungen gewährleisten.

3.3.3 Beanspruchungen und Anforderungen

Fugen sind hinsichtlich ihrer

- statischen,
- bauphysikalischen,
- chemischen und
- witterungsbedingten

Einwirkungen sowie infolge konstruktiver und wirtschaftlicher *Bedingungen* vielfältigen hohen Anforderungen ausgesetzt.

Sie sind das Verbindungsglied zwischen den Bauteilen, die zum Teil aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen können.

Dabei sollen sie die konstruktiven Eigenschaften der angrenzenden Bauteile nicht unzulässig mindern. Zu beachten ist dabei, dass die Einwirkungen mit unterschiedlicher Intensität erfolgen können, häufig überlagert auftreten und somit die Fugen unterschiedlich beanspruchen können.

Übliche Unterteilungsmerkmale in der Praxis sind:

Konstruktive Beanspruchung meint feuchte und temperaturbedingte Längenänderungen, Verschiebung durch Bodenverformung und durch den Baugrund bedingte Setzungen.

Unter statischen Beanspruchungen versteht man die Aufnahme von horizontalen und vertikalen Verschiebungen aus angrenzenden Bauteilen, die Übertragung und Ableitung der vertikalen und horizontalen Kräfte (sowie der Momente) im Zusammenwirken mit dem gesamten Baukörper.

Bauphysikalische Anforderungen beziehen sich vor allem auf den Wärme-, Schall-, Feuchte- und Brandschutz. Dabei gilt es zu beachten, dass die Grenzen konstruktiver statischer und physikalischer Beanspruchungen fließend und Überschneidungen möglich sind.

Bauchemische Belastungen müssen die Fugen resistent gegen aggressive Stoffe wie beispielsweise Säuren, Reinigungs- und Lösungsmittel machen.

Witterungsbeanspruchungen betreffen die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen, Eisbildung, Windkräfte sowie infrarote und ultraviolette Strahlung.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte Die Fugen *wirtschaftlich*, d. h. mit geringen Gesamtkosten herzustellen, schließt eine hohe Dauerhaftigkeit und geringe Wartungskosten mit ein.

Generell ist zu beachten, dass elastische Fugenfüllstoffe chemischen und/oder physikalischen Einflüssen unterliegen, was je nach Beanspruchung zur Beschädigung führt, die

in Abhängigkeit von ihrer Lage (Bauwerkshöhe, Himmelsrichtung) auch nur punktuell auftreten kann.

Tab. 3.5 stellt einen Überblick über die Beanspruchungen und Anforderungen an Fugen dar.

3.3.4 Zusammenfassung

An Fugen werden vielseitige Anforderungen gestellt, die sich insbesondere auf bautechnische, bauphysikalische und bauchemische Prozesse beziehen.

Bautechnisch haben die *Fugen folgende Aufgaben:*

1. Gewährleistung einer einfachen und sicheren Montage der Fertigteile.
2. Aufnahme aller Verbindungen zum einwandfreien Übertragen aller im Fugenbereich auftretenden Kräfte.
3. Übereinstimmung mit der architektonischen Gestaltung – ggf. auch als dominantes Detail – als sichtbare Fuge in der Außenwand oder im Inneren des Gebäudes.
4. Ausgleichen von zulässigen, baustoffbedingten Maßtoleranzen sowie infolge der Montagetoleranzen der Bauteile.
5. Schadensfreie Kompensation von Spannungen zwischen den Bauteilen.

Die wichtigste bauphysikalische Aufgabe der Außenwandfuge besteht darin, dass sie gegenüber Wind- und Regenwasserdruck völlig dicht ist und verhindert, dass Kälte und Feuchtigkeit ins Gebäudeinnere dringen. Diese Fugen müssen ferner die Formänderungen und Bewegungen der Bauteile aufnehmen können.

Die Wirtschaftlichkeit hinsichtlich der Gestaltung der Fugen geht weit über die Belange der Prozesse ihrer Herstellung hinaus und bezieht Fragen ihrer Dauerhaftigkeit, des Wartungsaufwands und der Reparaturfreundlichkeit mit ein.

3.4 Fugenmaterialien

3.4.1 Ausgangslage und Stoffgrundlagen

Aus den Darstellungen der Schäden und Schadensursachen bei Fugen unter Abschn. 3.3, die neben den funktionellen Aufgaben und erforderlichen Eigenschaften eine Verknüpfung mit den Schadensmechanismen herstellen, sollen nachfolgend die Fugenmaterialien sowie ihre Arten, Eigenschaften, Verarbeitungshinweise und Anwendungsbeispiele dargestellt werden.

Zielstellung ist hierbei, eine Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten Fugenmaterials zu geben, unterscheiden sich diese doch nicht nur prinzipiell in z. B. „mineralisch“

Tab. 3.5 Übersicht über Beanspruchungen und Anforderungen an Fugen

Konstruktiv	Statisch	Bauphysikalisch	Bauchemisch	Witterung	Technologie/ Wirtschaftlichkeit	Ästhetik
– Aufnahme von Form- und Längenänderungen infolge Feuchte- und Temperaturwechsel, Quellen, Schwinden – Aufnahme von Setzungen (Bewegungen) z. B. ungleichmäßige Setzungen aus Baugrundveränderungen u. a.; z. B. Grundbereich ungleiche Bodenschichten u. a.	– Zwängungsfreie Bauteilbewegung; Aufnahme von horizontalen und vertikalen Verschiebungen bewährter Bauteile – Einwandfreie Übertragung aller im Fugenbereich auftretenden Kräfte (N; Q; M) – Zusammenwirken mit Baukörper entsprechenden statischen Erfordernissen – Hohe Elastizität	– Feuchtigkeitsschutz (Verhinderung des Eindringens von Wasser bzw. Wasserdampf) – Brandschutz (Feuerwiderstand muss dem der übrigen Bauelemente entsprechen) – Schallschutz (Verringerung der Körper- und Luftübertragung) – Wärmeschutz (Vermeidung von Wärmebrücken, Aufnahme von Beanspruchungen aus Wechsel der Temperatur/Feuchte)	– Möglichst resistent gegen aggressive Stoffe wie Säuren, Laugen, Lösungen und Reinigungsmittel, Öle, Fette u. a. – Verträglichkeit mit angrenzenden Baustoffen wie z. B. Bitumen, Vermeidung von Haftungsverlusten durch Reste von Schalungsöl – Luftdicht	– Klima- und Witterungsbeständigkeit, UV-Beständigkeit (z. B. hohe Widerstandskraft gegen Wind-, Regenwasserdruck, Zugluft, Schlagregen, UV- und IR-Strahlung der Sonne)	– Geringe Gesamtkosten bei Herstellung und Verarbeitung – Leichter und sicherer Einbau bzw. Montage auf der Baustelle – Hohe Lebensdauer – Geringe Wartungskosten bzw. wartungsfrei – Einfache Instandsetzung bei Schäden – Hohe Genauigkeit – Hoher Komplettierungsgrad – Witterungsunabhängig	– Schmutzunempfindlichkeit – Übereinstimmung mit architektonischer Gestaltung, z. B. bei Sichtfugen

und „nichtmineralisch“ stofflich, sondern vor allem auch in den physikalischen, mechanischen und feuchtetechnischen Eigenschaften.

Fügt man als Auswahlkriterien optische Gesichtspunkte wie das Aussehen (Farbe, Körnung), Festigkeit und Verarbeitungsbedingungen hinzu, ergibt sich ein breites Spektrum der Wahlmöglichkeit.

Nicht zuletzt erfolgt auf diesem Fachgebiet nicht nur eine ständige Aufweitung des Produktangebots zur Erschließung neuer Möglichkeiten, sondern neue Herausforderungen wurden und werden gerade auch in der Sanierung der Fugen sichtbar.

Beispielhaft wurde hier besonders auf die Probleme, die bei Sanierung der Fugen von Wohnungsbauten in Block- und Tafelbauweise mit einstufiger Fugendichtung unter Einsatz des asbesthaltigen Fugenstoffs „Morinol“, die in den neuen Bundesländern aufgetreten und zu lösen waren, verwiesen.

Zu Beginn der Ausführungen stehen aber die beiden Gruppen „mineralische Fugenmörtel“ und „Fugendichtstoffe“ im Mittelpunkt der Betrachtungen.

3.4.2 Fugenmörtel

Aufgrund unterschiedlicher Mauerwerkskonstruktionen mit spezifischen statischen und bauphysikalischen Funktionen sowie Mauerziegeln/-steinen oder Klinker sind auch Mauer- und Fugenmörtel unterschiedlicher technischer Parameter erforderlich.

Dazu gehören sowohl mechanische Eigenschaften wie

- Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul,
- Haftscherfestigkeit und
- Längs- und Querdehnungsmodul

als auch die thermische und hygrische Dehnung sowie der Feuchtetransport und nicht zuletzt Fragen und Wünsche hinsichtlich der Verarbeitungsbedingungen dazu.

Art und Menge des verwendeten Bindemittels haben den größten Einfluss auf diese Parameter, auch auf die Erhärtungsgeschwindigkeit.

Aus diesen Gründen sowie weiteren möglichen spezifischen Zielstellungen aus der Sicht des Verarbeiters gibt es keinen universellen Fugenmörtel, sondern es haben sich hierbei bestimmte Spezifikationen herausgebildet.

3.4.2.1 Mineralische Fugenmörtel

Mineralische Fugenmörtel sind feine, geschmeidige Kalkzementmörtel oder reine Zementmörtel, die durch Beimengungen von Kunstharzzuschlägen eine höhere Abriebs- und Biegefestigkeit erreichen können.

Fugenmörtel können, sollten aber nicht als Trockenmörtel handgemischt werden.

Trockenmörtel
Die für Fugen infrage kommenden hydraulischen Kalkmörtel, Zementmörtel oder Kalkzementmörtel werden als Trockenmasse als Sack- oder Siloware auf die Baustelle geliefert und dort mit Wasser angemischt. Eine Mischung unterschiedlicher Trockenmörtel oder die Beigabe von Zusätzen ist unzulässig.

Bei der Verarbeitung ist auf die Verarbeitungsrichtlinien zu achten.

Fertigmörtel oder Werkmörtel,
die auf der gleichen stofflichen Basis beruhen, haben gegenüber dem handgemischten Mörtel zwei Vorzüge:

1. Die Mörtel sind für ihre Verarbeitung nach Anlieferung schneller verfügbar.
2. Ausschlaggebend und das häufigste Kriterium für die Entscheidung ist aber die gleichbleibende Qualität ihrer Zusammensetzung, die über die bezogenen Abnahmemengen hinaus durch weitere Nachlieferungen ergänzt werden kann, ohne mit qualitativen Abstrichen hinsichtlich Körnung, Farbe oder Festigkeit rechnen zu müssen.

Für die praktische Ausführung ist eine Vielzahl geeigneter Werkmörtel erhältlich, sodass die Auswahl fachkundig und auf das zu sanierende Objekt abgestimmt werden kann.

Zumindest aber sollte das ausgewählte Material nicht zu Verfärbungen neigen, und äußerste Vorsicht ist bei der Zugabe von Farbpigmenten geboten, wenn vor allem helle und stark saugende Natursteine verfugt werden sollen.

Diese können über die Flanken Pigmente aufnehmen, und mögliche Verfärbungen des Natursteinmauerwerks sind nahezu unvermeidlich.

Fertiger Fugenmörtel
ist unter den Bezeichnungen **fugenweiß, fugenfarbig, fugengrau und fugenbreit** erhältlich.

Fugenweiß ist weiß durchgefärbter Fertigmörtel auf Zementbasis, geeignet für das Verfugen keramischer Beläge bis zu einer Fugenbreite von etwa 5 mm.

Sie werden in der Regel im Verhältnis von drei Teilen Fertigmörtel zu einem Teil Wasser gemischt, die Reifezeit beträgt ca. 10 min, die Topfzeit ca. 2 h.

Dieser Mörtel kann unter genauer Beachtung der Herstellerangaben mit Farbzusätzen eingefärbt werden. Um Farbabweichungen zu vermeiden, sollte man die Gesamtmenge jedoch immer auf einmal anmischen.

Fugenfarbig, auch fugenbunt sind Fugenmörtel auf der Grundlage von Weißzement mit einem sorgfältig dosierten Zusatz an zementbeständigen und lichtechten Farben (Metalloxidenten).

Die Topfzeit beträgt etwa zwei Stunden.

Vorsicht ist bei Schlämmverfugung geboten; es besteht die Gefahr, dass sich Farbpigmente in den Poren festsetzen und nicht mehr restlos beseitigt werden können.

Fugengrau ist ein grau durchgefärbter Fugenmörtel, der in der Zusammensetzung dem Fugenweiß ähnelt. Allerdings ist die Festigkeit höher als bei Fugenweiß, da er hauptsächlich zum Verfugen von Bodenflächen mit Fugenbreiten bis etwa 7 mm verwendet wird.

Fugenbreit ist ein Fertigmörtel auf Zementbasis mit weißer oder grauer Farbe und etwas gröberen Gesteinskörnungen.

Er enthält in der Regel wasserabweisende Zusätze (Additive) und wird für Fugenbreiten zwischen 5 und 15 mm eingesetzt.

Fugenbreit wird als Saniermörtel für Feucht- und Nassräume, Terrassen, Schwimmbäder und zum Verfugen von Glasbausteinwänden verwendet.

3.4.2.2 Spezielle Fugenmörtel und Fugengipse

Zementmörtel

Nach DIN 18332 – Naturwerkstein – und den „Allgemeinen Technischen Vorschriften“ (ATV) kann für die Sanierungsverfugung auch Zementmörtel verwendet werden.

Als Bindemittel ist mit grauem Trasszement und/oder weißem Portlandzement zu arbeiten.

Je nach Verwendungszweck und Fugenbreite kommt als Körnung Quarzmehl zum Einsatz.

Ab 5 mm Fugenbreite besteht die Möglichkeit, Quarzsand zur Reduzierung der Schwindneigung beizumischen. Er sollte scharf- und gemischtkörnig sein. Dabei darf das Größtkorn höchstens 1/3 der Fugenbreite betragen.

Die Fugen sind vor zu schnellem Wasserentzug, z. B. Zugluft, zu schützen. Dabei ist aber auf feine Körnung und schonendes Abwaschen zu achten, um Kratzer in poliertem Weichgestein zu vermeiden.

Als Mischungsverhältnis für die Neuverfugung von Natursteinmauerwerk hat sich ein Anteil von einem Teil Bindemittel zu drei bis vier Teilen Quarzsand als erfolgreich erwiesen.

Weißfugenmörtel

Die Grundlage dafür ist Weißzement.

Die helle Farbwirkung kann durch Quarzmehl unterstützt werden. Ebenso können Weißpigmente zugesetzt werden, deren höchster Helligkeitsgrad erst nach Austrocknung des Belages, also nach 3–4 Wochen, erreicht wird.

Zusätze von fungiziden (pilzvernichtenden) Mitteln verhindern Verfärbungen und sonstige Mikroorganismen.

Fugengips

Der Vollständigkeit halber soll hier auch noch der Fugengips aufgeführt werden, der natürlich bei den Fassadenplatten nur für den Innenbereich eine Rolle spielt.

Fugengips wird aus Gipsstein, einem kristallwasserhaltigen Kalziumsulfat gewonnen und je nach Verwendungszweck unterschiedlich hoch gebrannt (z. B. Stuckgips bei 180 °C, Putzgips 500 °C, Marmorgips etwa 700 °C).

Als Fugengips kommt für Fliesen und Plattenbeläge vor allem **Marmorgips** zur Anwendung.

Er entsteht aus Stuckgips, wenn dieser mit Alaun getränkt und nochmals gebrannt wird. Er erreicht Druckfestigkeiten bis zu 40 N/mm^2 und ist schleif- und polierfest. Als Fugenmaterial erreicht er den höchsten Helligkeitsgrad, wird schneeweiß und ist allerdings, wie alle Gipsarten, feuchtigkeitsempfindlich.

Ein Vorteil ist seine lange Topfzeit von bis zu sechs Stunden.

Die Tab. 3.6 stellt eine Übersicht über die Einsatzgebiete der Fugenmörtel dar.

Tab. 3.6 Übersicht zu Fugenmörtel

Einsatzgebiet	Remmers-Lösung	Bindemittel
Standardfugen	Fugenmörtel	Kalk-Zement
Sulfatbelastetes Mauerwerk	Fugenmörtel TK	Trass-Kalk
Niederfestes Mauerwerk	Fugenmörtel ZF	Natürlicher hydraulischer Kalk (zementfrei)
Großflächiges, gleichmäßiges Fugenbild	Fugenmörtel MG (maschinengängig)	Kalk-Zement
Hochfestes Natursteinmauerwerk	Fugenmörtel ECC	Epoxidharzmodifizierenter Zement
Messerfugen, Mauerwerke mit hohem Bewegungspotential	Fugenmörtel AC	Reinacrylat (kapillaraktiv)
Nachstellung historischen Materials	Historic Fugenmörtel	Objektspezifisch rezeptiert
Ziegel-Schlämmverfugung	Fugenschlämme	Kalk-Zement (kunststoffmodifiziert)
Hohlraumiges, klüftiges Mauerwerk; bei Steinaustausch	Bohrlochsuspension (Vergussmörtel)	Trass-Kalk-Zement

3.4.2.3 „Historischer" Fugenmörtel und seine Verarbeitung

Ein lange vernachlässigtes Problem in der Sanierung und Denkmalpflege ist die Nachrezeptierung historischen Fugenmörtels.

Auch Fugen prägen das „Gesicht" eines Bauwerks entscheidend mit und spiegeln den Wissensstand der Baumeister vergangener Epochen wider.

In Körnung und Farbe verfügt er über eine eigene Ausdruckskraft, die neue Fugenwerkstoffe nur schwer ersetzen können.

Führende deutsche Mörtelhersteller sind inzwischen in der Lage, alte Mörtelrezepturen wieder zurückzugewinnen.

In jahrelanger Forschungsarbeit haben sie Mörtel rekonstruiert, die nicht nur aussehen wie Altmörtel, sondern auch dauerhaft funktional und naturwerksteinverträglich sind.

Dazu müssen aber zwei Voraussetzungen erfüllt werden:

- Objektspezifische exakte Analyse des noch vorhandenen Altmörtels,
- Einsatz möglichst ursprünglicher, natürlicher Materialien und traditionell überlieferter Techniken.

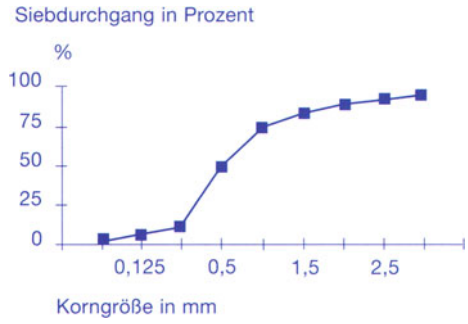
Tab. 3.7 beschreibt die Zusammensetzung einer Laborprobe eines Altmörtels als Grundlage für eine authentische Rekonstruktion.

Um den historischen Fugenmörtel wieder mit alter Technik gedrückt, geschabt oder gerieben einbringen zu können, muss noch die richtige Körnung bestimmt werden, bevor die neue alte Rezeptur angemischt werden kann (Tab. 3.8).

Tab. 3.7 Laboranalyse eines historischen Fugenmörtels. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Interpretation der Ergebnisse	Mörtelzusammensetzung in Masse %
Quarzitischer Zuschlag	73,1
Bindemittel gesamt	26,9
Hydraulisches Bindemittel	1,8
Carbonatisches Bindemittel	18,1
Gips ($CaSO_4 \times 2\ H_2O$)	1,5
Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$)	3,9

Tab. 3.8 Zusammenhang zwischen Siebdurchgang und Korngröße einer neuen „alten“ Mischung. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)



Verarbeitungshinweise

- Steine und Untergründe müssen fest, sauber und frostfrei sein.
- Die Fugen sind je nach Saugverhalten vorzunässen.

- Die Fugenflanken müssen frostfrei und frei von lockeren Mörtelresten sein. Eine Säuberung mit Wasserhochdruckreinigern oder Sandstrahl wird empfohlen.

Historischer Fugenmörtel wird von Hand (hier ca. 4,01 Wasser auf 40 kg Sand) als erdfeuchter Fugenmörtel aufbereitet.

- Bei Natursteinmauerwerk muss die Fuge so tief ausgeräumt werden, dass sie der doppelten Fugenbreite entspricht, mindestens jedoch 2 cm.
  Für Ziegelmauerwerk muss das gleiche Verfahren eingesetzt werden, wobei immer darauf zu achten ist, dass die Flankenhaftung gewährleistet wird.
  In besonderen Fällen (z. B. Feldsteinmauerwerk) sind jeweils nur kleinere Mauerwerksbereiche auszuräumen und sofort wieder zu verfugen, um Ausbrüche des Mauerwerks zu verhindern.
- Um Rissbildung in der Fuge zu vermeiden, sollten Fugen, die tiefer als 2 cm ausgeräumt sind, in zwei oder auch mehreren Lagen ausgeführt werden. Standzeit der unteren Lage ein Tag pro 1 mm Auftragsdicke. Die unteren Lagen sollten angerauht werden, in besonders extremen Fällen muss mit Ziegel- oder Natursteinbruch ausgezwickelt werden.

Des Weiteren ist zu beachten:

- Der frische Mörtel ist vor Austrocknung und ungünstigen Witterungseinflüssen wie Frost, Zugluft, direkter Sonneneinstrahlung sowie vor direkter Schlagregeneinwirkung zu schützen, z. B. durch Vorhängen einer Folie.
- Fugenarbeiten dürfen nicht bei Luft- und Untergrundtemperaturen unter +5 °C ausgeführt werden.

Bei der Vorbehandlung der zu bearbeitenden Flächen ist auf unterschiedliche Saugfähigkeit der Materialien Rücksicht zu nehmen.

Durch Beobachtung der Wasseraufnahmefähigkeit ist die Vorbehandlung den örtlichen Bedingungen anzupassen. So kann es sich zeigen, dass wenig saugendes dichtes Gestein (z. B. Granit) einen geringeren Wasserbedarf besitzt, der in der Fuge befindliche Mörtel jedoch stark saugfähig ist. Wird dieser vor der Verfugung nicht genügend vorgenässt, wird dem neu eingebrachten Mörtel zu viel Wasser entzogen. Hierdurch kommt es zu mangelhaftem Verbund und Minderfestigkeiten der Verfugung.

Dies gilt auch für die mehrlagige Verarbeitung.

3.4.3 Fugendichtstoffe

Um auch anderen bautechnischen Anforderungen – hergeleitet aus der Bauweise und dem Bauverfahren – zu entsprechen sowie unterschiedlichen Beanspruchungen chemischer und/oder physikalischer Art gerecht zu werden sowie aus wirtschaftlichen Gründen

und den Problemen der Lebensdauer der Fugendichtung, sind **Fugendichtstoffe** erforderlich, *die nicht mineralischen Ursprungs sind* und die sich

- in ihrer Verarbeitung und
- der Art der Dichtungswirkung

von diesen prinzipiell unterscheiden.

Bereits vor mehr als 100 Jahren, mit der Erfindung des synthetischen Kautschuks (Fritz Hofmann, 1909) und dessen industrieller Herstellung in den folgenden 1920er-Jahren, wurde dieser als elastischer Stoff, der ein Rückstellvermögen besitzt, als abdichtendes Fugenmaterial erkannt.

Auch bei der inzwischen natürlich zu verzeichnenden stofflichen Weiterentwicklung und einschließlich spezifischer und problemorientierter Anwendungskriterien ist die Zielstellung unverändert:

Fugendichtstoffe haben die Aufgabe, Bewegungen, die zwischen den Bauteilen auftreten, aufzufangen und Fugen (natürlich auch Risse) zu schließen, um damit das Bauwerk oder das verfugte Objekt vor dem Eindringen von Feuchtigkeit, Schmutz, Lärm und Zugluft zu schützen.

Ein vielschichtiges Aufgabengebiet – denn es gibt nicht nur eine ganze Reihe von Fugenarten, sondern darüber hinaus auch spezifische Dichtungsprobleme.

Dabei hat sich eine Unterscheidung zwischen Elementdichtstoffen und Massendichtstoffen herausgebildet.

3.4.3.1 Stoffgrundlagen für Fugendichtstoffe

Nach der DIN 18540 sind Fugendichtstoffe für Außenwandfugen vorgeschrieben!

Fugendichtstoffe werden zwischen Bauteilen aus Ortbeton und/oder Betonfertigteilen sowie aus unverputztem Mauerwerk und/oder Naturstein vorgesehen. Für Bauwerksfugen zwischen Bauteilen aus Porenbeton (früher Gasbeton) oder Fugen, die mit Erdreich in Berührung kommen, sowie für Bewegungsfugen sind Fugendichtmassen im Sinne der DIN 18540 **nicht** einzusetzen.

Fugendichtstoffe bzw. Fugendichtmassen werden als Werkstoffe nach zwei Einteilungsmöglichkeiten unterschieden, die nach /9/ in ihrer Kennzeichnung mittels Kurzzeichen nach DIN 18540 wie folgt aktualisiert wurden:

- Frühbeständigkeit gegen Regen/Wasser
  Fugendichtmassen, welche *früh*beständig sind, erkennt man an der werkseitig eingetragenen Bezeichnung „**fb**“ (alt „F“).
- Nicht frühbeständig gegen Regen/Wasser
  Nicht frühbeständige Fugenmassen erhalten das Kürzel „nfb“ (alt „NF“).

Bezeichnungsbeispiel eines frühbeständigen Fugendichtstoffes /9/:

„**Fugendichtstoff DIN 18540-fb**“

Gemäß ihrer mechanisch-physikalischen Eigenschaften, bezogen auf ihre Bewegungsaufnahmefähigkeit der Fugen, ausgedrückt in Prozent der Fugenbreite, differenziert man:

- *Härtend* 0 %,
- *plastisch* 2 bis 8 %,
- *elastisch* 20 bis 25 %.

Einige Hersteller unterscheiden noch nach plastoelastischen und elastoplastischen Fugendichtstoffen, also Übergängen zwischen plastisch und elastisch (Abb. 3.31).

Diese Formulierungen helfen dem Praktiker aber wenig, weil sich das Verhalten bekanntermaßen mit zunehmendem Alter der Dichtungsstoffe verändert.

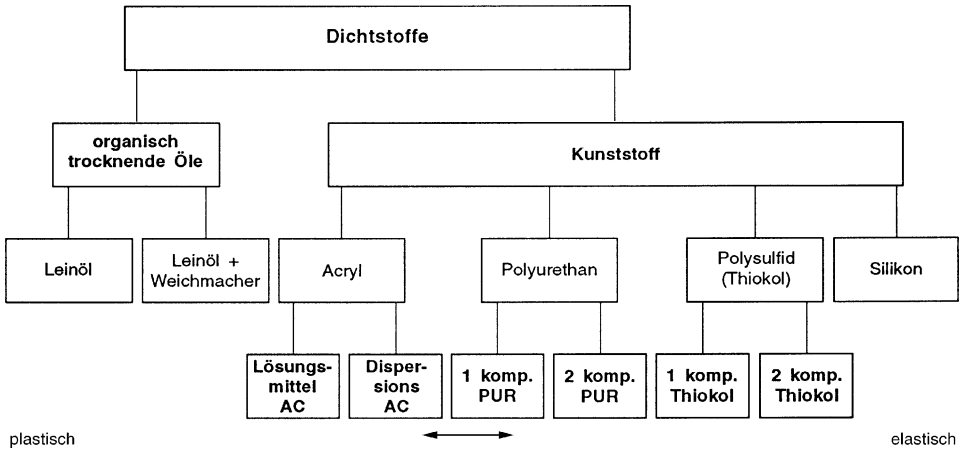


Abb. 3.31 Dichtstoffe (BAUST). (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Elastische Dichtstoffe
dienen dem Verschluss von Bewegungs- und Anschlussfugen.

Eine Vielzahl von Sorten mit unterschiedlichen technischen Eigenschaften und Herstellern sind dazu im Angebot.

Bei der Sanierung von Natursteinfugen dürfen nur noch spezielle neutralvernetzte Silikone zum Einsatz kommen, da es ansonsten durch Abwandern der Weichmacher zu Randzonenverfärbung kommen kann.

Je nach Fabrikat müssen die Flanken zusätzlich mit Haftprimer behandelt werden. Dreiflankenhaftung ist auf jeden Fall zu vermeiden!

Silikondichtstoffe sind die alterungsbeständigsten Fugendichtstoffmassen, die es gegenwärtig gibt. Es kann eine Lebensdauer von mehr als 20 Jahren erwartet werden (Abb. 3.32).

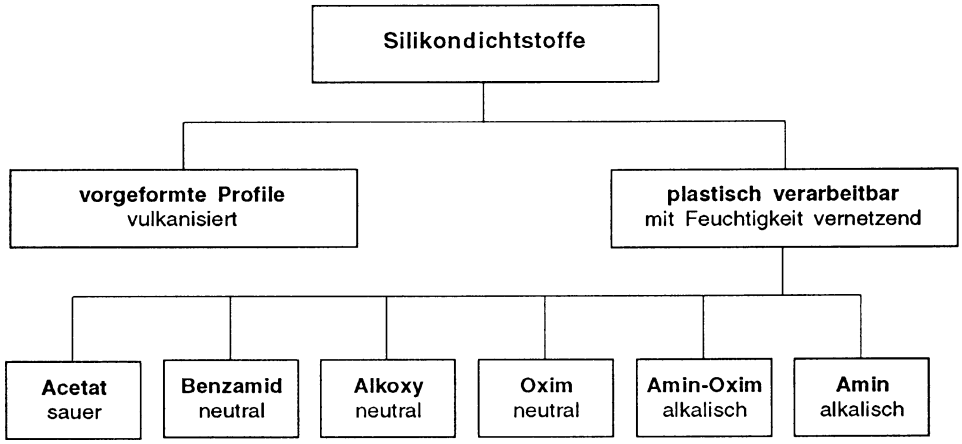


Abb. 3.32 Silikondichtstoffe (REUL). (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Je nach Art der Masse liegt die zulässige Gesamtverformung (Dehnung und Stauchung) zwischen 15 und 25 % der Fugenbreite. Silikon kann allerdings nicht mit Lacken oder Farben überstrichen werden.

3.4.3.2 Elementdichtstoffe

Elementdichtstoffe sind Folien, Profile und Dichtungsbänder.

Folien werden vorwiegend aus Kupfer und Blei hergestellt. Sie werden über die Fugen gelegt, verklebt oder einbetoniert.

Anstelle von Folien werden auch Kupferbleche mit Dicken von 0,8 bis 1,0 mm verwendet. Die Bewegungen der Fugen werden von einer Metallschleife aufgenommen (vgl. Abb. 3.33).

Profile können aus Metall, Kautschuk und Kunststoff hergestellt werden und die verschiedensten Querschnittsformen haben.

Bauprofile gibt es für den Innen-Nassputz, den Trockenausbau innen (also den Trockenputz), für leichte Trennwände sowie abgehängte Decken und Montagedecken. Weiter-

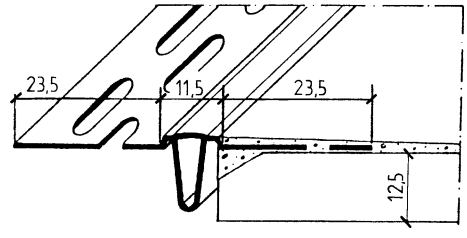


Abb. 3.33 Bewegungsfugenprofil für Wände (und Decken). (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

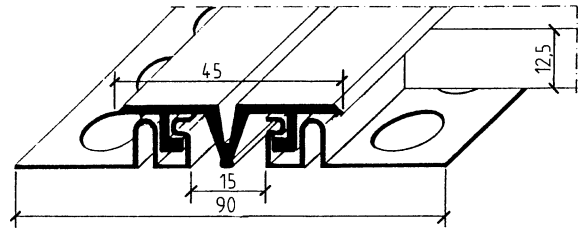


Abb. 3.34 Dehnungsfugenprofil. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

hin gibt es Profile für den Außen-Nassputz, Edelputz, Dämmputz und die Wärmedämmverbundsysteme. Des Weiteren auch Mauerkantenprofile und Treppenschienen für außen und innen, Dehnungsfugenprofile, Profile für Fassadenplatten und einige Spezialprofile.

Die Abb. 3.34 und 3.35 zeigen zwei Beispiele.

Hergestellt werden die Profile aus Stahlblech mit PVC-Teilen, und sie kommen im Außenbereich, aber auch im Innenausbau zum Einsatz.

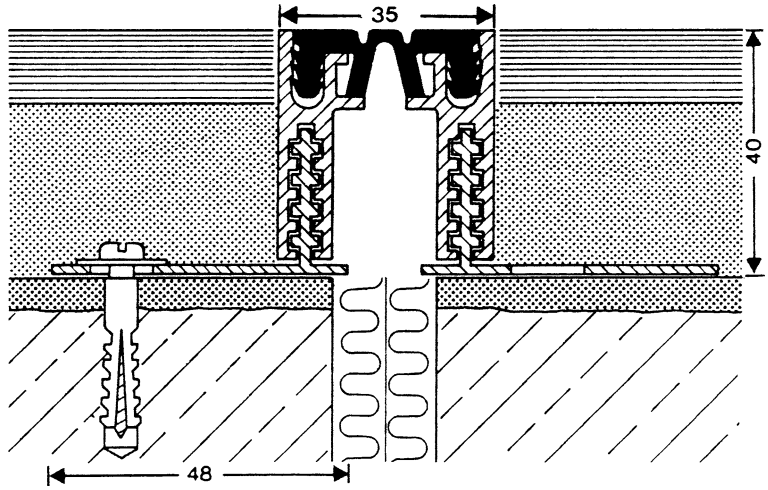


Abb. 3.35 Abdeckung einer Bewegungsfuge. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Dichtungsbänder werden besonders im Betonbau verwendet. Sie bestehen meist aus elastischen Kunststoffen und sind leicht verformbar.

Je nach Art des Profils unterscheidet man zwischen Dehnfugen-, Arbeitsfugen- und Fugenabschlussbändern.

3.4.3.3 Massendichtstoffe

Massendichtstoffe sind gieß-, spachtel- oder spritzfähige Dichtstoffe, die nach der Verarbeitung fest werden, plastisch bleiben oder elastisch sein können.

Man unterscheidet daher feste, gussförmige und elastische Massendichtstoffe.

Dazu gehören auch Zementmörtel und Mörtel, die mit Kunststoff-Dispersionen versetzt sind.

Auch Epoxidharz- und Polyestermassen finden Verwendung bei Standfugen.

Zu den gussförmigen Massen gehören – *hier nur der Vollständigkeit halber angemerkt* – auch die für den Fugenguss im Straßen- und Brückenbau verwendeten bituminösen Stoffe.

Die elastischen Massen werden häufig in Kartuschen geliefert und mithilfe von Spritzpistolen verarbeitet. Sie müssen dehnbar und rückstellfähig sein und gut am Untergrund haften.

Meist ist es erforderlich, die Fugenflanken vor Einbringen des Dichtstoffes mit einem Haftanstrich vorzubehandeln (Abb. 3.36).

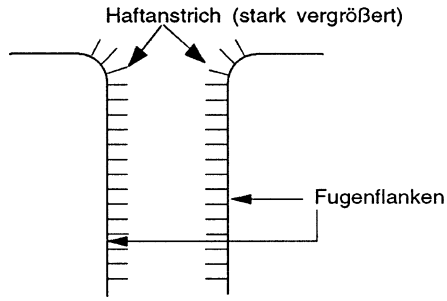


Abb. 3.36 Haftanstrich. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Tab. 3.9 zeigt eine sachgebietsübergreifende Übersicht zu den Fugenarten sowie den Dichtstoffen und deren Einsatzmöglichkeiten.

3.4.3.4 Anstriche auf Fugenabdichtungen

Obwohl nach DIN 18540 Anstrichstoffe vermieden werden sollen, sind Ausnahmefälle aus Schutzgründen möglich.

Allerdings ist die Anstrichverträglichkeit und Überstreichbarkeit zwischen den Beschichtungssystemen und dem Fugendichtstoff durch eine Prüfung nach DIN 52452-4, Prüfmethode A1, A2 und A3 nachzuweisen.

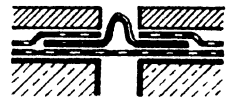
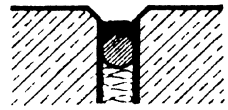
Dazu gehören:

a) Methylacrylatanstrich, **vor** der Verklebung des Fugenbandes (vgl. Abb. 3.37).

Auf dem Anstrich ist ein zweilagiger Epoxidharzanstrich (Sperrprimer) aufzubringen, und um eine saubere Randbegrenzung des Epoxidharzanstriches sicher zu gewährleisten, müssen die Ränder abgeklebt werden.

Auf dem trockenen Anstrich wird das Fugenband verklebt, wobei in jedem Fall eine schlaufenförmige Form des Bandes hergestellt sein muss, damit die Klebestelle bei Bewegung der an die Fugen angrenzenden Wände durch das Band nicht auf Zug beansprucht

Tab. 3.9 Übersicht über Fugenarten, Dichtstoffe und Einsatzmöglichkeiten

Arten der Dichtstoffe Form	Bezeichnung	Werkstoff	Fugenarten	Bauteil/ Bauwerk
Elementdichtstoffe	Folie	Metall		Brücken Terrassen
	Profile	Kautschuk oder Kunststoff		Fertigteile Verblendungen
	Bänder	Kunststoff		Brücken Behälter
Massendichtstoffe	feste Stoffe	Mörtel		Beläge Rissfüllungen
	gussförmige Stoffe	Heißvergussmasse		Betonfahrbahn
	elastische Stoffe	Silikon-Kautschuk Polyurethan Polysulfid-Kautschuk		Fertigteile

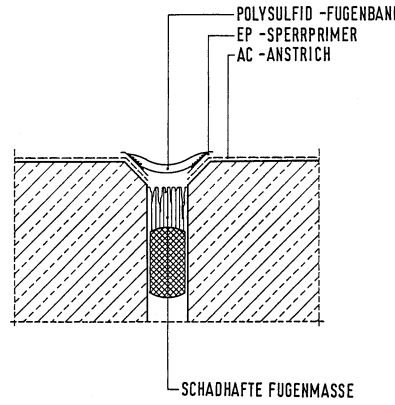


Abb. 3.37 Aufbringen eines Methacrylatanstriches. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

wird (der Acrylatanstrich soll nicht durch Spannungen senkrecht zu seiner Ebene beansprucht werden!).

Alternativ kann bei Methacrylatanstrichen auf den Sperrprimer dann verzichtet werden, wenn die Verklebung der Fugenbänder mit einem Kleber erfolgt, der sowohl mit der Dichtungsmasse als auch mit dem *Anstrich* verträglich ist (Hybridkleber).

b) Methylacrylatanstrich **nach** der Verklebung des Fugenbandes:

Auf den Beton wird im Fugenbereich ein zweilagiger Sperrprimer (Epoxidharz) aufgebracht und anschließend das Fugenband verklebt.

Danach sollte das Fugenband mit einer Schutzfolie vollständig überklebt werden, um den Methacrylatanstrich bis zur Schutzfolie ausführen zu können.

Bei der Verwendung von *Silikonbändern* ist Folgendes zu beachten:

- Bei manchen Silikonbändern besteht die Gefahr, dass Weichmacher freigesetzt werden, die eine klebrige Oberfläche auf dem Band erzeugen, so dass erhebliche Verschmutzungen auftreten.
- Silikonbänder lassen sich aufgrund ihrer hohen Elastizität schwierig verarbeiten. Um die Stellen der Verklebung von Spannungen freizuhalten, ist die Verwendung vorgeformter Bänder dringend zu empfehlen.

3.4.3.5 Mögliche Schadensursachen

Primer

Insbesondere lösungsmittelhaltige Primer sind zwar in der Regel sehr gute Haftvermittler, können aber große Schäden verursachen, wenn sie z. B. auf Acrylglas- oder Polycarbonatbasis verwendet werden. Dies gilt gleichermaßen für lösungsmittelhaltige Reiniger.

Auch bei Sperrprimern kommt es zu Schäden, weil diese nicht die übliche Haftung vermitteln, sondern die Fläche porenfrei absperren sollen.

Schon kleinste Fehlstellen lassen eine Materialunverträglichkeit entstehen, die langsam die Haftung aufheben kann.

Dichtstoffmaterial

Fugendichtungsmittel und -bänder mit zu wenig Bindemittelanteilen führen zu früher Versprödung, Rissbildung und Zerstörung des Materials.

Frühbeanspruchung, d. h. die Einbringung der vollen Dehnung oder Stauchung in

das noch nicht erhärtete Material kann durch Störung des Härteprozesses zu Schäden führen.

Von großer Bedeutung ist hierbei die Verwendung eines weichelastischen Dichtstoffs, der die Spannungen in der Fuge abzubauen vermag und Haftschäden verhindert.

Hierbei haben sich Polysulfidstoffe bewährt. Bei Fugenbandverklebung kann dieser Fall dann auftreten, wenn statt schnell härtender 2-Komponenten-Klebemassen relativ langsam erhärtende 1-Komponenten-Klebemassen verwendet werden.

Fehlerhaftes Mischen von 2-K-Dichtstoffen mit zu schnellen Rührwerkzeugen oder bei zu kurzen Mischzeiten kann zum sog. „Kaugummieffekt“, zu Oberflächenrissen, zu Faltenbildung, zum Abkreiden oder zu Blasenbildung im Material führen.

Auch zu sparsam eingebrachter oder schrumpfender, versprödeter Dichtstoff führt zu Schäden. In diesen Fällen kann der Dichtstoff die Fugenbewegung nicht mehr aufnehmen.

Bei der Verarbeitung von Silikonbändern bestehen hinsichtlich der Verträglichkeit mit dem Untergrund dann keine Probleme, wenn die Bänder auf dem Methacrylatanstrich verklebt werden.

Putze

Bei Kunststoff-Dünnputzen können Schäden wegen Unverträglichkeit auftreten, wenn z. B. beim Zusammentreffen von Polysulfid-Dichtstoffen und Acrylatputzen auf den erforderlichen Primer verzichtet wurde.

Die Abb. 3.38 und 3.39 zeigen Fugenschäden bei Mauerwerksfugen, die auf unzureichende Planung oder nachlässige Ausführung zurückzuführen sind.

Bei den Schäden im Bereich der Fugenabdichtung wird unterschieden zwischen Adhäsions- und Kohäsionsrissen (d. h. Abrissen vom Untergrund und Durchrissen im Dichtstoff selbst) und den alterungsbedingten bzw. materialbedingten Schäden der Dichtungsmassen.

Die Risse in den Dichtungsmassen sind oftmals auf eine ungenügende Fugenbreite zurückzuführen, die Abb. 3.40, 3.41 und 3.42 zeigen Schadensbilder bei Fugen von Betonfertigteilen.



Abb. 3.38 Schaden an einer Verblenderschale. Die Ecke der Verblenderschale von der Westseite zur Nordseite ist nicht durch eine Fuge getrennt. Durch Verschiebung der warm gewordenen Verblenderschale kommt es zu einer Zerstörung der Ecke. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

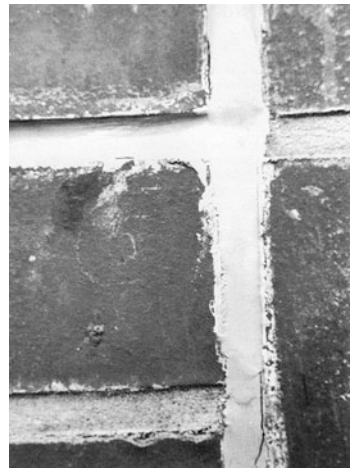


Abb. 3.39 Schaden an einer Stoßfuge. Das Absetzen des Dichtstoffs von der Steinfugenflanke beruht auf einem unzureichenden Voranstrich, der nicht in der Lage war, in den Stein einzudringen, die Wasserwanderung zu verhindern und sich in den Untergrund zu verankern. Bei den Schadensbildern muss unterschieden werden zwischen den Schäden im Bereich der Fugenabdichtung und den Schäden im Bereich der Wandseitenränder. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Abb. 3.40 Mittiger Riss der Dichtungsmasse



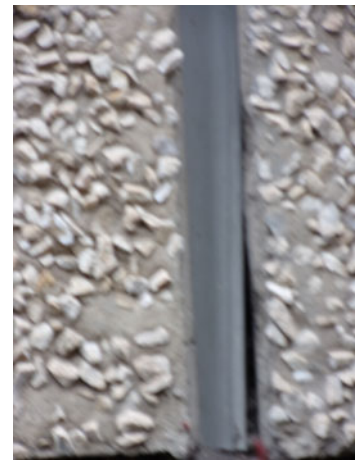


Abb. 3.41 Flankenabriss



Abb. 3.42 Mittig und an der Flanke gerissener Dichtstoff

3.4.4 Zusammenfassung

Wie nahezu bei allen Bauvorhaben haben zu Schäden meistens mehrere Beteiligte auf unterschiedliche Weise und aufgrund diverser Ursachen beigetragen.

Die Fehlleistungen bei den Fugen betreffen sowohl die Planung und Statik durch fehlerhafte Berechnung der Bauwerksbewegungen, des Fugenrasters und der Fugenbreiten als auch die falsche Auswahl der Dichtstoffe, und nicht zuletzt die mangelhafte handwerkliche Ausführung.

Fugenmörtel sind feine geschmeidige Kalkzementmörtel oder reine Zementmörtel, die als mineralische, spezielle, historische Fugenmörtel oder Fugengips zum Einsatz kommen.

Um weiteren Anforderungen zu genügen, sind Fugendichtstoffe erforderlich. Sie werden in Elementdichtstoffe und Massendichtstoffe eingeteilt. Zu den Elementdichtstoffen zählen Folien, Profile und Dichtungsbänder.

Massendichtstoffe sind gieß-, spachtel- oder spritzfähige Dichtstoffe, die nach der Verarbeitung fest werden, plastisch bleiben oder elastisch sein können.

Obwohl nach DIN 18540 Anstriche vermieden werden sollen, sind Ausnahmefälle aus Schutzgründen möglich. Allerdings ist die Verträglichkeit zwischen dem Beschichtungssystem und dem Fugendichtstoff durch eine Prüfung nachzuweisen.

3.5 Fugenbänder und Fugenprofile

3.5.1 Vorbemerkungen

Das Sortiment der **Fugenbänder** wird überwiegend im Beton- und Stahlbetonbau eingesetzt und hat vielfältige Aufgaben zu erfüllen.

Sie werden zum überwiegenden Teil aus thermoplastischen Kunststoffen hergestellt und sind nach DIN 18541 T1 „bandförmige Erzeugnisse mit bestimmter, in ganzer Länge durchgehender Profilierung".

Sie bestehen aus einem mittleren Dehnteil und zwei, jeweils außenliegenden Dichtteilen (Abb. 3.43).

Sie dienen z. B. dazu, funktionell größere Fugenbreiten zu erreichen, wenn die Fuge zu schmal ist, um Bewegungen abfangen zu können, oder es kommen auch oftmals Fugenbänder zum Einsatz, wenn infolge falsch dimensionierter Fugen zu breite Fugen im Rahmen der Sanierung abgedichtet werden müssen.

Einsatzhinweise:

- Sie sollen sich leicht, sicher und kostensparend einbauen lassen.
  Hierbei spielen Fragen wie Steifigkeit des Bandes, besondere Bewegungsführung im Fugenbereich, Einfachheit der Stirnschalung, Befestigungsmöglichkeiten des Bandes an der Schalung und der Bewehrung sowie eine sichere Verdichtung des Betons im Fugenbereich eine wesentliche Rolle.
- Sie sollten im Dichtungsteil eine hohe Sicherheit gegen Wasserumläufigkeit haben und möglichst weitgehend unempfindlich gegenüber Betonierfehlern sein, insbesondere beim Verdichten mit dem Flaschenrüttler.
- Sie müssen im Bewegungsteil große Verformungen aufnehmen können, ohne zu Bruch zu gehen oder aus ihrer Verankerung zu reißen.

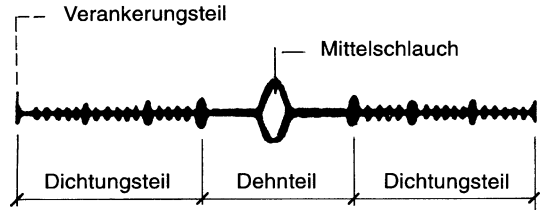


Abb. 3.43 Fugenband – Grundaufbau. (Quelle: MIGUA-Fugensysteme, Wülfrath)

Ein Unterscheidungsmerkmal ist die Einteilung nach *innen-* und *außenliegenden Dehn-* und *Arbeitsfugenbändern* (vgl. DIN 18541).

Die Entwicklung der Fugenbandtypen und -formen ist, wie auch bei anderen Anforderungen für Problemlösungen der Fugendichtung, auch auf diesem Gebiet noch kein abgeschlossener Prozess.

Die Abb. 3.44 zeigt das Funktionsprinzip des Fugenbandes und Abb. 3.45 schematisch die Fugenbandtypen und Fugenbandformen.

In der Praxis hat sich seit langem die Herstellung von Fugenbändern aus folgenden Werkstoffen (Tab. 3.10) bewährt.

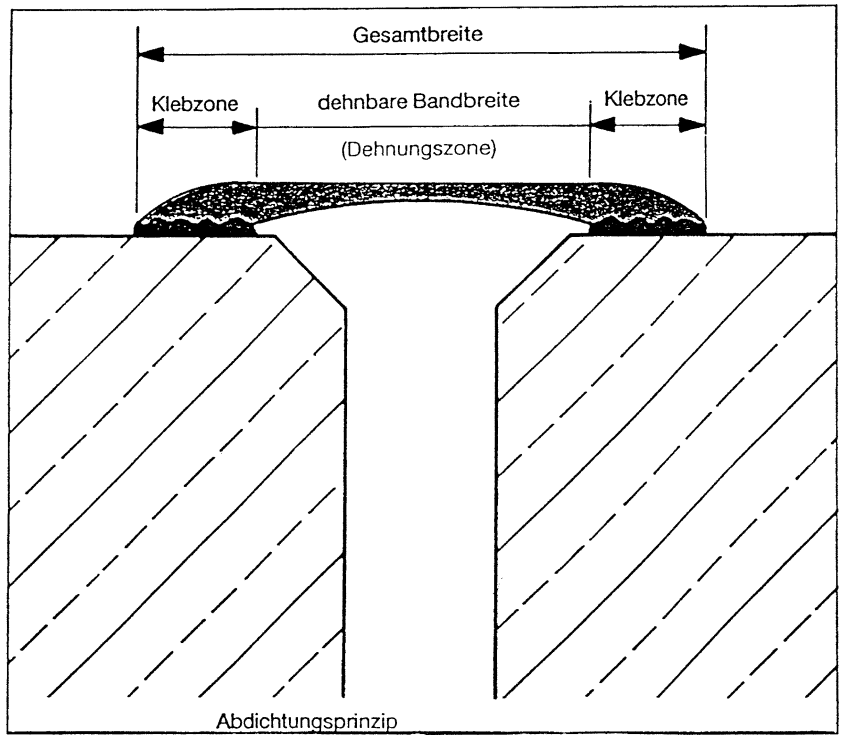


Abb. 3.44 Funktionsprinzip des Fugenbandes. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Tab. 3.10 Werkstoffe für Fugenbänder

PVC-P (weiches PVC)	Elastomer-Fugenbänder	Tricomer-Fugenbänder
Seit 1927 als Fugenbänder, normale Beanspruchung, weitgehend säure- und laugenfest, physikalisch unbedenklich, öl- und bitumenbeständig	Bei extrem starken Fugenbewegungen (bis 7 cm) halten sie noch dem Wasserdruck stand, verschweißbar	Spezialpolymer hohe Bruchdehnung, chemikalienbeständig, dauerelastisch, alterungsbeständig

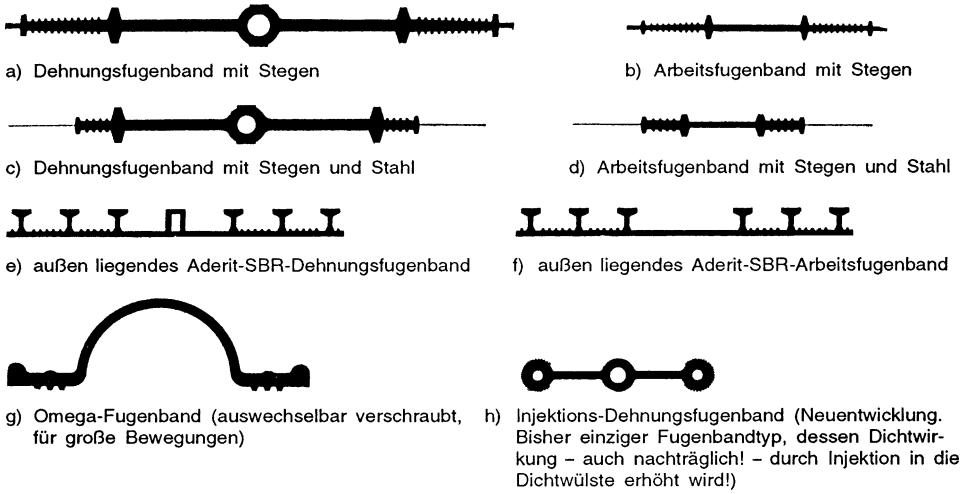


Abb. 3.45 Fugenbandtypen und -formen. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

3.5.2 Dichtungsprinzipien bei Konstruktionsfugen

Für Konstruktionsfugen bei denen die Anforderungen besonders hoch sind, haben sich nach REUL /7/ vier Dichtungsprinzipien herausgebildet.

a) Einbettungsprinzip

Bei diesem Prinzip geht man davon aus, dass Fugenbandteile satt im Beton eingebettet werden und durch eine kraftschlüssige Verbindung bzw. hohe Haftung zwischen Fugenmaterial und Beton eine innige Verbindung eingehen. Auch Fugenbänder, mit Fugenblechen kombiniert, bauen nur eine sehr geringe Haftspannung auf.

Hinweis zur Anwendung im Gründungsbereich:

Beton und Dehnungsfugen, die z. B. dauerndem Wasserdruck ausgesetzt sind, können deshalb auf diese Art *nicht* oder nur *unvollständig abgedichtet* werden (Abb. 3.46).

b) „Anflanschprinzip“

Hierbei werden die Fugenbänder nicht im Beton eingebettet, sondern nachträglich *angeflanscht.*

Dabei ist es wichtig zu wissen, dass für die Wirksamkeit dieses Dichtungsprinzips immer ein Material eingesetzt werden muss, das auch unter Druck eine dauerhafte Rückstellkraft besitzt. Für Sonderlösungen mit sogenannten Klemm-Konstruktionen bieten einzelne Hersteller bestimmte Profile an (Abb. 3.47).

c) Labyrinthprinzip

Ziel dieses Prinzips ist der Abbau des Wasserdrucks durch einen langen, komplizierten Wasserumlaufweg.

Bei der Profilgebung des Fugenbandes ist für die Wirksamkeit des Labyrinthprinzips u. a. die Zahl der sogenannten Dichtriffeln und deren Winkel sowie deren Größe mitaus-

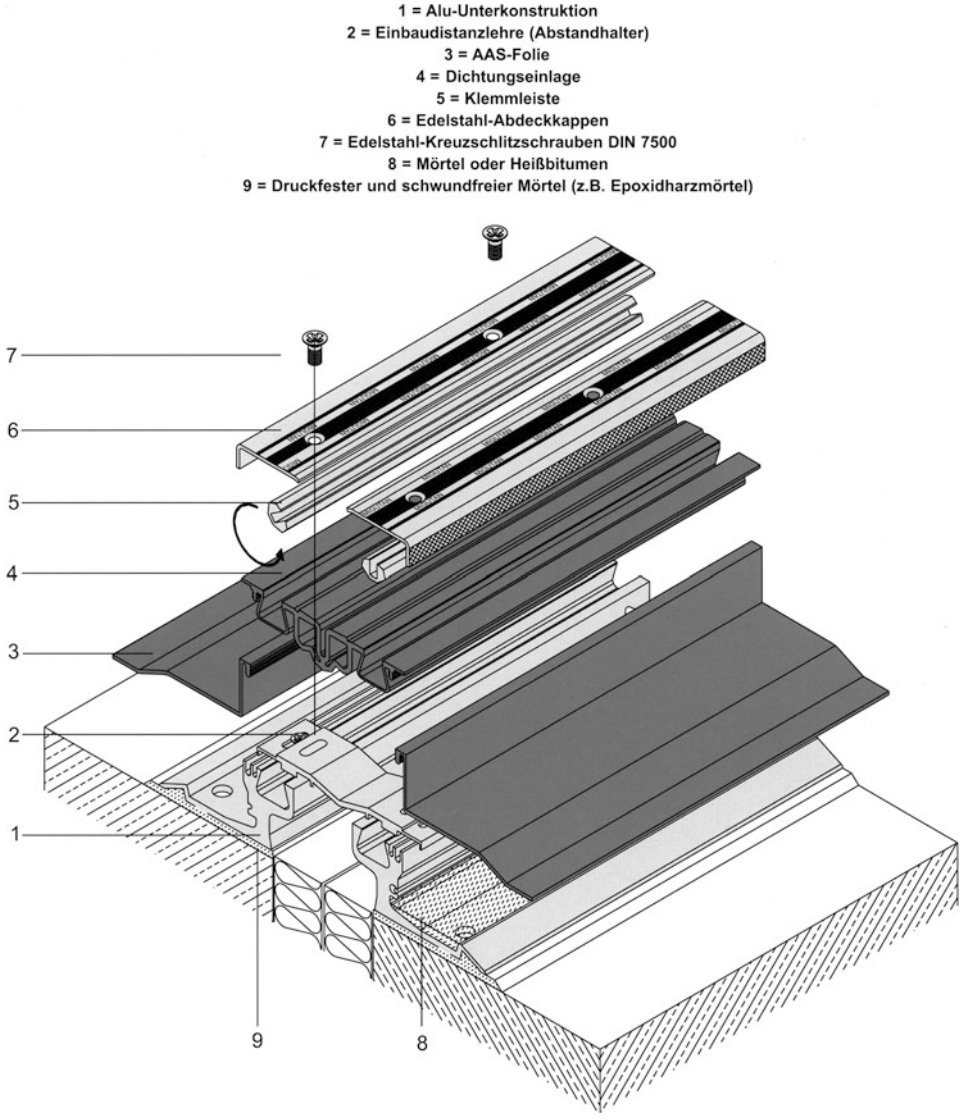


Abb. 3.46 Einbettungsprinzip. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

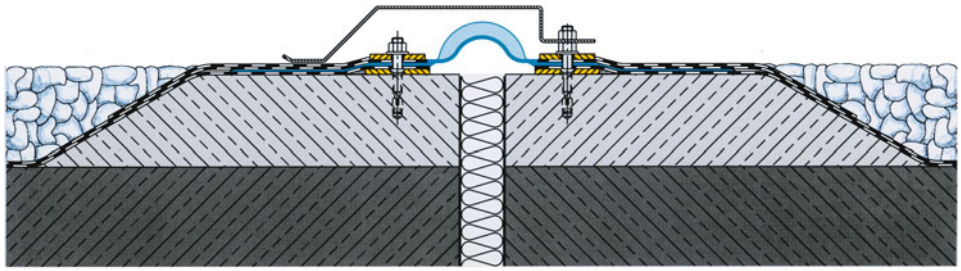


Abb. 3.47 Das „Anflanschprinzip". (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

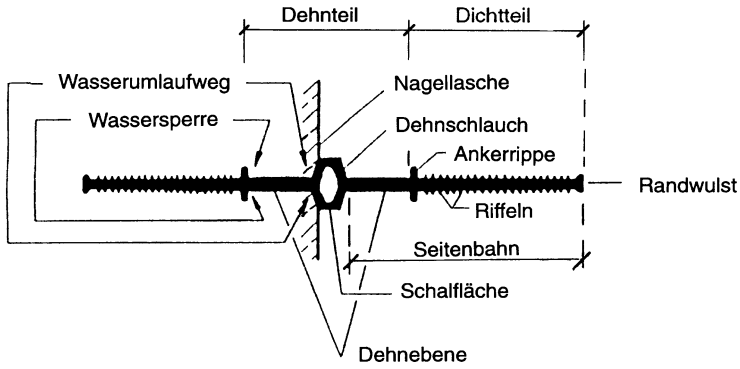


Abb. 3.48 Das Labyrinthprinzip. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

schlaggebend. Die Abb. 3.48 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Fugenbandes nach dem Labyrinthprinzip.

Lage und Einbau der jeweiligen Fugenbänder ergeben sich aus dem *Anforderungsprofil.*

Danach sind die Fugenbänder entweder innen- oder außenliegend anzubringen.

In Sonderfällen gibt es sogenannte Fugenabschlussbänder. Beim Einbau ist grundsätzlich darauf zu achten, dass die jeweils verbleibende Fugenbandfläche sauber und ohne Betonreste verbleibt, damit auch die Abdichtungsfunktion voll erfüllt werden kann.

Die Fugenbänder dürfen selbstverständlich nicht durchlöchert werden, z. B. durch Nageln. Dies gilt besonders für den Dichtteil. Einige Hersteller haben an ihren Fugenbändern Arbeitshilfen, z. B. Nagellaschen, angebracht.

d) Anpressprinzip

Ergänzend, *der Vollständigkeit wegen*, soll auch noch das Anpressprinzip mit benannt werden, welches jedoch im Rahmen der Sanierung kaum eine Rolle spielt.

Danach soll die Dichtung zwischen Fugenbandteilen und dem Beton durch wechselseitiges Anpressen entstehen.

Da dieses Prinzip kaum noch angewandt wird, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden. Bei Altbauten können sie noch auftreten, werden aber zunehmend durch „Anflansch"- oder Labyrinthprinzip ersetzt.

3.5.3 Verlegung von Fugenbändern

Fugenbänder werden seitlich auf Fugenränder aufgeklebt.

Die Fugenbandüberklebung ist auch dann angebracht, wenn in der Fuge eine Masse vorhanden ist, die es nicht zulässt, einen neuen Dichtstoff einzubringen.

Das Fugenband kann plan geklebt, als Schlaufe der Fuge angepasst oder auch als Abdichtung in einer Ecke eingesetzt werden (Abb. 3.49).

Alte Fugenabdichtungen können im Normalfall in der Fuge bleiben.

Nur dann, wenn das Fugenband auf dem alten Dichtstoff aufliegt, ist über den alten Dichtstoff ein trennender Folienklebstoffstreifen zu legen.

Es muss gewährleistet sein, dass weder der Kleber noch das Fugenband Kontakt mit dem alten Dichtstoff eingehen, weil dadurch eine *Dreipunkthaftung* entstehen kann, welche die Funktion des Bandes behindert.

Der ***Kleber*** muss aus dem gleichen Material wie das Band bestehen und tixotrop eingestellt sein, damit das Band während der Aushärtung nicht abrutscht, und er muss auch im ausgehärteten Zustand fester und härter als das Material des Fugenbandes sein.

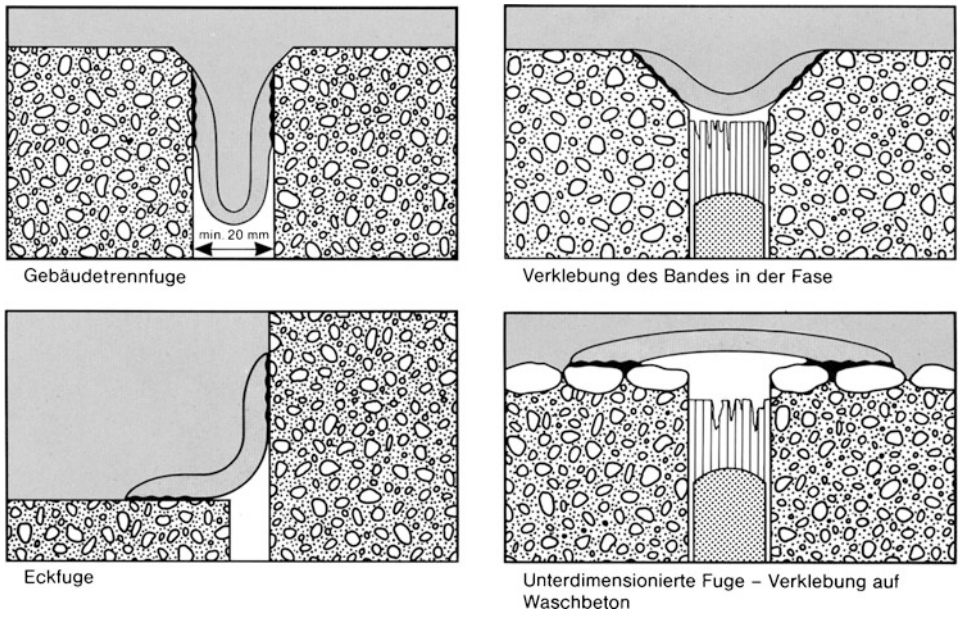


Abb. 3.49 Varianten von Fugenbandanordnungen. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)



Abb. 3.50 Fugenband, gestalterisch einbezogen

Als Vorbereitung der Verklebung wird die Klebefläche von alten Anstrichresten, Schmutz und möglicherweise Zementleim befreit und muss eine glatte Fläche bilden.

Diese Fläche muss den flüssigen Haftvoranstrich so aufnehmen, dass ein Teil davon in den Baustoff der Fugenflanken eindringen kann.

Das ist deshalb erforderlich, damit die Grenzfläche zum Baustoff nicht vom Wasser unterlaufen werden kann, wodurch der Haftvoranstrich gelöst würde. Der Kleber darf keinen Film auf der Baustoffoberfläche bilden. Er muss in den Baustoff eindringen und dann auf den Voranstrich aufgebracht werden, solange dieser sich noch im Abbindeprozess befindet.

Abb. 3.50 zeigt ein Fugenband auf einer Fassade, welches in deren Erscheinungsbild gestalterisch einbezogen wird.

Auch auf schwierigen Flächen, wie hier in der Abbildung, kann man die Fugenbänder sauber verlegen.

Beim **Aufkleben** wird das Fugenband auf die vorbereitete Klebefläche aufgelegt und angedrückt.

Klebeseite und Klebeflächen sind auf dem Band durch eine Riffelung gekennzeichnet. Damit kann die Klebefläche genau eingehalten werden. Die Stoßbreite sollte max. 3 mm betragen. Der Zwischenraum im Stoß ist sorgfältig mit dem gleichfarbigen Kleber auszufüllen.

Die **Ränder** müssen exakt begrenzt werden. Das erreicht man mit einem Klebestreifen, der nach der Aushärtung wieder abgezogen wird.

3.5.3.1 Ausführungsarten

Die beiden Hauptausführungsarten, *Dehnfugenbänder* und *Arbeitsfugenbänder*, sind für sehr unterschiedliche Aufgabenstellungen geschaffen.

Dehnfugenbänder sind verschiedenen Beanspruchungen ausgesetzt (Abb. 3.51).

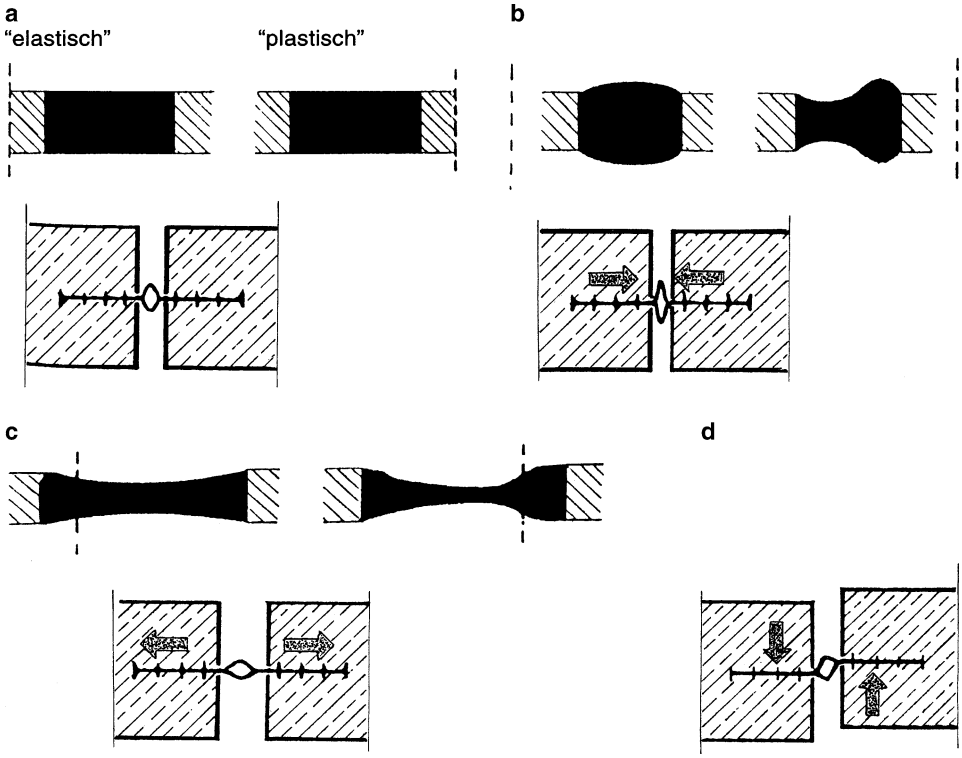


Abb. 3.51 Beanspruchung eines Dehnfugenbandes. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Sie überbrücken Bewegungen von Betonteilen, ohne dass Undichtigkeiten entstehen können.

a) Ruhezustand (Einbauzustand)
b) Stauchung (Druck)
c) Dehnung
d) Zerrung

Man unterscheidet zwischen *innen-* und *außenliegenden* Fugenbändern (Abb. 3.52).

Innenliegende Dehnfugenbänder werden in nebeneinander liegende, voneinander getrennte Betonteile betoniert. Dabei ist darauf zu achten, dass das Dehnungsband nicht flachgedrückt wird und vollständig von Beton umschlossen ist. Der *Mittelschlauch* ist das Kennzeichen der innenliegenden Dehnfugenbänder.

Beim Einbau ist darauf zu achten, dass die Schalung an der Stelle, wo das Fugenband eingebaut werden soll, so ausgespart wird, dass der Mittelschlauch bequem aufgenommen werden kann.

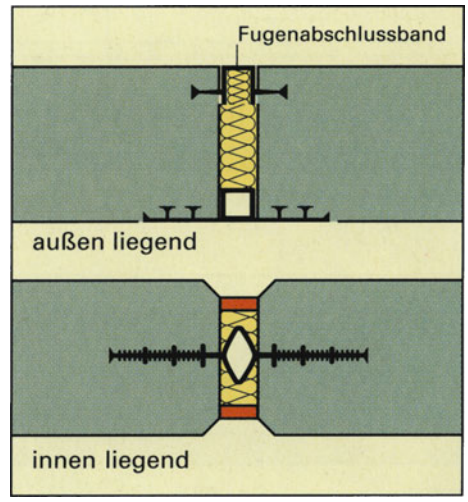


Abb. 3.52 Innen- und außenliegende Fugenbänder. (Quelle: ILS Hamburg)

Abb. 3.53 zeigt ein innenliegendes Fugenband einschließlich der Bauteilverbügelung im Randbereich.

Außenliegende Dehnfugenbänder werden an der Außenseite einbetoniert und bilden einen glatten äußeren Abschluss.

Arbeitsfugenbänder werden verwendet, wenn Bauteile nicht in einem Betonierabschnitt hergestellt werden können, z. B. dort, wo größere Betonmengen in mehreren Schichten einzubringen sind.

Sie verlaufen meist senkrecht im Bauteil und sollen im ersten bzw. zweiten Betonierabschnitt eingebaut werden, wobei die Fugenbänder innenliegend oder außenliegend eingebaut werden können.

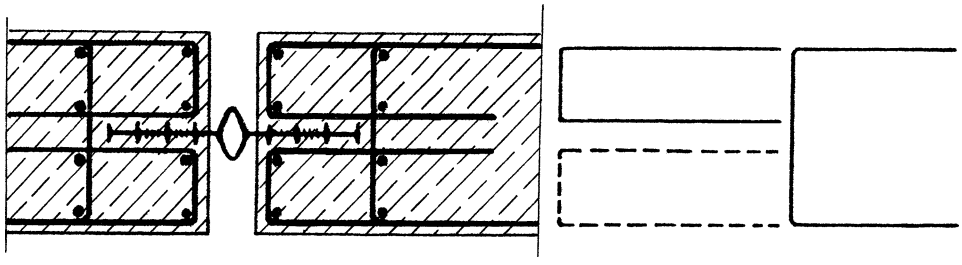


Abb. 3.53 Verbügelung von Fugenbändern. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Anstelle innenliegender Arbeitsfugenbänder können auch Stahlbleche verwendet werden. Arbeitsfugenbänder weisen im Gegensatz zu den Dehnfugenbändern *keinen Dehnteil* auf.

3.5.4 Injektionsschlauch

Eine wirksame Methode der Abdichtung einer Arbeitsfuge kann auch durch den Einbau eines Injektionsschlauches erreicht werden.

Die Wirkung der Injektionsschlauchsysteme beruht auf dem vollständigen Füllen der Hohlräume mit einem dauerhaften Füllstoff.

Diese Schläuche werden beim Schalen oder Bewehren etwa in der Mitte der Arbeitsfuge eingelegt und an der Bewehrung befestigt.

Injektionsschläuche mit einem Innendurchmesser von etwa 8 mm und einem Außendurchmesser von 15 bis 20 mm sind von außen gegen das Eindringen von Zementleim dicht und halten dem Druck des Frischbetons stand.

Nach dem vollständigen Erhärten des Betons wird in den Schlauch flüssiges Kunstharz eingepresst. Der Schlauch ist so beschaffen, dass Kunstharz im Bereich der Arbeitsfuge austreten kann, dabei den Fugenspalt, Fehlstellen und Risse ausfüllt und dauerhaft abdichtet. Im Gegensatz zum Arbeitsfugenblech und Fugenband müssen Injektionsschläuche nicht in den Betonierabschnitt einbinden. Damit ergeben sich Vorteile hinsichtlich Flexibilität, Einbau und Verlauf des Abdichtungssystems. Weitere Hinweise finden Sie in den Herstellerrichtlinien oder im DBV-Merkblatt „verpresste Injektionsschläuche für Arbeitsfugen“.

3.5.5 Fugenprofile

Fugenprofile müssen sowohl konstruktive als auch dekorative Funktionen erfüllen. Die Vielfältigkeit der Aufgaben erfordert auch unterschiedliche Fugenprofile.

Verschlussdeckprofile gibt es in folgenden Varianten: *Quetsch-* und *Klemmprofile*, *Hohlprofile*, evakuierbar, mehrteilige *Band-*, *Klemm-* und *Schnappprofile*, mehrteilige, überlappende *Schiebeprofile* (Abb. 3.54).

Die Profile müssen entweder aufgrund der material- oder konstruktionsspezifischen Rückstellfähigkeit (Elastizität) oder anderer konstruktiver Einzelheiten in der Lage sein, Bewegungen der angrenzenden Bauteile aufzufangen.

Abb. 3.55 zeigt ein Abdeckungsprofil zur Abdeckung eines Fugenbandes im Erdgeschoss, aus optischen Gründen, aber auch im Sinne einer Schutzfunktion gegen Vandalismus.

