

HEFT 57 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

Technik und Erfindungen von A bis Z
mit Tausenden von Fotografien und Zeichnungen



scan:[GDL]

WIE GEHT DAS

Inhalt

Taucheranzug und Lungenautomat	1569
Taucherglocke	1574
Taxidermie	1575
Taxameter und Fahrtschreiber	1578
Teilchenbeschleuniger	1580
Teilchendetektoren	1588
Teilchenphysik	1592

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDEN WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

WIE GEHT DAS ist eine wöchentlich erscheinende Zeitschrift. Die Gesamtzahl der 70 Hefte ergibt ein vollständiges Lexikon und Nachschlagewerk der technischen Erfindungen. Damit Sie auch wirklich jede Woche Ihr Heft bei Ihrem Zeitschriftenhändler erhalten, bitten Sie ihn doch, für Sie immer ein Heft zurückzulegen. Das verpflichtet Sie natürlich nicht zur Abnahme.

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

Deutschland: Das einzelne Heft kostet auch beim Verlag nur DM 3. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280 380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort HEFTE.

Österreich: Das einzelne Heft kostet öS 25. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE-GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto: Wien 2363. 130. Oder legen Sie bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei Kennwort: HEFTE.

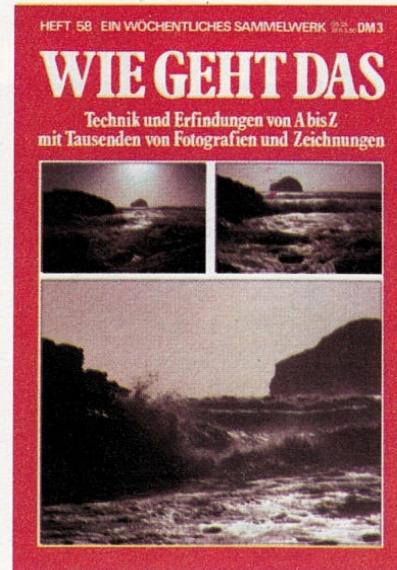
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

INHALTSVERZEICHNIS

Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen. Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis dadurch, daß Sie die Umschläge der Hefte abtrennen und in der dafür vorgesehenen Tasche Ihres Sammelordners verwahren. Außerdem können Sie alle 'Erfindungen' dort hineinlegen.

In Heft 58 von Wie Geht Das



Die thermodynamische Wärmelehre sollte ursprünglich dazu dienen, Dampfmaschinen effizienter zu machen. Heute spielt sie jedoch in allen Lebensbereichen eine Rolle. In Heft 58 von Wie Geht Das können Sie nachlesen, wo und wie die thermodynamische Wärmelehre diese Bedeutung erlangt hat.

Das Telefon ist heute ein weitverbreitetes und wichtiges Kommunikationsmittel. Es ist uns so selbstverständlich, daß wir oft nicht danach fragen, wie es überhaupt funktioniert. In der nächsten Woche werden wir Sie genau darüber in Wie Geht Das informieren.

SAMMELORDNER

Sie sollten die wöchentlichen Ausgaben von WIE GEHT DAS in stabile, attraktive Sammelordner einheften. Jeder Sammelordner faßt 14 Hefte, so daß Sie zum Schluß über ein gesammeltes Lexikon in fünf Ordnern verfügen, das Ihnen dauerhaft Freude bereitet und Wissen vermittelt.

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

1. Sie können die Sammelordner direkt bei Ihrem Zeitschriftenhändler kaufen (DM 11 pro Exemplar in Deutschland, öS 80 in Österreich und sfr 15 in der Schweiz). Falls nicht vorrätig, bestellen Sie den Händler gern für Sie die Sammelordner.

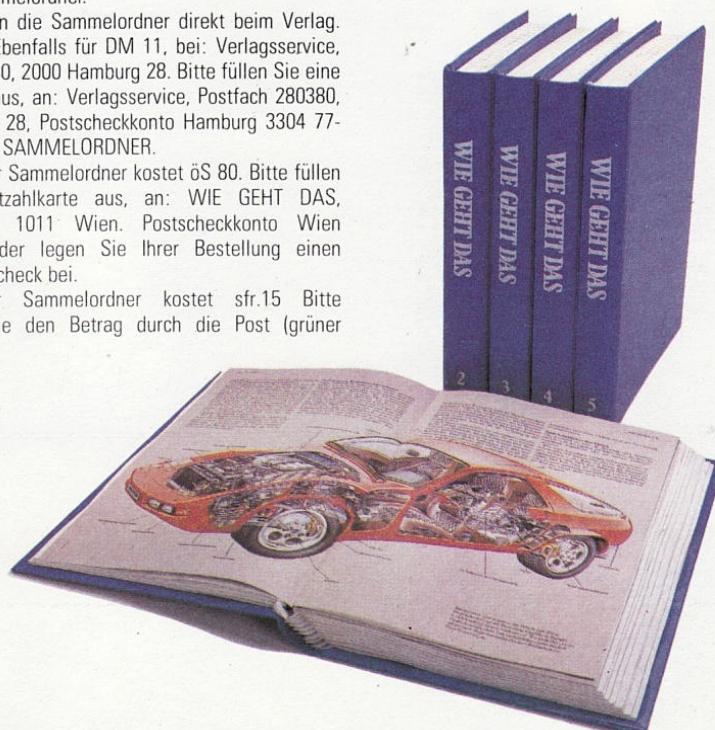
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

Österreich: Der Sammelordner kostet öS 80. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto Wien 2363. 130. Oder legen Sie Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

Schweiz: Der Sammelordner kostet sfr 15. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Sammelordner schnell und sicher bekommen. Überweisen Sie durch Ihre Bank, so muß die Überweisungskopie Ihre vollständige Anschrift gut leserlich enthalten.



TAUCHERANZUG UND LUNGENAUTOMAT

Die Temperatur des Wassers sinkt mit zunehmender Tiefe. Wer unter Wasser Bergungs-, Rettungs- oder Reparaturarbeiten ausführen will, muß einen Taucheranzug tragen, damit seine Körpertemperatur nicht auf gefährliche Werte absinkt (Unterkühlung).

Ohne Schutzkleidung wäre ein Taucher bei Wassertemperaturen in der Nähe des Gefrierpunktes innerhalb weniger Minuten bewußtlos. Noch bei 10°C könnte er nur wenig länger als 3,5 Stunden überleben, während ein guter Taucheranzug diese Zeit auf etwa 24 Stunden verlängert, weil er die Körperwärme nicht entweichen läßt.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Taucheranzügen: Den Helmtaucher, bei dem die Zuführung von Atemluft über einen Schlauch von der Wasseroberfläche oder über ein Regenerationsgerät erfolgt, und den helmlosen Taucheranzug, bei dem der Taucher seine Atemluft in Druckluftflaschen mit sich führt (Regenerationsgerät oder Lungenautomat). Solche Anzüge können 'naß' oder 'trocken' sein.

Der Helmtaucher

Der Anzug, in den der Taucher durch die Halsöffnung einsteigt, besteht aus gummiertem Gewebe. Der Helm wird mittels einer wasserundurchlässigen Dichtung auf dem Anzug befestigt. Durch die Sichtscheiben des Helmes kann der Taucher sehen. Die Luft wird ihm bei Schlauchgeräten mit Umgebungsdruck zugeführt, d.h. die Kompressoren passen den Luftdruck dem jeweils herrschenden Wasserdruck an. Verbrauchte Atemluft strömt durch ein Entlüftungsventil ins Wasser. Normalerweise verfügt ein Helmtaucher auch über ein Telefonkabel, so daß der Taucher in unmittelbarer Sprechverbindung mit dem Schiff oder dem Ufer steht, sowie über eine Notleine, an der man ihn notfalls aus dem Wasser hieven kann.

Obwohl der Helmtaucher recht schwer ist, verleiht er dem Taucher unter Wasser Auftrieb. Damit der Taucher auf dem Meeresboden gehen kann, werden diese Tauchgeräte mit Gewichten beschwert, und zwar mit je einem rund 18 kg schweren Brust- und einem ebenso schweren Sitzgewicht. Durch diese Verteilung kann der Taucher beim Gehen das

Gleichgewicht halten. Auch an den Schuhen trägt der Taucher meist Gewichte von je etwa 8 kg und darüberhinaus häufig noch einen Taillengurt mit Bleigewichten.

Wegen der ununterbrochenen Zuführung von Atemluft kann der mit einem Schlauchgerät arbeitende Taucher sehr lange unter Wasser bleiben. Allerdings behindert der schwerfällige Anzug seine Bewegungsfreiheit beträchtlich. Daher eignet sich diese Art von Tauchgerät am besten für ortsfeste Arbeiten wie z.B. an Wracks.

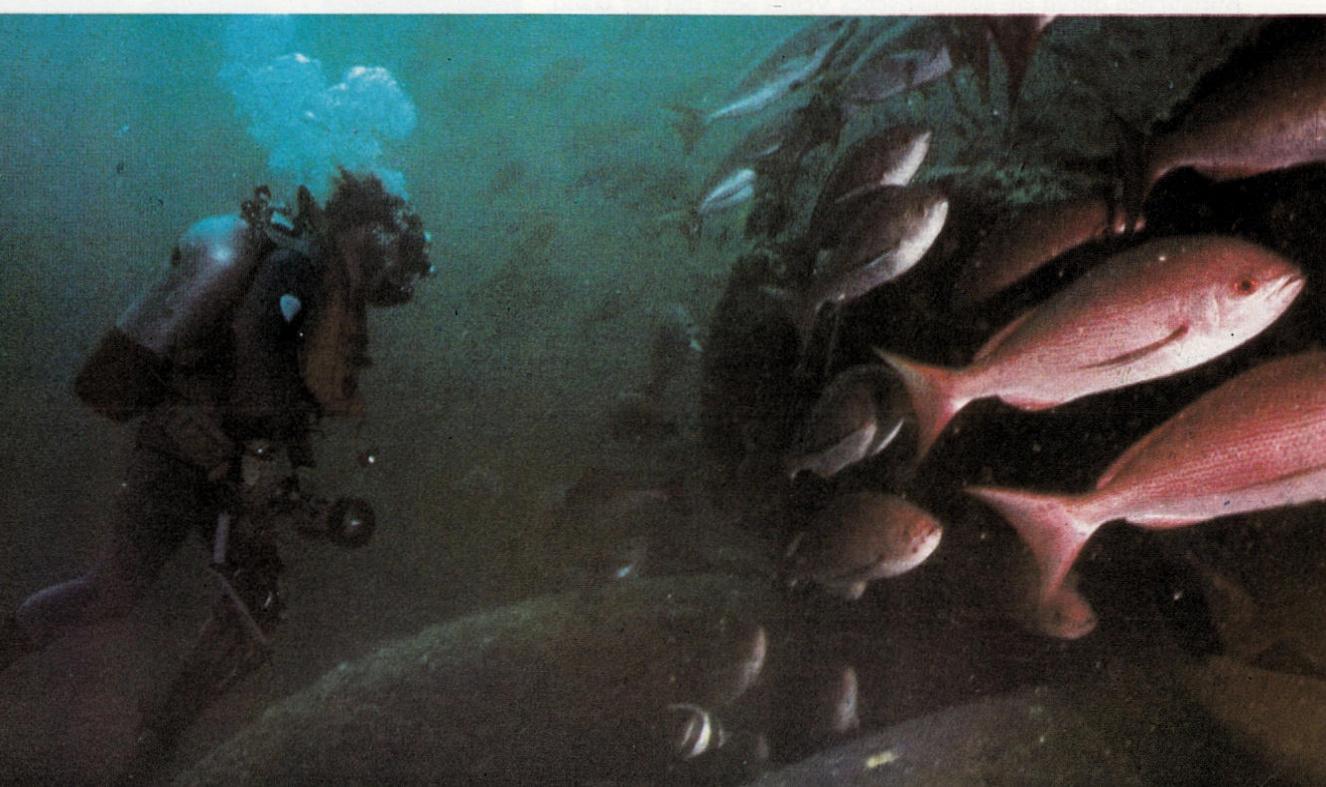
Schlauchlose 'trockene' Taucheranzüge

Solche Tauchgeräte werden häufig in Verbindung mit Schwimmflossen, Taucherbrille und Lungenautomat verwendet. Ein 'trockener' Taucheranzug ist relativ weit, damit darunter Platz für wärmende Kleidungsstücke bleibt. Er besteht gewöhnlich aus Gummi oder Neopren (einem sehr haltbaren Kunstgummi), bisweilen mit einer Gewebeverstärkung. Am Hals und an den Bünden der Handgelenke sowie an den Stellen, wo Jacke und Hose zusammentreffen, ist er wasserundurchlässig abgedichtet. Diese Abdichtung geschieht durch eine Art Kummerbund. Bei einigen 'trockenen' Anzügen erfolgt der Einstieg durch die Halsöffnung, womit diese 'Bauchbinde' überflüssig wird. Die Füßlinge sind Bestandteil der Beine, so daß unten keine weitere Abdichtung erforderlich ist.

Beim Anziehen bleibt in den unter dem Taucheranzug getragenen Kleidungsstücken Luft zurück, die unerwünschten Auftrieb erzeugt. Man kann sie dadurch entweichen lassen, daß man einen Finger unter eine Handgelenkabdichtung hält und ins Wasser geht, bis nur noch die Hände herausragen. Der Wasserdruck treibt dann die Luft heraus. Bestimmte Anzüge verfügen über ein einfaches, verdecktes Ventil, das diese Entlüftung automatisch vornimmt.

Einer der Nachteile des 'trockenen' Taucheranzuges liegt darin, daß beim Abtauchen der Wasserdruck die in der Unterkleidung enthaltene Restluft komprimiert. Da das Luftvolumen dabei geringer wird, legt sich der Anzug enger um den Taucher an und behindert damit seine Bewegungsfreiheit. Es kann auch dazu kommen, daß die Falten des

Unten: Ein Taucher inspiziert eine Ankerboje im Hafen von Mina al-Fahal in Oman. Der Wuchs von Meerespflanzen und die Anwesenheit von Fischen deuten auf eine saubere Umwelt hin.



Anzuges dabei die Haut des Tauchers einklemmen und Striemen hervorrufen. Daher ist der 'trockene' Anzug weniger beliebt als der 'nasse', außer dort, wo extreme Kälte die warme Unterkleidung wünschenswert erscheinen lässt, sowie in verseuchten Gewässern, in denen man den 'trockenen' Anzug zusammen mit einer das ganze Gesicht bedeckenden Taucher- maske trägt, so daß der Taucher mit dem Wasser nicht in unmittelbare Berührung kommt. Außerdem kann dann in solchen Fällen der Anzug vor dem Ablegen mit einer Desinfektionslösung übergossen werden.