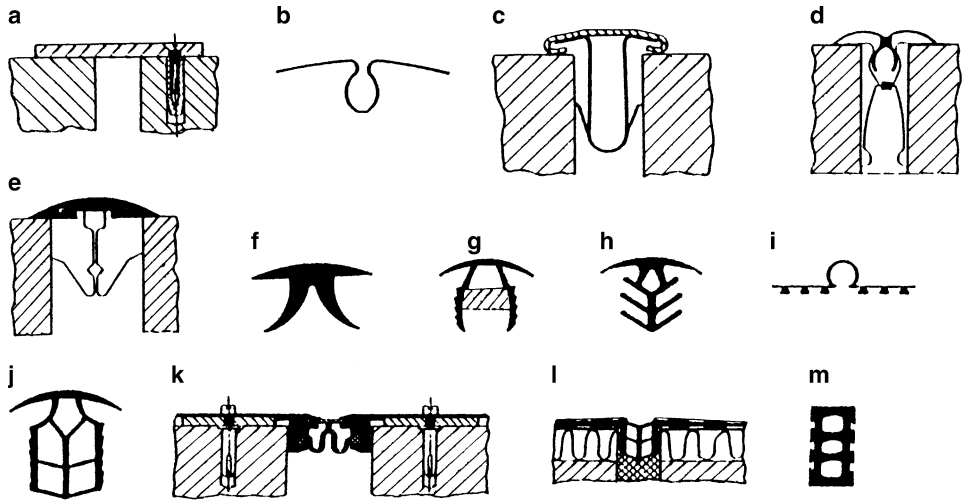


Abb. 3.54a–m Verschlussdeckprofile. Unbelastbare Fugenprofile: **a** Abdeckung, **b** Fassadenklemmprofil (Metall), **c** und **d** Fassadenprofil mit Haltefedern (60 mm-Stücke), **d** Kunststoffprofil mit Haltefedern, **f** bis **h** Kunststoff-Klemmprofile, **i** Einputz-Profil, **j** Klemmprofil mit gefaltetem Mittelstück, **k** Wandprofil, **l** Klemmprofil mit Seitenflanschen für Dachabdichtungen, **m** Pufferprofil. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)



Abb. 3.55 Abdeckprofil zum Schutz des Fugenbandes

3.5.6 Zusammenfassung

Fugenbänder sollen eine gewisse *Elastizität* innerhalb der Fugen *gewährleisten*.
Sie sollen im Bewegungsteil *große Verformungen* aufnehmen können.
Überwiegend werden sie aus *thermoplastischen Kunststoffen* hergestellt.
Für die konstruktive Ausführung haben sich *vier Dichtungsprinzipien* herausgebildet.

Das sind:

- *Anpressprinzip*,
- *Einbettungsprinzip*,
- „*Anflanschprinzip*“ und
- *Labyrinthprinzip*.

Die Stoffgrundlagen für Fugenbänder und Fugendichtwerkstoffe sind neben den schon bekannten Kunststoffen auch *Teer* und *Epoxidharz* oder Kombinationen von diesen Werkstoffen.

Profile müssen sowohl konstruktive als auch dekorative Funktionen erfüllen. Für die Gestaltung der vielfältigen Aufgaben steht eine große Auswahl unterschiedlicher Fugenprofile zur Verfügung.

3.6 Fugenformgebung und ihre Ausführung

3.6.1 Einführung

Neben den stofflichen Problemen der Auswahl geeigneter Fugenbänder, Fugenprofile und Dichtstoffe im Hinblick auf die Längen- und/oder Volumenänderung der Baustoffe/Bauteile infolge von Temperatureinwirkungen, Schwinden oder Quellen der Baustoffe oder Dehnungen durch Belastung und weiterer Einwirkungen, wie bereits beschrieben, sind die Fugen ständig einer Breitenänderung hinsichtlich einer Verengung oder ihrer Aufweitung unterworfen, die eine entsprechende konstruktive Lösung der Fugengestaltung voraussetzt, wenn z. B. das Dehn- und/oder Stauchvermögen der Dichtungsmasse nicht überschritten werden soll.

Diese Dehn- und Stauchvermögen der Dichtungsmasse, auch als Dauerdehnung oder Dauerelastizität bezeichnet, besagt, um wie viel Prozent die Dichtungsmasse – bezogen auf die ursprüngliche Fugenbreite (geplante „mittlere Breite“) – über Jahre hinaus eine Gesamtverformung durch Dehnen und Stauchen aufnehmen kann.

Falscheinschätzungen hierbei können zu Ablösungen/Abrissen der Dichtungsmasse an den Fugenflanken oder zu Rissen längs mittig in den Fugen führen.

3.6.2 Voraussetzungen zur Fugenabdichtung

Diese genannten Materialeigenschaften müssen beim Entwurf eines Bauwerks berücksichtigt werden, und beim Bauen mit großformatigen Bauteilen müssen diese zyklischen Längenänderungen besonders im Hinblick auf die Fugen beachtet werden.

Eine dauerhafte Fugenabdichtung muss also eine Fugenbreitenänderung aufnehmen können, ohne Schaden zu nehmen, sie muss elastisch sein.

Um funktionsgerechte Fugen zu gewährleisten, müssen eine ganze Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein.

Dazu gehören:

- eine richtige Einteilung bzw. Anordnung der Fugen bereits in der Planungsphase und
- die Abstände der Fugen sowie der Fugenbreite und die damit zu erwartende Fugenbreitenänderung müssen mit dem Dehn-Stauch-Vermögen der Dichtungsmaterialien in Übereinstimmung gebracht werden.

Zu den rechnerisch ermittelbaren thermisch- und feuchtigkeitsbedingten Längenänderungen von Bauteilen sind aber noch zusätzliche Toleranzen zu berücksichtigen, die die bei der Herstellung und durch die Montage der Bauteile auftretenden Maßabweichungen auffangen können.

Diese Toleranzen sollten dabei nicht zu gering berücksichtigt werden, da in der Praxis durchaus der Fall eintreten kann, dass sich Längenänderungen ungleichmäßig auf einzelne Fugen verteilen oder die üblichen Toleranzen bei der Montage der Fertigteile überschritten werden können!

Die Erfahrung zeigt, dass unterschiedliche Fugenweiten im Großtafelbau und/oder keilförmige Vertikalfugen sowie der Versatz der Platten nicht selten sind (Abb. 3.56 und 3.57).

- Bei der konstruktiven Ausbildung der Fugen ist zu gewährleisten, dass zumindest im Bereich der Abdichtung (Dichtstoff und Hinterfüllmaterial) die Fugenflanken parallel verlaufen.
- Des Weiteren sind bei Betonteilen die Fugenränder abzufasen. Das verringert nicht nur, darauf wurde bereits hingewiesen, die Möglichkeit einer Wasserumläufigkeit, sondern nicht abgefaste Fugenränder bilden oftmals auch scharfe Kanten, die besonders bei Fertigteilen immer gefährdet sind (Abb. 3.58).



Abb. 3.56 unterschiedliche Fugenbreiten



Abb. 3.57 Plattenversatz

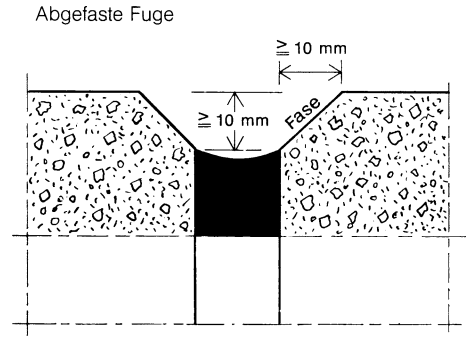


Abb. 3.58 Abgefaste Fuge. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Ausgebrochene und dann ausgebesserte Stellen bilden sich nicht nur häufig optisch negativ ab, sondern sie sind auch oftmals der Bereich einer undichten Stelle, an der Wasser eindringen kann.

3.6.3 Ausbildung der Außenwandfugen

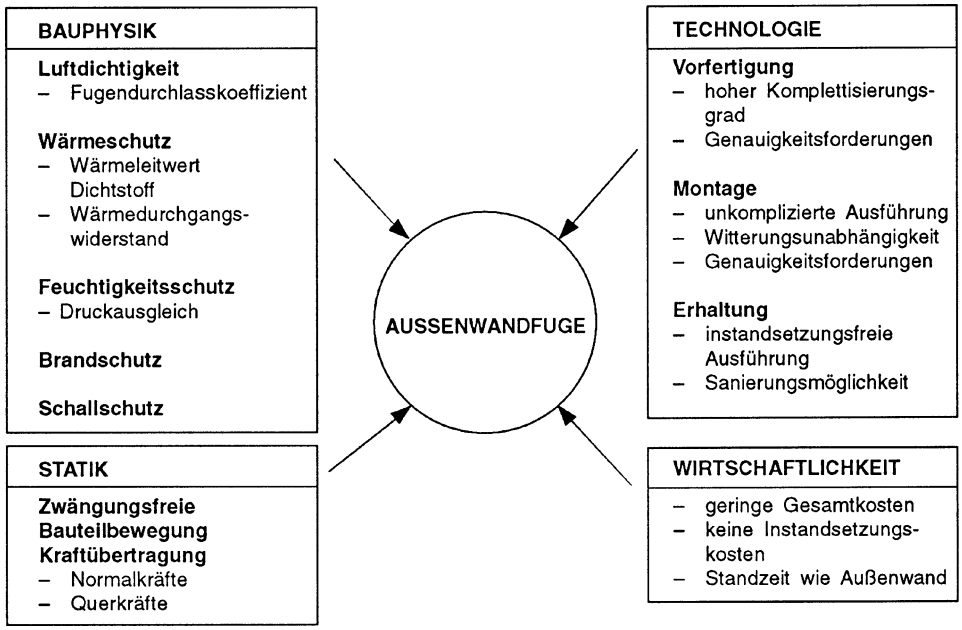
3.6.3.1 Anforderungen und Arten

Außenwandfugen sind nicht nur die am meisten strapazierten Fugen des gesamten Bauwerks, sondern haben auch einen wesentlichen Einfluss auf den optischen Gesamteindruck des Bauwerks, zumal wenn sie, wie bereits beschrieben, bewusst zum Erscheinungsbild der Fassade herangezogen werden.

Zwischen großformatigen Bauteilen stellen sie ein außerordentlich stark beanspruchtes Konstruktionsdetail der Außenwand dar, in dem die klimatischen, stofflichen und bauweisenspezifischen Einflüsse konzentriert wirken und kompensiert werden müssen.

In Tab. 3.11 sind die Anforderungen an die Außenwandfugen entsprechend konstruktiven und wirtschaftlichen Gesichtspunkten dargestellt.

Tab. 3.11 Anforderung an Außenwandfugen



Wie bereits unter den Konstruktionsprinzipien schematisch dargestellt, hat sich bei den Außenwandfugen von Bauelementen/Tafeln international durchgesetzt, dass zwei Fugenarten dominierend sind,

a) die geschlossene/einstufige Fuge (Abb. 3.59) und
b) die offene/zweistufige Fuge (Abb. 3.60)

Der Begriff der offenen Fuge wird – international üblich – auch für konstruktiv nicht geschlossene Fugenräume zwischen *hinterlüfteten Vorsatzschalen* angewandt.

Bei hinterlüfteten Außenwandkonstruktionen mit größeren Tafeln oder Platten muss sichergestellt sein, dass bei hoher Windgeschwindigkeit durch die Fugenplatten hindurch getriebene Wassertropfen, Hagel oder Flugschnee die Wärmedämmung bzw. die Innenschale der Außenwandkonstruktion nicht durchfeuchten können.

Für die Gewährleistung der Regendichtigkeit werden in der Regel die Fugen in Außenwänden mittels Schlagregensperren geschlossen.

Verschlussdeckprofile gibt es in folgenden Varianten (Abb. 3.61): Quetsch- und Klemmprofile, Hohlprofile, evakuierbar, mehrteilige Band-, Klemm- und Schnappprofile, mehrteilige, überlappende Schiebeprofile.

Die Profile müssen entweder aufgrund der material- oder konstruktionsspezifischen Rückstellfähigkeit (Elastizität) oder anderer konstruktiver Einzelheiten in der Lage sein, Bewegungen der angrenzenden Bauteile aufzufangen.

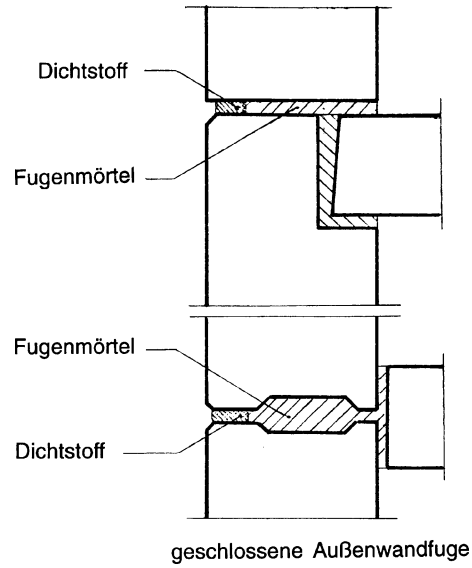


Abb. 3.59 Geschlossene Außenwandfuge, einstufig. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

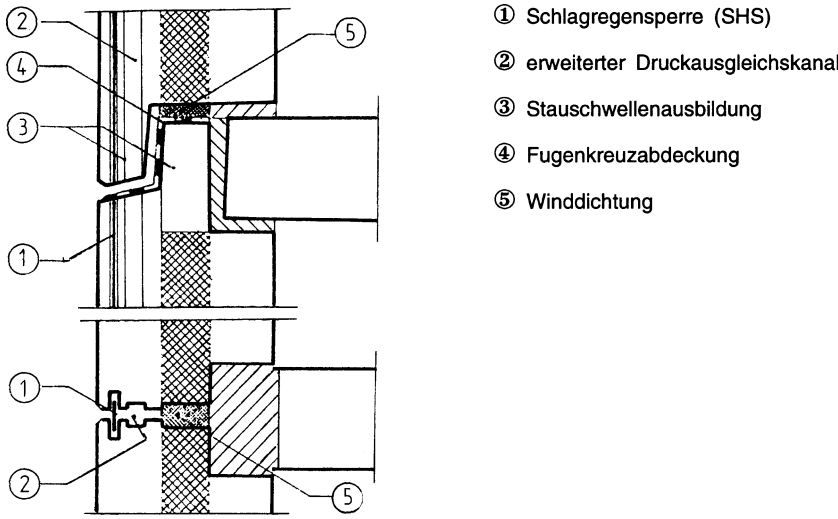


Abb. 3.60 Offene Außenwandfuge, zweistufig. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

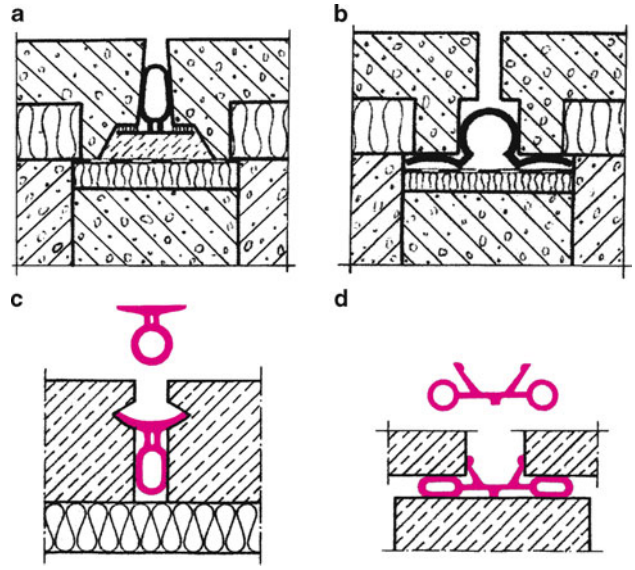
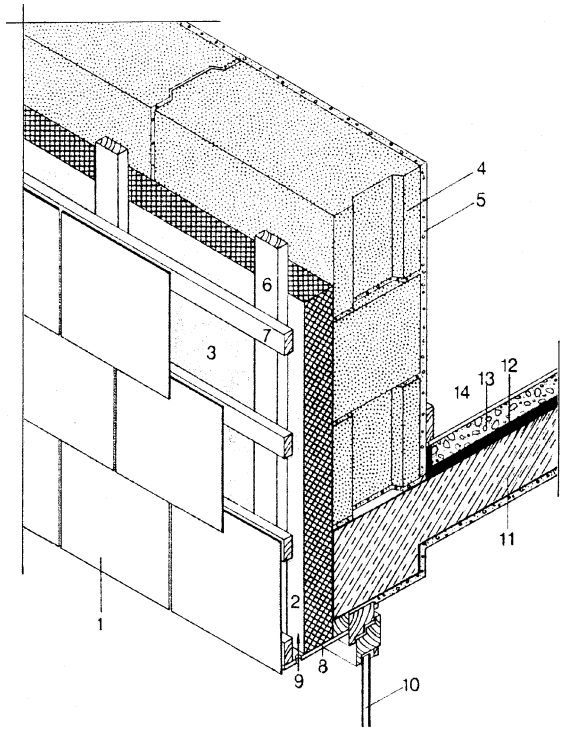


Abb. 3.61a–d Fugenprofile. **a** Abdeckprofil, **b** Fassadenklemmprofil, **c** Schlauchprofil, **d** vierlippiges Abdichtungsprofil. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)



1 Kleinformatige Verkleidungsplatte, z. B. Faserzement-Schuppenfassade
2 Luftschicht und Tragkonstruktion (Latten auf Konterlattung)
3 Mineralfaserplatte
4 Klimaleichtblöcke KLB 4 mit Normalmörtel
5 Innenputz
6 Konterlatte
7 Traglatte
8 Faserzement-Abdeckstreifen
9 Zugluft-Durchbrechungen
10 Fenster mit Isolierverglasung
11 Stahlbetondecke
12 Estrichdämmung
13 Schwimmender Estrich
14 Bodenbelag

Abb. 3.62 Außenwand mit hinterlüfteter kleinformatiger Verkleidung und Wärmedämmung. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Bei der Dimensionierung und Ausführung von Fugenabdichtungen durch **Fugendichtmassen** (siehe DIN 18540) ist große Sorgfalt geboten. Erfahrungsgemäß ist hier ein besonderes Schadenspotenzial vorhanden, weil

- entweder die zu erwartenden Bewegungen nicht richtig eingeschätzt,
- die Fugen falsch dimensioniert,
- die Dichtungsmaterialien nicht richtig verarbeitet oder
- die Fugenflanken und der Fugenraum nicht richtig vorbehandelt wurden.

Bei sogenannten „Vorhangfassaden“ können als Verkleidung Betonfertigteile, Metallplatten, Faserzementplatten, Kunststoff, Holz, Stahl, Aluminium, Glas und Keramik zur Anwendung gelangen (Abb. 3.62).

Sie hat nur eine vor der Witterung schützende und gestalterische, aber keine tragende Funktion.

3.6.3.2 Fugenkreuze

Eine der bautechnisch anspruchsvollsten Konstruktionen sind **Fugenkreuze**.

Trotz sachgerechter Planung und Ausführung der Vertikalfuge, stellt das Fugenkreuz häufig einen Schadensschwerpunkt dar.

In das Fugenkreuz münden die vertikalen Führungsnuten der Schlagregensperre und, wenn angeordnet, der dahinterliegende Druckausgleichskanal.

Bei einer Schlagregenbelastung erfüllen die Führungsnuten und je nach konstruktiver Ausbildung der erweiterte Druckausgleichskanal eine wasserableitende Funktion.

Wenn diese wasserführenden Elemente in der Nähe der Winddichtung enden, führen vor allem kapillare Wassertransportvorgänge zu Durchfeuchtungserscheinungen.

Abb. 3.63 zeigt einen Ausführungsvergleich, Verlauf der Schlagregensperre und des Druckausgleichskanals im Bereich des Fugenkreuzes mit Darstellung der Schlagregenwirkung.

Die folgenden **Konstruktionsregeln** sollen unter Berücksichtigung der geometrischen Abweichungen eine schadensfreie Abführung des anfallenden Regenwassers garantieren:

Die Schlagregensperre soll mit einem Sicherheitsabstand vor dem äußeren Abschluss der Winddichtung liegen.

Für die Anordnung des *erweiterten Druckausgleichskanals* wird zur Erhöhung der Sicherheit bei Funktionseinschränkungen der Fugenelemente ebenfalls ein *Sicherheitsabstand zum äußeren Abschluss der Winddichtung empfohlen*, der der Fugenbreite entsprechen sollte.

Ein wichtiges Konstruktionselement zur Wasserableitung stellt das *Abdeckelement* am Fugenkreuz dar (Abb. 3.64).

Angesichts der Formänderungen der Außenwandelemente sollte die Abdeckung **nicht flächig**, z. B. durch Kleben, mit beiden Wandelementen verbunden werden. Die Befestigung sollte so erfolgen, dass eine *Bewegungsaufnahme möglich* ist. Der Wassertransport

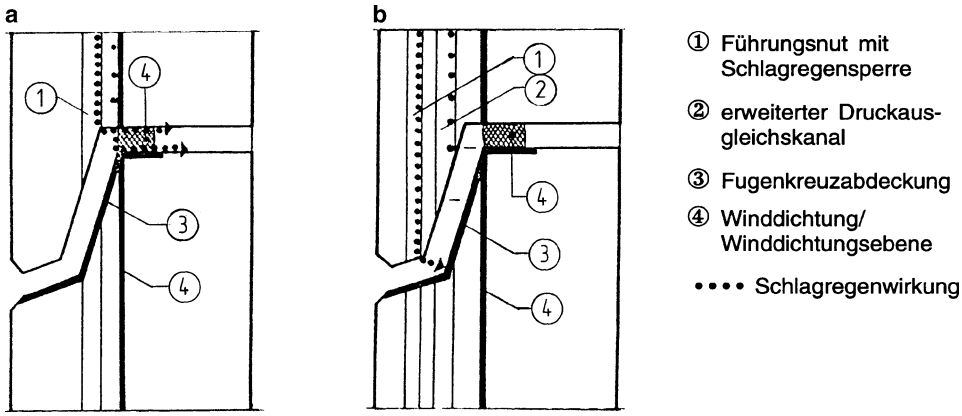


Abb. 3.63 Fugenkreuz. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

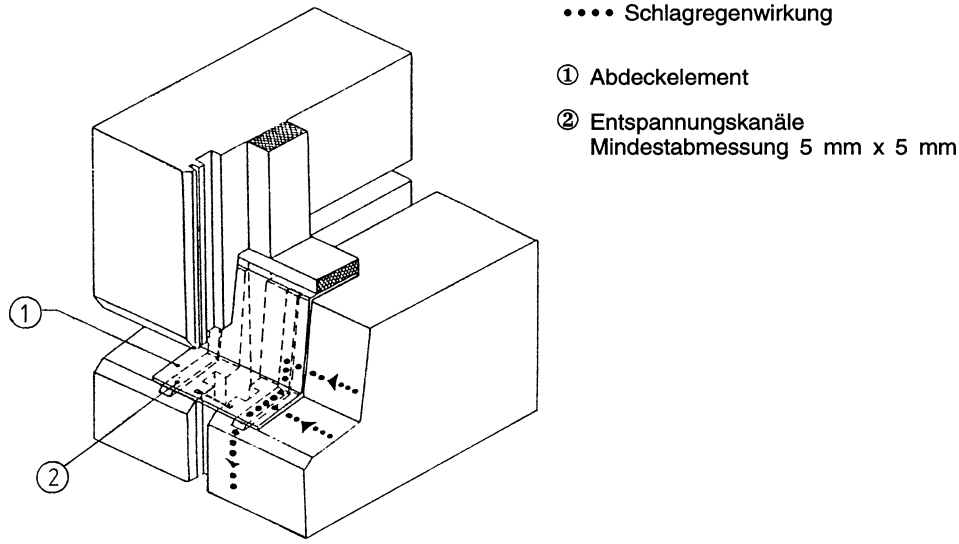


Abb. 3.64 Maßnahmen gegen kapillare Wasserleitung am Abdeckungselement, *1* Abdeckelement, *2* Entspannungskanäle, Mindestabmessung 5×5 mm^2. (Quelle: MiGUA-Fugensysteme)

unterhalb der Fugenkreuzabdeckung, vor allem durch kapillare Leitung des in der Horizontalfuge seitlich getriebenen Wassers, bildet die Ursache von Durchfeuchtungen.

Diese Wasserbewegungen können durch die Anordnung von Entspannungskanälen verhindert werden.

Den Wassereinwirkungen entsprechend sollten die Entspannungskanäle Mindestabmessungen von 5 mm aufweisen und mit der Außenluft in Verbindung stehen.

3.6.3.3 Ausbildungsdetails

Die Darstellungen in Abb. 3.65 beziehen sich auf Details

- bei der Formgebung,
- bei Genauigkeitsforderungen,
- bei Beachtung von Oberflächenbeschichtungen der Montageplatten im Randbereich.

Somit liegen nach der der DIN 18540 die Problemzonen bei der Gestaltung der Fugen auf den Fugenflanken, Fugenbreiten und der Oberfläche der Bauteile im Fugenbereich.

Die Maße hinsichtlich der Fugenbreite und der Dicke des Fugendichtstoffes wurden bereits mit der Tab. 3.2 und mit der Tab. 3.3 das Verhältnis von der Fugenbreite zur Fugentiefe vorgestellt, und die Abb. 3.17 zeigte auch, dass Fugenflanken in einem Verhältnis t zu b stehen müssen, um dem Hinterfüllmaterial ausreichenden Halt zu verschaffen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen die Fugenflanken bis zu einer Tiefe von $t = 2b$, mindestens aber 30 mm, parallel verlaufen.

Um der Gefahr der Umläufigkeit, wie bereits erläutert, zu begegnen, sind die Kanten nach Abb. 3.65 mit $a > 10$ mm abzufasen.

Die *Oberfläche der Bauteile* im Fugenbereich muss ausreichend dicht und der Beton genügend fest sein und den jeweiligen Qualitätsanforderungen entsprechen.

Haftflächen müssen frei von Verunreinigungen sein.

Sofern die Fugenflächen vorbehandelt werden, ist der Verarbeiter des Fugendichtstoffes über die Art der Vorbehandlung vor Beginn der Verfugungsarbeiten zu informieren.

Die DIN 18540 merkt dazu an:

> Da Rückstände von Entschalungsmitteln das Haften von Fugendichtstoffen beeinträchtigen können, ist es zweckmäßig, in einer Eignungsprüfung die Verträglichkeit des Entschalungsmittels mit dem vorgesehenen Fugendichtstoff und ihrem Voranstrichmittel festzustellen.

Ist es weiterhin erforderlich, schadhafte Stellen im Fugenbereich mit Mörtel auszubessern, so ist darauf zu achten, dass der Mörtel fest und rissfrei erhärtet, schlüssig mit dem Beton verbunden ist und die Haftfähigkeit des Fugendichtstoffs nicht beeinträchtigt wird.

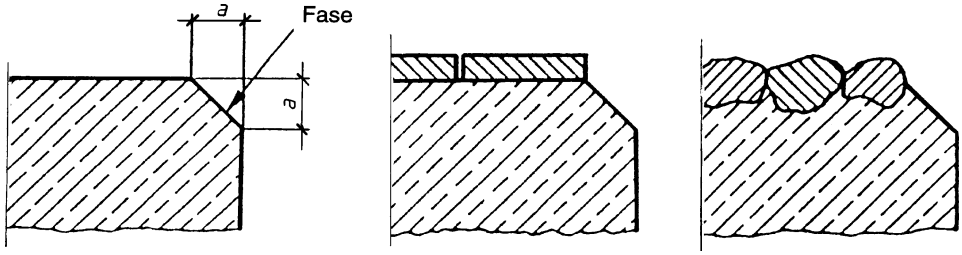


Abb. 3.65 Ausbildung der Kanten bei Bauteilen aus Stahlbeton. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

3.6.3.4 Einsatz von Dichtmassen

Allgemeine Hinweise zur Ausführung:

- die Bauteilfeuchte soll nicht über 4 % liegen und die Luft-, Bauteil- und Materialtemperatur soll mindestens 5 °C betragen,
- ggf. Betoninstandsetzungen, z. B. bei Kantenabplatzungen, durchführen; die Fugenflanken müssen fest und alter Fugenstoff muss entfernt sein,
- fachgerechter Einsatz des Primers,
- Dreiseitenhaftung vermeiden,
- Gewährleistung der Materialverträglichkeit,
- die Fugenränder sind sauber abzukleben,
- durch Trennfolien oder Hinterfüllmaterial ist die Haftung der Fugendichtmasse am Fugengrund zu verhindern oder bis zur Unschädlichkeit einzuschränken, um mögliche Überdehnungen zu vermeiden,
- die Trennfolien müssen so beschaffen sein, dass Fugendichtstoffe nicht fest darauf haften,
- Abglättmittel werden zur Egalisierung, d. h. zur Erzielung einer möglichst glatten Oberfläche erforderlich. Dabei ist darauf zu achten, nur solche Abglättmittel zu verwenden, die neutral sind, keine Verfärbungen des Fugendichtstoffes hervorrufen und auf dem Fugendichtstoff keinen Film hinterlassen (Gefahr der Kerbwirkung durch den aufreißenden Film bei der Dehnung des Fugendichtstoffes). Sie dürfen nicht die Haftung an den Fugenflanken beeinträchtigen.
- „Nicht frühwasserbeständige" Fugendichtmassen („nfb") müssen nach dem Anbringen durch geeignete Maßnahmen vor Wasserbeanspruchung geschützt werden.
- Das Hinterfüllmaterial muss eine gleichmäßige, möglichst konvexe Begrenzung der Fugentiefe sicherstellen.
- Es muss mit der Fugendichtungsmasse verträglich und darf nicht wassersaugend sein. Außerdem darf es die Formänderung der Fugendichtmasse nicht unzulässig behindern und keine Stoffe enthalten, die das Haften der Fugendichtungsmasse an den Fugenflanken beeinträchtigen können.
  Beim Hinterfüllen wird die Fugentiefe begrenzt und damit die Haftung auf dem Fugenboden verhindert.
- Bei relativ tiefen Fugen sind Rundprofile einzupressen. Der Durchmesser des Hinterfüllmaterials soll ca. 25 % größer sein als der Querschnitt der Fuge, damit es sich fest an die Fugenflanken anpresst.
- Bei geringer Fugentiefe können keine Rundprofile verwendet werden. Damit trotzdem die Haftung der Dichtmasse am Fugenboden vermieden wird, muss ein Polyethylenstreifen eingelegt werden.

Abb. 3.66 zeigt schematisch die Zerstörung der Dichtmasse bei Haftung am Fugenboden bzw. deren Verhinderung durch die Verwendung einer Trennfolie.

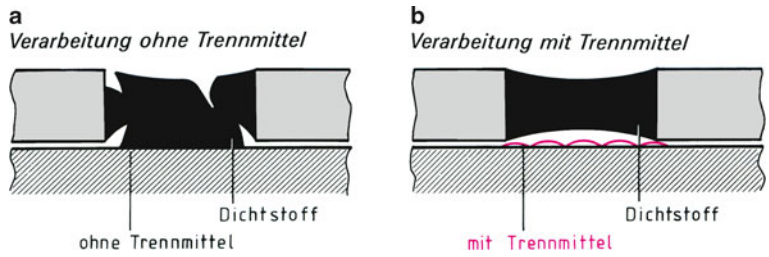


Abb. 3.66 **a** Der Dichtstoff wird durch die Haftung auf dem Fugenboden besonders beansprucht und reißt. **b** Ohne auf der Rückseite zu haften, kann der Dichtstoff Bewegungen ausgleichen und reißt nicht. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Das Abkleben der Fugen mittels Fugenbändern ist erforderlich, wenn an das Aussehen der Fuge besondere Anforderungen (Gewährleistung einer gleichmäßigen Breite, Überdeckungen optischer Beeinträchtigungen) gestellt werden. Dazu ist ein Selbstklebeband zu verwenden und sofort nach dem Glätten der Dichtungsmasse wieder abzuziehen.

Entsprechend DIN 18540 ist beim Einbringen des Fugendichtstoffes die Dicke im Zusammenhang mit der Fugenbreite zu beachten.

Wichtig ist, dass aufgrund der unterschiedlichen Untergrundanforderungen die technischen Verarbeitungshinweise des Herstellers exakt einzuhalten sind.

Bei kurzzeitiger Abkühlung des zu verfugenden Bauteils können Schäden durch zu frühe Dehnung des Fugendichtstoffes entstehen. Es darf deshalb bei höheren Temperaturen als 40 °C an der Wandoberfläche nicht verfugt werden.

Das Ansammeln von Niederschlagswasser hinter bereits durchgeführten Abdichtungen ist zu verhindern. Deshalb ist der Fugendichtstoff in senkrechten Fugen *von oben nach unten* einzubringen.

Ist das wegen der baulichen Verhältnisse nicht möglich, so sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, z. B. Abdeckung der oberen Anschlüsse, Einbau von Entwässerungsröhrchen.

Mehrkomponenten-Fugendichtstoffe sind nach Angabe des Herstellers im vorgeschriebenen Mischungsverhältnis vollständig und gleichmäßig zu mischen. Der Schichtenaufbau hat sorgfältig und einzeln zu erfolgen. So ist es beispielsweise erforderlich, den Fugendichtstoff erst nach ausreichender Ablüftungszeit des Voranstriches (Primers) aufzubringen.

Dabei ist zu beachten, dass durch die Verdunstungskälte des Lösungsmittels Kondenswasserschichten entstehen können, auf die der Dichtstoff nicht aufgetragen werden darf. Die vom Hersteller angegebene zulässige Zeitspanne zwischen Auftragen des Voranstrichs und Einbringen des Fugendichtstoffs darf nicht überschritten werden.

Der Fugendichtstoff ist gleichmäßig und möglichst blasenfrei einzubringen. Durch Andrücken und Abglätten ist ein guter Kontakt mit den Fugenflanken herzustellen, wobei möglichst wenig Abglättmittel zu verwenden ist.

Anstriche auf Fugendichtmassen, wie bereits ausgeführt, sollten weitestgehend vermieden werden.

Ist es im Ausnahmefall doch notwendig, so ist die Verträglichkeit des Fugendichtstoffes mit dem Anstrichstoff sorgfältig, wenn möglich durch ein zugelassenes Baustofflabor, zu überprüfen.

Wenn Anstrichstoffe oder Beschichtungen nicht ausreichend dehnbar sind, kann es bei Fugenbewegungen zu Rissen kommen, die eine Schädigung der Fugendichtung zur Folge haben können. Die häufigsten Schadenserscheinungen sind vorzeitiges Verspröden oder Kerbrissbildung. Um eventuell doch auftretende Schäden dauerhaft beheben zu können, ist es erforderlich, Aufzeichnungen über den Arbeitsablauf zu führen.

Diese Aufzeichnungen sind vom Auftraggeber oder seinem Beauftragten gegenzuzeichnen. Sie müssen folgende Angaben enthalten:

- Datum, Witterung (Temperatur, Niederschläge),
- Bezeichnung der ausgeführten Arbeiten (Fugenmaße usw.),
- verwendeter Fugendichtstoff und Voranstrichmittel (Fabrikat, Chargennummer),
- sonstige verwendete Hilfsstoffe, z. B. Hinterfüllmaterial und Abglättmittel.

Dehnungs- und Setzungsfugen werden, wie bereits beschrieben, auch mit vorkomprimierten Fugenbändern aus Polyurethan-Schaumstoff abgedichtet. Nach dem Einbau der Fugenbänder löst sich die Vorkomprimierung, „das Band geht auf“ und dichtet die Fuge.

Das Verarbeitungsprinzip zeigt Abb. 3.67.

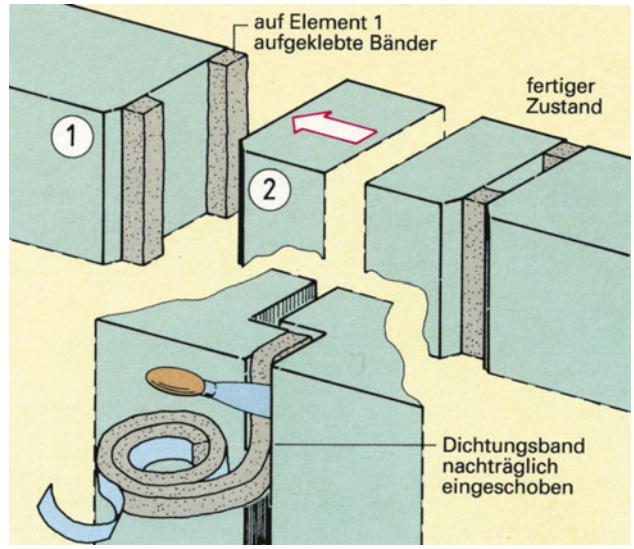


Abb. 3.67 Verarbeitungsprinzip eines vorkomprimierten Fugenbandes. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

3.6.3.5 Ausführungsbeispiele wandartiger Betonfertigteile

Neben der bauphysikalischen Betrachtung hinsichtlich des Witterungs-, Wärme- und Schallschutzes sind Fugen in der Außenhaut eines Gebäudes auch Schwachstellen der Beanspruchung der Fugenkonstruktion durch Bewegungen der angrenzenden Bauteile in einer, zwei oder sogar drei Richtungen.

Abb. 3.68 zeigt schematisch die Fugenausbildungen von wandartigen Betonfertigteilen zur Aufnahme der Druck-, Zug- und Querkräfte.

Alle Elemente sind, wenn nicht planungstechnisch anders vorgesehen, lotrecht, waagerecht und fluchtgerecht zu montieren.

Eine falsche Annahme der Bewegungsrichtungen führt zwangsläufig zu Funktionsmängeln der Fugendichtung!

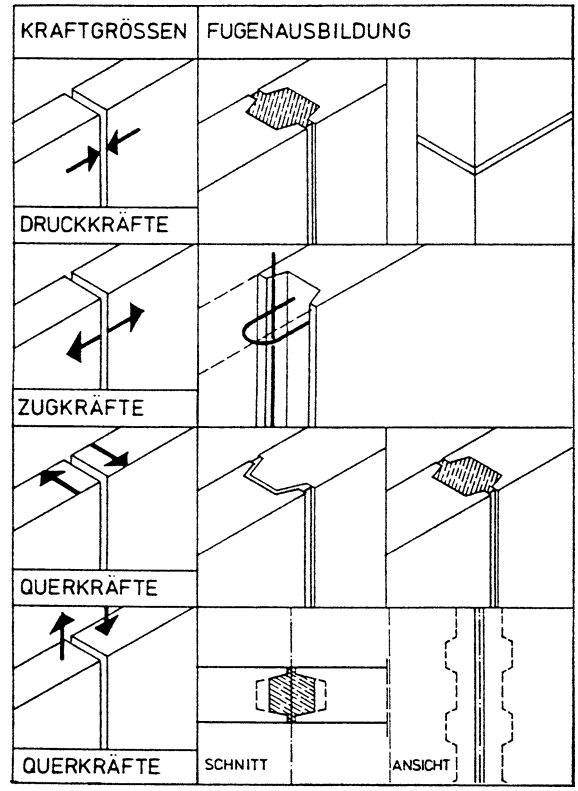


Abb. 3.68 Verbindungen von wandartigen Betonfertigteilen. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

3.6.4 Sichtmauerwerksfugen

Neben ihrer konstruktiven Funktion haben Fugen in Sichtmauerwerk in Außenwänden auch besondere gestalterische Aufgaben.

Hierbei ist bei der Ausführung aber eine spezifische planerische und handwerkliche Vorsicht und Sorgfalt geboten.

Zur Erreichung besonderer Effekte, wie z. B. Schattenwurf aller oder auch nur der Lagerfugen, werden die Fugen tief angekratzt und zurückliegend verfugt.

An den unteren horizontalen Fugenflanken können dann infolge von *Feuchtigkeitseinwirkungen* Schäden auftreten, die sich hauptsächlich als *Ausblühungen*, *Staubverfärbungen* oder *Frosteinwirkungen* niederschlagen (Abb. 3.69).

Aufgrund der speziellen Aufgabenstellung zu den Sichtmauerwerksfugen sollen bereits an dieser Stelle Aussagen zu deren Sanierung getroffen werden, weitere Ausführungen zur Mauerwerksfugensanierung erfolgen unter Abschn. 3.7.3.

Die Sanierung von Mauerwerksfugen (Abb. 3.70), sollte wie folgt durchgeführt werden:

1. Auskratzen der Altfuge,
2. Fassadenreinigung,
3. Vornässen,
4. Neuverfugen und
5. Säubern und Nachbehandeln.

Unvermeidbare Mauerwerksvorsprünge können mit Formsteinen (Betonfertigteile oder Werkstein) oder Metallabdeckplatten (wie in Abb. 3.5 und 3.6, da aber defekt und damit als Schadensursachen dokumentiert) geschützt werden.

Ein einwandfreier Wasserabfluss und eine Schonung der oberen und unteren Mauerwerksanschlussfugen ist gewährleistet, wenn oben eine **zurückliegende Standfuge** und

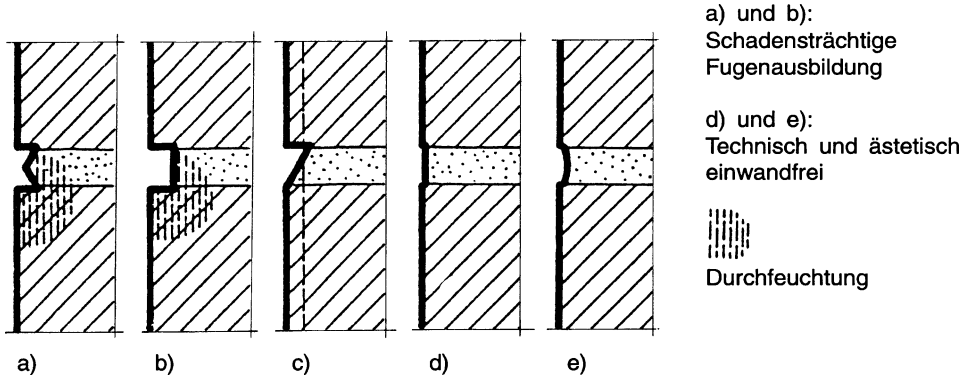


Abb. 3.69 Sichtmauerwerksfugen. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

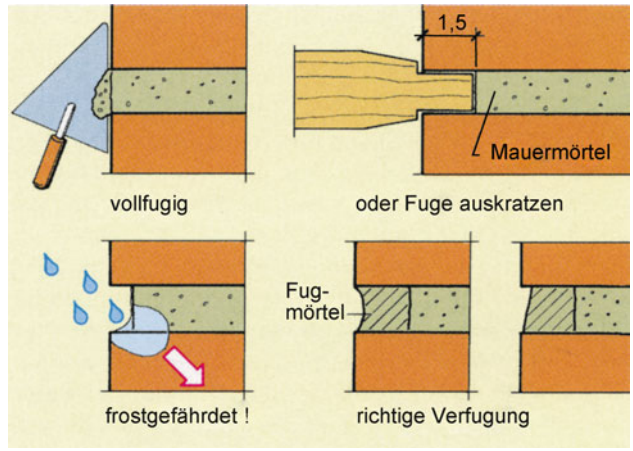


Abb. 3.70 Sanierung von Sichtmauerwerksfugen. (Quelle: Ensle, Stuttgart)

unten ein ausreichender **Überstand** mit **Tropfnase** eingeplant werden. Die vorspringende obere Fläche muss dabei ein ausreichendes Gefälle aufweisen. Die Stoßfugen dieser Formsteine sollten, wenn Risse infolge Formänderungen zu erwarten sind, elastoplastisch verfugt werden.

Im Rahmen einer Neuverfugung wird häufig auch ein flächig eingegrenzter Ziegelersatz infolge Witterungsschäden (Abfrierungen an der Ziegeloberfläche, Abplatzungen) oder Ausblühungen an der Ziegeloberfläche („Versalzungen“ infolge aufsteigender Feuchte) notwendig und durchgeführt.



Abb. 3.71 Klinkerersatz und Neuverfugung

Sollen sich die sanierten Mauerwerksflächen insgesamt in das neue Fugenbild und den Gesamteindruck der Wand integrieren, ist natürlich auch der Ziegelfarbe, deren Oberflächenstruktur u. ä. Beachtung zu schenken.

Dass das nicht immer gelingt, zeigt Abb. 3.71.

3.6.5 Ausfugen von Wandbelägen

Die offene Fuge

Nach dem Ansetzen oder Verlegen eines Belages auf Wandflächen soll nicht sofort ausgefugt werden, denn das Belagmaterial selbst ist dicht und so kann das Überschusswasser aus dem Ansetz- oder Verlegemörtel nur durch die offenen Fugen entweichen.

Der gleichzeitig stattfindende Schwindprozess ist in den ersten Tagen der Erhärtung besonders stark, eine offene Fuge kann somit gleichzeitig als Bewegungsfuge dienen.

Wird durch zu frühes Ausfugen das Entweichen des Wassers verhindert, kann Folgendes eintreten:

- Verfärbung von Fuge und Belag,
- Ausblühungen im Fugenbereich,
- Frostschäden im Freien.

Je dichter die spätere Ausfugmasse, desto wichtiger ist die vorherige Austrocknung des Verlegemörtels (Abb. 3.72).

Ausfugen

Das Verfugen von Fliesen-, Platten- und Mosaikbelägen erfolgt durch Einschlämmen, falls in der Leistungsbeschreibung nichts anderes festgelegt wird.

Die Arbeiten an der Wand sind in der folgenden Reihenfolge auszuführen (Abb. 3.73):

Trockenreinigen des Fugenbereiches,

Annässen zur Regulierung der Kapillarität (verhindert Wasserentzug),

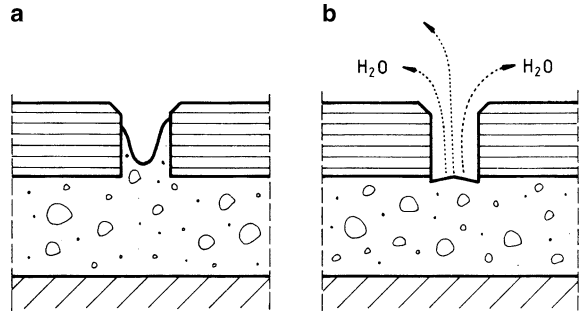


Abb. 3.72 Auskratzen von Fugen. **a** schlecht ausgekratzt, **b** richtig ausgekratzt. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

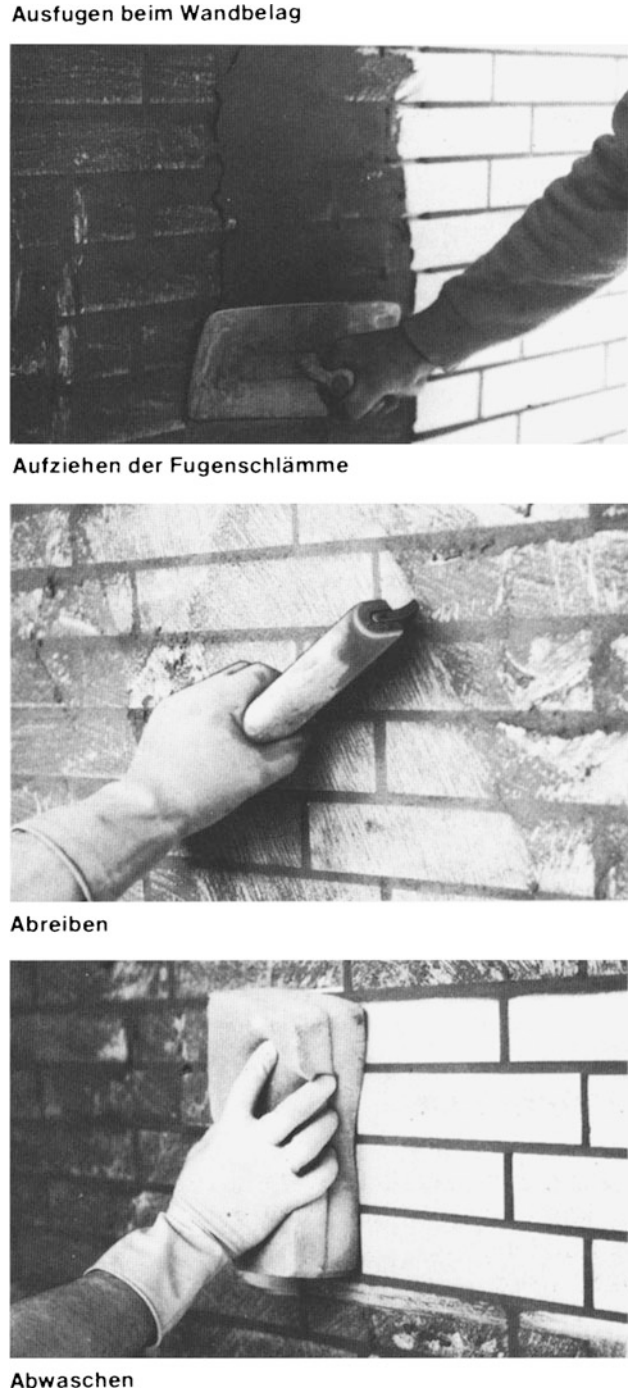


Abb. 3.73 Ausfugen des Wandbelags. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Einstreichen und Verdichten der plastischen Fugenmasse mit dem Fuggummi,

Nachfugen nach dem Einziehen des Mörtels,

Abwaschen des Belags (Schwamm diagonal führen), um ein einheitlich breites, dichtes Fugennetz zu erhalten. Der Zementschleier soll vollständig entfernt sein.

Nachreiben mit Leinen- oder Wolllappen.

3.7 Sanierungsarbeiten schadhafter Fugen

3.7.1 Vorbemerkungen

Wie bislang deutlich wurde, zählen Fugen auch heute noch zu den schwächsten und bautechnisch empfindlichsten Teilen am Bauwerk.

Das trifft zu hinsichtlich

- den Einwirkungen unterschiedlicher statischer Beanspruchungen, physikalischer Einflüsse und chemischer Belastungen,
- der Verbindungsstabilität,
- der Gewährleistung von Dichtungsaufgaben (Wärme- und Schallschutz; Regen- und Rauchdichtheit u. a.),
- ästhetischer Anforderungen,
- Dauerhaftigkeit der Fugen im Verhältnis zu der Standzeit des Bauwerks,
- der Schadensdiagnose und örtlichen Eingrenzung bei punktuellen Schäden,
- der Reparatur- und Sanierungsfreundlichkeit, auch im Hinblick auf unterschiedliche stoffliche und technische Lösungen – bis hin zu historischen Mörteln bei altem Mauerwerk und weiteren Problemstellungen, die erforderlich machen, dass für die Sanierungsaufgaben ein erfahrenes und speziell geschultes Fachpersonal eingesetzt wird.

Dabei kann man die Aufgabenstellungen in unterschiedliche Leistungsbereiche wie

- die Reparatur/Sanierung von ausgeführten Fugen mit Fugendichtmassen oder Fugenbändern,
- Verfugung und Sanierung von Ziegel- oder Klinkerverblendmauerwerk an älteren Fassaden und historischen Bauwerken,
- Verfugung und Sanierung von Natursteinmauerwerk an Fassaden und Sockel einteilen.

3.7.2 Sanierung von schadhaften Fugen bei Fugendichtmassen und Fugenbändern

Als typische Schäden, Schadensursachen und Schadensbilder können übergreifend herausgestellt werden:

- die Nichteinhaltung von technischen Normen, Richtlinien und Merkblättern
- Planungs- und Verarbeitungsfehler entgegen den Herstellervorgaben des Fugenmaterials
- Missachtung solcher Einwirkungen wie Temperatur, Baustofffeuchte und Verarbeitungsdauer sowie der Werkstoffverträglichkeit untereinander
- falsche Dichtstoffauswahl der Verfugung nicht maßhaltiger Bauteile bzw. bei zu großen Montagetoleranzen (zu enge/kleiner 15 mm oder zu breite/breiter als 35 mm)
- mangelnde Haftung des Dichtstoffs auf den Fugenflanken
- Dreiflächenhaftung
- nicht ausreichender Halt des Hinterfüllmaterials

3.7.2.1 Fugendichtmassen

Allgemein gilt: Wenn Fugen in ihren *ursprünglichen Zustand* gebracht werden sollen, müssen alte und schlecht haftende Dichtstoffe, einschließlich ihrer Reste sowie der Hinterfüllmaterialien, vollständig entfernt werden, und auf allen zu sanierenden Fugenuntergründen ist für eine optimale Haftung ein Voranstrich oder ein Primerauftrag zwingend erforderlich.

Grundsätzlich gilt: Vor jeder Primeranwendung *müssen* die Haftflächen gereinigt werden, denn der Primer ersetzt die Reinigung nicht.

Allerdings sollte auch in Erwägung gezogen werden, ob es nicht sinnvoller und zulässig ist, ein elastisches Fugenband einzusetzen.

Elastische Fugenbänder werden mit abgestimmten Klebstoffen über die Fuge geklebt.

Sie werden hauptsächlich zur Fugensanierung eingesetzt, wenn der alte Fugendichtstoff die Abdichtung und Bewegungsaufnahme nicht mehr gewährleistet, schwer zu entfernen oder die Fugenbreite zu gering ist.

Darüber hinaus werden Fugenbänder häufig bei Fugen, die im Winkel zwischen zwei Bauteilen entstehen, eingesetzt. Die Abbildung mit elastischen Fugenbändern beschreibt das IVD-Merkblatt Nr. 4.

Denn trotz einer Reihe hervorragend geeigneter und bewährter Werkstoffe und der ständigen Weiterentwicklung der Fugendichtmassen sind sie zurzeit noch der häufigere Schadensfall.

Abb. 3.40 und 3.41 zeigten bereits die Abrisse mittig in der Dichtungsmasse sowie seitlich an den Fugenflanken und Risse mittig und an den Flanken (siehe Abb. 3.42).

Schematisch zeigen die Abb. 3.74 und 3.75, dass sich beim Aufbringen einer *neuen Fugendichtmasse auf die alte, gerissene Fugenmasse* vorhandene Risse nach relativ kurzer Zeit wieder über die Kontaktstelle in dem Spachtelmaterial oder der neuen Dichtmasse fortsetzen.

Eine Hilfe könnte die Trennung der Materialien durch vorheriges Aufbringen einer Folie vor dem Einbringen der neuen Fugenmasse sein. Bei der Erneuerung ist aber immer

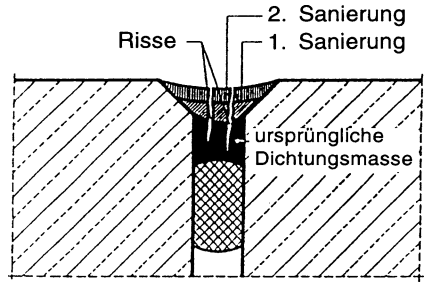


Abb. 3.74 Unsachgemäße Fugensanierung mit aufgedoppelter Dichtungsmasse. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

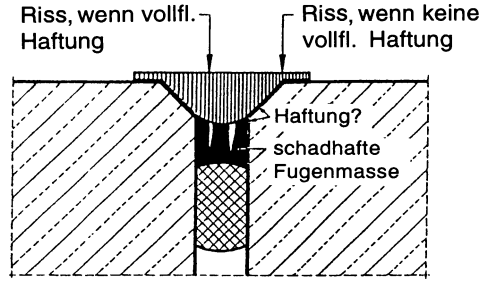


Abb. 3.75 Mögliche Rissbildung nach der Sanierung

zu beachten, dass durch das notwendige Anschleifen der Fugenflanken, besonders bei der Bewehrungsüberdeckung, neue Schäden entstehen können.

Arbeitsschritte

Reinigen: Vor dem Abdichten müssen die Fugen *sorgfältig gereinigt* werden.
Lose staubige Verunreinigungen, Mörtelreste und alte Farbanstriche mit einer Drahtbürste entfernen. Öle und Fette auf nichtsaugenden Untergründen können mit einem Lösungsmittel beseitigt werden (Vorsicht bei Kunststoffen und Lackierungen).

Hinterfüllen: Damit wird die Fugentiefe begrenzt und die Haftung auf dem Fugenboden verhindert.
Bei relativ tiefen Fugen sind Rundprofile einzupressen! Der Durchmesser des Hinterfüllmaterials soll ca. 25 % größer sein und an die Fugenflanken angepresst werden (Abb. 3.76).

Abkleben der *Fugenränder:* Das ist erforderlich, wenn an das Aussehen der Fuge besondere Anforderungen gestellt werden. Dazu ein Selbstklebeband verwenden und sofort nach dem Glätten der Dichtungsmasse wieder abziehen.

Vorbehandeln: Je nach Art des Untergrunds und der Dichtungsmasse, die eingesetzt werden soll, ist ein Primer erforderlich (Auswahl des richtigen Primers nach Werkvorschrift!).

Verfugen: Mit Handpistolen oder Druckluftpistolen. Einkomponentenmassen sind verarbeitungsfertig, Zweikomponentenmassen müssen vorher zusammengemischt werden.

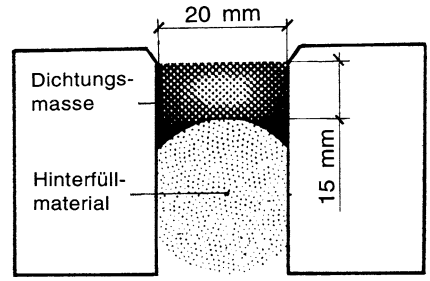


Abb. 3.76 Hinterfüllung. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Glätten: Dazu Glätthölzer oder Spachtel verwenden. Diese vorher mit einem geeigneten Glättmittel (z. B. „Prilwasser“) benetzen.

Zur Abdichtung von Fugen werden demnach benötigt:

- *Primer* (Haftanstrich) nach Werksvorschrift,
- *Hinterfüllung*, z. B. Schaumstoff-Fugenprofil, Fugendichtungsmasse und zu deren Verarbeitung Auspresspistolen.

Oftmals ist es sinnvoller und einfacher, *aufklebbare Dichtungsbänder* zu verwenden.

3.7.2.2 Instandsetzung mit aufzuklebenden Fugenbändern

Diese Bänder werden aus *Polysulfid*, *Silikonkautschuk*, *Teerpolyurethan* oder *Polyurethan* hergestellt.

Hier bieten die Hersteller solcher Bänder eine Reihe von Fugenbandvarianten an, die problembezogen eingesetzt werden können.

Bei der häufig anzutreffenden Oberflächengestaltung der Betonelemente mit Waschbeton oder einer Bekiesung ist aber auf den Großtafeln nicht immer eine umlaufende Fasche im Randbereich vorhanden, und so muss diese durch Aufspachtelung eines Mörtels als glatte Fläche geschaffen werden, um eine ausreichende Klebeflächenbreite zu gewährleisten.

Diese Klebeflächen müssen

- tragfähig,
- sauber und staubfrei sowie
- trocken sein.

Durch den Hersteller der Fugenbänder werden zugleich Ausführungshinweise zu deren Anwendung ausgereicht, die eine erprobte und sachgerechte Anwendung unterstützen sollen.

Deshalb wird hier nur auf einzelne weitere Probleme verwiesen, die bei der Verarbeitung der Fugenbänder zu beachten sind und die bei der Verwendung verschiedener Produkte variieren können:

- Einsatz eines Primers in Abhängigkeit vom Untergrund und der Ablüftdauer,
- Abkleben der Fugenränder, Zeitpunkt der Entfernung,
- Zeitdauer der Erhärtung des Klebers,
- Gewährleistung scharfer Begrenzungen,
- Schaffung eines Klebebettes für das Fugenband (Dicke, Breite, Verfahrensweise),
- Ausbildung der Fugenbänderstöße/der Überlappungen/Kreuzungspunkte/Enden,
- Abdichtung der Stoßstellen und der Randzone zum Bauteil,
- Fugenbandränder abglätten,
- Wahl der Bandbreiten, Rollenlängen und mögliche Farben der Bänder,
- Angaben zum Materialbedarf, Arbeitszeitaufwand je m/Fuge und zu Arbeitskräften.

Die bisherige Langzeiterfahrung hat gezeigt, dass *Dichtungsbänder* auf Polysulfidbasis am dauerhaftesten erscheinen.

Polyurethane neigen zur Nachvernetzung und drohen deshalb im Laufe der Zeit härter zu werden und ihre Elastizität einzubüßen, Abb. 3.77 zeigt die Verarbeitung eines Dichtungsbandes.



Abb. 3.77 Verarbeitung eines Dichtstoffbandes. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

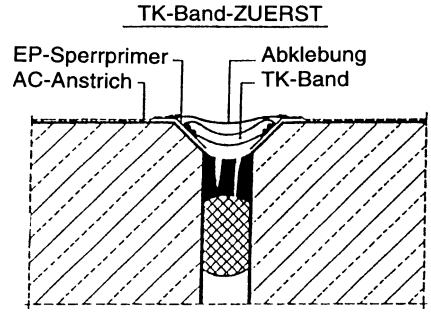


Abb. 3.78 Verklebung von Polysulfidfugenbändern im Zusammenhang mit einer Betonsanierung, Bänder auf Acrylharzanstrich. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

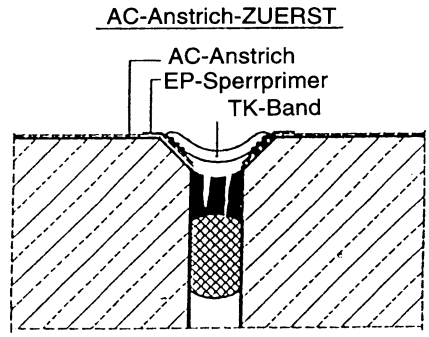


Abb. 3.79 Bänderverklebung und anschließend Auftrag des Acrylharzanstrichs. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Wie inzwischen häufig ausgeführt, bedürfen besonders stark belastete Bauteile einer Sonderlösung. Dabei müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- *höhengleicher Einbau*,
- *vibrationsfreie Befestigung*,
- *dauerhafte Verankerung* der Fugendichtungsprofile im Beton.

Hinweis: Liegt ein anderer Werkstoff vor als Beton, z. B. Magnesit, muss gewährleistet sein, dass das verwendete Fugenmaterial resistent ist gegenüber Chlorid aus dem Magnesit.

Alternativ kann durch einen geeigneten Anstrich auf Teer-Epoxidbasis die Wechselwirkung unterbunden werden.

Aus der Vielzahl der möglichen Lösungen, meist Sonderlösungen, sind in Abb. 3.78 und 3.79 zwei ausgewählt.

3.7.2.3 Instandsetzung der Fugenbänder

Ist das Fugenband infolge von Bewegungen oder anderen Bauschädigungen in Mitleidenschaft gezogen, so ist es grundsätzlich auszuwechseln und ein neues anzuschweißen oder besser noch „einzuvulkanisieren“ (Abb. 3.80).

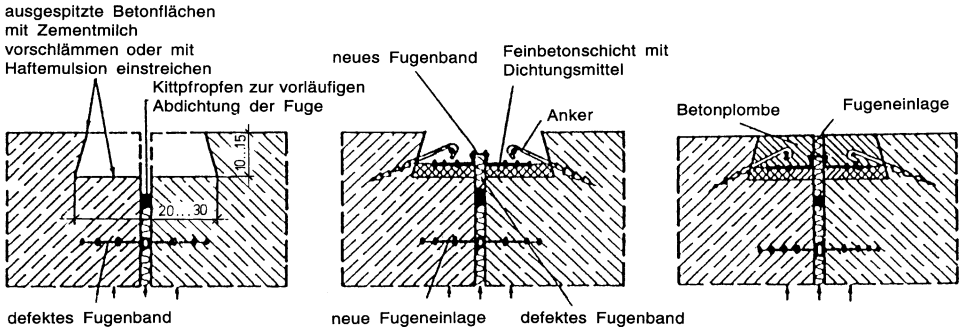


Abb. 3.80 Wiederherstellung von Fugen, Einsetzen eines neuen Fugenbandes in einer Betonplombe vor das defekte Band. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

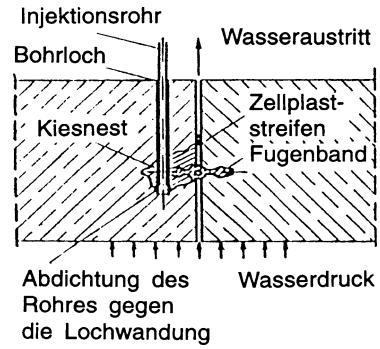


Abb. 3.81 Dichtung einer durchlässigen Bewegungsfuge durch Injizieren. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Ist nicht das **Fugenband**, sondern der *Umgebungsbeton* defekt, kann durch *Verpressen* (z. B. Zementinjektion) die Funktion der Fugenabdichtung wiederhergestellt werden (Abb. 3.81).

3.7.3 Sanierung von Fugen im Mauerwerk

Die Sanierung von Fugen im Mauerwerk – oftmals einschließlich des partiellen Stein- bzw. Ziegelersatzes – ist hinsichtlich der Vielschichtigkeit der Aufgabenstellung und vor allem auch der handwerklichen Herausforderungen anders gelagert und oftmals auch anspruchsvoller als die dargestellten Sanierungsaufgaben im Montagebau, weil sich hierbei nunmehr eine ganze Reihe neuer Fragen ergeben, die aus stofflicher und bautechnischer Sicht der vorherigen Klärung bedürfen.

Dazu gehören solche Problemfelder wie

- die Bauzustandserfassung unter Einbeziehung der oftmals vielfältigen konstruktiven und baustofflichen Lösungen,
- Klärungen zum aufgetretenen Schadensmechanismus,
- Fragen zur Historie des Bauwerks, einschließlich Umbauten und Nutzungsänderungen,
- detaillierte Darstellungen und Vorgaben zu den Sanierungszielstellungen,
- vorhandene Auflagen und Vorstellungen des Denkmalschutzes,
- Materialeigenschaften – stoffliche Vielfalt und zum Teil unzureichender Kenntnisstand zu früheren Ziegeln und Mörteln,
- ggf. Stein- bzw. Ziegelersatz (z. B. Handstrichziegel, Ornamentziegel, bestimmte Strukturen der Ziegeloberfläche, Farbe . . .),
- die Verwendung möglichst heller Ziegel vermindert bei Sonneneinstrahlung die Oberflächentemperatur des Mauerwerks und verringert damit die thermische Rissbildung.

Allgemein gilt: Die Fugenbeanspruchung darf vom Werkstoffeinsatz und von der Konstruktion her nicht hinter den Beanspruchungen der Bauteile zurückstehen, vgl. Tab. 3.12.

Tab. 3.12 Fugenbeanspruchungen im Mauerwerk

Konstruktiv	Bauphysikalisch	Bauchemisch	Statisch	Wirtschaftlich
– Längenänderungen – Bodenverformungen – Setzungen – Umbauten Nutzungsänder.	– Wärme-, – Schall-, – Feuchte-, – Brandschutz	– Resistent gegen aggressive Medien wie: – Säuren – Reinigungsmittel – Lösungsmittel	– Horizontale und vertikale Verschiebungen – Ableitung der Kräfte und Momente	– Geringe Gesamtkosten – Geringe Wartungskosten – Hohe Lebenserwartung und Erscheinungsbild

Aus solchen und weiteren Gründen ist es notwendig, einen ganzen Komplex von Überlegungen und Untersuchungen voranzustellen, wie es nachfolgend als Arbeitsablauf – in Form von Arbeitsschritten – dargestellt ist.

3.7.3.1 Hinweise zu den Arbeitsschritten bei einer Neuverfugung:

1. Konkretisierung von Anlass und Zielen

Vor der Ausfertigung eines Bauvertrags sind durch den Ausführenden konkrete Planungsmaßnahmen aufzuzeigen, denn der Bauherr (Privatperson oder Institution)

hat oftmals nur vage Vorstellungen von dem Umfang der bevorstehenden Arbeiten und, gar nicht selten, auch vom erreichbaren Ergebnis, was nach Beendigung der Arbeiten dann zum Streit führen kann …

Die Formulierung von Sanierungszielen muss die Komplexität der Materialeigenschaften von Beton, Mauerwerk oder Naturstein einschließen und auch die Lücken aufzeigen, wo noch Klärungsbedarf – z. B. bei der Verwendung spezifischer Mörtel – besteht.

Das heißt also, Kenntnisse vom Bauzustand und deren fachkompetente Interpretation sind Grundvoraussetzungen für eine nachhaltige Sanierung.

2. Information zum Bauzustand

Bevor mit den Verfugungsarbeiten begonnen werden kann, sind eventuell vorbereitende Tätigkeiten am Mauerwerk auszuführen.

Dazu sind Untersuchungen und Informationen u. a. zu folgenden Erscheinungen notwendig:

- Gibt es statische Probleme? (Baugrund, Anbauten, Nutzungsänderungen …),
- Charakteristik und mögliche Ursachen von Rissen, Verformungen,
- Feuchte- und Salzbelastungen, Ausblühungen,
- Anzeichen für mangelhafte Witterungsbeständigkeit (abgetragene/abgefrorene Ziegeloberflächen, Ziegelersatz und Putzreste),

Ebenfalls müssen für die Mörtelauswahl für Neuverfugungen und Fugenausbesserungen Informationen zu nutzungs- und expositionsbedingten Einflüssen eingeholt werden.

Dazu einige Beispiele:

- Verschmutzung an den Wandoberflächen,
- Feuchteverteilung im Mauerwerk und Salzausblühungen,
- Natursteinabmessungen,
- Natursteinarten und Erhaltungszustände,
- Evtl. noch vorhandene Verfugmörtel (für Nachrezepturen),
- Fugenbreiten und Fugentiefen,
- Expositionsrichtung (dichte Bebauung, Höhenlage, u. ä.).

3. Auswertung und Bewertung des Bauzustands

Welche vor der Ausführung der Verfugarbeiten auszuführenden Maßnahmen ergeben sich aus den in Schritt 2. erfassten Informationen?

Ergeben sich daraus Erfordernisse von Reparatur- und Sanierungsmaßnahmen, so sind diese selbstverständlich vor der Neuverfugung vorzunehmen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Durchführung dieser Arbeiten Austrocknungs- und statische Stabilisierungszeiten erforderlich machen kann. Das kann, je nach Objektart, Größe und Lage, Monate in Anspruch nehmen.

Sind Maßnahmen nicht erforderlich oder bereits erfolgt, kann mit der Vorbereitung zur Neuverfugung begonnen werden.

Ausgehend von der geplanten Funktion der Neuverfugung (schützende oder/und ästhetische Aufgaben) hat sich in der Praxis folgende Vorgehensweise bewährt:

- Zusammenstellung von Angaben zu Werkstoff, Format, Fugenbreite und -tiefe sowie Verteilungshäufigkeit im Mauerwerk;
- Schlussfolgerungen aus den Steineigenschaften hinsichtlich
  - Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, E-Modul,
  - hygrische und thermische Ausdehnungskoeffizienten,
  - kapillares Wasseraufnahmevermögen,
  - Wasserdampfdiffusionskoeffizient,
  - Farbigkeit;
- Hinweise auf die Berücksichtigung der Mörteleigenschaften aus der Feuchtigkeits- und Salzbelastungsanalyse;
- Vergleich mit ähnlich ausgeführten Objekten, die schon über eine längere Standzeit verfügen.

4. Anforderungen an die Neuverfugung

Ein wichtiges Problem stellt eine mögliche Materialunverträglichkeit zwischen Bestand und neuen Werkstoffen dar.

Das betrifft v. a.:

- Gipsmörtel als Mauermörtel kann bei Anwendung von mineralischen Verfugmörteln zu Schäden (z. B. Ausplatzungen) führen (WTA-Merkblatt 2-11-07 Gips).
- Karbonatische und hydraulische Bindemittel, wie Kalke (CL 70, 80, 90 NHL), können durch Nitrate in ihrer Festigkeitsentwicklung beeinträchtigt werden.
- Fugenbreiten haben Einfluss auf die Gesteinskörnungen im neuen Verfugmörtel! Das Größtkorn sollte etwa 1 / 3 der Fugenbreite betragen. Sehr breite Fugen, ≥ 3 cm, sind mit Steinstücken aus dem Bestand „auszuzwickeln".

Schlussfolgernd ergeben sich neben den gleichen Anforderungen an die Steineigenschaften (Schritt 3) noch folgende Prämissen der Verfugmörtel-Zusammensetzung:

- Art der Bindemittel, Gesteinskörnungen, Kornverteilung und Größtkorn
- Anforderungen an die Fähigkeit zur Salzeinlagerung
- Anforderungen an die Fähigkeit zum Feuchtetransport

5. Erfassung des erprobten und verfügbaren Materials
Infrage kommen:

Konfektionierte Trockenmörtel, die den Anforderungen im vollen Umfang gerecht werden.

Konfektionierte Trockenmörtel, die den Anforderungen mit geringen Modifizierungen angepasst werden können.

6. Neuentwicklung von Verfugmörteln
Sollten sich nach Schritt 5. keine geeigneten Mörtel finden lassen, müssen Sonderrezepturen unter Berücksichtigung der Anforderungen aus Schritt 4. entwickelt werden. Hinweise dazu sind im Abschnitt „Historische Mörtel" beschrieben.

7. Anlegen einer Musterfläche
In der Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, eine Muster- bzw. Testfläche mit möglichst großflächigem Einsatz des neuen Verfugmörtels anzulegen. Nach einer Standzeit von mindestens vier Wochen erfolgt dann eine Abgleichung mit dem geplanten Sanierungsziel.

Bei übereinstimmendem Ergebnis kann die Anwendung erfolgen. Gegebenenfalls sind Korrekturen entsprechend der Schritte 5. und 6. vorzunehmen.

8. Ausarbeitung einer Anwendungsvorschrift
Es ist zweckmäßig, die nachfolgenden Ausführungen für eine exakte Anwendungsvorschrift durch erfahrene Sanierungspraktiker ausarbeiten zu lassen.

Diese sollte als wesentliche Aspekte enthalten:

- Einschätzung und Festlegung der Standzeiten für die Mauerwerkssicherung und Steinrestaurierung;
- Baufreiheit für eine Mindesttiefe (etwa 2–3-fache der Fugenbreite) schaffen;
- Angaben zur Ausführung eines Fugenprofils und deren Anbindung an die Steinflanken;
- Vornässen, Anbringen von Haftmitteln an die Fugenflanken;
- Nachbehandlungszeiten für langsam erhärtende Bindemittel (CL 70, 80, 90 NHL, Trasskalk) einplanen und Zeiträume für ausreichende Verfestigung festlegen;
- Verarbeitungstechnologie (z. B. Verfugung per Hand oder im Spritzverfahren) festlegen.

9. Ausführung der Verfugung
Übergabe der Anwendungsvorschrift und des Bautagebuchs an sachkundige und erfahrene Bauhandwerker

10. Kontrollen während der Verarbeitung
Mehrfache Kontrolle und gegebenenfalls Korrektur oder Ergänzung der Arbeitsvorschrift und des Bautagebuchs. Ganz wichtig ist eine genaue und nachvollziehbare Dokumentation.

11. Kontrolle unmittelbar nach der Ausführung
Protokollarische Abnahme der korrekten Ausführung der Fugensanierung

12. Kontrollen nach mehreren Jahren Standzeit
Nachkontrollen und verifizierbare Erfassung der Neuverfugung und des Natursteinmauerwerks zwischen 2 und 4 Jahren. Bei Erfordernis sind auch kürzere Intervalle nötig.

3.7.3.2 Handwerkliche Ausführung einer Neuverfugung

Besondere handwerkliche Sorgfalt ist bei der Sanierung von *„erhabenen" Fugen* zu wahren. Denn bei Beschädigungen erhöht sich die Gefahr des Wassereintritts in die Fugenschadstellen.

Bei tieferen Fugen (≥ 5 cm) ist der Einsatz von Streifen aus Edelstahlgewebe überlegenswert.

Bei größeren Natursteinoberflächen empfiehlt sich statt der traditionellen Handverfugung das maschinelle Nass- oder Trockenspritzverfahren. Durch die Einspritzung mit hohem Druck erhöht sich die Verdichtung und damit die Festigkeit des Mörtels.

Bei maschinellen Verfahren sind aber gründliche Nachreinigungen notwendig. Diese können zu Veränderungen (z. B. Bindemittelschleierbildung) im ästhetischen Gesamtbild führen.

Eine besondere Problemzone sind Sockelzonen. Aufsteigendes Wasser kann im Inneren des Mauerwerks verdunsten und ebenso wie die Bildung von Tauwasser zu Feuchteschäden führen. Auch können mit diesem Wasser Salze sich umlagern und anreichern.

Bei Ansichtsflächen sollen nie mehr als drei Fugen zusammenstoßen. Stoßfugen sollen nie durch mehr als zwei Schichten gehen oder aufeinandertreffen (Kreuzfuge).

3.7.3.3 Grenzen einer Neuverfugung

Bei geringer Witterungsbeständigkeit, starker Abwitterung, hoher Salzbelastung und fehlender Instandhaltung können die Steinflächen so stark beschädigt sein, dass eine Sanierung über eine Neuverfugung nicht mehr möglich ist.

In solchen Fällen ist zu versuchen, Steinoberflächen und Steinkanten mithilfe von Steinfestigern neu aufzubauen.

Auch das Aufbringen eines Sanierputzes ist eine denkbare Lösung, soll hier aber nicht weiter ausgeführt werden, weil damit die eigentliche Mauerwerksansicht verloren geht.

In einzelnen Fällen und bezogen auf Teilflächen, die sich „wie gewollt“ ästhetisch in den Gesamteindruck der Wandfläche – vielleicht optisch als Pendant zu Öffnungen, Vorsprüngen o. ä. – stellen, mag das eine Lösung sein.

3.7.3.4 Neuverfugung von Ziegel- oder Klinkerverblendflächen

Für die Ausführung werden zwei unterschiedliche Techniken angewandt,

- der Fugenglattstrich, auch Integralverfugung genannt, und
- die nachträgliche Verfugung.

Bei dieser Technik des *Fugenglattstrichs* muss vollfugig gearbeitet werden, sodass keine Hohlräume entstehen.

Nach einer angemessenen Abbindezeit (mehr als zwei Stunden) werden die Fugen mit einer Fugenkelle (früher auch Fugeisen, Abb. 3.82) angebügelt.



Abb. 3.82 Verfugung: Der Fugenmörtel wird von der Kelle in die Fuge gestrichen und anschließend mit der Fugenkelle/Fugeisen verdichtet. (Quelle: Zweischalige Wand, Bonn)



Abb. 3.83 Verfugung für poröse Ziegel. (Quelle: Remmers)

Man erreichte damit nicht nur eine Verdichtung, sondern kann mit einiger Übung und Geschick auch unterschiedliche Fugenstrukturen erzielen.

Die Tabellen zu den Arbeitsschritten der Fugensanierung, Tab. 3.13, und eine Ziegelsystemlösung (jeweils nach Remmers), Tab. 3.14, fassen die Ausführungen als Übersicht zusammen.

Neben der klassischen Handverfugung empfiehlt sich insbesondere bei großen Fassaden mit breiten Fugen die maschinelle Verarbeitung.

Allerdings benötigt man dafür einen speziellen Fugenmörtel (z. B. Remmers MG), der wahlweise kapillaraktiv oder hydrophob eingestellt ist. Abb. 3.83 zeigt das Verfugen poröser Ziegel.

Da Fugen meist weniger dauerhaft als Ziegel sind, werden diese damit häufig zum Schwachpunkt der Fassade.

Eine hohe Feuchtigkeitsaufnahme beider oder einer der beiden Baustoffe ist damit zumeist der Ausgangspunkt eines Schadens.

Daraus resultiert die Frage nach einem effektiven Feuchteschutz, der die Saugfähigkeit von Ziegel und Fugenmörtel angleicht und die Gesamtwasseraufnahme der Fassade reduziert.

Einen Verfahrensweg zeigt dazu Tab. 3.14, nach Remmers.

3.7.4 Nachträgliche Verfugetechniken

Weitaus gebräuchlicher wird allerdings die Technik des *nachträglichen Verfugens* ausgeführt.

Hier ist es besonders wichtig, dass die Fugen tief, etwa das 1,5-fache der Fugenstärke, mindestens aber 15 mm und flankensauber ausgekratzt werden. Dazu hat sich (seit Jahrhunderten) ein konisches Hartholzklötzchen (modernes Fugeisen) bewährt (siehe Abb. 3.84 sowie 3.85 zur nachträglichen Verfugtechnik).

Anschließend sind die Flächen gründlich von Mörtelresten und anderen Verunreinigungen zu befreien.

Von dem früher üblichen Absäuern sollte man nicht nur aus umweltbezogenen und arbeitsschutztechnischen Gründen absehen, sondern auch, weil die Säuren die Kalkbestandteile des Mörtels angreifen können. Es gibt eine breite Palette geeigneter – und besserer – Steinreiniger.

Tab. 3.13 Arbeitsschritte der Fugensanierung. (Quelle: nach Remmers)

1 Reinigung und Entsalzung	
Die Reinigung dient nicht nur der Optik. Schmutzkrusten speichern Feuchtigkeit. Schadstoffe behindern die Austrocknung des Untergrundes. Salze werden im oberflächennahen Bereich mit Entsalzungskompressen entfernt. Die Kompresse wird wie Putz aufgetragen und nach etwa sechs Wochen zusammen mit den eingewanderten Salzen wieder entfernt.	
2 Fugenmörtel entfernen	
Fast jede Instandsetzung einer steinsichtigen Fassade geht mit einer Erneuerung der meist schadhaften Verfugung einher. Bei der Sanierung müssen die Fugen (mit Ausnahme der Schlämmverfugung) 2 cm bzw. der doppelten Fugenbreite entsprechend tief ausgeräumt werden.	
3 Steinergänzung und Verfugung	
Beschädigte Steine werden ersetzt oder mit Restauriermörtel ergänzt. Die Neuverfugung erfolgt mit einem in Bindemittel, Körnung und Farbe angepassten Fugenmörtel.	
4 Beschichtung oder Lasur	
Alternativ zur Hydrophobierung kann die Wasserabweisung der Fassade auch über eine Silikonharzbeschichtung oder eine weniger sichtbare Silikonharz-Lasur erreicht werden.	

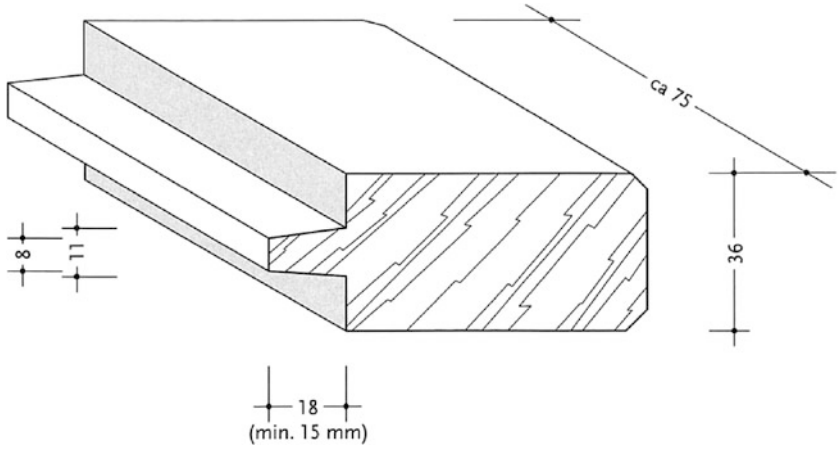


Abb. 3.84 Hartholzklötzchen. (Quelle: Schwengelbeck, Bielefeld)

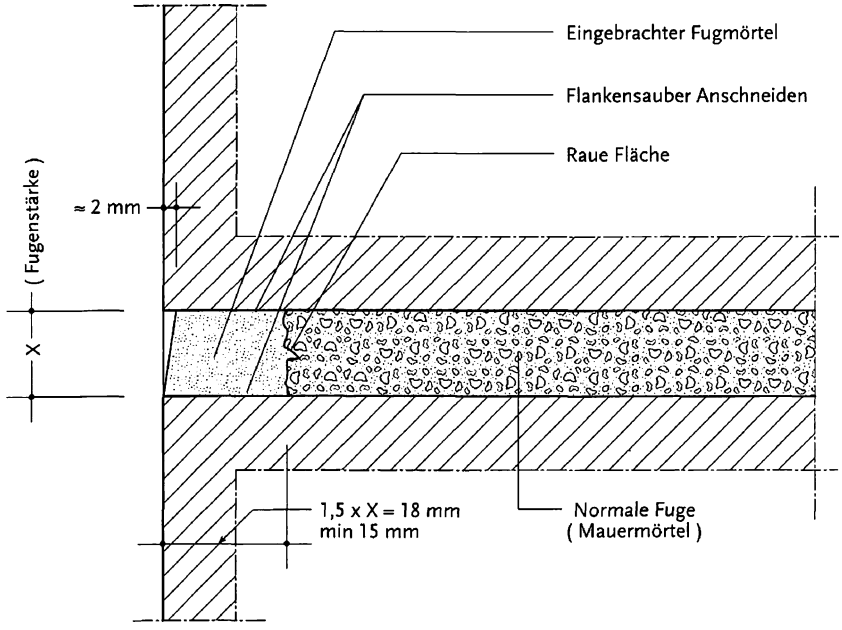


Abb. 3.85 Nachträgliche Verfugtechnik. (Quelle: Schwengelbeck, Bielefeld)

Tab. 3.14 Ziegelsystemlösung. (Nach Remmers)

Bearbeitungsprozess	Systemlösung
Reinigung	Graffitientferner Fassadenreinigungspaste Grünbelagentferner Klinkerreiniger
Entsalzung	Entsalzungskompresse
Steinergänzung	Restauriermörtel
Verfugung	Fugenmörtel Fugenschlämme
Vergrünungsschutz	Imprägnierung
Hydrophobierung	(Funcosil-)Paste
Graffitischutz	Graffiti-Schutzanstriche
Grundierung	Grundierungsanstrich Imprägniergrund
Beschichtung	Silikonharz-Farbe Silikonharz-Füllfarbe

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Handwerker die Konsistenz des Mörtels auf die jeweilige Witterung und die eventuellen Einfärbungen abstimmen kann.

Zur Einfärbung sollten nur kalkechte Erdfarben verwendet werden.

Bei dem nachträglichen Verfugen von Natursteinmauerwerk, wo die Fugen in der Regel kleiner sind, wird zunächst mit einer kleinen Kelle vorgefugt und dann mit einer breiteren kräftig nachgebügelt.

Etwas komplizierter wird es, wenn nur Teile neu verfugt werden.

Hier muss man, eventuell auch mehrfach, den Fugenmörtel solange abstimmen, bis eine möglichst punktgenaue Farbabstimmung erreicht ist.

Für beide Technologien können aber folgende übereinstimmende Faustregeln gelten:

- Poriges Gestein erfordert poriges, dichtes Gestein, dichten Fugenmörtel.
- Der Fugenmörtel darf nicht härter als der Maurermörtel sein und ist erdfeucht einzubringen.
- Der Fugenmörtel muss an den Fugenflanken gründlich angebügelt und verdichtet werden.
- Verfugte Flächen können je nach Witterung auch feucht nachbehandelt werden.
- Die zu verfugenden Flächen sind je nach Saugfähigkeit der Steine gründlich vorzunässen.
- Bei den ausgeführten Verfugungstechniken ist Schlagregendichtheit zu gewährleisten.
- Nach gründlichen Voruntersuchungen und ermittelten Materialkennwerten können durchaus auch nach speziellen Rezepten angefertigte Mörtel verwendet werden.

3.7.5 Schlämmverfugung

Ziegelschlämmverfugung (Abb. 3.86) besteht im Wesentlichen aus zwei Elementen:

- Fugenerneuerung durch Einbringen eines hydraulisch härtenden Fugenmaterials
- Wasserabweisende Beschichtung der Fassade mit Hydrophobierungsmittel

Das Fugenmaterial ist eine feinkörnige Schlämme mit sulfatbeständigem Bindemittel. Dies gewährleistet eine hohe Beständigkeit, auch bei sulfat- bzw. gipsbelastetem Mauerwerk, wie es in der Altbausubstanz häufig anzutreffen ist.

Die verschlämmte Fuge zeichnet sich durch eine besonders hohe Flankenhaftung, bedingt durch die Qualität des Mörtels und die Verarbeitungstechnik, aus. Die Schlämmverfugung erspart auch Zeit, weil auch das Ausstemmen und Ausschneiden der Fugen ebenso entfällt wie das mögliche Beschädigen der Steinkanten.



Abb. 3.86 Arbeitsablauf der Schlämmverfugung. (Nach Remmers)

Auch das Einbringen des Schlämmmörtels erfordert wenig handwerklichen Aufwand, und auch enge Fugen, die zu schmal für Fugeisen sind, können bündig mit Mörtel gefüllt werden (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg).

3.7.6 Sanierung von älteren Fugen einschließlich Rissinstandsetzung

Bei dieser Sanierung müssen die gleichen Vorgaben und Ausführungsregeln wie bei der nachträglichen Verfugtechnik beachtet werden.

Die Bearbeitung erfolgt mit einem Winkelschleifer, oder, als bessere Lösung, mit einer Stein- und Fugensäge (Abb. 3.87).

Diese kleine, nur 4,3 kg leichte elektrische Handsäge schneidet trocken und ohne Rückschlag bis 120 mm Tiefe und in einer Schneidbreite von 6,5–7,2 mm, je nach Schneidklinge.

In einer patentierten Schneidtechnologie werden Schneid- und Schlagbewegung kombiniert.

Die Sägeblätter bewegen sich nicht im traditionellen 360° Umlauf, sondern „zerkratzen" das Material in einer Pendelbewegung. Dadurch können sie auch Ornament-Ziersteine präzise schneiden, ohne angrenzende Teile zu beschädigen.

Für das Werkzeug gibt es eine Vielzahl von auswechselbaren Sägeblättern, z. B. Diamantsägeblätter für hartes Gestein und feine Einsteckklingen für schmale Schlitze.

Zu den schwierigsten Arbeiten gehört die Verfugung der „Horizontalflächen" des Natursteinmauerwerks. Es sind die sogenannten „Draufsichtfugen" auf Gurtgesimsen, Giebel- und Streberpfeilerabdeckungen.

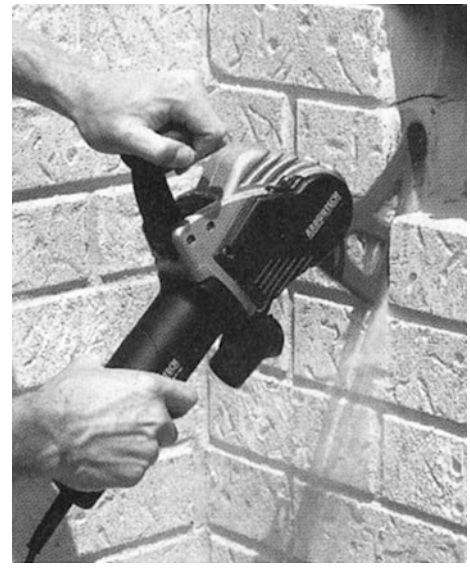


Abb. 3.87 Stein- und Fugensäge. (Quelle: Institut für Lernsysteme Hamburg)

Vor der Verfugung müssen alle Fugenflanken zum Stein von Sinter- und Patina-Schichten gewissenhaft gesäubert werden, da sonst kaum eine Haftfestigkeit am Stein möglich ist. Eine bessere Flankenhaftung kann man durch den Einsatz von Epoxidharzen erreichen.

Beispielhaft sollen hierzu erprobte Mischrezepturen für die Mörtel zum Verfugen von Sandstein aufgeführt werden:

Mischrezepturen zur Verfugung von Sandstein:
Gesteinskörnung:

7 RT – feiner Putzsand; 0–2 mm gewaschen
3 RT – Wesersand; 0–4 mm gewaschen
1,5 RT – grob gemahlenes Ziegelmehl

Bindemittel:

2 RT – Billerbecker Kalk; 0,7 RT Fettkalk; 0,6 RT – Trasskalk
0,3 RT – weißer Dyckerhoff-Zement

Kalkechte Erdfarben:

Terra di Siena – natur; Terra di Siena – gebrannt; Oxidgelb; Grünumbra; Rehbraun

Verfugung von Muschelkalk
Gesteinskörnungen:

6 RT Wesersand – 0–4 mm, gewaschen; 3 RT Putzsand – 0–2 mm, gewaschen;
0,75 RT – Naturtrass, grob gemahlen

Bindemittel:

2 RT Billerbecker Kalk; 1 RT – Trasszement

Grundsätzliche Hinweise zu Schädigungsmechanismen und zur Sanierung von Natursteinmauerwerk sowie dessen Fugen werden im Abschn. 3.7.7 separat dargestellt.

Rissinstandsetzung
Wie bereits als Rissbildung im Fugenverlauf einer Wandecke in Punkt 3.1 dargestellt, können z. B. durch Anbauten, Nässeeinwirkungen (defektes Regenfallrohr!), Erschütterungen infolge starken Fahrverkehrs u. ä. Bauwerkssetzungen auftreten, die nicht nur aus optischen, sondern vor allem aus statischen Gründen behoben werden müssen.

Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen kann dabei ein Einsatz von Spiralankern zur Fugeninstandsetzung – auch im Bereich von Öffnungen oder Stürzen – erfolgen (Abb. 3.88).

Dabei sind die Hinweise der Anbieter der Anker zur Verwendung des Spiralankermörtels,

- die Festigkeit, Farbe, Korngröße, Verarbeitung und Verarbeitungsdauer, Materialverbrauch des Spiralankersystems sowie
- die Zugfestigkeit, Durchmesser, Längen, die Einbindungslängen über Öffnungen und die Behandlung der Risse im Eckbereich

zu beachten.

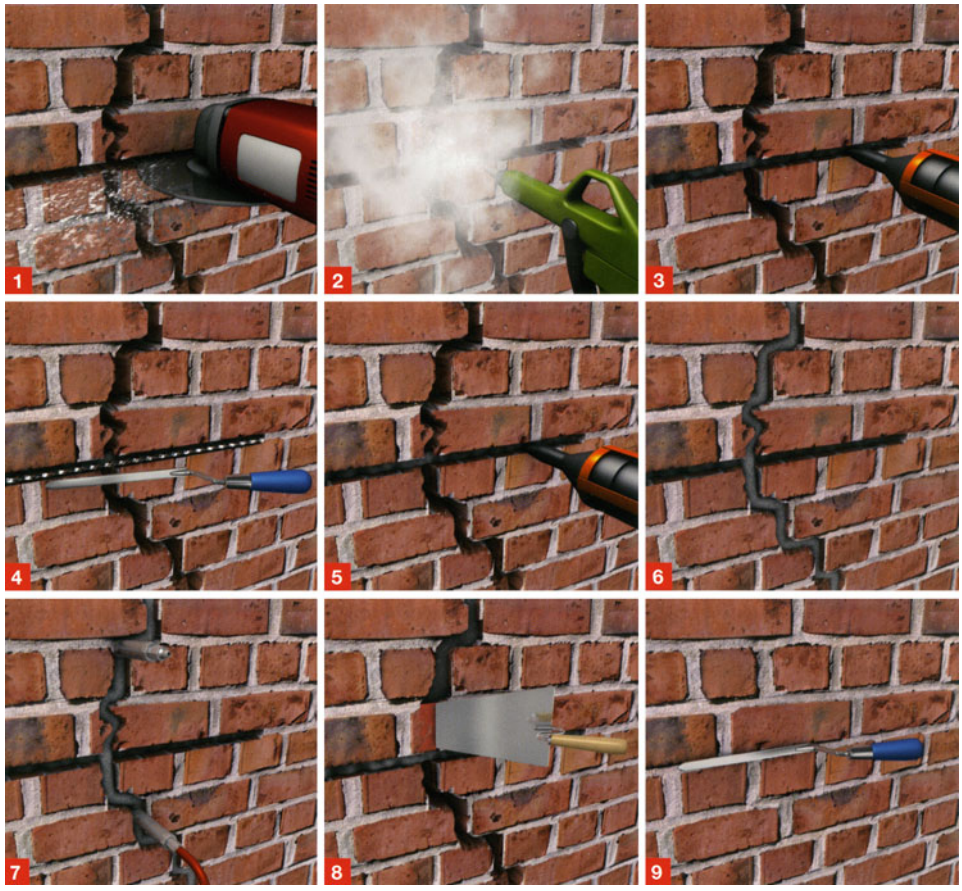


Abb. 3.88 Rissinstandsetzung mittels Spiralanker in neun Arbeitsschritten. (Quelle: nach Remmers)

Die neun Arbeitsschritte der Rissinstandsetzung mittels Spiralanker sind folgende:

1. Fugenmörtel entfernen
2. Fugen reinigen
3. 1. Schicht Ankermörtel in die Fugen einbringen
4. Spiralanker einbringen
5. Zweite Schicht Ankermörtel einbringen
6. Risse verdämmen
7. Risse verfüllen
8. Risse im Steinbereich mit Restauriermörtel verschließen
9. Offene Fugen farblich angepasst neu verfugen

3.7.7 Sanierung von Natursteinfugen

Michael Stahr

3.7.7.1 Konstruktive Vorbemerkungen zur Natursteinverfugung

Natursteine gehören aufgrund ihrer ästhetisch anspruchsvollen und bauphysikalisch widerstandsfähigen Eigenschaften zu den ältesten Baustoffen der Menschheit. Seit ewigen Zeiten werden sie handwerklich bearbeitet und als funktionelle, aber auch schmückende Bauten errichtet.

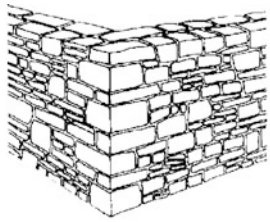
Sichtflächen aus Natursteinmauerwerk oder Natursteinverblendmauerwerk gibt es in Deutschland nahezu flächendeckend an Gebäuden, Brücken und Stützmauern, und beides kann in verschiedenen Ausführungen vorkommen (Abb. 3.89):

1. Trockenmauerwerk
2. Zyklopenmauerwerk
3. Bruchsteinmauerwerk
4. Hammerrechtes Mauerwerk
5. unregelmäßiges Schichtenmauerwerk
6. regelmäßiges Schichtenmauerwerk
7. Quadermauerwerk
8. Verblendmauerwerk (Mischmauerwerk)

Allerdings hat die in den letzten Jahrzehnten weltweit zugenommene Umweltbelastung durch eine Reihe von witterungswirksamen Faktoren die Natursteinbauwerke stark geschädigt.

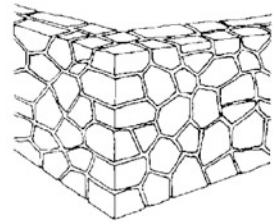
Neben den Steinen betraf das (außer bei Trockenmauerwerk) häufiger noch die Verfugungen.

Die nachträgliche Verfugung, Abgleichung oder Strukturierung des Fugenmörtels ist daher zu einem zunehmenden Sanierungsfall geworden.



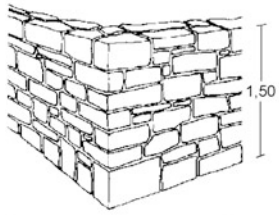
Kein Mörtel. Bei Verwendung von Bruchsteinen werden diese verkeilt.

① Trockenmauerwerk



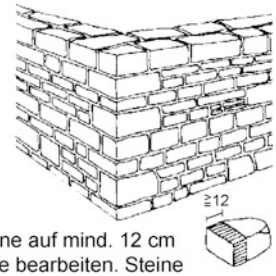
Steine weitgehend unbearbeitet und satt in Mörtel verlegt.
Höchstens alle 1,50 m abgleichen.

② Zyklopenmauerwerk



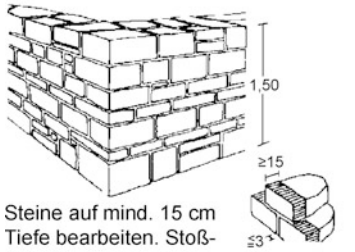
Steine weitgehend ebenflächig.
Fugen verkeilt und mit Mörtel gefüllt.
Mind. alle 1,50 m abgleichen.

③ Bruchsteinmauerwerk



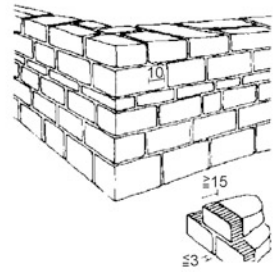
Steine auf mind. 12 cm Tiefe bearbeiten. Steine können verschieden sein.
Mind. alle 1,50 m abgleichen.

④ Hammerrechtes Mauerwerk

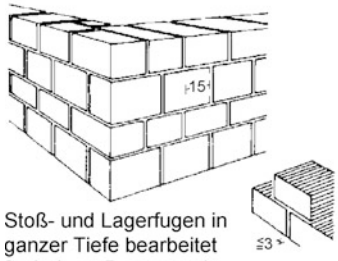


Steine auf mind. 15 cm Tiefe bearbeiten. Stoß- und Lagerfugen senkrecht zueinander.
Regelmäßig abgleichen.

⑤ Unregelmäßiges Schichtmauerwerk

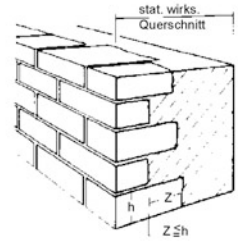


⑥ Regelmäßiges Schichtmauerwerk



Stoß- und Lagerfugen in ganzer Tiefe bearbeitet für höhere Beanspruchung

⑦ Quadermauerwerk



⑧ Mischmauerwerk

Abb. 3.89 Mauerwerk aus natürlichen Steinen. (Quelle: Wild Brandis)

Bei sachgemäßer Ausführung von Neuverfugungen an Natursteinmauerwerk, in dem keine aktive Feuchte- oder Salzbelastung vorhanden ist, kann mit einer sanierungsfreien Nutzungsdauer von 30 bis 35 Jahren gerechnet werden. Dafür ist aber die Gewährleistung einer hohen Ausführungsqualität zwischen geometrischen (z. B. Steinabmessungen, Fugenbreiten), stofflichen (Materialeigenschaften) und verarbeitungstechnischen (z. B. Profilierung der Fugenoberflächen) Forderungen in Einklang zu bringen.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen dafür konstruktive und fachspezifische Kenntnisse vermitteln.

Für die Planung und Ausführung ist das WTA-Merkblatt 3-12-99 Natursteinrestaurierung nach „WTA IV: Fugen“ und die DIN 1053-1 Mauerwerk 1996-11 heranzuziehen.

3.7.7.2 Funktion von Verfugung und Anforderungen

Natursteinsichtmauerwerk ist geprägt durch die Oberflächenstruktur, Form, Größe des Steinmaterials sowie Art und Ausführung der Verfugung. Dazu zählen Fugenbreiten, -farbigkeiten, -strukturen und -profile.

Nachträglich ausgeführte Verfugungen sollen den Mauermörtel und die Natursteinoberfläche vor Witterungseinflüssen schützen und gegebenenfalls ästhetische Funktionen übernehmen.

Bei der Ausführung und Instandsetzung wird zwischen Fugenreparatur und Fugenerneuerung unterschieden. In beiden Fällen sind grundsätzliche Anforderungen an den Verfugmörtel zu stellen. Einzelheiten enthält Tab. 3.15.

Für Neuverfugungen haben Bindemittelarten, Mörtelzusammensetzungen und Ausführungstechniken großen Einfluss.

Für die Gewährleistung eines ausreichenden Witterungsschutzes hat auch die Art der Ausbildung der Fugen eine große Bedeutung.

Beispielsweise sind die Fugen so zu gestalten, dass die Fugen bündig an die Steinflanken heran zuarbeiten, damit keine Verzögerung des Wasserablaufs eintreten kann (Abb. 3.90).

Ansonsten kann das Wasser in die Fuge einfließen oder sich stauen (Abb. 3.91).

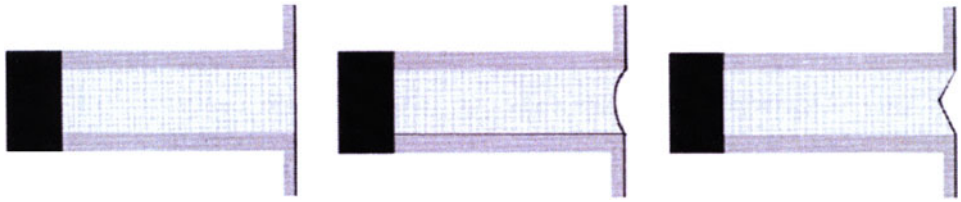
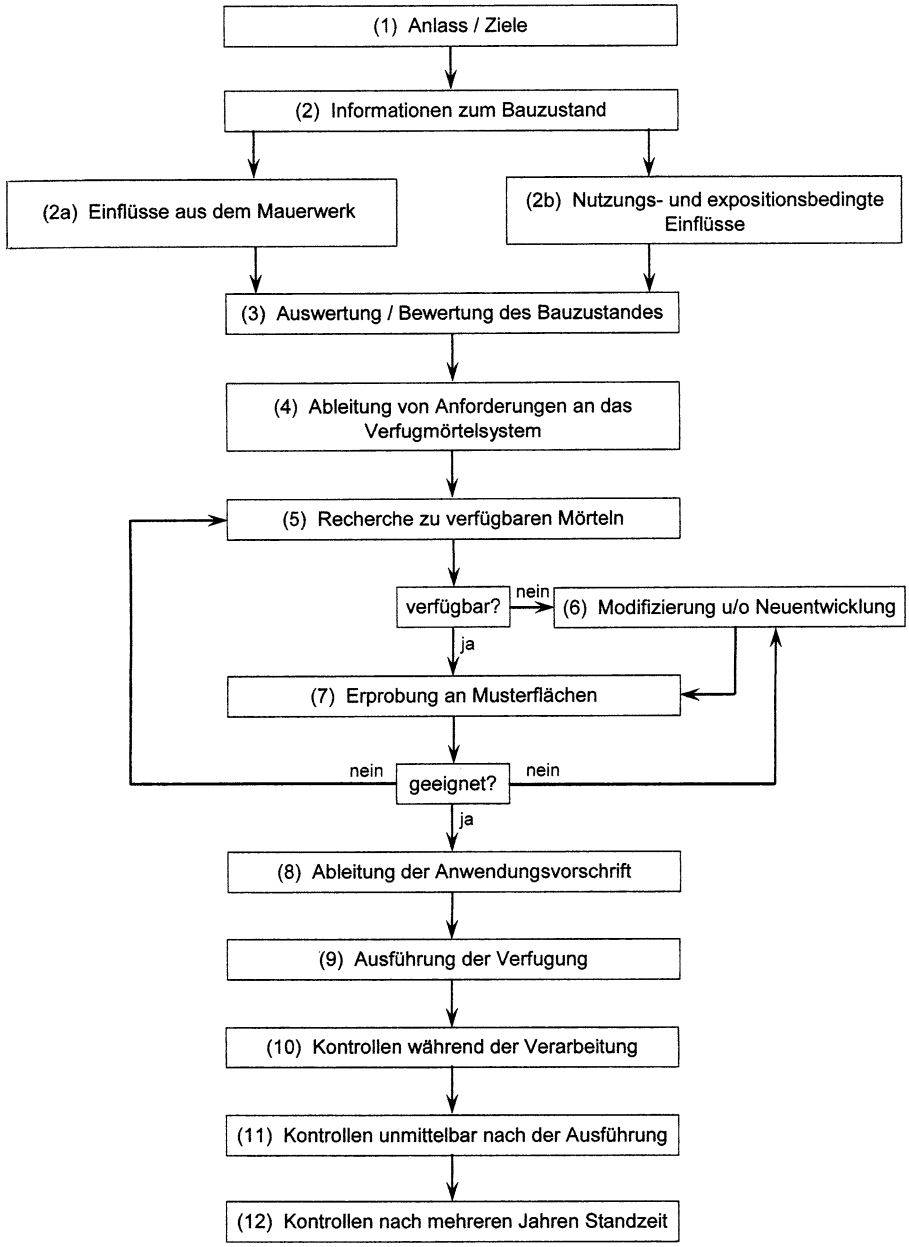


Abb. 3.90 Normale Fugenausbildung. (Quelle: ILS Hamburg)

Tab. 3.15 Anforderungen an den Verfugmörtel. (Quelle: ILS Hamburg)



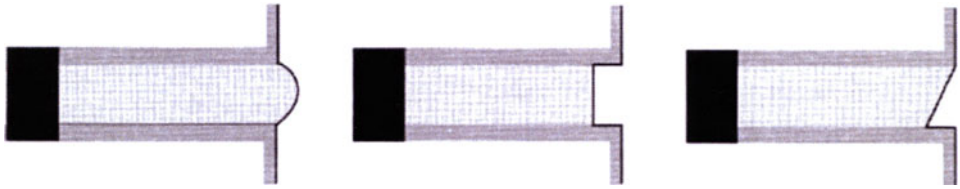


Abb. 3.91 Problematische Fuge. (Quelle: ILS Hamburg)

3.7.7.3 Sanierungsbeispiel von Fugen an einer Bogenbrücke

Ausgangssituation

Eine mehr als 200 Jahre alte gemauerte Bogenbrücke musste dringend saniert werden.

Die 25 m hohe und 60 m lange Brücke besteht aus vier Bogen, drei Mittelpfeilern und zwei Stützpfeilern. Neben den Natursteinen sind selbstverständlich auch die Fugen in Mitleidenschaft gezogen.

Der Ausschnitt aus der Schadenskartierung zeigt u. a. auch Schäden an den Fugen (Abb. 3.92).

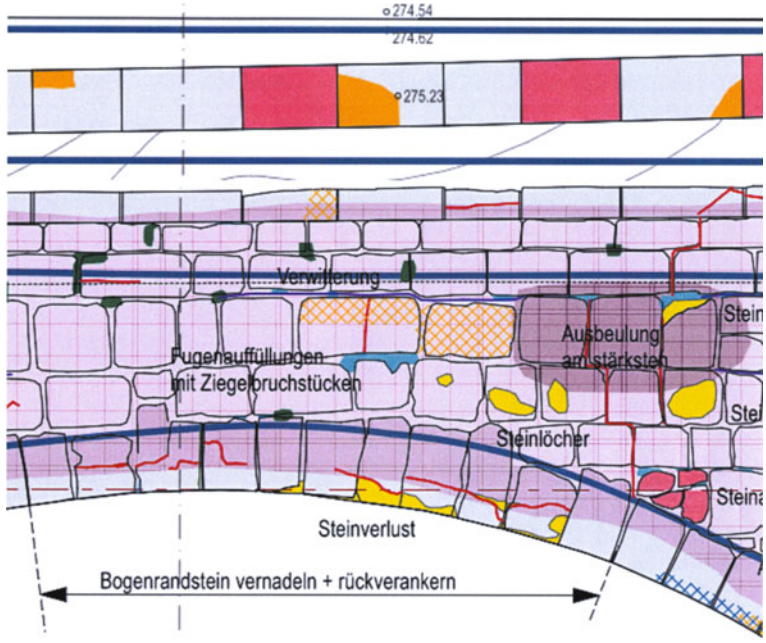


Abb. 3.92 Schadenskartierung Brüstungssteine – Fugen am vierten Bogen. (Quelle: Bewer Stuttgart)

3.7.7.4 Befund des vorhandenen Fugenbilds

An der Bogenbrücke waren zahlreiche unterschiedliche Fugenmörtelarten, Fugenausbildungen, Fugenverläufe und Verwitterungsformen festzustellen.

Die Abb. 3.93, 3.94, 3.95 und 3.96 verdeutlichen vier unterschiedliche visuelle Befunde, für deren Sanierung auch verschiedene Verfugungstechniken und Fugenmörtel auszuwählen sind.

Für die Mörtelbeanspruchung ist zwischen folgenden Bereichen zu unterscheiden:

- Vertikale Flächen oberhalb der Wasser-Wechselzone als ausschließlich luftberührter Bereich,
- Vertikale Flächen als Fahrbahnbegrenzung – Brückeninnenseiten als nicht ständig luftberührter Bereich mit Spritzwasser- und Tausalzbelastung,
- Horizontale Flächen zwischen den Abdeckplatten der Mauerkrone als teilweise luftberührter Bereich mit großer thermisch-hygrischer Beanspruchung,
- Wasserberührte Flächen der im Fluss stehenden Pfeiler,



Abb. 3.93 Schmale Fugen mit wenig mm Breite, die sich zum Teil in der Tiefe aufweiten. (Quelle: Bewer Stuttgart)



Abb. 3.94 Breitere Fugen mit ca. 1,5 bis 2,5 cm Breite an der Innenseite der Brüstung. (Quelle: Bewer Stuttgart)



Abb. 3.95 Tief ausgewitterte breite Fugen bzw. nicht mehr vermörtelte Zwickel zwischen den Steinen bis ca. 30 cm Tiefe, an Einzelstellen bis ca. 50 cm. (Quelle: Bewer Stuttgart)

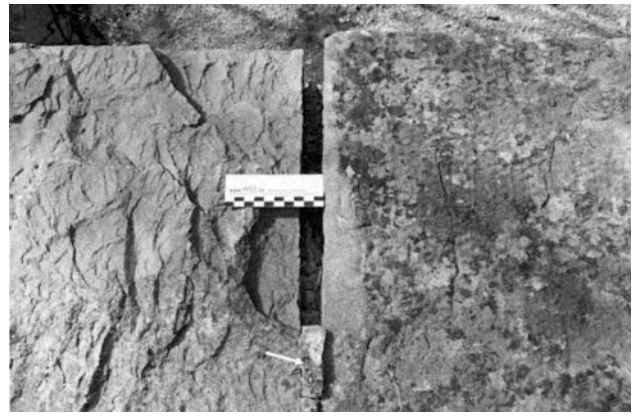


Abb. 3.96 Horizontale Fugen mit Steinzerstörung zwischen den Abdeckplatten. (Quelle: Bewer Stuttgart)

- Horizontale Flächen an der Brückenunterseite als teilweise luftberührte Bereiche über dem Wasserspiegel,
- Wechselnd wasser- und luftberührte Bereiche in der Wasser-Wechselzone je nach Pegelstand.

3.7.7.5 Instandsetzungskonzept für die Mörtelfugen

Aus den ermittelten Materialkennwerten der Fugen und entsprechend der Fugenformen und Fugenbeanspruchungen empfehlen sich folgende Sanierungstechniken:

- Bei breiten, aber weniger tiefen Fugen und zur Anböschung an zementreiche Bestandsmörtel an den vertikalen Flächen kann eine Handverlegung mit Fugenkelle und hydraulisch-mineralischem Fugenmörtel (MG IIa, Größtkorn 2 mm) erfolgen.
- Für schmale tiefe Fugen, die sich noch nach hinten aufweiten, sollte an den vertikalen Flächen die Verfugung mit Kartusche und spritzfähigen hydraulischen Fugenmörteln (Größtkorn 2 mm) erfolgen. Wenn diese Fugen am Objekt einen großen Anteil ausma-

chen, kann auch aus Effizienz- und Zeiteinsparungs-Gründen mit einer Spritzmaschine gearbeitet werden.
- An den Brückenunterseiten sollte die steinsichtige Tiefenverfugung im Trockenspritzverfahren mit spritzfähigem mineralischen, hydraulischen Fugenmörtel (Größtkorn ca. 3,5 mm) ausgeführt werden.
- An den Mauerkronen sind die horizontalen Fugen mit mineralischem Mörtel bis max. 5 mm unterhalb der Steinoberfläche in Handverfugung einzubringen. Anschließend empfiehlt sich das Einbringen eines organischen Fugendichtstoffs mit mineralischer Abstreuung. Unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten kann auch eine, allerdings handwerklich und kostenmäßig aufwendige Bleiverfugung erfolgen.

Alle Fugenmörtel müssen frostbeständig sein und mindestens der Mörtelgruppe MG IIa nach DIN 1053 entsprechen. Um auch einer dauerhaften direkten Wasserbeanspruchung zu widerstehen, ist auch der Anteil eines hydraulischen Bindemittels (Zement) exakt zu bestimmen. Für kleinflächigere Sanierung an Schad- oder Fehlstellen der Mauersteine kann dafür ein mineralisch gering kunststoffvergüteter Steinrestauriermörtel eingesetzt werden.

A Anhang

A.1 Normen und andere Rechtsvorschriften

DIN 1053	Mauerwerk, Teil 1; 1996-11
DIN 4103	Schlagregenschutz
DIN 7865	Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen 2015-02
DIN 18195	Abdichtung über Bewegungsfugen 08 2011-12
DIN 18197	Abdichten von Beton mit Fugenbändern 2011-04
DIN 18332	Naturwerkstein und „Allgemeine technische Vorschriften“
DIN 52452	Verträglichkeit der Dichtstoffe
DIN 18540	Fugendichtstoffe 2014-09
DIN 18541	Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoff 2014-11
DIN 18542	Abdichten von Außenwandfugen mit imprägnierten Dichtungsbändern 2013-032
DIN 18550	Putznorm
DIN EN 14 188-2	Fugeneinlagen und Fugenmassen März Teil1, 2005
DIN EN 15651	Fugendichtstoffe für Fassadenelemente Dez. 2012
EnEV 2014	Energieeinsparverordnung 2014-05; Ergänzung 01.01.2016

Literatur

Verwendete Literatur

/1/ TRGS 519 Technische Regeln für Gefahrstoffe. Asbest-Abbruch, Sanierung oder Instandhaltungsarbeiten.
/2/ Leydolph, Barbara „Ausbau von asbesthaltigen Fugendichtstoffen im Rahmen von Gebäuderückbau und Sanierung“ Dissertation zum Dr.-Ing. 13.12.2007 Bauhaus Universität Weimar
/3/ Das Baulexikon; Schneider, Werner-Verlag
/4/ Stahr, Michael Bausanierung / Fugensanierung; Studienheft; Institut für Lernsysteme GmbH Hamburg; Bausa 6 / 0816 A09
/5/ Stahr, Michael; Hrsg. Bausanierung, 6. Auflage SpringerVieweg Verlag, 2016
/6/ Baust, E. Praxishandbuch der Dichtstoffe, IVD Wiesbaden
/7/ Reul, H. Handbuch Bautenschutz, Verlag Rudolf Müller, Köln, 2008
/8/ MIGUA – Fugensysteme Architektenmappe, Wülfrath 2012
/9/ Deutsche Bauchemie; Fachinformation zur Neufassung von DIN 18540 „Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen“; Ausgabe Juni 2015

Weiterführende Literatur

Autorenkollektiv: Baukonstruktion, Wernerverlag 2004

Dreuse, H. u.a.: Leitfaden für die Planung und Ausführung von Neuverfugungen, Frauenhofer IRB Verlag Stuttgart, 2015

Elmenhorst, Hamburg: Abdichtungen

IKB Darmstadt: Fugen, Tagungsband 112

Remmers, Löningen: Technische Arbeitsblätter

Schnapel, L.: Lexikon der Bauwerkserhaltung – Dichtstoffe; Bausubstanz

Stürmer S (2015): Materialerkundung des Mörtels. Unveröffentlichtes Gutachten zur Steinbogenbrücke. Stuttgart Fraunhofer IRB Verlag

Rechtliche Rahmenbedingungen

4

Klaus-Peter Radermacher

Überblick
Im nachfolgenden Kapitel werden die rechtlichen Grundlagen, die bei der Durchführung einer Fassadenbaumaßnahme zu beachten sind, dargestellt. Der Schwerpunkt liegt auf dem privaten Baurecht, also dem Werkvertragsrecht, wobei die Darstellung dem üblichen Verlauf eines Bauvorhabens, also vom Angebot über den Vertragsschluss, die Bauabwicklung inklusive Vergütungsfragen, die Abnahme bis hin zu Gewährleistung/Mängelansprüchen, folgt. Hiermit zusammenhängende Themenbereiche, wie die Vergabe, das Architektenrecht, das öffentliche Baurecht und das Bauproduktenrecht, werden ebenfalls angesprochen. Zudem wird die Durchsetzung von Ansprüchen bzw. ihre Abwehr im zivilprozessualen Verfahren vor den ordentlichen Gerichten dargestellt, aber auch alternative Streitlösungsmechanismen werden vorgestellt.

Ein Hinweis zur Darstellung: Wo immer nachfolgend (zum Teil aus Gründen der Fachsprache, zum Teil auch zur Vereinfachung der sprachlichen Darstellung) allein die männliche oder allein die weibliche Form verwendet wird, ist selbstverständlich die jeweils korrespondierende weibliche bzw. männliche Form gleichberechtigt ebenfalls miteingeschlossen.

4.1 Der Bauvertrag

Gesetzlich betrachtet gibt es keinen „Bauvertrag" – einschlägig ist das Werkvertragsrecht des BGB (§§ 631 ff). Ohne besondere Vereinbarung gelten somit bei der Durchführung einer Baumaßnahme die gesetzlichen Regelungen, insbesondere zum Werkvertrag und zum Werklieferungsvertrag (§ 651 BGB), aber auch zum Kaufvertrag (§§ 433 ff. BGB). Sehr

K.-P. Radermacher (✉)
Frankfurt a.M., Deutschland

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

M. Stahr (Hrsg.), *Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen*,
https://doi.org/10.1007/978-3-658-08407-3_4

häufig wird auch die Geltung der VOB/B[1] vereinbart. Sie ist weder ein förmliches Gesetz (also ein durch den Gesetzgeber, das Parlament, erlassenes Gesetz) noch eine Rechtsverordnung, sondern stellt „lediglich“ Vertragsrecht dar. Es handelt sich im Ergebnis um Allgemeine Geschäftsbedingungen, die einem Werkvertrag, der als Bauvertrag ausgestaltet ist, zugrunde gelegt werden.

Während die gesetzlichen Vorschriften des BGB grundsätzlich auch ohne vertragliche ausdrückliche Vereinbarung als Gesetzesrecht immer gelten, kommt die VOB/B nur zur Anwendung, wenn sie in jedem Einzelfall vertraglich ausdrücklich vereinbart wurde.

4.1.1 Vertragsschluss

Ein Vertrag kommt nach den Grundregelungen des BGB durch Angebot und Annahme zustande (§§ 145, 147 ff. BGB).

Der Auftragnehmer bietet seine Leistungen auf der Grundlage einer Ausschreibung des Auftraggebers oder einer sonstigen Anfrage an. Dies geschieht durch Übersendung eines Angebots, wobei regelmäßig bestimmte Bewerbungsbedingungen eingehalten werden müssen. Gerade bei öffentlichen Auftraggebern werden Bieterkriterien abgefragt. Es erfolgen zudem Angaben zur Leistung, meist unter Rücksendung eines vom Auftraggeber vorbereiteten und vom Auftragnehmer ausgefüllten, bepreisten Leistungsverzeichnisses.

Ein Angebot liegt vor, wenn der andere Vertragspartner es nur noch durch einfaches „Ja“ annehmen kann. Nimmt der Auftraggeber im Falle des Werkvertrags somit das Angebot an, indem er den Auftragnehmer auf der Grundlage seines Angebots beauftragt, ist durch diese Annahme/durch den Auftrag der Vertrag zustande gekommen. Hat der Auftragnehmer sein Angebot einmal vorgelegt, bedarf es rein rechtsgeschäftlich keiner Verhandlungen mehr, sondern der Auftraggeber kann das Angebot annehmen, und der Auftragnehmer ist verpflichtet, auf dieser Grundlage seine Leistungen zu erbringen (§ 145 BGB).

Ein Vertrag kommt allerdings regelmäßig, jedenfalls unter Privatleuten, nicht stillschweigend zustande. Im Privatrechtsverkehr gilt Schweigen nicht als Zustimmung zu einem Rechtsgeschäft. Allenfalls kann ein solcher Vertrag durch schlüssiges Verhalten der Parteien (konkludent) zustande kommen, etwa wenn der Auftragnehmer mit der Ausführung der Leistungen beginnt und der Auftraggeber dem nicht widerspricht. Dann haben die Parteien zu erkennen gegeben, von einem bestehenden Vertragsverhältnis auszugehen, das sie abwickeln.

Eine bestimmte Form (etwa Schriftform oder gar notarielle Beurkundung) ist für den Werkvertrag nicht ausdrücklich gesetzlich vorgesehen und muss für jeden Einzelfall vereinbart werden. Schon indem die Parteien einen schriftlichen Vertrag abfassen, haben sie sich, wiederum schlüssig, zur Schriftform entschieden. Die Schriftform ist, insbesondere

[1] Vergabe- und Vertragsordnung (Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen), aktuelle Fassung 2016, in Kraft getreten am 18.04.2016.

bei komplexeren Verträgen, in jedem Falle anzuraten, da durch den schriftlichen Vertrag die Rechte und Pflichten der Vertragsparteien nachvollziehbar, insbesondere für einen etwaigen späteren Streitfall, dokumentiert sind.

Allerdings kann auch der Werkvertrag als sog. „Handschlagsgeschäft" zustande kommen, wenn die Vertragsparteien sich einig sind, dass Werkleistungen gegen Vergütung erbracht werden sollen. Dies kann bei jeder Bauleistung der Fall sein und erfolgt im Alltag etwa regelmäßig durch die Vergabe von kleinen Reparaturaufträgen oder auch Aufträgen in Autowerkstätten etc. Auch dieser Vertrag ist ein gültiger Werkvertrag, da Formerfordernisse nicht bestehen. Der formlose Vertragsschluss birgt aber gerade bei größeren Aufträgen erhebliche Beweisrisiken, wenn Streit über die geschuldete Leistung besteht.

4.1.2 Schweigen im kaufmännischen Rechtsverkehr

Im kaufmännischen Rechtsverkehr geht die Rechtsordnung davon aus, dass die beteiligten Parteien als Kaufleute mit den Gepflogenheiten des Geschäftsverkehrs besser vertraut sind, als wenn ein kaufmännisch versierter und erfahrener Unternehmer mit einem Privatkunden, der nur sehr selten Bauwerkverträge schließt, kommuniziert. Kaufmann im Rechtssinn ist nach § 1 Abs. 1 HGB, wer ein Handelsgewerbe, also einen Gewerbebetrieb unter Berücksichtigung kaufmännischen und/oder technischen Wissens in Gewinnerzielungsabsicht betreibt. Im kaufmännischen Rechtsverkehr gelten daher gegenüber dem sonstigen, „normalen" Privatrechtsverkehr schärfere Regeln, wie sie etwa für das Handelsgeschäft in den §§ 345 ff. HGB niedergelegt sind.

So regelt das Handelsrecht in *§ 362 HGB*: Geht einem Kaufmann, dessen Gewerbebetrieb die Besorgung von Geschäften für andere mit sich bringt, ein Antrag über die Besorgung solcher Geschäfte von jemand zu, mit dem er in Geschäftsverbindung steht, so ist er verpflichtet, unverzüglich zu antworten; sein Schweigen gilt als Annahme des Antrags.

Hier reicht es für das Zustandekommen eines Rechtsgeschäfts durch Schweigen aus, dass die Parteien als Kaufleute in einer Geschäftsbeziehung stehen. Wenn im Zuge dieser Geschäftsbeziehung der eine Teil dem anderen ein Angebot über ein weiteres Geschäft unterbreitet, so muss der andere Teil unverzüglich antworten, da sein Schweigen andernfalls als Zustimmung gilt.

Beispiel: Ein Fassadenbauer, der als GmbH organisiert ist (also Kaufmann kraft Rechtsform gemäß § 5 HGB ist), bezieht im Rahmen einer ständigen Geschäftsbeziehung von einem ebenfalls als Kaufmann organisierten Glashersteller regelmäßig Gläser oder Elemente zur weiteren Ver- bzw. Bearbeitung. Der Fassadenbauer bestellt schriftlich bei dem Glashersteller Elemente für ein neues Projekt. Widerspricht der Glashersteller dieser Bestellung nicht, ist der Vertrag zustande gekommen – der Glashersteller ist ohne Weiteres zur Lieferung verpflichtet.

Bei einem Geschäft zwischen Privatleuten, die Nichtkaufmann sind, kann eine solche Willenserklärung dagegen nicht zum Zustandekommen eines Vertrags führen. Bei Kaufleuten, die in einer Geschäftsbeziehung stehen, geht das HGB allerdings davon aus, dass es dem jeweils anderen Teil ohne Weiteres zumutbar ist, unverzüglich, also so schnell wie möglich, einem solchen Antrag zu widersprechen, wenn er damit nicht einverstanden ist, da andernfalls das Rechtsgeschäft ohne Weiteres zustande kommt.

Einen Sonderfall stellt *das kaufmännische Bestätigungsschreiben* dar. Ein solches Bestätigungsschreiben bestätigt den Inhalt vorangegangener Verhandlungen, wie sie der Bestätigende verstanden hat. Problematisch ist der Fall, wenn die Verhandlungsergebnisse unbewusst, aber auch bewusst, nicht korrekt bestätigt werden, sodass sich ein anderer schriftlicher Inhalt ergibt, als zuvor mündlich verhandelt wurde.

Beispiel: Der Glashersteller und der Fassadenbauer aus dem vorangegangenen Beispiel verhandeln über die Bestellung. Der Glashersteller bestätigt daraufhin dem verarbeitenden Betrieb die getroffenen vertraglichen Absprachen, z. B. Preis: € 11.500,00 (statt verhandelter € 10.500,00), Lieferung in der 25. Kalenderwoche (statt wie besprochen 24. KW) und Zahlung mit 2 % Skonto (worüber nicht gesprochen wurde). Widerspricht der bestellende Fassadenbauer diesem kaufmännischen Bestätigungsschreiben nicht unverzüglich, gilt dessen (möglicherweise unzutreffender) Inhalt für die weitere Vertragsabwicklung.

Ist der Empfänger mit dem Inhalt des Bestätigungsschreibens, das mit Blick auf vorausgegangene Verhandlungen durchaus auch „falsch" sein kann, nicht einverstanden, muss er unverzüglich widersprechen. „Unverzüglich" heißt dabei: Ohne schuldhaftes Zögern; das Handelsrecht definiert dies in § 377 HGB in anderem Zusammenhang so, dass eine Reaktion sofort zu erfolgen hat, „sofern es nach dem Geschäftsgang tunlich ist."[2]

Bei kaufmännischen Bestätigungsschreiben ist, wie üblich in solchen Fällen, eine Einzelfallbetrachtung erforderlich, wobei allerdings generalisierend eine maximale Dauer von drei Tagen (in der Regel ein bis zwei Tage) zugrunde zu legen sein wird.[3]

Widerspricht der Empfänger des kaufmännischen Bestätigungsschreibens nicht unverzüglich im vorgenannten Sinne, kommt der Vertrag oder die Regelung mit dem Inhalt des Bestätigungsschreibens zustande, auch wenn die Parteien vorher etwas anderes besprochen hatten.

Auch Baustellen- oder sog. Jour-Fix-Protokolle können die Rechtswirkung eines kaufmännischen Bestätigungsschreibens erlangen. Ist also der Unternehmer, der ein Besprechungsprotokoll von einer Baustellenbesprechung erhält, mit dem Inhalt nicht einverstanden oder sieht sich falsch wiedergegeben, ist ihm anzuraten, unverzüglich schriftlich zu widersprechen.

[2] Vgl. § 377 Abs. 1 HGB.
[3] *Palandt-Ellenberger*, § 147, Rn 17.

4.1.3 Regelungen im Werkvertrag

Neben den gesetzlichen Bestimmungen, die die Vergütungspflicht beim Werkvertrag, Mängelansprüche und Verjährungsvorschriften beinhalten, besteht der Werkvertrag regelmäßig auch aus individuellen Regelungen. So muss insbesondere geklärt werden,

- welches Bauvorhaben bearbeitet werden soll,
- welche Vergütung konkret hierfür zu zahlen ist; andernfalls gilt nach § 632 BGB die vor Ort angemessene und ortsübliche Vergütung als vereinbart (laut Gesetz die „übliche Taxe"),
- welche einzelfallbezogenen, v. a. technischen Besonderheiten bei der Abwicklung des Bauvertrags, etwa bei Natursteinarbeiten, zu berücksichtigen sind,
- welche weiteren Vertragsunterlagen vereinbart werden sollen (z. B. Angebot, Leistungsverzeichnis, sonstige Allgemeine Geschäftsbedingungen des Auftraggebers, zusätzliche technische Vertragsbedingungen, Verhandlungsprotokoll etc.),
- ob eine Vertragsstrafe und, wenn ja, in welcher Höhe vereinbart werden soll,
- ob eine förmliche Abnahme durchgeführt werden soll,
- welche Regelungen bezüglich der Vergütung und der Abrechnung gelten sollen,
- wie lange die Verjährungsfrist für Mängelansprüche laufen soll,
- welche Sicherheiten gegebenenfalls zu stellen sind,
- welche sonstigen Rechte und Pflichten die Parteien noch für ausdrücklich regelungsbedürftig erachten.

Dementsprechend wird der Werkvertrag auch individuelle Vereinbarungen enthalten, die Vertragsbestandteil werden. Die Parteien sind bei der Vereinbarung individueller Regelungen sehr frei; das BGB beschränkt sie dabei nur durch gesetzliche Verbote (§ 134 BGB, z. B. Verstoß gegen einen Bebauungsplan oder strafrechtliche Vorschriften[4]) oder durch einen Verstoß gegen die guten Sitten (§ 242 BGB), wobei streitig ist, was hierunter im Einzelnen zu verstehen ist (Auslegungsfrage).[5] In diesem Rahmen können die Parteien *individuell* jede beliebige Regelung treffen.

4.1.4 Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB)

Im Bauwesen hat sich allerdings herauskristallisiert, dass die Parteien sehr oft auf sog. Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB) zurückgreifen, wozu etwa auch die VOB/B gehört.

Allgemeine Geschäftsbedingungen sind alle für eine Vielzahl vorformulierten Regelungen, die eine Partei (der Verwender) der anderen Partei bei Vertragsabschluss stellt (§ 305 Abs. 1 Satz 1 BGB).

[4] Überblick bei *Palandt-Ellenberger*, § 134 Rn 14 ff.
[5] Überblick und Fallgruppen bei *Palandt-Grüneberg*, zu § 242.

Bei den Allgemeinen Geschäftsbedingungen werden daher von demjenigen, der diese zur Verfügung stellt, regelmäßig wiederkehrende Sachverhalte zusammengefasst geregelt. Dies kann darin begründet liegen, dass er eine Vielzahl von Geschäften immer gleich abwickeln oder aber bei einer größeren Baumaßnahme eine Vielzahl von Regelungen für möglichst viele Gewerke gleichlautend zugrunde legen möchte.

Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass der Verwender von Allgemeinen Geschäftsbedingungen diese einseitig zu seinen Gunsten und somit zulasten des Vertragspartners formuliert. Deshalb unterliegen Allgemeine Geschäftsbedingungen, anders als Individualvereinbarungen, erheblichen weiteren Beschränkungen; sie sind auf der Grundlage der §§ 307 ff. BGB auch gerichtlich überprüfbar. Als Maßstab ist dabei zugrunde zu legen, dass Regelungen, die den Vertragspartner entgegen den Geboten von Treu und Glauben unangemessen benachteiligen, stets unwirksam sind (§ 307 BGB). Dies ist etwa der Fall, wenn eine unangemessene Benachteiligung, eine Ungleichbehandlung oder eine fehlende Transparenz der beanstandeten Regelung vorliegen. Einzelfälle regelt das BGB in den §§ 307–309.

Als Faustformel für die Überprüfung gilt: Erweist sich eine AGB als unwirksam, ist sie insgesamt nichtig und ungültig. Eine sogenannte geltungserhaltende Reduktion, also eine Auslegung dahingehend, was die Parteien denn sonst gemeint haben könnten, findet anders als bei einer normalen Vertragsauslegung hier nicht statt – das Risiko der Unwirksamkeit und fehlenden Transparenz geht in jedem Falle zulasten des Verwenders (§ 305c Abs. 2 BGB). Eine zwischen den Parteien getroffene individuelle Regelung hat stets Vorrang vor AGB (§ 305b BGB).

Im Regelfall eines baulichen Vertragsabschlusses werden neben dem normalen Auftragsschreiben und/oder einem Verhandlungsprotokoll, die regelmäßig die individuellen Vereinbarungen enthalten, auch in großem Umfang Allgemeine Geschäftsbedingungen vereinbart, wie etwa:

- VOB/B und C
- Allgemeine Vertragsbedingungen
- Zusätzliche Vertragsbedingungen
- Besondere Vertragsbedingungen (BVB) nebst weiteren besonderen Vertragsbedingungen (WBVB)
- Zusätzliche technische Vertragsbedingungen (ZTV)
- Allgemeine technische Vertragsbedingungen (ATV)

Vorgenannte Aufzählung ist nicht abschließend; die Bestandteile können alternativ oder kumulativ in der Baupraxis auftreten.

Im Streitfall werden die Parteien darüber unterschiedlicher Auffassung sein, ob eine Individualvereinbarung vorliegt (die regelmäßig zulässig ist) oder eine Allgemeine Geschäftsbedingung, die bei einer Kontrolle durch die Rechtsprechung am Maßstab der allgemeinen gesetzlichen Bestimmungen (gesetzliches Leitbild) unwirksam ist.

Dabei ist regelmäßig schon streitig, wann Allgemeine Geschäftsbedingungen tatsächlich vorliegen. Sie sind jedenfalls dann ausgehandelt, wenn der Verwender den in seinen AGB enthaltenen gesetzesfremden Kerngehalt inhaltlich ernsthaft zur Disposition stellt und dem Vertragspartner Gestaltungsfreiheit zur Wahrung eigener Interessen mit der realen Möglichkeit einräumt, die inhaltliche Gestaltung der Vertragsbedingungen zu beeinflussen.[6] Der Auftraggeber muss also dem Auftragnehmer bei der Verwendung von Allgemeinen Geschäftsbedingungen die Gelegenheit geben, ernsthaft über Regelungen zu diskutieren und zu verhandeln. Lässt sich der Auftragnehmer nach einer solchen Verhandlung auf die beanstandete Regelung ein, liegt keine Allgemeine Geschäftsbedingung vor, sondern eine Individualvereinbarung. Wird umgekehrt dem Auftragnehmer das Regelwerk lediglich überreicht und ggf. auch über einzelne Regelungen gesprochen, aber nicht ernsthaft verhandelt, und werden die Seiten sogar ggf. noch zum Zeichen des Einverständnisses paraphiert, liegen dennoch weiterhin Allgemeine Geschäftsbedingungen vor, bei denen sich der Auftragnehmer später im Verlauf des Vertrags noch auf die Unwirksamkeit berufen kann.

Unwirksam sind z. B. folgende Vertragsklauseln, die nachfolgend sinngemäß wiedergegeben werden:

> Die stets förmliche Abnahme der Leistung erfolgt nach der Fertigstellung der gesamten Baumaßnahme.

Die Regelung ist unwirksam, weil der Auftragnehmer, der möglicherweise zunächst den Rohbau errichtet hat, danach warten müsste, bis die Gesamtleistung, also auch der Innenausbau etc., fertig gestellt ist. Dies stellt eine unangemessene Benachteiligung dar, da der Unternehmer, der so lange warten muss, ein erheblich verlängertes Vorleistungsrisiko trägt und keine Abnahme für die Leistung erhält, mit der Folge, dass auch die Gewährleistungsphase und die Schlussrechnungsreife nicht eintreten können.[7]

> In jedem Falle hat der Auftragnehmer nachzuweisen, dass er die Ursache für den Mangel nicht gesetzt hat.

Die Regelung ist unwirksam, da die Beweislastregelungen so geregelt sind, dass vor der Abnahme zwar schon der Auftragnehmer, nach der Abnahme aber der Auftraggeber für das Vorliegen von Mängeln darlegungs- und beweisverpflichtet ist. Hier wird eine gesetzliche Grundregel – die Gefahrtragung – zulasten des Auftragnehmers abgeändert, sodass die Klausel unwirksam ist.

> Der Auftraggeber kann Mängel ohne weitere durch Dritte beseitigen lassen.

[6] *OLG Celle*, NZBau 2004, 14 (Kurzform in IBR 2005, 460); *BGH*, BauR 2005, 1154.
[7] S. hierzu Abschn. 4.5 zur Abnahme und Abschn. 4.7 zu den Mängelansprüchen.

Auch diese Regelung ist unwirksam, da dem Auftragnehmer kraft Gesetzes ein Nachbesserungsrecht zusteht (§ 635 BGB), das der Auftraggeber hier umgehen könnte.[8]

Bezüglich der VOB/B wurde früher die Auffassung vertreten, dass diese immer wirksam ist, wenn sie „als Ganzes" vereinbart ist, da es sich um ein ausgewogenes Regelwerk handelt, das die Interessen der am Bauvertrag Beteiligten in ein angemessenes Verhältnis setzt. Abweichungen sollten nur dann AGB-rechtlich relevant sein, wenn der Kerngehalt der VOB als Ganzes beeinträchtigt war. Da sich hier Abgrenzungs- und Auslegungsschwierigkeiten bei dem Versuch der Festlegung, wann der Kernbereich konkret betroffen ist, ergeben haben, führt jetzt jede vertragliche Abweichung von der VOB/B dazu, dass diese nicht mehr als Ganzes vereinbart ist; unerheblich ist es dabei, welches Gewicht der Eingriff hat.[9]

Schon zur Dokumentation und aus Beweiszwecken sollte die VOB/B stets schriftlich vereinbart werden. Bei sog. „Häuslebauern" und Kleinbetrieben, die mit dem Bauwesen nicht vertraut sind, ist es erforderlich, den vollständigen Text der VOB/B nachweislich dem Auftraggeber zu überreichen.[10]

4.2 Die Bauabwicklung

Bei der Bauabwicklung werden erfahrungsgemäß folgende Themenkomplexe, insbesondere auch bei Sanierungsarbeiten, relevant:

4.2.1 Untersuchungs- und Rügepflicht

Der Werkunternehmer muss zur Herstellung eines Werkes oder zu dessen Sanierung/Reparatur Baustoffe (z. B. Fensterelemente etc.) ankaufen (sofern er sie nicht ohnehin selbst fertigt). Üblicherweise stehen dem Käufer einer Ware Mängelansprüche, wie Nachbesserung, Minderung, Wandlung oder Schadenersatz zu. Diese Rechte kann der Käufer vorbehaltlich anderweitiger vertraglicher Regelungen im Regelfall ein bis zwei Jahre, bei einer Verwendung für Bauwerke innerhalb von fünf Jahren ab der Übergabe der Kaufsache nach dem Kauf geltend machen.

Im Handelsrecht, also in dem Rechtsbereich, in dem Kaufleute miteinander Verträge schließen und abwickeln, gelten wegen der größeren Geschäftserfahrung der Beteiligten nach dem Handelsgesetzbuch (HGB) verschärfte Vorschriften im Verhältnis zu der vom BGB geregelten „normalen" Vertragsabwicklung zwischen Nichtkaufleuten. Kauft etwa ein als GmbH organisierter Werkunternehmer (= Kaufmann kraft Rechtsform, § 5 HGB) bei einem ebenfalls als Kaufmann organsierten Hersteller Elemente oder Materialien zu

[8] Umfassende Nachweise für unwirksame Bauvertragsklauseln finden sich bei *Hofmann/Frikell/Schwamb*, Unwirksame Bauvertragsklauseln, 12. Auflage 2015.
[9] *BGH* BauR 2004, 668 (Kurzform: IBR 2004, 179); *BGH*, IBR 2007, 412.
[10] Überblick bei *Werner/Pastor*, Rn 1242 ff. (1247) und 2651 ff.

deren Herstellung ein, gelten neben den kaufrechtlichen Vorschriften des BGB (§ 433 ff. BGB) die verschärften Normen des Handelsrechts, etwa die Vorschrift über das sofortige Untersuchungs- und Rügerecht für gelieferte Waren gemäß § 377 HGB:

Sofern der Kauf für beide Teile ein Handelsgeschäft ist, hat der Käufer die Ware unverzüglich nach Ablieferung durch den Verkäufer zu untersuchen und, wenn sich ein Mangel zeigt, diesen dem Verkäufer unverzüglich anzuzeigen (§ 377 Abs. 1 HGB). Unterlässt der Käufer die Anzeige, gilt die Ware als genehmigt, es sei denn, dass es sich um einen Mangel handelt, der bei der stichprobenartigen Untersuchung nicht erkennbar war (§ 377 Abs. 2 HGB). Zeigt sich ein solcher Mangel später, muss die Anzeige unverzüglich nach der Entdeckung gemacht werden, da andernfalls auch dann die Ware als genehmigt gilt (§ 377 Abs. 3 HGB).

Kernaussage der gesetzlichen Regelung ist also, dass angelieferte Ware unverzüglich und zumindest stichprobenartig daraufhin zu untersuchen ist, ob sie mangelfrei ist. So wird z. B. nicht jedes Fassadenprofil oder jede Fensterscheibe umfassend untersucht werden können, sobald es/sie angeliefert wird. Aber eine stichprobenartige Untersuchung erscheint möglich, da sich dabei zumindest zeigt, ob Verpackungen beschädigt sind oder sonstige grob erkennbare Beschädigungen vorliegen und ob die Ware vollständig geliefert wurde.

Eine solche Kontrolle hat unverzüglich zu erfolgen, wobei das Gesetz in § 377 Abs. 1 HGB dies so definiert, dass die Prüfung zu erfolgen hat „sofern dies nach dem Geschäftsgange tunlich ist." Je nach Ware kann die Rügefrist daher lediglich tageweise bemessen sein.[11] Wird diese Anzeige nicht getätigt, gilt die Ware als genehmigt, der Käufer ist also mit Einwendungen gegen die zumindest bei einer stichprobenartigen Überprüfung feststellbaren Mängel ausgeschlossen und muss die Ware, obwohl sie objektiv mangelhaft ist, akzeptieren. Ihm stehen dann keine Mängelansprüche gegen den Verkäufer mehr zu.

Werden z. B. bestellte Scheiben oder Fassadenprofile ohne die erforderliche CE-Kennzeichnung geliefert,[12] stellt dies einen Mangel dar. Der Verstoß ist dadurch zu bemerken, dass entweder keine Kennzeichnung auf dem Produkt erfolgt ist oder sich aus den Lieferscheinen keine ordnungsgemäße Zuordnung ergibt. Rügt der Auftragnehmer einen solchen Verstoß, der zumindest bei stichprobenartiger Prüfung erkennbar war, nicht unverzüglich, stellt dies eine Verletzung gegen die Untersuchungs- und Rügepflicht gemäß § 377 HGB dar. Dies hat zur Folge, dass selbst eine objektiv fehlende CE-Kennzeichnung, die dazu gesetzwidrig ist (Bauproduktenrecht), den Käufer nicht zur Geltendmachung von Ansprüchen berechtigt.

Umgekehrt trifft die Untersuchungs- und Rügepflicht eines Auftraggebers bezüglich einzelner Funktionen einer Gesamtanlage nicht schon mit der Lieferung und Montage der Einzelteile, sondern erst mit der ersten Inbetriebnahme der Gesamtanlage.[13] Es ist daher

[11] Überblick bei *Baumbach/Hopt/Merkt*, § 377 Rn 23 ff.
[12] Siehe hierzu das Kap. zum Bauproduktenrecht (Abschn. 4.9).
[13] *OLG Naumburg*, IBR 2010, 204.

im Einzelfall und nach den Gepflogenheiten des jeweiligen Gewerks und der diesbezüglichen Handelsbräuche zu entscheiden, wann eine unverzügliche Rüge erforderlich ist und wann die Unverzüglichkeit noch eingehalten ist; eine generalisierende Betrachtung ist aufgrund der Besonderheiten der einzelnen Fälle nicht möglich.[14]

Ein Käufer muss gemäß § 377 HGB den angelieferten Stahl auf den vereinbarten Kohlenstoffgehalt untersuchen und ggf. Mängel rügen, wenn ihm bei Anlieferung durch den Verkäufer ein Werkszeugnis über die chemische Stahlgüte vorgelegt wird.[15]

Allgemein zu den Anforderungen an die Untersuchungs- und Rügeobliegenheiten des Werkunternehmers bei Weiterverarbeitung zugekaufter Baustoffe hat der BGH entschieden, dass letztlich durch eine Abwägung der Interessen des Verkäufers und des Käufers zu ermitteln ist, welche Anforderungen für den konkreten Einzelfall gelten. Dabei ist einerseits das Verkäuferinteresse zu berücksichtigen, nicht noch längere Zeit nach der Ablieferung der Sache nur schwer feststellbaren Gewährleistungsansprüchen ausgesetzt zu sein. Auf der anderen Seite dürfen die Anforderungen an eine ordnungsgemäße Untersuchung nicht überspannt werden.[16]

Beispiel: Der Käufer beschichteter Bleche muss zumindest stichprobenartig bei der Anlieferung kontrollieren, ob die bestellten Maße und Schichtdicken eingehalten werden. Nimmt er die verpackte Ware ungeprüft zunächst auf Lager und verbaut sie Wochen später auf der Baustelle, kann eine dann formulierte Mangelrüge verspätet sein, wenn der Mangel schon vorher mit vertretbarem Aufwand (Sichtkontrolle, Ausmessen eines Musterstücks) möglich war. Nach dem Einbau ist die Rüge gemäß § 377 HGB in jedem Fall verspätet – der Unternehmer kann sich dann nicht mehr auf die Mangelhaftigkeit berufen.

4.2.2 Bedenken- und Hinweispflicht

Während der Bauausführung kommt es immer wieder vor, gerade wenn Sanierungsarbeiten im Bestand ausgeführt werden, dass erst nach Aufnahme der Arbeiten erkannt wird, dass bestimmte Vorgaben aus dem Auftrag/Leistungsverzeichnis vor Ort gar nicht umsetzbar sind oder zu Gefährdungen oder Mängeln führen, für die der Auftragnehmer dann nicht einstehen will.

Insoweit bestimmt § 4 Abs. 3 VOB/B, dass der Auftragnehmer, der Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung, auch wegen der Sicherung gegen Unfallgefahren, gegen die Güte der vom Auftraggeber gelieferten Stoffe oder Bauteile oder gegen die Leistungen anderer Unternehmer hat, sie dem Auftraggeber unverzüglich und möglichst schon vor Beginn der Arbeiten schriftlich mitzuteilen hat. Wird diese Bedenkenanmel-

[14] *Baumbach/Hopt/Merkt*, § 377 Rn 20 ff.
[15] *OLG Hamm*, BauR 2010, 1812 (Kurzform: IBR 2010, 568).
[16] *BGH* BauR 2016, 1157.

dung unterlassen, haftet der Auftragnehmer für einen Mangel, der auf die Vorleistung eines anderen Unternehmers zurückzuführen ist.[17]

Auch wenn in der Rechtsprechung klar gestellt wurde, dass jedenfalls bei einem VOB-Bauvertrag mündliche Bedenkenhinweise nicht unbeachtlich sind[18], ist der Auftragnehmer schon aus Beweisgründen gut beraten, in jedem Fall, in dem er konkrete Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung hat, schriftlich den Auftraggeber hierüber unverzüglich und in der gebotenen Klarheit zu unterrichten. Nur durch Einhaltung der Schriftform wird die Warn- und Informationsfunktion der Bedenkenanzeige zugunsten des Auftraggebers gewahrt. Der Auftragnehmer wird in die Lage versetzt, im Rahmen eines gerichtlichen Verfahrens ggf. nachweisen zu können, auf Bedenken hingewiesen zu haben. Der Auftraggeber kann aufgrund der schriftlichen Bedenkenanzeige seine weitere Vorgehensweise koordinieren und abstimmen. Er ist zudem verpflichtet, auf die Anzeige zu reagieren.[19]

Ordnet der Auftraggeber trotz der geäußerten Bedenken die für mangelhaft gehaltene Ausführung der Leistung an, kann er sich später nicht auf die Mangelhaftigkeit gegenüber dem Auftragnehmer berufen. Im Falle einer ordnungsgemäßen Bedenkenanzeige ist der Auftragnehmer von der Gewährleistung frei, wenn der Auftraggeber die beanstandete Leistungserbringung dennoch zur Ausführung anordnet.[20]

Dem Auftragnehmer, der Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung hat, ist zu raten, lediglich auf die Bedenken hinzuweisen und nicht, wie häufig beobachtet, zugleich Lösungsvorschläge zu unterbreiten. Es entspricht zwar manchmal auf Unternehmensseite der „Handwerkerehre“, zugleich mit der Bedenkenanmeldung einen Lösungsvorschlag zu unterbreiten. Der Auftragnehmer übersieht aber häufig in solchen Fällen, dass er ggf. für eine bislang nicht vorgesehene Ausführungsvariante das Planungsrisiko übernimmt, das bislang beim Auftraggeber gelegen hat (vorbehaltlich anderer vertraglicher Regelungen, insbesondere der ausdrücklichen Übernahme von Planungsleistungen durch den Auftragnehmer).