Schlauchlose 'nasse' Taucheranzüge

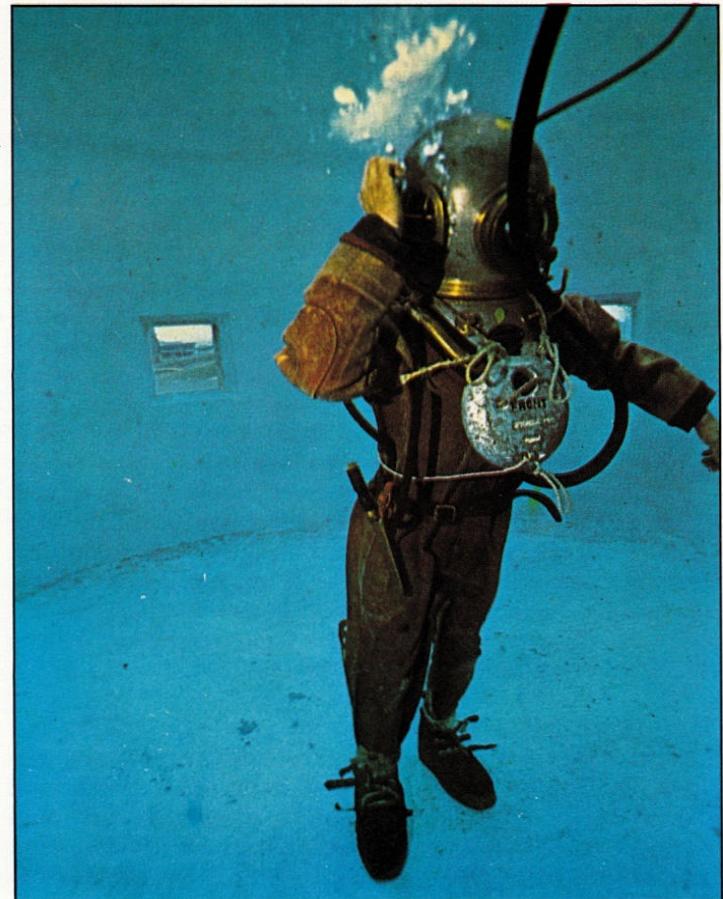
'Nasse' Anzüge bestehen aus einem enganliegenden Material, das nicht unbedingt wasserdicht zu sein braucht. Im Normalfalle handelt es sich um Neoprenschaum. In geringen Mengen eindringendes Wasser wird von der Haut des Tauchers rasch erwärmt, man kann aber auch von Anfang an warmes Wasser in den Anzug gießen. Das Schaummaterial wirkt mit seinen Millionen Luftbläschen als Isolierschicht.

Der Hauptnachteil des 'nassen' Anzuges besteht darin, daß er durch die Luftblasen Auftrieb erzeugt. Daher trägt der Taucher, der mit ihm arbeitet, einen Gewichtsgürtel, um besser abtauchen zu können. Hierbei gibt es keine Schwierigkeiten, solange sich der Taucher in vergleichsweise flachen Gewässern aufhält. In größeren Tiefen hingegen vermindert der umgebende Wasserdruk das Volumen der Luftblasen, was einen Verlust an Auftrieb und an Isolierwirkung mit sich bringt. Damit wird ein Taucher, der an der Wasseroberfläche im Gleichgewicht war, in größerer Tiefe zu schwer. Aus diesem Grunde verfügt der Gewichtsgürtel über eine Schnell- abwurf-Einrichtung. Erfahrene Taucher gewöhnen sich rasch an diese unterschiedlichen Auftriebsverhältnisse. Das Auf- tauchen ist dabei zwar anstrengender als das Abtauchen, doch kann der Taucher mit seinen Schwimmflossen eine ziemlich große Kraft entwickeln.

Man hat verschiedene Verfahren zur Verminderung von Auftriebsverlusten entwickelt, insbesondere für die Arbeit von Berufstauchern, die sich lange unter Wasser aufhalten und dabei das Übergewicht als ermüdend empfinden. Am einfachsten arbeitet die Schwimmweste mit regulierbarem Auftrieb. Dabei handelt es sich um einen Beutel, an den ein Druckluftzylinder angeschlossen ist. Beim Abtauchen läßt der Taucher eine geringe Menge Luft in diesen Beutel eintreten, um seinen Auftrieb zu erhöhen. Diese Luft wird beim Auftauchen durch ein automatisches Ventil oder mit der Hand abgelassen. Bei einem raffinierteren Verfahren enthält der Anzug statt der Schaumstoffbläschen Millionen winziger luft- gefüllter Glaskügelchen. Durch die druckfeste Umschließung vermindert sich das Volumen der in ihnen enthaltenen Luft bei Erhöhung des Wasserdrukkes nicht. Mithin bleiben Auftrieb und Isolierwirkung mehr oder weniger konstant. Allerdings ist ein so ausgerüsteter Taucheranzug erheblich teurer als ein aus einfachem Neoprenschaum gefertigter.

Lungenautomat

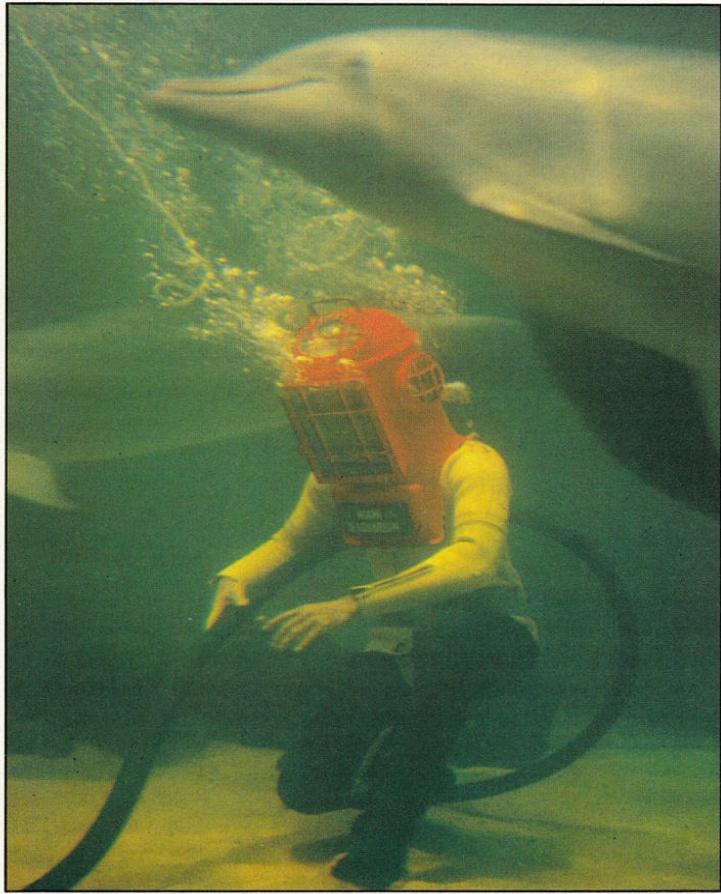
Ein mit einem Preßlufttauchgerät und einem atemgesteuerten Dosierungsventil (Lungenautomat) ausgerüsteter Taucher benötigt im Gegensatz zum Träger eines Helmtauchgerätes mit Luftzuführungsschlauch und Signalleinen keine direkten Verbindungen zur Wasseroberfläche und verfügt demzufolge auch über eine wesentlich größere Bewegungsfreiheit als ein 'Helmtaucher'. Wie untrennbar der noch nicht sehr lange allgemein bekannte Lungenautomat mit den Preßlufttauch- geräten zusammenhängt, zeigt die Definition eines Preßluft- tauchgerätes, das als 'autonomes, durch Atemregler (also Lungenautomaten) über Lungenkraft gesteuertes, sogenanntes offenes Tauchgerät ohne Rückgewinnung der Atemluft' beschrieben wird. Bei den neuesten Ausführungen der Lun-



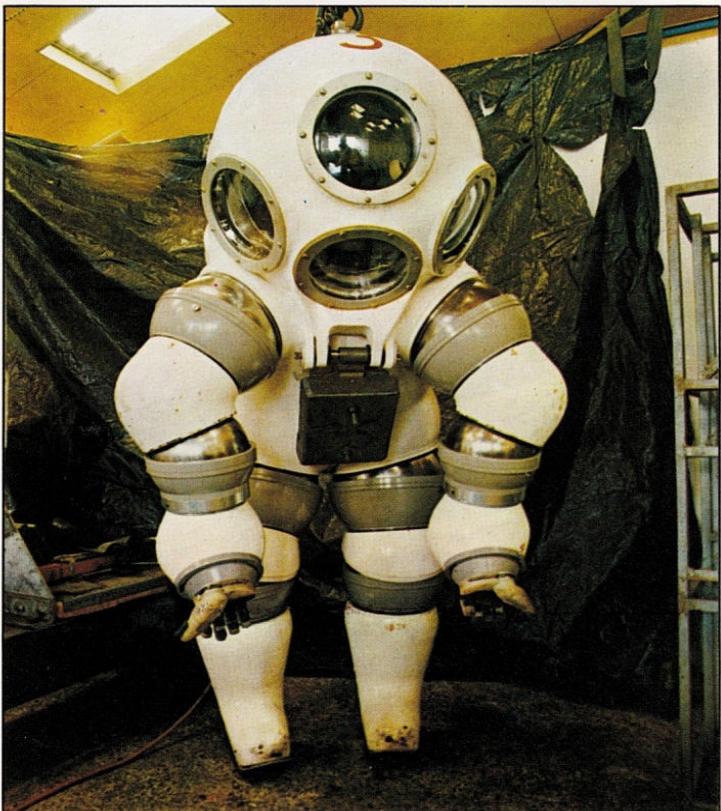
Oben: Ein moderner Helmtaucher im Einsatz. Man sieht, wie der Taucher gerade die Menge der austretenden Luft reguliert. Das Bleigewicht auf der Brust des Tauchers hilft ihm beim Abtauchen.

Oben rechts: Ein Taucher führt Wartungsarbeiten in einem Delphinarium durch. Ungewöhnlich ist die Kombination eines Helms mit einem leichten Taucheranzug. Die Delphine sind an die Anwesenheit des Tauchers gewöhnt.





Unten links und unten: Zwei Ansichten eines Panzertauchers. Ein solcher Panzertaucher kann dem Wasserdruck noch in einer Tiefe von 300 m widerstehen. In dieser druckfesten Kammer atmet der Taucher Luft mit Normaldruck, von der er einen Vorrat für 20 Stunden in den Druckluftflaschen auf dem Rücken mit sich führt. Seine Umgebung kann er durch vier Sichtscheiben beobachten. Mit den mechanischen Greifzangen an den wulstigen Handschuhen kann er Werkzeuge halten. Der 1,90 m große Anzug ist aus einer Magnesiumlegierung gefertigt.



genautomaten handelt es sich in der Regel um einfriersichere, klobengesteuerte Ein-Schlauch-Automaten mit konstantem Mitteldruck, bei denen der Atemwiderstand manuell verstellt werden kann. Weitere Bestandteile sind die Luftpumpe, ein Bypass-Schlauch und ein Unterwasser-Hochdruckmanometer. Die Verbindung des Lungenautomat-Schlauches mit dem Ventil der Preßluftflasche erfolgt in der Regel über den in Deutschland vorgeschriebenen DIN-Handradanschluß, für den ein Adapter zur Umrüstung auf den im Ausland gebräuchlichen Bügelaanschluß erhältlich ist.

Preßlufttauchgeräte sind eine Weiterentwicklung des Tauchretters (ein Klein-Tauchgerät zum Selbstretten aus gesunkenen U-Booten) einerseits und der Preßluftatmer (frei tragbare Atemschutzgeräte, die den Träger aus einer oder mehreren mitgeführten Druckluft-Stahlflaschen mit Atemluft versorgen und ihn von der Umgebungsluft völlig abhängig machen) andererseits.

An die meist aus Aluminium hergestellten, 4 bis 10 Liter fassenden Preßluftflaschen der Tauchgeräte, die der Taucher als sogenannten 'Back-Pack' auf dem Rücken mit sich führt, werden hohe Sicherheitsanforderungen gestellt. Sie müssen z.B. alle sechs Jahre dem Technischen Überwachungsverein (TÜV) vorgeführt werden, Stahlflaschen alle zwei Jahre.

Der Aufenthalt eines mit einem Lungenautomaten ausgerüsteten Tauchers unter Wasser ist durch die Füllmenge der von ihm mitgeführten Preßluftflasche begrenzt. Trotzdem haben die durch Lungenautomaten ermöglichten Tauchzeiten dazu geführt, daß der Lungenautomat zu einem wichtigen Ausrüstungsteil in der Meeresbiologie und -technologie sowie bei der Durchführung von Such- und Rettungsaktionen wurde. Andererseits hat er dem Tauchsport weltweit den Weg geebnet.

Der Lungenautomat setzt sich aus fünf Hauptbestandteilen zusammen: Dem Druckminderer oder Atemluftregler (das Kernstück des Lungenautomaten), der die unter hohem Druck zugeführte Atemluft auf den jeweils herrschenden Umgebungsdruck (d.h. den Druck des den Taucher umgebenden Wassers) verringert; den Preßluftflaschen; der Bänderung, mit der sämtliche im sogenannten 'Back-Pack' eingesetzten Preßluftflaschen in der richtigen Lage zum Körper des Tauchers gehalten werden; den Schläuchen für die Ein- und Ausatemluft und dem Mundstück, durch das der Taucher die Luft einatmet. Alle genannten Teile sind unbedingt erforderlich — das Druckminderungssystem ist jedoch der komplizierteste und ausgeklügelteste Teil.

Der menschliche Körper hat sich dem Leben auf dem Land angepaßt und ist demzufolge so gebaut, daß er den jeweils auf ihm lastenden, unterschiedlichen Luftdruck (1 bar in Höhe des Meeresspiegels) aushalten kann. Wasser ist jedoch viel dichter als Luft, weshalb der Körper des Tauchers im Wasser einem viel größeren Druck als auf dem Land ausgesetzt ist. Je tiefer er taucht, desto stärker wird der Druck. Meerewasser übt in einer Tiefe von 10 m einen Druck von 2 bar aus. Dieser Druck verstärkt sich bei jeweils weiteren 10 m Tiefe um wiederum jeweils 1 bar.

Der menschliche Körper besteht zur Hauptsache aus Festkörpern und Flüssigkeiten, die selbst unter großem Druck praktisch nicht zusammengedrückt werden können. Er enthält jedoch auch luftgefüllte Höhlungen — die Lunge, die Nebenhöhlen, das Innenohr und den Magen —, die sämtlich mit den Atmungsorganen in Verbindung stehen. Besitzt also die eingearmete Luft nicht den gleichen Druck wie das den Körper umgebende Wasser, werden diese Höhlungen zwangsmäßig zusammengepreßt. Da sich Luft leicht verdichten, d.h. zusammendrücken läßt, ist das Atmen bereits in verhältnismäßig geringen Tiefen äußerst anstrengend. Gerät der Taucher in entsprechend tiefes Wasser, preßt der Druck die Höhlungen flach zusammen und der Tod tritt ein.

Druckminderventil

Um derartige Vorfälle zu verhindern, wurde das Druckminderventil eingebaut. In seiner einfachsten Form ist es ein rundes Gehäuse, das auf einer Seite mit dem Austrittsventil der Preßluftflasche (Flaschenventil) verbunden ist. Die andere Seite besitzt eine Öffnung, damit ein Teil des den Taucher umgebenden Wassers eindringen kann. Jedoch füllt das Wasser das Gehäuse nicht, sondern wird von einer innerhalb der Öffnung liegenden Gummimembran aufgehalten. Die Membran ist im Inneren des Gehäuses mit einem Ventil verbunden, das den Luftaustritt aus der Preßluftflasche steuert. Durch jedes Hineindrücken der Membran wird dieses Ventil geöffnet.

Der Außendruck — gleichgültig, ob er durch die Umgebungsluft oder durch das Wasser ausgeübt wird — drückt die Membran nach innen. Hierdurch wird das Luftventil so lange geöffnet, bis gerade genug Luft aus der Preßluftflasche ausgeströmt ist, um den Druck auszugleichen. Nun herrschen auf beiden Seiten des Ventiles gleiche Druckverhältnisse, so daß der Druck der Einatemluft des Tauchers dem Umgebungsdruck entspricht.

Durch Einatmen dieser Luft führt der Taucher in der Luftkammer einen teilweisen Unterdruck herbei. Der auf die Membran wirkende Außendruck öffnet das Ventil erneut, und der Vorgang wird wiederholt.

Der Nachteil dieser einstufigen Konstruktion liegt darin, daß die durch das Ventil zu steuernden hohen Drücke eine starke Belastung für das Ventil darstellen. Eine entsprechende Änderung ergab sich mit dem zweistufigen Druckminderventil, bei dem der Druckminderer (1. Stufe) den Luftdruck von ungefähr 200 bar mit Hilfe eines gegen einen voreingestellten Federdruck arbeitenden Ventils so weit herabsetzt, daß er

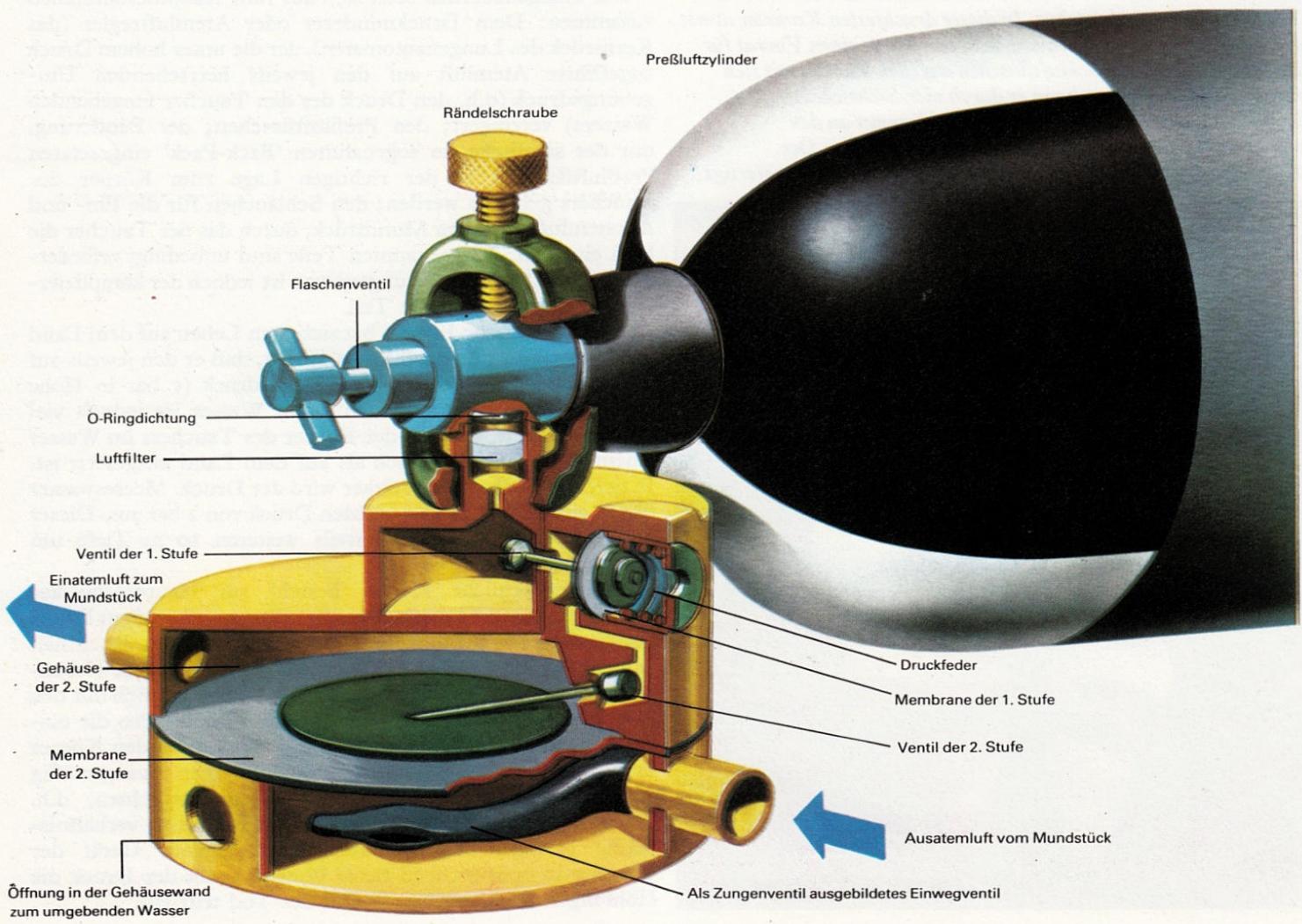
um etwa 7 bar über dem Umgebungsdruck liegt. Durch eine dem einstufigen Regler entsprechende Vorrichtung kann der auf diese Weise verminderte Luftdruck an den Umgebungsdruck angeglichen werden.

Bei dem modernen System mit getrennten Stufen (Ein-Schlauch-Automat) wird die 1. Stufe auf das Flaschenventil geschraubt. Von der 1. Stufe führt ein einzelner Schlauch mit geringem Durchmesser zur Gesichtsmaske, in die das zweite Druckminderventil (2. Stufe) integriert ist.

Einige der so aufgebauten Lungenautomaten besitzen Einlaßstutzen, an denen Luftschnäpfe angeschlossen werden können, über die der Taucher aus über der Wasseroberfläche befindlichen Flaschen, deren Luft unter ziemlich niedrigem Druck steht, oder von einem Kompressor versorgt werden kann. Hierdurch kann der Taucher längere Zeit unter Wasser bleiben.

Preßluftflaschen und Bänderung

Die Preßluftflaschen, in denen der Taucher seinen Luftvorrat mitführt, sind verhältnismäßig einfach. Sie werden in verschiedenen Größen für unterschiedliche Füllmengen hergestellt und können nach Abgabe der gesamten Atemluft vom 'Back-Pack' gelöst werden, so daß sie zur Oberfläche aufsteigen und dort bis zum Einholen treiben. Flaschen für Tauchgeräte zu Sport-, Arbeits- oder Rettungszwecken müssen unmittelbar hinter der Gasbezeichnung mit folgendem Vermerk versehen sein: 'Für Tauchgeräte' (zulässige Abkürzung: 'Druckluft-TG' oder 'Preßluft-TG'). Die Gasbezeichnung bzw. die Markierung für Luft wird häufig in Form von auf grauem Grund auflackierten schwarzen und weißen Karos vorgenommen. Eine typische Preßluftflasche kann ungefähr 1,7 m³ auf ungefähr 200 bar verdichtete Luft enthalten.



Je tiefer der Taucher taucht, desto mehr Luft benötigt er für jeden Atemzug. Demzufolge hat die Tauchtiefe einen Einfluß auf die Länge der Tauchzeit. Zylinder, die ausreichend Luft für eine Tauchstunde bei 10m Wassertiefe enthalten, können den Taucher bei einer Wassertiefe von 30m nur für 30 Minuten mit Atemluft versorgen. Andere Abweichungen der Zeitskala ergeben sich dadurch, daß ein körperlich angestrengt arbeitender oder frierender Taucher mehr Luft benötigt.

Die Bänderung besteht in der Regel aus einem mit Stahlbändern verstärkten Baumwoll- oder Nylongewebe. Die Aufgabe der Bänderung besteht nicht nur darin, die Flaschen auf dem Rücken des Tauchers festzuhalten, sondern auch zu gewährleisten, daß das Druckminderventil so dicht wie

möglich im Mittelpunkt des von außen auf seine Lunge einwirkenden Druckes liegt.

Entwicklung

Der erste wirklich zuverlässige Lungenautomat wurde von Jaques-Yves Cousteau (geb. 1910) und Emil Gagnan entwickelt. Ihrer Konstruktion gingen jedoch viele andere, zweifelsohne nützliche Versuche anderer Forscher voraus, den Taucher mit einem wirklich unabhängigen Atemsystem zu versorgen. Eine ganze Reihe von Atemgeräten wurde zur Rettung eingeschlossener Bergleute benutzt. Bereits im Jahre 1879 führte der britische Konstrukteur H. A. Fleuss in London ein Tauchgerät vor, bei dem Luft in einem auf seinem Rücken befestigten Beutel aus elastischem Werkstoff mitgeführt wurde. Der Taucher atmete die verbrauchte Luft wieder in den Beutel zurück, wobei der rückströmenden Ausatemluft durch Kaliumhydroxid das Kohlenstoffdioxid entzogen wurde.

Da bei jedem Atemzug nur ein geringer Prozentsatz Sauerstoff benutzt wird, konnte ein verhältnismäßig kleiner Luftbehälter lange vorhalten. Tatsächlich wurde der Sauerstoff aus einem durch den Taucher ebenfalls mitgeführten kleinen Zylinder nachgefüllt, wodurch es ihm möglich war, noch länger unter Wasser zu bleiben.

Diese Vorrichtung war jedoch nur für flaches Wasser geeignet, und auch dann muß dem Taucher das Atmen schwer gefallen sein, da er kein Druckminderventil besaß. Aber das System war immerhin gut genug, um es Fleuss zu ermöglichen, Hindernisse aus einem unter dem Severn hindurchgeföhrten Tunnel, der im Jahre 1880 voll Wasser lief, zu beseitigen.

Andere Versuche, funktionsfähige autonome Tauchgeräte zu konstruieren, fanden unmittelbar bei Ausbruch des Zweiten Weltkrieges statt. Aber alle Geräte — ob sie nun in Deutschland, Amerika oder Großbritannien hergestellt wurden — wiesen irgendeinen wesentlichen Mangel auf.

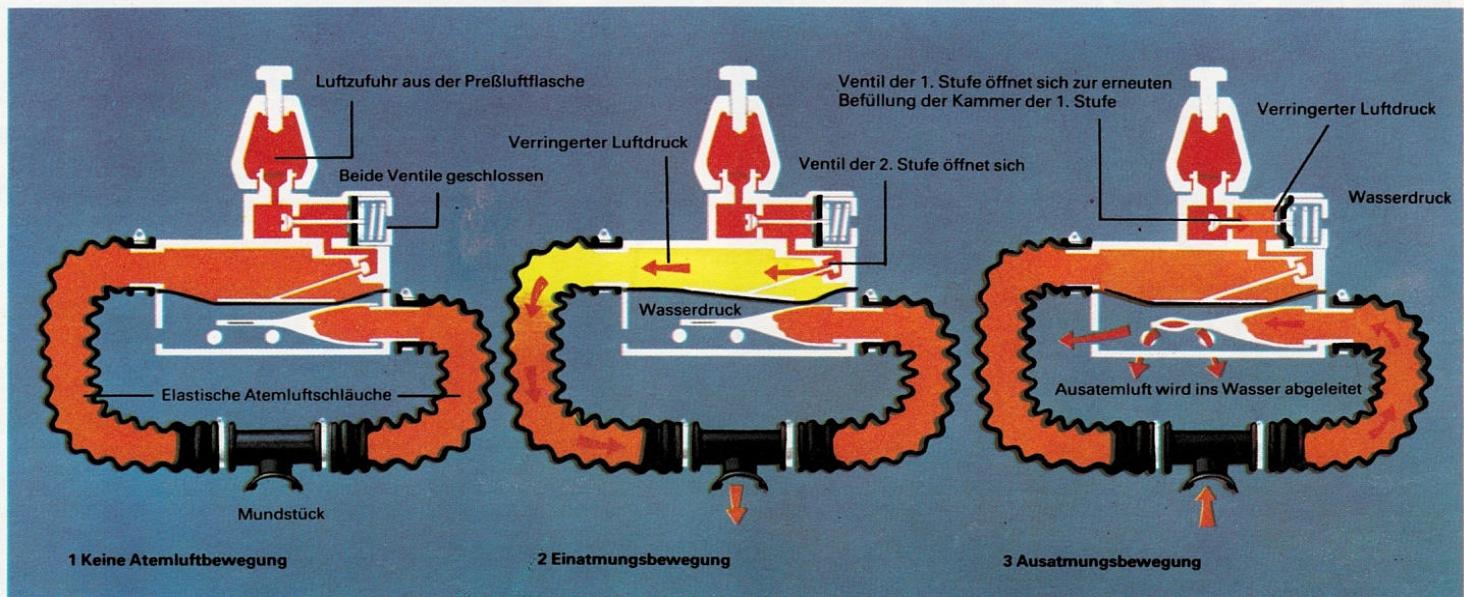
Es blieb Cousteau und seinem Kollegen, die während des Zweiten Weltkrieges in Frankreich wirkten, überlassen, die Probleme zu lösen und insbesondere das Druckminderventil zu entwickeln, das zu einer größeren Unabhängigkeit des Tauchers unter Wasser geführt hat.

Unten: Dreistufige Arbeitsweise des Druckminderventils. Der über dem Wasserdruck liegende Luftdruck ist rot eingezzeichnet, der dem Wasserdruck etwa entsprechende Luftdruck orange und der unter dem Wasserdruck liegende Luftdruck gelb. Durch das Einatmen wird das Ventil der 2. Stufe geöffnet und der Druck im Gehäuse der 2. Stufe verringert. Das Gehäuse der 1. Stufe wird nach Ausströmen der Luft selbsttätig neu gefüllt.



Oben: Moderner, mit zweistufigem Mundstück-Lungenautomat und Zweiflaschen-Preßluft-Tauchgerät ausgerüsteter 'Froschmann' der Marine.

Links: Schnitt durch ein typisches Druckminderventil. Der hohe Druck der aus der Preßluftflasche austretenden Luft wird durch zwei Ventile und Kammer in zwei Stufen auf den Druck des den Taucher umgebenden Wassers verringert. In jedem Gehäuseteil wird das Ventil dadurch geöffnet, daß der in abführender Richtung von diesem Ventil herrschende Druck unter einen bestimmten Wert fällt.



1 Keine Atemluftbewegung

2 Einatmungsbewegung

3 Ausatmungsbewegung

TAUCHERGLOCKE

Die Taucherglocke ist das älteste Tauchgerät. Schon Aristoteles beschrieb eine eimerförmige Vorrichtung, die mit der offenen Seite nach unten über den Taucher herabgelassen wurde, um ihm das Atmen zu ermöglichen.

Das Prinzip der Taucherglocke lässt sich mit Hilfe eines Bechers im Spülbecken demonstrieren. Wird der Becher mit dem offenen Ende nach unten in ein wassergefülltes Waschbecken gestellt, bleibt das Innere des Bechers wegen der in ihm eingeschlossenen Luft trocken. Die Taucherglocke ist nichts anderes als ein großer, über die Bordwand eines Schiffes ins Wasser gelassener 'Becher', in dem sich ein Mensch befindet.

Die Praxis stellt sich aus zweierlei Gründen etwas komplizierter dar. Erstens lässt sich Luft komprimieren, d.h. zusammendrücken oder verdichten, was nichts anderes bedeutet, als daß mit zunehmender Tiefe immer mehr Wasser von unten her in die Taucherglocke eindringt. Bei einer Tiefe von 10 m entspricht der Druck des die Taucherglocke umgebenden Wassers dem Doppelten des in ihr herrschenden Luftdruckes. Zweitens neigt die Taucherglocke aufgrund der in ihr enthaltenen Luft zum Schweben. Demzufolge muß sie entweder selbst sehr schwer sein oder mit Gewichten beschwert werden, damit sie sinken und gleichzeitig in aufrechter Stellung bleiben kann.

Entwicklung

Während des 16. und 17. Jahrhunderts sind viele Taucher in ihren Taucherglocken in die Meerestiefe hinabgestiegen, um Wracks zu erforschen und Münzen oder andere Schätze vom Meeresboden emporzuholen. Ein Mann benutzte sogar ein umgedrehtes, mit Gewichten beschwertes Weinfäß. In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts ersann E. Halley (1656 bis 1742, bekannt durch den Halleyschen Kometen) eine Möglichkeit, Taucher mit Luft zu versorgen. Es wurden leere Bleifässer zur Taucherglocke hinuntergelassen. Die Taucher zogen diese Fässer unter die Taucherglocke und zogen die

Stöpsel heraus. Die in den Atemraum einströmende Luft drückte gleichzeitig einen Teil des Wassers wieder nach außen.