Allerdings darf die Pflicht oder das Recht zur Anmeldung von Bedenken gemäß § 4 Abs. 3 VOB/B nicht dazu führen oder so missbraucht werden, dass der Auftragnehmer nachträglich bereits im Angebotsstadium erkannte Schwachstellen während der Bauausführung heranzieht, um Bedenken anzumelden und ggf. auch Nachträge hieraus begründen zu wollen. Für den Auftragnehmer erkennbare Mängel in der Ausschreibung, etwa unklare, unrichtige oder unvollständige Leistungsbeschreibungen, sind schon im Angebotsstadium zu artikulieren und dem Auftraggeber bekannt zu geben. So kann z. B. ein Anspruch auf Mehrvergütung für zusätzliche Leistungen[21] abzulehnen sein, wenn der Auftragnehmer so kalkuliert hat, dass er eine für ihn erkennbare bzw. schon erkannte

[17] *Kapellmann/Messerschmidt-Merkens*, § 4 VOB/B, Rn 103 ff.
[18] *BGH*, NJW 1975, 1217.
[19] *Ingenstau/Korbion-Oppler*, § 4 Abs. 3 VOB/B, Rn 75.
[20] S. etwa *Leinemann*, § 4 VOB/B, Rn 102, 107.
[21] Siehe hierzu das Kapitel zu Vergütung und Nachträgen (Abschn. 4.3).

Lücke oder Unklarheit im Leistungsverzeichnis ohne Rückfrage und Klarstellung bei dem Auftraggeber mit ihm günstigen Annahmen eigenmächtig ausgefüllt hat.[22]

Die entsprechende Verpflichtung des Auftragnehmers rührt auch daher, dass der Auftraggeber darauf vertrauen darf, dass der Auftragnehmer über die von einem Fachunternehmer zu erwartenden speziellen Kenntnisse verfügt, und daraus ggf. auch seine Bedenkenanmeldungen ableiten kann. Hierbei ist ein objektiver Maßstab zugrunde zu legen. Der Umfang der Prüfungspflicht richtet sich danach, was unter normalen Umständen bei einem auf dem betreffenden Fachgebiet tätigen Unternehmer vorausgesetzt werden muss, also nach der Sorgfalt eines ordentlichen Unternehmers, der über den jeweils anerkannten Stand der Regeln der Technik orientiert ist.[23]

Die in § 4 Abs. 3 VOB/B ausdrücklich geregelte Pflicht zur Bedenkenanmeldung gilt als sog. allgemeiner Rechtsgedanke auch ohne Vereinbarung der VOB/B für das Werkvertragsrecht des BGB.[24] In seiner Bedenkenanmeldung sollte der Auftragnehmer ausdrücklich darauf hinweisen, dass es ohne Abhilfe gegen die Bedenken zu späteren Mängeln kommen kann, für die er nicht verantwortlich ist. Er sollte den Auftraggeber zur Stellungnahme innerhalb einer zu setzenden angemessenen Frist auffordern. In jedem Fall ist dem Auftragnehmer zu empfehlen, eine ausdrückliche Klärung herbeizuführen und darauf hinzuwirken, dass der Auftraggeber sich äußert. Allein in einem Schweigen des Auftraggebers, insbesondere wenn es sich um eine Privatperson handelt, die im Bauwesen nicht erfahren ist, kann, wie eingangs bereits erwähnt, keine Zustimmung einer Leistungsänderung oder zur Inkaufnahme von Mängeln erblickt werden. Ggf. muss der Auftragnehmer, je nach Schwere der Bedenken, sogar seine Arbeiten einstellen, bis der Auftraggeber eine entsprechende Anordnung zur Weiterführung der Arbeiten getroffen hat. In diesem Fall muss der Auftragnehmer nach § 6 Abs. 1 VOB/B zugleich Behinderung bei der weiteren Ausführung anmelden.

Mit Blick auf das Spannungsfeld zwischen Bedenkenanmeldung und Befreiung von der Haftung einerseits und den überragenden Kenntnissen des Fachunternehmers andererseits ist auf das Beispiel hinzuweisen, wonach der Hersteller von nur wasserabweisend beschichteten Fassadenelementen aus Naturbims kraft seines Sonderwissens den Auftraggeber darüber aufklären muss, dass die Elemente, sobald sie mit Bodenfeuchte in Berührung kommen, zusätzlich einer wasserundurchlässigen Beschichtung bedürfen.[25] Unterlässt er eine solche Anzeige, geht dies zulasten des Auftragnehmers.

Auch wenn der Bauherr selbst fachkundig ist oder sich die Fachkunde von Mitarbeitern/Beauftragten zurechnen lassen muss, insbesondere wenn er Fachplaner, Projektsteuerer, Architekten o. ä. eingeschaltet hat, entfällt die Prüfungs- und Hinweispflicht des Auftragnehmers nicht vollständig.[26] Nach § 4 Abs. 2 VOB/B hat der Auftragnehmer seine Leistung unter eigener Verantwortung nach dem Vertrag auszuführen und dabei die

[22] *BGH* BauR1987, 683.
[23] *Ingenstau/Korbion-Oppler*, § 4 Abs. 3 Rn 10.
[24] *Ingenstau/Korbion-Oppler*, § 4 Abs. 3 VOB/B, Rn 2 f.
[25] *OLG Koblenz*, IBR 2010, 386.
[26] *BGH*, BauR 2001, 622 (Kurzform: IBR 2001, 177).

anerkannten Regeln der Technik sowie die einschlägigen gesetzlichen und behördlichen Bestimmungen zu beachten.

Äußert andererseits der Auftragnehmer technisch begründete Bedenken gegen die Umsetzbarkeit der Bauausführungsplanung des Auftraggebers, rechtfertigt dies grundsätzlich keine Kündigung aus wichtigem Grund seitens des Auftraggebers, da insbesondere auch kein Vertrauensverlust vorliegt, wenn der Auftragnehmer auf seine fachlich begründeten Bedenken hinweist.[27]

Anderseits ist zu bedenken: Der Auftragnehmer hat für ihn erkennbare Mängel schon in der Ausschreibung, etwa unklare, unrichtige oder unvollständige Leistungsbeschreibungen, noch vor Angebotsabgabe unverzüglich dem Auftraggeber mitzuteilen, um auch hier wieder seinen Untersuchungspflichten einerseits und den Hinweispflichten andererseits zu genügen. Ein Anspruch auf Mehrvergütung, der später hieraus abgeleitet wird, auch bei tatsächlicher Ausführung von zusätzlichen Leistungen, kann dann abzulehnen sein, wenn der Auftragnehmer so kalkuliert hat, dass er eine für ihn erkennbare bzw. durch ihn erkannte Lücke oder Unklarheit im Leistungsverzeichnis ohne Rückfrage und Klarstellung mit ihm günstigen Annahmen eigenmächtig ausgefüllt hat.[28] Auch diese Erwägung beruht wieder darauf, dass den Auftragnehmer Prüfungs- und Hinweispflichten treffen, weil der Auftraggeber darauf vertrauen darf, dass der Auftragnehmer über die von einem Fachunternehmen zu erwartenden speziellen Kenntnisse verfügt.

4.2.3 Der Schutz der Leistung/Gefahrtragung

§ 4 Abs. 5 VOB/B bestimmt, dass der Auftragnehmer die von ihm ausgeführten Leistungen und die ihm für die Ausführung übergebenen Gegenstände bis zur Abnahme vor Beschädigung und Diebstahl zu schützen hat. Auf Verlangen des Auftraggebers hat er sie vor Winterschäden und Grundwasser zu schützen, ferner Schnee und Eis zu beseitigen, wofür ihm gegebenenfalls eine zusätzliche Vergütung zustehen kann, sofern die Leistung nicht ohnehin nach dem Vertrag schon geschuldet ist.

Damit wird geregelt, dass der Auftragnehmer bis zur Abnahme seiner Leistung voll hierfür verantwortlich und verpflichtet ist, diese Leistung gegen Beschädigung etc. zu schützen.

§ 644 BGB normiert bezüglich der Gefahrtragung, dass der Unternehmer die Gefahr bis zur Abnahme des Werkes trägt. Für den zufälligen Untergang und eine zufällige Verschlechterung des von dem Besteller gelieferten Stoffs ist der Unternehmer nicht verantwortlich, haftet aber ansonsten auch für etwaige Vandalismusschäden (zerstörte Verglasung oder Graffitischmierereien bzw. sonstige Beschädigungen). Die insoweit geregelte Leistungsgefahr besagt, dass der Unternehmer bis zur Abnahme das Risiko der Beschädigungen zu tragen hat und seine Leistung ggf. nochmals erneut erbringen muss. Für die

[27] *OLG Naumburg*, BauR 2009, 980 (Kurzform: IBR 2009, 136).
[28] *BGH*, BauR 1987, 683.

erbrachte, aber durch Beschädigung oder Ähnliches wertlos gewordene Leistung entfällt auch die Vergütungspflicht; bezahlt wird nur der tatsächliche Werkerfolg, der etwa durch eine Neuerbringung der Leistung erst herbeigeführt werden kann.

§ 7 VOB/B bestimmt in diesem Zusammenhang, dass die Vergütungsgefahr, insoweit abweichend von § 644 BGB und zugunsten des Unternehmers, vorzeitig auf den Auftraggeber übergeht, wenn die Leistung vor der Abnahme durch höhere Gewalt, Krieg oder Aufruhr bzw. andere objektiv unabwendbare, vom Auftragnehmer nicht zu vertretende Umstände beschädigt oder zerstört wird, also etwa Naturereignisse, nicht aber Hochwasser, mit dem gerechnet werden kann.[29]

Insoweit hat der Auftragnehmer die Leistung erneut zu erbringen, da er die Leistungsgefahr trägt. Für die ausgeführten Teile steht ihm nach § 7 Abs. 1 i. V. m. § 6 Abs. 5 VOB/B aber ein Vergütungsanspruch zu. Dies ist der Grund, weshalb in zahlreichen Verträgen ausschließlich die Regelungen des § 644 BGB unter Ausschluss der VOB-Regelungen für die Gefahrtragung vereinbart werden.

In zahlreichen Fällen hat der Auftraggeber eine Bauwesen- oder Bauleistungsversicherung abgeschlossen, die für solche Schäden haftet und sich auch auf den jeweiligen Auftragnehmer erstreckt. Üblicherweise erfolgt die Abrechnung der Versicherung über eine prozentuale Beteiligung, berechnet von der Auftragssumme (z. B. 0,2 % für Bauwesenversicherung von der Auftragssumme). Dies bietet den Vorteil, dass solche Beschädigungen dann über eine Versicherung abgedeckt sind.

Besteht eine solche Versicherung nicht, kommt bei bereits eingebauten Teilen die Anwendung der Grundsätze über die sogenannte Drittschadensliquidation[30] in Betracht. Regelmäßiger Anwendungsfall ist, dass bereits eingebaute Fassadenteile nach Einbau durch andere Gewerke oder Vandalismus beschädigt werden. Durch den Einbau der Teile werden sie gemäß § 946 BGB mit einem Grundstück so verbunden, dass sie wesentlicher Bestandteil des Grundstücks werden. Das Eigentum an dem Grundstück erstreckt sich somit auch auf die eingebaute Sache. Geschädigt wird also eigentlich der Eigentümer, im Regelfall der Bauherr. Dies gilt unabhängig von der Erfüllung vertraglicher Verpflichtungen und begründet sich rein sachenrechtlich durch die Regelung über den Eigentumsübergang in § 946 BGB.

Gleichzeitig ist eine vom Auftragnehmer eingebaute Sache beschädigt worden, sodass nach den vorstehenden skizzierten Gefahrtragungsregeln der Auftragnehmer für die Beseitigung des Schadens verantwortlich ist.

Beispiel: Bei der Errichtung eines Hochhauses reißt dem Rohbauer auf der 30. Etage eine Schalungsbühne. Betonschlämme werden über die darunter bereits eingebauten Fassadenteile des Metallbauers verteilt und beschädigen diese zum Teil erheblich. Einige Scheiben müssen sogar ausgetauscht werden, bei anderen ist eine aufwendige Reinigung erforderlich.

[29] *BGH*, BauR 1997, 1021 – Schürmann-Bau Bonn.
[30] Überblick bei: *Werner/Pastor*, Rn 2221 ff.; *Palandt-Grüneberg*, vor § 249, Rn 105 ff.; *Niemöller* in IBR-Online-Kommentar zur VOB, § 7 VOB/B.

Geschädigt ist hier eigentlich der Eigentümer, da die Fassadenelemente durch Einbau in sein Eigentum übergegangen sind (§ 946 BGB). Der Auftraggeber des Fassadenbauers kann aber einwenden, dass die Fassadenelemente vor Abnahme geschädigt wurden und sich auf die Gefahrtragungsregelungen, wie vorstehend beschrieben, und auf den Schutz der Leistung nach § 4 Abs. 5 VOB/B beziehen. Der Auftragnehmer müsste dann, vorbehaltlich anderer Regelungen und bestehender Versicherungen, auf eigene Kosten den Schaden nachbessern. Hier gibt die Drittschadensliquidation die Möglichkeit, dass der Auftraggeber verpflichtet ist, dem Auftragnehmer Ersatzansprüche gegen den Schädiger abzutreten. Der Auftragnehmer hat dann die Möglichkeit, den ihm entstandenen Schaden unmittelbar gegenüber dem Verursacher, im Beispielsfall dem Rohbauer, geltend zu machen.

Derartige Probleme, wie im Beispielsfall, können auch dadurch umgangen werden, dass der Auftraggeber eine kombinierte Bauleistungs- und Haftpflichtversicherung abschließt, um solche Schäden angemessen bewältigen zu können.

Problematisch ist es, im Einzelfall festzulegen, wie weit die Schutzpflicht des Unternehmers reicht. Die Erhaltungspflicht beschränkt sich nach § 4 Abs. 5 Satz 1 VOB/B ausdrücklich auf die von ihm selbst ausgeführten Leistungen und die hier zu übergebenen Gegenstände, nicht aber auch auf andere Gewerke. Verallgemeinernd ist festzuhalten, dass der Schutz vor Beschädigungen die Verpflichtung des Auftragnehmers bedeutet, *seine* Leistung und die hierzu erhaltenen Gegenstände bis zur Abnahme vor schädigenden Einflüssen zu bewahren. Inwieweit Schutzmaßnahmen zu treffen sind, regelt sich allerdings auch nach der sogenannten Gewerbesitte oder den tatsächlichen Einflussnahmemöglichkeiten des Auftragnehmers und muss letztlich in jedem Einzelfall entschieden werden.

Maßstab soll die konkret auf das einzelne Bauobjekt bezogene, allgemein auf dem betreffenden Bausektor anerkannte und zu verlangende Übung sein.[31] Hier müssen in jedem Einzelfall gewerkspezifische Besonderheiten und Gepflogenheiten berücksichtigt werden. Über das „Normalmaß“ hinausgehende Schutzmaßnahmen kann der Auftragnehmer versuchen, als Nachtragsleistung gegenüber dem Auftraggeber geltend zu machen. Wünscht der Auftraggeber etwa eine zusätzliche, nicht übliche Schutzmaßnahme (z. B. Schutz von Fassadenelementen durch Bretter), dürfte dies regelmäßig eine mehrvergütungspflichtige Leistung im Sinne des § 2 Abs. 6 VOB/B darstellen.

4.2.4 Dokumentation

In vielen Fällen zeigt sich, dass Probleme im Nachgang zur Baumaßnahme, etwa im Zuge der Führung eines Rechtsstreits, nicht mehr sachgerecht zu bewältigen sind, weil die erforderliche Projektdokumentation nicht erfolgt ist. Insbesondere mit Blick auf die erheblichen Anforderungen, die die Rechtsprechung etwa im Zusammenhang mit der

[31] *Ingenstau/Korbion-Oppler*, § 4 Abs. 5 Rn 10.

Darlegung von Behinderungsschäden stellt,[32] aber auch zum Nachweis sonstiger möglicherweise problematischer Punkte empfiehlt sich während der Bauausführung die Dokumentation der ausgeführten Arbeiten und ergangener Anordnungen sowie das Führen eines angemessenen, durchaus auch umfassenden Schriftverkehrs. An Möglichkeiten für die Dokumentation stehen dem Auftragnehmer zur Verfügung:

- Eigendokumentation
- Bautagebuch
- Privatgutachten
- selbstständiges Beweisverfahren

Die Dokumentation des Zustands von ausgeführten Leistungen kann durch die Fertigung von Aktenvermerken, durch die Führung entsprechender Korrespondenz und von Fotodokumentationen erfolgen (Eigendokumentation).

In vielen Fällen besteht bereits eine vertragliche Verpflichtung zur Führung eines *Bautagebuchs*. Ungeachtet dessen empfiehlt sich, auch ohne eine solche Verpflichtung, die Führung des Bautagebuchs. Es kann bei späteren Streitigkeiten eine erhebliche Stütze im Rahmen der Nachweisführung für konkrete Umstände der Baustelle und ihrer Besetzung sein.

Mit Blick auf die nötige Dokumentation empfehlen sich folgende Eintragungen:

- Tägliche Leistung des Auftragnehmers
- Beginn/Beendigung einzelner Bauarbeiten
- Unterbrechung/Verzögerung der Arbeiten nebst Erfassung der Ursachen
- Außergewöhnliche Ereignisse, wie Unfälle etc.
- Notwendigkeit etwaiger Abweichungen von den genehmigten Bauzeichnungen einschließlich der Begründung
- Vermerk über Aufmaße
- Personelle Besetzung der Baustelle

Je nach Einzelfall können weitere Eintragungen hinzukommen.

Insbesondere bei Streitigkeiten über die Mangelhaftigkeit der erbrachten Leistung oder die Abnahmefähigkeit sowie bei erheblichen Bauverzögerungen kann es sich empfehlen, einen *Privatgutachter* zur Dokumentation und gegebenenfalls zur Bewertung von ausgeführten Bauleistungen hinzuzuziehen.

Ein Privatgutachten sollte, um dem in der Praxis üblichen Einwand des „Gefälligkeitsgutachtens“ oder des Parteigutachtens zu entgehen, einem gerichtlichen Gutachten vergleichbar sein, also objektiv und fachlich richtig erstellt werden und nicht einseitig die Interessen des Auftraggebers wiedergeben.

Der Privatgutachter kann in einem Bauprozess als sachverständiger Zeuge benannt werden. Es empfiehlt sich, einen für das Fachgebiet spezialisierten, öffentlich, von der

[32] Vgl. Kap. über bauzeitbedingte Ansprüche (Abschn. 4.4).

IHK oder HWK bzw. Architektenkammer, bestellten und vereidigten Sachverständigen zu beauftragen.

Wird ein dem gerichtlichen Gutachten substanziiert widersprechendes Privatgutachten vorgelegt, muss das Gericht die Streitpunkte dieser Fachleute mit dem gerichtlichen Sachverständigen erörtern und die hierauf beruhende Abwägung in den Entscheidungsgründen belegen.[33] Dies bedeutet, dass sich ein Gericht im Streitfall mit einem qualifizierten Gutachten in jedem Falle auseinandersetzen muss und dies nicht als Privatgutachten unbeachtet lassen kann.

Sollte es zum Streitfall kommen, sind Privatgutachterkosten grundsätzlich Mangelfolgeschäden, wenn sie etwa vom Bauherrn aufgewendet werden mussten, um Mängel am Bauwerk des Unternehmers feststellen zu lassen, oder vom Auftragnehmer, um z. B. die Abnahmereife seines Werkes nachzuweisen. Die Angemessenheit der zu erstattenden Kosten bemisst sich dabei nach den Kosten, die ein vernünftig und wirtschaftlich denkender Auftraggeber im konkreten Einzelfall akzeptieren würde.[34]

Als „sicherste“ Maßnahme erweist sich die Einleitung beweissichernder Maßnahmen durch das zuständige Gericht. Hierfür steht das *selbstständige Beweisverfahren* nach §§ 485 ff. ZPO zur Verfügung. Dieses Verfahren dient regelmäßig der Feststellung von Baumängeln und ist deshalb eine vorweggenommene Tatsachenfeststellung durch gerichtliche Beweiserhebung, um dadurch einen Hauptsacheprozess vorzubereiten oder zu vermeiden. Durch einen gerichtlich zu bestellenden Sachverständigen, regelmäßig ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das jeweilige Fachgebiet, soll festgestellt werden, ob Baumängel vorliegen und wenn ja, welche Ursachen hierfür verantwortlich sind. Gleichzeitig werden die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen und die hierfür anfallenden Kosten ermittelt. Zudem soll damit die Feststellung der Verantwortlichkeit für Mängel und ggf. auch die Richtigkeit von Aufmaßen etc. überprüft werden.

Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass der Antragsteller eines solchen Verfahrens Feststellungen zum Sachverhalt mit Beweiswert, insbesondere zu Mangelfragen oder Aufmaßproblemen erhält.

In zeitlicher Hinsicht nachteilig wirkt sich aus, dass das Verfahren regelmäßig so ausgestaltet ist, dass dem Antragsgegner rechtliches Gehör gewährt wird (prozessuales Grundrecht!) und nur ganz ausnahmsweise ohne eine Stellungnahme des Auftragnehmers ein Beweisbeschluss erlassen wird. Der Erlass des Beweisbeschlusses führt dazu, dass zunächst ein Sachverständiger ausgewählt werden muss. Hierzu wird vom Gericht die in Betracht kommende Kammer (IHK, HWK oder Architektenkammer) befragt, es sei denn, die Parteien können sich gemeinsam auf einen vom Gericht zu beauftragenden Sachverständigen einigen. Sodann wird ein Vorschuss vom Antragsteller eingefordert. Haben die Parteien wechselseitig Fragen gestellt, muss von beiden oder mehreren Parteien der entsprechende Vorschuss eingefordert werden. Es vergeht somit eine recht erhebliche Zeit, bis der Sachverständige überhaupt seine Arbeit aufnehmen kann. Gerichtlich beauftragte

[33] *BGH* IBR 2010, 308.
[34] *OLG Frankfurt*, IBR 2009, 513.

Sachverständige sind im Regelfall sehr stark ausgelastet, sodass eine zeitnahe Begutachtung nur sehr selten erfolgt. Selbst ein zügig arbeitender Gutachter benötigt nach der Ortsbesichtigung (oder mehreren Terminen zur Ortsbesichtigung) eine gewisse Zeit, um sein Gutachten auszuarbeiten.

Der Grundsatz des rechtlichen Gehörs und die Tatsache, dass es sich um letztlich beweiskräftige Feststellungen handelt, bedingt, dass die Parteien Gelegenheit zur Stellungnahme zu dem Gutachten erhalten. Regelmäßig wird die Partei, die mit dem Gutachten „nicht einverstanden" ist, Einwendungen gegen das Gutachten erheben und den Gutachter zur Ergänzung seines Gutachtens unter Berücksichtigung der Fragen der jeweiligen Partei auffordern. Beide Parteien sind im Übrigen berechtigt, auch ohne Angaben von Gründen das Erscheinen des Sachverständigen vor Gericht anordnen zu lassen.[35] Der Sachverständige muss dann in einer mündlichen Verhandlung sein Gutachten erläutern.

Daran zeigt sich, dass das selbstständige Beweisverfahren durchaus sehr langwierig sein kann und dem Interesse, kurzfristig einen bestimmten Zustand zu dokumentieren sowie der gesetzlichen Ausgestaltung als „Eilverfahren", eher zuwiderläuft. Insbesondere bei Fragen zur Abnahmefähigkeit des Werkes, wo kurzfristig Feststellungen zu treffen und zu dokumentieren sind, besteht zwar objektiv die Möglichkeit des selbstständigen Beweisverfahrens – vorzugswürdig erscheint aber mit Blick auf die kurzzeitige Dokumentationsfunktion oftmals die Einschaltung eines privaten Sachverständigen.

4.3 Vergütung/Nachträge

4.3.1 Vergütungsformen

Das Wesen des Werkvertrags besteht darin, dass der Unternehmer seine Leistungen nur gegen Vergütung erbringt (§ 631 Abs. 1 BGB). Haben die Parteien sich also nicht über eine konkrete Vergütung geeinigt, was zumindest bei Bauverträgen mit nicht ganz geringfügigen Beträgen unüblich wäre, gilt nach § 632 BGB eine Vergütung jedoch als stillschweigend vereinbart, wenn die Herstellung des Werkes den Umständen nach nur gegen eine Vergütung zu erwarten ist. Ist die Höhe der Vergütung nicht bestimmt, so ist die übliche Vergütung als vereinbart anzusehen (§ 631 Abs. 2 BGB). Haben die Parteien also keine eigenständige Vergütungsregelung getroffen, gilt die vor Ort angemessene und ortsübliche Vergütung, die sich am Durchschnitt der vergleichbaren Vergütung für entsprechende Bauleistungen ergibt. Im Zweifel muss die Vergütung durch einen Sachverständigen ermittelt werden.

Haben die Parteien bei dem Abschluss des Vertrags die Geltung der VOB/B vereinbart, kommen folgende Vertragstypen in Betracht:

[35] *Zöller-Greger*, § 411, Rn 4a, 5 und 5a.

Einheitspreisvertrag

Der Einheitspreisvertrag soll zumindest bei öffentlichen Bauaufträgen die Regel sein (§ 4 Abs. 1 Nr. 1 VOB/A). Üblicherweise wird insoweit ein Leistungsverzeichnis erstellt, bei dem die konkrete Leistung beschrieben wird und der Auftragnehmer Angaben zur Menge und zu den Einheitspreisen zu machen hat. Die Angabe der Menge wird als „Vordersatz" bezeichnet. Im Regelfall wird hierfür ein Einheitspreis (EP) ausgeworfen, den der Auftragnehmer kalkuliert. In der Multiplikation der Menge mit dem Einheitspreis ergibt sich der Gesamtpreis für die Position, der Positionspreis. Zum Beispiel wie folgt:

Position 02.01.0100 Baustelleneinrichtung				
1	psch	€ 10.000,00	€	10.000,00
Position 02.01.0110 Spritzbeton in Betonfertigkeitsklasse C 20/25 in einer mittleren Wandstärke von 20 cm herstellen				
210,000	qm	€ 134,70	€	28.287,00

Der Beispielsfall veranschaulicht, dass etwa bezüglich der Baustelleneinrichtung eine Pauschale vereinbart werden kann – denkbar ist selbstverständlich auch, dass für die Baustelleneinrichtung ein Wert pro Monat oder pro Woche angesetzt wird.

Im Beispielsfall ist die Leistungsposition „Spritzbeton" mit einer bestimmten Menge vorgesehen (Vordersatz: 210 qm), die mit dem vom Unternehmer kalkulierten Einheitspreis in Höhe von € 134,70 zu multiplizieren ist, sodass man den Betrag von € 28.287,00 als Vergütungsansatz für das Angebot, den Positionspreis, erhält.

Die Summe aller Positionspreise, ggf. noch nach Sachgebieten („Titel") aufgegliedert, ergibt die Angebotssumme, auf deren Grundlage der Auftrag erteilt bzw. die Summe nochmals verhandelt wird.

Hinweise für die Art und Weise der Abrechnung erhalten die Vertragsparteien aus den einschlägigen DIN sowie aus der allgemeinen technischen Vorschrift DIN 18299 (VOB/C).

Die Abrechnung erfolgt auf der Grundlage eines gemeinsamen Aufmaßes (§ 14 Abs. 1 VOB/B).

Verbindlich für die Abrechnung sind dabei die Einheitspreise, die Grundlage der Angebotspreise geworden sind. Es muss ggf. erforderlich werdenden mengenmäßigen Abweichungen Rechnung getragen werden, sodass der Einheitspreis als maßgeblicher Faktor für die Preisermittlung bei der Abrechnung zu berücksichtigen ist; stärkere Abweichungen können bei einem VOB/B-Bauvertrag nach § 2 Abs. 3 VOB/B zu Vertragsanpassungen führen.

Pauschalvertrag

Die Parteien können allerdings auch die Vergütung für die zu erbringenden Leistungen pauschalieren (vorgesehen etwa in § 4 Abs. 1 Nr. 2 VOB/A für „geeignete Fälle"). Der Unterschied zum Einheitspreisvertrag besteht darin, dass die Parteien insbesondere das Mengenrisiko bewusst pauschalieren. Erhöht sich die Menge, trägt der Auftragnehmer

das entsprechende Vergütungsrisiko; verringert sich die Menge, trägt der Auftraggeber das entsprechende Vergütungsrisiko. Die Risiken sollen durch die Pauschalierung angemessen abgewogen werden; die Parteien wollen sich Streit über Aufmaßfragen und angefallene Mengen ersparen.

Einigen sich die Parteien auf der Grundlage eines Leistungsverzeichnisses, das mit Einheitspreisen versehen wurde (s. o.), auf eine Pauschalierung, werden also nur die Positionssummen bzw. die Angebotssumme zu einer Pauschale zusammengefasst, spricht man von einer Detailpauschale. Insoweit gilt dann nur noch der Pauschalpreis, unabhängig von den tatsächlich erbrachten Mengen.

Liegt der Ausschreibung weitergehend eine funktionale Leistungsbeschreibung zugrunde und erfolgt auf dieser Grundlage eine Pauschalierung, spricht man von einem Global-Pauschalvertrag. Bei einer solchen Pauschale sind sämtliche erforderlichen Leistungen zur Erreichung des beschriebenen Bauziels mit der vereinbarten Vergütung abgegolten. Der Auftragnehmer geht hier ein erhebliches Risiko bezüglich der Übernahme von Planungsleistungen ein. Dennoch wird dieser Vertrag recht häufig angewendet, wenn der Auftraggeber sich Einzelheiten der Planung ersparen möchte und z. B. „ein Stück Fassade“ vollständig angeboten erhalten möchte. Bei einem Global-Pauschalvertrag dürfte es dem Auftragnehmer relativ schwerfallen, Mehrvergütungsansprüche (dazu sogleich) durchzusetzen, da bereits das Leistungssoll in weitem Umfang pauschaliert ist und sich das Risiko einer Abweichung regelmäßig zulasten des Auftragnehmers realisieren wird.

Stundenlohnvertrag

Einheitspreis- und Pauschalpreisvertrag stellen die regelmäßigen Vertragstypen bei einem VOB-Bauvertrag dar. Für nicht konkret erfassbare Leistungen kann es sich aber anbieten, auch einen Stundenlohnvertrag zu schließen, bei dem die Bauleistungen – regelmäßig geringeren Umfangs – die überwiegend Lohnkosten verursachen, im Stundenlohn vergeben werden (s. § 4 Abs. 2 VOB/A).

Üblicherweise enthalten insbesondere Einheitspreisverträge Positionen, für die bereits festgelegt ist, welche Kosten für den Einsatz eines Meisters, eines Facharbeiters oder eines Hilfsarbeiters anfallen. Werden dann solche Arbeiten zur Ausführung beauftragt (§§ 2 Abs. 10 und 15 VOB/B), steht für die Parteien der Vergütungssatz bereits fest.

Der Auftragnehmer muss sich darüber im Klaren sein, dass er im Streitfall darzulegen und zu beweisen hat, dass die Stundenlohnarbeiten vor ihrer Ausführung durch den Auftraggeber angeordnet bzw. ausdrücklich vereinbart wurden.[36] Die häufig zu beobachtende Übung, wonach Leistungen, die nicht gesondert im Leistungsverzeichnis erfasst waren, mit Stundenlohnarbeiten in der Schlussrechnung abgerechnet werden, entspricht nicht den gesetzlichen Vorgaben bzw. den Regelungen der VOB/B. Derartige Abrechnungen müssen nicht vergütet werden, sofern nicht die Anforderungen insbesondere des § 2 Abs. 10 VOB/B (Stundenlohnvereinbarung) und des § 15 VOB/B erfüllt sind. Demnach

[36] Zu den hohen Anforderungen an den Nachweis einer Stundenlohnvereinbarung *OLG Nürnberg* BauR 2015, 209 (511 f.).

ist dem Auftraggeber die Ausführung von Stundenlohnarbeiten vor Beginn anzuzeigen. Über die geleisteten Arbeitsstunden und den dabei erforderlichen, besonders zu vergütenden Aufwand für den Verbrauch von Stoffen, für Vorhaltung von Einrichtungen, Geräten, Maschinen, für Frachten etc. sowie sonstige Sonderkosten sind je nach der Verkehrssitte werktäglich oder wöchentlich Listen (Stundenlohnzettel) einzureichen. Der Auftraggeber hat die von ihm bescheinigten Stundenlohnzettel unverzüglich, spätestens jedoch innerhalb von sechs Werktagen nach Zugang zurückzugeben. Er kann dabei Einwendungen auf den Stundenzetteln oder gesondert schriftlich erheben. Nicht fristgemäß zurückgegebene Stundenlohnzettel gelten allerdings als anerkannt.

4.3.2 Nachträge (Mehrvergütungsansprüche)

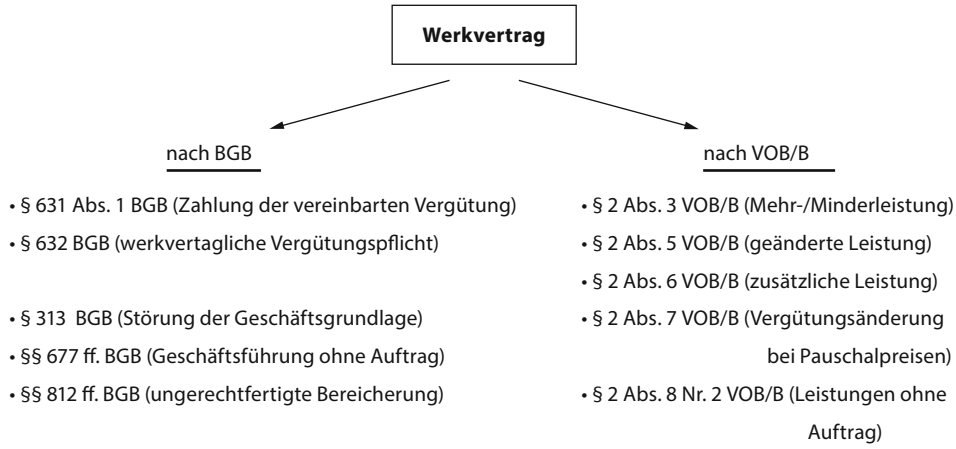
Kaum eine Baumaßnahme kommt erfahrungsgemäß ohne sog. Nachträge aus. Hierbei handelt es sich um Mehr- oder Minderkosten, also Vergütungsansprüche, Aufwendungsansprüche oder Schadenersatzansprüche, die der Auftragnehmer nach Abschluss des Bauvertrags über den bisher vereinbarten Preis hinaus geltend macht. Ein Nachtrag entsteht aus einer Abweichung zwischen ursprünglich vereinbarter Leistung (Bau-Soll) und tatsächlich geforderter bzw. erbrachter Leistung (Bau-Ist).

Beispiel: Im Rahmen der Sanierung von Bestandsfenstern an einem alten Bauvorhaben ordnet der Auftraggeber nach Auftragserteilung ein anderes als das ausgeschriebene Verfahren zur Entlackung der alten Holzfenster an (Leistungsänderung).

Beispiel: Bei einer Schadstoffsanierung wird festgestellt, dass zusätzlich zu den ausgeschriebenen Schadstoffsanierungsarbeiten nach Auftragserteilung aufgrund nachträglicher Messungen auch noch weitere Schadstoffe zu entsorgen sind (z. B. PAK zusätzlich Asbestsanierung – zusätzliche Leistung).

Vertraglich vereinbart ist in solchen Fällen zunächst nur die Zahlung der vereinbarten Vergütung auf der Grundlage der allgemeinen werkvertraglichen Vergütungspflicht (§§ 631 Abs. 1, 632 BGB). Nachträge führen allerdings regelmäßig zu einer Vergütungsänderung, die insbesondere unter Geltung der VOB/B differenziert erfasst ist, hierauf fußt die nachfolgende Betrachtung.

Zusammenfassend bestehen, wie dem nachfolgenden Überblick zu entnehmen ist, folgende Anspruchsgrundlagen:



4.3.2.1 § 2 Abs. 7 VOB/B

Bei Pauschalverträgen, insbesondere bei sog. Global-Pauschalverträgen wird naturgemäß weniger Raum für Nachtragsleistungen bestehen. Aber auch dann, wenn keine konkrete Zuordnung der Änderung zu dem Pauschalleistungsbereich möglich ist, kann nach § 2 Abs. 7 Nr. 1 Satz 1 VOB/B eine Anpassung der Vergütung unter dem Gesichtspunkt des Wegfalls der Geschäftsgrundlage bzw. nach Treu und Glauben (§ 242 BGB) in Betracht kommen.

Ohne dass es hier eine gesetzliche Festlegung gibt, hat sich in der Rechtsprechung mit allen Vorbehalten wegen der Berücksichtigung von Besonderheiten des konkreten Einzelfalls eine Linie herausgebildet, wonach eine Veränderung des *Gesamt*preises von mehr als 20 % zu einer derartigen Vergütungsanpassung führen soll.[37]

Grundlage hierfür ist die Überlegung, dass die Parteien grundsätzlich am Pauschalpreisvertrag festgehalten werden sollen und sie Mengenabweichungen, aber auch Preisabweichungen in einem gewissen Umfang bewusst in Kauf genommen haben. Entscheidend ist ein unerträgliches Missverhältnis zwischen der Gesamtbauleistung einerseits und dem ursprünglich vereinbarten Pauschalpreis andererseits. Bezogen auf die Gesamtleistung/den ursprünglich vereinbarten Pauschalpreis, muss es zu einem unzumutbaren Missverhältnis gekommen sein – nur dann kann ausnahmsweise eine Vergütungsanpassung in Betracht kommen. § 313 Abs. 1 BGB gibt hierfür die erforderlichen Rahmenbedingungen vor: Haben sich Umstände, die zur Grundlage des Vertrags geworden sind, nach Vertragsschluss schwerwiegend verändert, und hätten die Parteien den Vertrag nicht oder mit anderem Inhalt geschlossen, wenn sie diese Veränderung vorausgesehen hätten, so kann Anpassung des Vertrags verlangt werden, soweit einem Teil unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls, insbesondere der vertraglichen oder gesetzlichen Risikoverteilung, das Festhalten am unveränderten Vertrag nicht zugemutet werden kann.

[37] *Werner/Pastor*, Rn 1546 m. w. N.; *Kapellmann/Messerschmidt-Kapellmann*, § 2 VOB/B, Rn 280 ff.

Abgesehen davon ist es auch bei einem Pauschalpreisvertrag denkbar, dass zusätzliche Leistungen abgefordert werden, die bei der Pauschalierung nicht bekannt waren. § 2 Abs. 7 Nr. 2 VOB/B regelt ausdrücklich, dass die Regelungen über Mehrvergütungsansprüche durch geänderte oder zusätzliche Leistungen auch bei Vereinbarung einer Pauschalsumme gelten. Leistungsänderungen und zusätzliche Leistungen sind somit auch bei Vorliegen eines Pauschalvertrags möglich.

4.3.2.2 § 2 Abs. 5 VOB/B

Nach § 2 Abs. 5 VOB/B ist ein neuer Preis unter Berücksichtigung der Mehr- oder Minderkosten zu vereinbaren, wenn durch eine Änderung des Bauentwurfs oder andere Anordnungen des Auftraggebers die Grundlagen des Preises für eine im Vertrag vorgesehene Leistung geändert werden. Die Vereinbarung sollte dabei vor der Ausführung getroffen werden.

Die Anspruchsgrundlage zugunsten des Auftragnehmers korrespondiert mit dem sog. Anordnungsrecht des Auftraggebers aus § 1 Abs. 3 VOB/B: Danach bleibt es dem Auftraggeber vorbehalten, Änderungen des Bauentwurfs anzuordnen. Der Auftragnehmer hat die Leistungen auf Verlangen auszuführen, außer wenn sein Betrieb auf derartige Leistungen nicht eingerichtet ist (§ 1 Abs. 4 VOB/B).

Es muss also eine Änderung des Bauentwurfs oder eine Änderung der Bauumstände vorliegen, die vonseiten des Auftraggebers veranlasst („angeordnet“) wird. Für diese Änderungen ist der Auftragnehmer bei der etwaigen Geltendmachung von Ansprüchen in vollem Umfang darlegungs- und beweisverpflichtet. Der Auftragnehmer ist daher gut beraten, Nachtragsleistungen sorgfältig zu dokumentieren und den Auftraggeber frühzeitig schriftlich auf etwaige Mehrvergütungsansprüche hinzuweisen.

Es ist daher dringend zu empfehlen, eine entsprechende Mehrvergütungsanmeldung recht frühzeitig, sobald man eine entsprechende Nachtragssituation erkannt hat, dem Auftraggeber – möglichst schriftlich – zukommen zu lassen, auch wenn § 2 Abs. 5 VOB/B keine Schriftform vorsieht.

Ein Nachtragsangebot kann dabei so aufgebaut werden, dass zunächst das Bau-Soll auf der Grundlage der einschlägigen vertraglichen Regelungen, insbesondere der betroffenen Positionen im Leistungsverzeichnis beschrieben wird. In einem weiteren Schritt sollte dargelegt werden, was tatsächlich auf Anordnung des Auftraggebers anders, zusätzlich oder unter anderen Randbedingungen etc. gebaut werden soll. Dabei sollen, soweit möglich, der wesentliche Schriftwechsel, Besprechungsprotokolle etc. als Nachweise dem Nachtrag beigefügt werden, ebenso wie aussagekräftige Pläne.

Zudem sollte konkret bezeichnet werden, worin die vom Bau-Soll abweichenden Leistungen bestehen. Der Auftragnehmer sollte erläutern, inwieweit sich die Änderungen auf das vorgesehene Bauverfahren, die Bauzeit und die vereinbarte Vergütung auswirken.

Der Auftragnehmer ist auf der Rechtsfolgenseite verpflichtet, einen neuen Preis für die geänderte Leistung „unter Berücksichtigung der Mehr- oder Minderkosten“ zu bilden, im Idealfall sogar mit dem Auftraggeber vor Ausführung zu vereinbaren (§ 2 Abs. 5 VOB/B). Hierzu ist es neben der konkreten Leistungsbeschreibung der vom Bau-Soll abweichenden

Leistung vor allem hinsichtlich der geänderten Qualität, Funktion, Gebrauchstauglichkeit etc. erforderlich, eine nachprüfbare Mengenermittlung der vom Bau-Soll abweichenden Leistung vorzulegen. Von entscheidender Bedeutung mit Blick auf die angesprochene Rechtsfolge ist eine prüfbare Preisermittlung, also eine nachrechenbare Kalkulation und Preisbildung des Anspruchs auf der Grundlage der Urkalkulation, die die vereinbarte Vergütung nachvollziehbar wiedergibt.[38]

Die VOB/B geht dabei davon aus, dass für jedes Bauvorhaben üblicherweise eine sog. Urkalkulation erstellt wird, in der die preislichen Annahmen des Auftragnehmers hinterlegt sind. Der Umfang der Kalkulation hängt naturgemäß von dem zugrundeliegenden Auftrag und dem Leistungsumfang ab. Einfach zu erbringende Leistungen werden naturgemäß nicht so umfassend kalkuliert wie schwierige Großbauvorhaben. Allen Kalkulationen sollte allerdings gemein sein, dass der Auftraggeber nachweisen kann, wie seine Allgemeinen Geschäftskosten (AGK) sowie der Ansatz für Wagnis und Gewinn berechnet werden. Bei öffentlichen Auftraggebern wird hierzu regelmäßig im Angebotsstadium ein Formblatt mit dem Titel „EFB Preis“ ausgefüllt. Darin können auch zugrunde zu legende Stundensätze angegeben werden.

Die Urkalkulation beinhaltet zudem grundsätzliche Annahmen für Material-, Geräte- und Stoffkosten sowie für Personalkosten. Gerade bei mittleren und größeren Bauvorhaben empfiehlt sich in jedem Falle die Aufstellung einer solchen Urkalkulation, um im Streitfall die Berechnung von Nachtragsleistungen nachweisen zu können.

Keinesfalls ausreichend ist es, bei einem VOB/B-Vertrag auf die Angemessenheit und Ortsüblichkeit von Vergleichspreisen hinzuweisen. Diese Kategorie ist einschlägig bei einem BGB-Werkvertrag, bei dem die VOB/B nicht zur Anwendung gelangt. Hintergrund ist die Überlegung, dass der Auftragnehmer, der seine Leistungen sorgfältig kalkuliert hat, im Falle von Nachtragsleistungen nicht schlechter gestellt werden soll als er kalkuliert hat, aber auch nicht besser. Somit gilt der Grundsatz „guter Preis bleibt guter Preis – schlechter Preis bleibt schlechter Preis.“[39] Dies bedeutet: Hat der Auftragnehmer in einer Position einen günstigen Einheitspreis kalkuliert und ändert sich diese Position später, darf er die ursprüngliche, ihm günstige Position auf diesem Preisniveau fortschreiben. Unabhängig davon, ob der Preis möglicherweise auch deutlich über dem ortsangemessenen Vergleichspreis liegt, steht dem Auftragnehmer ein „gut“ kalkulierter Vertragspreis auch im Nachtragsfall zu, wenn eine einschlägige Position fortgeschrieben werden kann.

Demgegenüber muss sich der Auftragnehmer an einer „schlechten“ Kalkulation festhalten lassen, wenn sich die Leistung in dieser Position ändert. Der Auftragnehmer kann dann nicht den Nachtragssachverhalt als willkommenen Anlass nehmen, seinen zunächst schlechten Preis jetzt aufzubessern. Er muss sich vielmehr an seinen vergleichsweise ungünstigen kalkulatorischen Annahmen festhalten lassen, auch wenn der ortsübliche Vergleichspreis weit über dem vertraglichen Preis liegt.

[38] Überblick bei *Ingenstau/Korbion-Keldungs*, § 2 Abs. 5 VOB/B Rn 47 ff.
[39] *Werner/Pastor*, Rn 1464, 1480; *Leinemann-Schoofs*, § 2 VOB/B, Rn 231 ff.

Bei komplexen Sachverhalten kann es sich empfehlen, die Hilfe baubetrieblicher Sachverständiger ergänzend in Anspruch zu nehmen.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auch darauf, dass die sog. „spekulative Kalkulation“ oder, wie der BGH sie auch genannt hat, die „frivole Kalkulation“[40] den Auftragnehmer berechtigen könnte, seine Angebotspreise unter dem Gesichtspunkt eines Irrtums anzufechten, mit der Folge, dass die Preise nichtig sein und durch ortsübliche Preise ersetzt werden könnten. In solchen spekulativen Fällen oder einer Kalkulation „ins Blaue hinein“ lässt der BGH einen sog. Motivirrtum nicht gelten; dieser ist dann unbeachtlich und berechtigt den Auftragnehmer nicht zur Anfechtung.[41] Der Auftragnehmer ist dafür darlegungs- und beweisverpflichtet, dass ihm im Kalkulationsfall lediglich ein Schreib- oder Erklärungsfehler unterlaufen ist, der zur Anfechtung berechtigen könnte. Regelmäßig wird es sich aber bei falschen Preisangaben um mehr oder weniger bewusste preisliche Überlegungen handeln, bei denen sich später herausstellt, dass sie für die Kalkulation der Vertragsleistung unzutreffend waren. Dies stellt aber einen Fall des sog. unbeachtlichen Motivirrtums dar und berechtigt nicht zur Anfechtung und/oder Preisanpassung.

Der Auftragnehmer muss in der Nachtragskalkulation konkret darlegen, wie er den ursprünglichen und den neuen Preis errechnet hat. Ohne Berücksichtigung der Kalkulationsgrundlagen kann der Preis auch nachfolgend in einem Prozess nicht schlüssig vorgetragen werden. Ohne nachvollziehbare Darlegung der Preisgrundlagen auf Grundlage der Auftrags-/Urkalkulation ist ein geltend gemachter Nachtragsvergütungsanspruch nach § 2 Abs. 5 VOB/B bzw. § 2 Abs. 6 VOB/B unschlüssig und die Klage insoweit als unbegründet abzuweisen.[42] Auch ein zugezogener Sachverständiger darf sich bei der Preisprüfung nicht auf Erfahrungssätze oder die etwaige Angemessenheit der Preise berufen, sondern hat die Kalkulation zu prüfen und zugrunde zu legen.[43]

§ 2 Abs. 5 VOB/B setzt eine Anordnung voraus, also eine Äußerung des Auftraggebers, wonach die vertragliche Leistungspflicht geändert und eine andere oder neue Verbindlichkeit des Auftragnehmers begründet wird. Nicht erfasst sind allerdings Fälle, in denen die geänderte Leistung vom bisher bestehenden vertraglichen Leistungsumfang bereits umfasst ist, der Auftragnehmer also zur Ausführung des Angeordneten vertraglich ohnehin schon verpflichtet war, sodass die zusätzliche Anordnung lediglich den Charakter eines Hinweises auf bereits bestehende vertragliche Pflichten besitzt.[44]

Entgegnet der Auftraggeber auf ein Nachtragsangebot, etwa für zusätzlichen Erdaushub, dass dem Auftragnehmer Grund und Boden habe bekannt sein müssen und er daher die Kosten zu tragen habe, fordert aber gleichzeitig die zügige Weiterarbeit, kann er da-

[40] *BGH*, BauR 1988, 338.
[41] *BGH*, a. a. O.; Überblick bei *Werner/Pastor*, Rn 1415 ff. (1421) m. w. N. („Kalkulationsrisiko“).
[42] *OLG Düsseldorf*, BauR 2015, 494 (500) (Kurzform: IBR 2015, 116, 119); *OLG Dresden*, IBR 2015, 118.
[43] *OLG Bamberg*, NZBau 2004, 100 (Kurzform: IBR 2003, 526).
[44] *OLG Celle*, BauR 2003, 710.

mit eine Änderungsanordnung mit der Vergütungsfolge des § 2 Abs. 5 VOB/B getroffen haben.[45]

Für den Auftragnehmer ist auch zu beachten, dass der vor Ort tätige Architekt grundsätzlich nicht bevollmächtigt ist, Zusatzaufträge auf Rechnung des Auftraggebers anzuordnen und zu vergeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Architekt zwar weitgehend die Interessen des Auftraggebers vertritt, aber im Regelfall nicht die sog. Budgethoheit über das Vermögen des Auftraggebers besitzt. Es ist daher richtig, wenn die Architektenvollmacht vor Ort auf technische Sachverhalte begrenzt ist. Rechtsgeschäftliche Anordnungen, die finanzielle Auswirkungen für den Auftraggeber haben können, können aber nur von diesem selbst angeordnet werden. Grundsätzlich ist der Architekt allerdings nicht bevollmächtigt, ohne entsprechende zusätzliche Bevollmächtigung Nachträge anzuordnen.[46]

Zu berücksichtigen ist, dass AGB-Klauseln in Verträgen, wonach die Vergütungen einer Nachtragsleistung ohne schriftlichen Auftrag generell auszuschließen sind, unwirksam sind.[47] Allerdings ist hierbei zu beachten, dass der Auftraggeber mit dieser Regelung möglicherweise selbst die Fortführung der Arbeiten verzögert. Macht er nämlich die Ausführung von Nachträgen von einer vorherigen schriftlichen Anordnung/Beauftragung abhängig, darf der Auftragnehmer die Arbeiten gar nicht ausführen, bis die Anordnung/Beauftragung vorliegt. Der Auftragnehmer darf dann sogar die Leistung verweigern und mit Hinweis auf die vertragliche Klausel, auf deren Unwirksamkeit sich der Auftraggeber als Verwender nicht berufen kann, an die schriftliche Beauftragung des Nachtrags erinnern. Um also Sicherheit über die Vergütung des Nachtrags zu erlangen, kann der Auftragnehmer die an sich unwirksame Klausel durchaus auch in seinem Sinne nutzen.

Allerdings darf der Auftragnehmer nicht ohne Weiteres die Leistungen einstellen, weil ein Nachtrag nicht beauftragt wird, es sei denn, ein solches Recht wäre vertraglich vorgesehen. In allen übrigen Fällen ungeklärter oder streitiger Vergütungsanpassung nach § 2 Abs. 5 VOB/B (auch § 2 Abs. 6 VOB/B) steht dem Auftragnehmer ein Recht, die Arbeiten einzustellen oder den Vertrag sogar zu kündigen, jedenfalls nur dann zu, wenn der Auftraggeber eine Vergütungsanpassung endgültig abgelehnt hat oder wenn eine vereinbarte und damit unstreitige Vergütung bei Fälligkeit nicht gezahlt wird.[48]

Dies bedeutet aber in der Praxis, dass der Auftragnehmer sich nahezu sicher sein muss, einen nachweisbaren Nachtragssachverhalt, auch in kalkulatorischer Hinsicht, behaupten zu können. In vielen Fällen besteht Streit darüber, ob tatsächlich eine Nachtragssituation vorliegt, die ggf. später in einem gerichtlichen Verfahren zu klären ist. Zu beachten ist dabei, dass nach der Grundregel des § 18 Abs. 5 VOB/B Streitfälle den Auftragnehmer nicht berechtigen, die Arbeiten einzustellen. Nur dann, wenn der Auftraggeber einen Nachtrag anerkannt hat, diesen aber nicht bezahlt, oder wenn sicher ist, dass eine Nachtragssitua-

[45] *OLG Dresden*, IBR 2006, 127 (rechtskräftig).
[46] *OLG Oldenburg*, BauR 2009, 1917 (Kurzform: IBR 2009, 692).
[47] *OLG Koblenz*, NJW-RR 2010, 594 (Kurzform: IBR 2010, 486).
[48] *OLG Bremen*, BauR 2010, 1277 (Kurzform: IBR 2010, 434).

tion von im Verhältnis zur Auftragssumme erheblicher finanzieller Tragweite vorliegt, kann daher ausnahmsweise ein Leistungsverweigerungsrecht für den Auftragnehmer in Betracht kommen.

Vielmehr verletzt der Auftragnehmer seine Kooperationspflichten schwerwiegend, wenn er die weitere Erbringung seiner Leistung unverhandelbar von einer Nachtragsbeauftragung abhängig macht (es sei denn, die schriftliche Beauftragung ist vertraglich vorgesehen). Eine solche Kooperationspflichtverletzung berechtigt den Auftraggeber zur Kündigung des Bauvertrags aus wichtigem Grund.[49]

Die tatsächliche Unsicherheit über eine (außergerichtliche) Einigung mit dem Auftraggeber über Grund und Höhe eines Mehrvergütungsanspruchs rechtfertigt ausdrücklich keine Einstellung der Arbeit oder ein Zurückbehaltungsrecht des Auftragnehmers.[50]

Die Vertragsparteien eines VOB/B-Vertrags sind bei der Vertragsdurchführung generell zur Kooperation verpflichtet und haben daher auch bezüglich Nachträgen durch Verhandlungen eine einvernehmliche Beilegung von Meinungsverschiedenheiten zu versuchen.[51] Hierbei handelt es sich um einen allgemeinen Rechtsgrundsatz des Bauvertragsrechts. Der Auftragnehmer verletzt seine Kooperationspflichten schwerwiegend, wenn er eine weitere Erbringung seiner Leistungen unvermeidbar von der Nachtragsbeauftragung abhängig macht, zumal, wenn keine klare Nachtragssituation besteht (s. o.); eine solche Kooperationspflichtverletzung berechtigt den Auftraggeber zur fristlosen Kündigung des Bauvertrags aus wichtigem Grund.[52]

Oftmals stellt sich in der Baupraxis, gerade bei Sanierungsarbeiten, das Problem, dass der vom Auftraggeber beauftragte Architekt zusätzliche Wünsche zur Ausführung der Arbeiten hat. Nach der originären Architektenvollmacht[53] kann der Architekt in technischer Hinsicht Vorgaben bei der Ausführung machen. Diese Vollmacht endet aber, sofern sie nicht ausdrücklich vom Auftraggeber erweitert wurde, dort, wo es um rechtsgeschäftliche Handlungen, die den Auftraggeber verpflichten können, geht. Ordnet der Architekt also mehrvergütungspflichtige Leistungen an, ist seine diesbezügliche Anordnung ohne ausdrückliche, zusätzliche Bevollmächtigung durch den Auftraggeber unwirksam; im schlimmsten Fall muss der Architekt sich als Vertreter ohne Vertretungsmacht behandeln lassen und für die insoweit entstandenen Kosten selbst aufkommen. Der Architekt ist grundsätzlich nicht bevollmächtigt, Zusatzaufträge auf Rechnung des Auftraggebers zu vergeben; eine Ausnahme kann gelten, wenn die zusätzliche oder geänderte Leistung im Verhältnis zur Gesamtleistung nur einen geringfügigen Umfang hat.[54]

Der betroffene Auftragnehmer, der möglicherweise Probleme hat, seinen Vergütungsanspruch durchzusetzen, weil ihm vom Auftraggeber entgegengehalten wird, der Architekt sei nicht bevollmächtigt gewesen, kann hiergegen allerdings mit den Grundsätzen

[49] *OLG Brandenburg*, BauR 2003, 1734 (Kurzform: IBR 2003, 662).
[50] *OLG Brandenburg*, BauR 2006, 529 (Kurzform: IBR 2005, 668).
[51] *BGH*, NJW 2000, 807 (Kurzform: IBR 2000, 110).
[52] *OLG Brandenburg*, IBR 2003, 662 (rechtskräftig).
[53] Zur sog. originären Vollmacht des Architekten *Werner/Pastor*, Rn 1341 ff.
[54] *OLG Oldenburg*, IBR 2009, 692.

der Anscheins- und Duldungsvollmacht[55] argumentieren. Hat sich demnach der Architekt auf der Baustelle vom Auftraggeber unwidersprochen so verhalten, dass der Auftragnehmer den Eindruck gewinnen musste, der Architekt sei auch befugt, den Auftraggeber rechtsgeschäftlich zu vertreten, und ist der Auftraggeber dem zu keinem Zeitpunkt entgegengetreten, kann sich der Auftraggeber auf eine im Innenverhältnis zwischen ihm und dem Architekten bestehende fehlende Vollmacht nicht berufen, sondern muss sich nach den Grundsätzen der Anscheins- und Duldungsvollmacht zurechnen lassen, wenn der Architekt ihn insoweit verpflichtet hat.[56] Dies stellt auch für den Auftraggeber kein unbilliges Ergebnis dar, weil der Auftraggeber im Verhältnis zum Architekten gegebenenfalls Regressansprüche geltend machen kann.

Der Auftragnehmer, der sich über die Frage der Vollmacht nicht im Klaren ist, ist jedenfalls gut beraten, den Auftraggeber ausdrücklich, vorzugsweise auch schriftlich, aufzufordern, zu erklären, wer neben ihm selbst ggf. noch zusätzlich auf der Baustelle bevollmächtigt ist. Dies stellt ein legitimes Ansinnen dar und sollte den Auftragnehmer nicht von der Führung des erforderlichen Schriftverkehrs abhalten.

Nochmals: Ein Zurückbehaltungsrecht des Auftragnehmers kommt im Hinblick auf die eindeutige Verhaltensregelung in § 18 Abs. 5 VOB/B – „Streitigkeiten berechtigen nicht zur Leistungseinstellung“ – nur ganz ausnahmsweise in Betracht. Die tatsächliche Unsicherheit über eine außergerichtliche Einigung mit dem Auftraggeber über Grund und Höhe eines Mehrvergütungsanspruchs rechtfertigt keine Einstellung der Arbeit.[57]

Bei der Kalkulation der Nachtragspreise ist zu berücksichtigen, dass ein beauftragter Preisnachlass auf einen im Angebot enthaltenen Einheitspreis im Regelfall auch den nach §§ 2 Abs. 5 bzw. Abs. 6 zu bildenden neuen Einheitspreis erfasst[58] – ein einmal gewährter Nachlass gilt daher auch für Nachtragspreise, es sei denn, der Nachtrag sei im Angebot ausdrücklich als Akquisitionsnachlass gekennzeichnet worden, was üblicherweise selten geschieht.

Generell gilt als Grundsatz des Kooperationsgedankens, dass die Vertragsparteien eines VOB/B-Vertrags sich bei der Vertragsdurchführung auch ohne ausdrückliche Vereinbarung zur Kooperation verpflichtet haben und deshalb durch Verhandlungen eine einvernehmliche Beilegung von irgend gearteten Meinungsverschiedenheiten zu versuchen haben.[59]

4.3.2.3 § 2 Abs. 6 VOB/B

Nach § 2 Abs. 6 VOB/B hat der Auftragnehmer einen Anspruch auf besondere Vergütung, wenn eine im Vertrag nicht vorgesehene Leistung gefordert wird. Er muss jedoch den Nachtrag dem Auftraggeber ankündigen, bevor er mit der Ausführung der Leistung beginnt. Die Vergütung bestimmt sich dann nach den Grundlagen der Vertragspreisermitt-

[55] S. hierzu: *Palandt-Ellenberger*, § 172, Rn 6 ff.
[56] Allgemein: *Werner/Pastor*, Rn 1354 ff.
[57] *OLG Brandenburg*, IBR 2005, 668.
[58] *BGH*; IBR 2006, 591.
[59] *BGH*, BauR 2000, 409 (Kurzform: IBR 2000, 110).

lung/Urkalkulation (s. o.) für die vertragliche Leistung und den besonderen Kosten der zusätzlich geforderten Leistung. Sie soll möglichst vor Ausführung vereinbart werden.

Voraussetzung ist also, in Abgrenzung zu § 2 Abs. 5 VOB/B (Leistungsänderung), dass hier eine zusätzliche, vertraglich zunächst nicht vorgesehene Leistung vom Auftraggeber gefordert wird. Entschließt sich der Auftraggeber *beispielsweise* zu restaurierende Fenster zusätzlich mit einem speziellen Leinölkit zu bearbeiten, und ist dies zunächst nicht ausgeschrieben, stellt sich dieser Wunsch in vergütungsrechtlicher Hinsicht als zusätzliche, vertraglich nicht vorgesehene Leistung dar, die den Auftragnehmer, sofern die Leistung zur Ausführung angeordnet wird, zur Mehrvergütung berechtigt.

Aus Gründen der Dokumentation sowie der Hinweisverpflichtung hat der Auftragnehmer die Mehrvergütungspflicht dem Auftraggeber vor Ausführung der Arbeiten anzukündigen[60] – der Auftraggeber soll darüber unterrichtet sein, dass er mehrvergütungspflichtige Maßnahmen ausgelöst hat, um auch im eigenen Interesse über die Budgetausschöpfung unterrichtet zu sein.

Die Verpflichtung, den Auftraggeber vor Ausführung der Arbeiten, möglichst schriftlich (aus Beweisgründen), zu unterrichten, kann ausnahmsweise entbehrlich sein, wenn die Anordnung der Arbeiten offenkundig zu Mehrvergütungen führt. Einer Ankündigung bedarf es daher nicht, wenn für den Auftraggeber unzweifelhaft feststeht, dass die zusätzliche Leistung nur gegen Vergütung ausgeführt wird oder wenn beide Vertragsparteien bei Erteilung des Zusatzauftrags von der Entgeltlichkeit der Bauleistung ausgehen, was ggf. durch Auslegung zu ermitteln ist. Auch wenn objektiv keine Alternative zur sofortigen Ausführung der Leistung besteht, kann von dem Ankündigungserfordernis abgesehen werden.[61]

Bei einem auf dem Bauwesen versierten Auftraggeber dürfte daher von vornherein zu erwarten sein, dass dieser die Mehrvergütungspflicht kennt, wenn er zusätzliche, vertraglich nicht vorgesehene Leistungen anordnet.[62] Bei einem mit dem Baubetrieb nicht so vertrauten Auftraggeber sollte der Auftragnehmer allerdings nicht auf die Offenkundigkeit vertrauen, sondern im Interesse der Warn- und Hinweisfunktion auf die Mehrvergütung vor Ausführung hinweisen. Der Auftragnehmer ist dafür darlegungs- und beweisverpflichtet, dass er den Auftragnehmer rechtzeitig vor Ausführung auf die Mehrvergütungspflicht hingewiesen hat bzw. dass ausnahmsweise Offenkundigkeit vorliegt. Zugunsten des Auftragnehmers ist hier zu berücksichtigen, dass Werkleistungen nach dem Grundgedanken des BGB nicht ohne Vergütung erbracht werden (§§ 631, 632 BGB).

Die Vergütung muss wiederum auf den Grundlagen der Vertragspreisermittlung berechnet werden.[63] Auf die Vorausführungen zu § 2 Abs. 5 VOB/B wird Bezug genommen.

---

[60] Überblick zum Ankündigungserfordernis und Kritik bei *Kapellmann/Messerschmidt-Kapellmann*, § 2 VOB/B, Rn 199 ff.

[61] *Werner/Pastor*, Rn 1479 unter Verweis auf *OLG Hamm*, BauR 2001, 1914, *BGH,* BauR 1978, 314 und *BGH,* BauR 1996, 542.

[62] *OLG Hamm*, BauR 2001, 1914.

[63] Zur Abrechnung der Nachträge gemäß § 2 Abs. 6 VOB/B mit anschaulicher, fallbezogener Berechnung: *OLG Nürnberg*, BauR 2015, 509.

Der Auftragnehmer hat es hier möglicherweise etwas leichter, da er ggf. für die neue, bislang nicht vorgesehene Position keine Referenzpositionen in seinem Leistungsverzeichnis bzw. in seiner Urkalkulation findet und er somit berechtigt, aber auch verpflichtet ist, die Vergütung neu zu berechnen. Allgemeine Vertragsbestandteile, wie Lohnkosten und Zuschläge für Allgemeinkosten sowie Wagnis und Gewinn, oder etwaige Subunternehmerzuschläge bleiben aber unverändert und müssen bei der Kalkulation der Nachtragsposition in Fortschreibung der Urkalkulation berücksichtigt werden.

Der Hinweis in der VOB, dass die Vergütung möglichst vor Beginn der Ausführung zu vereinbaren ist, stellt eine Verhaltensregelung dar. Oftmals sind die Parteien sich über die Vergütung dem Grunde nach einig, müssen sich der Höhe nach aber später nach Ausführung der Arbeiten noch auseinandersetzen. Die vorherige Vereinbarung des Preises ermöglicht den Parteien allerdings, Streit über die Vergütung zu vermeiden.

4.3.2.4 § 2 Abs. 8 VOB/B

Die VOB/B regelt auch den Fall, dass der Auftragnehmer Leistungen ohne Auftrag oder unter eigenmächtiger Abweichung vom Auftrag ausführt. Derartige Leistungen werden regelmäßig nicht vergütet (§ 2 Abs. 8 Nr. 1 VOB/B). Der Auftragnehmer hat sie sogar innerhalb einer angemessenen Frist auf Verlangen zu beseitigen und riskiert, hierfür in die Haftung genommen zu werden, also für die Beseitigung und hieraus resultierende Schäden finanziell einstehen zu müssen.

Allerdings steht dem Auftragnehmer eine Vergütung zu, wenn der Auftraggeber solche Leistungen nachträglich anerkennt (§ 2 Abs. 8 Nr. 2 Satz 1 VOB/B); die Vergütung steht ihm auch zu, wenn die Leistungen für die Erfüllung des Vertrags notwendig waren, dem mutmaßlichen Willen des Auftraggebers entsprachen und ihm unverzüglich angezeigt wurden (§ 2 Abs. 8 Nr. 2 Satz 2 VOB/B).

Dieser Fall kommt in der Praxis häufiger vor. Die Parteien haben nicht ausdrücklich eine Vergütung über eine Leistung vereinbart. Der Auftragnehmer hat sie, ggf. auch unter pragmatischer Betrachtung, bereits ausgeführt und durfte sie für erforderlich halten, da anderenfalls der Vertragszweck nicht erreicht werden würde. Hierfür ist er allerdings, wie für die weiteren Tatbestandsvoraussetzungen, darlegungs- und beweisverpflichtet. Er muss daher auch nachweisen, dass die ausgeführte, nicht beauftragte Leistung jedenfalls dem mutmaßlichen Willen des Auftraggebers entsprach. Insbesondere hat der Auftragnehmer nachzuweisen, dass der Wille des Auftraggebers vor Leistungsausführung mit zumutbarem Aufwand erforscht wurde; dabei ist der Wille des Auftraggebers auch dann zu beachten, wenn er unvernünftig oder interessenwidrig erscheint.[64]

Der Auftragnehmer muss zudem nachweisen, dass er die Ausführung der Arbeiten und die Mehrvergütungspflicht unverzüglich, also ohne schuldhaftes Zögern, dem Auftraggeber angezeigt hat. Hieran scheitern diese Ansprüche regelmäßig, da oftmals erst im Zuge fortgeschrittener Abschlagsrechnungen oder der Schlussrechnung solche Leistungen aufgeführt und dem Auftraggeber damit vergütungsmäßig bekannt gegeben werden. Da es

[64] *OLG Düsseldorf*, BauR 2015, 494 (500 ff.).

sich ohnehin bereits um eine Leistung ohne Auftrag handelt, dürfte der Nachweis der Offenkundigkeit des Vergütungsanspruchs schwerfallen, sodass die unterlassene vorherige Ankündigung oftmals dazu führt, dass der geltend gemachte Vergütungsanspruch nicht besteht.

4.3.2.5 § 2 Abs. 9 VOB/B

Eine zusätzliche Vergütung erhält der Auftragnehmer auch, wenn der Auftraggeber Zeichnungen, Berechnungen oder andere Unterlagen verlangt, die der Auftragnehmer nach dem Vertrag, besonders den technischen Vertragsbedingungen oder der gewerblichen Verkehrssitte, nicht zu beschaffen hat.

Hierzu zählt, wenn beispielsweise der Auftraggeber vom Auftragnehmer, weil der bauseitige Planer sich mit seiner Leistung in Verzug befindet, zusätzliche Planzeichnungen und Ausführungszeichnungen verlangt. Auch bei umfangreichen Änderungen des Bauentwurfs kann eine Vergütungspflicht über § 2 Abs. 9 VOB bestehen, wenn der Unternehmer ein Nachtragsleistungsverzeichnis planen und/oder erstellen soll, sofern diese Leistung nicht ohnehin schon von § 2 Abs. 5 VOB/B erfasst ist. Was im Einzelnen an zusätzlichen gemäß § 2 Abs. 9 VOB/B zu vergütenden Leistungen anfallen kann, muss im Einzelfall nach der Verkehrssitte und den Besonderheiten des jeweils betroffenen Gewerks beurteilt werden. Hilfreich sind dabei die einschlägigen DIN, in denen die Erbringung von ohnehin geschuldeten Leistungen oder besonderen Leistungen, die nur gegen Vergütung erwartet werden können, dokumentiert sind.

4.3.2.6 § 2 Abs. 3 VOB/B

Bei einem Einheitspreisvertrag kann es zur Erforderlichkeit von Preisanpassungen kommen, wenn die ursprünglich vorgesehenen Mengen und Massen um mehr als 10 % von dem im Vertrag vorgesehenen Umfang nach oben oder nach unten abweichen.

Beispiel: Für eine Baumaßnahme ist im Vertrag eine Position vorgesehen, wonach der Unternehmer 500 cbm Boden auszuheben und zu beseitigen hat. Bei der tatsächlichen Ausführung stellt sich heraus, dass tatsächlich 650 cbm anfallen.

Hier bleibt das Leistungsziel – Aushub – unverändert, während der Mengenansatz um mehr als 10 % von der vertraglichen Grundlage abweicht. Grundlage der Regelung des § 2 Abs. 3 VOB/B ist die Erwägung, dass bei erheblichen Verschiebungen der Mengenansätze in Einzelpositionen die Kalkulation des Auftragnehmers nicht mehr zur ursprünglichen Leistung „passt“. Bei größeren Mengen – als im Vertrag vorgesehen – würde der Auftragnehmer häufig unangemessen besser gestellt, während er bei erheblich kleineren Mengen Nachteile hinnehmen müsste, wenn eine Preisanpassung nicht möglich wäre.[65]

[65] *Vygen/Wirth/Schmidt*, Bauvertragsrecht, Seite 131.

Als Grundregel bestimmt § 2 Abs. 3 Nr. 1 VOB/B, dass der Einheitspreis gleichbleibt, wenn die ausgeführte Menge um nicht mehr als 10 % von dem im Vertrag vorgesehenen Umfang abweicht.

Bei einer über 10 % hinausgehenden Überschreitung des Mengenansatzes ist nach § 2 Abs. 3 Nr. 2 VOB/B auf Verlangen einer Vertragspartei ein neuer Preis unter Berücksichtigung der Mehr- oder Minderkosten zu vereinbaren. Betroffen von der Regelung ist die Menge, die über 110 % hinausgeht, da eine Marge von 10 % bereits von der Regelung des § 2 Abs. 3 Nr. 1 VOB/B erfasst ist.

Bei einer über 10 % hinausgehenden Unterschreitung des Mengenansatzes ist nach § 2 Abs. 3 Nr. 3 VOB/B auf Verlangen der Einheitspreis für die tatsächlich ausgeführte Menge der Leistung zu erhöhen, soweit der Auftragnehmer nicht durch Erhöhung der Mengen bei anderen Positionen oder in anderer Weise einen Ausgleich erhält. Die VOB gibt dabei vor, dass die Erhöhung des Einheitspreises im Wesentlichen dem Mehrbetrag entsprechen soll, der sich durch Verteilung der Baustelleneinrichtungs- und Baustellengemeinkosten sowie der Allgemeinen Geschäftskosten auf die verringerte Menge ergibt. Bei einer Mengenunterschreitung wird die gesamte tatsächlich ausgeführte Leistung daher nach einem neuen, regelmäßig höheren Einheitspreis errechnet, es sei denn, der Auftragnehmer kann auf andere Weise in seinem Preisgefüge einen Ausgleich für die Mengenreduzierung erlangen. Grundlage ist, wie bereits bei den Nachträgen gemäß § 2 Abs. 5 und 6 VOB/B das ursprüngliche Preisgefüge, also die Urkalkulation.

Die vorstehenden Regelungen des § 2 Abs. 3 VOB/B kommen dabei immer nur zur Anwendung, wenn der Auftraggeber nicht seinerseits eingegriffen hat. In diesem Falle liegt regelmäßig eine Änderung der Leistung gemäß § 2 Abs. 5 VOB/B vor, sodass eine Mehrvergütung nach dieser Vorschrift zu bilden ist. Nur wenn sich Mengenänderungen ohne Eingriffe des Auftraggebers ergeben, ist Raum für die Anwendung des § 2 Abs. 3 VOB/B. Auch dann ist aber noch abzugrenzen, ob eine extreme Mengenveränderung nicht tatsächlich doch auch eine Leistungsänderung darstellen kann mit der Folge, dass diese auch nach § 2 Abs. 5 VOB/B zu beurteilen ist.

4.4 Behinderung bei der Leistungserbringung

Häufig kommt es bei der Bauabwicklung zu teils erheblichen Verzögerungen, als aktuelle prominente *Beispiele* seien hier angeführt:

Das mit sechsjähriger Verspätung nunmehr (Oktober 2016) abgenommene Bauvorhaben Elbphilharmonie in Hamburg, „Stuttgart 21“ oder der neue Berliner Flughafen BER.

Die Behinderung bei der Erbringung einer Leistung kann dazu führen, dass sich Terminvorgaben verschieben oder gänzlich erübrigen, sofern sie nicht neu vereinbart werden. Weiterhin können hier Mehrkosten entstehen, die den Unternehmer berechtigen können, entsprechende zusätzliche Vergütungs- bzw. Schadenersatzansprüche geltend zu machen. Auch der Auftraggeber kann aus einer vom Auftragnehmer verschuldeten Behinderung

Schadenersatzansprüche ableiten. Gerade in diesem Bereich spielt die Dokumentation der Baumaßnahme eine erhebliche Rolle.[66]

Bei einem VOB-Vertrag finden sich Regelungen zur Handhabung von Behinderungen in § 6 VOB/B. Eine ausdrückliche gesetzliche Regelung für die Thematik existiert nicht, es wird allerdings auf § 642 BGB zurückgegriffen, der die Rechtsfolgen unterlassener Mitwirkungshandlungen des Auftraggebers regelt.

Rechtsfolge einer Behinderung, die ordnungsgemäß angezeigt wurde, ist gemäß § 6 Abs. 1 VOB/B, dass sich die Bauzeit um die Dauer der Behinderung zuzüglich angemessener Vorlaufzeit verlängert. Weitere Rechtsfolge ist gemäß § 6 Abs. 6 VOB/B und ggf. weiterer Anspruchsgrundlagen ein Schadensersatz- bzw. Mehrvergütungsanspruch für die Folgen der entstandenen Behinderungen.

Von erheblicher Bedeutung zur Anspruchsdurchsetzung ist die ordnungsgemäße Darlegung von Behinderungssachverhalten und daraus resultierenden Schäden/Vergütungsansprüchen.