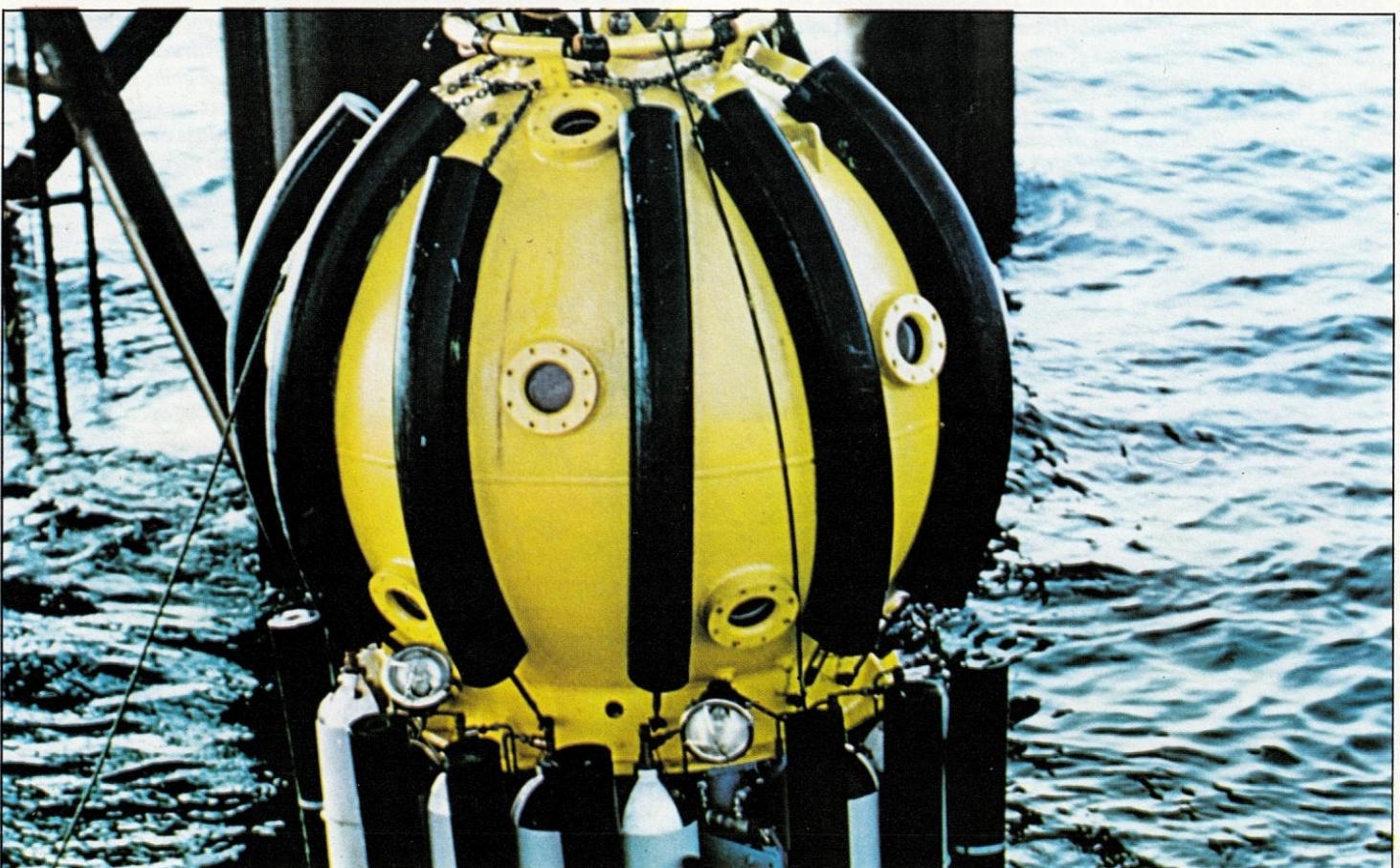
Ende des 17. Jahrhunderts wurde zum ersten Male Luft zu Tauchern, die in einer Taucherglocke arbeiteten, hinuntergepumpt. Spätere Pumpen waren leistungsstärker, wodurch den Tauchern die Durchführung von Arbeiten in größeren Tiefen ermöglicht wurde. In die Luftleitungen waren Einweg-Ventile eingesetzt, um im Falle des Versagens der Pumpe ein durch den um die Taucherglocke herrschenden Wasserdruck bewirktes Aufsteigen der Luft in den Schläuchen, unter gleichzeitigem Eindringen von Wasser in die Taucherglocke, zu verhindern.

Einsatzbereiche

Während im 19. Jahrhundert jeder Hafen jeglicher Größenordnung eine Taucherglocke für Routinearbeiten an Schiffen und im Hafenbecken besaß, sind die Einsatzbereiche der Taucherglocke in unserer Zeit begrenzt.

Das Prinzip der Taucherglocke gewinnt heute jedoch neue Bedeutung wegen ihrer Nützlichkeit bei den in unserer Zeit durchgeführten Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Fischzucht und bei Verfahren zur Kultivierung bestimmter Meereserzeugnisse sowie zur Erforschung mineralischer Formationen auf dem Meeresboden. Die altmodische Taucherglocke wurde zu einer zimmergroßen Kammer umgestaltet, die zum Meeresboden hinuntergelassen und auf Pfeiler montiert wird. Sie kann Schlafkojen, zur Meeresoberfläche reichende Telefon- und Fernsehverbindungen sowie jegliche anderen Einrichtungen für die häusliche Bequemlichkeit enthalten. Es ist ausreichend Platz vorhanden, damit sich in einer Tiefe von ungefähr 35 m arbeitende Taucher ausruhen können. Die Frischluftversorgung erfolgt durch Druckluftbehälter, die im Inneren dieser Kammer selbst untergebracht sind, und nicht durch zur Meeresoberfläche reichende Luftleitungen.

Unten: Eine nach dem Prinzip der Taucherglocke konstruierte Arbeitskammer wird von einem Bohrturm auf den Boden der Nordsee heruntergelassen.



TAXIDERMIE

Vögel, Säugetiere und Fische werden zu Ausstellungszwecken in Naturkundesammlungen durch Präparieren oder dermatologische Verfahren möglichst naturgetreu konserviert.

Der Begriff 'Taxidermist', eine ältere Bezeichnung für Tierpräparator, stammt aus dem griechischen 'taxis' (Anordnung) und 'derma' (Haut, Fell).

In der Frühzeit seiner Geschichte kannte der Mensch schon Verfahren zum Präparieren von Fellen und Häuten, denn seine Existenz hing von dieser Fertigkeit ab. Aus Fellen machte man Kleidungsstücke, Zelte und wasserdichte Be- spannungen von Booten, die aus Holz oder Weidengeflecht hergestellt waren. Vermutlich unternahmen die Ägypter der Antike die ersten Versuche, Tierkörper vollständig zu konservieren. Auf dem Gebiet des heutigen Libyen hat man Mumien aus der Zeit um 4 000 v. Chr. gefunden.

Gewöhnlich wird die Entstehung der modernen Präparierkunst auf die Holländer zurückgeführt. Dabei geht es darum, ein Tierfell oder Federkleid so auf ein 'Gerüst' zu spannen, daß der Zuschauer einen möglichst naturgetreuen Eindruck des Tieres erhält. Schon im Jahre 1517 wurde in Amsterdam

Unten: Der Präparator Charles Gerrard in seiner Werkstatt, mit einer bunten Vielfalt von Präparaten.



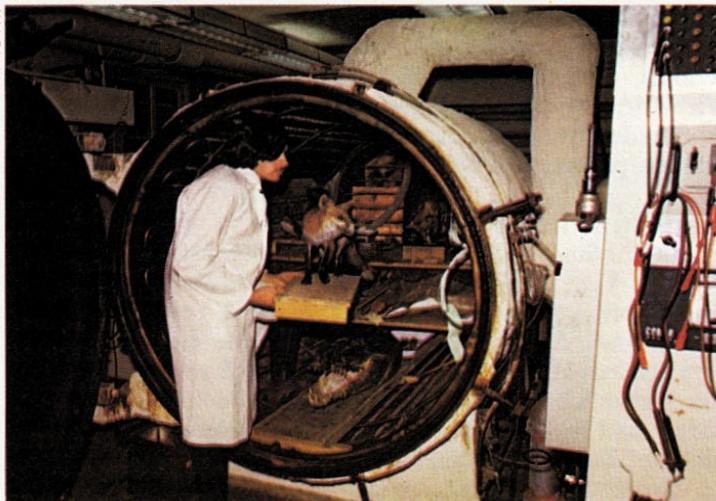
eine Sammlung ausgestopfter Tropenvögel gezeigt. Das älteste noch existierende Museumsexemplar eines präparierten Tieres befindet sich im Naturhistorischen Museum (Abteilung Wirbeltiere) von Florenz. Dabei handelt es sich um ein im 16. Jahrhundert für das Museum des Ulisse Aldobrandini in Bologna präpariertes Nashorn.

Herkömmliche Verfahren

In den Anfängen der Kunst der Taxidermisten wurde das jeweilige Tier einfach mit Sägemehl, Heu, Stroh oder Werg ausgestopft, bis die ursprüngliche Form in etwa wiederhergestellt war. Anschließend wurden Drähte eingezogen, die dem Ganzen Halt geben sollten. Allmählich trat an die Stelle dieses ziemlich groben Verfahrens ein Modellieren nach der Natur und ein ordnungsgemäßes Präparieren. Dazu entwickelte man verschiedene Verfahren, die hauptsächlich von der Größe des Tieres abhingen.

Montague Browne war einer der bekanntesten Präparatoren, die im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts wirkten. Er arbeitete für das Museum in Leicester, England, und beschrieb, wie man einen Tiger präparieren konnte. Vom enthäuteten Körper des Tieres wurde ein Gipsabguß genommen, den man dann in sechs 'Abschnitte' unterteilt. Auf die Innenseite eines jeden Abschnitts wurden so lange abwechselnd Schichten aus Florgewebe und Packpapier geklebt, bis eine feste Form daraus entstand. Diese Formen wurden von der Grundlage abgenommen und miteinander verleimt. Dies ergab eine naturgetreue Nachbildung des Tigerleibes. Das auf diese Weise entstandene dermatologische 'Phantom' wurde mittels eines Lacküberzugs wasserfest gemacht, mit Sägemehl gefüllt und mit Drähten von innen versteift. Anschließend überzog man es mit der gesäuberten und präparierten Haut des Tieres.

Ein weiteres Präparat Brownes war ein Elefant. Zuerst wurde das Tier enthäutet. Die Haut wurde in einer Lösung aus Natriumchlorid (Kochsalz) und Alaun (Kalium-Aluminium-Sulfat) gegerbt. Aus einem mit Sackleinwand ('Rupfen') überzogenen Drahtgeflecht wurde ein Körper



Oben: Eine große Unterdruckkammer zum Gefriertrocknen. Es kann viele Monate dauern, bis auf diese Weise Tiere präpariert sind.

nachgebaut, der an Stellen, an denen Details herausgearbeitet werden mußten, mit Gips verfeinert wurde. Bevor man die Haut auflegen und zusammennähen konnte, mußte sie dünner gemacht werden, da sonst ein zu hohes Gewicht und ungleichmäßige Stärke zu Verzerrungen im Aussehen geführt hätten. Wir wissen von Browne, daß man auf der Innenseite der Elefantenhaut, hauptsächlich aus den Beinen, 300 kg abnahm. Sechs Männer waren sechs Wochen lang mit der Herstellung des Präparates beschäftigt.

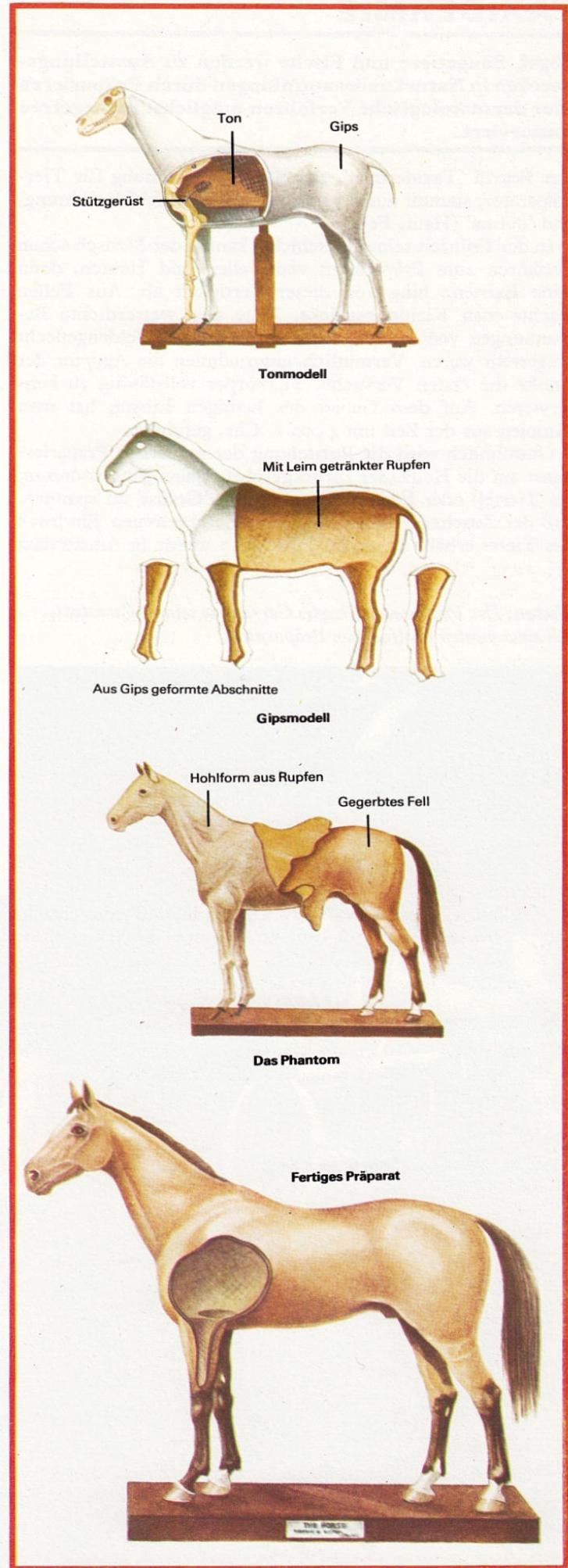
Heute wird ein kleines Nagetier oder ein Vogel im Normalfalle wie folgt präpariert: Zuerst wird das Tier gesäubert und sorgfältig vermessen, damit sichergestellt ist, daß das fertige Präparat so naturgetreu wie möglich wirkt. Als nächstes führt man an der Unterseite des Tieres einen Längsschnitt durch, der nur so lang ist, daß man den Kadaver aus dem Balg herausnehmen kann. Nach dem Ablösen der Haut werden die Knochen der Gliedmaßen an ihren Gelenkstellen sowie der Schwanz und der Hals an den unteren Wirbeln durchtrennt. Jetzt kann der Kadaver herausgenommen werden. Die Schädel-, Glieder- und Schwanzknochen werden gründlich gesäubert.

Von der Innenseite der Haut wird so viel Fett wie möglich abgenommen, da der Balg sonst verwesen würde. Nachdem man die Haut beispielsweise in Formaldehyd oder Karbolsäure gebeizt hat, wird sie auf den plastisch nachgebildeten Tierkörper aufgeklebt. Diese dermatologische Plastik wird heute oft aus Polystyrenschaum hergestellt. Um die Gliedmaßen sowie Kopf und Schwanz in der gewünschten Lage zu halten, setzt man Drähte ein. Das am Kopf abgenommene Fleisch wird durch Polstermaterial ersetzt. Zum Schluß wird das Fell mit einer dünnen, gebogenen Nadel vernäht und sein ursprüngliches Aussehen mit Bitterspatpulver (Magnesit) wieder hergestellt. In die Augenhöhlen werden dann in eine dort angebrachte Masse aus Modellierton Kunstaugen eingesetzt.

In heutiger Zeit verwenden Präparatoren alle Materialien, die ihnen geeignet erscheinen. So finden in den Vereinigten Staaten von Amerika weitgehend Glasfaser und Kunststoffe Verwendung. Viele Präparate haben Zungen, Innenohren und Knochenschädel aus Kunststoff.

Gefriertrocknen

In den sechziger Jahren wurde ein Verfahren eingeführt, bei dem das Präparieren durch Gefrieren erfolgt. Das zu präparierende, tote Tier wird in eine dem Leben nachempfundene





Oben: Ein im kombinierten Verfahren präpariertes Wiesel. Dieses Verfahren ist sehr zeitsparend.

Haltung gebracht. Nachdem man ihm Glasaugen eingesetzt hat, wird es auf -15°C abgekühlt und dann in eine Unterdruckkammer gebracht. Unter diesen Bedingungen findet ein Prozeß statt, den man Sublimation nennt: Dies bedeutet, daß ein Stoff unmittelbar vom festen Aggregatzustand in den gasförmigen Zustand übergeht, wobei der dazwischenliegende flüssige Zustand übersprungen wird. Das heißt also, daß in diesem Falle das durch das Gefrieren der Körperflüssigkeit entstandene Eis verdampft, ohne zuvor zu schmelzen. Das verdampfte Wasser wird in der Unterdruckkammer auf einer Gefrierschlange angelagert. Nach einem Zeitraum, der von mehreren Tagen bis zu mehreren Monaten reichen kann, trocknet das zu präparierende Tier vollständig aus (es mumifiziert), ohne dabei sichtbar seine Form zu ändern oder einzuschrumpfen.

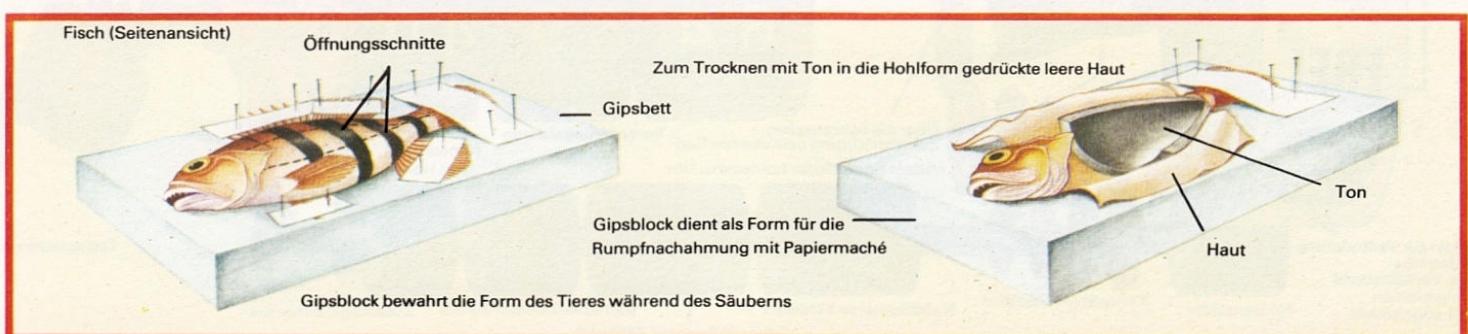
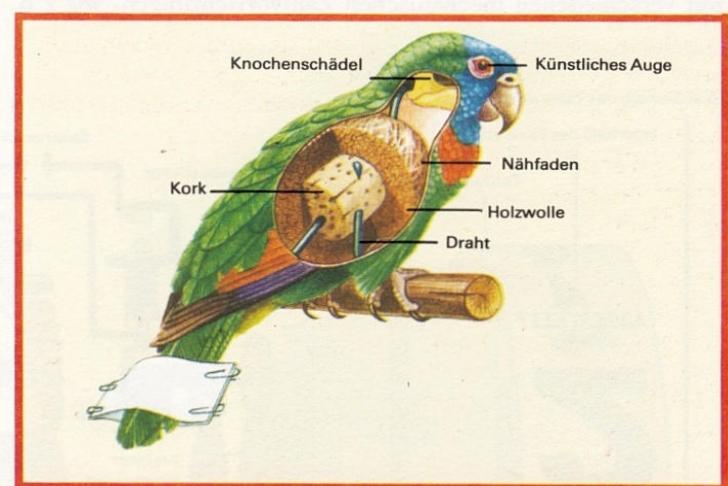
Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß jedes einzelne Haar, jede kleine Hautunbebenheit und sogar die Schnurrhaare von Katzen in der richtigen Lage und Stellung bleiben. Das fertige Präparat schließlich ist fester und kräftiger als das auf herkömmliche Weise hergestellte Präparat, da es durch die eigenen Sehnen und Bänder zusammengehalten wird. Zu den Nachteilen gehören der große Zeitaufwand (es dauerte beispielsweise 18 Monate, bis eine Schleie von 45 cm Länge auf diese Weise präpariert war) und die Abmessungen, die sich

Links, rechts und unten: Bei Großsäugern werden Schädel- und Beinknochen von einem Stützgerüst getragen, das aus Drahtgeflecht und Ton besteht und mit Gips überzogen wird, bis das anatomische Modell (Phantom) fertig ist. Kleinere Tiere werden mit Büscheln von Holzwolle bester Qualität ausgestopft. Fische werden mit Pappmaché gefüllt.

aus der Innengröße der Vakuumkammer ergibt. Außerdem leiden auf diese Weise hergestellte Präparate oft unter Schädlingsbefall, da das Verfahren vollständig ohne Chemikalien auskommt.

Kombiniertes Präparieren

Dieses aus neuerer Zeit stammende Verfahren kombiniert das herkömmliche Präparieren mit dem Gefriertrocknen. Bei einem Kaninchen beispielsweise wird an die Stelle der Unterleibsorgane ein gepolsterter Drahtrahmen gesetzt. Nach dem Zusammennähen wird das Tier gefriergetrocknet. Bei diesem Verfahren verkürzt sich die Präparationszeit um 75% gegenüber dem ausschließlich mit Gefriertrocknung arbeitenden Verfahren. Man kann auch einen ganz und gar künstlichen Körper verwenden, mit einem aus Wachs modellierten Kopf oder auch ohne Kopf. In diesem Falle lassen sich Kopf und Pfoten in lediglich zehn Tagen durch Gefriertrocknung vollkommen präparieren.



TAXAMETER UND FAHRTSCHREIBER

Der auf einem Taxameter (Fahrpreisanzeiger) angezeigte Betrag erhöht sich im Verhältnis zur Fahrstrecke oder zur Fahrzeit — je nachdem, was für den Fahrer gewinnbringender ist —, so daß der einzelne Fahrgast sowohl für Kraftstoff und Abnutzung des Fahrzeuges als auch für die vom Fahrer aufgewendete Zeit bezahlt.

Die Beförderungsgebühr für eine Taxifahrt darf nicht nur von der zurückgelegten Entfernung abhängen, sondern muß auch die in Verkehrsstaus oder an anderen Orten verbrachte Wartezeit berücksichtigen. Außerdem können bei verschiedenen Gelegenheiten unterschiedliche Personenbeförderungstarife gelten, wie z.B. während bestimmter Nachtstunden oder für bestimmte Fahrten. Es kann ein Sondertarif in Kraft treten, wenn das Taxi aus irgendeinem Grunde auf den Fahrgast warten muß. Der zur Angabe und Aufzeichnung der Beförderungsgebühr benutzte Taxameter muß einerseits alle diese Faktoren berücksichtigen, andererseits aber einfach zu bedienen und doch so kompliziert sein, daß keine unerlaubten Eingriffe an ihm vorgenommen werden können.

Bei einer typischen Taxameter-Konstruktion wird die Streckenmessung über die Tachometerwelle des Taxis vorgenommen. Es handelt sich hierbei fast immer um eine nach dem Prinzip des 'Bowdenzuges' aus Drahtlitzen gedrehte elastische Welle, die von einer ebenfalls elastischen Ummantelung geschützt wird.

Damit der Tachometer nicht in seiner Funktion gestört wird, ist an dem freien Ende der Tachometerwelle ein T-Stück angebracht, das auf der einen Seite zum Tachometer und auf der anderen Seite zur Antriebswelle des Taxameters führt.

Die Taxameter-Antriebswelle setzt einen Einstellrad-Satz in Bewegung, der speziell für das betreffende Fahrzeug ausgewählt wurde, da die verschiedenen Kraftfahrzeug-Hersteller mit unterschiedlichen Tachometerwellen-Drehzahlen arbeiten. Die Zahnräder wiederum drehen eine Welle mit verschiedenen mechanischen Zählvorrichtungen, wie z.B.

Sammel-Kilometerzähler, die nicht nach jeder einzelnen Fahrt auf Null gestellt werden, sondern die zurückgelegten Gesamtkilometer festhalten.

Von dieser Welle überträgt ein anderes Zahnrad die zurückgelegte Entfernung auf ein Zahnrad einer anderen Welle, dessen Umdrehungen die Berechnung des endgültigen Fahrpreises durchführen. Auf dieser Welle befindet sich ein weiteres Zahnrad, das über ein Uhrwerk angetrieben wird. Der endgültige Fahrpreis richtet sich danach, welches dieser Zahnräder sich schneller bewegt. Jedes dieser beiden Zahnräder ist mit einem FREILAUF-Mechanismus wie etwa bei einem Fahrrad verbunden, so daß sich beide Zahnräder nicht gleichzeitig drehen können.

Zur Änderung der Beförderungstarife müssen die Antriebsräder selbst ausgewechselt werden, eine Arbeit, die nur von der Firma durchgeführt werden kann, die die Taxameter baut oder liefert. Jedoch ist in jeden Taxameter eine ganze Gruppe von Zahnräder eingesetzt, damit verschiedene Tarifbereiche einstellbar sind.

Von der kombinierten Welle betätigt ein Nocken das abschließende Zählwerk, das den Fahrpreis anzeigt. Bei modernen Taxametern verläuft dieser Vorgang elektromechanisch über einen von der Batterie des Kraftfahrzeugs mit Strom versorgten Magnetschalter. Ein zusätzliches, handbetriebenes Zählwerk zeigt zusätzliche Gebühren an, wie sie für jeden weiteren Fahrgast oder für Gepäck anfallen.

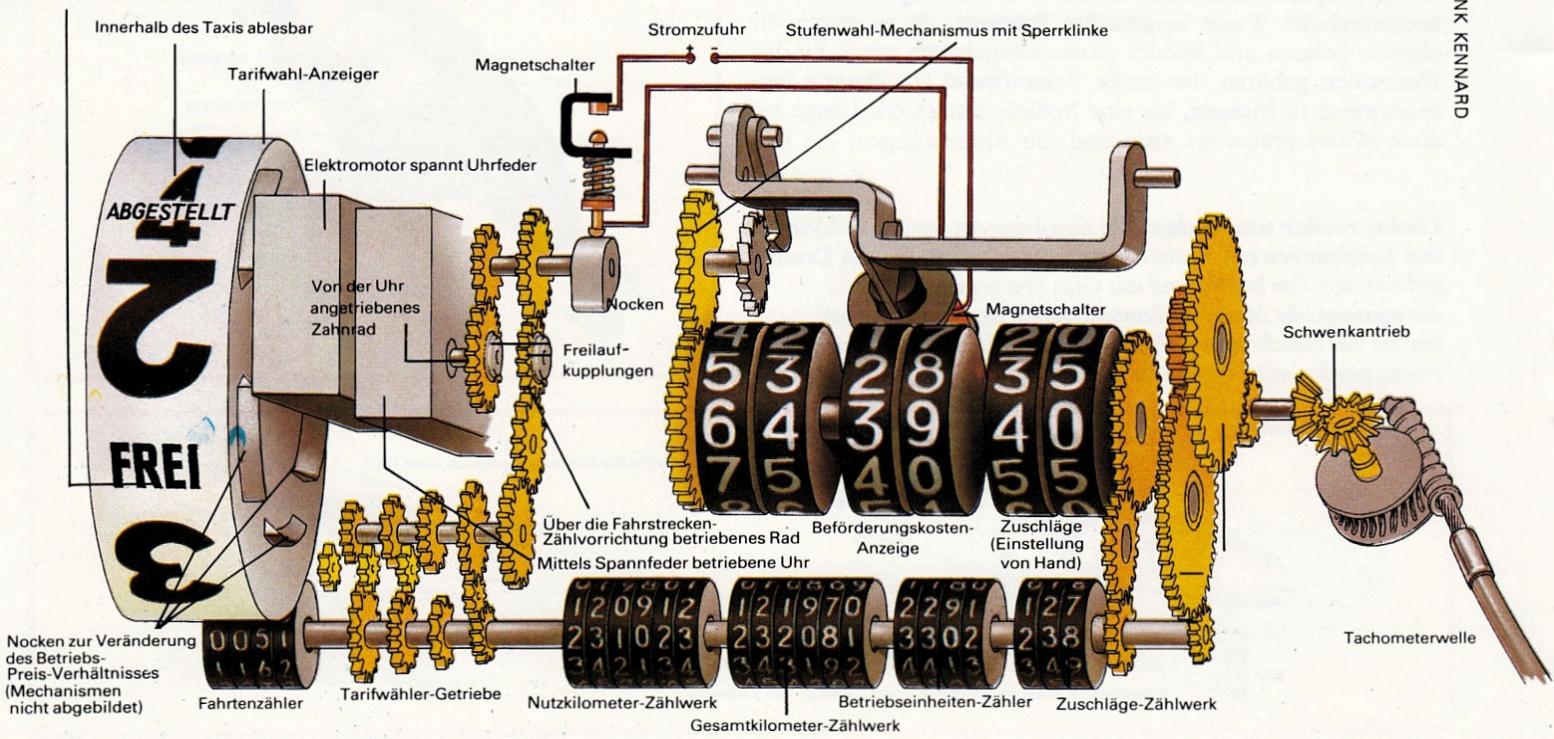
Fahrtsschreiber

Beim Fahrtsschreiber (Tachograph) handelt es sich um ein Meßgerät zur Überwachung der wirtschaftlichen und verkehrssicheren Betriebs- und Fahrweise von Kraftfahrzeugen.

In Deutschland sind Fahrtsschreiber durch § 57a der StVZO (Straßenverkehrszulassungsordnung) gesetzlich für Kraftfahrzeuge mit mehr als 7,5 t Gesamtgewicht, Zugmaschinen mit mehr als 40 kW Motorleistung und Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als 8 Fahrgastplätzen gesetzlich vorgeschrieben. Diese Vorschrift gilt jedoch nicht für Fahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit von weniger als 40 km/h.

Die noch vor wenigen Jahren gebräuchlichen, mechanischen

Von außerhalb des Taxis ablesbar





Oben: Ein Fahrtschreiber (Tachograph), wie er für LKWs in der Bundesrepublik Deutschland gesetzlich vorgeschrieben ist. Man kann auf dem abgebildeten Zifferblatt Uhrzeit, Geschwindigkeit und zurückgelegte Kilometerzahl ablesen.

Rechts: Ein Taxameter, an dem der Fahrgast den genauen Fahrpreis plus eventuelle Zuschläge ablesen kann.

Links: Ein einstellbarer Taxameter, der mit vier Tarifen betrieben werden kann. Je nachdem, ob das von der Tachometerwelle oder von der Zeituhr betriebene Zahnrad schneller umläuft, wird ein Magnetschalter ausgelöst, der die Anzeige vorrückt. Das jeweils langsamer umlaufende Zahnrad befindet sich nicht im Eingriff.