4.4.1 Anforderungen der Rechtsprechung an die Darlegung von Baubehinderungen und ihre Folgen

Gegenstand der Betrachtung ist die Anspruchsgrundlage des § 6 Abs. 6 VOB/B, der Schadensersatz für den Fall von Baubehinderungen unter folgenden Voraussetzungen gewährt:[67]

- Tatsächliches Vorliegen einer Behinderung
- Unverzügliche schriftliche Behinderungsanzeige bzw. Offenkundigkeit der Behinderung
- Behinderung ist adäquat-kausal (ursächlich) für Verzögerungen im Bauablauf des Auftragnehmers
- Die hindernden Umstände sind vom Auftraggeber zu vertreten (Verschulden)
- Adäquat-kausaler Schaden des Auftragnehmers durch die Behinderung

Als schwierig kann sich dabei der Verschuldensnachweis erweisen, dass also der Auftraggeber die Verzögerung schuldhaft verursacht hat und deshalb Schadensersatz leisten muss. Daher wird ein Anspruch auf Vergütung von bauzeitbedingten Kosten auch auf § 2 Abs. 5 bzw. 6 VOB/B gestützt,[68] wobei hier allerdings eine entsprechende bauzeitrelevante Anordnung des Bauherrn darzulegen und zu beweisen ist. Ebenso ist nachzuweisen, dass die Vergütung auf den Grundlagen der Vertragspreisermittlung beruht.

[66] Vgl. hierzu vorstehend Abschn. 4.2.4 – Dokumentation.
[67] Zu den Anspruchsvoraussetzungen *BGH*, BauR 2002, 1249, 1251/1252; *Werner/Pastor*, Rn 2332 ff.
[68] S.Abschn. 4.3.2.2 und 4.3.2.3.

Schließlich kann ein monetärer Anspruch im Zusammenhang mit Bauablaufstörungen auch auf § 642 BGB gestützt werden, der eine „angemessene Entschädigung“ gewährt, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- Erforderliche Mitwirkungshandlung des Bestellers/Auftraggebers
- Unterlassen dieser Mitwirkungshandlung
- Annahmeverzug des Auftraggebers

Unter Berücksichtigung der gefestigten Rechtsprechung des *BGH*[69] sind daher für die Darlegung entsprechender Ansprüche folgende Voraussetzungen zu beachten:

Von besonderer Bedeutung ist die schlüssige Darlegung der Behinderung und der daraus ursächlich folgenden Bauzeitverlängerung. Dem Gericht reicht es dabei nicht aus, eine oder mehrere Pflichtverletzungen pauschal vorzutragen. Der Auftragnehmer muss vielmehr substanziiert zu den entstandenen Behinderungen seine Leistung vortragen. Dazu ist in der Regel eine konkrete, bauablaufbezogene Darstellung der jeweiligen Behinderung unumgänglich. Dem Anspruchsteller ist es zuzumuten, eine aussagekräftige Dokumentation zu erstellen, aus der sich die Behinderung sowie deren Dauer und Umfang ergeben. Ist ein Auftragnehmer mangels ausreichender Dokumentation der Behinderungstatbestände **und** der sich daraus ergebenden Verzögerung zu einer den Anforderungen entsprechenden Darstellung nicht in der Lage, geht dies grundsätzlich zu seinen Lasten.[70]

Der *BGH* ist der Auffassung, dass erst die exakte Beschreibung der Behinderung und ihrer Folge eine sachgerechte Auseinandersetzung mit der Schadensbehauptung ermöglicht. Der Auftragnehmer hat die Angaben zu machen, ob und wann seine Arbeiten, die nach dem Bauablauf nunmehr ausgeführt werden müssten, nicht oder nicht wie vorgesehen ausgeführt werden konnten. Maßgeblich ist nicht die Fülle der Details. Vielmehr kommt es darauf an, ob sich aus der Darstellung des Auftragnehmers nachvollziehbar ergibt, dass und in welchem Umfang eine Pflichtverletzung eine Behinderung verursacht hat. Das Gericht darf daher widerspruchsfreie, detaillierte Angaben beispielsweise dazu erwarten, aufgrund welcher Planverzögerungen welche vorgesehenen Arbeiten nicht durchgeführt werden konnten und wie sich eine Planverzögerung konkret auf die Baustelle ausgewirkt hat. Eine pauschalierende Darstellung ohne nähere Erläuterung, insbesondere ohne Einordnung der Behinderungen in Balkenterminpläne, reicht daher für einen schlüssigen Vortrag nicht aus. Vielmehr wird eine ausreichend konkrete Zuordnung der für den tatsächlichen Bauablauf erheblichen Verzögerungen zu ausreichend verdeutlichten konkreten Behinderungen erwartet. Der Auftragnehmer ist verpflichtet, eine baustellenbezogene Darstellung der Ist- und Soll-Abläufe vorzutragen, die die Bauzeitverlängerung nachvollziehbar macht. Zu diesem Zweck kann sich der Auftragnehmer der Hilfe grafischer Darstellungen durch Balken- oder Netzpläne bedienen, die ggf. ergänzend schriftsätzlich erläutert werden.[71]

[69] *BGH* NZBau 2005, 387 und NJW 2005, 1650.
[70] *BGH* NZBau 2005, 387 (388).
[71] *BGH* a. a. O., 388, 389; NJW 2005, 1650 (1652).

Erst wenn damit der Haftungsgrund umfassend und hinreichend vorgetragen ist, besteht auf der Schadensseite eine Darlegungs- und Beweiserleichterung, wonach das Gericht den etwaigen Schaden gemäß § 287 ZPO schätzen kann. Die Beurteilung der Folgen einer konkret dargelegten Behinderung, also der durch die Behinderung erlittene Schaden, kann gemäß § 287 ZPO geschätzt werden. Es unterliegt daher der einschätzenden Bewertung durch den Tatrichter, inwieweit etwa eine konkrete Behinderung von bestimmter Dauer zu einer Verlängerung der gesamten Bauzeit geführt hat, weil sich z. B. Anschlussgewerke verzögert haben. Auch ist eine Schätzung gemäß § 287 ZPO möglich, wenn es darum geht, inwieweit verschiedene Behinderungen Einfluss auf eine festgestellte Verlängerung der Gesamtbauzeit genommen haben.[72]

Zusammenfassend: Der Bereich der sogenannten haftungsbegründenden Kausalität (Behinderung und konkrete Behinderungsfolge auf der Zeitschiene) muss immer konkret baustellenbezogen vorgetragen werden; im Bereich der haftungsausfüllenden Kausalität (Berechnung des Schadens) reicht der Vortrag von konkreten Anhaltspunkten, die eine gerichtliche Schätzung ermöglichen.

Zuletzt hat hierzu das *OLG Köln* ergänzend klargestellt, dass ein Auftraggeber, wenn er umfangreiche Nachtragsleistungen beauftragt, davon ausgehen kann, dass der Auftragnehmer mit dem Nachtragsangebot abschließend alle Mehrkosten geltend macht; etwaige Mehrkosten im Zusammenhang mit Bauablaufstörungen müssen ausdrücklich vorbehalten werden. Dabei hat der Auftragnehmer bereits mit dem Nachtragsangebot vollständig den geplanten und den tatsächlichen Bauablauf unter Berücksichtigung bereits erteilter Nachtragsaufträge darzustellen. Von dem Auftragnehmer selbst verursachte Verzögerungen sind zu berücksichtigen. Darzulegen ist zwingend, wie der Auftragnehmer den Bauablauf tatsächlich geplant hatte, insbesondere welche Teilleistungen er in welcher Zeit und mit welchem Arbeitskräfteeinsatz herstellen wollte; dem ist der tatsächliche Bauablauf gegenüberzustellen.[73]

4.4.2 Folgerungen für den Umgang mit Behinderungsnachverhalten

Es ist somit erforderlich, dass der Auftragnehmer schriftlich die Behinderung in der Leistungserbringung anzeigt. Nach § 6 Abs. 1 VOB/B ist der Auftragnehmer zur Anzeige von Behinderungen schon verpflichtet, wenn er sich in der Leistungserbringung nur behindert glaubt. Dem Auftraggeber ist zu Dokumentationszwecken, insbesondere wenn später Ansprüche auf Bauzeitverlängerung und Mehrvergütung/Schadenersatz geltend gemacht werden sollen, dringend anzuraten, einen entsprechenden Schriftverkehr zu führen. Dabei ist nicht nur die konkrete Behinderung mit ihren etwaigen Folgen darzulegen, wichtig ist auch, dass der Auftragnehmer dem Auftraggeber anzeigt, wann der Behinderungssachverhalt nicht mehr besteht.

[72] *BGH* NJW 2005, 1650 (1652).
[73] *OLG Köln*, BauR 2015, 850.

Damit lässt sich für den Auftragnehmer, der später Ansprüche ableiten möchte, nachvollziehbar darlegen, wie lange eine Behinderung konkret gedauert hat. Auch bei einer offenkundigen Behinderung, also einem Sachverhalt, der dem Auftraggeber ohne Weiteres – beweisbar – bekannt ist, muss der Auftragnehmer später im Streitfall darlegen und beweisen, dass eine solche Behinderung offenkundig war und wie lange sie angedauert hat. Gerade in diesem Bereich ist den Parteien, insbesondere wenn sie Ansprüche geltend machen wollen bzw. die Geltendmachung von Ansprüchen befürchten, eine besonders sorgfältige Dokumentation anzuraten.

Die vorliegenden Behinderungsanzeigen sind baustellenbezogen auszuwerten. Dazu sind ein „Bauzeitenplan-Soll“, ein „Bauzeitenplan-Ist“ und ein „störungsmodifizierter Bauzeitenplan“ zu erstellen und die entsprechenden Behinderungen einzutragen, also grafisch kenntlich zu machen.

Grundsätzlich müssen dabei sämtliche Behinderungsanzeigen berücksichtigt werden. Gegebenenfalls können Behinderungsanzeigen in Gruppen zusammengefasst werden (z. B. mehrfaches Anmahnen von Plänen oder ausstehende Beauftragungen).

Hinsichtlich des Nachweises konkreter Schäden muss aufgrund der vorgenannten Grundsätze eine konkrete Darlegung jeder einzelnen Behinderung mit ihrer Auswirkung auf den Bauablauf und möglichst auch der konkreten Schadensfolge erfolgen.

Im Übrigen hat der Anspruchsteller darzulegen und zu beweisen, dass den Anspruchsgegner an der Behinderung ein Verschulden trifft, um Schadenersatzansprüche geltend machen zu können. Eine Behinderung durch höhere Gewalt fällt demnach nicht unter den Tatbestand des § 6 Abs. 6 VOB/B. Der Auftraggeber muss die Verzögerung also zu vertreten haben, mithin verschuldet haben. Anerkannt sind die Verschuldensmaßstäbe der Fahrlässigkeit und des Vorsatzes. Einfache Fahrlässigkeit liegt dabei vor, wenn es zu einer Fehlhandlung gekommen ist, die jede andere Person in einer vergleichbaren Situation nicht begangen hätte. Grobe Fahrlässigkeit liegt vor, wenn es sich um ein Fehlverhalten handelt, das infolge eines schwerwiegenden Pflichtenverstoßes zu einem Schaden geführt hat. Bei Vorsatz ist eine Haftung ohnehin gegeben, da hier eine absichtliche, bewusste und gewollte Schädigung stattgefunden hat. Im Zivilrecht reicht allerdings regelmäßig die einfache oder sogar leichte Fahrlässigkeit aus, um den Verschuldensnachweis zu führen.[74]

Der Auftraggeber hat z. B. eine Behinderung verschuldet, wenn er – etwa zur Klärung eines Nachbarwiderspruchs – einen Baustopp anordnet oder wenn er, obwohl er hierzu verpflichtet gewesen wäre, die Einholung eines Bodengutachtens unterlassen hat. Ein Verschulden liegt auch vor, wenn der Auftraggeber von ihm beizustellende Stoffe oder Bauteile nicht rechtzeitig zur Verfügung stellt und es hierdurch zu Verzögerungen kommt.[75]

Grundsätzlich hat der Auftraggeber sich auch das Verschulden seiner Erfüllungsgehilfen, wie Architekten, Ingenieure oder sonstige Sonderfachleute, aber auch seiner anderen Nachunternehmer zurechnen zu lassen (§ 278 BGB). Allerdings ist nach Auffassung des

[74] Zu den Verschuldensformen: *Palandt-Grüneberg*, § 276, Rn 5 ff.
[75] Beispiele nach *Ingenstau-Korbion-Döring*, § 6 Abs. 6 VOB/B, Rn 19.

BGH der Vorunternehmer grundsätzlich nicht als Erfüllungsgehilfe des Auftraggebers anzusehen, sodass sich dieser ein Verschulden des Vorunternehmers im Verhältnis zum Nachfolgeunternehmer nicht als eigenes Verschulden anrechnen lassen müsse.[76] Die Kritik ist insoweit berechtigt, als der Auftraggeber, der im Verhältnis zu einem Unternehmer unter bauzeitbedingten Gesichtspunkten für Schadenersatz/Vergütung einzustehen hat, bei dem Unternehmer, der die Verzögerung verursacht hat, z. B. Rohbau, Rückgriff nehmen könnte. Allerdings ist es zulässig, dass der Auftragnehmer Ansprüche gegen den Auftraggeber, auch bei Verzögerung von Vorarbeiten, unter dem Gesichtspunkt des § 642 BGB wegen unterlassener Mitwirkung als verschuldensunabhängigen Entschädigungsanspruch geltend macht.[77] Der Auftragnehmer hat dann zwar keinen Anspruch auf Schadenersatz, wohl aber einen Anspruch auf angemessene Entschädigung.

4.4.3 Rechtsfolgen (Bauzeitverlängerung und Schadensersatz/Mehrvergütung/Entschädigung)

Auf der Rechtsfolgenseite gewährt § 6 Abs. 6 VOB/B den Ersatz des nachweislich entstandenen unmittelbaren Schadens. Entgangenen Gewinn kann der Auftragnehmer nur bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit des Auftraggebers beanspruchen, wofür der Auftragnehmer darlegungs- und beweispflichtig ist.

Trotz der Möglichkeit der Schätzung muss der Schaden möglichst konkret dargelegt und unter Beweis gestellt werden. Der *BGH* ist insoweit der Auffassung, dass auch bei einer Großbaustelle eine entsprechende Dokumentation des Bauablaufs, etwa in Form von Tagesberichten, unter Berücksichtigung etwaiger Leerarbeit oder Leerkosten angefertigt werden könne.[78] Bei der Darlegung der Behinderungsschäden ist darauf zu achten, dass der Auftragnehmer auch im Falle einer Behinderung ggf. andere Arbeiten ohne zusätzliche Kosten ausführen konnte. Der Auftragnehmer hat daher auch darzulegen, weshalb es ihm im konkreten Falle nicht möglich war, andere Arbeiten auszuführen, sodass die entsprechenden Wartezeiten etc. angefallen sind.

Generell kommen als störungsbedingte Schadensposten in Betracht:[79]

- Stillstandskosten
- Mehrkosten wegen verlängerter Bauzeit, also etwa zeitabhängige Gemeinkosten der Baustelle, Vorhaltekosten für Geräte, Schalung, Baustellenunterkünfte und Maschinen sowie Preiserhöhungen bei Subunternehmerleistungen oder sonstiger Mehraufwand

[76] *BGH*, BauR 2000, 722 und zahlreiche weitere Nachweise mit kritischer Kommentierung bei *Werner/Pastor*, Rn 2338.
[77] *BGH*, a. a. O.; *Werner/Pastor* a. a. O.
[78] *BGH*, a. a. O. bei *Werner/Pastor* Rn 2333 (insbes. Fn. 133); allgemein nunmehr auch *OLG Köln*, BauR 2015, 850 (853).
[79] Vgl. hierzu *Werner/Pastor*, Rn 2343 m. w. N.; *Ingenstau/Korbion-Döring*, § 6 Abs. 6 VOB/B, Rn 38 ff.

(z. B. bereits aufgewendete Kosten für Lieferanten, Lagerungskosten, Kosten für die Überwachung/Unterhaltung der stillliegenden Baustelle, Vorhaltekosten etwa für nicht anderweitig einsetzbare Geräte)
- Zusätzliche allgemeine Geschäftskosten sowie Wagnis und Gewinn; Löhne und Gehälter, Lohn- und Materialpreissteigerungen
- Finanzierungskosten, die durch den Verzug angefallen sind
- Etwaige weitere Nebenkosten (etwa Kosten für Sachverständige)

4.4.4 Weitere Anspruchsgrundlagen

Es kann zugleich erwogen werden, einen Anspruch auf Vergütungsanpassung gemäß *§ 2 Abs. 5 VOB/B* geltend zu machen. Auch wenn insoweit kein Verschulden des Auftraggebers nachgewiesen werden muss, ist aber auch im Rahmen dieser Anspruchsgrundlage der Behinderungssachverhalt entsprechend den vorstehenden Grundsätzen vorzutragen, sodass die vorangegangenen Darlegungen auch für diese Anspruchsgrundlage nutzbar zu machen sind. Der Vergütungsanspruch ist zudem kalkulatorisch unter Berücksichtigung der Urkalkulation nachzuweisen.

Schließlich kann ein behinderungsbedingter, auf Geld gerichteter Anspruch mit *§ 642 BGB* begründet werden. Danach erhält der Unternehmer eine angemessene Entschädigung, wenn der Besteller bei der Herstellung des Werkes eine erforderliche Mitwirkungshandlung unterlässt und hierdurch in Annahmeverzug gerät. Auch insoweit gelten die vorstehenden Ausführungen zur Darlegung des Sachverhalts (hier: unterlassene Mitwirkungshandlung, die zu einer Verzögerung und einem Entschädigungsanspruch geführt hat) und zur Forderungshöhe (konkreter Nachweis der Entschädigung unter Berücksichtigung der Urkalkulation). Der Verschuldensnachweis bezieht sich auf den Annahmeverzug.

4.4.5 Weitere behinderungsbedingte Rechtsfolgen

Neben dem Anspruch auf Bauzeitverlängerung und Schadenersatz sieht § 6 Abs. 4 VOB/B vor, dass dem Auftragnehmer für den Fall der Beseitigung der Behinderung eine angemessene Frist zur Wiederaufnahme der Arbeiten zuzubilligen ist. Hat der Auftragnehmer, etwa zur Schadenminderungspflicht, bei einer länger andauernden Behinderung sein Personal abgezogen, um es anderweitig einzusetzen, kann von ihm nicht erwartet werden, dass der Auftragnehmer sein Personal sofort wieder auf der Baustelle hat, wenn die behindernden Umstände entfallen sind. Dem Auftragnehmer ist hier eine angemessene Dispositionszeit zuzubilligen, um das zuständige Personal wieder auf der Baustelle einsetzen zu können.

Etwaige terminliche Absprachen sind durch Behinderungen hinfällig geworden. Der Auftraggeber, der an der ursprünglichen Vertragsstrafenregelung festhalten will und in diesem Zusammenhang auf die Einhaltung vertraglich vereinbarter Termine angewiesen

ist (§ 11 VOB/B), kann die Geltung der ursprünglichen Termine und von Vertragsstrafen nur dadurch erreichen, dass er mit dem Auftragnehmer neue, verbindliche und vertragsstrafenbewehrte Termine vereinbart. Eine Fortgeltung von Vertragsstrafenregelungen oder Fertigstellungsfristen findet durch eine einmal eingetretene Behinderung keine Anwendung mehr, es sei denn, dass vertraglich wirksam etwas anderes vereinbart worden wäre.

Bei einer Behinderung, die länger als drei Monate andauert, ist der Auftragnehmer nach § 6 Abs. 7 VOB/B berechtigt, den Vertrag mit dem Auftraggeber zu kündigen. § 6 Abs. 7 VOB/B räumt dem Auftragnehmer somit ein Sonderkündigungsrecht ein, obwohl die Kündigungsmöglichkeiten für den Auftragnehmer während der Abwicklung des Bauvertrags beschränkt sind (vgl. § 9 VOB/B). Der Auftragnehmer soll aber nicht für einen längeren Zeitraum ohne Beschäftigung auf der Baustelle an seinen ursprünglichen Preisen und vertraglichen Zusicherungen festgehalten werden, sodass ihm die Möglichkeit einer Kündigung zusteht. Voraussetzung ist allerdings, dass auf der Baustelle durch den Auftragnehmer objektiv für die Dauer von drei Monaten tatsächlich überhaupt nicht gearbeitet worden ist. Jede Tätigkeit während dieser Frist führt dazu, dass die Frist nach Beendigung der Tätigkeit erneut zu laufen beginnt. Nur bei einer ununterbrochenen Untätigkeit von drei Monaten kommt das Kündigungsrecht zur Anwendung.

4.5 Abnahme

Die Abnahme ist einer der zentralen Punkte bei der Bauabwicklung. Mit der Abnahme endet die Phase der Vertragserfüllung und damit die Vorleistungspflicht des Auftragnehmers, das Werk mangelfrei zu erstellen (§§ 631, 633 BGB und § 4 Abs. 7 VOB/B). Es beginnt die Phase der Mängelhaftung (früher: „Gewährleistung“), also die Verpflichtung des Auftragnehmers, alle während der Verjährungsfrist auftretenden Mängel zu beseitigen (§§ 634, 633 BGB, § 13 Abs. 1 VOB/B).

Gleichzeitig ändert sich mit der Abnahme die Beweislast: Während bis zur Abnahme, also während der Phase der Vertragserfüllung, der Auftragnehmer darlegen und ggf. vor Gericht beweisen muss, dass seine Leistungen mangelfrei sind, hat für nach der Abnahme auftretende Mängel der Auftraggeber die Darlegungs- und Beweislast.

Schließlich ist die Abnahme Fälligkeitsvoraussetzung, damit der Auftragnehmer seine Leistungen abschließend abrechnen kann, also Schlussrechnung legen kann.

4.5.1 Allgemeiner Überblick

BGB - Vertrag (§§ 640 f. BGB)	*VOB - Vertrag (§ 12 VOB/B)*
- **Ausdrückliche Abnahme**; §§ 640 Abs. 1, 641 Abs. 1 BGB ggf. auch für Teile der Leistung	- **Förmliche Abnahme**; § 12 Abs. 4 Abnahmeniederschrift erforderlich
- **Stillschweigende Abnahme**; § 640 Abs.1 BGB	- **Stillschweigende Abnahme**; Abnahmehandlung durch AG und Abnahmewille müssen vorliegen
- **Fiktive Abnahme**; § 640 Abs. 1 S. 3 BGB	- **Teilabnahme**; § 12 Abs. 2 rechtliche Teilabnahme
	- **Fiktive Abnahme**; § 12 Abs. 5 Fertigstellungsanzeige, Ingebrauchnahme

Nach den werkvertraglichen Regelungen ist der Auftragnehmer verpflichtet, dem Auftraggeber das Werk mangelfrei herzustellen. Er muss also den entsprechenden Werkerfolg herbeiführen (§§ 631, 632 BGB). Der Auftraggeber muss daher das Werk nur dann abnehmen, wenn die Leistungen des Auftragnehmers frei von wesentlichen Mängeln sind. Hierin zeigt sich gerade die den Werkvertrag kennzeichnende Erfolgshaftung des Werkunternehmers.

Da es aber gerade bei größeren Bauvorhaben nahezu unvermeidlich ist, dass zumindest geringfügige kleinere Mängel vorhanden sind, die aber im Verhältnis zur Gesamtbauleistung kaum ins Gewicht fallen, und dass gerade bei größeren Bauvorhaben noch unwesentliche Restarbeiten auszuführen sind, die der Funktionstauglichkeit des Werkes aber nicht entgegenstehen, verfolgt die VOB einen etwas abweichenden Abnahmebegriff, der sich auch bei der Abnahmedefinition des BGB durchzusetzen beginnt. § 12 Abs. 1 VOB/B sieht vor, dass der Auftraggeber das Werk abzunehmen hat, wenn die Leistung des Auftragnehmers „im Wesentlichen frei von Mängeln“ ist. Die absolute Mangelfreiheit des BGB wird also in der VOB/B durch eine relative Mangelfreiheit ersetzt – das Werk muss schon abgenommen werden, wenn es frei von wesentlichen Mängeln ist – unwesentliche Restmängel stehen der Abnahme damit nicht entgegen.

Zu beachten ist allerdings, dass für die Frage, ob die Mängel wesentlich sind, der Auftragnehmer die Beweislast trägt, da erst nach erklärter Abnahme die Beweislast wechselt und die Gewährleistungsphase beginnt.

Wann ein „wesentlicher“ Mangel vorliegt, ist unter Berücksichtigung der konkreten Umstände des jeweiligen Einzelfalls zu entscheiden. Zu berücksichtigen sind Art und Umfang des Mangels sowie die voraussichtlichen Mangelbeseitigungskosten, die Auswirkungen des Mangels und die vertraglichen Vorgaben, die vom Auftragnehmer zu beachten waren. Als wesentliche Mängel werden etwa Gefälle in einem Küchenboden, die Verar-

beitung einer anderen Holzart als ursprünglich vereinbart oder Risse in einer Attika mit Auswirkungen auf die Standsicherheit betrachtet.[80]

4.5.2 Vorbehalte des Auftraggebers

Der Auftraggeber kann bei der Abnahme Vorbehalte erklären – tut er dies nicht, können ihm Rechtsverluste drohen. Insbesondere vertragliche Regelungen ermöglichen es dem Auftraggeber daher, erklärte Vorbehalte auch noch bis zur Schlussrechnung aufrechtzuerhalten.

4.5.2.1 Vorbehalt der Vertragsstrafe

Dies gilt etwa für den Vorbehalt der vertraglich vereinbarten Vertragsstrafe. Die Vertragsstrafe wird ihrem Sinn und Zweck nach grundsätzlich mit der Abnahme fällig, da zu diesem Zeitpunkt die mangelfreie Fertigstellung des Werkes bescheinigt wird. Für einen Zeitraum danach besteht somit keine Möglichkeit mehr, die Vertragsstrafe geltend zu machen. Sie muss also eigentlich bei der Abnahme erklärt werden.

Es hat sich allerdings in der Baupraxis herausgestellt, dass ein solches Verfahren unpraktisch ist, da erst im Zuge der Abrechnung Werklohnansprüche des Auftragnehmers und etwaige Gegenansprüche des Auftraggebers gegenübergestellt, also saldiert werden. Üblicherweise hat sich die Prüfung der Schlussrechnung als der Hauptstreitpunkt für die nachvertragliche Auseinandersetzung zwischen den Parteien herauskristallisiert.

Der Auftraggeber ist daher berechtigt, die Geltendmachung der Vertragsstrafe auch noch im Zuge der Schlussrechnung zu erklären. Einen solchen Vorbehalt muss er allerdings bei der Abnahme erklären – sie ist zweckmäßigerweise auf der Abnahmebescheinigung oder bei einer förmlichen Abnahme in dem zu fertigenden Abnahmeprotokoll zu vermerken. Sie kann sich allerdings auch aus vertraglichen Regelungen ergeben, wobei dann jedoch im Einzelfall zu prüfen ist, ob eine solche Vertragsregelung möglicherweise wegen Verstoßes gegen die Regeln über die Allgemeinen Geschäftsbedingungen unwirksam sein kann. Eine Formulierung, auch in Formularverträgen, wonach der Auftraggeber berechtigt sein kann, die Vertragsstrafe auch bis zur Schlussrechnung geltend zu machen, begegnet allerdings keinen Bedenken.

4.5.2.2 Vorbehalte bekannter Mängel

§ 640 Abs. 2 BGB sieht ausdrücklich vor, dass die Abnahme eines Werkes in Kenntnis von bestehenden Mängeln den Auftraggeber nicht dazu berechtigt, später diese Mängel zu rügen. Nimmt der Auftraggeber das Werk daher in Kenntnis von Mängeln ab, kann er sich später nicht mehr auf die diesbezügliche Mangelhaftigkeit berufen.

Dies ist auch sach- und interessengerecht. Wenn der Auftraggeber einen Mangel kennt, aber bereit ist, ihn zu billigen, so wäre es treuwidrig und widersprüchlich, wenn er sich

[80] Beispiele nach *Werner/Pastor*, Rn 1852.

später, wenn das Bauvorhaben insgesamt abgewickelt ist und die Zahlungen ausgeglichen sind, doch wieder auf den Mangel berufen könnte. Der Auftragnehmer benötigt hier eine gewisse Planungssicherheit. Nimmt der Auftraggeber daher das Werk in Kenntnis eines Mangels ab, verzichtet er somit ausdrücklich auf ihm zustehende Rechte, worauf der Auftragnehmer vertrauen darf.

4.5.3 Beispielsfälle

Der Auftraggeber einer Werkleistung ist verpflichtet, diese nach Fertigstellung und Mängelfreiheit abzunehmen. Dies gilt auch, wenn eine Solaranlage in der Winterzeit zum Zeitpunkt der Abnahme nicht in Betrieb genommen werden kann.[81]

Gelegentlich neigt ein Auftragnehmer dazu, wenn seine Leistungen fertig gestellt sind, bereits die Schlussrechnung zu legen, obwohl er noch keine Abnahme, insbesondere keine förmliche Abnahme, vom Auftraggeber erhalten hat. Für eine solche Schlussrechnung fehlt die entscheidende Fälligkeitsvoraussetzung, nämlich die Abnahme. Stellt der Auftragnehmer eine Schlussrechnung ohne Verlangen der vereinbarten förmlichen Abnahme und zahlt der Auftraggeber den restlichen Werklohn bis auf einen nicht näher begründeten geringfügigen Betrag, kann das Verhalten der Parteien allerdings als übereinstimmender Verzicht auf eine förmliche Abnahme und als Abnahmeerklärung des Auftraggebers ausgelegt werden.[82]

Andererseits kann der Auftragnehmer sich nicht darauf verlassen, dass auch nach einem längeren Zeitablauf der Auftraggeber sich nicht auf die fehlende Abnahme berufen wird. In einem von dem *OLG Hamm* entschiedenen Fall hat das Gericht geurteilt, dass es auch nach einer über sechsjährigen Ingebrauchnahme eines Gebäudes an einer konkludenten (also stillschweigend durch schlüssiges Handeln herbeigeführten) Abnahme fehlen kann. An die Feststellung des konkludenten Verzichtswillens bezüglich der vertraglich vereinbarten förmlichen Abnahme sind erhebliche Anforderungen zu stellen, die in einem bloßen Stillschweigen nicht gesehen werden können.[83]

Zuweilen wird der Bauvertrag noch vor Fertigstellung der Leistungen des Auftragnehmers gekündigt, sei es etwa aus wichtigem Grund, weil z. B. der Auftragnehmer absprachewidrig Nachunternehmer eingesetzt hat, ohne hierauf vorher hinzuweisen (Verstoß gegen § 4 Abs. 8 VOB/B)[84], sei es, weil der Auftraggeber den Vertrag frei gekündigt (§ 8 Abs. 1 VOB/B) oder weil der Auftragnehmer den Vertrag gekündigt hat, etwa da er vom Auftraggeber keine Zahlungen mehr erhalten hat (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 VOB/B).

[81] *LG Kiel,* BauR 2010, 122 (Kurzform: IBR 2010, 16).
[82] *OLG Stuttgart*, BauR 2010, 1083 (Kurzform: IBR 2010, 381) – Nichtzulassungsbeschwerde vom *BGH* zurückgewiesen: IBR 2010, 381.
[83] *OLG Hamm*, IBR 2009, 700 (rechtskräftig).
[84] Wegen der Kündigungssachverhalte siehe Abschn. 4.10 zur Kündigung.

Für all diese Fälle hat der *BGH* entschieden, dass nach Kündigung eines Bauvertrages die Werklohnforderung grundsätzlich erst mit der Abnahme der bis dahin erbrachten Werkleistungen fällig wird.[85]

Dementsprechend ist in § 8 Abs. 6 VOB/B jetzt geregelt, dass auch im Falle einer Kündigung eine Abnahme zu erfolgen hat. Ohne diese Fälligkeitsvoraussetzung kann auch der gekündigte Auftragnehmer keine Schlussrechnung legen. Der *BGH* begründet dies damit, dass nach der gesetzlichen Wertung des § 641 Abs. 1 Satz 1 BGB die Abnahme immer Fälligkeitsvoraussetzung für den Werklohnanspruch des Auftragnehmers ist. Es besteht daher kein rechtfertigender Grund, von dieser Voraussetzung abzusehen, wenn der Auftragnehmer infolge der Kündigung eines Vertrags lediglich Teilleistungen erbracht hat. Es sei auch kein Grund ersichtlich, an die Fälligkeitsvoraussetzungen des für den bis zur Kündigung erbrachten Leistungsteil geschuldeten Vergütungsanspruchs geringere Anforderungen zu stellen. In der Regel liegen nach Auffassung des Gerichts hinreichend abgrenzbare Teilleistungen vor, die auch in diesem Stadium der Überprüfung zugänglich sind, ob der Auftragnehmer sie vertragskonform erbracht hat.[86]

Die Begründung des *BGH* mag rechtsdogmatisch zutreffend sein – in der Praxis führt sie jedoch nicht selten zu erheblichen Problemen. Wird etwa der Auftragnehmer wegen eines vertragswidrigen Verhaltens während der Auftragsabwicklung gekündigt, ist ein Streit über die bis dahin erbrachten Leistungen und ihre Mangelhaftigkeit absehbar. Gerade im Falle einer außerordentlichen Kündigung ist das Verhältnis der Vertragsparteien naturgemäß extrem angespannt. Der Auftraggeber wird in jedem Falle versuchen, so viele Mängel an der – ohnehin nicht fertig gestellten – Werkleistung des Auftragnehmers zu finden, dass er die Abnahme verweigern kann. Der Auftragnehmer hat dann allerdings keine Möglichkeit, seine Schlussrechnung zu legen. Er muss dann nachweisen, dass die bis zu dem Zeitpunkt der Kündigung erbrachten Leistungen mangelfrei waren. Hierbei hat er allerdings damit zu kämpfen, dass in Fällen insbesondere der Auftragsentziehung oder fristlosen Kündigung oftmals auch ein Baustellenverbot ausgesprochen wird, sodass ihm die Nachweisführung deutlich erschwert wird. Es bleibt abzuwarten, ob die Rechtsprechung in einem solchen Fall eine Beweislastumkehr jedenfalls dann befürwortet, wenn ein Baustellenverbot ausgesprochen wird und der Auftraggeber die Arbeiten fortsetzen lässt, ohne dem Auftragnehmer Feststellungen zu ermöglichen.

In praktischer Hinsicht ist dem Auftragnehmer daher zu raten, nach der Kündigung eines Vertrags die Abnahme und die Leistungsstandsfeststellung und -abgrenzung zu beantragen. Der Auftragnehmer muss im Falle einer Abnahmeverweigerung oder -verzögerung nachweisen, dass der Auftraggeber die Abnahme des Werkes ernsthaft und endgültig ablehnt oder der Auftraggeber die Mängel nachweislich selbst beseitigt hat und sich daher nicht mehr darauf berufen kann, ursprünglich die Abnahme zu Recht verweigert zu haben.

Allerdings kann sich der Auftraggeber, der sofort eine Ersatzvornahme veranlasst und die Arbeiten durch ein Nachfolgeunternehmen fertig stellen lässt, ohne dass es zu einer

[85] *BGH*, NJW 2006, 2475 (Kurzform: IBR 2006, 432).
[86] *BGH*, NJW 2006, 2475.

Abgrenzung zu anderen Teilleistungen des gekündigten Auftragnehmers gekommen ist, nicht mehr auf die fehlende Abnahme für die erbrachte Teilleistung berufen.[87]

4.5.4 Sonderfall: Schäden/Gefahrtragung vor Abnahme

Ein häufiges Problem ist die Beschädigung der Leistung des Auftragnehmers, noch bevor die Arbeiten abgenommen sind. Aufgrund der gesetzlichen Regelungen und der Regelungen in der VOB/B trägt der Auftragnehmer die Erfüllungsgefahr, er haftet also dafür, dass die Leistungen bis zur Abnahme frei von wesentlichen Mängeln sind. Flankiert wird diese Wertung durch § 4 Abs. 5 VOB/B, wonach dem Auftragnehmer die Verpflichtung obliegt, seine Leistungen bis zur Abnahme zu schützen.

Beispielsfall: Bei Errichtung einer Hochhaus-Fassade arbeiten mehrere Gewerke zusammen. Während die Fassadenarbeiten in den unteren Geschossen schon begonnen haben, führt der Rohbauer weitere Arbeiten zur Errichtung der höher gelegenen Geschosse aus. Beide Gewerke können bei diesem erprobten Bauablauf selbst nicht zusammenarbeiten. In einem Fall ist es allerdings dazu gekommen, dass eine Schalungsbühne des Rohbauers gerissen ist, sodass sich Betonschlämme auf einer Fassadenseite des Hochhauses über 36 Etagen verteilt haben.

Ein ähnliches Beispiel ergibt sich aus dem bekannten Bonner Schürmann-Bau, bei dem vor Abnahme infolge einer Bauunterbrechung durch ein Rhein-Hochwasser das Gebäude beschädigt wurde und abrissreif war.

Die Rechtslage, insbesondere nach dem BGB, ist eindeutig: § 644 Abs. 1 BGB weist die Gefahrtragung dem Auftragnehmer bis zur Abnahme ausnahmslos zu. Die Rechtsprechung hat dementsprechend auch geurteilt: Wird das Werk des Unternehmers vor Abnahme zerstört oder beschädigt, ohne dass eine Partei dies zu vertreten hat, und befindet sich der Besteller nicht im Verzug der Annahme, so hat der Unternehmer gemäß § 644 Abs. 1 BGB das Werk ohne zusätzliche Vergütung nur herzustellen bzw. die Schäden zu beseitigen. Ist der Schaden auf die schuldhafte Pflichtverletzung eines Nebenunternehmers zurückzuführen (wie im Beispielsfall auf den Rohbauer), so verbleibt das Gefahrtragungsrisiko bei dem Unternehmer, da der Nebenunternehmer nicht Erfüllungsgehilfe des Bestellers im Verhältnis zu seinem Unternehmer ist.[88]

§ 7 VOB/B trifft hier für den Auftragnehmer eine etwas mildere Haftung, führt aber im Ergebnis auch dazu, dass in Fällen der vorliegenden Art der Auftragnehmer grundsätzlich zu haften hat.[89]

[87] *OLG Celle*, BauR 2007, 1939 (Kurzform: IBR 2008, 73) – Nichtzulassungsbeschwerde zurückgewiesen: *BGH,* BauR 2008, 103; siehe hierzu auch Abschn. 4.2.3.
[88] *OLG Celle*, BauR 2010, 829 (Kurzform: IBR 2010, 438), *BGH,* NJW 1998, 456 – Schürmann-Bau.
[89] Überblick zu § 7 VOB/B bei *Niemöller* in IBR-Online-Kommentar zur VOB; § 7 VOB/B.

In praktischer Hinsicht wird diese, ggf. auch unverhältnismäßige Haftung, die aber aufgrund der Wertung des Werkvertragsrechts unter Berücksichtigung des gesetzlichen Leitbilds des Werkvertrags als Erfolgshaftung systemkonform ist, häufig dadurch abgefangen, dass die Baubeteiligten, oft der Auftraggeber, eine Bauwesenversicherung abschließen. Bei großen Bauvorhaben umfasst diese Versicherung neben der klassischen Bauwesen- (oder Bauleistungs-) auch eine Haftpflichtversicherung. Die Prämien hierfür werden anteilig auf die Unternehmen umgelegt. Derartige Umlageklauseln begegnen, sofern sie nicht unverhältnismäßig hohe Prozentanteile an Vergütungsbeteiligung vorsehen, keinen rechtlichen Bedenken. Regelmäßig sind die Auftragnehmer des Auftraggebers Begünstigte aus der Versicherung, sodass der Schaden im Ausgangsfall de facto über die Versicherung abzuwickeln sein wird.

Allerdings verbleiben auch in solchen Fällen üblicherweise Selbstbehalte, die bei solchen Versicherungen durchaus hoch sein können. So ist bei großen Bauvorhaben ein Selbstbehalt von € 20.000,00 pro Schaden keine Seltenheit. Auch geringere Summen von nur € 1000,00 Selbstbehalt pro Schadensfall sind aber, etwa für einen Fensterbauer, problematisch, da die Versicherungen im Regelfall davon ausgehen, dass pro beschädigter Scheibe ein Schadensfall vorliegt; der Unternehmer muss beweisen, dass ein zusammenhängender Schadensfall vorliegt, um Versicherungsleistungen in Anspruch nehmen zu können.

Ein weiteres Problem stellt sich im Ausgangsfall dadurch, dass die Fassadenarbeiten dazu geführt haben, dass die eingebauten und durch die Betonschlämme verschmutzten Fassadenelemente kraft Gesetzes Eigentum des Grundstückseigentümers geworden sind (§ 946 BGB). Diese Betrachtung hat nichts mit werkvertraglichen Überlegungen zu tun und steht auch nicht im Zusammenhang mit der Abnahme. In sachenrechtlicher Hinsicht wird durch den Einbau der Fassadenelemente in das Gebäude automatisch Eigentum des Eigentümers begründet. Um in solchen Fällen, die auch bei etwaigen Vandalismusschäden problematisch werden können – auch hier kann der Auftragnehmer vor Abnahme zur Nachbesserung und Neuherstellung verpflichtet sein – dem Auftragnehmer eine Möglichkeit zu geben, seine Aufwendungen ersetzt zu verlangen, muss auf das Rechtsinstitut der Drittschadensliquidation zurückgegriffen werden.[90]

Was die Frage des Schutzes der Leistung vor Abnahme betrifft (§ 4 Abs. 5 VOB/B), ist die Rechtslage hier im Ergebnis unbefriedigend. Festzuhalten bleibt, dass der Auftragnehmer grundsätzlich verpflichtet ist, seine Leistungen so zu schützen, dass es zu keinen Beschädigungen vor der Abnahme kommt. Dies wird aber bei der praktischen Umsetzung auf der Baustelle oftmals erhebliche Probleme bereiten, insbesondere wenn Nachgewerke die bereits fertig gestellte Leistung schon benutzen und nicht immer gerade zimperlich damit umgehen.

Dem Auftragnehmer sei geraten, für den Fall, dass er ein erhöhtes Schutzpotenzial erkennt, den Auftraggeber durch entsprechende Bedenkenanmeldungen hierauf hinzuweisen (§ 4 Abs. 3 VOB/B). Trotz der Grundregel des § 4 Abs. 5 VOB/B (Schutz der Leistung)

[90] S. o. Abschn. 4.2.3.

trifft den Auftraggeber eine allgemeine Koordinationspflicht auf der Baustelle (§ 4 Abs. 1 VOB/B). Kommt er daher begründeten Bedenken des Auftragnehmers nicht nach, kann eine partielle Gewährleistungsfreistellung des Auftragnehmers auch vor Abnahme in Betracht kommen. Der Auftragnehmer kann auch, falls der Auftraggeber zusätzliche, nicht mehr übliche Schutzmaßnahmen anordnet, hier eine Mehrvergütung über einen Nachtrag für eine im Vertrag nicht vorgesehene Leistung beanspruchen (§ 2 Abs. 6 VOB/B).

Da der Auftragnehmer aber darzulegen und zu beweisen hat, dass er die Leistung ordnungsgemäß, ausreichend und ohne Mehrvergütungsanspruch richtig geschützt hat, tauchen hier oftmals Probleme auf, die aufgrund der gesetzlichen Erfolgshaftung (§ 632 BGB – der Auftragnehmer schuldet den Erfolg der vertraglichen Leistung) im Zweifel zulasten des Auftragnehmers gehen.

4.5.5 Abnahmeformen

Das BGB spricht nur von „Abnahme“, ohne dies näher zu konkretisieren. Die VOB/B kennt in § 12 allerdings diverse Abnahmeformen:

Nach § 12 Abs. 4 i. V. m. § 12 Abs. 1 VOB/B ist die förmliche Abnahme letztlich die Regelform der Abnahme. Bei der förmlichen Abnahme wird die Abnahme ausdrücklich durch den Auftraggeber schriftlich bescheinigt (daher und wegen der Verpflichtung zur Erstellung eines gemeinsamen Protokolls: „förmlich“). Der förmlichen Abnahme geht regelmäßig eine Fertigstellungsanzeige des Auftragnehmers voraus, verbunden mit der Aufforderung, die Leistungen abzunehmen. Die Frist hierfür muss angemessen sein – § 12 Abs. 1 VOB/B sieht hierfür eine Frist von 12 Werktagen vor. Kommt der Auftraggeber dem Abnahmeverlangen innerhalb der Abnahmefrist nicht nach, führt also die Abnahme überhaupt nicht durch, kann der Auftragnehmer ihn zur Durchführung der Abnahme eine Nachfrist setzen und ihm ankündigen, dass nach fruchtlosem Ablauf der Nachfrist die Leistung auch ohne Abnahme als abgenommen gilt. Dies ergibt sich aus § 640 Abs. 1 Satz 3 BGB, der dem Interesse des Auftragnehmers Rechnung trägt, im Falle eines mangelfrei errichteten Werkes eine Abnahme zu erhalten. Damit kann eine gesetzliche Abnahmefiktion eingreifen, wenn der Auftraggeber die Abnahme grundlos verweigert.

Die förmliche Abnahme ist eine einseitige rechtsgeschäftliche Willenserklärung des Auftraggebers, mit der er das bestellte und ausgeführte (im Wesentlichen mangelfreie) Werk billigt. Das bedeutet, dass der Auftragnehmer bei der Abnahme entgegen landläufiger Meinung nicht zwingend zugegen sein muss. Bei einer förmlichen Abnahme sieht die VOB/B allerdings vor, dass die Abnahmefeststellungen gemeinsam getroffen und in einem entsprechenden Protokoll festgehalten werden (§ 12 Abs. 4 VOB/B). Die Bescheinigung selbst, also die Abnahmebestätigung, muss nicht von beiden Parteien unterzeichnet sein – die Rechtswirkungen treten ein, wenn der Auftraggeber sie unterzeichnet hat und dem Auftragnehmer aushändigt.

Abweichend hiervon kennt § 12 Abs. 5 VOB/B die Abnahme durch Inbenutzungsnahme. Hier geht die VOB/B davon aus, dass ein Werk, das vom Besteller in Benutzung

genommen wird, offensichtlich keine Beanstandungen hatte, da es sonst nicht in Benutzung genommen worden wäre. Findet insoweit nicht sechs Tage nach Übergabe eine ausdrückliche Abnahme statt, gilt die Leistung durch die Inbenutzungsnahme schlüssig, also konkludent, als abgenommen. Diese Regelung wird in Bauverträgen recht häufig ausgeschlossen – eine formularmäßige Abrede, wonach die Rechtswirkungen des § 12 Abs. 5 VOB/B für das jeweilige Vertragsverhältnis ausgeschlossen sein sollen, begegnet keinen Bedenken der Rechtsprechung.[91]

Gelegentlich ist auch von einer sonstigen Abnahme durch schlüssiges, konkludentes Verhalten oder durch Stillschweigen die Rede.[92] Diese kann beispielsweise darin gesehen werden, dass der Auftraggeber vorbehaltlos die Schlussrechnung des Auftragnehmers begleicht. Dadurch gibt der Auftraggeber zu verstehen, dass er die Leistungen des Auftragnehmers für abnahmefähig und damit für mangelfrei hielt, da er sie andernfalls nicht bezahlt hätte.

Praxishinweis: Beiden Vertragsparteien ist dringend anzuraten, die Abnahme schriftlich zu dokumentieren. Der Auftragnehmer muss nachweisen, dass er die Leistungen fertig gestellt und die Fertigstellung dem Auftraggeber angemeldet hat, verbunden mit der Abnahmeaufforderung. Der Auftraggeber kann dokumentieren, wann die Abnahme aus seiner Sicht erfolgt ist bzw. welche Leistungen von der Abnahme, ggf. infolge von Mängeln oder fehlender Fertigstellung, ausgenommen sind.

4.5.6 Teilabnahmen

Grundsätzlich muss der Auftraggeber warten, bis seine komplette Leistung fertig gestellt ist, ehe er die Abnahme verlangen kann. Dies führt bei größeren Bauvorhaben regelmäßig dazu, dass der Auftragnehmer recht lange in der Erfüllungsphase festgehalten wird und damit auch für Mängel haftet, unabhängig davon, ob er sie verschuldet hat oder nicht (s. o.). Der Auftragnehmer hat ein Interesse daran, für fertig gestellte Leistungsteile kurzfristig eine Abnahme zu erhalten, um den Gefahrübergang, also den Übergang der Gefahr auf den Auftraggeber sowie die Beweislastumkehr für Mängelbehauptungen zu erreichen.

Daher sieht die VOB/B in § 12 Abs. 2, nunmehr aber auch das BGB in § 641 Abs. 1 Satz 2 vor, dass Teilabnahmen erfolgen können, wenn ein in sich abgeschlossener Leistungsteil vorliegt. Es muss sich dabei um einen klar abgrenzbaren für sich alleine funktionierenden Leistungsteil handeln, auf den die weiter zu erbringenden Leistungen keinen Einfluss haben.[93] So wird z. B. die Fertigstellung eines Fensters nicht als ausreichend für eine Teilabnahme angesehen. Bei einem Natursteinbauer kann es aber ausreichen, dass eine Fassadenseite vollständig fertig gestellt wurde, allerdings auch nur dann, wenn die-

[91] *LG München I*, BauR 1991, 386; Übersicht über Vertragsklauseln zur Abnahme bei *Hofmann/Frikell/Schwamb,* Kap. 2.12.1.1.
[92] S. z. B. *Werner/Pastor*, Rn 1823 ff.
[93] Überblick mit Beispielen bei *Leinemann-Jansen*, § 12 VOB/B, Rn 81 ff.

se Leistung tatsächlich auch ohne die anderen Gewerke in Benutzung genommen werden kann.

4.6 Abrechnung und Zahlung

Sobald der Auftragnehmer nach dem gesetzlichen Leitbild des Werkvertragsrechts den Erfolg seiner Leistungen herbeigeführt hat, steht ihm ein Anspruch auf Zahlung zu. Hierbei handelt es sich letztlich um die Hauptpflicht des Bestellers eines Bauwerkes, die Leistungen des Unternehmers zu bezahlen.

Gesetzlich ist die Zahlung in den §§ 631 und 632 BGB geregelt. Das Gesetz definiert in § 631 Abs. 1 BGB die Hauptpflicht des Bestellers, die vereinbarte Vergütung zu entrichten. Nach § 632 Abs. 1 BGB geht das Gesetz davon aus, dass werkvertragliche Leistungen niemals ohne Vergütung erbracht werden. Eine Vergütung gilt demnach sogar als stillschweigend vereinbart, wenn die Herstellung des Werkes den Umständen nach nur gegen eine Vergütung zu erwarten ist. Dies ist bei gewerblichen Bauleistungen regelmäßig der Fall. Auch auftragslose Leistungen können ggf. Vergütungsansprüche unter dem Gesichtspunkt der Geschäftsführung ohne Auftrag auslösen (§§ 670, 677 ff. BGB).

Bei VOB-Verträgen richtet sich die Frage der Abrechnung und Zahlung nach den §§ 14, 16 VOB/B.

4.6.1 Prüfbarkeit der Rechnung

§ 14 VOB/B trifft Regelungen über die Abrechnung, die der Unternehmer vorlegen muss, um Zahlungen vom Auftraggeber zu erhalten. Danach hat der Auftragnehmer seine Leistungen prüfbar abzurechnen. Er hat gemäß § 14 Abs. 1 VOB/B die Rechnungen daher

- übersichtlich aufzustellen,
- die Reihenfolge der Posten einzuhalten und die in den Vertragsbestandteilen enthaltenen Bezeichnungen zu verwenden,
- die zum Nachweis von Art und Umfang der Leistung erforderlichen Mengenberechnungen, Zeichnungen und andere Belege beizufügen und
- Änderungen und Ergänzungen des Vertrags in der Rechnung besonders kenntlich zu machen, etwa als Nachtragsbezeichnung, und auf Verlangen getrennt abzurechnen.

Mit der Verpflichtung, dass der Auftragnehmer eine prüfbare Abrechnung vorzulegen hat, formuliert die VOB/B somit eine Fälligkeitsvoraussetzung für die Erlangung des Werklohns. Bei einem Pauschalpreisvertrag reicht es allerdings bereits aus, lediglich die vereinbarte Endsumme im Rahmen der (Schluss-) Rechnung zu kennzeichnen und die erhaltenen Zahlungen aufzuführen.[94]

[94] *BGH,* BauR 1979, 525; *OLG Köln*, NJW-RR 1990, 1171.

Um eine prüfbare Abrechnung erstellen zu können, sieht § 14 Abs. 2 VOB/B vor, dass die für die Abrechnung notwendigen Feststellungen dem Fortgang der Leistung entsprechend möglichst gemeinsam vorzunehmen sind (Stichwort: gemeinsames Aufmaß). Die Vertragsparteien haben die Abrechnungsbestimmungen in den technischen Vertragsbedingungen und den anderen Vertragsunterlagen zu beachten. Es ist die Pflicht des Auftragnehmers, für Leistungen, die bei Weiterführung der Arbeiten nur schwer feststellbar sind, gemeinsame Feststellungen zu beantragen, also eine sog. Sichtabnahme oder technische Abnahme im Sinne des § 4 Abs. 10 VOB/B durchzuführen.

Häufig beruft sich der Auftraggeber auf eine angeblich fehlende Prüffähigkeit der von dem Auftragnehmer vorgelegten Rechnung. Hierbei kann sich der Auftraggeber aber nicht mit dem pauschalen Einwand begnügen, die Rechnung sei nicht prüffähig, sondern hat im Einzelnen darzulegen, welche Informationen und Unterlagen ihm konkret fehlen, um die Rechnung prüfen zu können. Der Einwand der fehlenden Prüffähigkeit kann im Einzelfall sogar rechtsmissbräuchlich und damit unzulässig sein, insbesondere wenn der Auftraggeber, der sich (später) auf die fehlende Prüffähigkeit einer Rechnung beruft, die Rechnung aber dennoch geprüft hat, oder wenn er trotz der Rüge der fehlenden Prüfbarkeit die Unterlagen und Kenntnisse zur Prüfung schon vorliegen hat oder wenn der Mangel der Prüffähigkeit verspätet vorgebracht wird.[95]

4.6.2 Abschlagszahlungen

Nach der ursprünglichen gesetzlichen Regelung hat der Auftragnehmer zunächst seine vollständige Leistung zu erbringen (Vorleistungspflicht), ehe er die Vergütung beanspruchen kann. Dies ergibt sich aus § 641 Abs. 1 BGB, wonach die Vergütung bei der Abnahme des Werkes zu entrichten ist.

Diese strenge Vorleistungspflicht ohne Vergütung hat sich allerdings als nicht praktikabel erwiesen, insbesondere bei großen Bauvorhaben mit einer langwierigen Ausführungsdauer. Der Auftragnehmer ist hier möglicherweise unter Zugrundelegung der Regelung des § 641 Abs. 1 BGB jahrelang darauf angewiesen, seine Vorleistungspflicht zu erfüllen, ehe er überhaupt erstmals eine Vergütung erhält. Daher hat zunächst die VOB/B in § 16 Abs. 1, später auch der Gesetzgeber in § 632a Abs. 1 BGB vorgesehen, dass der Auftragnehmer Abschlagszahlungen für vertragsgemäß erbrachte Leistungen in der Höhe verlangen kann, in der der Besteller durch die Leistung einen Wertzuwachs erlangt hat. Damit wird dem Interesse des Auftragnehmers Rechnung getragen, auch vor Fertigstellung des Werkes Vergütung abrechnen und vereinnahmen zu können.

Abschlagszahlungen sind nach § 16 Abs. 1 Nr. 1 VOB/B auf Antrag des Auftragnehmers in möglichst kurzen Zeitabständen oder zu den vereinbarten Zeitpunkten zu gewähren und zwar in Höhe des Wertes der jeweils nachgewiesenen vertragsgemäßen Leistungen. Auch § 16 VOB/B fordert zum Nachweis eine prüfbare Aufstellung, die eine

[95] *Werner/Pastor*, Rn 1873 f. mit Beispielen aus der Rechtsprechung.

rasche und sichere Beurteilung der Leistungen ermöglichen muss, und wiederholt somit die Anforderungen zur Abrechnung aus § 14 VOB/B.

Anders als die Schlussrechnung (dazu sogleich) hängt die Fälligkeit der Abschlagszahlung nicht von einer bereits erfolgten Abnahme von (Teil-) Leistungen ab, sondern kann schon erfolgen, wenn Leistungen überhaupt erbracht sind. Eine prüfbare Abrechnung wird aber dennoch gefordert. Die Möglichkeit des Auftragnehmers, während der Bauausführung Abschlagszahlungen zu erlangen, widersprach zunächst dem gesetzlichen Leitbild des BGB-Werkvertrags, das davon ausging, dass der Unternehmer zunächst den Erfolg herbeiführen musste (z. B. die Sanierungsarbeiten erst erfolgreich abschließen musste oder das Bauwerk abschließend errichten musste), um überhaupt in den Genuss einen Vergütungsanspruchs zu gelangen. Da sich diese Regelung allerdings bei der Abwicklung von Bauvorhaben als wenig praktikabel erwiesen hat, da der Auftragnehmer das Vorleistungsrisiko trägt und keine Absicherung für bereits verbaute Stoffe und Leistungen erhält, hat die VOB/B die Möglichkeit der Abschlagszahlung ausdrücklich geregelt. Der Unternehmer soll für bereits erbrachte Leistungen nicht bis zum Abschluss der Baumaßnahme auf seine Vergütung warten, sondern kann durch die Abschlagszahlungen schon während des Baufortschritts Vergütung vom Auftraggeber beanspruchen. Diese Regelung hat der Gesetzgeber mittlerweile im Grundsatz übernommen (§ 632a BGB).

Zu beachten ist allerdings der nur vorläufige Charakter von Abschlagszahlungen. Mit Abschlagszahlungen ist ausdrücklich kein Anerkenntnis der abgerechneten Leistung verbunden.[96]

Beispielsfall: Bei der Sanierung und dem teilweisen Neubau einer alten Fachwerk-Eisenbahnbrücke stellt der Unternehmer 30 Abschlagsrechnungen. Er weist dort auch zahlreiche Nachträge aus, bei denen auch bauzeitbedingte Mehrkosten geltend gemacht werden. Der Auftraggeber bezahlt die Abschlagsrechnungen und vergütet auch auf die Nachträge durchweg 70 %. Im Zuge der Schlussrechnung stellt der Auftraggeber insbesondere die bauzeitbedingten Nachträge, aber auch die anderen Nachträge infrage und verweigert die Vergütung bzw. streicht Vergütungspositionen, die in den Abschlagszahlungen bereits mit mindestens 70 % berücksichtigt waren.

Wegen des nur vorläufigen Charakters der Abschlagsrechnungen und -zahlungen und der Intention der Regelung über die Abschlagszahlungen, dem Auftragnehmer schon während der Bauabwicklung kurzfristig Vergütung zu verschaffen, kann der Auftraggeber jedenfalls bei der Endabrechnung des Vertrags bestimmte Positionen nochmals infrage stellen und die Vergütung kürzen oder ganz verweigern, sofern die Einwände sachlich begründet sind. Der Auftragnehmer muss dann nachweisen, dass die Nachträge dem Grunde nach berechtigt sind und auch der Höhe nach korrekt auf der Grundlage der Urkalkulation abgerechnet wurden. Er ist auch für bauzeitbedingte Mehrkosten darlegungs- und beweispflichtig, sofern der Auftraggeber diese Positionen bei der Schlussrechnungsprü-

[96] *BGH,* BauR 2004, 1146; Übersicht bei *Werner/Pastor*, Rn 1602 ff.

fung ablehnt. Es kann also im Beispielsfall durchaus sein, dass der Auftraggeber bei der Schlussüberprüfung sogar zu einer Überzahlung gelangt, weil er in Abschlagszahlungen die Nachträge pauschal mit 70 % vergütet hat, diese in der Schlussrechnung aber jetzt infrage stellt.

Der Auftragnehmer muss bei der Abschlagszahlung seinen Leistungsstand nachweisen. Üblicherweise erfolgt dies entsprechend Baufortschritt in Anlehnung an die zugrunde liegende Position des Leistungsverzeichnisses, in dem bei der Abrechnung ein Prozentsatz für die bereits erbrachte Leistung angesetzt wird.

Beispiel (Sanierung einer Schule):
Position 5.2.40 Asbestdekontaminierung Gebäude A,
EP: € 20.000,00
Leistungsstand: 80 %:
Abrechnungssumme: € 16.000,00

Im Beispielsfall kommt die Position einer Asbestentsorgung zur Abrechnung. Der vertragliche Einheitspreis für die Leistungen wurde mit € 20.000,00 zugrunde gelegt. Der Leistungsstand zum Zeitpunkt der Abrechnung beträgt 80 %, sodass mit der Abrechnung der Betrag von € 16.000,00 für die Position beansprucht wird.

Bei Einheitspreisverträgen ist es auch möglich, die tatsächlich ausgeführten Mengen einzutragen und mit dem vertraglich vereinbarten Einheitspreis zu multiplizieren, um den konkreten Leistungsstand der Abschlagsrechnung zu ermitteln.

Entgegen anderslautender formularmäßiger Regelungen in Verträgen hat der Auftragnehmer Anspruch auf die volle Bezahlung der Abschlagsrechnung, also der Zahlung zu 100 %. Die gelegentlich anzutreffende Formulierung „Abschlagszahlungen erfolgen in Höhe von 90 %“, ohne den Abzug näher zu erläutern, ist wegen Verstoßes gegen die Regelungen über die Allgemeinen Geschäftsbedingungen unwirksam.[97] Anders ist der Fall zu beurteilen, wenn die Parteien für die Vertragserfüllung eine Sicherheit vereinbart haben und, sofern der Auftragnehmer keine Vertragserfüllungsbürgschaft vorlegt, der Auftraggeber berechtigt sein soll, etwa 5–10 % von jeder Rechnung als Sicherheit für die Vertragserfüllung einzubehalten. Ist eine solche vertragliche Abrede ausdrücklich getroffen, begegnet der Abzug keinen Bedenken.

Häufig trifft man aber auch die Regelung an, dass der Auftragnehmer eine Vertragserfüllungsbürgschaft zu Beginn der Bauarbeiten zu stellen hat, etwa in Höhe von 10 %, dennoch aber die Abschlagszahlungen nur in Höhe von 95 % erfolgen. Auch eine solche Regelung ist unwirksam, da der Auftraggeber übersichert wird.

Haben die Parteien eine Vorauszahlung vereinbart, wonach der Auftraggeber dem Auftragnehmer schon vor Beginn der Arbeiten einen bestimmten Betrag bezahlt, sind diese Vorauszahlungen selbstverständlich bei den Abschlagsrechnungen mit anzurechnen. Üb-

[97] *Werner/Pastor*, Rn 1600; *Hofmann/Frikell/Schwamb,* S. 369 ff.

licherweise lässt sich der Auftraggeber auch eine gesonderte Vorauszahlungsbürgschaft zur Absicherung seiner bereits geleisteten Zahlungen geben (vgl. § 16 Abs. 2 VOB/B).

Der Auftraggeber ist nach § 16 Abs. 1 Nr. 2 berechtigt, Gegenforderungen, etwa wegen erkannter, aber noch nicht beseitigter Mängel, geltend zu machen und einen entsprechenden Betrag von der Abschlagszahlung einzubehalten.

§ 16 Abs. 1 Nr. 3 VOB/B bestimmt, dass Abschlagszahlungen binnen 21 Tagen nach Zugang der Aufstellung fällig werden.

Eine Abschlagsrechnung kann nicht mehr gestellt werden, wenn die Leistungen des Auftragnehmers abgenommen sind. Er ist dann verpflichtet, eine Schlussrechnung zu erteilen.

Grundsätzlich ist die gerichtliche Geltendmachung von Abschlagsrechnungen möglich. Da aber erfahrungsgemäß ein Bauprozess im Regelfall länger dauert als die Baumaßnahme, wird der klagende Unternehmer während der Prozessdauer seine Schlussrechnung gelegt haben. In diesem Fall gehen seine Ansprüche auf Abschlagszahlungen unter und er ist verpflichtet, seinen Vortrag im laufenden Prozess auf die Schlussrechnung umzustellen. Es kann daher für den Auftragnehmer sinnvoller sein, offene Vergütungsansprüche im Wege der Klage aus der Schlussrechnung geltend zu machen.

Bei einem BGB-Werkvertrag sind Abschlagszahlungen nach § 632a BGB vorgesehen. Danach kann der Unternehmer von dem Besteller für die vertragsgemäß erbrachte Leistung eine Abschlagszahlung in der Höhe verlangen, in der der Besteller durch die Leistung einen Wertzuwachs erlangt hat. Unklar ist insoweit die Formulierung, wonach der Wertzuwachs, den der Besteller durch die Leistung erlangt hat, geregelt ist. Fraglich ist dabei, wie sich dieser Wertzuwachs berechnet.[98] Es hätte hier näher gelegen, auf die Regelungen in §§ 14, 16 VOB/B zurückzugreifen. Der Gesetzgeber wollte allerdings mit der neuen Regelung des § 632a BGB auch dem Unternehmer eines BGB-Werkvertrags, bei dem die VOB nicht vereinbart ist, die Möglichkeit geben, Abschlagszahlungen geltend machen zu können. Aufgrund der unklaren Formulierung ist den Parteien zu raten, bezüglich der Abschlagszahlungen eine gesonderte Regelung in ihren BGB-Werkvertrag aufzunehmen.

4.6.3 Schlussrechnung

Zum Abschluss der Arbeiten, nach Abnahme, rechnet der Auftragnehmer sämtliche erbrachten Leistungen mit der Schlussrechnung ab. Die Schlussrechnung erfasst sämtliche während der Baumaßnahme angefallenen Vergütungsansprüche, also auch sämtliche Nachtragsleistungen.

Die Schlussrechnung muss den Grundsätzen einer prüfbaren Abrechnung entsprechen, wie sie vorstehend dargelegt wurden (vergleiche § 14 Abs. 1 und 2 VOB/B).

Sie muss weiterhin bei Leistungen mit einer vertraglichen Ausführungsfrist bis höchstens drei Monate spätestens 12 Werktage nach Fertigstellung eingereicht werden, wobei

[98] *Palandt-Sprau*, § 632a, Rn 9.

diese Frist um je sechs Werktage für je weitere drei Monate Ausführungsfrist verlängert wird, sofern nichts anderes vereinbart ist (§ 14 Abs. 3 VOB/B).

Beispiel: Die Natursteinarbeiten an einem kleineren Bauvorhaben haben einen Monat gedauert und sind am 24.07.2015 (Freitag) abgeschlossen worden. Der Auftragnehmer muss nach § 14 Abs. 3 VOB/B innerhalb von 12 Werktagen die Schlussrechnung stellen, also bis zum Freitag, den 07.08.2015 (Werktage: Montag–Samstag).

Hätte es sich im Beispielsfall um umfassende Arbeiten an einem großen Bauvorhaben gehandelt, für das etwa eine Bauzeit von einem Jahr erforderlich wäre, würde die Berechnung betragen: 25. Juli 2016 + 12 Werktage für die ersten drei Monate + je sechs Werktage für je weitere drei Monate, also weitere 18 Werktage (9 Monate = 3 × 6 Werktage). Insgesamt würden dem Auftragnehmer somit 30 Werktage zur Vorlage der Schlussrechnung zur Verfügung stehen, im Beispielfall also eine Frist bis zum 02.09.2016.

Die Parteien können selbstverständlich andere Fristen vereinbaren. Solange der Auftraggeber keine Abrechnung fordert, sind mit der Versäumung der Frist grundsätzlich keine Nachteile verbunden. Allerdings ist der Unternehmer nach § 14 UStG zur Rechnungslegung binnen sechs Monaten nach der Ausführung verpflichtet, wobei dies eine umsatzsteuerliche Verpflichtung darstellt und keine unmittelbaren Auswirkungen auf die werkvertraglichen Pflichten hat. Dem Auftraggeber kann ein Zurückbehaltungsrecht am Werklohn zustehen, wenn der Unternehmer nicht korrekt nach den Regeln des UStG abrechnet.[99]

Reicht der Auftragnehmer eine prüfbare Rechnung nicht ein, obwohl ihm der Auftraggeber dafür eine angemessene Frist gesetzt hat, so kann sie der Auftraggeber nach § 14 Abs. 4 VOB/B selbst und auf Kosten des Auftragnehmers aufstellen. Schon im eigenen Interesse sollte der Auftragnehmer daher zeitnah seine Abrechnung erstellen, auch um unter Berücksichtigung der laufenden Fristen möglichst schnell die offene Vergütung zu erlangen.

Zur Fälligkeit der Schlusszahlung bestimmt § 16 Abs. 3 Nr. 1 VOB/B, dass der Anspruch auf die Schlusszahlung „alsbald nach Prüfung und Feststellung fällig“ wird, spätestens innerhalb von 30 Tagen nach Zugang der Schlussrechnung. Die Frist kann sich auf höchstens 60 Tage verlängern, wenn dies sachlich gerechtfertigt ist und ausdrücklich vertraglich vereinbart wurde.

Die Frist soll zum einen bewirken, dass der Auftraggeber innerhalb dieser Frist die Prüfung durchführt und insbesondere Einwendungen gegen die Prüffähigkeit der Schlussrechnungen erhebt. Nach der alten Rechtslage konnte sich der Auftraggeber nach Ablauf von zwei Monaten nicht mehr auf eine fehlende Prüffähigkeit der Schlussrechnung berufen[100] – es ist zu erwarten, dass diese Rechtsprechung auf die aktuelle Regelung übertragen wird.

[99] *Vygen/Wirth/Schmidt*, Seite 243.
[100] *BGH,* BauR 2006, 678.

Nach der aktuellen Regelung gilt eine Frist von 30 Tagen nach Zugang der Schlussrechnung als Regelfrist für die Prüfung. Da diese Frist bei umfangreichen Baumaßnahmen, bei denen auch auf Auftraggeberseite diverse Sonderfachleute in die Schlussrechnungsprüfung einbezogen sind, oftmals nicht ausreichen wird, sieht die VOB/B eine Verlängerung auf höchstens 60 Tage vor, wenn sie ausdrücklich vereinbart wurde und sachlich gerechtfertigt ist. Es ist daher zu erwarten, dass in den Verträgen, die nach Inkrafttreten der VOB/B 2012 geschlossen werden, eine entsprechende Klausel aufgenommen wird, wonach sich die Prüffrist generell auf 60 Tage verlängern wird.

Abgesehen davon fordert die VOB/B vom Auftraggeber, die Prüfung der Schlussrechnung nach Möglichkeit zu beschleunigen; bei Verzögerungen ist in jedem Falle ein unbestrittenes Guthaben als Abschlagszahlung sofort zu zahlen (§ 16 Abs. 3 Nr. 1 Sätze 4 und 5 VOB/B).

Schon die dem BGB fremde Fälligkeitsfrist in § 16 Abs. 3 VOB/B alte Fassung wurde bei einer isolierten Inhaltskontrolle am Maßstab der Regelungen über die allgemeinen Geschäftsbedingungen für unwirksam gehalten.[101] Dies wird voraussichtlich für die nochmals verschärfte Frist ebenso gelten. Nur wenn im Vertragswerk nicht von der VOB/B abgewichen wird, hat die Regelung somit ihre eigentliche Bedeutung.

Eine weitere Besonderheit beim VOB/B-Vertrag, die ebenfalls vor dem Hintergrund der Rechtsprechung über die Allgemeinen Geschäftsbedingungen an Bedeutung verloren hat, stellt das Verfahren nach § 16 Abs. 3 Nr. 2–5 VOB/B dar (sog. Schlusszahlungseinrede). Danach schließt die vorbehaltlose Annahme der Schlusszahlung Nachforderungen aus. Hat der Auftraggeber auf die Schlusszahlungswirkung hingewiesen, muss der Auftragnehmer innerhalb von 28 Tagen nach Zugang der Mitteilung über die Schlusszahlung seinen Vorbehalt erklären und ihn innerhalb von weiteren 28 Tagen begründen.

Diese Regelung kommt also nur zur Anwendung, wenn der Auftraggeber schriftlich auf die Ausschlusswirkung im Zuge der Übermittlung des Schlussrechnungsprüfungsergebnisses hinweist. In diesem Falle ist dem Auftragnehmer zu raten, jedenfalls vorsorglich, den Vorbehalt innerhalb von 28 Tagen nach Zugang dieser Mitteilung zu erklären. Hat der Unternehmer prüfbar abgerechnet, muss der Vorbehalt nicht gesondert begründet werden, da sich die Begründung aus der prüfbaren Abrechnung ergibt. Sollten allerdings Missverständnisse bei der Schlussrechnungsprüfung erkennbar geworden sein, kann es ratsam sein, innerhalb der weiteren Frist von 28 Tagen jedenfalls diese strittigen Punkte schriftlich aufzuklären, um Streit über die Schlussrechnung zu vermeiden.

Wenn, wie üblich, die VOB/B nicht als Ganzes vereinbart wurde bzw. Abweichungen hiervon vorliegen, sind die Regelungen über die Schlusszahlungserklärung des Auftraggebers und den Vorbehalt wiederum vor dem Hintergrund der Regelung über die allgemeinen Geschäftsbedingungen unwirksam.[102]

[101] *OLG Celle*, BauR 2010, 1764.
[102] *BGH,* BauR 2007, 1404.

4.6.4 Folgen verspäteter Zahlungen

Für sämtliche Abrechnungen gilt nach § 16 Abs. 5 Nr. 3 VOB/B, dass der Auftragnehmer dem Auftraggeber, der bei Fälligkeit nicht zahlt, eine angemessene Nachfrist setzten kann. Zahlt der Auftraggeber auch innerhalb dieser Nachfrist nicht, hat der Auftragnehmer vom Ende der Nachfrist an Anspruch auf Zinsen in Höhe von acht Prozentpunkten über dem Basiszinssatz nach § 247 BGB, wenn er keinen höheren Verzugsschaden nachweisen kann. In der neuen Fassung der VOB/B 2012 ist überdies klargestellt, dass der Auftraggeber, ohne dass es einer Nachfristsetzung bedarf, spätestens 30 Tage nach Zugang der Rechnung in Zahlungsverzug kommt, wenn der Auftragnehmer seine vertraglichen und gesetzlichen Verpflichtungen erfüllt und den fälligen Entgeltbetrag nicht rechtzeitig erhalten hat, es sei denn, der Auftraggeber ist für den Zahlungsverzug nicht verantwortlich. Entsprechend der Regelung des § 16 Abs. 3 VOB/B kann sich diese Frist bis auf 60 Tage verlängern, wenn dies ausdrücklich vereinbart wurde.

Dies bedeutet, dass der Auftragnehmer im Rahmen eines VOB/B-Vertrags, der unter Geltung der VOB/B 2012 abgeschlossen wurde, Verzugszinsen schon im Regelfall 30 Tage nach Zugang der Rechnung erhalten kann, ohne dass er noch eine Nachfrist setzen müsste. Wurde ausnahmsweise eine Verlängerung der Frist auf 60 Tage vereinbart, tritt damit der Zahlungsverzug automatisch nach 60 Tagen ein.

Ist die Fälligkeit früher oder zu einem anderen Zeitpunkt eingetreten, muss der Auftragnehmer dem Auftraggeber eine angemessene Nachfrist (im Regelfall sieben bis zehn Tage) setzen, um die Verzugsfolgen auszulösen. Zu Dokumentationszwecken, insbesondere, wenn eine Forderung später auch gerichtlich geltend gemacht werden muss, empfiehlt es sich, die vorgenannten Fristen intern zu kontrollieren und den Auftraggeber darüber in Kenntnis zu setzen, wenn die Fristen abgelaufen sind und er sich im Verzug befindet. Dies erleichtert im Falle einer Auseinandersetzung die Darlegungen der Verzugsvoraussetzungen, für die der Auftragnehmer die Darlegungs- und Beweislast trägt.