Fahrtsschreiber sind in immer stärkerem Maße durch elektronische Fahrtsschreiber abgelöst worden. Die sich hierdurch ergebenden Vereinfachungen machen sich schon beim Einbau bemerkbar. Es werden keine mechanischen Wellen benötigt, die bei Großfahrzeugen oft eine Länge von über 12 Metern aufweisen, sondern man arbeitet mit problemlosen und wartungsfreien elektrischen Zuleitungen, ein entscheidender Vorteil für alle Benutzer.

Bereits am Getriebestutzen erzeugt ein Geber aus den mechanischen Umdrehungen elektrische Pulse. Diese Pulse werden im elektronischen Meßsystem des Gerätes in eine Spannung umgewandelt, deren Höhe proportional zur Fahrgeschwindigkeit ist. Durch einen Regelkreis mit Stellmotor und Potentiometer wird die Position von Schreibern und Anzeige der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit angeglichen. Bei jeder Veränderung der Pulsfrequenz kommt es innerhalb von Millisekunden zur Verstellung des Schreiberschlittens. Ebenfalls über diesen Geber wird eine weitere Pulsfolge erzeugt, durch welche die zurückgelegte Wegstrecke im Gerät gezählt und registriert wird.

Der Aufschrieb auf den Diagrammscheiben erfolgt bei fast allen Geräten mittels Saphirspitzen. In der Regel werden folgende Daten erfaßt: Wegstrecke, Geschwindigkeit, Fahr- und Haltezeiten, Uhrzeit und gegebenenfalls die Motordrehzahl. Während die Geschwindigkeit und die Zeit auf übersichtlichen Zifferblättern ablesbar sind, erscheint die zurückgelegte Wegstrecke auf einem siebenstöckigen Zähler. Bei Fahrtsschreibern mit Drehzahlanzeige und -aufschrieb wird das elektronische Meßsystem für die Drehzahl ebenfalls von einem am Kfz-Motor angeschlossenen Geber angesteuert. Auch in diesem Falle ersetzt ein wartungsfreies Kabel die biegsame Antriebswelle.



TEILCHENBESCHLEUNIGER

Im Teilchenbeschleuniger lassen sich subatomare Teilchen mit einer Energie von nahezu einer Billion Elektronenvolt erzeugen. Solche energiereichen Objekte können Atomkerne spalten und neue Teilchen, z.B. Anti-Protonen, erzeugen.

Teilchenbeschleuniger sind Maschinen, die Strahlen von elektrisch geladenen 'Teilchen', also Ionen oder Elementarteilchen, Energie zuführen. Mit diesen Beschleunigern wird es möglich, an vorgegebenen Positionen und unter kontrollierten Bedingungen hohe Energie in winzigen Volumina zu konzentrieren. Diese Möglichkeit führt zu einer Reihe von technischen und wissenschaftlichen Anwendungen in der Kernphysik.

Viele verschiedene Beschleunigertypen sind entwickelt worden, um die erreichbaren Energien immer weiter zu vergrößern. Trotz dieser Vielfalt sind allen Maschinen einige Grundprinzipien gemeinsam: Die wesentlichen Bestandteile eines Beschleunigers sind eine Quelle, die die geladenen Teilchen produzieren, sowie Vorrichtungen für die Erzeugung elektrischer und magnetischer Felder zur Beschleunigung und Führung des Teilchenstromes. Mit diesen Hilfsmitteln kann man nicht nur die elementaren, geladenen Kernbausteine, Protonen und Elektronen, sondern beispielsweise auch Alpha-Teilchen beschleunigen, die aus zwei Protonen und zwei Neutronen bestehen, also zweifach positiv geladene Helium-Ionen darstellen.

Grundprinzipien des Teilchenbeschleunigers

Die Grundprinzipien, die man bei einem Teilchenbeschleuniger anwendet, finden sich auch bei dem uns vertrauterer Kathodenstrahlzosiloskop, also der Bildröhre eines Fernsehgerätes.

In der Fernsehröhre wird ein feiner Elektronenstrahl auf einen fluoreszierenden Bildschirm geworfen und so abgelenkt, daß er in schneller Folge verschiedene Punkte des Schirmes trifft. Dort wo der Strahl auftritt, wird das fluoreszierende Material je nach Intensität des Elektronenstrahles zum Leuchten angeregt; auf diese Weise entsteht — Punkt für Punkt — das Bild. Die Elektronen erhält man durch Erhitzen eines Drahtes ('Filament'). Dadurch gewinnen die Elektronen genug Energie, um den Draht zu verlassen, und 'dampfen ab'. Jedes Elektron trägt eine negative Elementarladung. Mit dem Filament als negativem Pol ('Katode') und einer weiteren, positiven Elektrode ('Anode'), die näher zum Bildschirm liegt, befinden sich die freigesetzten Elektronen in einem elektrischen Feld.

In diesem Feld werden die Elektronen zur Anode hin beschleunigt und gewinnen dabei Energie, denn ein negativ geladenes Teilchen wird vom positiven Pol angezogen und



von einer negativen Elektrode abgestoßen. Mit einem positiv geladenen Teilchen geschieht genau das Gegenteil: Es wird von der positiven Elektrode zur negativen hin beschleunigt.

Magnetische Felder können die Flugbahn elektrisch geladener Teilchen krümmen. Deshalb benutzt man auch in der Fernsehröhre kleine Magnete, die die Flugbahnen der Elektronen so beeinflussen, daß der Strahl beim Auftreffen auf den Bildschirm sehr fein wird, obwohl die Elektronen aus dem Filament in verschiedene Richtungen austreten. Die Ablenkungskraft der Magnete 'fokussiert' den Elektronenstrahl, vergleichbar mit der Wirkung einer Sammellinse auf ein Lichtbündel.

Dieselben Prinzipien gelten auch für die fortschrittlichsten Teilchenbeschleuniger. Man braucht zunächst eine Quelle, in der Elektronen, Protonen oder andere Ionen freigesetzt werden. Die Teilchen werden dann von einem elektrischen Feld beschleunigt (der 'Potentialgradient' spielt hier die gleiche Rolle wie das Gefälle für Teilchen im Schwerefeld). Sie bewegen sich weiter unter dem Einfluß magnetischer Felder,

Links: Luftaufnahme des europäischen Kernforschungszentrums (CERN) in Genf. In den Laboratorien CERN I und CERN II sind insgesamt 3 650 Angestellte tätig. Das Synchrotron von CERN II hat einen Durchmesser von 5 km und kann Energiewerte von 400 GeV erzeugen.

Unten links: Dieser Van-de-Graaf-Elektronenbeschleuniger ist die Elektronenquelle für ein großes Elektronenmikroskop. Der Beschleuniger erzeugt Spannungswerte von einer Million Volt. Die Van-de-Graaf-Anlagen waren die ersten Beschleunigungssysteme.

CERN

die sie fokussieren und in die gewünschte Richtung lenken.

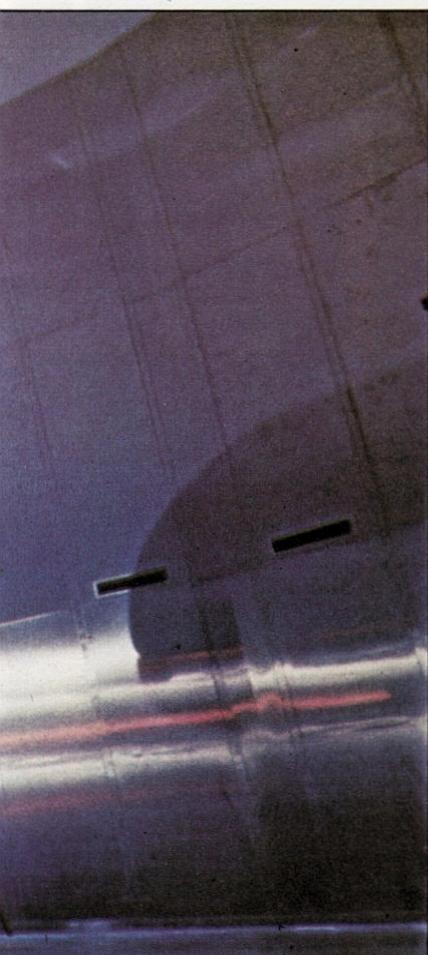
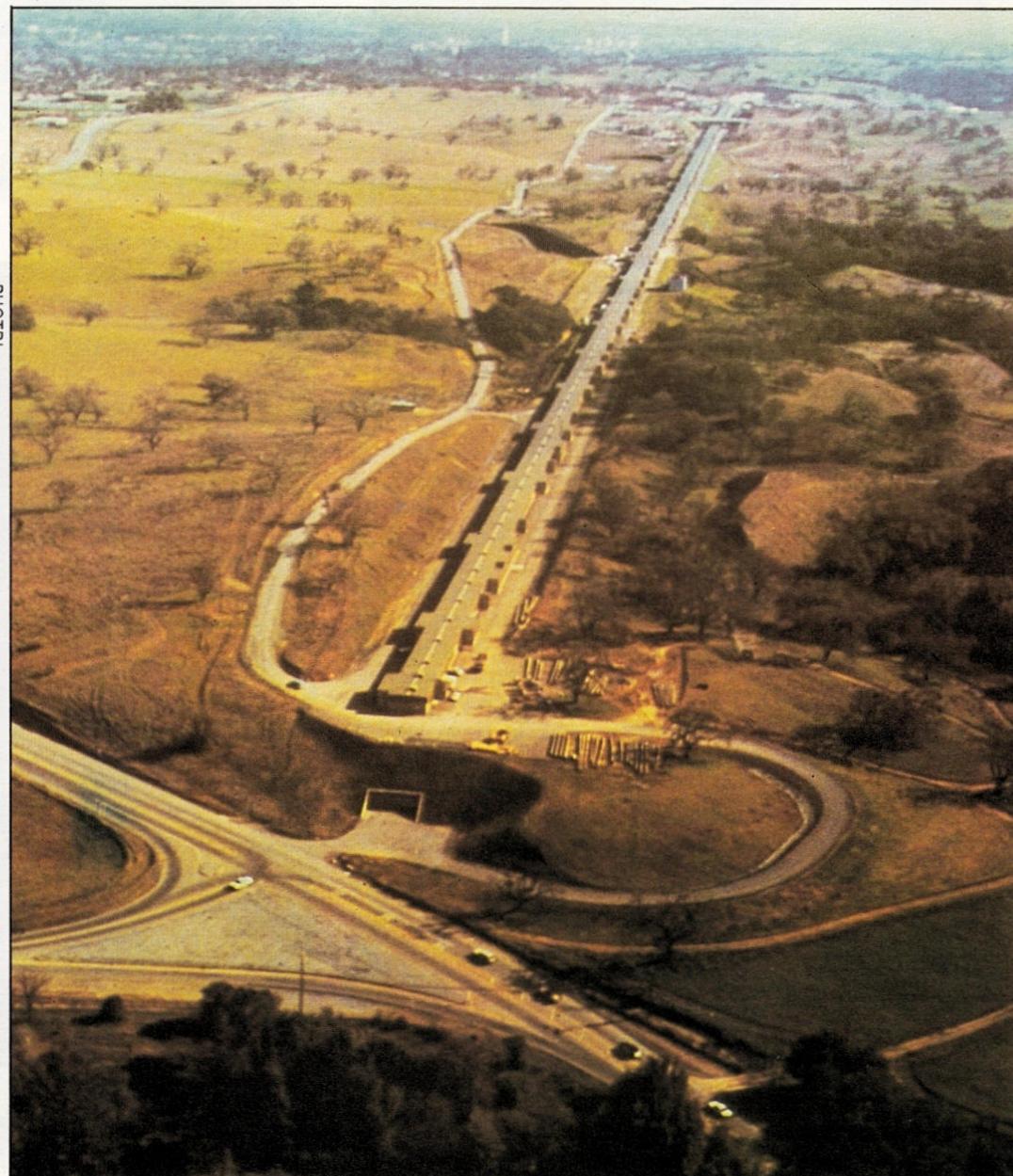
Normalerweise ist eine weitere Bedingung zu erfüllen: Die Flugbahn der Teilchen sollte in einem gut evakuierten Raum verlaufen, damit sie nicht von den Luftmolekülen gestreut werden. Die Luftstreuung würde die Fokussierung stören und die Intensität verringern.

Die Einheit 'Elektronenvolt' (abgekürzt: eV) dient zur anschaulichen Beschreibung der Energie, die die Teilchen bei der Beschleunigung erhalten. Die Bildröhre eines Fernsehapparates arbeitet z.B. zwischen Anode und Katode mit einer Beschleunigungsspannung von etwa 10 000 Volt (meist als 10 kV abgekürzt). Jedes Elektron, das auf den Bildschirm trifft, hat eine Energie von 10 000 eV (= 10 keV) aufgenommen.

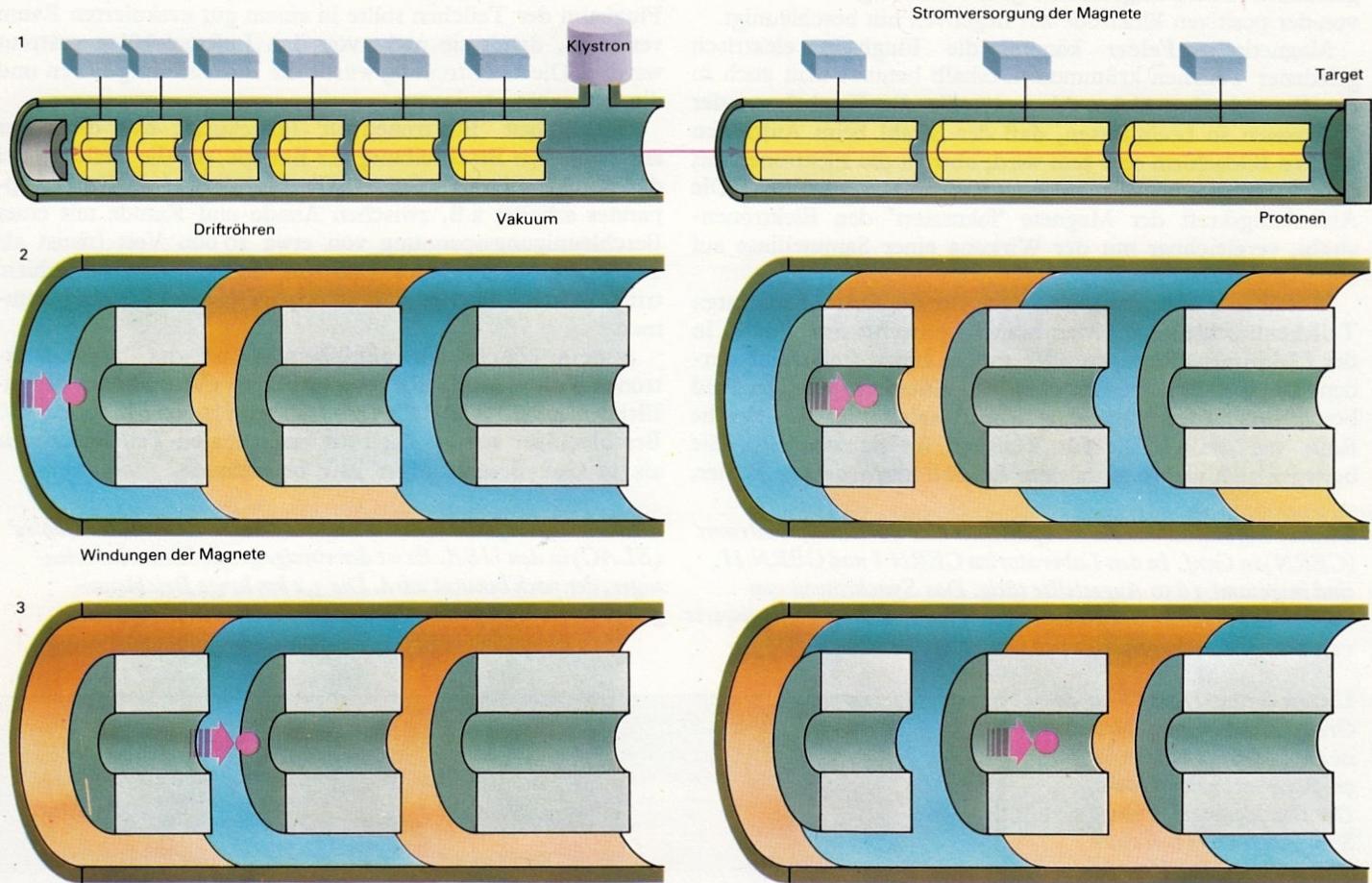
Andere übliche Energieeinheiten sind das 'Mega-Elektronen-Volt' (MeV) für eine Million eV und das 'Giga-Elektronenvolt' (GeV) für eine Milliarde (1 000 Millionen) eV. Beschleuniger werden nach der erreichbaren Teilchenenergie als '10 GeV-Beschleuniger' usw. bezeichnet.

Unten: Luftaufnahme des 'Stanford Linear Accelerator Centre' (SLAC) in den USA. Es ist der einzige große Linearbeschleuniger, der noch benutzt wird. Die 3,2 km lange Beschleunigungsstrecke liegt in der Nähe von Palo Alto in Kalifornien.

PHOTRI



PHOTRI



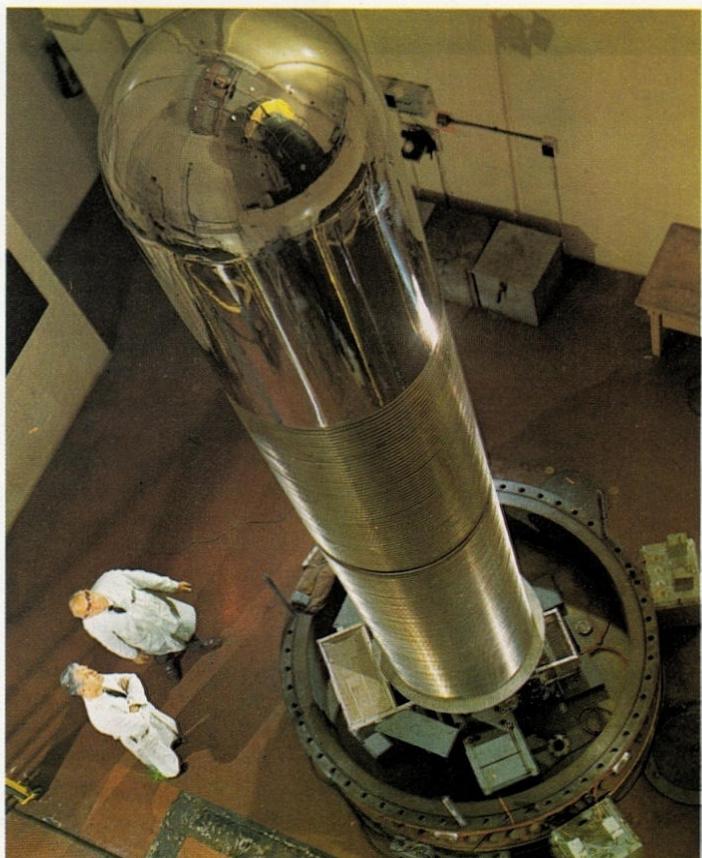
Anwendung von Teilchenbeschleunigern

Die stärksten Teilchenbeschleuniger werden in der Forschung eingesetzt, um die fundamentalen Bausteine der Materie und ihr Verhalten zu studieren. Mit der Entwicklung von Beschleunigern mit immer höherer Energie ist es gelungen, eine unglaublich komplizierte Welt zugänglich zu machen. Hunderte von zuvor unbekannten Elementarteilchen, die kleiner als der Atomkern sind, wurden nach ihrer Entdeckung gründlich studiert und haben Zusammenhänge sichtbar werden lassen, die einfacheren Vorstellungen über die Vorgänge in der Natur keineswegs entsprechen.

Diese Untersuchungen haben vor allem deshalb neue Erkenntnisse geliefert, weil mit Teilchen immer höherer Energie in andere Teilchen immer 'tiefer' eingedrungen werden konnte. So kann beispielsweise ein Teilchen mit einer Energie von einigen MeV in den Kern eines Atoms eindringen und diesen in Teilstücke zerschlagen oder in einen anderen Zustand überführen. (Diese Energien sind bereits erheblich höher als die für die Ionisierung eines Atomes benötigten Energien: Das Anzünden eines Streichholzes genügt, um Energien von einigen eV freizusetzen, die zum Abtrennen von Elektronen von Atomen und Molekülen ausreichen.)

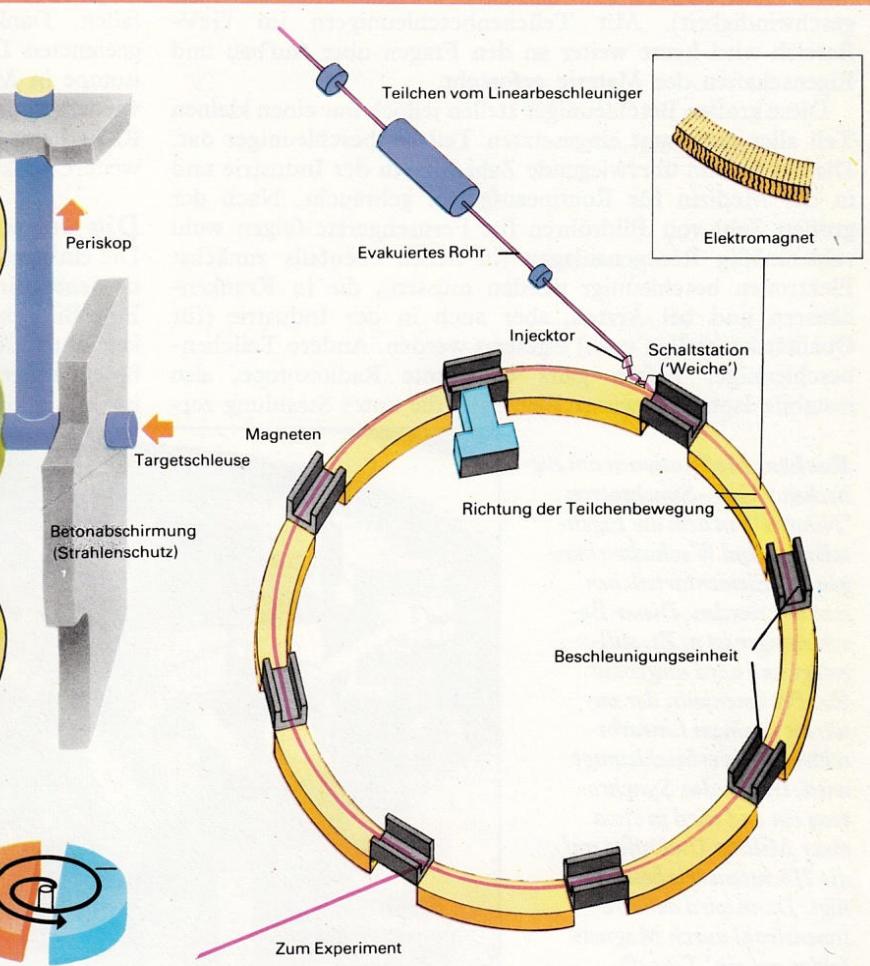
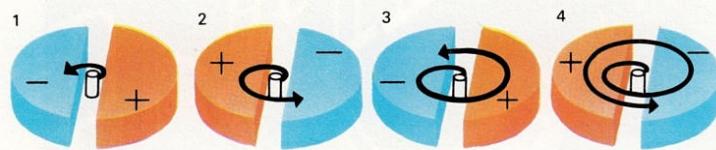
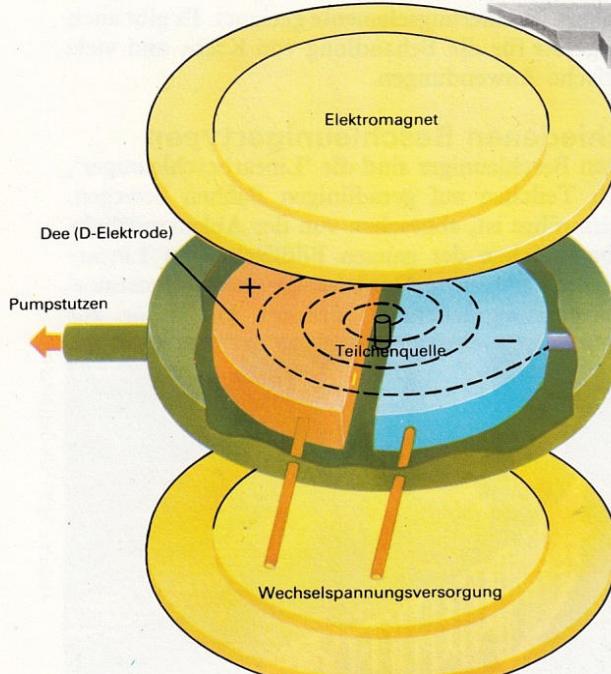
Reaktionen

Werden nun Teilchen auf Energien im Bereich einiger GeV beschleunigt, so können sie nicht nur die Ansammlung von Teilchen in einem Atomkern durchdringen, sondern auch in einzelne Elementarteilchen eindringen. Dabei ergeben sich ganz überraschende, spektakuläre Reaktionen. Im Moment des Zusammenstoßes kann die Energie groß genug sein, um völlig neue Elementarteilchen zu erzeugen: Nach Einsteins Gleichung $E = mc^2$ sind Masse m und Energie E nur zwei verschiedene Erscheinungsformen der Materie (c = Licht-



UKAEA

Oben: Ein 6-MeV-Van-de-Graaff-Generator. Die auf konstante Energie beschleunigten Teilchen werden auf verschiedene Targets geschossen.



Oben links: Ein Linearbeschleuniger. Die Teilchen werden durch ein wellenförmig um die Maschine laufendes elektrisches Feld beschleunigt, das durch ein 'Klystron' im Innern des aus Kupfer bestehenden Vakuumrohrs erzeugt wird.

Oben: Ein Zyklotron. Es besteht aus 2 D-förmigen Hohlräumen, die in eine Vakuumkammer eingebaut sind und zwischen den Polschulen eines Elektromagneten sitzen. Die 'Dees' erhalten abwechselnd eine positive und eine negative Spannung, und ein in der Mitte erzeugtes geladenes Teilchen wird in dem Spalt zwischen den Dees beschleunigt. Unter dem Einfluß des Magnetfelds und der Beschleunigung im Spalt bewegt sich das Teilchen auf einer Spiralbahn bis zur äußeren Wand.

Oben rechts: Ein Synchrotron. Die vorbeschleunigten Teilchen werden in den Vakuumring des Synchrotrons eingeschleust und durch starke Elektromagnete auf einer Kreisbahn gehalten. Bei jedem Umlauf werden sie auf eine höhere Energie gebracht, bis sie die Endenergie erreicht haben.

Rechts: Ein Linearbeschleuniger zur Beschleunigung schwerer Teilchen. Das äußere Rohr hat einen Durchmesser von 3 m.



geschwindigkeit). Mit Teilchenbeschleunigern im GeV-Bereich wird heute weiter an den Fragen über Aufbau und Eigenschaften der Materie geforscht.

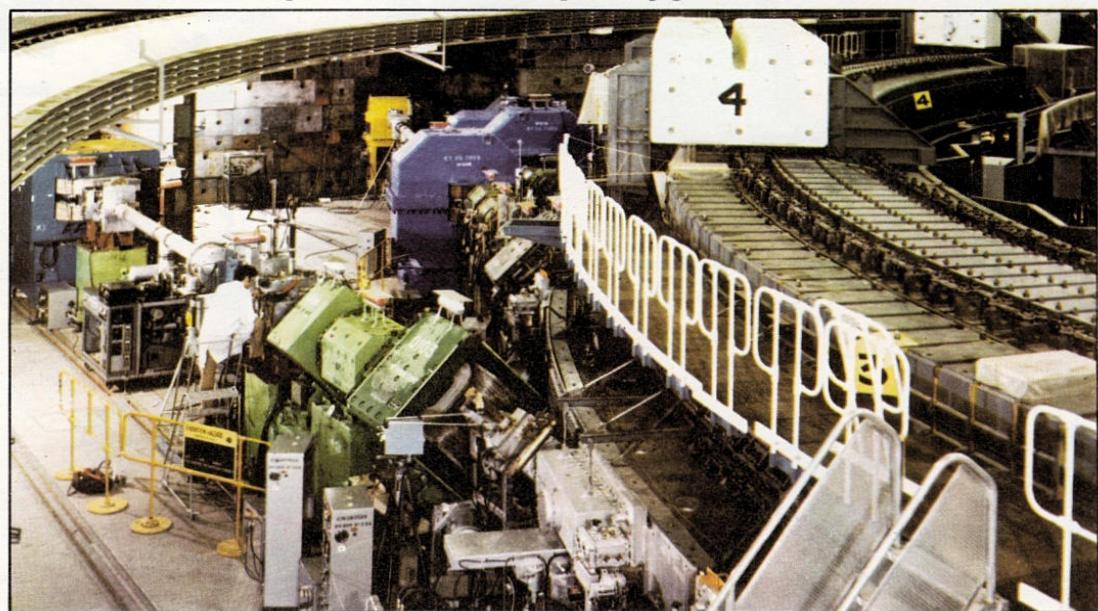
Diese großen Beschleuniger stellen jedoch nur einen kleinen Teil aller insgesamt eingesetzten Teilchenbeschleuniger dar. Die bei weitem überwiegende Zahl wird in der Industrie und in der Medizin für Routineaufgaben gebraucht. Nach der großen Zahl von Bildröhren für Fernsehgeräte folgen wohl zahlenmäßig Röntgenanlagen (in denen ebenfalls zunächst Elektronen beschleunigt werden müssen), die in Krankenhäusern und bei Ärzten, aber auch in der Industrie (für Qualitätskontrollen usw.) eingesetzt werden. Andere Teilchenbeschleuniger liefern ganz bestimmte Radioisotope, also instabile Isotope gewisser Elemente, die unter Strahlung zer-

Rechts: Meßstationen am englischen 7 GeV-Synchrotron 'Nimrod', an dem die Eigenschaften und Wechselwirkungen der Elementarteilchen studiert werden. Dieser Beschleuniger ist z. Zt. stillgelegt und wird umgebaut. Ein Protonenpuls, der zunächst in einem Linearbeschleuniger vorbeschleunigt wird, tritt in das Synchrotron ein und wird in etwa einer Million Umläufen auf die Höchstenergie beschleunigt. Dann wird der Protonenstrahl durch Magnetfelder auf ein 'Target' gelenkt, durch das er in ein Strahlrohr gelangt.