Als weitere Rechtsfolge darf der Auftragnehmer nach § 16 Abs. 5 Nr. 4 VOB/B die Arbeiten bei Zahlungsverzug bis zur Zahlung einstellen, wenn eine dem Auftraggeber zuvor gesetzte angemessene Frist erfolglos verstrichen ist. Dieses Leistungsverweigerungsrecht sollte, insbesondere bei Abschlagsrechnungen, restriktiv ausgeübt werden, da dieses Recht daran geknüpft ist, dass dem Auftragnehmer unstreitig ein Anspruch zusteht. Oftmals sind gerade bei Abschlagsrechnungen aber Nachtragsleistungen zwischen den Parteien strittig. Sofern es sich dabei nicht um eine objektiv berechtigte Vergütungsforderung handelt, läuft der Auftragnehmer bei einer Leistungseinstellung Gefahr, dass der Auftraggeber ihm den Auftrag wegen unberechtigter Leistungseinstellung nach § 8 Abs. 3 VOB/B mit sofortiger Wirkung entzieht, die Leistungen durch ein anderes Unternehmen zu Ende führen lässt und die Schäden, die dadurch entstanden sind, beim Auftragnehmer geltend macht. Es ist daher stets eine sorgfältig abgewogene Entscheidung im Einzelfall erforderlich, ob der Auftragnehmer sein Leistungsverweigerungsrecht geltend macht.

Zur Absicherung seiner Vergütung kann hier auch in Betracht kommen, etwa eine Sicherheit gemäß § 648 a BGB („Bauhandwerkersicherung“) zu verlangen.[103]

In jedem Falle sollte der Auftragnehmer, der wegen Zahlungsverzugs ein Leistungsverweigerungsrecht geltend machen will, dem Auftraggeber, etwa im Zuge der Nachfristsetzung, ausdrücklich ankündigen, dass er sich vorbehält, von seinem Verweigerungsrecht Gebrauch zu machen – dies entspricht letztlich auch dem Kooperationsgedanken der am Bau Beteiligten, der als übergeordneter Grundsatz von beiden Vertragsparteien zu beachten ist.[104]

Allgemein berechtigen Streitigkeiten nicht zur Leistungseinstellung (§ 18 Abs. 5 VOB/B).

4.6.5 Verjährung von Vergütungsansprüchen

Der Werklohnanspruch des Unternehmers verjährt innerhalb der sogenannten Regelverjährungsfrist des § 195 BGB in drei Jahren. Es handelt sich um eine sogenannte Ultimo-Verjährung, also eine Verjährung, die an das Jahresende geknüpft ist. § 199 Abs. 1 BGB bestimmt, dass die regelmäßige Verjährungsfrist mit dem Schluss des Jahres beginnt, in dem der Anspruch entstanden ist und der Gläubiger wegen Anspruch begründender Umstände und der Person des Schuldners Kenntnis erlangt hat.

Beispiel: Der Auftragnehmer hat seine Leistungen zum 16.06.2016 schlussgerechnet. Am 16.07.2016 hat der Auftraggeber das Schlussrechnungsprüfungsergebnis übermittelt. Seine Forderung verjährt innerhalb von drei Jahren nach § 195 BGB. Die drei Jahre sind eigentlich am 16.07.2019 abgelaufen. Nach § 199 Abs. 1 BGB beginnt die Verjährung allerdings mit dem Schluss des Kalenderjahrs, in dem der Anspruch entstanden ist, also zum 31.12.2016. Der Anspruch verjährt damit zum 31.12.2019.

Droht die Verjährung, kann sie nach § 204 BGB durch Maßnahmen der Rechtsverfolgung gehemmt werden, also durch Erhebung einer Klage oder den Erlass eines Mahnbescheids. Auch ein selbstständiges Beweisverfahren oder eine Streitverkündung in einem Prozess können verjährungsunterbrechend wirken.[105]

Eine Hemmung der Verjährung tritt auch durch Verhandlungen der Parteien über den streitigen Anspruch nach § 203 BGB ein. Schweben danach zwischen den Parteien Verhandlungen über den Anspruch, so ist die Verjährung gehemmt, bis der eine oder der andere Teil die Fortsetzung der Verhandlungen verweigert. Die Verjährung tritt frühestens drei Monate nach dem Ende der Hemmung ein. Verhandeln die Parteien also über den Werklohnanspruch, führen sie konkret Gespräche über die Schlussrechnung und disku-

[103] S. hierzu auch Abschn. 4.8 (Sicherheiten).
[104] *BGH*, NJW 2000, 807.
[105] Für Einzelheiten siehe Abschn. 4.14 über prozessuale Fragen.

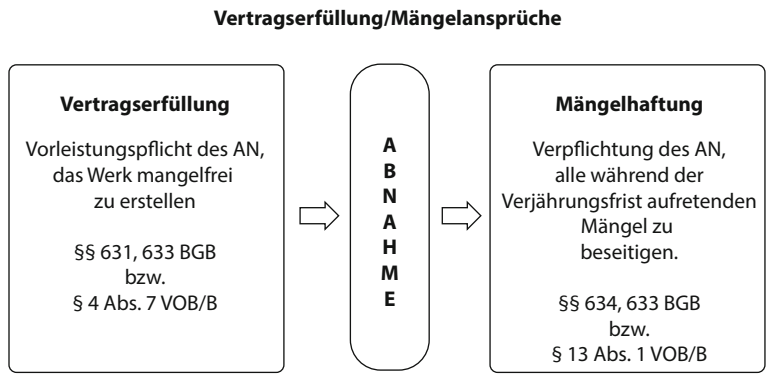
tieren, wie eine Einigung herbeigeführt werden kann, ist für die Dauer dieser Gespräche zuzüglich eines Zeitraums von drei Monaten nach endgültiger Beendigung der Gespräche die Verjährung gehemmt. Sie läuft danach aber „taggenau“ weiter und orientiert sich nicht mehr an dem Kalenderjahr, wenn die eigentliche Verjährung nach der Regelverjährungsfrist, wie vorstehend dargelegt, schon abgelaufen wäre.

4.7 Mängelansprüche

4.7.1 Entscheidende Schaltstelle: Abnahme

Wie bereits in Abschn. 4.5 dargestellt, handelt es sich bei der Abnahme um eine der wichtigsten Weichenstellungen bei der Abwicklung eines Bauwerkvertrags. Bis zur Abnahme ist der Auftragnehmer verpflichtet, das Werk mangelfrei zu erstellen; er haftet für die Vertragserfüllung und ist im Streitfall darlegungs- und beweisverpflichtet dafür, dass seine Arbeiten mangelfrei ausgeführt wurden (§§ 631, 633 BGB; § 4 Abs. 7 VOB/B).

Mit der vom Auftraggeber erklärten Abnahme tritt der Gefahrenübergang ein – hat bis zur Abnahme der Auftragnehmer die Verantwortung für die Mangelfreiheit des Werkes getragen, geht diese Verantwortung jetzt auf den Auftraggeber über. Dies führt dazu, dass nach dem Gefahrenübergang der Auftraggeber für bestehende Mängel darlegungs- und beweisverpflichtet ist. Bei bestehender Mangelhaftigkeit (früher: Gewährleistungsansprüche) ist der Auftragnehmer verpflichtet, alle während der Verjährungsfrist auftretenden Mängel zu beseitigen (§§ 634, 633 BGB; § 13 Abs. 1 VOB/B):



Gleichzeitig beginnt mit der Abnahme die Verjährungsfrist für Mängelansprüche zu laufen, die im Regelfall bei Bauwerken fünf Jahre beträgt (§ 438 Abs. 1 Nr. 2a BGB – Kaufrecht, § 634a Abs. 1 Nr. 2 und Abs. 2 BGB – Werkvertragsrecht). Nach § 13 Abs. 4 Nr. 1 VOB/B beträgt die Verjährungsfrist für Mängelansprüche vier Jahre bei Bauwerken. Häufig wird die Verjährungsfrist für die Mangelhaftung vertraglich auf fünf Jahre (wie im

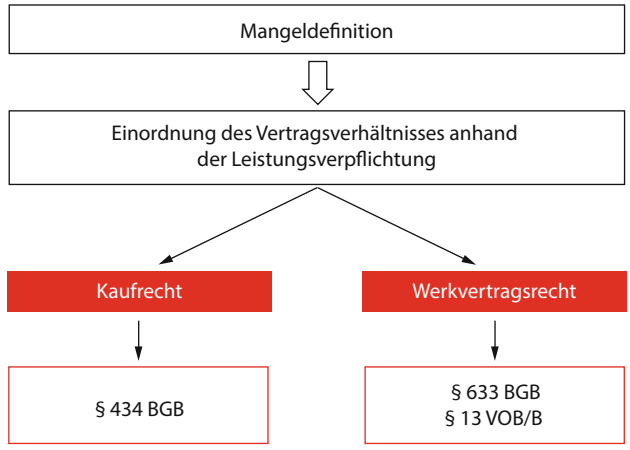
BGB) und für manche Gewerke (z. B. Dach, Naturstein) auch auf eine noch längere Frist (bis zu zehn Jahre) verlängert.

Ist für Teile von maschinellen und elektrotechnischen/elektronischen Anlagen, bei denen die Wartung Einfluss auf die Sicherheit und Funktionsfähigkeit hat, nichts anderes vereinbart, beträgt für diese Anlagenteile die Verjährungsfrist für Mängelansprüche zwei Jahre, wenn der Auftraggeber dem Auftragnehmer keinen Wartungsvertrag übertragen hat (§ 13 Abs. 4 Nr. 2 VOB/B).

4.7.2 Mangeldefinition

Bei Bauverträgen kommt es oftmals dazu, dass der ausführende Unternehmer seinerseits Produkte zukauft, um seine Leistungsverpflichtung zu erfüllen. Bei Sanierungsarbeiten sind beispielsweise neue Fensterelemente einzubauen, für die etwa die Scheiben oder Elemente zugekauft werden. Ebenso können Anstrichmittel etc. zum Einsatz kommen, die ebenfalls zuzukaufen sind. Insoweit ist Kaufrecht einschlägig mit der Folge, dass die Regelungen der §§ 433 ff. BGB anzuwenden sind.

Werden Mangelansprüche (Gewährleistungsansprüche) aus Werkvertragsrecht geltend gemacht, sind §§ 633 ff. BGB bzw. § 13 VOB/B einschlägig:



Kaufrecht ist dabei auf sämtliche Verträge mit einer Verpflichtung zur Lieferung herstellender oder zu erzeugender beweglicher Sachen anzuwenden, also auch auf Verträge zwischen Unternehmen. Verträge, die allein die Lieferung von herzustellenden beweglichen Bau- oder Anlagenteilen zum Gegenstand haben, sind nach Maßgabe des § 651 BGB (Werklieferungsvertrag) nach Kaufrecht zu beurteilen. Die Zweckbestimmung der Teile, in Bauwerke eingebaut zu werden, rechtfertigt keine andere Beurteilung.[106]

[106] *BGH*, IBR 2009, 575.

Nach der Schuldrechtsreform von 2002 wurden die Mängelhaftungsansprüche im Kaufrecht und Werkvertragsrecht weitgehend angeglichen, sodass der Unterscheidung keine große praktische Bedeutung mehr beikommt; als Faustformel ist festzuhalten, dass ein Unternehmer für einen Mangel in der Kaufsache oder an seinem Werk im Regelfall nach BGH fünf Jahre gegenüber dem Auftraggeber haftet.

Ungeachtet dogmatischer Diskussionen zur Mangeldefinition[107] lässt sich ein Mangel zusammengefasst so definieren:

Ein Mangel liegt vor, wenn die Ist-Beschaffenheit von der Soll-Beschaffenheit negativ abweicht. Der Auftragnehmer hat dem Auftraggeber seine Leistung zum Zeitpunkt der Abnahme also frei von Sachmängeln zu verschaffen, wobei die Leistung frei von Sachmängeln ist, wenn sie die vereinbarte Beschaffenheit hat und den anerkannten Regeln der Technik entspricht. Ist eine Beschaffenheit nicht vereinbart, so ist die Leistung zu der Zeit der Abnahme frei von Sachmängeln, wenn sie sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte bzw. für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Auftraggeber nach Art der Leistung erwarten kann (Definition des § 13 Abs. 1 VOB/B).

Die Anwendung der Definition in der täglichen Praxis bereitet dabei durchaus Schwierigkeiten, da zwischen den Parteien häufig streitig ist, was denn die Soll-Beschaffenheit, also die vertraglich definierte und durch die Regeln der Technik determinierte Beschaffenheit, gewesen sein soll. Hierzu ist zunächst die vertragliche Vereinbarung heranzuziehen. Der Auftraggeber hat oftmals in seinen Verträgen, vor allem im Leistungsverzeichnis, bestimmte Wünsche artikuliert, die in jedem Falle vom Auftragnehmer zu erfüllen sind, soweit sie nicht sittenwidrig sind oder gegen ein Gesetz verstoßen (§§ 134, 138 und 242 BGB). Außerdem sind in Streitfragen die einschlägigen DIN heranzuziehen. Streit bereitet stets die in § 13 Abs. 1 VOB/B ausdrücklich genannte Berufung auf die „anerkannten Regeln der Baukunst/Technik“[108], da vor allem bei Sachverständigen umstritten ist, was hierunter zählt. Auch hier kann man als grobe Faustformel zugrunde legen, dass hierzu jedenfalls solche Normen und technischen Regelwerke zählen, die sich im Anwendungsbereich des entsprechenden Gewerkes als üblich und verbindlich herauskristallisiert haben.

Ein Mangel im Sinne des Werkvertragsrechts liegt nicht nur dann vor, wenn die Werkleistung nicht den Regeln der Technik entspricht, sondern schon dann, wenn das Werk von der Beschaffenheit abweicht, die es für den vertraglich vorausgesetzten Gebrauch haben muss (die beschriebene Abweichung der Ist- von der Soll-Beschaffenheit).[109]

Auch unerhebliche Abweichungen vom vorausgesetzten Gebrauch, durch die die Gebrauchstauglichkeit objektiv nicht beeinträchtigt wird, können nach dem subjektiven Fehlerbegriff einen Mangel darstellen.[110]

---

[107] Überblick bei *Werner/Pastor*, Rn 1960 ff, *Kapellmann/Messerschmidt-Weyer*, § 13 VOB/B, Rdnr. 15 ff.; *Leinemann-Schliemann*, § 13 VOB/B Rn 4 ff.; *Wirth/Kuffer-Gay*, Rn 200 ff.

[108] Zum Streitstand mit zahlreichen Beispielen *Werner/Pastor*, Rn 1966 ff.

[109] *BGH*, BauR 2004, 1941 (Kurzform: IBR 2004, 611).

[110] *BGH*, a. a. O.

Im kaufrechtlichen Bereich liegt somit ein Sachmangel vor,

- wenn die Sache bei Gefahrübergang nicht die vereinbarte Beschaffenheit aufweist, § 434 Abs. 1 BGB,
- wenn die Sache unter Berücksichtigung von Werbeaussagen diesen Aussagen nicht entspricht,
  § 434 Abs. 1 BGB (sogenannte Prospekthaftung),
- wenn die vereinbarte Montage unsachgemäß durchgeführt wird, § 434 Abs. 2 BGB,
- wenn die Montageanleitung mangelhaft ist, es sei denn die Sache wird fehlerfrei montiert,
  § 434 Abs. 2 BGB,
- wenn der Verkäufer eine andere oder eine zu geringe Menge liefert, § 434 Abs. 3 BGB.

Im Kaufrecht stehen dem Käufer einer mangelhaften Sache dabei gemäß § 437 BGB folgende Rechte zu:

- **Nacherfüllung**
  (Beseitigung des Mangels oder Lieferung einer mangelfreien Sache);
  § 437 Nr. 1 BGB
- **Rücktritt vom Vertrag**; § 437 Nr. 2 BGB
- **Minderung des Kaufpreises**; § 437 Nr. 2 BGB
- **Schadensersatz** nach allgem. Regeln; § 437 Nr. 3 BGB
- **Aufwendungsersatz**; § 437 Nr. 3 BGB

Wiederum ist an die Vorschrift des § 377 HGB zu erinnern (sofortige Untersuchungs- und Rügepflicht beim Handelskauf).[111] Ein Käufer muss gemäß § 377 HGB z. B. den angelieferten Stahl auch dann auf den vereinbarten Kohlenstoffgehalt untersuchen und ggf. Mängel rügen, wenn ihm bei Anlieferung durch den Verkäufer ein Werkszeugnis über die chemische Stahlgüte vorgelegt wird.[112] Andernfalls gilt eine auch mit einem Sachmangel behaftete Ware als genehmigt, sodass der Käufer sich auf eine Mangelhaftigkeit nicht berufen kann.

Im Kaufrecht definiert § 633 BGB, dass der Unternehmer dem Besteller das Werk frei von Sachmängeln zu verschaffen hat (§ 633 Abs. 1 BGB). Das Werk ist nach der gesetzlichen Vorstellung grundsätzlich frei von Sachmängeln, wenn es die vereinbarte, also vertraglich geregelte, Beschaffenheit hat (§ 633 Abs. 2 BGB).[113] Es zeigt sich also, dass

[111] Siehe Abschn. 4.2.1.
[112] *OLG Hamm,* BauR 2010, 1812 (Kurzform: IBR 2010, 568).
[113] Daneben existiert noch der Begriff des Rechtsmangels, der gegeben ist, wenn von am Vertrag nicht beteiligten Dritten Eigentum, Besitz oder der unbeschränkte Gebrauch des Kaufgegenstands beeinträchtigt werden kann, Überblick bei: *Palandt-Weidenkaff*, § 435, Rn 5 ff.

die vertragsgemäße Beschaffenheit ähnlich wie im Kaufrecht definiert ist mit dem Unterschied, dass keine gesetzliche Berücksichtigung von Werbeangaben erfolgt. Derartige Punkte müssten, falls die Vertragsschließenden dies wünschen, einzelvertraglich gesondert geregelt werden.

Bei der Abwicklung von Bauwerkverträgen hat sich die vom Bundesgerichtshof entwickelte „Symptomtheorie" durchgesetzt:

Der Bauherr muss einen Baumangel so genau bezeichnen, dass Unternehmer oder Architekt wissen, was ihnen vorgeworfen und was von ihnen als Abhilfe erwartet wird. Ausreichend ist aber, dass der Bauherr vorträgt, dass ein konkreter Baumangel vorhanden ist, für den der Unternehmer oder der Architekt einzustehen hat. Der Besteller genügt seiner Darlegungspflicht, wenn er einen Mangel, aus dem er Rechte herleitet, in seinem äußeren Erscheinungsbild behauptet und belegt. Erforderlich ist somit nur eine hinreichend genaue Bezeichnung von Mangelerscheinungen, die einer fehlerhaften Leistung eines Baubeteiligten zugeordnet werden. Gründe für die Mangelentstehung, also Mängelursachen, müssen im Einzelnen nicht angegeben werden.[114]

Nach der Symptomtheorie liegt somit kein hinreichend bestimmtes Mangelbeseitigungsverlangen vor, wenn beispielsweise bei Malerarbeiten nur pauschal die mangelhafte Ausführung gerügt wird. Erforderlich ist, dass die Erscheinungen, bei denen es sich nach Auffassung des Auftraggebers um vertragswidrige Abweichungen handelt, hinreichend genau beschrieben werden. Bei Beauftragung von Malerarbeiten für mehrere Fenster ist auch anzugeben, welche Fenster betroffen sind. Angaben zur Mangelursache sind dagegen nicht erforderlich.[115]

Auch nur unerhebliche Abweichungen vom vertraglich vorausgesetzten Gebrauch können einen Mangel darstellen, selbst wenn dadurch die Gebrauchstauglichkeit objektiv nicht beeinträchtigt wird.[116]

Es kommt also immer darauf an, was die Parteien vereinbart haben. Ohne genaue konkrete vertragliche Vereinbarung sind optische Mängel, die die Funktionstauglichkeit nicht beeinträchtigen, nicht ohne Weiteres als wesentlich zu qualifizieren und können ggf., was im Einzelfall zu entscheiden ist, durch eine Minderung des Werklohns abgegolten werden. Hat der Auftraggeber im Vertrag allerdings ein bestimmtes Erscheinungsbild vorgeschrieben, was gerade bei Sanierungsarbeiten, bei denen oft auch ein bestimmter optischer Erfolg erwartet wird, durchaus häufig vorkommt, können auch an und für sich unerhebliche Abweichungen aufgrund der konkreten vertraglichen Vorgaben dennoch dazu führen, dass dem Auftraggeber die Mängelhaftungsansprüche auch hinsichtlich Nacherfüllung zustehen, auch wenn mit einem vergleichsweise hohen Aufwand die Mangelbeseitigung durchgeführt werden muss.

---

[114] Ständige Rechtsprechung des *BGH*, etwa BauR 2005, 1626; BauR 2003, 1247, zitiert nach und Überblick bei *Werner/Pastor*, Rn 1980.
[115] *OLG Brandenburg*, IBR 2010, 331.
[116] *OLG Celle*, IBR 2008, 643.

Normale Abnutzung oder Verschleiß sind demgegenüber nur ausnahmsweise als Baumangel zu qualifizieren. Wenn etwa eingebaute Teile innerhalb der Gewährleistungsfrist infolge von Verschleiß oder Abnutzung nicht mehr voll funktionsfähig sind und deshalb den erstrebten Werkerfolg infrage stellen, kann allerdings ein Werkmangel vorliegen.[117]

Nachfolgend sind einige *Beispielsfälle* aus der Rechtsprechung aufgelistet, in denen eine Mangelhaftigkeit angenommen wurde.[118]

- übelriechende Ausgasungen durch Teppichbodenkleber
- fehlerhafte Ausschachtung
- fehlerhafte Außendämmung
- Nichteinbau einer Bewegungsfuge in die Betonsohle beim Übergang von Altbau zu Neubau
- Verlegung eines dampfdichten Bodenbelages auf einer ohne ausreichende Dampfsperre ausgeführten, nicht unterkellerten Betonsohle
- Verwendung einer Dachbahn ohne Gebrauchstauglichkeitsnachweis gemäß DIN 18531
- fehlende Dehnungsfugen
- Spontanbruch von ESG-Scheiben
- mangelnde Verlegereife des Estrichs (Estrichleger, Parkettleger, Architekt)
- „Fogging-“Effekt
- Kantenaufwölbungen eines Fertigparkettbodens
- fehlende „weiße“ Wanne bei erforderlichem Schutz gegen drückendes Wasser

Problematisch ist es, wenn sich ein Mangelsymptom zeigt, das bislang in keinen technischen Regelwerken erfasst ist. In einem solchen Fall – zu entscheiden war, ob Streifen in Isolierglasscheiben einen Mangel darstellen – hat das Gericht es dem hinzugezogenen Sachverständigen freigestellt, die Mangelhaftigkeit anhand der anerkannten Regeln der Technik aus dem Inbegriff seiner beruflichen Erfahrung und den speziellen Kenntnissen herzuleiten. Eine Richtlinie zu Unreinheiten, die bei diffusen Lichtverhältnissen nicht zu sehen seien, sei unbeachtlich, da sie keine DIN-Norm darstelle.[119] Dieser Entscheidung kann nicht ungeteilt zugestimmt werden: Wenn beispielsweise bei der Beurteilung von Glasmängeln Richtlinien durch Merkblätter, etwa des Verbands der Fenster- und Fassadenhersteller, herausgegeben werden, die durch Sachverständige des fraglichen Fachgebiets erstellt wurden, wie etwa die Richtlinien zur visuellen Beurteilung von Glasschäden, sind diese selbstverständlich als technisches Regelwerk bei der Beurteilung von Mängeln zugrunde zu legen, zumal, wenn sich, wie im Beispielsfall, eine Übung im Rahmen der Beurteilung von solchen Fragen herausgebildet hat, auf eine solche Richtlinie zurückzugreifen. Die Entscheidung des *LG Nürnberg-Fürth* greift daher zu kurz.

[117] *Werner/Pastor*, Rn 2031.
[118] Übersicht in Orientierung an dem Überblick bei *Werner/Pastor*, Rn 2032 und 2054 zu Prüfungspflichten des Unternehmers; *Ingenstau/Korbion-Wirth*, § 13 Abs. 1 VOB/B, Rn 67 ff.
[119] *LG Nürnberg-Fürth*, IBR 2007, 480.

In einem vom *OLG Brandenburg* zu entscheidenden Fall war eine Fußbodenheizung mangelhaft, obwohl zwar die erforderliche Raumtemperatur erreicht wurde, die Anforderungen der EnEV jedoch nicht eingehalten werden. Dies gilt auch, wenn das eingebaute Heizsystem der vertraglichen Vereinbarung im Übrigen entspricht.[120] Gesetzliche Regelungen oder Regelungen, die als gesetzesgleich angesehen werden (wie z. B. die EnEV), können daher vertragliche Vorgaben durchaus überlagern. Insbesondere wenn es darum geht, bauordnungsrechtliche Überlegungen umzusetzen, wie etwa auch im Bauproduktenrecht, werden vertragliche Vereinbarungen, die hinter diesen gesetzlichen Vorgaben zurückbleiben, durch die gesetzlichen Regelungen überlagert. Es stellt daher einen Sachmangel dar, wenn diese gesetzlichen oder quasi-gesetzlichen Verpflichtungen verletzt werden.[121]

Eingangs in diesem Kapitel wurde bereits dargelegt, dass für die Mangeldefinition auf die anerkannten Regeln der Technik zurückgegriffen wird, die u. a. durch einschlägige DIN-Normen präzisiert werden. Die Nichteinhaltung der einschlägigen DIN-Normen zieht die widerlegbare Vermutung eines Verstoßes gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik und damit eines Mangels nach sich, wobei der Auftragnehmer den Nachweis führen darf, dass gleichwohl ein Mangel der Werkleistung nicht gegeben ist.[122]

Das *OLG Dresden* hält einen Verstoß gegen die anerkannten Regeln der Technik selbst dann für einen Mangel, wenn er keine Auswirkungen auf das Werk hat; DIN-gerechtes Arbeiten schützt allerdings nicht vor dem Vorwurf eines Verstoßes gegen die anerkannten Regeln der Technik.[123]

Von dem beauftragten Werkunternehmer wird im Übrigen erwartet, dass er die anerkannten Regeln seines Fachs als Mindeststandard einhält, ohne dass dies besonders vereinbart werden müsste. Vielmehr gilt ein solcher Mindeststandard als stillschweigend vereinbart.[124]

4.7.3 Rechte des Bestellers bei Mängeln

Die Rechte des Bestellers bei Mängeln nach § 634 BGB stellen sich dabei wie folgt dar:

- **Nacherfüllung**
  (Beseitigung des Mangels oder Herstellung eines neuen Werkes durch Unternehmer); § 634 Nr. 1 BGB
- **Selbstvornahme**
  (Mangelbeseitigung durch Besteller); § 634 Nr. 2 BGB

[120] *OLG Brandenburg*, IBR 2008, 724.
[121] S a. Abschn. 4.9 – Bauproduktenrecht.
[122] *OLG Brandenburg*, IBR 2009, 576.
[123] *OLG Dresden*, IBR 2010, 265.
[124] *OLG Schleswig*, Urteil vom 31.07.2009, 3 U 80/08; Nichtzulassungsbeschwerde zurückgewiesen, *BGH*, IBR 2010, 321.

- **Rücktritt vom Vertrag**; § 634 Nr. 3 BGB
- **Minderung der Vergütung**; § 634 Nr. 3 BGB
- **Schadenersatz** nach allg. Regeln; § 634 Nr. 4 BGB
- **Aufwendungsersatz**; § 634 Nr. 4 BGB

Bei einem VOB/B-Vertrag ergeben sich die wesentlichen Rechte des Auftraggebers aus § 13 VOB/B wie folgt:

- **Nachbesserung** (Mangelbeseitigung); § 13 Abs. 5 VOB/B
- **Minderung der Vergütung**; § 13 Abs. 6 VOB/B
- **Schadenersatz**; § 13 Abs. 7 VOB/B

4.7.4 Unverhältnismäßigkeit der Mangelbeseitigung

Gegebenenfalls kann der Auftragnehmer, der mit Mängelansprüchen konfrontiert wird, dem Auftraggeber den Einwand der Unverhältnismäßigkeit entgegenhalten. Dies bedeutet, dass er zwar eigentlich zu einer Mangelbeseitigung verpflichtet ist, weil ein Mangel vorliegt und nachgewiesen ist. Die Mangelbeseitigung würde allerdings im Verhältnis zur Neuerstellung einen derartig hohen Aufwand verursachen, dass sich ein Festhalten an dem Mangelbeseitigungsverlangen als unverhältnismäßig erweisen würde. Ist beispielsweise ein Verblendmauerwerk entgegen der Leistungsbeschreibung aus einem in Nuancen dunkleren Stein hergestellt, der weder technisch noch optisch minderwertig ist, kann der Auftragnehmer dem Begehren des Bauherrn auf Neuherstellung des gesamten Verblendmauerwerks den Einwand der Unverhältnismäßigkeit entgegenhalten.[125]

Rechtsfolge ist dann, dass für den vorliegenden Mangel eine Minderung zu vereinbaren ist – der Auftragnehmer hat also entweder eine Kürzung seiner Vergütung hinzunehmen oder sogar dem Auftraggeber, wenn die Rechnung bereits bezahlt wurde, einen entsprechenden Betrag als Minderung zu erstatten.

Zu berücksichtigen ist auch, dass der Auftragnehmer, der ein mangelhaftes Werk hergestellt hat, sich nur ausnahmsweise auf die Unverhältnismäßigkeit der Mangelbeseitigung berufen kann. Die Beseitigung eines Baumangels ist dann unverhältnismäßig, wenn der damit zwecks Beseitigung erzielte Erfolg bei Abwägung aller Umstände des Einzelfalls in keinem vernünftigen Verhältnis zur Höhe des dafür mit Sicherheit zu erwartenden Geldaufwands stehen würde, wobei auf das Verhältnis zwischen Nutzen für den Auftraggeber und Geldaufwand für den Auftragnehmer abzustellen ist.[126] Damit sind auch äußerst kostenintensive Nacherfüllungen zulässig; entscheidend ist allein, welchen Nutzen der Auftraggeber aus der Nacherfüllung zieht sowie sein objektiv berechtigtes Interesse

[125] *OLG Celle,* IBR 2008, 646.
[126] *BGH* BauR 1997, 112 und BauR 2002, 613; Überblick bei *Ingenstau/Korbion-Wirth,* § 13 Abs. 6 VOB/B, Rn 30 ff.

an der mangelfreien Vertragsleistung. Von geringerer Bedeutung ist das Preis-Leistungs-Verhältnis und das Verhältnis des Nachbesserungsaufwands zu den Vertragspreisen.[127]

Beispiel: Der Eigentümer eines Holzhauses, dessen Statik vom Auftragnehmer bzw. dessen Architekten falsch berechnet wurde und dessen Haus sich in Teilbereichen um mehr als 14 cm gesetzt hat (andauernde Verformungen des Blockbohlenhauses als funktionaler Mangel), darf den kompletten Abriss des Gebäudes und den Neuaufbau aufgrund des gravierenden Baumangels verlangen.[128]

4.7.5 Keine sogenannten „verstecken Mängel"

Im täglichen Sprachgebrauch wird häufig auch von einem „versteckten Mangel" gesprochen. Ein solcher Mangel oder eine solche Mangelkategorie ist aber sowohl dem BGB als auch der VOB/B fremd.

Beispielsfall: Der Auftragnehmer baut in einem Bürogebäude Fenster ein und vereinbart eine Verjährungsfrist für Mängel von vier Jahren gemäß VOB/B. Die Abnahme der Leistungen erfolgte am 31.08.2012. Das Gebäude wird wegen Vermietungsschwierigkeiten erst am 01.09.2016 an einen Nutzer vermietet. Am 24.09.2016 zeigt der Auftraggeber Mängel an den Beschlägen an, die erst jetzt bei erstmaliger Nutzung erkennbar wurden. Er fordert unter Fristsetzung den Auftragnehmer auf, den „versteckten Mangel" zu beseitigen.

In einem solchen Fall ist dem Auftragnehmer zu raten, keine weiteren Aktivitäten zu entfalten, da das Mangelbeseitigungsverlangen nach Eintritt der Verjährung erfolgt ist. Die Abnahme der Leistungen des Auftragnehmers erfolgte am 31.08.2012, sodass nach den vertraglichen Vereinbarungen, die der Regelung des § 13 Abs. 1 VOB/B entsprechen, mit Ablauf des 31.08.2016 Verjährung eingetreten ist. Die Mangelrüge vom 24.09.2016 ist also nach Verjährungseintritt erfolgt; ihr ist daher nicht mehr nachzugehen.

4.7.6 Mangelbeseitigung nach Verjährung

Häufig ist zu beobachten, dass der Auftragnehmer aus zu begrüßenden Motiven wie Handwerkerehre oder Kundenbindung trotz bereits eingetretener Verjährung den Mangel in Augenschein nimmt und sogar Vorschläge zur Beseitigung des Mangels unterbreitet. In einem solchen Fall kann sich der Auftragnehmer dann aber nicht mehr auf die Verjährung des Anspruchs berufen. Nimmt der Auftragnehmer die Mangelbehauptung ernst

[127] *OLG Karlsruhe*, BauR 2005, 109; *OLG Koblenz* BauR 2003, 1728; *BGH* BauR 2006, 377.
[128] *OLG Frankfurt*, NJW-RR 2014, 1486.

und besichtigt den Mangel vorbehaltlos, macht er ggf. sogar Vorschläge zur Beseitigung und beginnt mit Mangelbeseitigungsarbeiten, ist damit die Verjährungsfrist außer Kraft gesetzt. Nach § 212 Abs. 1 Nr. 1 BGB beginnt die Verjährung vielmehr aufgrund des Anerkenntnisses erneut, es gilt dann wieder die übliche Gewährleistungsfrist mit der Folge, dass der Auftragnehmer in einem solchen Fall haftet. Der Auftragnehmer sollte in einem solchen Fall Verjährung einwenden und ist dann zu keiner weiteren Haftung verpflichtet.

4.7.7 Mangelbeseitigungsaufforderung

Der Anspruch auf Beseitigung des Mangels entsteht nach § 13 Abs. 5 Nr. 1 VOB/B mit einem

- schriftlichen (notwendig für die sog. „Quasi"-Verjährungshemmung nach § 13 Abs. 5 Nr. 1 Satz 2 VOB/B, die allerdings nur bei Vereinbarung der VOB/B gilt)
- Beseitigungsverlangen des Auftraggebers,
- das den Mangel hinreichend genau bezeichnet (Mangelrüge) und
- vor Ablauf der Verjährungsfrist dem Auftragnehmer zugeht.

Bei größeren (Sanierungs-) Bauvorhaben kommt es vor, dass der Auftraggeber einen Generalunternehmer oder einen fachbezogenen Generalunternehmer (z. B. Naturstein) mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt. Üblicherweise vergibt der Generalunternehmer einzelne Leistungen weiter an Nachunternehmer. Gegenüber dem Auftraggeber ist der Generalunternehmer allerdings für die Mangelfreiheit seines Gewerks verantwortlich und hat dementsprechend Gewährleistungsansprüche gegenüber seinen Subunternehmern. Die Weiterleitung von Mängelrügen des Bauherrn durch den Generalunternehmer an den Nachunternehmer stellt kein schriftliches Mängelbeseitigungsverlangen im Sinne des § 13 Abs. 5 Nr. 1 Satz 1 VOB/B dar, wenn damit die Einladung zu einem Ortstermin zur Abklärung der Verantwortlichkeiten verbunden ist.[129] Der Generalunternehmer ist daher gut beraten, eine Mängelrüge nicht ohne ein eigenes Anschreiben unter Setzung von Fristen etc. an den Auftragnehmer weiterzuleiten. Es handelt sich allerdings um eine Wertungsfrage, sodass nicht allgemeinverbindlich geklärt werden kann, ob im Einzelfall auch die kommentarlose Weiterleitung einer Mängelrüge des Auftraggebers an den Generalunternehmer durch diesen an seinen Nachunternehmer als Mangelrüge ausreicht.

4.7.8 Unberechtigte Mangelrüge

Oftmals wird der Auftragnehmer der Auffassung sein, dass seine Arbeiten gar nicht mangelhaft sind, es stellt sich dabei die Frage, wie sich der Auftragnehmer bei unberechtigten Mängelrügen des Auftraggebers verhalten soll.

[129] *OLG Stuttgart*, IBR 2010, 327, rechtskräftig.

Fordert der Auftraggeber den Auftragnehmer, auch unberechtigt, zur Mangelbeseitigung auf, kann eine solche Aufforderung regelmäßig nicht im Sinne eines von der Mangelhaftigkeit der ursprünglich beauftragten Leistung unabhängigen, entgeltlichen Auftrags verstanden werden.[130]

Das bedeutet, dass der Auftragnehmer eine Mangelrüge zunächst ernst zu nehmen hat und nicht von vornherein davon auszugehen hat, dass er eine entgeltliche zusätzliche Auftragserteilung erhält.

Ein unberechtigtes Mangelbeseitigungsverlangen des Kunden stellt eine zum Schadensersatz verpflichtende schuldhafte Vertragsverletzung dar, wenn der Auftraggeber erkannt oder fahrlässig nicht erkannt hat, dass ein Mangel der Sache nicht vorliegt, sondern die Ursache für das Symptom, hinter dem der Auftraggeber einen Mangel vermutet, in seinem eigenen Verantwortungsbereich liegt.[131]

Der Auftragnehmer sollte daher, wenn er sich nicht sicher ist, ob ein Mangel vorliegt oder nicht oder zumindest glaubt, dass kein Mangel vorliegt, dem Auftragnehmer den Eingang der Mangelrüge bestätigen und die Inaugenscheinnahme ankündigen, gleichzeitig aber ausdrücklich darauf hinweisen, dass eine unberechtigte Mangelrüge zu Schadensersatzansprüchen führen kann. Abzugrenzen hiervon ist die Tätigkeit des Auftragnehmers nach Eintritt der Verjährungsfrist (s. o.).

4.7.9 Ersatzvornahme

Kommt der Auftragnehmer einer begründeten Mangelrüge nicht nach, greifen die entsprechenden Ansprüche des Auftraggebers, etwa das Recht auf Selbstvornahme/Ersatzvornahme nach §§ 13 Abs. 5 Nr. 2 VOB/B bzw. § 637 BGB. Voraussetzung ist ein durchsetzbarer Nachbesserungsanspruch, eine Aufforderung zur Mangelbeseitigung innerhalb einer zu setzenden angemessenen Frist (s. o.) sowie der erfolglose Ablauf dieser Frist. Eine solche Fristsetzung ist nur ausnahmsweise entbehrlich, wenn der Auftragnehmer bereits ernsthaft und endgültig die Ausführung von Mangelbeseitigungsarbeiten verweigert hat.

Bei größeren Mangelkomplexen oder in terminlicher Hinsicht nicht ohne Weiteres abschätzbaren Mangelbeseitigungsleistungen kann auch in Betracht gezogen werden, dem Auftragnehmer zwei Fristen zu setzen, nämlich eine Frist, schriftlich zu erklären, dass er der Aufforderung zur Mangelbeseitigung nachkommen wird, und eine weitere Frist, innerhalb derer die Mangelbeseitigungsarbeiten durchzuführen und abzuschließen sind. Kommt der Auftragnehmer dann bereits mit der ersten Frist in Verzug, können entsprechende Mangelrechte geltend gemacht werden.

Allerdings soll nach einer rechtskräftigen Entscheidung des *OLG Stuttgart* jedenfalls bei umfangreichen, zeitlich schwer abzuschätzenden Mangelbeseitigungsmaßnahmen zu-

[130] *OLG Brandenburg*, IBR 2008, 208.
[131] *BGH*, IBR 2008, 144 zum Kaufrecht.

mindest eine Frist für den Nachbesserungsbeginn zu setzen sein,[132] was dazu führt, dass die Mängelansprüche erst dann geltend gemacht werden können, wenn der Auftragnehmer nicht mit den Mangelbeseitigungsarbeiten innerhalb der hierfür gesetzten Frist begonnen hat.

Die Aufforderung zu einer „schnellstmöglichen Reparatur" reicht als Fristsetzung im Sinne der vorgenannten Normen nicht aus, da nicht erkennbar ist, innerhalb welcher Frist die Reparatur erfolgen soll bzw. erwartet wird. Die Fristsetzung wird dadurch auch nicht entbehrlich.[133]

Häufig wird übersehen, dass dem Auftragnehmer auch dann noch ein Recht zur Mangelbeseitigung zusteht, wenn der Vertrag gekündigt wurde. Auch nach vorzeitiger Beendigung eines Bauvertrags nach §§ 4 Abs. 7, 5 Abs. 4 i. V. m. § 8 Abs. 3 VOB/B (Auftragsentziehung) bleibt der Auftragnehmer berechtigt, die Mängel an dem von ihm erstellten Werk selbst zu beseitigen,[134] sodass auch nach dem gekündigten Bauvertrag für während der Leistungsausführung durch den Auftragnehmer zutage getretene Mängel eine Nachfrist gesetzt und dem Auftragnehmer Gelegenheit zur Nachbesserung gegeben werden muss.

4.7.10 Verjährungsfragen

Nach § 634 a BGB verjähren Mängelansprüche im Zusammenhang mit Bauwerken innerhalb von fünf Jahren ab Abnahme, bei anderen Sachwerken innerhalb von zwei Jahren. Da bezüglich der Sanierungsarbeiten regelmäßig Bauwerksarbeiten ausgeführt werden, dürfte üblicherweise die fünfjährige Gewährleistungsfrist zugrunde zu legen sein. Abweichend hiervon definiert § 13 Abs. 4 VOB/B, dass Mängelansprüche bei einem VOB/B-Vertrag bei Bauwerken innerhalb von vier Jahren verjähren. Dies ist ein Grund dafür, dass in einer großen Vielzahl von Verträgen diese Regelung abbedungen und die gesetzliche Frist von fünf Jahren (oder eine noch längere Frist) vereinbart wird.

Nach § 13 Abs. 4 VOB/B beträgt die Verjährungsfrist zwei Jahre für maschinelle und elektrotechnische/elektronische Anlagen oder Teile davon, bei Wartungsbedürftigkeit, wenn keine Wartung vereinbart wird; ansonsten gilt die volle Verjährungsfrist.

Gerade bei einem VOB-Vertrag kommt es aber zu Hemmungen der Verjährung. So bestimmt § 13 Abs. 5 Nr. 1 Satz 2 VOB/B, dass der Anspruch auf Beseitigung der gerügten Mängel in zwei Jahren verjährt, gerechnet vom Zugang des schriftlichen Verlangens an, jedoch nicht vor Ablauf der Regelfristen (vier Jahre) oder der an ihrer Stelle vereinbarten Frist. Nach Abnahme der Mangelbeseitigungsleistung beginnt für diese Leistung eine Verjährungsfrist von zwei Jahren neu, die jedoch nicht vor Ablauf der Regelfristen (vier Jahre nach VOB/B) oder der an ihrer Stelle vereinbarten Frist endet. Diese sogenannte Quasi-

[132] *OLG Stuttgart*, IBR 2010, 326.
[133] *KG*, IBR 2010, 562.
[134] *OLG Naumburg*, IBR 2009, 702.

Unterbrechungswirkung kann also durchaus dazu führen, dass die Verpflichtung zur Mangelbeseitigung für *diese* gerügten Mängel auch über die vereinbarte Frist hinaus gelten kann, wenn etwa ein entsprechendes Mangelbeseitigungsverlangen erst kurz vor Ablauf der Gewährleistungsfrist gestellt wird.

Bessert ein Auftragnehmer nach Abnahme seines Werkes nach, wird bei Vereinbarung der VOB/B die Gewährleistungsfrist grundsätzlich gehemmt, bis die Mangelbeseitigungsarbeiten abgenommen sind. Die Hemmung endet auch, wenn der Auftraggeber die Abnahme endgültig verweigert, weil er eine weitere Erfüllung des Vertrags ablehnt; sie endet zudem, wenn der Auftraggeber die Abnahme der Mangelbeseitigungsleistung verweigert und der Auftragnehmer seinerseits die weitere Mangelbeseitigung ablehnt. Erbringt der Auftragnehmer Mangelbeseitigungsleistungen und werden diese abgenommen, beginnt mit der Abnahme für diese Arbeiten die neue Gewährleistungsfrist des § 13 Abs. 5 Nr. 1 Satz 3 VOB/B.[135]

Abgesehen davon werden Verjährungsfristen generell gehemmt, wenn die Parteien über den streitigen Sachverhalt Verhandlungen führen (§ 203 BGB) oder einen Rechtsstreit (§ 204 BGB). Insoweit führt bereits der Erlass eines Mahnbescheids oder die Erhebung einer Klage sowie die Einleitung eines selbstständigen Beweisverfahrens dazu, dass Ansprüche für die Dauer des Rechtsstreits gehemmt werden.

Solange ein Leistungsverweigerungsrecht besteht, ist die Verjährung ebenfalls gehemmt (§ 205 BGB). Fordert beispielsweise der Metallbauer von seinem Glaslieferanten bauproduktenrechtliche Nachweise, etwa über die CE-Kennzeichnung, und kommt der Lieferant seinen Verpflichtungen nicht nach, kann der Auftragnehmer ein Zurückbehaltungsrecht ausüben, das dazu führt, dass insoweit keine Verjährung eintritt bzw. der Lauf der Verjährung gehemmt ist.

Die Verjährung beginnt erneut zu laufen, wenn der Anspruch gegenüber dem Gläubiger anerkannt wird (§ 212 Abs. 1 Nr. 1 BGB). Insoweit besteht die vorstehend bereits genannte Gefahr, dass der Auftragnehmer, der nach Ablauf der Gewährleistungsfrist vorbehaltlos Mangelbeseitigungsarbeiten ausführt, diesbezüglich einer neuen Verjährung unterliegt.

Bezüglich der Hemmung der Verjährung durch schwebende Verhandlungen nach § 203 BGB ist der Begriff der Verhandlung weit zu verstehen. Das Ende derartiger Verhandlungen muss durch klares und eindeutiges Verhalten zum Ausdruck gebracht[136] oder ggf. durch Auslegung ermittelt werden. Die Verjährung tritt frühestens drei Monate nach dem Ende der Hemmung ein (§ 203 Satz 2 BGB).

Bezüglich der Verhandlungen muss der Gläubiger klarstellen, dass er seinen Anspruch geltend machen und worauf er ihn im Kern stützen will; anschließend genügt jeder Meinungsaustausch über den Anspruch oder seine tatsächliche Grundlage, aufgrund dessen ein Vertragspartner davon ausgehen kann, dass seine Forderung von dem anderen Vertragspartner noch nicht endgültig abgelehnt wird.[137]

[135] *BGH*, IBR 2008, 719.
[136] *BGH*, IBR 2004, 240.
[137] *OLG Düsseldorf*, IBR 2006, 672.

Ist der Hersteller eines Produkts sicher, dass sein Produkt die gesetzlichen Höchstverjährungsfristen überleben wird, wie z. B. ein bestimmter Hersteller von Titanzinkbahnen, ist der Abschluss eines Garantievertrags für die Haltbarkeit einer Sache mit einer Laufzeit von 40 Jahren mit den Verjährungsvorschriften des BGB vereinbar, auch wenn eine solche (lange) Frist im Gesetz gar nicht vorgesehen ist.[138]

Ein nicht zu unterschätzendes Verjährungsrisiko besteht in Vertragsketten.

Beispielsfall: Der Auftragnehmer schuldet dem Auftraggeber die Lieferung und Montage lackierter Holzfenster auf der Grundlage der VOB/B. Der Lackhersteller liefert dem Auftragnehmer den Holzlack schon am 01.10.2011 nach den Vorschriften des BGB. Die Abnahme des Auftraggebers erfolgt am 30.09.2012. Im Sommer 2016 treten massive Lackabplatzungen auf, die der Auftraggeber am 29.09.2016 schriftlich anzeigt und dem Auftragnehmer eine Frist zur Mangelbeseitigung setzt.

Der Auftragnehmer muss hier verschiedene Verjährungsfristen beachten: Der Lackhersteller haftet nach BGB fünf Jahre, da sein Lack für Bauwerke geliefert wurde. Die Verjährungsfrist beginnt am 01.10.2011 zu laufen und endet damit am 01.10.2016. Mit Blick auf die Mängelrüge des Auftraggebers vom 29.09.2016 muss der Auftragnehmer daher unverzüglich eine schriftliche Mängelrüge an den Lackhersteller richten. Da in seinem Vertragsverhältnis im Beispielsfall nur BGB vereinbart ist, gibt es keine Quasi-Unterbrechungswirkung nach § 13 Abs. 5 Nr. 2 VOB/B, sodass ggf. sogar noch die Erhebung einer Klage oder die Einleitung eines selbstständigen Beweisverfahrens in Betracht zu ziehen sind, um den Verjährungseintritt zu verhindern. Denkbar ist auch, dass der Auftragnehmer mit seinem Lacklieferanten kurzfristig eine Vereinbarung trifft, wonach der Lacklieferant für eine bestimmte Dauer auf die Einrede der Verjährung verzichtet. Anderenfalls wäre der Anspruch mit Ablauf des 01.10.2016 im Beispielsfall verjährt.

Andererseits haftet der Auftragnehmer aufgrund der VOB/B, da insoweit eine Verjährungsfrist von zwar nur vier Jahren läuft, die aber im Beispielsfall am 29.09.2016 knapp noch nicht beendet war. Im Übrigen gilt im Vertragsverhältnis nach der VOB/B die angesprochene Quasi-Unterbrechungswirkung, sodass die Mangelrüge die Verjährung des diesbezüglichen Mangelanspruchs zum 30.09.2016 hemmt. Der Auftragnehmer läuft also im Ergebnis Gefahr, selbst zu haften und keine Ansprüche mehr gegen seinen Lieferanten zu haben, wenn er keine kurzfristigen verjährungsunterbrechenden Maßnahmen ergreift.

Beseitigt der Auftragnehmer einen Schaden an seiner Leistung aber ausdrücklich aus Kulanz und ohne Schuldanerkenntnis, liegt hierin jedenfalls kein Anerkenntnis im Sinne des § 212 Abs. 1 Nr. 1 BGB.[139]

[138] *BGH*, IBR 2008, 655.
[139] *OLG Jena*, IBR 2010, 23.

4.8 Sicherheiten

Unter dem Begriff der Sicherheiten versteht man die wirtschaftliche Absicherung einer Partei durch ein Sicherungsmittel in einer bestimmten Höhe vor drohenden Nachteilen in einem bestimmten Fall. Ein Anspruch auf Sicherheitsleistung besteht, wenn im zugrunde liegenden (Werk-) Vertrag eine entsprechende Sicherungsabrede zwischen den Vertragsparteien getroffen wurde oder gesetzlich eine Sicherheit gefordert werden kann.

Bei den Beteiligten eines Bauwerkvertrags ist die Absicherung von wechselseitigen Ansprüchen relevant mit Blick auf ein etwaiges Insolvenzrisiko des jeweiligen Vertragspartners und zur Sicherstellung der Einhaltung der Vertragspflichten. Der Unternehmer will sein durch Gesetz oder auch die VOB/B bestehendes Vorleistungsrisiko absichern. Der Auftraggeber andererseits möchte für die Dauer der Vertragsausführung eine Sicherheit dafür haben, dass der Auftragnehmer seine Leistungen ordnungsgemäß erfüllt. Auch dem Unternehmer wiederum ist die Bonität des Auftraggebers wichtig, um gerade über ein länger andauerndes Bauvorhaben, oder bei Auftraggebern, bei denen Verdacht bezüglich einer etwaigen finanziellen Schieflage besteht, über eine entsprechende Absicherung verfügen zu können.

Bei der Vereinbarung von Sicherheiten ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Rechtsprechung hier stetigen Veränderungen unterworfen ist. Noch vor wenigen Jahren war die sog. Bürgschaft auf erste Anforderung ein übliches Sicherungsmittel – ein Sicherungsinstrument, bei dem der Bürge ohne Nachweis des Sicherungsfalls auf erste Anforderung desjenigen, der über die Bürgschaft verfügt, sofort zahlen muss. Von der Rechtsprechung wurde eine entsprechende Sicherungsabrede sowohl für die Vertragserfüllungsphase als auch für das Gewährleistungsstadium für unwirksam befunden, wenn – wie in solchen Fällen üblich – eine formularmäßige Sicherungsabrede vorliegt, also die Vereinbarung einer Sicherheit in Allgemeinen Geschäftsbedingungen.[140]

4.8.1 Gesetzlich geregelte Sicherheiten

Für den werkvertraglichen Bereich existieren folgende gesetzlich geregelte Sicherheiten:

- Werkunternehmerpfandrecht, § 647 BGB (im Baurecht selten)
- Bauhandwerkersicherungshypothek, § 648 BGB
- Bauhandwerkersicherung, § 648 a BGB

Vertraglich sind die Parteien frei, verschiedene Sicherungsmittel zu vereinbaren. Die häufig bei Bau- und Sanierungsverträgen zugrunde gelegte VOB/B begründet ausdrücklich keinen automatischen Anspruch auf Sicherheiten, sondern trifft in § 17 Regelungen für den Fall, dass die Parteien vertraglich eine Sicherheitsleistung vereinbart haben (§ 17 Abs. 1 VOB/B).

[140] *Werner-Pastor*, Rn 367 ff., 1657 ff. mit zahlreichen Nachweisen aus der Rechtsprechung.

4.8.1.1 Bauhandwerkersicherungshypothek

Der Auftragnehmer (Unternehmer eines Bauwerks oder einzelner Teile hiervon) kann für seine Forderungen aus dem Vertrag nach § 648 Abs. 1 BGB die Einräumung einer Sicherungshypothek am Baugrundstück des Bestellers verlangen. Eine solche Sicherungshypothek wird in das Grundbuch eingetragen. Somit wird letztlich eine „Grundbuchsperre" eingerichtet, die es dem Besteller unmöglich macht, Nachfinanzierungen durch weitere Belastungen des Grundstücks vorzunehmen.[141]

Die Hypothek berechtigt den Unternehmer, sofern er keine Vergütung erhält, das Baugrundstück im Rahmen der Zwangsversteigerung zu verwerten und aus dem Versteigerungserlös seinen Werklohnanspruch zu decken. Sofern der Auftraggeber, was regelmäßig der Fall sein dürfte, eine solche Eintragung nicht freiwillig bewirkt, kommt die gerichtliche Eintragung im Wege einer einstweiligen Verfügung durch eine sog. Vormerkung zur Sicherung einer Bauhandwerkersicherungshypothek im Grundbuch in Betracht.[142]

Das Verfahren zur Eintragung einer solchen Hypothek ist relativ aufwändig. Die Sicherungshypothek kann allerdings ein Druckmittel darstellen, um verzögerte Zahlungen des Auftraggebers zu unterbinden, insbesondere, wenn der Auftraggeber daran interessiert ist, das Grundstück nach Fertigstellung weiterzuverkaufen. Befindet sich dann an prominenter Rangstelle eine entsprechende Sicherungshypothek, kann der Besteller das Grundstück nicht lastenfrei übertragen und beraubt sich somit möglicherweise seiner Verkaufschance.

4.8.1.2 Bauhandwerkersicherung, Sicherheit nach § 648 a BGB

Größerer Verbreitung erfreut sich die sog. Bauhandwerkersicherung. Hier wird üblicherweise von einer „Bürgschaft nach § 648 a BGB" gesprochen, obwohl die gesetzliche Vorschrift ausdrücklich nicht nur eine Bürgschaft, sondern den Begriff der „Sicherheit" als Oberbegriff verwendet. Die einzelnen Sicherheitsarten sind im § 232 BGB aufgezählt:

- Hinterlegung von Geld oder Wertpapieren,
- Verpfändung von Forderungen oder beweglichen Sachen,
- Bestellung von Hypotheken und Schiffshypotheken sowie insbesondere auch
- Bürgschaft (§ 232 Abs. 2 BGB).

§ 17 Abs. 2 VOB/B sieht Sicherheitsleistungen durch Bürgschaft, Hinterlegung von Geld oder Einbehalt von Geld vor.

Die Bauhandwerkersicherung nach § 648a BGB dient dazu, den Unternehmer eines Bauwerkes hinsichtlich seines bestehenden Vergütungsanspruchs zu schützen. Der Unternehmer kann von dem Besteller Sicherheit für die auch in Zusatzaufträgen vereinbarte und noch nicht gezahlte Vergütung einschließlich zugehöriger Nebenforderungen, die mit 10 % des zu sichernden Vergütungsanspruchs anzusetzen sind, verlangen (§ 648a Abs. 1 Satz 1 BGB).

[141] *Werner/Pastor*, Rn 183.
[142] *Vygen/Wirth/Schmidt*, Kap. 12, Rn 43 ff; Überblick bei *Palandt-Sprau* zu § 648.

Dies bedeutet, dass der Auftragnehmer während der gesamten Bauzeit, auch nach der Abnahme,[143] eine Bauhandwerkersicherung verlangen kann. Gesichert wird der zum Zeitpunkt des Sicherheitsverlangens noch bestehende Vergütungsanspruch unter Einschluss der bis dahin bekannten Nachträge sowie eines allgemeinen Zuschlags von 10 %.[144]

Beispiel: Der Auftragnehmer ist beauftragt, Sanierungsarbeiten auszuführen. Seine Vergütung soll nach dem Vertrag € 100.000,00 betragen. Es kommt zu Schwierigkeiten bei der Abwicklung von Abschlagszahlungen. Bei etwa der Hälfte der Baumaßnahme entschließt sich der Auftragnehmer, Sicherheit nach § 648 a BGB zu verlangen. Zwischenzeitlich sind Nachträge im Wert von € 15.000,00 zur Auftragssumme hinzugekommen.

Der Auftragnehmer kann in diesem Beispielsfall eine Sicherheit in Höhe von € 72.500,00 verlangen, die sich wie folgt berechnet:

Restvergütungsanspruch gemäß Vertrag	€	50.000,00
Nachträge	€	15.000,00
Zwischensumme	€	65.000,00
10 % Zuschlag, § 648a Abs. 1 Satz 1 BGB	€	6.500,00
Gesamt	**€**	**72.500,00**

Im Baubereich wird die Sicherheit üblicherweise durch eine entsprechende Bürgschaft zur Verfügung gestellt. Der Unternehmer, also der Auftragnehmer, der die Sicherheit verlangt, hat gemäß § 648a Abs. 3 BGB dem Besteller die üblichen Kosten der Sicherheitsleistung bis zu einem Höchstsatz von 2 % für das Jahr zu erstatten. Im Regelfall zahlt also der Auftragnehmer die Kosten für die beanspruchte Sicherheit bis höchstens 2 % p. a.

Eine abweichende Vereinbarung, die etwa die Stellung einer Sicherheit gemäß § 648a BGB von irgendwelchen Gegenleistungen abhängig macht, ist gemäß § 648a Abs. 7 BGB immer unwirksam.

Der Auftragnehmer muss dem Auftraggeber eine angemessene Frist zur Vorlage der Sicherheit setzen. Hier wird in der Regel eine Frist von sieben bis zehn Tagen als ausreichend erachtet;[145] eine Frist von nur fünf Werktagen dürfte zu kurz und damit nicht angemessen sein.[146] Dem Unternehmer muss die Möglichkeit gegeben werden, das Sicherheitsverlangen zu prüfen und innerhalb der gesetzten Frist die Sicherheit von seiner Bank zu beschaffen.

Hat der Unternehmer dennoch keine Sicherheit geleistet, kann der Unternehmer entweder die Leistung verweigern, also von einem Leistungsverweigerungsrecht Gebrauch machen, bis die Bürgschaft vorgelegt wird, oder den Vertrag sogar kündigen (§ 648a Abs. 5 BGB). Die Rechtsfolge liegt auf der Hand:

---

[143] *Palandt-Sprau*, § 648a, Rn 13 unter Hinweis auf *BGH*, NJW 2004, 1525.
[144] Zu Einzelheiten der Berechnung: *Ingenstau/Korbion-Joussen*, Anh 1, Rn 136 ff., 159 ff.
[145] *Palandt-Sprau*, § 648a, Rn 20 unter Hinweis auf die gesetzliche Begründung der Regelung.
[146] *BGH*, IBR 2011, 462.

Leistet der Auftraggeber zur Absicherung des berechtigten Vorleistungsrisikos und zur Beseitigung von Insolvenzbedenken des Auftragnehmers eine solche Bürgschaft nicht, ist es dem Unternehmer nicht zumutbar, weitere Vorleistungen zu erbringen, sodass er seine Leistungen einstellen oder den Vertrag sogar kündigen kann.

§ 648a BGB findet allerdings keine Anwendung, wenn der Auftraggeber eine juristische Person des öffentlichen Rechts ist, es sich also um eine staatliche Stelle handelt („öffentlicher Auftraggeber"). Eine Sicherheit kann ebenfalls nicht von einer natürlichen Person (einem „normalen" Bürger, der nicht als juristische Person, etwa als GmbH, organisiert ist) verlangt werden, wenn dieser die Herstellung oder Instandsetzung eines Einfamilienhauses beauftragt hat (§ 648a Abs. 6 BGB).

Im Falle eines überhöhten Sicherungsverlangens ist der Auftraggeber in jedem Fall verpflichtet, eine angemessene Sicherheit zu leisten.[147] Der Anspruch auf Stellung einer Sicherheit gemäß § 648a BGB ist zudem einklagbar.[148]

Leistet der Auftraggeber trotz ordnungsgemäßem Sicherungsverlangen keine entsprechende Sicherheit gemäß § 648a BGB, ist der Auftragnehmer, abweichend von sonstigen Grundsätzen, auch nicht mehr verpflichtet, Mängelbeseitigungsarbeiten durchzuführen; Anspruch des Arbeitgebers auf Erstattung der Ersatzvornahmekosten ist zudem ausgeschlossen.[149]

Die Verwertung der Sicherheit gestaltet sich allerdings schwierig. Der Bürge ist nur zur Zahlung verpflichtet, wenn der Besteller den Vergütungsanspruch des Unternehmers anerkannt hat oder ein entsprechendes Urteil zur Zahlung der Vergütung vorliegt (§ 648a Abs. 2 BGB). Dies bedeutet, dass entweder ein Anerkenntnis vorliegen muss, was höchst selten der Fall sein wird, oder dass der Auftragnehmer einen „normalen" Bauprozess führen muss, um seine Forderung durchzusetzen.

Die Bedeutung der Sicherheit nach § 648a BGB erschöpft sich also darin, zum einen das Insolvenzrisiko des Auftraggebers abzusichern und zum anderen, dem Auftraggeber deutlich zu machen, dass Zweifel an seiner Bonität bestehen. Dies führt aber erfahrungsgemäß zu weiteren Friktionen bei der Vertragsabwicklung auf der Baustelle und ist regelmäßig nicht geeignet, ein kooperatives Zusammenwirken zu fördern. Sofern allerdings entsprechende Zweifel an der Bonität bestehen oder Zahlungsschwierigkeiten aufgetreten sind, kann die Anforderung einer Sicherheit gemäß § 648a BGB ein probates Mittel sein, den Auftraggeber zu veranlassen, zu einer ordnungsgemäßen Vertragserfüllung zurückzukehren.

[147] *OLG Düsseldorf*, IBR 2010, 25.
[148] *LG Nürnberg-Fürth*, IBR 2010, 336; *Ingenstau/Korbion-Joussen*, Anh. 1, Rn 153–157.
[149] *OLG Brandenburg*, IBR 2010, 621.

4.8.2 Vertragliche Sicherheiten

4.8.2.1 Vorauszahlungssicherheit

Eine Vorauszahlungssicherheit wird zwischen den Parteien vereinbart, wenn der Auftragnehmer wegen erheblicher Vorleistungspflichten, etwa umfangreicher und kostenintensiver Materialbestellungen, ein entsprechendes Finanzierungsbedürfnis hat. Der Auftraggeber zahlt dem Auftragnehmer daher, obwohl noch keine Leistungen erbracht wurden, im Voraus einen bestimmten Betrag. Dieser wird dann durch eine entsprechende Sicherheit, üblicherweise eine Bürgschaft, abgesichert. Die Bürgschaft sichert also insoweit das Insolvenzrisiko des Auftragnehmers ab.

Die Bürgschaft ist zurück zu gewähren, wenn der vertragsmäßige Leistungsteil, für den die Vorauszahlung erfolgt ist, erbracht wurde, wenn also z. B. das entsprechende Material ordnungsgemäß eingebaut wurde. Ohne ausdrückliche Vereinbarung sichert allerdings die Vorauszahlungsbürgschaft nur den entsprechenden Rückzahlungsanspruch, nicht aber Mängel, die sich im Zuge der Bearbeitung des Leistungsteils, für den die Vorauszahlung geleistet wurde, gezeigt haben.[150]

4.8.2.2 Vertragserfüllungssicherheit

Eine Vertragserfüllungssicherheit wird dem Auftraggeber als Gewähr dafür zur Verfügung gestellt, dass der Auftragnehmer seine Leistungen vollständig und rechtzeitig sowie mangelfrei erfüllt. Abgesichert werden können auch Schadenersatzansprüche, die im Falle einer unberechtigten Kündigung oder durch Verzug des Auftragnehmers mit der Leistungserbringung entstehen können. In der letzten Zeit wird auch beobachtet, dass derartige Sicherheiten für die Verpflichtung zur Abführung von Sozialversicherungsbeiträgen und Beiträgen nach dem Arbeitnehmerentsendegesetz haften sollen. Dies muss allerdings in der vertraglichen Sicherungsabrede ausdrücklich bestimmt sein. Ob eine derartige Erstreckung des Sicherungszwecks möglich ist, ist in der Rechtsprechung noch nicht abschließend entschieden und daher teilweise streitig.[151]

Die Vertragserfüllungssicherheit wird entweder durch einen entsprechend vereinbarten Abzug bei der Zahlung von Abschlagsrechnungen des Auftragnehmers einbehalten oder erfolgt durch die Stellung einer Bürgschaft zu Vertragsbeginn, die regelmäßig zwischen 5 und maximal 10 % der Auftragssumme beträgt.[152]

Der Auftraggeber, der neben einer vereinbarten Vertragserfüllungssicherheit von Abschlagszahlungen weitere Abzüge vornimmt, handelt jedenfalls dann unrechtmäßig, wenn eine solche Vereinbarung formularmäßig in seinen Vertragsbedingungen vorgesehen ist (AGB), da der Auftraggeber in solchen Fällen durch die vereinbarte Vertragserfüllungssicherheit und einen weiteren Abzug vom Vergütungsanspruch des Auftragnehmers übersichert ist.

---

[150] *Werner/Pastor*, Rn 1655 f. m. w. N.

[151] Befürwortender Überblick bei: I*ngenstau/Korbion-Joussen,* § 17 Abs. 1 VOB/B, Rn 20 f.

[152] § 17 Abs. 6 Nr. 1 VOB/B; zur Maximalhöhe von 10 % und der Unwirksamkeit einer AGB-mäßigen Vereinbarung von 15 %: *OLG München*, NJW-RR 2012, 1202 (Kurzform: IBR 2012, 584).

Die Vertragserfüllungssicherheit ist bei der Abnahme zurückzugeben. In den Fällen, in denen die Vertragserfüllungssicherheit nach Allgemeinen Geschäftsbedingungen bis zur Schlussrechnung und länger, sogar bis zum Abschluss der Schlussrechnungsprüfung, vorgehalten wird, ist die zugrunde liegende, formularmäßige Sicherungsabrede wegen Übersicherung im zeitlichen Abstand zwischen Abnahme und Schlussrechnungsprüfung unwirksam.[153]

4.8.2.3 Mängelansprüchesicherheit

Für die Gewährleistungsphase hat der Auftraggeber ebenfalls ein Sicherungsbedürfnis, das im Vertrag dadurch geregelt wird, dass dem Auftragnehmer von der Schlussrechnung ein Sicherheitseinbehalt in Höhe von 3 bis maximal 5 % der Abrechnungssumme[154] in Abzug gebracht wird.

Der Auftragnehmer ist üblicherweise berechtigt, diesen Sicherheitseinbehalt durch eine Bürgschaft abzulösen. Hier wurde früher von der „Gewährleistungsbürgschaft" gesprochen; nunmehr wird dieses Sicherungsmittel als „Mängelansprüchebürgschaft" bezeichnet.

Die Sicherheit deckt den Anspruch des Auftraggebers auf Nacherfüllung/Mangelbeseitigung während der Gewährleistungsphase und ist nach Abschluss dieser Phase zurückzugeben oder in angemessenem Umfang zu enthaften, soweit noch weitergehende Mangelverpflichtungen zum eigentlichen Rückgabezeitpunkt bestehen sollten. Die Mängelansprüchebürgschaft sichert nur entsprechende Mängelansprüche *nach* Abnahme; sog. Erfüllungsmängel, die vor der Abnahme gerügt wurden, sind von der Mängelansprüchebürgschaft nicht gedeckt.[155]

4.8.2.4 Einzahlung auf ein Sperrkonto, § 17 Abs. 6 VOB/B

Vereinbaren die Parteien, dass der Auftraggeber berechtigt sein soll, Vergütung einzubehalten, ist bei Geltung der VOB/B § 17 Abs. 6 VOB/B zu berücksichtigen, wonach der Auftraggeber den Sicherheitseinbehalt nicht für sich behalten darf, sondern verpflichtet ist, den Einbehalt als Fremdgeld zur Sicherung gegen Insolvenz und für die Rückzahlung auf ein Sperrkonto einzuzahlen. Zinsen stehen dabei dem Auftragnehmer zu.

Der Auftraggeber hat den Betrag nach § 17 Abs. 6 VOB/B binnen 18 Werktagen auf ein Sperrkonto („Und-Konto") einzuzahlen. Zahlt der Auftraggeber nicht und setzt ihm der Auftragnehmer eine angemessene Nachfrist, so ist der Auftragnehmer von der Stellung einer Sicherheit dann frei, wenn der Auftraggeber auch nach Setzung der Nachfrist keine Einzahlung auf das Sperrkonto leistet. Der Unternehmer kann vielmehr die sofortige Auszahlung des Sicherheitseinbehalts verlangen und ist auch nicht zu weiteren Sicherheitsleistungen verpflichtet, weil sich der Auftraggeber als unzuverlässig bei der Verwaltung des Sicherheitseinbehalts erwiesen hat.

---

[153] *LG Dresden*, Urteil vom 07.09.2012, 8 O 3362/11; Überblick mit weiteren Nachweisen aus der Rechtsprechung bei *Ingenstau/Korbion-Joussen*, § 17 Nr. 8 VOB/B, Rn 3–5.
[154] Zur Höchstgrenze von 5 %: *BGH*, NJW 2014, 1725 (Kurzform: IBR 2014, 325).
[155] *OLG München*, IBR 2009, 454.

4.9 Bauproduktenrecht

4.9.1 Bauproduktenrechtliche Grundlagen

Aktuelle Rechtsgrundlage ist die unmittelbar in den EU-Mitgliedstaaten geltende EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO),[156] die am 01.07.2013 vollständig in Kraft getreten ist und frühere Regelungen ersetzt hat.

Grundlage war bis zur vollständigen Geltung der BauPVO die Europäische Bauproduktenrichtlinie (Richtlinie des Rates vom 21.12.1988) zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte 89/106/EWG.[157] Die Bauproduktenrichtlinie wurde erlassen, um den freien Warenverkehr auch mit Bauprodukten zu gewährleisten und technische Handelshemmnisse zu beseitigen sowie für eine Vereinheitlichung der diesbezüglichen Anforderungen zu sorgen.[158] Die europäischen Vorgaben wurden im Bereich der Bundesrepublik Deutschland zweigliedrig umgesetzt: Für den freien Warenverkehr und in das Inverkehrbringen erfolgte die Umsetzung durch das Bauproduktengesetz (BauPG), bis die Bauproduktenverordnung vollständig in Kraft getreten ist, während die Umsetzung der Regelung über die Verwendung bzw. den Einbau der in Verkehr gebrachten Bauprodukte aufgrund der föderalen Struktur in den Landesbauordnungen der Bundesländer geregelt ist.

Um EU-weit einheitliche Regelungen des Bauproduktenrechts zu erreichen, wurde die BauPVO erlassen, die nunmehr ohne weitere nationale staatliche Umsetzungsakte unmittelbar in den EU-Mitgliedstaaten im Range eines Gesetzes gilt. Dementsprechend hat das BauPG weitgehend an Bedeutung verloren, da es überwiegend durch die BauPVO ersetzt wurde.

Nach Art. 2 Nr. 1 BauPVO ist ein „Bauprodukt" jedes Produkt oder jeder Bausatz, das bzw. der hergestellt und in Verkehr gebracht wird, um dauerhaft in Bauwerke oder Teile davon eingebaut zu werden, und dessen Leistung sich auf die Leistung des Bauwerks im Hinblick auf die Grundanforderungen an Bauwerke auswirkt.

Art. 3 in Verbindung mit Anhang 1 BauPVO legt die Grundanforderungen an ein Bauwerk/Bauprodukt fest:[159]

- Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Brandschutz

[156] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09.03.2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates; Überblick bei *Niemöller/Harr* in *Sieberath/Niemöller* (Hrsg.) Kommentar zur DIN EN 14351-1, Seite 279 ff.

[157] ABl. EG Nr. l 40 vom 11.02.1989, Seite 12, zuletzt geändert durch die Verordnung (EG Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29.09.2003).

[158] Überblick über die Bauproduktenrichtlinie *A. Schmidt* in *Kuffer/Wirth,* Der Baustoffhandel 2010, Rdnr. 1187 ff. sowie zu der Thematik „Freier Warenverkehr und Produktsicherheit" *Niemöller/Harr*, NZBau 2015, 274.

[159] S. a. *Winkelmüller/van Schwewick/Müller*, Rn 82 ff.

- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Sicherheit und Barrierefreiheit
- Schallschutz
- Energieeinsparung/Wärmeschutz
- Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Ein Bauwerk/Bauprodukt muss den „harmonisierten technischen Spezifikationen“ (Art. 2 Nr. 10 BauPVO) entsprechen. Bei harmonisierten Normen handelt es sich um europäische technische Regeln von europäischen Normenorganisationen, die aufgrund eines von der Europäischen Kommission erteilten Mandats im Hinblick auf die wesentlichen Merkmale erarbeitet worden sind,[160] über deren Geltung im Rahmen der Europäischen Union mithin Einigkeit besteht. Liegt für ein Bauprodukt keine harmonisierte Norm vor, ist eine europäische technische Bewertung erforderlich (Art. 19 BauPVO). Damit wird die Leistung eines Bauprodukts hinsichtlich der wesentlichen Merkmale nach dem zugrunde liegenden europäischen Bewertungsdokument bestätigt.

Der Hersteller eines im vorbezeichneten Sinne „harmonisierten“ Bauprodukts muss gemäß Art. 11 Abs. 1 Unterabs. 2 BauPVO eine technische Dokumentation zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit erstellen. Hierzu zählen Ergebnisse der Typprüfung und der Typberechnung und die Unterlagen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK). Mit der WPK wird die Qualität der hergestellten Bauprodukte mit den zugrunde liegenden normativen technischen Anforderungen abgeglichen.[161]

Ist das hergestellte Bauwerk/Produkt von einer harmonisierten Norm erfasst oder befindet es sich in Übereinstimmung mit einer europäischen technischen Bewertung, ist der Hersteller verpflichtet, eine *Leistungserklärung* für das Produkt zu erstellen, wenn es in Verkehr gebracht wird (Art. 4 BauPVO).[162] Der notwendige Inhalt der Leistungserklärung ist in Art. 6 BauPVO geregelt. Anzugeben ist insbesondere:

- Verweis auf den von der Leistungserklärung betroffenen Produkttyp
- Angaben zum System zur Bewertung und zur Überprüfung der Leistungsbeständigkeit des Bauprodukts
- Angabe der einschlägigen harmonisierten Norm oder der europäischen technischen Bewertung
- Angabe der verwendeten spezifischen technischen Dokumentation und zu den Anforderungen, die das Produkt laut Herstellern erfüllt
- Verwendungszweck des Bauprodukts
- Liste der wesentlichen Merkmale, die in der einschlägigen technischen Spezifikation für den erklärten Verwendungszweck festgelegt wurden

[160] *Sieberath/Niemöller – Niemöller/Harr*, S. 281.
[161] *Sieberath/Niemöller – Niemöller/Harr,* a. a. O., Seite 281–283.
[162] Weitergehend zur Leistungserklärung *Winkelmüller/van Schwewick/Müller*, Rn 141 ff; *Sieberath/Niemöller – Niemöller/Harr,* a. a. O., S. 283 ff.

- Die Angabe „npd“ (= no performance determined) für die aufgelisteten wesentlichen Merkmale, für die keine Leistung erklärt wird[163]

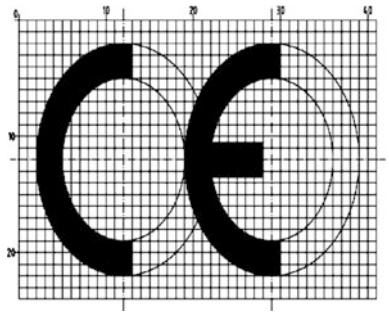
Mit der Leistungserklärung übernimmt der Hersteller die Verantwortung für die Konformität des Bauprodukts mit der erklärten Leistung und damit für die Übereinstimmung des Bauprodukts mit der erklärten Leistung und ihrer wesentlichen Merkmale. Eine Abschrift der Leistungserklärung jedes Produkts, das auf dem Markt bereitgestellt wird, ist nach Art. 7 BauPVO in gedruckter oder in elektronischer Form zur Verfügung zu stellen.

4.9.2 CE-Zeichen

Art. 8 und 9 BauPVO regeln die Verwendung der CE-Kennzeichnung.

Voraussetzung für die Verwendung und das Anbringen des CE-Zeichens ist, dass der Hersteller eine Leistungserklärung (s. o.) erstellt hat (Art. 8 Abs. 2 BauPVO). Mit der Verwendung/Anbringung des CE-Zeichens versichert der Hersteller, dass er die Verantwortung für die Konformität des Bauprodukts mit dessen erklärter Leistung und für die Einhaltung aller geltenden Anforderungen der BauPVO und den einschlägigen Harmonisierungsvorschriften der EU, die eine CE-Kennzeichnung vorsehen, übernimmt (Art. 8 Abs. 2 Unterabs. 3 BauPVO). Die CE-Kennzeichnung stellt die Vermutung der Konformität des Bauprodukts mit technischen Spezifikationen dar.

Die Kennzeichnung muss mit den Buchstaben „CE“ erfolgen:



Weiterhin sind der Name und das Kennzeichen des Herstellers sowie die letzten beiden Ziffern des Jahres, in dem die CE-Kennzeichnung zuerst angebracht wurde, zu nennen. Anzugeben sind auch der eindeutige Kenncode des Produkttyps, die Bezugsnummer der Leistungserklärung und die darin enthaltene Leistung nach Stufe oder Klasse, die Fundstelle der einschlägigen harmonisierten technischen Spezifikation sowie ggf. weitere Angaben zur Leistungserklärung und anderen Produktmerkmalen (Art. 9 Abs. 2 BauPVO).

Das CE-Zeichen ist nach Art. 9 Abs. 1 und Abs. 3 BauPVO auf dem Produkt selbst oder auf einem am Produkt angebrachten Etikett, nur nachrangig und ausnahmsweise auf

[163] Zu den einzelnen Begriffsbestimmungen wird auf die Definitionen in Art. 2 BauPVO verwiesen.

der Verpackung oder auf den kommerziellen Begleitpapieren, anzubringen. Das CE-Zeichen kann seiner Mitteilungsfunktion nur dann entsprechen, wenn es unmittelbar mit dem Bauprodukt verbunden wird und damit jedem Händler, Käufer oder Verwender zugänglich ist.

Hervorzuheben ist also, dass im Falle einer verpflichtenden CE-Kennzeichnung eine produktbezogene Zuordnung möglich sein muss und ein nur abstrakter Verweis auf ein etwa dem Hersteller allgemein verliehenes CE-Zeichen nicht ausreicht, um den entsprechenden Nachweis zu führen.

Für den Natursteinbereich gilt, dass für Rohblöcke und Rohplatten keine CE-Kennzeichnung möglich ist. Für Bekleidungsplatten, Mauersteine und Fliesen aus Naturstein ist allerdings eine CE-Kennzeichnung erforderlich.[164]

4.9.3 Folgerung: Pflicht zur CE-Kennzeichnung

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Grundlagen ist derjenige, der Bauprodukte in Verkehr bringt, nicht nur vertraglich, sondern vor allem gesetzlich verpflichtet, Bauprodukte, die in den Anwendungsbereich harmonisierter Normen fallen, entsprechend den vorstehenden Vorgaben zu behandeln und mit einem CE-Kennzeichen so zu versehen, dass eine Rückverfolgbarkeit ermöglicht ist. Von den Vorgaben der BauPVO erfasste Bauprodukte sind also sämtlich mit der entsprechenden CE-Kennzeichnung zu versehen bzw. sind die CE-Nachweise hierfür zu führen.

4.9.4 Verwenden von Bauprodukten nach den Landesbauordnungen – Ü-Zeichen

Nach den einschlägigen Landesbauordnungen der deutschen Bundesländer müssen bauliche Anlagen so angeordnet und beschaffen und für ihre Benutzung geeignet sein, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung nicht gefährdet wird (§ 3 MBO und die jeweiligen LBO). Sowohl aus der Musterbauordnung (MBO) – auf der die Bauordnungen sämtlicher Bundesländer basieren – als auch nach den Landesbauordnungen werden folgende Bauprodukte unterschieden:[165]

- Geregelte Bauprodukte
- Nicht geregelte Bauprodukte
- Sonstige Bauprodukte
- Nach der BauPVO in Verkehr gebrachte Bauprodukte, die das CE-Zeichen tragen

[164] Ausführlich (allerdings zur alten Rechtslage nach dem BauPG): *Brändlein/Deppisch*, Z. dt. Ges. Geowiss, 158/4, S. 709 ff.

[165] Überblick bei *Sieberath/Niemöller – Niemöller/Harr,* a. a. O., S. 295 ff.; *Winkelmüller/van Schwewick/Müller*, Rn 398 ff.

- Vom DIBt in einer Liste C bekannt gemachte Bauprodukte von untergeordneter baurechtlicher Bedeutung

In der Bundesrepublik Deutschland hat das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) die Aufgabe, die technischen Regeln für Bauprodukte in den Bauregellisten A, B und C aufzustellen und bekannt zu machen.[166] In der Bauregelliste A (Teil 1) werden Bauprodukte, für die es technische Regeln gibt (sogenannte geregelte Bauprodukte), zusammengefasst. Die Bauregelliste A (Teil 2) gilt für nicht geregelte Bauprodukte, die entweder nicht der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen dienen und für die es keine allgemein anerkannten Regeln der Technik gibt oder die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden, während die Bauregelliste A Teil 3 entsprechend für nicht geregelte Bauarten gilt.

In die Bauregelliste B werden Bauprodukte aufgenommen, die nach den Vorschriften der Mitgliedsstaaten der EU einschließlich deutscher Vorschriften und der Vertragsstaaten des Abkommens über den europäischen Wirtschaftsraum zur Umsetzung von Richtlinien der EG im Verkehr gebracht oder gehandelt werden dürfen und die die CE-Kennzeichnung tragen.

Die Liste C beinhaltet nicht geregelte Bauprodukte, für die es weder technische Baubestimmungen noch Regeln der Technik gibt und die nur eine untergeordnete Rolle spielen; sie sind hier nicht einschlägig.

Dies bedeutet etwa mit Blick auf das Verbundsicherheitsglas, dass für die in Anlage 05 zur Bauregelliste B, Teil 1, geregelten Fällen eine entsprechende bauaufsichtliche Zulassung vorzulegen ist.

Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung kann etwa durch das sogenannte Übereinstimmungszeichen („Ü-Zeichen“), das wiederum produktbezogen sein muss, nachgewiesen werden (Übereinstimmungsnachweisverfahren, z. B. § 22 MBO).

Es muss klar zwischen der Verpflichtung zur CE-Kennzeichnung nach der BauPVO und der Einhaltung der Landesbauordnungen unterschieden werden.

Mit Blick auf die erforderliche produktbezogene CE-Kennzeichnung spielt daher z. B. ein Prüfbericht eines staatlichen Materialprüfungsamts über eine Erstprüfung nach EN 12150-2 keine Rolle und ist nicht zur Nachweisführung geeignet. Vielmehr ist die produktbezogene CE-Kennzeichnung vorzulegen.

Auch die Teilnahme an einem Qualitätsmanagementsystem hat weder etwas mit der erforderlichen CE-Kennzeichnung noch mit einer hinsichtlich des VSG erforderlichen zusätzlichen Ü-Kennzeichnung/bauaufsichtlichen Zulassung zu tun und ist daher unerheblich.

[166] S. Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (Hrsg.): Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C, Ausgabe 2014/1.

4.9.5 Rechtsfolgen fehlender CE-Kennzeichnung/Leistungserklärung

4.9.5.1 Strafrecht/Ordnungswidrigkeiten

Abgesehen von öffentlich-rechtlichen Konsequenzen wie der Untersagungsverfügung oder das Entwerten/die Beseitigung des CE-Zeichens bzw. des Ü-Zeichens und von den vom insoweit noch gültigen BauPG erfassten Straftaten/Ordnungswidrigkeiten (§§ 8, 9 Bau PG) bzw. den landesbauordnungsrechtlich geregelten Ordnungswidrigkeiten (z. B. § 84 MBO) ist die zivilrechtliche Mangelhaftung von besonderem Interesse.

4.9.5.2 Zivilrecht

Sowohl bei einem Kaufvertrag als auch bei einem Werkvertrag stellt die fehlerhafte oder unterlassene Kennzeichnung einen Sachmangel dar. Insbesondere hinsichtlich eines Kaufgegenstands gilt, dass dieser für die mit dem Kaufvertrag vorausgesetzte Verwendung bzw. für die gewöhnliche Verwendung des Kaufgegenstands geeignet sein und die vereinbarte Beschaffenheit aufweisen muss. Da die Eignung eines Handelsgutes für die Verwendung im Verkehr wesentliches Merkmal jedes Handelsgegenstands ist, stellt das Fehlen einer ordnungsgemäßen Kennzeichnung nach der BauPVO einen Mangel dar – eine ordnungsgemäße Kennzeichnung ist nach der BauPVO rechtliche Voraussetzung für das Inverkehrbringen und den freien Warenverkehr bzw. für die Verwendbarkeit von Bauprodukten.[167]

Beruft sich demnach der Auftraggeber auf das Fehlen der Unterlagen und kann der Vertragspartner diese Unterlagen und Nachweise nicht vorlegen, kann die Haftung so weit gehen, dass der Hersteller verpflichtet werden kann, die betroffenen Produkte wieder auszubauen und durch andere Produkte, die die vorstehenden Anforderungen erfüllen, zu ersetzen.

Der Empfänger der Bauleistung sollte daher aufgrund der tiefgreifenden Konsequenzen stets auf die Überlassung entsprechender produktbezogener Nachweise bestehen.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auch nochmals auf die Vorschrift des § 377 HGB. Handelt es sich nach dessen Abs. 1 bei einem Kauf für beide Teile um ein Handelsgeschäft, hat der Käufer die Ware unverzüglich nach der Ablieferung durch den Verkäufer zu untersuchen, und, wenn sich ein Mangel zeigt, dem Verkäufer unverzüglich Anzeige zu machen. Unterlässt der Käufer die Anzeige, regelt Abs. 2, dass die Ware als genehmigt gilt, es sei denn, dass es sich um einen Mangel handelt, der bei der Untersuchung nicht erkennbar war. Im kaufmännischen Rechtsverkehr, in dem von den Parteien erwartet wird, sich mit den einschlägigen betriebswirtschaftlichen und rechtlichen Zusammenhängen besser auszukennen als bei einem privaten Kaufvertrag, muss der Empfänger der Bauleistung daher unverzüglich prüfen, ob die CE-Kennzeichnung oder, soweit erforderlich, das Ü-Kennzeichen bzw. eine erforderliche bauaufsichtliche Zulassung mit der Anlieferung nachgewiesen ist.

[167] *A. Schmidt,* a. a. O., Rn 1320 ff.; *Gay,* BauR 2010, 1827 ff. (insbesondere zur fehlenden Kennzeichnung: 1829 ff.), jeweils noch zum BauPG; *Ingenstau/Korbion-Oppler,* § 4 Abs. 2 VOB/B Rn 55.

Allerdings ist umstritten, ob diese Vorschrift, die etwa bei der zeitnahen Überprüfung beispielsweise leicht verderblicher Ware ihre Berechtigung hat, auch gelten muss, wenn der Hersteller objektiv eine Pflichtverletzung dadurch begangen hat, dass er den erforderlichen Nachweis in Form von CE-Kennzeichnungen etc. nicht geführt hat. Immerhin begeht der Hersteller in diesem Falle einen Verstoß gegen gesetzliches Recht. Die damit einhergehende Pflichtverletzung kann gemäß § 280 BGB zum Schadensersatz gegen den Hersteller führen. Vor diesem Hintergrund wird vertreten, dass der Anwendungsbereich des § 377 HGB, also die sofortige Untersuchungs- und Rügepflicht, deren Verletzung zum Haftungsausschluss des Verkäufers führt,[168] jedenfalls bei solchen Verstößen nicht überspannt werden darf.

Vertreten wird auch, dass ein derartiger Mangel letztlich keinen Sachmangel darstellt, sondern einen Rechtsmangel, für den § 377 HGB nicht anwendbar sei, sodass die Untersuchungs- und Rügepflicht für solche Fälle gar nicht eingreift. Die derzeit herrschende Meinung, insbesondere in der Rechtsprechung, geht allerdings weiterhin von einer uneingeschränkten Anwendung des § 377 HGB aus, auch wenn der Käufer und Endkunde möglicherweise mit den rechtlichen Grundlagen des durchaus komplizierten Bauproduktenrechtes nicht vertraut ist.[169]

Abgesehen davon kann diskutiert werden, dass der Hersteller, der gegen gesetzliche Vorschriften verstößt, arglistig handelt mit der Folge, dass der Mangel von ihm arglistig verschwiegen wurde und er sich nach § 377 Abs. 5 HGB auf die sofortige Untersuchungs- und Rügepflicht nicht mehr berufen kann. Den Nachweis für die Arglist muss allerdings der Käufer führen, was regelmäßig mit erhöhten Schwierigkeiten verbunden sein dürfte.

4.9.5.3 Marktüberwachung

Nach den Festlegungen zur Durchführung des Marktüberwachungsprogramms von harmonisierten Bauprodukten nach der Richtlinie 89/106/EWG und der unmittelbar mit Gesetzesrang geltenden Verordnung (EG) Nr. 765/2008 für das Jahr 2012 vom 09.12.2011 gilt wörtlich u. a. Folgendes:

► **Produktkontrollen** Einstieg jeder Produktkontrolle ist die Inaugenscheinnahme des Bauprodukts und die Kontrolle der Unterlagen (z. B. CE-Kennzeichnung, Angaben zur CE-Kennzeichnung). Wenn es angezeigt ist, z. B. bei einem Verdacht auf materielle Nichtkonformität des Bauprodukts, schließen sich Produktprüfungen an.

Dies bedeutet, dass aufgrund europäischen Rechts, das insofern auch unmittelbar geltendes deutsches Recht ist, die Einhaltung der bauproduktenrechtlichen Vorschriften in diesem Jahr geprüft wird. Hersteller und verarbeitende Unternehmen müssen sich darauf einstellen, entsprechend überprüft zu werden (Stichproben nehmen, Unterlagenprüfung,

[168] S.Abschn. 4.2.1.
[169] *OLG München*, OLGR 2001, 209 und *OLG Köln*, NJW-RR 2004, 1141; *OLG Düsseldorf*, I-23 U 47/12, Beschluss vom 04.12.2012, openJur 2013, 29072.

Geschäftsräume betreten, Produkte vernichten, vgl. Art. 19 der vorgenannten Verordnung).

Damit und mit den anderen genannten Rechtsfolgen ist auch belegt, dass eine Unterschätzung oder Vernachlässigung des Bauproduktenrechts erhebliche, vor allem wirtschaftliche Nachteile nach sich ziehen kann.

4.10 Vertragsbeendigung

Der Werkvertrag, insbesondere auch der Vertrag zur Sanierung von Bauteilen, ist strukturell davon geprägt, dass der Erfolg des Vertrags eintreten muss (§ 631 Abs. 1 BGB). Insoweit bestehen für den Auftragnehmer nur eingeschränkt Beendigungsmöglichkeiten, während der Auftraggeber jederzeit „frei“ kündigen kann.

Übersicht über Vertragsbeendigungstatbestände
Kündigung durch den Auftraggeber:

- § 8 Abs. 1 VOB/B, § 649 BGB – „freie“ Kündigung
- § 8 Abs. 2 VOV/B – Insolvenz des Auftragnehmers
- § 8 Abs. 3 VOB/B – Auftragsentziehung
- § 6 Abs. 7 VOB/B – Unterbrechung von mehr als drei Monaten
- Fristlose Kündigung aus wichtigem Grund

Kündigungsmöglichkeiten des Auftragnehmers:

- § 9 Abs. 1 Nr. 1 VOB/B, § 643 BGB – unterlassene Mitwirkungshandlung des Auftraggebers
- § 9 Abs. 1 Nr. 2 VOB/B – keine Zahlung
- § 6 Abs. 7 VOB/B – Unterbrechung von mehr als drei Monaten
- § 648a Abs. 5 BGB – keine Bauhandwerkersicherung
- Fristlose Kündigung aus wichtigem Grund

4.10.1 Kündigungen durch den Auftraggeber

4.10.1.1 Freie Kündigung

Der Auftraggeber ist berechtigt, den Bauvertrag ohne Angabe von Gründen jederzeit schriftlich zu kündigen (§ 649 Satz 1 BGB sowie § 8 Abs. 1 Nr. 1 und Abs. 5 VOB/B).

Da der Auftragnehmer bei einer freien Kündigung regelmäßig selbst keine Veranlassung gegeben hat bzw. ihn zumindest kein Verschulden an der Kündigung trifft, soll er so gestellt werden, als wenn der Vertrag ordnungsgemäß abgewickelt worden wäre. Der Unternehmer kann daher die volle Vergütung unter Abzug der ersparten Aufwen-

dungen abrechnen.[170] Hat der Auftragnehmer etwa bereits Bestellungen für Materialien veranlasst, die an keinem anderen Bauvorhaben mehr verwendet werden können (was bei Fassadenarbeiten sehr häufig der Fall sein wird), so kann er die hierfür entstandenen Kosten vom Auftraggeber auch dann erstattet verlangen, wenn die Materialien infolge der Kündigung nicht mehr verarbeitet werden.

Andererseits hat sich der Auftragnehmer ersparte Aufwendungen anrechnen zu lassen. Leistungen, die er nicht mehr erbracht hat und für die er keine Aufwendungen gehabt hat, sind daher bei der Vergütung herauszurechnen.

Dabei hat der Auftragnehmer kalkulierten Gewinn im Regelfall ebenso wie Wagnis und allgemeine Geschäftskosten nicht erspart. Baustellengemeinkosten, Lohnkosten, Stoffkosten, Gerätekosten und ggf. Nachunternehmerkosten sind dagegen demgegenüber regelmäßig als erspart anzusehen.[171]

Probleme kann die Abrechnung bei gekündigten Pauschalpreisverträgen bereiten. Hier ist der Auftragnehmer verpflichtet, die Pauschale letztlich (wieder) in Einzelleistungen zu „zerlegen“ und ggf. unter Offenlegung der ursprünglichen internen Kalkulation festzustellen, welche Leistungen erbracht bzw. welche Leistungen nicht erspart sind.[172] Bei der Abrechnung eines gekündigten Pauschalpreisvertrags hat der Auftragnehmer für die nicht ausgeführten Leistungen den darauf entfallenden Preisansatz im Verhältnis zum Pauschalpreis gemäß seiner Kalkulation darzulegen; nur ausnahmsweise gilt dies nicht, wenn zum Kündigungszeitpunkt nur noch ganz geringfügige Arbeiten zu erbringen waren, wobei die Geringfügigkeit jedenfalls bei 6 % Restleistung nicht mehr gegeben ist.[173]

4.10.1.2 § 8 Abs. 2 VOB/B – Insolvenzkündigung

Der Auftraggeber kann den Vertrag nach § 8 Abs. 2 VOB/B schriftlich kündigen, wenn der Auftragnehmer insolvent wird, wobei bereits die Beantragung eines solchen Verfahrens, nicht erst seine Eröffnung, ausreicht.

Der Kündigungsgrund liegt dabei auf der Hand: Droht der Auftragnehmer insolvent zu werden oder hat er bereits ein entsprechendes Verfahren beantragt bzw. ist ein Verfahren sogar schon eröffnet, wird der Auftragnehmer nicht mehr in der Lage sein, seine Vorleistungsverpflichtung zu erfüllen. Regelmäßig werden dann Nachunternehmen bzw. Lieferantenleistungen und Materialien nicht mehr ordnungsgemäß bezahlt werden können. Dem Auftraggeber ist es dabei nicht zuzumuten, eine Entscheidung des Insolvenzverwalters abzuwarten, ob das Verfahren überhaupt durchgeführt oder die Insolvenz noch abgewendet werden kann.

Im Falle der Kündigung steht dem Auftragnehmer bzw. ggf. dem Insolvenzverwalter die anteilige Vergütung für die ausgeführten Leistungen zu (§ 8 Abs. 2 Nr. 2 VOB/B). Zudem kann der Auftraggeber auch Schadenersatz wegen Nichterfüllung der infolge der

[170] Überblick bei *Ingenstau/Korbion-Joussen/Vygen*, § 8 Abs. 1 VOB/B, Rn 29 ff.
[171] Überblick bei *Kapellmann/Messerschmidt-Lederer*, § 8 VOB/B, Rn 28 ff.
[172] Näheres bei *Werner/Pastor*, Rn 1553 ff.
[173] *OLG Düsseldorf*, BauR 2015, 517 ff.

Kündigung nicht mehr erbrachten Restleistungen verlangen. Ob der Anspruch selbstständig werthaltig ist, muss aber regelmäßig bezweifelt werden, da die Insolvenz gerade zur Kündigung geführt hat und somit bei dem Unternehmer keine liquiden Mittel mehr zur Befriedigung des Schadenersatzanspruchs vorhanden sein dürften. Allerdings kann der Auftraggeber mit entsprechenden Ansprüchen gegen einen Werklohnanspruch des Auftragnehmers/Insolvenzverwalters die Aufrechnung erklären.[174]

4.10.1.3 Auftragsentziehung nach § 8 Abs. 3 VOB/B

In folgenden Fällen kommt nach § 8 Abs. 3 VOB/B auch eine Auftragsentziehung, also eine fristlose Kündigung durch den Auftraggeber in Betracht:

- Mängel vor Abnahme (§ 4 Abs. 7 VOB/B)
- Unzulässiger Nachunternehmereinsatz (§ 4 Abs. 8 VOB/B)
- Verzug des Auftragnehmers (§ 5 Abs. 4 VOB/B)

In allen Fällen kann der Auftraggeber den Vertrag unter Einhaltung der Schriftform (§ 8 Abs. 5 VOB/B) fristlos entziehen, wenn er dem Auftragnehmer zuvor eine angemessene Frist gesetzt hat und diese Frist fruchtlos verstrichen ist.

Beispiel: Der Auftragnehmer weigert sich, festgestellte Mängel zu beseitigen und ist zudem mit der Leistungserbringung erheblich in Verzug. Der Auftraggeber setzt dem Auftragnehmer dann schriftlich eine Frist zur Mangelbeseitigung und zur Aufholung des Verzugs.

Reagiert der Auftragnehmer nicht oder weigert sich sogar ausdrücklich, die Arbeiten zu erledigen, hat der Auftraggeber dann das Recht zur Auftragsentziehung. Der Auftraggeber ist dabei berechtigt, die Auftragsentziehung auf Teilleistungen zu beschränken oder den ganzen Auftrag zu entziehen. Der Auftragnehmer ist dann mit sofortiger Wirkung nicht mehr berechtigt, Leistungen an dem Bauvorhaben zu erbringen. Der Auftraggeber kann vielmehr die Leistungen durch ein anderes Unternehmen ausführen lassen. Ihm steht ein Schadenersatzanspruch gegen den Auftragnehmer zu, der insbesondere die Mehrkosten der Fertigstellung oder Mangelbeseitigung durch einen anderen Unternehmer umfasst.

Vorhandene Geräte, Gerüste oder sonstige auf der Baustelle vorhandene andere Einrichtungen und angelieferte Stoffe des Auftragnehmers darf der Auftraggeber nach § 8 Abs. 3 Nr. 3 VOB/B in Anspruch nehmen, muss sie aber dann angemessen vergüten.

Dem Auftragnehmer steht nur der Werklohnanspruch bis zu Kündigung zu; er muss zudem damit rechnen, mit Gegenforderungen (Schadenersatzforderungen) konfrontiert zu werden.

Da es sich insoweit neben der fristlosen Kündigung aus wichtigem Grund bei der Auftragsentziehung um einen erheblichen Eingriff in die Vertragsbeziehung der Parteien

[174] *Kapellmann/Messerschmidt-Lederer*, § 8 VOB/B, Rn 80.

handelt, sind eine Auftragsentziehung und eine fristlose Kündigung nur ausnahmsweise und als letztes Mittel in Betracht zulässig. Die volle Darlegungs- und Beweislast für die Gründe, die zur sofortigen Beendigung geführt haben, liegen beim Auftraggeber als Kündigenden. Zudem muss bei der Bewertung der Rechtmäßigkeit der außerordentlichen Kündigung eine Gesamtschau aller zur Kündigung führenden Umstände erfolgen; dabei sind auch auftraggeberseitige Verschuldensbeiträge während der Bauabwicklung zu berücksichtigen – nur nach einer Abwägung aller kündigungsbedingten Umstände kann eine fristlose außerordentliche Kündigung berechtigt sein.[175]

Auch in diesem Fall ist gemäß § 8 Abs. 6 VOB/B auf Verlangen des Auftragnehmers eine Abnahme durchzuführen. Infolge der aktuellen Rechtsprechung ist nach der Kündigung eines Bauvertrags die Werklohnforderung des Unternehmers grundsätzlich erst mit der Abnahme der bis dahin erbrachten Werkleistungen fällig.[176]

4.10.1.4 Unterbrechung von mehr als drei Monaten

Dauert eine Unterbrechung länger als drei Monate oder wurde mit der Leistung mindestens drei Monate nach dem dafür festgelegten Termin nicht begonnen,[177] kann jeder Vertragsteil gemäß § 6 Abs. 7 VOB/B nach Ablauf dieser Zeit den Vertrag schriftlich kündigen.

Voraussetzung ist, dass drei Monate ohne jede Unterbrechung ein Stillstand der Baustelle eingetreten ist. Jede Handlung, die auf die Vertragserfüllung gerichtet ist, kann diese Frist unterbrechen.

Hinsichtlich der Abrechnung sind die ausgeführten Leistungen nach den Vertragspreisen zu berechnen und außerdem die Kosten an den Auftragnehmer zu vergüten, die ihm bereits entstanden und in den Vertragspreisen des nicht ausgeführten Teils der Leistungen enthalten sind (§ 6 Abs. 7 i. V. m. § 6 Abs. 5 VOB/B). Zudem kann dem anderen Vertragsteil ein Anspruch auf Schadenersatz zustehen, wenn die hindernden Umstände von einem Vertragsteil zu vertreten sind (§ 6 Abs. 7 i. V. m. § 6 Abs. 6 VOB/B).

4.10.1.5 Fristlose Kündigung aus wichtigem Grund

Generell kommt eine kurzfristige und fristlose Vertragsbeendigung aufgrund einer tiefgreifenden Störung des Kooperations- und Vertrauensverhältnisses der Parteien in Betracht. Es muss allerdings bei einer Gesamtschau und Abwägung aller kündigungsbedingter Umstände eine vom Kündigenden nachzuweisende schwere Störung des Vertrauensverhältnisses vorliegen, die eine Fortsetzung des Vertragsverhältnisses für den Kündigenden unzumutbar macht. Diese Form der Kündigung ist damit nur das letzte Mittel (Ultima Ratio); der Auftraggeber bzw. der Kündigende ist unter dem Gesichtspunkt des

[175] BGH, NJW-RR 2012, 596 (Kurzform: IBR 2012, 320); Überblick bei *Ingenstau/Korbion-Vygen*, § 8 Abs. 3 VOB/B, Rn 5 ff.
[176] *BGH*, BauR 2006, 1294 (Kurzform: IBR 2006, 432); kritisch: *Ingenstau/Korbion-Joussen/Vygen*, § 8 Abs. 6 VOB/B, Rn 10 ff.
[177] *BGH*, BauR 2004, 1285.

Kooperationsgedankens,[178] der für alle am Bau Beteiligten gilt, zunächst verpflichtet, Verhandlungen mit dem anderen Vertragsteil zu führen und zu versuchen, die Vertrauensstörung zu beseitigen.

Eine schwere Störung der Vertragsbeziehung dürfte regelmäßig vorliegen, wenn Straftaten eine Rolle spielen, die das Vertragsverhältnis betreffen (Bestechlichkeit, Untreue etc.). Auch eine sich nachträglich herausstellende fehlende Qualifikation des Vertragspartners, hier des Auftragnehmers (z. B. keine Berechtigung zur Asbestentsorgung), kann zur fristlosen Kündigung des Vertrags führen, da die Fortsetzung des Vertragsverhältnisses mit einem nicht qualifizierten Vertragspartner sinnlos und ggf. sogar schadensträchtig ist. Schließlich wird eine schwere Vertragsverletzung auch darin erblickt, wenn einer der Vertragspartner unberechtigt eine Kündigung ausspricht. Insoweit wird eine vom Auftragnehmer als Unrecht empfundene Auftragsentziehung gemäß § 8 Abs. 3 VOB/B regelmäßig zum Anlass genommen, den Vertrag seinerseits aus wichtigem Grund fristlos wegen schwerer Vertragsverletzung zu kündigen.[179]

4.10.2 Vertragsbeendigung durch den Auftragnehmer

4.10.2.1 Unterlassene Mitwirkungshandlung des Auftraggebers

§ 9 Abs. 1 Nr. 1 VOB/B gewährt dem Auftragnehmer ein Kündigungsrecht, wenn der Auftraggeber eine ihm obliegende Handlung unterlässt und dadurch den Auftragnehmer außerstande setzt, die Leistungen auszuführen, sog. Annahmeverzug.

Bei Vereinbarung der VOB/B handelt es sich um eine Sonderregelung im Verhältnis zum gesetzlichen Kündigungsrecht nach § 643 BGB, wonach der Unternehmer bei unterlassener Mitwirkung des Auftraggebers berechtigt ist, dem Auftraggeber zur Nachholung der Handlung eine angemessene Frist zu setzen, und den Vertrag kündigen kann, wenn die geforderte Handlung nicht bis zum Ablauf der Frist vorgenommen wird.

Der Auftraggeber hat bei der Abwicklung des Bauvertrags verschiedene Mitwirkungspflichten, deren Verletzung auch dazu führen kann, dass sich der Auftragnehmer aufgrund dieser Pflichtverletzung/fehlenden Mitwirkungsverpflichtung von dem Vertrag lösen kann. Insofern finden sich in der VOB/B diverse ausdrücklich genannte Mitwirkungspflichten des Auftraggebers. Eine Pflichtverletzung, die zur Kündigung berechtigen kann, liegt beispielsweise vor

- im Bereich der Pflicht zur Bereitstellung des Baugrundstücks,
- in der Pflicht zur rechtzeitigen Übergabe der Ausführungsunterlagen,
- in der Pflicht zum Abstecken der Hauptachsen der baulichen Anlagen,
- in der Pflicht zur Aufrechterhaltung der allgemeinen Ordnung auf der Baustelle,
- in der Verletzung der allgemeinen Koordinationspflicht,

[178] *BGH*, BauR 2000, 409.
[179] Weitere Beispiele bei *Werner/Pastor*, Rn 1757.

- in der Verletzung der Pflicht zur Herbeiführung der erforderlichen öffentlich-rechtlichen Genehmigungen und Erlaubnisse oder
- in der Pflicht zur unentgeltlichen Überlassung von Lager-, Arbeitsplätzen und Anschlüssen.[180]

Die Kündigung ist nur wirksam, wenn der Auftragnehmer dem Auftraggeber die Pflichtverletzung zuvor schriftlich angezeigt und ihm eine Frist bestimmt hat, innerhalb derer die fehlende Mitwirkungshandlung nachgeholt werden soll. Außerdem muss der Auftragnehmer dem Auftraggeber vorher angekündigt haben, dass er sich bei Versäumung der gesetzten Frist vorbehält, den Vertrag zu kündigen (§ 9 Abs. 2 VOB/B).

4.10.2.2 Kündigung wegen ausbleibender Zahlungen

§ 9 Abs. 1 Nr. 2 VOB/B gewährt dem Auftragnehmer ein Kündigungsrecht bei Schuldnerverzug des Auftraggebers. Eine Kündigung kommt in Betracht, wenn der Auftraggeber eine fällige Zahlung nicht leistet oder sonst in Schuldnerverzug gerät. Fällig ist eine Zahlung, wenn der Auftraggeber nach den vertraglichen Bestimmungen zur Leistung verpflichtet ist, wenn also die Voraussetzungen für den Eintritt der Zahlungspflicht gegeben sind.[181]

Die VOB/B gewährt dem Auftragnehmer damit ein Kündigungsrecht, wenn er Zahlungen von seinem Auftraggeber nicht erhält. Dies ist konsequent, da auch der Auftragnehmer nicht das Insolvenzrisiko des Auftraggebers tragen muss. Es ist dem Auftragnehmer nicht zumutbar, weitere Vorleistungen zu erbringen, wenn er absehen kann, dass der Auftraggeber zur Zahlung weder bereit noch in der Lage ist.

Auch hier gilt nach § 9 Abs. 2 VOB/B, dass der Auftragnehmer dem Auftraggeber zunächst eine Frist zur Zahlung, verbunden mit der Androhung, den Vertrag ansonsten zu kündigen, setzen muss. Die Kündigung selbst muss wiederum schriftlich erfolgen.

4.10.2.3 Unterbrechung von mehr als drei Monaten

Auf die Vorausführungen zu Abschn. 4.10.1.4 wird Bezug genommen.

Gerade der Auftragnehmer hat die Möglichkeit, nach § 6 Abs. 7 VOB/B den Vertrag zu kündigen, wenn die Unterbrechung mehr als drei Monate andauert.

4.10.2.4 Kündigung wegen fehlender Bauhandwerkersicherung

Wie bereits in Abschn. 4.8 (Sicherheiten) gezeigt, kann der Auftragnehmer vom Auftraggeber zur Absicherung seiner Vergütungsforderungen nach § 648 a BGB eine Bauhandwerkersicherung, üblicherweise eine Bürgschaft, verlangen. Stellt der Auftraggeber dem Auftragnehmer trotz entsprechenden Verlangens und Fristsetzung keine Sicherheit nach § 648a BGB zur Verfügung, ist der Auftragnehmer berechtigt, den Vertrag gemäß § 648a Abs. 5 BGB zu kündigen.

---

[180] Überblick bei *Ingenstau/Korbion-Joussen/Vygen*, § 9 Abs. 1 VOB/B Rn 4 ff.
[181] *Ingenstau/Korbion-Joussen/Vygen*, a. a. O. Rn 73.

Wegen Einzelheiten wird auf die Ausführungen zur Sicherheit gemäß § 648a BGB im Abschn. 4.8.1.2 Bezug genommen.

4.10.2.5 Fristlose Kündigung aus wichtigem Grund

Auch der Auftragnehmer kann den Bauvertrag als letzten Ausweg (Ultima Ratio) aus wichtigem Grund kündigen, wenn eine Fortsetzung des Vertrags mit dem Auftraggeber für ihn nicht mehr zumutbar ist.

Auf die Vorausführungen zu Abschn. 4.10.1.5 in diesem Abschnitt darf Bezug genommen werden.

4.10.3 Einvernehmliche Vertragsaufhebung

Selbstverständlich steht es den Parteien im Rahmen eines Vertrags frei, den Vertrag einvernehmlich zu beenden oder aufzuheben. Hier sind die Parteien frei, Modalitäten für die Vertragsbeendigung zu regeln (Frist, Abrechnung etc.).

4.11 Vergaberecht

Als Vergaberecht bezeichnet man die Regelungen über die Vergabe von Aufträgen der öffentlichen Hand.[182] Für Verträge zwischen Privaten gilt der Grundsatz der Vertragsfreiheit in den Grenzen der gesetzlichen Verbote (§§ 134, 138 BGB) und der „guten Sitten" (§ 242 BGB). Für den öffentlichen Bereich gelten demgegenüber rechtliche Bestimmungen, die von der öffentlichen Hand, die als Auftraggeber beachtet werden müssen und die im Verletzungsfall, je nach Auftragswert, zu einem förmlichen Nachprüfungsverfahren führen können.

Als öffentlicher Auftraggeber werden der Bund, die Länder, Landkreise, Städte und Gemeinden sowie kommunale Zweckverbände und fallweise auch Private bezeichnet, die öffentliche Aufgaben, etwa der Daseinsvorsorge (z. B. Deutsche Bahn), wahrnehmen.[183]

Für den Baubereich finden sich die Rechtsgrundlagen in der VOB, Teil A, den allgemeinen Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen.

[182] Vertiefend: *Willenbruch/Wieddekind* – Vergaberecht, Kompaktkommentar; *Ingenstau/Korbion*, Kommentierung zur VOB/A; *Kapellmann/Messerschmidt*, Kommentierung zur VOB/A und zur VgV.

[183] Überblick bei *Ingenstau/Korbion-Korbion*, Anl. 2, Rn 9–15.

4.11.1 Leitprinzipien

Ergänzend gelten §§ 115 ff. GWB (Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen), die Richtlinie 2014/24/EU[184] und (nachrangig) die Vergabeverordnung (VgV). Aus § 2 VOB/A lassen sich die Leitprinzipien des Vergaberechts zusammenfassen:[185]

- Wettbewerbsprinzip
- Transparenzgebot
- Gleichbehandlungsgebot
- Vertraulichkeitsgebot
- Berücksichtigung mittelständischer Interessen

4.11.2 Schwellenwerte

Insbesondere mit Blick auf die Rechtsschutzmöglichkeiten muss bei der Anwendung des Vergaberechts auf die sog. Schwellenwerte geachtet werden. Unterhalb des Schwellenwertes ist die öffentliche Hand verpflichtet, die Vorgaben der VOB/A zu berücksichtigen; ein förmliches Nachprüfungsverfahren (dazu sogleich) findet allerdings nicht statt.

Der Schwellenwert beläuft sich nach § 106 GWB in Verbindung mit Art. 4 der Richtlinie 2014/24EU[186] für Bauaufträge auf € 5.225.000,00. Für Lose von Bauaufträgen gilt ein Schwellenwert von € 1.000.000,00. Dies kann, gerade bei Sanierungsarbeiten, relevant werden, wenn die Ausführung von Natursteinarbeiten Teil eines größeren Auftrags ist. Dann kann auch das Los „Sanierungsarbeiten Naturstein" dem europäischen Vergaberecht mit der Möglichkeit des Nachprüfungsverfahrens unterliegen, wenn die Baumaßnahme mit insgesamt € 5.225.000,00 teuer ist und ein einzelnes Los mehr als € 1.000.000,00 ausmacht.

4.11.3 Vergabe unterhalb der Schwellenwerte

Die meisten Bauaufträge werden unterhalb der sog. Schwellenwerte abgewickelt. Für sie gilt die VOB/A mit den sog. Basisparagrafen im Abschnitt 1. Nach § 3 VOB/A sind drei Arten der Vergabe vorgesehen.

4.11.3.1 Ausschreibungsarten

Bei der *öffentlichen Ausschreibung* nach § 3 Abs. 1 VOB/A werden Bauleistungen im vorgeschriebenen Verfahren nach öffentlicher Aufforderung einer unbeschränkten Zahl von Unternehmen zur Einreichung von Angeboten vergeben. Die öffentliche Ausschreibung

[184] Amtsblatt der Europäischen Union 2014 DE L94/65 ff.
[185] Vgl. *Vygen/Wirth/Schmidt,* Kap. 5, Rn 7.
[186] Amtsblatt der Europäischen Union 2014 DE L 94/65 ff.

muss nach § 3 Abs. 2 VOB/A stattfinden, soweit nicht die Eigenart der Leistung oder besondere Umstände eine Abweichung rechtfertigen. Die öffentliche Ausschreibung ist somit der „Normalfall" der Vergabe. Die öffentliche Ausschreibung erfolgt durch Veröffentlichungen in Tageszeitungen, amtlichen Veröffentlichungsblättern oder auf Internet-Portalen, § 12 Abs. 1 Nr. 1 VOB/A. § 12 Abs. 1 Nr. 2 VOB/A regelt im Einzelnen, welche Angaben die Bekanntmachung enthalten muss.

Bei der *beschränkten Ausschreibung* werden Bauleistungen im vorgeschriebenen Verfahren nach Aufforderung einer beschränkten Zahl von Unternehmen zur Einreichung von Angeboten vergeben, ggf. nach öffentlicher Aufforderung, in einem öffentlichen Teilnahmewettbewerb Teilnahmeanträge zu stellen (§ 3 Abs. 1 Satz 2 VOB/A). Die beschränkte Ausschreibung kann nach § 3 Abs. 3 VOB/A erfolgen bei Netto-Auftragswerten von bis zu € 50.000,00 für Ausbaugewerke, bis € 150.000,00 für Tief-, Verkehrswege- und Ingenieurbau sowie bis € 100.000,00 für alle übrigen Gewerke. Möglich soll dies sein, wenn eine öffentliche Ausschreibung kein annehmbares Ergebnis erbracht hat oder die öffentliche Ausschreibung aus anderen Gründen, wie etwa Dringlichkeit oder Geheimhaltung, unzweckmäßig ist (§ 3 Abs. 3 Nr. 2 und 3 VOB/A).

Eine beschränkte Ausschreibung nach öffentlichem Teilnehmerwettbewerb ist zulässig, wenn die Leistung nach ihrer Eigenart nur von einem beschränkten Kreis von Unternehmern in geeigneter Weise ausgeführt werden kann, wenn also eine bestimmte Erfahrung oder eine bestimmte technische Eigenart von vornherein nur ganz bestimmte Unternehmen für die Baumaßnahme qualifiziert (z. B. Microtunneling-Verfahren oder Spezialtiefbau). Außerdem ist die Ausnahme möglich, wenn die Ausführung nur durch einen beschränkten Kreis von spezialisierten Unternehmen möglich ist oder die Bearbeitung eines Angebots wegen der Eigenart der Leistung einen außergewöhnlich hohen Aufwand erfordert (§ 3 Abs. 4 VOB/A), z. B. bei dem Brückenbau oder dem Bau großer Bahnstrecken.[187]

Schließlich ist die *freihändige Vergabe* von Bauleistungen ohne förmliches Verfahren geregelt (§ 3 Abs. 1 Satz 3 und Abs. 5 VOB/A). Eine freihändige Vergabe ist nur zulässig, wenn die öffentliche Ausschreibung oder die beschränkte Ausschreibung unzweckmäßig ist, insbesondere,

- wenn für die Leistung aus bestimmten Gründen (Patentschutz, besondere Erfahrung oder Geräte) nur bestimmte Unternehmen in Betracht kommen,
- wenn die Leistung besonders dringlich ist,
- wenn eine öffentliche Ausschreibung aufgehoben wurde und eine erneute Ausschreibung kein annehmbares Ergebnis erwarten lässt,
- wenn es aus Gründen der Geheimhaltung erforderlich ist oder
- wenn sich eine kleine Leistung von einem vergebenen größeren Leistungsbereich nicht ohne Nachteil trennen lässt

(Aufzählung nach § 3 Abs. 5 VOB/A).

[187] *Ingenstau/Korbion – Müller-Wrede*, § 3 VOB/A, Rn 37.

Außerdem kommt die freihändige Vergabe bis zu einem Auftragswert von € 10.000,00 netto in Betracht.

4.11.3.2 Ablauf der Vergabe

§§ 7 ff. VOB/A beschreiben sodann den Ablauf einer Vergabe:

Der öffentliche Auftraggeber („Vergabestelle“) erstellt zunächst die Vergabeunterlagen, die nach § 8 VOB/A aus dem Anschreiben (Aufforderung zur Angebotsabgabe), ggf. den Bewerbungsbedingungen und den Vertragsunterlagen bestehen. Anzugeben ist auch, ob Nebenangebote zugelassen sind. Öffentliche Auftraggeber haben vorzuschreiben, dass die VOB/B und C Vertragsbestandteil werden. Der öffentliche Auftraggeber kann allgemeine Vertragsbedingungen vorgeben, insbesondere allgemeine technische Vertragsbedingungen, zusätzliche technische Vertragsbedingungen, besondere und zusätzliche Vertragsbedingungen. Außerdem ist die Leistungsbeschreibung (§ 7 VOB/A) beizufügen. Zudem hat der öffentliche Auftraggeber technische Spezifikationen in den Vergabeunterlagen zu formulieren (§ 7a VOB/A).

Bei der Aufstellung der Leistungsbeschreibung hat der öffentliche Auftraggeber darauf zu achten, dass die Leistung eindeutig und so erschöpfend beschrieben ist, dass alle Bewerber die Beschreibung in gleichem Sinne verstehen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten berechnen können. Dem Auftragnehmer darf kein ungewöhnliches Wagnis aufgebürdet werden für Umstände und Ereignisse, auf die er keinen Einfluss hat und deren Einwirkungen auf die Preise und Fristen er nicht im Voraus schätzen kann (§ 7 Abs. 1 Nr. 1 und 3 VOB/A). Hierbei handelt es sich um ein über das Vergaberecht hinausreichenden allgemeinen Rechtsgrundsatz.[188]

Die Vergabeunterlagen sind sodann bekannt zu machen. Der Auftraggeber kann dabei wählen, ob er die Informationen per Post, Telefax, direkt, elektronisch oder durch eine Kombination dieser Kommunikationsmittel übermittelt (§ 11 Abs. 1 Nr. 1 VOB/A). Die Vergabeunterlagen sind bekannt zu machen und zu versenden (Einzelheiten: §§ 12 und 12a VOB/A).

Auf dieser Grundlage können die potenziellen Auftragnehmer („Bieter“) ihre Angebote einreichen. Die Angebote müssen schriftlich und nach den Vorgaben des Auftraggebers sowie unterzeichnet eingereicht werden. Sie müssen die geforderten Preise, Erklärungen und Nachweise enthalten. Anforderungen an Form und Inhalt der Angebote ergeben sich aus § 13 VOB/A. Jegliche Änderungen an den Vergabeunterlagen sind unzulässig!

Der Auftraggeber ist gut beraten, hier besondere Aufmerksamkeit auf die Einhaltung der Form der Angebote zu richten. Geringfügigste Abweichungen können bereits zum Ausschluss des Angebots führen. So kann etwa die Angabe auf dem Briefbogen des Bieters, dass für ihn seine Allgemeinen Geschäftsbedingungen gelten oder sein Gerichtsstand der Ort „XY“ sei, bereits eine Abweichung von den Vergabeunterlagen darstellen mit der Folge, dass der Bieter ausgeschlossen werden kann und muss (§ 16 VOB/A).

[188] *Ingenstau/Korbion – von Wietersheim/Kratzenberg*, § 7 VOB/A, Rn 37–44.

Für die Bearbeitung und Einreichung der Angebote ist nach § 10 Abs. 1 VOB/A eine ausreichende Frist, mindestens zehn Kalendertage, vorzusehen. Die konkreten Umstände des Einzelfalls, insbesondere die konkrete Baumaßnahme, sind zu berücksichtigen. Die Frist läuft ab, sobald im Eröffnungstermin der Verhandlungsleiter mit der Öffnung der Angebote beginnt (§ 10 Abs. 2 VOB/A).

Sodann findet der Eröffnungstermin mit der Öffnung der Angebote statt (§ 14 VOB/A). Dieser Termin wird auch als „Submissionstermin" bezeichnet. An diesem Termin werden die Angebote, die bis dahin verschlossen sind, geöffnet und verlesen. Die Angebote werden zunächst mit einem Eingangsvermerk versehen; die Ordnungsgemäßheit der Angebote wird durch den Verhandlungsleiter festgestellt. Sodann werden die Angebote geöffnet und in allen wesentlichen Teilen im Eröffnungstermin gekennzeichnet. Über den Eröffnungstermin wird eine Niederschrift gefertigt, in der die Angebote berücksichtigt/aufgelistet werden. Festzustellen ist auch, ob und wie viele Nebenangebote abgegeben wurden.

Soweit erforderlich, schließt sich die Aufklärung des Angebotsinhalts an (§ 15 VOB/A). Bei diesen Aufklärungsgesprächen dürfen allerdings keine Verhandlungen über die Vertragsmodalitäten erfolgen. Der Termin darf lediglich dazu dienen, etwaige technische Unklarheiten aufzuklären.

Es erfolgt sodann die Prüfung und Wertung der Angebote (§§ 16 ff. VOB/A).[189]

Auf der sog. ersten Wertungsstufe findet eine *formale Prüfung* statt. Dabei werden verspätete Angebote oder solche, die die Angebotsunterlagen abändern, von vornherein ausgeschlossen (§ 16 VOB/A). So führt z. B. der zuvor beschriebene Hinweis auf die eigenen Allgemeinen Geschäftsbedingungen oder einen selbst gewählten Gerichtsstand dazu, dass ein solches Angebot bereits auf dieser Stufe aus der Wertung ausscheidet.

Auszuschließen sind auch Angebote, die unzulässige Nebenangebote vorlegen. Sofern ein Insolvenzverfahren über einen Bieter eröffnet wurde oder sich das Unternehmen in Liquidation befindet, kann ebenfalls ein Ausschluss erfolgen.

Es erfolgt sodann auf der zweiten Wertungsstufe die *Prüfung der Eignung* der Bieter (§ 16b VOB/A). Es wird geprüft, ob der Bieter die erforderliche Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit besitzt und über ausreichende technische und wirtschaftliche Mittel verfügt. § 6a VOB/A regelt dabei, welche Eignungsnachweise von dem Bieter vorzulegen sind; § 6b VOB/A zeigt die sonstigen Mittel zur Nachweisführung für die Eignung auf. Ein Angebotsausschluss kommt hier z. B. in Betracht, wenn der Bewerber nachweislich eine schwere Verfehlung begangen hat, die seine Zuverlässigkeit infrage stellt. Auch die fehlende Zahlung von Steuern und Abgaben oder Beiträgen zur Berufsgenossenschaft (Unfallversicherung) können zum Ausschluss führen.

Auf einer weiteren, dritten Stufe wird geprüft, ob die Angebote *rechnerisch, technisch und wirtschaftlich in Ordnung* sind (§ 16c VOB/A). Auf ein Angebot mit einem unange-

[189] Richtlinien für den öffentlichen Auftraggeber, abgedruckt bei *Ingenstau/Korbion – von Wietersheim/Kratzenberg,* § 16 VOB/A Rn 145.

messen hohen oder niedrigen Preis darf der Zuschlag nicht erteilt werden (§ 16d Abs. 1 Nr. 1 VOB/A).

Angebote, die diese Prüfungsstufen durchlaufen haben, stehen dann zur Beauftragung zur Verfügung. Der Auftraggeber wird dann auf der vierten und letzten Wertungsstufe *das wirtschaftlichste Angebot* auswählen. Dabei ist nicht automatisch der niedrigste Angebotspreis ausschlaggebend. Nach § 16d Abs. 1 Nr. 3 VOB/A kommen in die engere Wahl nur solche Angebote, die unter Berücksichtigung rationellen Baubetriebs und sparsamer Wirtschaftsführung eine einwandfreie Ausführung einschließlich Haftung für Mängelansprüche erwarten lassen. Unter diesen Angeboten soll der Zuschlag auf das Angebot erteilt werden, das unter Berücksichtigung aller Gesichtspunkte, wie etwa Qualität, Preis, technischer Wert, Ästhetik, Zweckmäßigkeit, Umwelteigenschaften, Betriebs- und Folgekosten, Rentabilität, Kundendienst und technische Hilfe oder Ausführungsfrist als das Wirtschaftlichste erscheint.

Obwohl die VOB/A ausdrücklich festhält, dass der niedrigste Angebotspreis allein nicht entscheidend ist (§ 16d Abs. 1 Nr. 3 Satz 3 VOB/A), erfolgen in der Praxis sehr viele Vergaben allein unter Preisgesichtspunkten. Dies liegt schon darin begründet, dass die öffentliche Hand haushaltsrechtlichen Zwängen und Überprüfungen unterliegt. Dabei gibt es prominente Beispiele dafür, dass die günstigste Angebotsausführung nicht auch die wirtschaftlichste ist, wie das Beispiel der Sanierung der Schienen im Bereich des Berliner Hauptbahnhofs nach nur knapp sieben Jahren Betrieb zeigt.

Ist sodann ein Angebot ausgewählt worden, erfolgt der Zuschlag auf dieses Angebot und die Absage an die übrigen Bieter (§§ 18, 19 VOB/A). Dabei soll der Zuschlag möglichst innerhalb der vorher mitgeteilten Zuschlagsfrist erfolgen. Ist die Einhaltung dieser Frist nicht möglich, kann mit den Beteiligten eine Verlängerung der Frist vereinbart werden. Kommt es zu einer erheblichen Verlängerung der Zuschlagsfrist, kann dem Bieter ein Anspruch auf Vergütung für Verzögerungen zustehen.[190]

Durch den „Zuschlag" kommt der Bauvertrag bereits zustande. Da das Angebot so formuliert sein muss, dass der Auftraggeber im Sinne des allgemeinen Vertragsrechts nur noch „ja" sagen muss, um das Angebot anzunehmen, kommt mit dem Zuschlag im Vergabeverfahren der Vertrag ohne weitere Verhandlungen zustande und entfaltet entsprechende Rechtsverpflichtungen für die Beteiligten. Hat ein Bieter das Angebot etwa nur abgegeben, um etwaige Füllaufträge zu generieren, oder war gar nicht ernsthaft an dem Zuschlag interessiert, wird dann aber dennoch beauftragt, ist er verpflichtet, den Vertrag auszuführen.

Zur Einhaltung des eingangs bezeichneten Transparenzgebots ist das Vergabeverfahren insgesamt zu dokumentieren (§ 20 VOB/A mit weiteren Einzelheiten).

[190] *BGH,* BauR 2009, 1131 und BauR 2010, 264; Überblick und weitere Nachweise bei *Werner/Pastor*, Rn 2330 und *Ingenstau/Korbion – von Wietersheim*, § 18 VOB/A, Rn 14 ff.

4.11.3.3 Rechtsschutzmöglichkeiten bei „Unterschwellenvergaben“

Der Rechtsschutz bei einer Vergabe unterhalb der Schwellenwerte beschränkt sich letztlich darauf, dass der Auftragnehmer die zuständige VOB-Stelle anrufen und Vergabeverstöße rügen kann (§ 21 VOB/A – Anrufung der in den Vergabeunterlagen bezeichneten Nachprüfungsstelle). Weitergehende, unmittelbar gegen die Vergabeentscheidung gerichtete Rechtsmittel stehen dem Auftragnehmer nicht zur Verfügung. Er kann insbesondere nicht gerichtlich die Aufhebung einer Zuschlagserteilung erreichen. Ob die VOB-Stelle auf die Rüge einschreitet, liegt in ihrem Ermessen, ist also ebenfalls nicht gerichtlich durchsetzbar.

Bei einem schwerwiegenden Verstoß gegen Vergabevorschriften könnte sich für den Bieter ein Schadenersatzanspruch ergeben.[191] Dabei muss der Bieter aber nachweisen, dass die öffentliche Stelle die Vergabevorschriften schuldhaft verletzt hat. Er muss zudem einen hieraus entstehenden ursächlichen Schaden nachweisen. Schließlich muss der Bieter darlegen und beweisen, dass er ohne die behauptete Verletzung eine realistische Chance gehabt hätte, den Auftrag zu erhalten; andernfalls steht ihm kein Schadenersatzanspruch zu. Die Durchsetzung eines solchen Schadenersatzanspruchs ist also mit hohen Durchsetzungsrisiken behaftet.

4.11.4 Vergabe oberhalb der Schwellenwerte

Bei Überschreitung der Schwellenwerte erfolgt die Vergabe auf der Grundlage der §§ 97 ff. GWB und – früher – der Vergabebestimmungen der Richtlinie 2004/18/EG (Vergaberechtskoordinierungsrichtlinie, s. o.), die früheren sog. „a-Paragrafen“ der VOB/A sowie neu die Richtlinie 2014/24/EU (s. o. Fußnote 3). Einschlägig ist Abschnitt 2 der VOB/A, der europarechtlich veranlasste Bestimmungen enthält (§§ 1 ff. EU VOB/A).

Die Bekanntmachungen der Vergabestelle müssen hier zwingend auch im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht werden (§ 12 Abs. 2 Nr. 2 EU VOB/A).

Bei Vergaben oberhalb der Schwellenwerte richten sich die eingangs beschriebenen Vergabearten im Abschnitt 2 der VOB/A nach § 3 EU VOB/A. Dabei sind folgende Vergabearten geregelt:

Der Regelfall ist das *offene Verfahren*, das der öffentlichen Ausschreibung nach § 3 Abs. 1 VOB/A entspricht (§ 3 Nr. 1 EU VOB/A).

Daneben ist das *nicht offene Verfahren* vorgesehen, das der beschränkten Ausschreibung nach öffentlichem Teilnehmerwettbewerb entspricht (§ 3 Nr. 2 EU VOB/A); auf die Vorausführungen zur beschränkten Ausschreibung wird Bezug genommen.

In § 3 Nr. 3 EU VOB/A ist das *Verhandlungsverfahren* geregelt, das bei dem Basisparagrafen der freihändigen Vergabe entspricht.

Für besonders umfassende Aufträge oder komplexe Bauaufgaben sieht § 3 Nr. 4 EG VOB/A den *wettbewerblichen Dialog* vor. Aufgrund der hohen Komplexität der Bau-

[191] S. a. *Ingenstau/Korbion-Portz*, § 21 VOB/A, Rn 18.

aufgabe kann der Auftraggeber nicht allein die Rahmenbedingungen der Bauausführung festlegen, sondern bedarf hier der Mithilfe fachkundiger Unternehmen. Die VOB/A, Abschnitt 1, Basisparagrafen, kennt eine solche Vergabeart nicht.

Neu eingeführt wurde das *Innovationsverfahren*: Nach § 3 Abs. 5 EU VOB/A handelt es sich um ein Verfahren zur Entwicklung von innovativen, noch nicht auf dem Markt verfügbaren Bauleistungen und zu deren späterem Erwerb.

Der weitere Ablauf eines Verfahrens oberhalb der Schwellenwerte entspricht weitgehend dem zuvor beschriebenen Verfahren, sodass auf die Vorausführungen Bezug genommen wird.

Bei der Zuschlagserteilung ist allerdings zu berücksichtigen, dass den Auftraggeber eine besondere *Informationspflicht* trifft. Er hat alle Bieter, deren Angebote nicht den Zuschlag erhalten sollen, vorab zu informieren. Die Information muss die Angabe enthalten, welches Unternehmen den Auftrag erhalten soll und warum sein eigenes Angebot nicht berücksichtigt wurde. Der Zuschlag darf mit Blick auf die Möglichkeit, für nicht berücksichtigte Unternehmen ein Vergabeverfahren durchzuführen, frühestens 15 Kalendertage nach Versendung der Bieterinformationen erfolgen (§ 19 EU VOB/A).

4.11.5 Rechtsschutzmöglichkeiten bei Vergaben oberhalb der Schwellenwerte

Hat ein Bieter in einem Vergabeverfahren oberhalb der Schwellenwerte einen Verstoß festgestellt, so muss er ihn unverzüglich rügen (§ 160 Abs. 3 GWB). Unterbleibt die *Rüge*, kann er sich in einem späteren Nachprüfungsverfahren auf den möglicherweise tatsächlich vorhandenen Vergabeverstoß nicht mehr berufen; ein Nachprüfungsantrag ist unzulässig. Die Einhaltung der Rügeverpflichtung wird von den Vergabekammern im Rahmen von Nachprüfungsverfahren streng geprüft.[192] Zahlreiche Verfahren scheitern schon daran, dass der Bieter seiner Rügeverpflichtung nicht entsprochen hat. Es ist also für den Bieter nicht möglich, zunächst abzuwarten, wie die Vergabeentscheidung verläuft und etwaige Verstöße hinzunehmen in der Hoffnung, den Auftrag als bester Bieter zu erhalten. Kommt dieser Bieter dann doch nicht zum Zuge und hat er einen erkannten Vergabeverstoß nicht vorher gerügt, bleibt er auch in einem Nachprüfungsverfahren chancenlos.

Das *Nachprüfungsverfahren* findet vor der Vergabekammer statt. Diese ist auf Länderebene regelmäßig bei den zuständigen Regierungspräsidien oder sonstigen oberen Landesbehörden angesiedelt. Der Bund richtet die entsprechenden Vergabekammern des Bundes ein (§ 156 GWB).

Gegen die Entscheidung der Vergabekammern ist das Rechtsmittel der sofortigen Beschwerde zum zuständigen Oberlandesgericht statthaft (§§ 171 ff. GWB). Das Oberlan-

[192] Überblick zur Rügeobliegenheit mit zahlreichen Nachweisen aus der Rechtsprechung bei *Willenbruch/Wieddekind – Kadenbusch*, 12. Los, Rn 42 ff.

desgericht entscheidet über die sofortige Beschwerde abschließend; weitere Rechtsmittel sind dann nicht mehr möglich.

Um die Durchführung von Vergabeverfahren insbesondere in zweiter Instanz zu limitieren und eine geordnete Bautätigkeit, die nicht durch zahlreiche Vergabenachprüfungsverfahren unnötig lange gehemmt werden soll, sicherzustellen, hat der Gesetzgeber flankierend erhebliche Kostenlasten vorgesehen. So löst die Durchführung einer sofortigen Beschwerde bei dem Oberlandesgericht regelmäßig bei Gericht bereits sechs gerichtliche Gebühren aus. Da sich der Bieter, der gegen eine Entscheidung vorgeht, vor dem Oberlandesgericht durch einen Anwalt vertreten lassen muss, kommen entsprechende Anwaltskosten hinzu. Da der Bieter, der beauftragt werden sollte, von der Vergabekammer bzw. dem Oberlandesgericht als Beigeladener zu dem Verfahren hinzugezogen wird und auch eigene Anträge stellen kann, läuft der Bieter Gefahr, für den Fall, dass sein Rechtsmittel scheitert, auch noch die vollen Kosten der übrigen Beteiligten zu tragen.

Andererseits steht dem Bieter in einem Verfahren oberhalb der Schwellenwerte damit ein förmliches Verfahren zur Verfügung, wonach die Vergabeentscheidung durch ein gerichtliches Verfahren überprüft werden kann, wohingegen dem Bieter unterhalb der Schwellenwerte kein gerichtliches Rechtsmittel zur Verfügung steht, um eine Vergabenentscheidung noch vor Zuschlagserteilung zu überprüfen.

4.12 Architektenrecht

Der Begriff des Architektenrechts ist ein Oberbegriff für die Regelung der Rechte und Pflichten der Architekten. Dieses Recht ist in mehreren Rechtsquellen geregelt. Der Komplex soll hier nur kurz gestreift werden, da der Schwerpunkt der Darstellung bei dem privaten Baurecht, dabei insbesondere bei den Rechtsbeziehungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer liegt. Für Einzelheiten wird auf einschlägige Darstellungen verwiesen.[193]

4.12.1 Grundlage: BGB

Grundlage des Architektenvertragsrechts ist zum einen das BGB, wobei der Architektenvertrag zwischenzeitlich als Werkvertrag nach §§ 631 ff. BGB angesehen wird, da der Architekt den Erfolg seiner Planungsleistung schuldet. Festzuhalten ist damit zunächst, dass die vertragliche Grundlage für die Tätigkeit des Architekten im (Werk-) Vertragsrecht des BGB zu finden ist.

[193] Zum Beispiel *Heinlein/Hilka*, HOAI-Kommentar, *Jochem/Kaufhold* HOAI-Kommentar; *Messerschmidt/Niemöller/Preussner*, HOAI-Kommentar; *Siemon/Averhaus*, Die HOAI 2013 verstehen und richtig anwenden.

4.12.2 Preisrecht (HOAI)

Die Vergütungsfragen werden allerdings in der HOAI, der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, geregelt; diese Verordnung gilt für die Berechnung der Entgelte für die Leistungen der Architekten und Architektinnen sowie der Ingenieure und Ingenieurinnen im Inland (§ 1 HOAI).

Die HOAI gilt als verbindliches Preisrecht – werden daher Leistungen erbracht, die dem Anwendungsbereich der HOAI unterfallen, gilt für die Vergütungsberechnung automatisch auch die HOAI. Allerdings können die Parteien abweichend von den Vorgaben der HOAI eine wirksame Honorarvereinbarung schließen (§ 7 HOAI). Dabei können die in der HOAI festgesetzten Mindestsätze durch schriftliche Vereinbarungen in Ausnahmefällen unterschritten werden (§ 7 Abs. 3 HOAI), wohingegen die Höchstwerte nur ausnahmsweise bei außergewöhnlichen oder ungewöhnlich lange dauernden Leistungen durch schriftliche Vereinbarung überschritten werden dürfen (§ 7 Abs. 4 HOAI).

Verbindlich geregelt sind die Honorare für Leistungen in den Teilen 2–4 der HOAI (§ 3 HOAI). Hierbei handelt es sich um die Flächenplanung nach Teil 2, die Objektplanung nach Teil 3 und die Fachplanung nach Teil 4 der HOAI.

Die Mindestsätze der HOAI gelten dabei immer, wenn zwischen Architekt und Bauherr keine oder keine wirksame Honorarvereinbarung getroffen wurde (§ 7 Abs. 6 HOAI). Die Mindestsätze der HOAI gelten zugleich nach § 7 Abs. 6 HOAI als „übliche“ Vergütung gemäß § 632 BGB – besteht also Streit über die Höhe der Vergütung, gelten die Mindestsätze der HOAI jedenfalls als gesetzlich übliche Vergütung.

4.12.2.1 Leistungsphasen

Für die Abrechnung der Architektenleistungen ist als Kernstück der Honorarordnung die Beschreibung der Leistungen, die mit einem bestimmten Honorar bewertet werden, heranzuziehen.[194] Nach § 3 Abs. 2 HOAI sind Grundleistungen, die zur ordnungsgemäßen Erfüllung eines Auftrags erforderlich sind, in Leistungsbildern erfasst. Diese Leistungsbilder gliedern sich in Leistungsphasen nach den Detailregelungen in den Teilen 2 bis 4 der HOAI (s. o.). Die Anlagen 2 bis 8 und 10 bis 15 zur HOAI beschreiben die zu dem jeweiligen Leistungsbild gehörenden Grundleistungen, wobei in den Anlagen 10 bis 15 zur HOAI die einschlägigen Leistungsphasen dargestellt sind. Die einzelnen Leistungsphasen sind nicht bei jedem Leistungsbild identisch.[195] Zusammengefasst gibt es maximal neun Leistungsphasen, die am Beispiel des Leistungsbilds „Gebäude und Innenräume“ (Teil 3 Abschn. 1, §§ 33 ff. HOAI) gemäß § 34 Abs. 3 HOAI in Verbindung mit Anlage 10 zur HOAI vorgestellt werden:[196]

[194] *Jochem/Kaufhold,* § 3 Rdnr. 15.
[195] *Messerschmidt/Niemöller/Preussner-Preussner*, § 3, Rn 34 ff. mit kurzem Überblick.
[196] S. a. *Messerschmidt/Niemöller/Preussner-Haack/Heinlein*, § 34 Rn 2 ff. und *Heinlein/Hilka-Heymann*, § 34 Rn 12 ff.; Erläuterungen zu den Leistungsphasen angelehnt an *Simmerdinger*, S. 6 f.

- Leistungsphase 1: Grundlagenermittlung
- Leistungsphase 2: Vorplanung („Vorentwurf“)
  Erstellung eines den Vorstellungen des Bauherren entsprechenden Vorplanungskonzepts sowie einer Kostenschätzung nach DIN 276 und eines Terminplans
- Leistungsphase 3: Entwurfsplanung
  Überlassung technisch und wirtschaftlich mangelfreier, genehmigungsfähiger Entwurfszeichnungen und Unterlagen nebst Objektbeschreibung und Kostenberechnung nach DIN 276
- Leistungsphase 4: Genehmigungsplanung
  Prüfung, ob das Bauvorhaben mit den öffentlich-rechtlichen Vorschriften übereinstimmt, und Einreichung einer genehmigungsfähigen Planung bei der Aufsichtsbehörde
- Leistungsphase 5: Ausführungsplanung
  Erstellung ausführungsreifer Pläne und textlicher Erläuterungen sowie die Fortschreibung des Terminplans; Überprüfen erforderlicher Montagepläne der vom Objektbauer geplanten Baukonstruktionen und baukonstruktiven Einbauten auf Übereinstimmung mit der Ausführungsplanung; Grundlage der Zusammenstellung der Ausschreibungsunterlagen
- Leistungsphase 6: Vorbereitung der Vergabe
  nach Leistungsbereichen geordnete Zusammenstellung der Unterlagen (Leistungsbeschreibungen und Leistungsverzeichnisse sowie Mengenermittlung) und Zurverfügungstellung an den Auftraggeber, Schnittstellenkoordination, Kostenkontrolle
- Leistungsphase 7: Mitwirkung bei der Vergabe
  Überlassung technisch, wirtschaftlich und rechtlich einwandfreier Vergabeunterlagen inkl. Vergabevorschlag und Preisspiegel, Erstellung eines Kostenanschlags nach DIN 276, Einholen und Werten von Angeboten, Führen von Bietergesprächen; Mitwirken bei der Auftragsvergabe
- Leistungsphase 8: Objektüberwachung
  Bauüberwachung oder Bauoberleitung – Überwachung bei der Entstehung eines plangerechten, technisch und wirtschaftlich mangelfreien Bauwerks, Koordination der fachlich Beteiligten, Dokumentation des Bauablaufs, Aufmaßnahme, Rechnungsprüfung, Abnahmen
- Leistungsphase 9: Objektbetreuung
  fachliche Bewertung von innerhalb der Verjährungsfrist festgestellten Mängeln, Objektbegehung zur Mängelfeststellung, Mitwirkung bei der Freigabe von Sicherheitsleistungen

4.12.2.2 Leistungsarten

Abgesehen davon unterscheidet die HOAI nach den preisrechtlich geregelten *Grundleistungen*, also Leistungen, die zur ordnungsgemäßen Erfüllung des Auftrags im Allgemeinen erforderlich und in den Leistungsbildern erfasst sind (§ 3 Abs. 2 Satz 1 HOAI).

Vergütungsrelevant sind darüber hinaus auch *Änderungsleistungen* (ähnlich wie bei Nachträgen im Bauvertragsrecht), die in § 10 HOAI geregelt sind. Erforderlich ist für ein Honorar wegen geänderter Leistungen stets eine schriftliche Vereinbarung der Parteien.[197]

Schließlich sind *besondere Leistungen* vergütungspflichtig, die in der HOAI selbst und in den Anhängen zur HOAI aufgezählt, aber nicht vollständig benannt sind. Hier kann die Vergütung frei vereinbart werden (§ 3 Abs. 3 HOAI).

4.12.2.3 Abrechnungssystematik

Nach § 6 Abs. 1 HOAI ergibt sich das Abrechnungssystem der Architektenvergütung. Danach richtet sich das Honorar für Architektenleistungen nach der HOAI

- für die Leistungsbilder des Teils 2 der HOAI (Flächenplanung) nach der Größe der Fläche,
- nach den für die Leistungsbilder der Teile 3 (Objektplanung) und 4 (Fachplanung) anrechenbaren Kosten des Objekts,
- nach dem Leistungsbild,
- nach der Honorarzone,
- nach der dazugehörigen Honorartafel und
- bei Leistungen im Bestand zusätzlich nach Maßgabe des § 6 Abs. 2 HOAI nach dem Umbau- und Modernisierungszuschlag auf das Honorar.

Anrechenbare Kosten sind Teil der Kosten für die Herstellung, den Umbau, die Modernisierung, Instandhaltung oder Instandsetzung von Objekten sowie für die damit zusammenhängenden Aufwendungen. Sie sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik auf Grundlage ortsüblicher Preise oder nach Maßgabe der einschlägigen Kostenvorschriften zu ermitteln (§ 4 Abs. 1 HOAI).

Welche Kosten anrechenbar sind, wird in den weiteren Bestimmungen der HOAI geregelt (z. B. § 33 HOAI für die Objektplanung Gebäude oder § 42 HOAI für die Objektplanung Ingenieurbauwerke oder § 54 HOAI für die Fachplanung technischer Ausrüstung). Ergänzend muss das Leistungsbild, wie vorstehend beschrieben, ermittelt werden.

Daneben sind die *Honorarzonen* (§ 5 HOAI) für die Honorarberechnung zu berücksichtigen. In den Honorarzonen werden Zuordnungen nach den Planungsanforderungen (von I, sehr gering, bis V, sehr hoch) und den Bewertungsmerkmalen

- Einbindung in die Umgebung,
- Anzahl der Funktionsbereiche,
- gestalterische Anforderung,
- konstruktive Anforderung,
- technische Ausrüstungen und
- Ausbau

[197] Einzelheiten zur Honorierung bei geänderten Leistungen bei *Heinlein/Hilka*, § 10.

mit Punkten bewertet. Problematisch ist dabei die Einordnung in die richtige Honorarzone.[198] Anhand eines Punkteverteilungsschlüssels[199] kann die Einordnung in die Honorarzone erfolgen.

Hat man dementsprechend die anrechenbaren Kosten und die Honorarzone ermittelt, erfolgt die Ermittlung des Honorars auf der Grundlage der *Honorartafel*, z. B. zu § 35 Abs. 1 HOAI (Gebäude und Innenräume). Hier besteht die Möglichkeit der Interpolation, d. h. unter Berücksichtigung der anrechenbaren Kosten und der Zuordnung in der Honorarzone ergibt sich ein entsprechendes Honorar (§ 13 HOAI). Dabei ist der Mindestsatz angegeben; eine Überschreitung des Mindestsatzes bedarf der Rechtfertigung etwa durch besonderen Arbeitsaufwand, Fristeneinhaltung, außergewöhnliche Umstände bei der Bauzeit oder der Baugestaltung etc.

Beispiel: Für Gebäude und raumbildende Ausbauten wurden anrechenbare Kosten von € 200.000,00 ermittelt. Weiterhin wurden durchschnittliche Planungsanforderungen festgestellt, sodass die Honorarzone III einschlägig ist. Somit kann die Vergütung nach der Honorartafel gemäß § 35 Abs. 1 HOAI von € 27.863,00 (Mindestsatz) bis € 34.751,00 betragen.

Für *Sanierungen* gelten ergänzend die Vorschriften der *§§ 6 Abs. 2 und 36 HOAI,* für Leistungen bei Umbauten und Modernisierungen von Gebäuden kann für Objekte ein Zuschlag von bis zu 33 % auf das ermittelte Honorar schriftlich vereinbart werden (§ 36 Abs. 1 HOAI).

Für Leistungen bei Umbauten und Modernisierungen von Innenräumen in Gebäuden kann bei einem durchschnittlichen Schwierigkeitsgrad ein Zuschlag von bis zu 50 % auf das ermittelte Honorar schriftlich vereinbart werden (§ 36 Abs. 2 HOAI).

4.13 Öffentliches Baurecht

Ebenso wie das Architektenrecht soll das öffentliche Baurecht hier nur kurz angesprochen werden, da der Schwerpunkt der Darstellung auf dem Bauvertragsrecht, also dem privaten Baurecht, liegt.[200]

[198] Weitergehend *Werner/Pastor*, Rn 907 ff.
[199] *Werner/Pastor*, Rn 907; *Messerschmidt/Niemöller/Preussner-Preussner*, § 6 Rn 33.
[200] Zur Vertiefung: *Muckel*, Öffentliches Baurecht (Grundriss); *Battis/Kautzberger/Löhr*, Kommentar zum Baugesetzbuch sowie Kommentierungen zu den Landesbauordnungen, in Hessen z. B. *Hornmann*, Hessischer Bauordnung-Kommentar.

4.13.1 Überblick: Rechtsgrundlagen/Bauplanungsrecht-Bauordnungsrecht

Die Regelungen, die bestimmen, nach welchen Grundsätzen überhaupt gebaut werden darf und welche Vorgaben bei dem Bau zu beachten sind, folgen, abgesehen von den sogenannten anerkannten Regeln der Technik, öffentlich-rechtlichen Normen, also staatlichen Bestimmungen, die durch die am Bau Beteiligten einzuhalten sind.

Als Teil des besonderen Verwaltungsrechts umfasst das öffentliche Baurecht die Gesamtheit der Rechtsvorschriften, die die Zulässigkeit und die Grenzen, die Ordnung und die Förderung der baulichen Nutzung des Bodens, insbesondere durch Errichtung, bestimmungsgemäße Nutzung, wesentliche Veränderungen und Beseitigung baulicher Anlagen, betreffen.[201]

Für viele Bauvorhaben ist eine Baugenehmigung erforderlich. Die zuständige Behörde prüft insoweit, ob das Bauvorhaben den einschlägigen öffentlich-rechtlichen Bestimmungen entspricht und genehmigt bei Vorliegen dieser Voraussetzung den Bau bzw. den Bauantrag, ggf. unter sogenannten Auflagen, die der Bauherr zu erfüllen hat, damit die Baugenehmigung in Bestand erwachsen kann.

Für kleinere Bauvorhaben und Einfamilienhäuser kann ein vereinfachtes Baugenehmigungsverfahren bestehen, was aber in den jeweiligen Landesbauordnungen zu überprüfen ist. Grundsätzlich ist allerdings von einer Genehmigungspflicht auszugehen.

Einschlägig sind dabei Vorschriften des Bundes und der Länder, fallweise auch Ortsrecht der Gemeinden. Eine abschließende Aufzählung der insoweit einschlägigen Vorschriften ist hier nicht möglich; es soll nur ein allgemeiner Überblick gegeben werden. Dabei ist danach zu unterscheiden, ob Bauplanungsrecht (Raumordnung, Bauleitplanung und Fachplanung) oder Bauordnungsrecht (technische Anforderungen, Gefahrenabwehr) einschlägig ist:

- Bauplanungsrecht
  - Raumordnungsgesetz (ROG) → Überörtliche und fachübergreifende Raumordnung
  - Baugesetzbuch (BauGB) → Bauleitplanung
  - Baunutzungsverordnung (BauNVO)
  - Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), Bundesfernstraßengesetz → Fachplanung
- Bauordnungsrecht
  - Musterbauordnung (MBO)
  - Landesbauordnungen der Länder

Zu beachten sind auch Vorgaben, die sich etwa aus dem Bauproduktengesetz in Erfüllung von Vorgaben der Europäischen Union ergeben. Diese betreffen beispielsweise die Kennzeichnung von Produkten mit dem „CE“-Zeichen.[202]

[201] *Battis/Krautzberger/Löhr*, Einleitung Rn 3.
[202] S. hierzu Abschn. 4.9 (Bauproduktenrecht).

Öffentlich-rechtlich verantwortlich sind:

- Bauherr
- Architekt/Planer
- Unternehmer (ausführender Auftragnehmer)
- Bauleiter

Die vorgenannten Personen und Institutionen haften in öffentlich-rechtlicher Hinsicht dafür, dass die öffentlich-rechtlichen Bauvorschriften, die technischen Vorgaben und baupolizeilichen Anordnungen eingehalten werden.

Regelungen finden sich zudem im Ortsrecht, wenn etwa im Rahmen einer Stadtsatzung bestimmt wird, welche Farben und Bauarten zur Verwendung kommen können, um z. B. ein historisches Stadtbild zu schützen.

4.13.2 Baugenehmigungsverfahren

Im Baugenehmigungsverfahren wird durch die zuständige Bauordnungsbehörde (im Zusammenspiel mit anderen Fachbehörden) geprüft, ob die öffentlich-rechtlichen Bestimmungen zur Errichtung eines Bauwerkes eingehalten sind. Die Behörde bewilligt bzw. genehmigt dann, ggf. mit Auflagen, das Bauvorhaben. Für die Einhaltung der öffentlich-rechtlichen Vorschriften bleibt der Bauherr aber dennoch gegenüber der Behörde und anderen verantwortlich.

Landesrechtliche Besonderheiten sind dabei zu beachten. So kann der Abbruch oder die Beseitigung baulicher Anlagen nach einigen Landesbauordnungen genehmigungsfrei sein; insoweit besteht nur eine Anzeigepflicht. Hier müssen aber die Landesbauordnungen herangezogen werden, um im Einzelfall Klarheit zu erhalten.

Durch die Bebauung oder die Änderung einer Bebauung verwirklicht der Eigentümer des Grundstücks sein grundgesetzlich geschütztes Eigentumsrecht nach Art. 14 Abs. 1 GG. Danach wird das Eigentumsrecht grundrechtlich, also mit Verfassungsrang, garantiert; der Eigentümer darf grundsätzlich mit seinem Eigentum nach Belieben verfahren (s. a. § 903 BGB). Er muss allerdings in bauordnungsrechtlicher Hinsicht entsprechende Vorschriften bei der Errichtung von Bauvorhaben beachten. Aufgrund der Grundrechtsgarantie des Grundgesetzes hat der Eigentümer aber grundsätzlich Anspruch auf Erteilung einer Baugenehmigung, wenn keine im Baugenehmigungsverfahren zu prüfenden Bedenken und Vorschriften der beabsichtigten Bebauung entgegenstehen.

Um die Baugenehmigung zu erhalten, muss der Bauherr einen vollständigen Bauantrag einreichen. Einen Hinweis über die einzureichenden Unterlagen bietet die Bauvorlagenverordnung.[203] Dabei sind landesrechtliche Besonderheiten zu berücksichtigen.

[203] Verordnung über Bauvorlagen und die Errichtung von automatisierten Abrufverfahren für Aufgaben der Aufsichtsbehörden vom 07.11.2012 in Nds. GVBl. 2012 419; es handelt sich um eine beispielhaft herausgegriffene Verordnung des Landes Niedersachsen.

Folgende Unterlagen[204] gehören allerdings regelmäßig hierzu:

- Bauantrag
- Lageplan
- Auszug aus der Liegenschaftskarte/Flurkarte
- Auszug aus dem Grundbuch
- Bauzeichnungen
- Bautechnische Nachweise wie Standsicherheitsnachweis und Statik, Wärmeschutznachweis, Schallschutznachweis oder Brandschutznachweis

Bei dem Bauantragsverfahren ist die Bauvorlageberechtigung zu berücksichtigen. Bauvorlagen müssen von einem/einer Bauvorlageberechtigten geprüft und unterschrieben werden. Zu diesen Bauvorlageberechtigten zählen Architekten und Bauingenieure, sofern sie in die Architektenliste bzw. die Liste der bauvorlageberechtigten Ingenieure eingetragen sind.

Die Behörde prüft sodann den schriftlichen Antrag dahingehend, ob die bauordnungsrechtlichen Vorschriften des Landes sowie die bauplanungsrechtlichen Vorschriften des Bundes eingehalten sind. Dabei werden möglicherweise beteiligte Fachbehörden angehört und um Stellungnahme gebeten. So sind z. B. bundes- und/oder landesgesetzliche Vorgaben des Wassergesetzes, des Abwassergesetzes, des Denkmalschutzes, des Abfallwirtschaftsgesetzes oder Bundes-Immissionsschutzgesetzes zu berücksichtigen.

Üblicherweise lässt sich der Bauherr von den betroffenen Nachbarn durch Unterschrift auf der Bauvorlage bestätigen, dass sie mit der Errichtung einverstanden sind. Sollte ein Nachbar nicht zustimmen, kann die Baugenehmigung trotzdem erteilt werden. Sie wird dann auch dem Nachbarn zugestellt, der nach (erfolgloser) Durchführung eines Widerspruchsverfahrens (§ 68 VwGO) auch ein selbstständiges Klagerecht hat, die Baugenehmigung im Wege einer Anfechtungsklage vor dem Verwaltungsgericht (§ 113 VwGO) anzugreifen. Der Bauherr kann seinerseits gegen eine Baugenehmigung, die unter Auflagen erteilt wurde, oder gegen eine Baugenehmigung, mit deren Inhalt er nicht einverstanden ist, vorgehen oder aber die Behörde verpflichten, eine entsprechende Baugenehmigung zu erlassen.[205]

Ist die Baugenehmigung erteilt, ist das Schriftstück an der Baustelle sichtbar anzubringen (§ 2 MBO sowie die jeweilige Landesbauordnung). Erst dann kann mit den Arbeiten begonnen werden. Der Baubeginn ist der Baubehörde anzuzeigen.

Eine Baugenehmigung kann nicht beliebig lange in Anspruch genommen werden. Beginnt der Bauherr nicht mit den Bauarbeiten, wird die Baugenehmigung nach den einschlägigen Landesbauordnungen ungültig. Verlängerungen sind allerdings möglich; im

[204] Überblick über mögliche Bauantragsunterlagen und Muster eines Bauantrags nach § 68 Sächsische Bauordnung bei *Stahr*, Bausanierung, Kap. 2.3, S. 76 ff.

[205] Einzelheiten zum Widerspruchsverfahren in §§ 68 ff. VwGO sowie zur Klage in § 113 VwGO (Anfechtungs- bzw. Verpflichtungsklage).

Übrigen kann die Behörde jederzeit prüfen, ob die Voraussetzungen für das Bauen noch vorliegen.

Auch wenn in einigen Landesbauordnungen zwischenzeitlich eine Tendenz erkennbar wird, die Baugenehmigungsvoraussetzungen durch die behördliche Prüfung zu lockern, muss bei einem Bauvorhaben, insbesondere auch bei Sanierungsarbeiten, durch den Bauherren geprüft werden, ob die öffentlich-rechtlichen Vorschriften eingehalten werden. So kann z. B. bei der Veränderung eines Holzhauses zwingend die Vorlage einer Statik erforderlich sein.

Zudem muss der Bauherr darauf achten, dass Grenzabstände zum Nachbarn durch Baumaßnahmen nicht verletzt werden. Hier kann ein Anspruch auf Zustimmung nach den Nachbarschaftsgesetzen der Länder bestehen. Andererseits führt das Überbauen der Grenze im Extremfall dazu, dass die Behörde den Abriss des Bauwerkes verfügen kann.

Nach Durchführung der Bauarbeiten findet eine öffentlich-rechtliche Bauabnahme statt, die nicht mit der rechtsgeschäftlichen Abnahme, wie sie in Abschn. 4.5 beschrieben ist, zu verwechseln ist. Nach den Landesbauordnungen findet eine öffentlich-rechtliche, also behördliche Bauabnahme bzw. Bauzustandsbesichtigung statt. Dabei wird die Einhaltung der Bauvorschriften geprüft, nicht aber, ob der Bau den vertraglichen Vereinbarungen entspricht.

4.14 Möglichkeiten der Anspruchsdurchsetzung bzw. Anspruchsabwehr

Die Austragung von Streitfällen im Zusammenhang mit der Abwicklung von Baumaßnahmen kann sowohl im Rahmen eines förmlichen gerichtlichen Prozesses vor einem staatlichen Gericht, vor einem von den Parteien selbst gewählten Schiedsgericht oder außerhalb eines Prozesses/Verfahrens im Wege einer, ggf. moderierten, Einigung erfolgen.

4.14.1 Prozessuale Möglichkeiten

Die „klassische“ Möglichkeit, streitige Ansprüche zu klären, besteht darin, ein gerichtliches Verfahren durchzuführen. In baurechtlichen Streitigkeiten kommt ein solches Verfahren dadurch in Gang, dass der Unternehmer den aus seiner Sicht noch offenen Werklohn bei Gericht einklagt. Der Verfahrensablauf richtet sich nach der Zivilprozessordnung (ZPO). Die gerichtlichen Zuständigkeiten ergeben sich dabei ergänzend aus dem Gerichtsverfassungsgesetz (GVG). Bis zu einem Streitwert von € 5000,00 sind die Amtsgerichte zuständig (§ 23 Nr. 1 GVG), bei denen kein Anwaltszwang herrscht, bei denen eine Partei also ihren Anspruch auch ohne anwaltliche Hilfe durchsetzen kann (§ 78 ZPO).

Ab einem Streitwert von € 5000,00 sind die Landgerichte für die Durchführung der ersten Instanz zuständig (§ 71 Abs. 1 GVG). Überwiegend beginnen baurechtliche Streitigkeiten aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung bei den Landgerichten.

Da es sich bei diesen Streitigkeiten häufig um Angelegenheiten aus einem Rechtsgeschäft handelt, das für beide Teile ein Handelsgeschäft ist, bzw. um Geschäfte, an denen zumindest auf der einen Seite ein Kaufmann im Sinne des Handelsgesetzbuchs (HGB) beteiligt ist, kommt dann die Zuständigkeit einer Kammer für Handelssachen in Betracht (§§ 95, 96 GVG). Dieser aus einem Berufsrichter und zwei ehrenamtlichen Richtern aus dem Bereich Wirtschaft/Handwerk bestehende Spruchkörper wird auf Antrag, im Regelfall des Klägers, tätig; andernfalls verbleibt der Rechtsstreit bei der „normalen" Zivilkammer (drei Berufsrichter). Fallweise sind bei Gerichten mittlerweile auch aus drei Berufsrichtern bestehende Baukammern eingerichtet worden (z. B. in München, Köln, Frankfurt am Main und Hamburg).

Der zuständige Spruchkörper besteht aus einer Kammer mit drei Mitgliedern. Gemäß § 349 a ZPO herrscht allerdings das originäre Einzelrichterprinzip. Vor allem aus Kostengründen ist man bei der ZPO-Reform 2002 dazu übergegangen, Rechtsstreite obligatorisch dem Einzelrichter zuzuweisen, obwohl eigentlich das Kollegium (drei Richter) als Spruchkörper zuständig wäre. Nur wenn die Sache eine besondere Schwierigkeit aufweist oder von besonderer rechtlicher Bedeutung ist, wird der Rechtsstreit im Regelfall durch die Kammer als Kollegium entschieden. Bei besonders schwierig gelagerten Fällen kann der zuständige Einzelrichter auch eine Rückübertragung auf die Kammer beantragen, die über diesen Antrag mit Mehrheit beschließt.

Ein gerichtliches Klageverfahren wird dadurch eingeleitet, dass die klagende Partei einen bestimmenden Schriftsatz, die Klageschrift, einreicht. In einem solchen Schriftsatz müssen die beklagte Person, der Antrag, zu was er/sie verurteilt werden soll, die anspruchsbegründenden Tatsachen sowie die zur Verfügung stehenden Beweismittel bezeichnet sein (§§ 130, 253 ZPO). Nach Eingang der Klage fordert das Gericht bei der Klagepartei zunächst einen Kostenvorschuss ab, der sich nach dem Streitwert richtet und anhand einer einschlägigen Tabelle auf der Grundlage des Gerichtskostengesetzes (GKG) unter Berücksichtigung der einschlägigen Gebührentatbestände berechnet wird. Bei einem *beispielhaften* Streitwert von € 250.000,00 muss der Kläger nach §§ 11, 45 GKG in Verbindung mit der Kostentabelle drei Gebühren als Vorschuss einzahlen, im konkreten Beispielsfall also € 6312,00.

Nach Einzahlung des Vorschusses wird die Klage dem Gegner zugestellt. Dabei wird der Beklagtenseite üblicherweise eine sogenannte Notfrist, also eine Frist, die nicht verlängerbar und deren Nichteinhaltung auch nicht heilbar ist,[206] gesetzt, um zu erklären, dass sie sich gegen die Klage verteidigen wird. Binnen einer weiteren Frist wird der Beklagtenpartei aufgegeben, auf die Klage zu erwidern. Dabei ist alles vorzutragen, was gegen den Klageanspruch einzuwenden ist, und auch insoweit die erforderlichen Beweismittel zu bezeichnen.

Nach freiem Ermessen bestimmt das Gericht sodann die weitere Vorgehensweise. Entweder kann bereits nach Vorliegen der Klageerwiderung (bzw. sogar schon mit der Zustellung der Klageschrift) ein früher erster Termin zur mündlichen Verhandlung inklusive

[206] S. § 224 ZPO.

Güteverhandlung durchgeführt werden (§ 275 ZPO). Das Gericht kann aber auch zugleich mit der Zustellung der Klageschrift das schriftliche Vorverfahren angeordnet haben (§ 276 ZPO). Dies bedeutet, dass die Parteien zunächst Schriftsätze wechseln, und das Gericht, wenn die Parteien wechselseitig jeweils zweimal Stellung genommen haben (Erfahrungswert), sodann die Sache möglicherweise ausdifferenzierter beurteilen kann und einen Termin zur mündlichen Verhandlung anberaumt.[207]

Das Gericht ist verpflichtet, in jeder Lage des Verfahrens auf eine gütliche Einigung der Parteien hinzuwirken (§ 278 Abs. 1 ZPO). Es wird daher, wenn nicht die Parteien schriftsätzlich mitteilen, dass eine Einigung ohnehin aussichtslos ist, in jedem Falle versucht werden, in einer der Hauptverhandlung vorgeschalteten Güteverhandlung den Parteien eine gütliche Einigung vorzuschlagen (§ 278 Abs. 2 ZPO).

Kommt eine solche Einigung nicht zustande, tritt das Gericht in die eigentliche mündliche Verhandlung und damit in das streitige Verfahren ein. Die Parteien stellen dann im Regelfall die Anträge, sodass das Gericht den Vorgang weiter bearbeiten kann. In einem „üblichen“ Bauprozess schließt sich häufig, da es zumeist um die Klärung technischer Fragen als Grundlagen für Vergütungsansprüche oder Mängelbehauptungen des Auftraggebers geht, die Einholung eines Sachverständigengutachtens als Beweismittel an. Da das Gericht im Regelfall nicht über den erforderlichen technischen Sachverstand verfügt, muss es sich zur Entscheidungsfindung in dieser Hinsicht, ggf. auch in baubetrieblicher und baupreislicher Hinsicht, durch einen Sachverständigen beraten lassen. Im Regelfall wird ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger aus dem entsprechenden Fachbereich beauftragt. Können die Parteien sich auf einen Sachverständigen einigen, wird im Regelfall dieser Sachverständige vom Gericht ausgewählt. Können die Parteien sich nicht auf die Person eines Sachverständigen einigen, wird das Gericht sich, etwa durch die zuständige Industrie- und Handelskammer oder Handwerkskammer oder auch Architektenkammer, einen geeigneten Sachverständigen benennen lassen.

Der gerichtliche Sachverständige, der sein Gutachten in Person zu erstellen hat, kann sich zur Gutachtenerstellung ggf. Hilfspersonals bedienen, also weitere Sachverständige für weitere Fachgebiete hinzuziehen. Dies erfolgt in Abstimmung mit dem Gericht; die Parteien sind gegenüber dem Sachverständigen nicht weisungsbefugt, da alleiniger Auftraggeber des Sachverständigen das Gericht ist (§§ 404, 407 ZPO).

Der Sachverständige legt, nachdem er ggf. einen oder mehrere Ortstermine durchgeführt und über die Parteien ergänzende Unterlagen angefordert hat, ein Gutachten bei Gericht vor, das die Parteien sodann zur Stellungnahme erhalten. Erfahrungsgemäß werden Einwendungen insbesondere durch die Partei erhoben, zu deren Lasten das Gutachten ausfällt. Im Regelfall wird der Sachverständige mit diesen Einwendungen konfrontiert; er wird aufgefordert, ein schriftliches Ergänzungsgutachten zu erstatten. Ergänzend bzw. alternativ kann der Sachverständige auch zur Erläuterung seines Gutachtens in einem Termin zur mündlichen Verhandlung geladen werden.

[207] Zur Strukturierung eines baurechtlichen Großprozesses: *Griem*, Jahrbuch für Baurecht 2002, S. 303 ff.

Sofern erforderlich, erhebt das Gericht zudem Beweis durch Vernehmung von Zeugen oder die Auswertung von Urkunden, um zu einer abschließenden Entscheidung zu gelangen. Ist die Beweisaufnahme durchgeführt und hält das Gericht den Rechtsstreit für entscheidungsreif, wird ein Urteil erlassen. Dabei wird es in Bauprozessen, bei denen es nicht nur um die Klärung rechtlicher, sondern in erheblichem Umfang auch um tatsächliche Fragen geht, selten 100 % zugunsten oder zulasten einer Partei entschieden, wenn nicht etwa reine Rechtsfragen, z. B. ob die Inanspruchnahme einer Bürgschaft wirksam ist oder nicht, zu entscheiden sind. Dementsprechend hat die jeweils unterlegene Partei auch die Kosten, im Regelfall anteilig, zu tragen.

Beispielfall: Die Beweisaufnahme ergibt, dass die eingeklagte Forderung von € 250.000,00 in Höhe von € 100.000,00 begründet ist.

Das Gericht wird den Beklagten zur Zahlung dieses Betrags nebst Zinsen, im Regelfall in Höhe von neun Prozentpunkten über dem Basiszinssatz gemäß § 247 BGB p. a.,[208] verurteilen und die Klage im Übrigen abweisen. Von den Kosten hätte im Beispielsfall die Klägerin 3/5 und der Beklagte 2/5 zu tragen. Die konkret zu erstattenden Kosten werden im Kostenfestsetzungsverfahren nach §§ 104 ff. ZPO durch das Gericht im Wege eines vollstreckbaren Beschlusses festgesetzt.

Die Partei, zu deren Lasten das Urteil ausgefallen ist, kann im Umfang, in dem sie „beschwert" ist, in dem sie also durch das Urteil belastet wird, die Berufung zum Oberlandesgericht (bei Streitwerten bis € 5000,00 zum Landgericht) einlegen (§§ 511 ff. ZPO). Die Berufung muss innerhalb eines Monats nach Zustellung des Urteils eingelegt werden (wiederum Notfrist) und ist innerhalb eines weiteren Monats zu begründen (§§ 517, 520 ZPO). Die Frist zur Begründung ist einmalig um einen Monat verlängerbar; weitere Fristverlängerungen bedürfen der Zustimmung des Gegners (§ 520 Abs. 2 ZPO). Das Oberlandesgericht kann auch in der Besetzung als Einzelrichter entscheiden, tagt aber oft auch in der vorgesehenen Besetzung mit drei Berufsrichtern (§ 526 ZPO). Der Spruchkörper beim OLG nennt sich Senat.

Zu beachten ist, dass sämtlicher Tatsachenvortrag in der ersten Instanz zu erfolgen hat. Neue Tatsachen, die bereits bei der ersten Instanz vorzutragen gewesen wären und bekannt waren, aber nicht vorgetragen wurden, werden in der zweiten Instanz grundsätzlich nicht mehr berücksichtigt (§ 531 ZPO). Die Berufungsinstanz ist im Regelfall dafür vorgesehen, insbesondere Rechtsfehler der ersten Instanz zu korrigieren. Hierzu kann auch eine Nachholung einer Beweisaufnahme, also Überprüfungen in tatsächlicher Hinsicht, gehören, wenn die erste Instanz dies rechtsfehlerhaft unterlassen hat; neuer Sachvortrag, der in

[208] Der Basiszinssatz beträgt nach § 247 BGB 3,62 %. Er wird zum 01.01. und 01.07. eines Jahres in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen Verhältnissen von der Deutschen Bundesbank bekannt gegeben und im Bundesanzeiger veröffentlicht. Er ist derzeit negativ und beträgt z. B. ab dem 01.07.2016 −0,88 %.

der ersten Instanz noch nicht erfolgt ist, ist aber regelmäßig nicht möglich und wird vom Oberlandesgericht auf der Grundlage der ZPO zurückgewiesen.

Gegen die Entscheidung des Oberlandesgerichts ist in bestimmten Fällen ein weiteres Rechtsmittel, die Revision zum Bundesgerichtshof (BGH), gegeben (§§ 542 ff. ZPO). Die Revision kann nur darauf gestützt werden, dass die angegriffene Entscheidung auf einer Rechtsverletzung beruht (§ 545 ZPO). Sofern die Sache rechtsgrundsätzliche Bedeutung hat, lässt das Oberlandesgericht bei seinem Berufungsurteil die Revision im Regelfall ausdrücklich zu. Andernfalls schließt das Urteil des Oberlandesgerichts mit der Feststellung, dass die Revision nicht zugelassen wird.

In diesem Fall ist ein Rechtsmittelführer verpflichtet, zunächst eine Nichtzulassungsbeschwerde einzureichen, bei der geprüft wird, ob trotz der Nichtzulassung der Revision durch das Berufungsgericht dennoch das Rechtsmittel der Revision möglich ist (§ 544 ZPO). Erst wenn dieser Zwischenschritt erfolgreich für den Rechtsmittelführer beschieden wurde, kann die Revision durchgeführt werden. Hintergrund für dieses Zwischenverfahren ist die Überlegung, dass der Bundesgerichtshof als Revisionsgericht die Aufgabe hat, die Einheitlichkeit der Rechtsprechung und Rechtsanwendung sicherzustellen. Dieser Kontrollfunktion könnte es entgegenlaufen, wenn das oberste Gericht mit Revisionen überschwemmt würde. Andererseits wird nicht zu Unrecht kritisiert, dass durch die Nichtzulassungsbeschwerde die Revisionsinstanz durch die Praxis der Zulassungsentscheidung von der Rechtswirklichkeit abgeschottet wird.[209]

Allerdings soll die Nichtzulassungsbeschwerde gewährleisten, dass dem Bundesgerichtshof stets genügend Fallmaterial für einen eigenen Überblick über die Rechtswirklichkeit vorgelegt wird; ein Korrektiv wurde geschaffen, indem Wertgrenzen, die für die Einlegung der Revision bzw. der Nichtzulassungsbeschwerde erforderlich waren, abgeschafft wurden.[210] Festzuhalten bleibt aber, dass der weit überwiegende Teil der Nichtzulassungsbeschwerden im Ergebnis nicht erfolgreich ist.

Der Bundesgerichtshof in der Revision prüft lediglich noch Rechtsfragen. Er kann die Angelegenheit gegebenenfalls zur weiteren Bearbeitung an das Oberlandesgericht zurückverweisen. Wenn der BGH durch Urteil über die Revision abschließend entschieden hat, ist der Rechtsweg erschöpft. Im Interesse des Rechtsfriedens bestehen dann keine Möglichkeiten mehr, gegen das Endurteil des BGH vorzugehen.

In seltenen Fällen, worauf aus Gründen der Vollständigkeit hingewiesen werden soll, kommt eine Verfassungsbeschwerde zum Bundesverfassungsgericht in Karlsruhe in Betracht. Dabei muss allerdings ein Grundrechtverstoß geltend gemacht werden, also ein Verstoß, der durch die Verfassung (das Grundgesetz) sanktioniert wird; einfache Rechtsverstöße genügen hier nicht (§§ 90 ff. BVerfGG). Die Darlegungsvoraussetzungen sind hier hoch. Eine zu Unrecht und missbräuchlich durchgeführte Verfassungsbeschwerde, die von vornherein keine Aussicht auf Erfolg bietet, kann durch das Bundesverfassungs-

[209] *Zöller-Heßler*, § 544 Rn 2.
[210] *Zöller-Heßler*, a. a. O.

gericht mit einer Missbrauchsgebühr gegenüber dem Beschwerdeführer, aber auch dem ihn vertretenden Anwalt, belegt werden (§ 34 Abs. 2 BVerfGG).

4.14.2 Selbstständiges Beweisverfahren

In baurechtlichen Streitigkeiten geht es oftmals darum, ob die Werkleistung des Unternehmers frei von Mängeln ausgeführt wurde. Hierüber kann zwischen den Parteien auch schon in einem frühen Stadium der Bauausführung Streit bestehen. Die Baubeteiligten können daher u. a. zur Klärung, ob Mängel vorliegen, ein selbstständiges Beweisverfahren nach §§ 485 ff. ZPO einleiten.

Der Antragsteller wendet sich an das für ihn zuständige Gericht (im Regelfall Landgericht, wenn der zu erwartende Mangelbeseitigungsaufwand über € 5000,00 liegt) und beantragt, durch die Einholung eines Sachverständigengutachtens festzustellen, dass die Leistung Mängel aufweist bzw. die Leistung mangelfrei ist, je nachdem, wer das Verfahren initiiert (Auftraggeber oder Werkunternehmer). Das Gericht wird, wie vorstehend unter 1. beschrieben, einen Sachverständigen mit Feststellungen beauftragen. Der Vorteil besteht darin, dass die diesbezüglichen Feststellungen in einem etwaigen, später zu führenden Folgeprozess nicht mehr angegriffen werden können und sich Bindungswirkung für die Beteiligten entfaltet.

Aus diesem Grunde wird in der häufigen Einkleidung, dass der Auftraggeber, etwa gegenüber einem Generalunternehmer, ein selbstständiges Beweisverfahren mit Mängelbehauptungen einleitet, durch den Generalunternehmer an seine ausführenden Unternehmen (z. B. Natursteinbauer) der Streit verkündet. Regelmäßig werden auch die Planer/Architekten durch Streitverkündungen in derartige Auseinandersetzungen einbezogen. Die Streitverkündung führt ebenfalls die Bindungswirkung herbei (§ 74 ZPO) – stellt sich heraus, dass etwa der Generalunternehmer tatsächlich einen Mangel gegenüber seinem Auftraggeber zu vertreten hat, kann er durch die Streitverkündung für einen Regressprozess gegenüber dem Planer oder dem ausführenden Unternehmen aufgrund der Bindungswirkung die tatsächlichen Feststellungen, ggf. gegen den Unternehmer, wenn ein Mangel festgestellt wird, oder den Planer, zugrunde legen, ohne dass sich der in Anspruch Genommene gegen die Richtigkeit dieser Feststellungen noch wehren könnte.

Der Nachteil des gerichtlichen selbstständigen Beweisverfahrens besteht entgegen seiner ursprünglichen gesetzgeberischen Intention darin, dass es sich letztlich in der Praxis um kein Eilverfahren handelt. Nach Eingang des Antrags auf Durchführung eines selbstständigen Beweisverfahrens erhält der Gegner den Antrag zur Stellungnahme und wird versuchen, die Beweiserhebung zu verhindern oder zumindest abzuschwächen. Die gerichtlich bestellten Sachverständigen arbeiten regelmäßig nicht mit hoher Geschwindigkeit, was auch an der erheblichen Auslastung dieser Sachverständigen liegt. Liegt das Gutachten dann vor, bestehen, wie unter 1. dargestellt, die Möglichkeiten für die Parteien, gegen das Gutachten Einwendungen zu erheben und den Sachverständigen möglicherweise auch in einem Termin zur mündlichen Verhandlung zu hören. Vor diesem Hintergrund

können derartige selbstständige Beweisverfahren teilweise jahrelang andauern, sodass der Beschleunigungseffekt dort nicht erreicht wird.

Aus diesem Grunde wählen die Parteien zur beschleunigten Feststellung von Mangelsachverhalten ein anderes Verfahren, indem sie Privatsachverständige beauftragen oder, sofern möglich, eine schiedsgutachterliche Vereinbarung treffen. Ein von einer Partei eingeschalteter privater Gutachter sollte in jedem Fall ein öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger sein, da dessen Aussagen nach der einschlägigen Rechtsprechung als qualifizierter Parteivortrag vom Gericht zu berücksichtigen sind.[211] Der Vorteil besteht auch darin, dass kostengünstiger und zügiger eine gutachterliche Stellungnahme vorliegt, da der Privatgutachter sich nicht mit den Einwendungen der Gegenseite auseinandersetzen muss.

4.14.3 Einstweiliges Verfügungsverfahren

In bestimmten Fällen kann es erforderlich sein, unverzüglich, also ohne weitere zeitliche Verzögerung, eine Entscheidung, zumindest vorläufig, treffen zu lassen. Hierfür stellt die Zivilprozessordnung das Rechtsmittel der einstweiligen Verfügung bereit (§§ 935 ff. ZPO). Mit einer einstweiligen Verfügung wird eine sehr kurzfristige Entscheidung eines Gerichts herbeigeführt, die allerdings nur vorläufig ist. Die Endentscheidung bleibt einem anschließenden streitigen Hauptsacheverfahren vorbehalten. Hauptanwendungsfall einer einstweiligen Verfügung in baurechtlichen Streitigkeiten ist die Eintragung einer Bauhandwerkersicherungshypothek nach § 648 BGB.

4.14.4 Schiedsgerichtliches Verfahren

Die Parteien können auch vereinbaren, dass sie eine Streitigkeit den staatlichen Gerichten entziehen und einem Schiedsgericht übertragen. Bei kleineren Streitigkeiten einigen die Parteien sich auf einen Schiedsrichter, der verbindlich die Angelegenheit für die Parteien entscheidet, ohne dass Ihnen noch die Möglichkeit belassen wäre, Rechtsmittel einzulegen oder ein staatliches Gericht anzurufen, es sei denn, das Schiedsgericht würde grundrechtsrelevante Verstöße bei seiner Entscheidungsfindung begehen.

Bei größeren Streitigkeiten wird ein Schiedsgericht, etwa nach der Streitlösungsordnung für das Bauwesen (SL Bau), früher Schiedsgerichtsordnung Bau, durchgeführt. Dabei bestellt jede Partei einen Schiedsrichter, wobei die beiden bestellten Schiedsrichter dann einen Obmann als Vorsitzenden wählen.

Der Vorteil der Schiedsgerichte wird darin erblickt, dass diese zumeist schneller und unkomplizierter als die staatlichen Gerichte handeln und im Regelfall mit baurechtlichen

[211] *BGH*, NJW-RR 2008, 1252; *BVerfG*, NJW 1997, 122 (qualifizierter Parteivortrag muss in Entscheidungsfindung einbezogen werden); *Werner/Pastor*, Rn 148 ff., 3066, 3105.

Fachleuten besetzt sind. Nennenswerte Kostenersparnisse sind mit einem Schiedsgerichtsverfahren allerdings nicht immer verbunden, da die Schiedsrichter auf der Grundlage des Rechtsanwaltsvergütungsgesetzes in Abhängigkeit vom Streitwert oder zu treffender Honorarvereinbarungen bezahlt werden.

4.14.5 Mediation

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass zunehmend auch im baurechtlichen Bereich Mediationsverfahren angeboten werden. Insbesondere bei gerichtlichen Mediationsverfahren wird die Angelegenheit einem extra hierfür ausgebildeten oder zugeteilten Richter übertragen (Güterichter). Dieser lädt die Parteien zu einem Verhandlungstermin, der bewusst nicht in einem üblichen Verhandlungssaal, sondern in einem Besprechungszimmer und möglichst unbürokratisch und informell stattfindet. Der Richter ist hierbei eher Moderator, der versucht, die wechselseitigen Interessen der Parteien zu ermitteln und einer gütlichen Einigung zuzuführen.

Die Mediation ist seit Juli 2012 in einem neuen Mediationsgesetz jetzt auch gesetzlich geregelt. Ziel ist die Förderung der außergerichtlichen Konfliktbeilegung.

4.15 Abkürzungsverzeichnis

a. a. O.	am angegebenen Ort
ABl. EG	Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft
Abs.	Absatz
AGB	Allgemeine Geschäftsbedingungen
Anh.	Anhang
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
Art.	Artikel
ATV	Allgemeine technische Vertragsbedingungen
BAnz	Bundesanzeiger
BauGB	Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414), das durch Art. 118 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist
BauPVO	Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09.03.2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates
BauR	Baurecht Zeitschrift für das gesamte öffentliche und zivile Baurecht

BauNVO	Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) vom 23.01.1990 (BGBl. I S. 132), zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 11.07.2013 (BGBl. I S. 1548)
BauPG	Gesetz zur Durchführung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Umsetzung und Durchführung anderer Rechtsakte der Europäischen Union in Bezug auf Bauprodukte (Bauproduktengesetz – BauPG) vom 05.12.2012 (BGBl. I S. 2449, 2450), zuletzt geändert durch Art. 119 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474)
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 02.01.2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), zuletzt geändert durch Art. 3 des Gesetzes vom 24.05.2015 (BGBl. I S. 1190)
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BGH	Bundesgerichtshof
BImSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen oder ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17.05.2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Art. 76 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474)
BVB	Besondere Vertragsbedingungen
BVerfGG	Gesetz über das Bundesverfassungsgericht in der Fassung der Bekanntmachung vom 11.08.1993 (BGBl. I S. 1473), zuletzt geändert durch Art. 8 der Verordnung vom 31.08. 2015 (BGBl. I S. 1474)
bzw.	beziehungsweise
CE	Conformité Européenne
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EG VOB/A	Vergabevorschriften nach dem zweiten Teil der VOB/A nach der Richtlinie 2004/18/EG des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 31.03.2004 über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsverträge (ABl L 134 vom 30.04.2004, S. 114; L 351 vom 26.11.2004, S. 44)
EN	Europäische Norm(en)
EnEV	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)

	in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.07.2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch die zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18.11.2013 (BGBl. I S. 3951) – „EnEV 2014“ und durch Art. 326 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474)
EP	Einheitspreis
etc.	et cetera
ETZ	Europäische technische Zulassung
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
ff.	folgende
GG	Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im BGBl. Teil III, Gliederungsnr. 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 23.12.2014 (BGBl. I S. 2438)
ggf.	gegebenenfalls
GKG	Gerichtskostengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 27.02.2014 (BGBl. I S. 154), zuletzt geändert durch Art. 9 des Gesetzes vom 11.10.2016 (BGBl. I S. 1042)
GVG	Gerichtsverfassungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 09.05.1975, zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 04.11.2016 (BGBl. I S. 2460)
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.06.2013 (BGBl. I S. 1750, 3245), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 17.02.2016 (BGBl. I S. 203)
HGB	Handelsgesetzbuch in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 4100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch Art. 5 des Gesetzes vom 05.07.2016 (BGBl. I S. 1142)
HOAI	Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) vom 10.07.2013 (BGBl. I S. 2276)
Hrsg.	Herausgeber
HWK	Handwerkskammer
IBR	Immobilien- und Baurecht, Zeitschrift
IHK	Industrie- und Handelskammer
i. V. m.	in Verbindung mit
Kap.	Kapitel
KG	Kammergericht
LG	Landgericht

MediationsG	Mediationsgesetzvom 21.07.2012 (BGBl. I S. 1577), zuletzt geändert durch Art. 135 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474)
MBO	Musterbauordnung (MBO), herausgegeben und aktualisiert von der Bauministerkonferenz (ARGE Bau), aktuelle Fassung aus dem Jahr 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2012
m. w. N.	mit weiteren Nachweisen
NJW	Neue Juristische Wochenschrift
NJW-RR	NJW-Rechtsprechungsreport Zivilrecht
Nr.	Nummer
NVwZ	Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht
NZBau	Neue Zeitschrift für Baurecht und Vergaberecht
OLG	Oberlandesgericht
OLGR	OLG Report
openJur	(Freie juristische Fachdatenbank)
p. a.	per anno (jährlich)
Rn	Randnummer
ROG	Raumordnungsgesetz vom 22.12.2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Art. 124 der Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474)
S.	Seite
s.	siehe
SLBau	Streitlösungsordnung für das Bauwesen in der Fassung vom 01.07. 2016 (mit Korrektur September 2013), entwickelt von der Deutschen Gesellschaft für Baurecht e. V. und dem Deutschen Beton- und Bautechnikverein e. V.
s. o.	siehe oben
v. a.	vor allem
VgV	Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge (Vergabeverordnung – VgV) vom 12.04.2016 (BGBl. I S. 624)
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VOB/A	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen, Fassung 2016 (BAnz AT vom 19.01.2016, B3) in Anwendung seit 18.04.2016
VOB/B	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, Fassung 2016 (BAnz AT vom 19.01.2016, B3)
VOB/C	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Allgemeine technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV)

VOF	Vergabeordnung für freiberufliche Leistungen, Ausgabe 2009 (BAnz Nr. 185a vom 08.12.2009); gültig bis 18.04.2016
VOL/A	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen, Teil A, Ausgabe 2009 (BAnz Nr. 196a vom 29.12.2009)
VwGO	Verwaltungsgerichtsordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 19.03.1991 (BGBl. I S. 686), zuletzt geändert durch Art. 3 des Gesetzes vom 13.10.2016 (BGBl. I S. 2258)
WBVB	Weitere besondere Vertragsbedingungen
WHG	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Art. 2 und 4 Abs. 73 des Gesetzes vom 18.07.2016 (BGBl. I S. 2585)
WPK	Werkseigene Produktionskontrolle
z. B.	zum Beispiel
Z. dt. Ges. Geowiss.	Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften
ZPO	Zivilprozessordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 05.12.2005 (BGBl. I S. 3202; 2006 I S. 431; 2007 I S. 1781), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 11.10.2016 (BGBl. I S. 2222)
ZTV	Zusätzliche technische Vertragsbestimmungen

Literatur

Battis/Krautzberger/Löhr (2016) Baugesetzbuch, 13. Aufl.

Baumbach/Hopt/Merkt (2016) Handelsgesetzbuch, 37. Aufl.

Brändlein/Deppisch (. . .) CE-Kennzeichnung von Naturstein. Z dt. Ges. Geowiss. 158/4, S. 709 ff.

Gay (2010) Die Mängelhaftung des Baustoffherstellers, BauR 2010, 1827 ff.

Griem (2002) Strukturierung eines baurechtlichen Großprozesses, Jahrbuch für Baurecht 2002, S. 303 ff.

Heinlein/Hilka (2014) HOAI Kommentar, 1. Aufl.

Hofmann/Frikell/Schwamb (2015) Unwirksame Bauvertragsklauseln, 12. Aufl.

Hornmann (2011) Hessische Bauordnung (HBO), 2. Aufl.

Ingenstau/Korbion (2015) Kommentar zur VOB, Teile A und B. In: Leupertz/v. Wietersheim (Hrsg.), 19. Aufl.

Jochem/Kaufhold (2016) HOAI-Kommentar, 6. Auflage

Kapellmann/Messerschmidt (2015) VOB, Teile A und B, Kommentar, 5. Aufl.

Leinemann (2016) VOB/B-Kommentar, 6. Aufl.

Messerschmidt/Niemöller/Preussner (2015) HOAI Kommentar

Muckel (2014) Öffentliches Baurecht, 2. Aufl.

Niemöller/Harr (2015) Freier Warenverkehr und Produktsicherheit – ein Gegensatz?, NZBau 2015, 274 ff.

Palandt (2016) Bürgerliches Gesetzbuch, 75. Aufl.

Sieberath/Niemöller (2013) Kommentar zur DIN EN 14351-1, Fenster und Türen, 3. Aufl.

Siemon/Averhaus (2014) Die HOAI 2013 verstehen und richtig anwenden

Simmerdinger (2009) HOAI 2009. Praxisleitfaden für Ingenieure und Architekten

Stahr (Hrsg.) (2015) Bausanierung, 6. Aufl.

Vygen/Wirth/Schmidt (2015) Bauvertragsrecht, 7. Aufl.

Werner/Pastor (2015) Der Bauprozess, 15. Aufl.

Willenbruch/Wieddekind (Hrsg.) (2014) Vergaberecht Kompaktkommentar, 3. Aufl.

Wirth/Kuffer (Hrsg.) (2010) Der Baustoffhandel

Zöller (2016) Kommentar zur Zivilprozessordnung, 31. Aufl.

Sachverzeichnis

A
Abbindeschwund, 488
Abblättern, 110
Abbröckeln, 121
Abbruch, 317
Abgefaste Fuge, 535
Ablagerung, 105
Ablösung, 114
Abmehlen, 112
Abpellen, 114
Abplatzen, 109
Abreißfestigkeit, 302
Absanden, 121
Absaugen, 338
Abschelbern, 121
Absorptionsgrad, 56
Abtrag, 336
Ab- und Anlagerung, 315
Abwitterungen, 310
Adhäsionsriss, 519
Adobe, 6
Aerogel, 366
Algen, 57, 381
Algenwachstum, 381
Alkaliempfindlichkeit, 294
Alkaliempfindlichkeitsklasse, 294
Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR), 302, 312
Altbeschichtung, 325
Altbeton, 300, 319
Altbetonklasse, 321
Altsteinzeit, 2
  jüngere, 3
Anflanschprinzip, 524
Anion, 83
Anpressprinzip, 526
Anstrich, 518
  infrarotreflektierender, 383
Anstrichbläue, 233
An- und Ablagerung
  haftungsmindernde und -trennende, 325
Arbeitsfuge, 487
Arbeitsfugenband, 528
Aufdoppelung, 371
Ausbleichen, 104
Ausblühung, 105, 108, 325
Ausbruch, 121
Ausdehnungskoeffizient, 30
Ausgleichsfeuchte, 38
Auskragung, 60
Außenabdichtung, 46, 136
Außenschale, 372
Außentür, 271
Außenwand, 33
Außenwandfugen, 535
Aussinterung, 325

B
Backstein, 11, 16, 89
Backsteinarchitektur, 12
Balken, 219
Balkon, 272
Bandage, 346
Bauabnahme, 71
Baugeschichte, 1
Baugrundrisiko, 71
Bauphysikalische Eigenschaft, 500
Bauschädliche Salze, 329
Baustahl, 299
Baustroh, 367
Bauteilfeuchte, 323, 329
Bauteiltemperaturen, 327
Bauwerksabdichtung, 46

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

M. Stahr (Hrsg.), *Sanierung von Fassaden, Putzen, Fugen*,
https://doi.org/10.1007/978-3-658-08407-3

Bauwerksbedingte Risse, 415
Bauwerksdiagnostik, 74
Bauzustandsuntersuchung, 71
Beanspruchung, 52
Beanspruchungsgruppe, 46
Begasen, 268
Begrünungssystem
  wandgebundenes, 383
Benetzbarkeit, 329
Beschichtung, 330, 332, 358, 359
Beschichtungssystem
  alkalisches, 382
  Biozid, 382
  dickeres, 383
Beständigkeit, 289
Beton, 14, 289, 323, 356
Betonauftrag, 332
Betondeckung, 85, 329, 330
  unzureichende, 306
Betondruckfestigkeitsklasse, 301
Betonersatz, 332, 354, 356
Betonersatzbeton, 356
Betonersatzmörtel, 356
Betonersatzprodukt, 356
Betonfassade, 290
Betoninstandsetzung, 300, 332
Betonkorrosion, 319
Betonkosmetik, 317
Betonrezeptur, 290, 313
Betonschaden, 289, 331
Betonüberdeckung, 291
Betonzusatzmittel, 294
Betonzusatzstoff, 298
Beurteilung von Rissen, 415
Bewässerung, 389
Bewässerungssystem, 387
Bewegungsfuge, 484, 487, 554
Bewehrung, 291, 299
  Abrostungsgrad, 329
  Beschichtung, 352
  freiliegende, 307
  Korrosion, 329
Bewehrungsgehalt, 300
Bewehrungskorrosion, 319, 331
  chloridabhängigen, 331
  karbonatisierungsabhängige, 331
Bewuch
  biologischer, 119
Bewuchs, 315
  biogener, 119
Bezug zum „Riss“, 471
Biegefestigkeit, 213
Biegerisse, 342
Biegezugfestigkeit, 329
Biegezugspannungen, 290
Bindemittel, 93, 290
Bindemittelverlust, 32
Binderverband, 93
Biozid, 261
Biozid-Verordnung, 262
Bituminöse Beschichtung, 137
B-Klasse, 301
Blähglas, 366
Blähperlit, 366
Blähton, 366
Blasenbildung, 110
Blättling, 238
Bläuepilze, 233, 271
Blockverband, 93
Bohrloch, 346
Bohrlochtränkung, 266
Bohrpacker, 346
Brandschutz, 24, 363
Brauner Keller- oder Warzenschwamm, 237
Braunfäule, 235
Brinell-Methode, 213
Bruch, 51
Bruchsteinmauerwerk, 10
Bürsten, 337

C
Chemische Verfahren, 130
Chlorid, 328
Chloridbelastung, 313
Chloridgehalt, 326
Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion, 326
C-Klasse, 301
CM-Messung, 81

D
Dachentwässerung, 47
Dachentwässerungsanlage, 48
Dämmmaterial, 366
Dämmstoff, 285
Darr-Methode, 83
Dauerhaftigkeit, 15, 212, 244, 300, 318, 363
Dauerhaftigkeitsklasse, 212, 225, 244
Dehnfähiges Verbinden, 343

Dehnfuge, 346, 475, 484
Dehnfuge mit Fugendichtstoff – Verfahren E5, 437
Dehnfuge mit Profil – Verfahren E6, 438
Dehnfugenband, 528, 530
Dehnungsfuge, 379, 487
Denkmalschutzbehörde, 72
Depassivierung
  chloridabhängige, 328
  karbonatisierungsabhängige, 328
Dichte, 15, 213
Dichtstoffe, 491
  elastische, 513
Dichtstoffmaterial, 518
Dichtungsbahn, 139
Dichtungsband, 515, 554
Dichtungsmasse, 492, 493
Dickbeschichtung, 324
Dickschichtsystem, 368
Diffusion, 39, 59
Diffusionsfähigkeit, 358
Diffusionsoffen, 59
DIN EN 1504-9, 330
DIN 4108-2, 363
DIN 18195, 44
DIN 18531-18535, 44
Druckfestigkeit, 213, 300, 323, 329, 506
Druckkraft, 501
Druckloses Verfahren, 265
Druckstrahlen
  mit Luft und Feststoffen, 337, 339
  mit Wasser, 338, 339
  mit Wasser und Feststoffen, 338, 339
Druckverfahren, 265
Dübel, 380
Dünnschichtsystem, 368
Dünnschliffuntersuchung, 329
Durchbiegung, 115
Durchdringung, 47
Durchfeuchtungsgrad, 39, 133

E
Ebenheit, 324
Echter Hausschwamm, 235, 236, 267
Eckschutzschiene, 368, 378
Eigenüberwachung, 321
Einbaufeuchte, 59
Einbettungsprinzip, 524
Einblasverfahren, 373
Einbringmenge, 266
Eindringtiefe, 266
Einfüllstutzen, 346
Einhandziegel, 16
Einrammen von Edelstahlblechen, 127
Einsichtnahme, 328
Einstufige Fugendichtung, 482
Einstufige Fugendichtung (geschlossene Fuge), 491
Einwirkung, 319
Eisenbeton, 298
Eisenbewehrung, 298
Eisensulfid, 309
Elastizitätsmodul, 301, 506
Elektroosmose, 134
Elektrophysikalisches Verfahren, 134
Elementdichtstoff, 512, 514
Energieeinsparverordnung (EnEV), 21, 149, 363
Energieholz, 217
Entsalzung, 144
Entsalzungsverfahren, 145
Entstauben, 338, 339
Entwässerung, 389
Epoxidharz (EP), 343
EPS, 365, 366, 372
Erhärtungsprozess, 290
Erosion, 112
Erstarrungsprozess, 290
Ettringitbildung
  sekundäre, 301
Ettringittreiben, 326
E-Modul, 301
Expositionsklasse, 313, 319–321

F
Fachwerk, 93
Fachwerkbau, 11
Farbe, 15, 92
Farbfassung, 29
Farbgebung, 28
Farbigkeit, 92
Farbkernbildung
  regelmäßige, 211
  unregelmäßige, 211
Farbschattierung bzw. Verschmutzung an der Putzoberfläche, 414
Fassade, 1, 25
  Farbe, 25

Form, 25
Gliederung, 25
hinterlüftete, 14
Material, 25
Putz-, 11
Stuck-, 11
Fassadenbegrünung, 364, 384, 389
Fassadenbekleidung, 284
transluzente, 373
Fassadenelement, 292
Fassadengebundenes Begrünungssystem, 387
Fassadengestaltung, 25
Fassadenprofil, 282
Fäulnis, 270
Fehlstelle, 84
Feinmörtel, 305, 325
Feinmörtelschicht, 324
Feinspachtel, 324, 357
Fenster, 271
Fenster-, Türanschlüsse/Fensterbänke, 379
Festbetoneigenschaft, 300
Festigkeit, 213
Fettriss, 418
Feuchtebelastung, 38, 59
Feuchteempfindlichkeit, 292
Feuchtegehalt, 85, 325
massebezogener, 38
praktischer, 38
volumenbezogener, 38
Feuchteschaden, 54, 246, 413
Feuchteschutz, 154
klimabedingter, 363
konstruktiver, 43, 363
Feuchteverhalten, 215
Feuchtewechsel, 32
Feuchtezustand, 341
Feuchtigkeitsklasse, 292, 319, 321
Feuchtstrahlen, 338, 339
Flachdachrichtlinie, 48
Flammstrahlen, 338
Flecken, 105
Flexibler Rissverschluss mit Fugendichtstoff – Verfahren E3, 437
Folien, 514
Form, 92
Formänderungen, 488
Format, 92
Formstein, 16, 89, 90
Fotogrammetrie, 79
Fräsen, 337
Fremdeinwirkungen, 488
Frischbeton, 303
Frischholzinsekten, 243
Frostbeständigkeit, 329
Frostfestigkeit, 15
Frost-Tausalz-Beanspruchung, 313
Frost-Tausalz-Beständigkeit, 313
Frost-Tau-Beanspruchung, 313
Frost-Tau-Beständigkeit, 313
Frost-Tau-Widerstand, 292
Fruchtkörper, 250
Fuge, 95, 562
offene, 536
Fugenabdichtungen, 527
Fugenband, 492, 522, 527, 544, 556
Fugenbeanspruchung im Mauerwerk, 557
Fugenbreit, 508
Fugenbreite, 490
Fugenbreitenänderung, 533
Fugenbunt, 507
Fugendichtmassen, 539, 551
Fugendichtstoff, 506, 511, 512, 542
Fugenflanke, 516
Fugengrau, 508
Fugenkreuz, 539
Fugenmörtel, 506
Fugenplanung, 472
Fugenränder, 534, 542, 552
Fugenriss, 419
Fugentiefe, 490, 491
Fugenverbindungen, 497
Fugenweiß, 507
Füller, 292
Füllstoff, 341, 345
Fungizid, 261
Funktionalität, 363

G

Gebäudehülle, 31, 363
Gebäudeschäden, 50
Gebrannter Ziegel, 90
Gebrauchsklasse, 223
Gebrauchstauglichkeit, 300
Gefahrenklasse, 264
Gefüge, 15
Gefügestörung, 32
Gelporen, 304
Gerissene Zugzone, 474

Geschlossenzellige Kugelporen, 303
Geschossmauerwerk, 28
Gesims, 28, 60
Gesteinskörnung, 292
  feuchteempfindliche, 309
  verunreinigte, 309
Gesteinsmehl, 292
Gewände, 28
Gewöhnlicher Nagekäfer, 242
Giftstoff, 264
Gips, 509
Gipsneubildung, 302
Glas, 14
Glaspulver, 15
Glaswolle, 375
Glätten, 552
Gleichgewichtsfeuchte, 38, 216
Graffiti, 105
Grenzbebauung, 364
Grobkosten, 89
Großtafelbauweise, 501
Grundsatzlösung, 333
Grundstücksgrenze, 364

H
Haarriss, 114
Häcksel, 15
Haftanstrich, 516
Haftbrücke, 355
Haftscherfestigkeit, 506
Haftungsverlust, 113
Handstrichziegel, 16, 89, 90
Hanfwolle, 367
Härte, 213
Harzausscheidung, 270
Hausbock, 268
Hausbockkäfer, 240
Heißluftverfahren, 268
Hinterfüllmaterial, 542
Hinterlüftung, 287
Hintermauerziegel, 16
Hirnholz, 255
Historischer Fugenmörtel, 509
Hohlmauerwerk, 93, 102
Hohlraum, 84
Hohlraumdämmung, 373
Hohlraumverfüllung, 133
Holz, 207, 209, 252
  Kernriss, 230
  Luftriss, 230
  Riss, 230
  Sternriss, 230
  Trockenriss, 230
Holzart, 284
Holzbekleidung, 278
Holzfaser, 366
Holzfaserplatte, 367, 372
Holzfehler, 226
Holzfeuchtigkeit, 285
Holzkrankheiten, 226, 231
Holzschädling, 252
  pflanzlicher, 222
  tierischer, 222
Holzschutz, 247, 252
  baulicher, 288
  chemisch vorbeugender, 261
  chemischer, 260, 288
  konstruktiver, 253, 288
  vorbeugender baulicher, 253
Holzschutzmaßnahme
  bauliche, 208
  chemische, 208
Holzschutzmittel, 260, 262
  fixierendes, 262
  nicht fixierendes, 262
Holzschutzmittelverzeichnis, 262
Holzweichfaserplatte, 375
Holzwerkstoff, 252
Holzwespe, 243
Holzwolle, 366
Holzwolleleichtbauplatte, 375
Holzwolleplatte, 372
Horizontalabdichtung, 46, 123
HWL-Platte, 366
Hydratationsgrad, 303
Hydratationswärmeentwicklung, 311
Hydrophob, 381
Hydrophobierung, 156, 330, 332, 358
Hygroskopische Feuchteaufnahme, 329

I
Industrieholz, 217
Injektion, 158, 343, 349
Injektionsmittel, 39, 132
Injektionspumpe, 348
Injektionsschlauch, 531
Injektionsverfahren, 39, 130, 131, 341
Innenabdichtung, 46, 139

Innendämmung, 375
Innenwanddämmsysteme, 23
Insektenbefall, 239
Insektizid, 261
Instandhaltung, 318
Instandhaltungskonzept, 318
Instandhaltungsmaßnahme, 331
Instandhaltungsrichtlinie, 318–320, 330
Instandsetzung, 315, 317
Instandsetzungskonzept, 71
Instandsetzungsmaßnahme, 318
Instandsetzungsmaterial, 331
Instandsetzungsplanung, 71, 72, 300
Instandsetzungsprinzip, 320, 330, 333
  C, 333
  K, 333
  R, 333
  W, 333
Instandsetzungsverfahren, 300, 331
iQ-Therm, 376
Ist-Zustand, 71

J
Jungsteinzeit, 5

K
Kalkausblühung, 308
Kalksandstein, 103
Kalktreiben, 312
Kältebrücke, 372
Kalziumsilikat, 366, 375
Kalziumsilikatziegel, 90
Kantenausbildung, 283
Kantenausbruch, 501
Kapillar, 39
Kapillarität, 329
Kapillarporen, 304
Kapillarporosität, 304
Karbonatisierung, 303, 311
Karbonatisierung des Betons, 489
Karbonatisierungstiefe, 329
Kathodischer Korrosionsschutz, 352
Kation, 84
Kerbriss, 418
Kerndämmung, 373
Kernholz, 209, 218
Kernholzbildung, 211
Kernzonenverlust, 122
Kiesnester, 306
Klangprüfung, 328
Klebepacker, 346
Kleber, 527
Klimatische Bedingung, 329
Klinker, 16, 89
Klinkerelement, 149
Knickfestigkeit, 214
Kohäsionsriss, 519
Kohäsionsverlust, 110
Kohle, 15
Kondenswasser, 42
Konstruktionsfuge, 487
Konvektion, 59
Kork expandiert, 367
Korrosionsprüfung, 329
Korrosionsschutz, 330
Korrosionsschutzbeschichtung, 326
Korrosionsschutzsystem
  zementgebundes, 326
Kraftschlüssiges Verbinden, 344
Kratzer, 118
Kreuzverband, 93
Kriechen, 500
Kristallisation, 107
Kristallisationsdruck, 311
Kugelstrahlen, 338, 339
Kunstharzbeschichtung, 325
Kunststoffmodifizierte zementgebundene Systeme (PCC), 353

L
Labyrinthprinzip, 525
Lagerfuge, 484
Längenänderung
  thermische, 56
Längenausdehnungszahl, 490
Längsdehnungsmodul, 506
Längsfuge, 484
Laserlichtschnitttechnik, 325
Latentwärmespeicher, 383
Läuferverband, 93
Lebendbefall, 268
Lebensdauer, 30
Leerraum zwischen den Fugenflanken, 472
Lehmziegel
  luftgetrocknet, 6
Lehmziegeltechnik, 6
Leichtbetonelement, 103
Leichtbetonstein, 103

Leichtputz Typ I, 443
Leichtputz Typ II, 444
Leichtziegel, 102
Lochfraßkorrosion, 313
Lochstein, 89
LP-Beton, 313
Luftfeuchte, 327
Luftporen, 304
Luftporenbeton, 303
Luftporenbildner, 313
Luftraum, 93
Luftschicht, 3
Lüftungswärmeverlust, 31
Luftzirkulationsebene, 372
Lunker, 305, 324

M
Magnesiumsulfatwiderstandsfähigkeit, 292
Marmorgips, 509
Massendichtstoff, 512, 515
Maßnahme
  bekämpfende, 252
  vorbeugende, 252
Maßtoleranz, 504
Materialanlagerung und -ablagerung, 105
Materialverlust, 121
Maueraustauschverfahren, 129
Mauersägeverfahren, 125
Mauersalpeter, 49
Mauerverband, 16, 93
Mauerwerk, 93
  einschaliges, 93
  zweischaliges, 93
Mauerwerkdiagnostik, 72
Mauerwerksfeuchte, 81
Mauerwerksverband, 93
Mauerziegel, 6, 10, 14, 89
Mechanische Beschädigung, 118
Mechanische Einwirkung, 314
Mechanisches Verfahren, 124
Melaminschaum, 366
Messverfahren, 81
Mikroorganismen, 57
Mikrowellenverfahren, 83
Mindestwärmeschutz, 23, 56, 363
Mineralische Dichtschlämmen, 138
Mineralische Oberputze – Verfahren F4, 440
Mineralischer Armierungsputz und mineralischer Oberputz – Verfahren F5, 440
Mineralischer Fugenmörtel, 506
Mineralwolle, 365, 366, 372
Mischbauweise, 6
Moderfäule, 235
Moment, 501
Monier, Joseph, 298
Moniereisen, 299
Monitoring, 251
Mörtel, 15
  kunstharzgebundener, 298
  kunstharzimprägnierter, 298
  kunststoffmodifizierte, 298
  PC, 298
  PCC, 298
  PIC, 298
Mörtelart
  nach Funktion, 95
  nach Zusammensetzung, 95
Mörtelauftrag, 332
Myzel, 250

N
Nachbehandlung, 303
Nachbehandlungsmittel, 305
Nachhaltigkeit, 363
Nachträgliche Horizontalabdichtung, 84
  Injektionsverfahren, 84
  mechanisches Verfahren, 84
Nadeln, 337, 339
Nagekäfer, 268
Nanotechnologie, 382
Nassfäulepilze, 267
Naturstein, 12
Nebelstrahlen, 338, 339
Neigung, 117
Neolithikum, 4
Netzriss, 114, 342
Niederschlag, 29
Nutzungsdauer, 221
Nutzungszeitraum, 71, 318

O
Oberfläche
  Einfärbung, 383
Oberflächenbehandlung, 336
  vorbereitende, 340

Oberflächenhaftzugfestigkeit, 329
Oberflächenkorrosion, 328
Oberflächennahe Risse, 342
Oberflächenschutzsystem, 357
Oberflächenvorbereitungsgrad, 326
Oberflächenzugfestigkeit, 302, 323, 329, 360
Oberflächenzustand, 328
Offene Fuge, 480, 494
Organische Beschichtungssysteme – Verfahren F1, 438
Organischer Armierungsputz und organischer Oberputz – Verfahren F6, 440

P
Passungsfuge, 487
Perlite, 374
PE-Faser, 366
Pferdehaar, 15
Pflanzenwachstum, 389
Pfosten, 219
PF-Schaum, 366
Phasenanalyse, 329
pH-Wert, 83, 328
Physikalisches Verfahren, 250
Pigment, 104
Pilzbefall, 216, 270
Pilze, 57
  holzverfärbende, 231, 232
  holzzerstörende, 231, 234
Pilzsporen, 216
Planung, 71
  fachgerechte, 39
Planungsgrundlage, 76
Polymermodifizierte Bitumendickbeschichtungen (PMBC), 137
Polystyrol, 374, 375
Polyurethan, 375
Polyurethanharz (PUR), 343
Poren, 305, 324
Porenabstand, 304
Porenart, 304
Porenbetonstein, 102
Porengefüge, 301
Porengehalt, 303
Porenverteilung, 304
Porosität, 15, 38, 303
Potenzialfeldmessung, 85
PRC (Polymer Repair Concrete), 356
Pressfuge, 487
Primäre Ettringitbildung, 311
Primer, 518
PRM (Polymer Repair Mortar), 356
Profile, 514, 531
Prüffläche, 325
Pulverisierung, 111
PUR, 372
Putz, 380, 519
  wasserabweisender, 47
  wasserhemmender, 47
Putzabdichtung, 449
Putzart, 47
Putzbedingte Risse, 417
Putzendschiene, 368
Putzfassade, 62
PU-Hartschaum, 366
PU-Ortschaum, 366
Pyrit, 311
Pyrogene Kieselsäure, 366

Q
Quellen, 488
Querdehnungsmodul, 506
Querkraft, 501

R
Randzonenverlust, 122
Rasterelektronenmikroskopie (REM), 329
Raumluftregulierung, 59
Raumnutzungsklasse, 45
Rautiefe, 324
REACH, 262
reaktionserhärtende Systeme (PC), 353
Reaktionsharz, 324
Reaktionsharzmörtel, 331
Reaktionsprozess, 290
Realkalisierung, 330
Reinigung, 147
Reliefbildung, 122
Repair Concrete (RC), 356
Repair Mortar (RM), 356
Reprofilierung, 354
Restnutzungsdauer, 300, 318
Riss, 51, 84, 114, 329, 332
  Füllen, 332
  Injizieren, 332
  Kippriss, 53
  Oberflächenrisse, 53

Schließen und Abdichten von, 342
Setzungsrisse, 53
Sprungrisse, 54
Trennrisse, 53
Rissart, 342
injizierbare, 341
Rissbewegung, 329
Rissbild, 418
Rissbildung, 32, 156, 308, 409
Rissbildungen (herstellungsbedingt), 307
Rissbreite, 473, 474
Risse längs der Bewehrung, 342
Rissform, 342
Rissfüllende Beschichtungssysteme für kalkreiche Putze – Verfahren F3, 439
Rissfüllende Beschichtungssysteme – Verfahren F2, 439
Rissfüllstoff, 344
für begrenzt dehnbares Füllen, 343
für kraftschlüssiges Füllen, 342
für quellfähiges Füllen, 343
Rissinjektion, 341
Rissinstandsetzung, 156, 567
Rissklasse, 46
Rissmerkmal, 340
Risssanierung, 157
Rissschaden, 156
Rissüberbrückung mit Trennlage und Putzträger – Verfahren E4, 437
Rissursache, 51
Rissverschluss mit gefüllter Beschichtung – Verfahren E1, 436
Rohdichte, 38, 214, 292
Rostbildung, 313
Rückwitterung, 122
Rundholz, 217

S

Sachkundiger Planer, 327
Sackriss, 418
Salz, 43
bauschädliches, 43
hygroskopisches, 39
Salzanalyseverfahren, 83
Salzbelastung, 83, 144
Salzreduzierung, 144
Sammelrisse, 342
Sandflächenverfahren, 325
Saniermörtel, 15
Sanierputz, 144
Sanierputzsystem, 147
Sanierung
wärmeschutztechnische, 363
Sanierungskonzept, 71, 87, 88
schematisches, 88
Sanierungsschema, 88
Saurer Regen, 381
Schaden
thermisch bedingter, 54
Schadensanalyse, 300
Schadensfeststellung, 248
Schadenskatalog, 249
Schadensursache
konstruktiv bedingte, 50
Schädlingsbefall, 252
Schädlingsbestimmung, 250
Schafwolle, 367
Schale, 121
Schalenmauerwerk, 96
Schalldämmung, 502
Schallschutz, 23, 363
Schaumglas, 366
Schaumglasplatte, 375
Scheinfuge, 472, 487
Scherfestigkeit, 214
Schichtenbildung, 109
Schilfrohr, 375
Schimmel, 59
Schimmelbefall, 376
Schimmelpilz, 381
Schlagregenbelastung, 46
Schlämmverfugung, 566
Schleifen, 337, 339
Schleuderstrahlen, 338, 339
Schneiden, 337
Schnittholz, 217
Schnittholzbläue, 233
Schrumpfporen, 304
Schubfestigkeit, 214
Schubrisse, 342
Schutzprinzip, 330
Schwinden, 156, 488, 500
Schwindfuge, 484, 487
Schwindriss, 117, 418
Schwind- und Kriechprozess, 471
Seegras, 367
Sekundäre Ettringitbildung, 311

Setzbewegungen, 488
Setzung, 474
Setzungsfuge, 487
Setzungsriss, 475
Sichtmauerwerk, 11, 12, 92
Sichtmauerwerksfuge, 546
Silikonbänder, 518
Silikondichtstoffe, 513
Sinterschicht, 308
Sockelmauerwerk, 27
Sohlbänke, 28
SOLL-Zustand, 87
Soll-Zustand, 71
Sonderform, 122
Sonneneinstrahlung, 31
Sortierklasse, 217
Spaltung, 115
Sparren, 219
Spezifische Fläche, 324
Spezifische Wärmespeicherkapazität, 365
Spezifischer Wärmewiderstand, 33
Spiralankersystem, 158
Splintholz, 209
Splintholzkäfer, 242, 268
Sporen, 250
Spritzbeton, 356
Spritzmörtel, 324
SRC (Sprayable Repair Concrete), 356
SRM (Sprayable Repair Mortar), 356
Stahl, 14, 290
Stahl ist „passiviert“, 473
Stahlbeton, 298, 323
Stahlbewehrung, 299
Stammholzbläue, 233
Standfuge, 487
Standsicherheit, 24, 84, 300
Starrer Rissverschluss mit Mörtel – Verfahren E2, 436
Steineigenschaft, 91
Steinwolle, 374, 375
Stemmen, 337
Sternriss, 115
Stocken, 337
Stoßfuge, 484
Stoß- und Lagerfuge, 475
Streu, 15
Streulichtverfahren, 325
Stroh, 15
Stuckfassade, 62
Stützen, 219
Sulfatangriff, 311
Sulfatgehalt, 294, 326
Sulfatquelle, 311
Sulfattreiben, 311, 326

T
Taupunkt, 59, 375
Taupunkttemperatur, 352
Taupunktunterschreitung, 327
Tauwasser, 381
Tauwasserausfall, 258
Tauwasserbildung, 59
Temperaturdehnzahlen, 55
Terrakotta, 16
Testa, 9
Thaumasit, 301
Thaumasitbildung, 313
Thermografie, 79
Tonbeschaffenheit, 91
Tonziegel, 90
Tragfähigkeit, 84
Tragkonstruktion, 389
Tränke, 348
Tränken/Vergießen, 343
Tränkung, 343
Treiberscheinung, 326
Trennfolien, 542
Trennmittel, 305
Trennrisse, 342
TRGS 519, 482
Trockenholzinsekten, 240
Trockenmörtel, 507
Trocknen, 338, 339

U
Überwachungsklasse, 320, 321
Überwachungsstelle, 321
Umgebungstemperaturen, 327
Umwandlung, 108
Umweltverträglichkeit, 363
Untergrund, 355
Untergrundvorbereitung, 324, 335
Untersuchung, 415
Untersuchungsverfahren, 86, 327
Ursache für Risse, 415

V
Vakuumpaneele, 372

Vakuumstrahlen, 338, 339
Vegetation, 384
Verankerungsebene, 372
Verarbeitung des Betons, 474
Verband, 93
Verbinden
  dehnfähiges, 342
  kraftschlüssiges, 342
Verblender, 16, 89
Verblendmauerwerk, 93
Verbund, 335
Verbundrisse, 342
Verbundwerkstoff, 298
Verdachungen, 60
Verdämmung, 347
Verdichtungsporen, 304
Verdrehung, 115
Verfahren
  geregeltes, 330
  zusätzliches, 330
Verfärbung, 104
  dunkle, 270
Vergussbeton, 356
Vergussmörtel, 356
Verhältnis Fugenbreite zu Fugentiefe, 491
Verklebung, 378
  vollflächige, 367
Verkrustung, 106
Verlustziegel, 122
Vermiculite expandiert, 366
Vernadelung, 158
Versalzungsgrad, 133
Versatz, 118
Verschattungsmöglichkeit, 364
Verschlussdeckprofile, 536
Verschmutzung, 105
Versiegelung, 330, 332
Versiegelung (Imprägnierung), 359
Verspätete Ettringitbildung, 302
Verstärkung, 332
Vertikalabdichtung, 46, 135
Vollstein, 89
Vollziegelmauerwerk, 96, 98, 99
Volumenvergrößerung, 116
Volumenverringerung, 117
vorgehängte hinterlüftete Fassade, 371
Vorhangfassade, 371
Vormauerschale, 154
Vormauerziegel, 16, 89
V-Schnitt-Verfahren, 128

W
w/z-Wert, 320
Wachstumsbedingung, 384
Wand
  zweischalige, 122
Wanne
  schwarze, 46
  weiße, 46
Wärmeausdehnungskoeffizient, 55
Wärmebeharrungsvermögen, 502
Wärmebrücke, 375, 488, 489
Wärmedämmfähigkeit, 215
Wärmedämmputzsysteme – Verfahren F7, 441
Wärmedämmschicht, 30
Wärmedämmung, 364, 378, 502
Wärmedämmverbundsystem (WDVS), 22, 28, 99, 363, 367, 378, 480
  Schäden, 50
  Verfahren F8, 441
Wärmedämmziegel, 366, 375
Wärmedehnung, 56
Wärmedurchgangskoeffizient, 33
Wärmeeindringkoeffizient, 365
Wärmeeintrag, 364
Wärmeleitfähigkeit, 33, 156, 215, 365
Wärmeleitgruppe, 33
Wärmeleitstufe, 33
Wärmeschutz, 55
  sommerlicher, 363, 365
  winterlicher, 363, 365
Wärmespeicherfähigkeit, 364, 365
Wärmespeicherkapazität, 56
Wärme-Ausdehnungskoeffizient, 473
Wartung, 315, 318
Wasser, 290
Wasseraufnahme
  hygroskopische, 42
Wasseraufnahmekoeffizient, 47
Wasserdampfdiffusionswiderstand, 331
Wasserdampfpartialdruck, 38
Wassereinwirkungsklasse, 45, 123
Wassergehalt
  praktischer, 40
WDVS, 367
Weißer Porenschwamm, 237
Weißfäule, 235
Weißfugenmörtel, 508

Wetterschale, 489
Wetterschutz, 254
Wetterseite, 31
Widerstandsmessung, 81
Windbelastung, 31
Winddichtung, 539
Windsogsicherung, 367
Wirkprinzip
  hydrophobierendes, 131
  kapillarabdichtendes, 131
  kapillarverengendes, 131
  porenverstopfendes, 131
Wirkstoff, 262
Witterungseinfluss, 244
Wölbung, 115
WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalschutz e. V.), 44
Wulst-Punkt-Methode, 367

X
XPS, 366

Z
Zellulose, 374
Zellulosefaser, 366
Zement, 291
  Alkaliempfindlichkeit, 292
  Ausblühneigung, 291
  Erstarrungsverhalten, 291
  Farbgebung, 291
  Festigkeitsentwicklung, 291
  Hauptzementart, 291
  Hochofenzement, 291
  Hydratationswärmeentwicklung, 291
  Kompositzement, 291
  Nacherhärtung, 292
  Portlandzement, 291
  Puzzolanzement, 291
  Sulfatwiderstand, 291
  Wasserrückhaltevermögen, 292
  Zementfamilien, 291
Zementhaut, 304, 324
Zementleim (ZL), 343
Zementschlamm, 305, 325
Zementsinterschicht, 304
Zementsuspension (ZS), 343
Zerbröckeln, 111
Zerstörung der Putzoberfläche, 410
Ziegel, 16
Ziegelbauweise, 9
Ziegelformate, 16
Ziegeloberfläche, 91
Ziegelverband, 93
Zugabewasser, 294
Zugfestigkeit, 213
Zugkraft, 501
Zugrisse, 342
Zugspannung, 290
Zusatzstoff
  inaktiver, 298
  latent hydraulischer, 298
  puzzolanischer, 298
Zuschlag, 290
Zuschlagstoff, 93
Zustandsklasse, 319
Zwangsspannung, 32, 55
Zwängungsspannungen, 28
Zweistufige Fugendichtung, 494
Zwischenrisse, 342