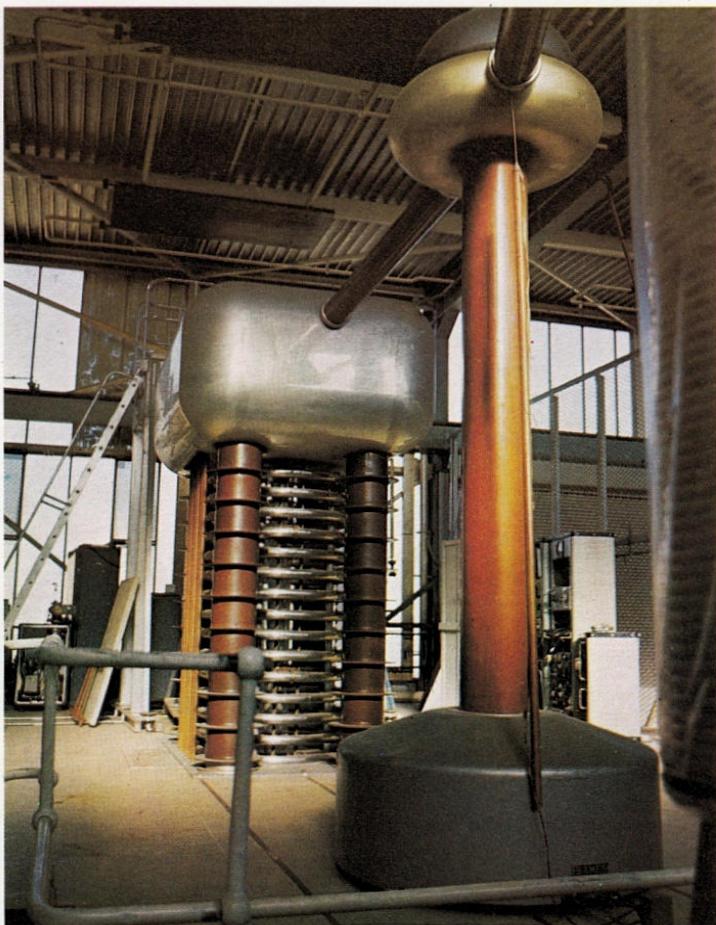
fallen. Dank ihrer charakteristischen Strahlung, die mit geeigneten Detektoren gemessen werden kann, sind Radioisotope in Medizin, Industrie und Landwirtschaft als leicht wiederfindbare Markierungselemente geeignet. Es gibt auch Radiotherapiegeräte für die Behandlung von Krebs und viele weitere praktische Anwendungen.

Die verschiedenen Beschleunigertypen

Die einfachsten Beschleuniger sind die 'Linearbeschleuniger', in denen sich Teilchen auf geradlinigen Bahnen bewegen. Eine Bildschirmröhre ist, abgesehen von der Ablenkmöglichkeit zum Überstreichen der ganzen Bildfläche, ein Linearbeschleuniger für Elektronen. Der 'Van-de-Graaff-Generator' ist ein Hochspannungsgenerator, der oft im Labor zur



RUTHERFORD LABORATORY



(linearen) Teilchenbeschleunigung eingesetzt wird.

Es gibt auch speziellere Linearbeschleuniger. Ein bekannter Typ wurde von Alvarez (geb. 1911) entwickelt. Dieser Beschleuniger besteht aus einem langen zylindrischen Tank, in dem eine Reihe von Hohlzylindern ('Driftröhren'), durch bestimmte Abstände voneinander getrennt, in gerader Linie hintereinander liegen. An den Tank wird eine hochfrequente elektrische Spannung gelegt, so daß das elektrische Feld im Innern periodisch die Richtung wechselt. Von einem Ende aus werden dann geladene Teilchen durch die Achse der Driftröhren eingeschleust. Die Schwingungsdauer des elektrischen Feldes und die Länge der Röhren sind so aufeinander abgestimmt, daß das Feld gerade dann beschleunigend wirkt, wenn die Teilchen aus einem Rohr in den Zwischenraum treten. Handelt es sich beispielsweise um (positiv geladene) Protonen, so wird das hinter ihnen liegende Rohr gerade positiv, wenn sie aus ihm austreten, und das vor ihnen liegende negativ, so daß die Protonen über den Zwischenraum beschleunigt werden. Danach ändert das elektrische Feld seine Richtung, und die Protonen würden wieder abgebremst. Da sie aber während dieser Zeit das Innere der nächsten Driftröhre durchfliegen, sind sie gegen das äußere Feld abgeschirmt und behalten ihre Geschwindigkeit.

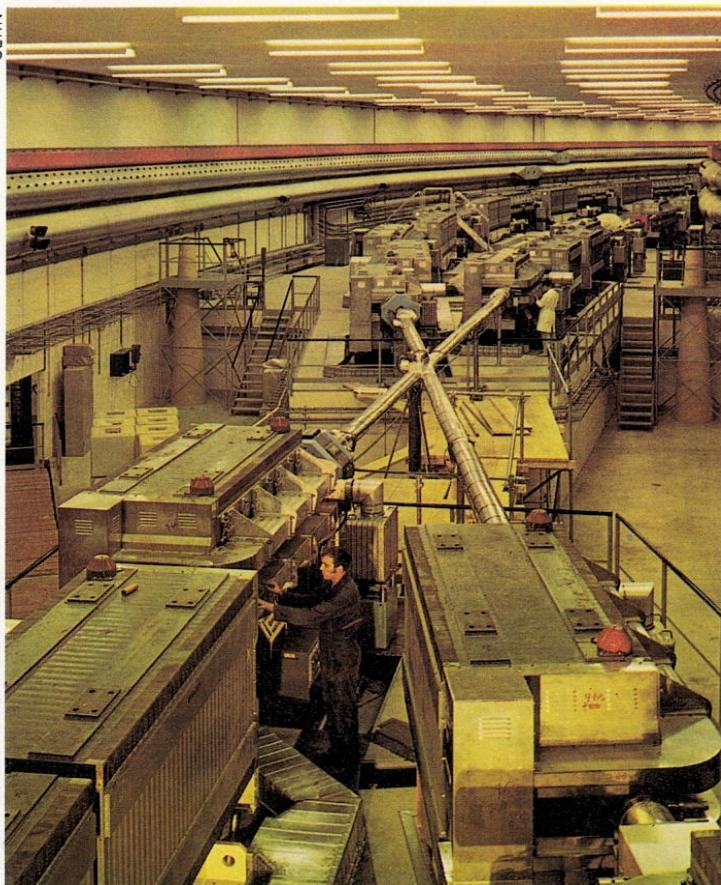
Dieser Vorgang wiederholt sich viele Male entlang der ganzen Flugstrecke, und die Protonen können eine Energie von etwa 20 MeV erreichen. Da sie gegen Ende der Be-

Links: Ein Protonenbeschleuniger nach Cockcroft-Walton, der erste wichtige Teilchenbeschleuniger aus den dreißiger Jahren. Er besteht aus einer Ionenquelle, einem Beschleunigungsrohr und einem Hochspannungsgenerator.

Rechts: Diese Tabelle zeigt Beschleuniger, die schon arbeiten, sich im Bau befinden oder noch im Planungsstadium sind. Der VBA (Very Big Accelerator = sehr großer Beschleuniger) ist das ehrgeizigste Projekt, das zur Zeit diskutiert wird. Der Beschleuniger soll von vielen Nationen gemeinsam gebaut werden. Alle Beschleuniger sind bis auf SLAC (Stanford Linear Accelerator Centre)—ein Linearbeschleuniger—Synchrotrons.

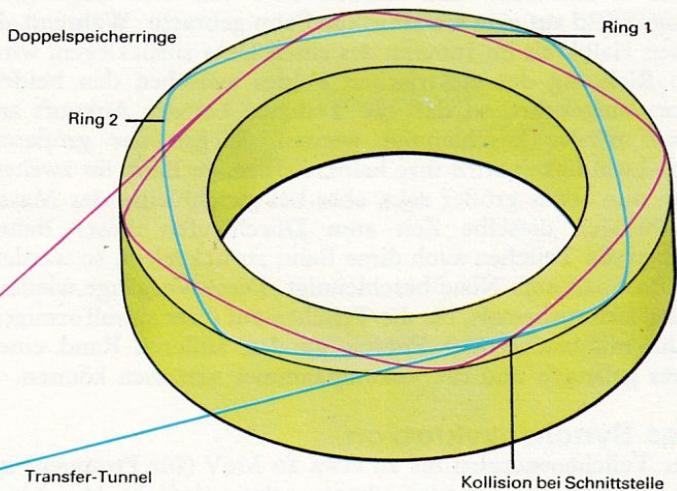
Unten: Die Schnittstelle zweier sich kreuzender Speicherringe (Doppelspeicherring). Mit dieser Anlage kann man nahezu frontale Zusammenstöße zwischen Protonen untersuchen, bei denen eine Energie freigesetzt wird, die bei festem Target eine Protonenenergie von etwa 2 000 GeV erfordern würde. Damit werden sonst bisher nicht erreichbare Energien und Untersuchungen schwerer Elementarteilchen möglich. Die Anlage befindet sich im CERN in Genf.

CERN

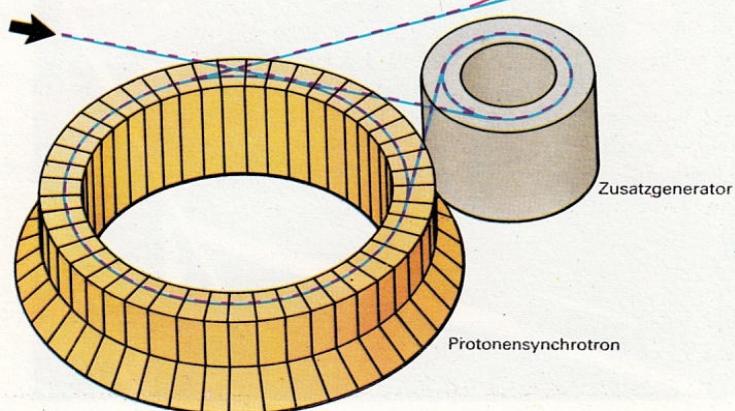


Transfer-Tunnel

Beschleuniger	Tätig seit	Beschleunigte Teilchen	Strahlenergie in GeV
DESY, Hamburg	1974	Elektronen	7
Cornell Electron Synchrotron (USA)	1967	Elektronen	12
KEK, Japan	1975	Protonen	12
SLAC, Stanford (USA)	1961	Elektronen	22
PS, CERN, Genf	1959	Protonen	28
AGS, Brookhaven (USA)	1961	Protonen	33
Peking Proton Synchrotron, China	(1985)	Protonen	50
Serpuchow Proton-Synchrotron (UdSSR)	1967	Protonen	76
Fermilab Main Ring (USA)	1972	Protonen	500
SPS, CERN, Genf	1976	Protonen	500
Fermilab Tevatron (USA)	(1982)	Protonen	1 000
UNK, Serpuchow (UdSSR) (1985-1990)	(1985-1990)	Protonen	3 000
Fermilab Pentevac (USA)	kein Termin	Protonen	5 000
VBA (Standort unbestimmt)	kein Termin	Protonen	20 000



Linearer Beschleuniger



Oben: Um die Protonen auf die Höchstenergie zu bringen, die für die Speicherringe erforderlich ist, werden sie zunächst in einem linearen Beschleuniger auf 50 MeV beschleunigt und anschließend in einem Zusatzgenerator auf 800 MeV gebracht. Dann leitet man sie in das Protonensynchrotron weiter, wo sie die für die Speicherringe nötige Energie schließlich erreichen.

schleunigerstrecke immer schneller fliegen, müssen die Röhren entsprechend länger werden, um die Protonen gegen die verzögernde Feldrichtung abzuschirmen. Magnetfelder werden benötigt, um den Strahl immer in der Achse des Tanks gebündelt zu halten, so daß normalerweise jeder Hohlzylinder auch einen Magneten besitzt.

Große Linearbeschleuniger sind z.B. der 800-MeV-Protonenbeschleuniger in Los Alamos, USA, bei dem die Alvarez-Technik mit eingesetzt wird, und ein 20-GeV-Elektronenbeschleuniger in Stanford, USA.

Das Zyklotron

Da bei einem Linearbeschleuniger jede Beschleunigerkomponente nur einmal von den Teilchen durchlaufen wird, würden sehr hohe Energien unglaublich lange Maschinen erfordern. Die Anlage in Stanford ist mit etwa 3,2 km Länge etwa an der Grenze des Möglichen angelangt. Eine gekrümmte Beschleunigerstrecke (z.B. kreisförmig) ist bei höheren Energien der Ausweg. Wenn es nämlich gelingt, dieselben Teilchen mehrfach durch dieselbe Beschleunigerkomponente beschleunigen zu lassen, ergeben sich natürlich erhebliche Vorteile.

Der erste Beschleuniger dieser Art wurde von E. O. Lawrence (1901 bis 1958) im Jahre 1932 beschrieben. In diesem 'Zyklotron' treten die geladenen Teilchen durch die Mitte einer evakuierten dosenförmigen Kammer ein, in der sich zwei etwas kleinere, halbkreisförmige Metalldosen befinden, die wegen ihrer D-Form als D-Elektroden oder 'Dees' bezeichnet werden. Die beiden Hälften sind durch einen schmalen Spalt voneinander getrennt, und die Beschleunigungsspannung wird zwischen den beiden Dees angelegt. Die Kammer wird in einen großen Elektromagneten eingebaut, der für ein konstantes Magnetfeld senkrecht zu den flachen Dees sorgt. Die in der Mitte eintretenden Teilchen, vom elektrischen Feld beschleunigt, bewegen sich ins Innere einer D-Elektrode und werden dort von dem angelegten Magnetfeld auf eine kreisförmige Bahn gebracht. Während sie einen Halbkreis im Inneren des einen Dees zurücklegen, wird die Richtung des elektrischen Feldes zwischen den beiden Dees umgekehrt, so daß die Teilchen bei der Ankunft am Spalt wieder beschleunigt werden. Wegen der größeren Geschwindigkeit wird ihre halbkreisförmige Bahn im zweiten Dee nun etwas größer sein, aber bei gleichbleibender Masse ergibt sich dieselbe Zeit zum Durchlaufen dieser Bahn. Haben die Teilchen auch diese Bahn zurückgelegt, so werden sie im Spalt aufs Neue beschleunigt. Diese Vorgänge wiederholen sich mehrmals, bis die Teilchen auf ihrer spiralförmigen Bahn mit wachsender Energie an den äußeren Rand eines Dees gelangen und die Vakuumkammer verlassen können.

Das Synchrozyklotron

Für Teilchenenergien bis zu etwa 20 MeV (für Protonen) ist ein Zyklotron eine ausgezeichnete, relativ einfache Maschine. Bei höheren Energien ergeben sich Schwierigkeiten aufgrund relativistischer Effekte (Einstinsche RELATIVITÄTSTHEORIE), und das Zyklotron wird unbrauchbar.

Nach der Einstinschen Relativitätstheorie erhöht sich nämlich bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit die Masse eines Teilchens (da die Lichtgeschwindigkeit nicht überschritten werden darf). Dieses Phänomen führt im Zyklotron dazu, daß die Teilchen bei großer Geschwindigkeit mehr Zeit brauchen, um eine Halbkreisbahn zurückzulegen. Da aber das elektrische Feld überall am Spalt, also unabhängig von Bahnradius und Energie der Teilchen, gleichzeitig seine Richtung ändert, kommen die Teilchen bei höheren Energien nicht mehr 'im Takt' an. Bei 20 MeV hat ein Proton bereits eine relativistische Massenzunahme von 2%, und auch die Zeit für eine Halbkreisbahn erhöht sich damit (immer bei

konstantem Magnetfeld) um 2%. Diese Abweichung, kombiniert mit der leichten Abnahme des Magnetfeldes nach außen hin, genügt, um eine weitere Beschleunigung der Teilchen zu verhindern.

Höhere Energien erreicht man dadurch, daß man die Frequenz des elektrischen Feldes der 'Zeitdehnung' der Halbkreisbahnen für zunehmende Energie anpaßt, also allmählich erniedrigt. Damit bleibt die Beschleunigungsspannung mit der Bewegung der Teilchen 'synchronisiert'. Leider kann man aber pro Synchronisationszyklus nur ein 'Paket' von Teilchen von innen nach außen führen, so daß die Intensität eines 'Synchrozyklotrons' nur etwa ein Hundertstel derjenigen eines Zyklotrons beträgt. Die größte Maschine dieser Art steht im Joffe-Institut in Gatchina bei Leningrad (UdSSR). Dort werden Protonen bis zu Energien von 1 GeV beschleunigt.

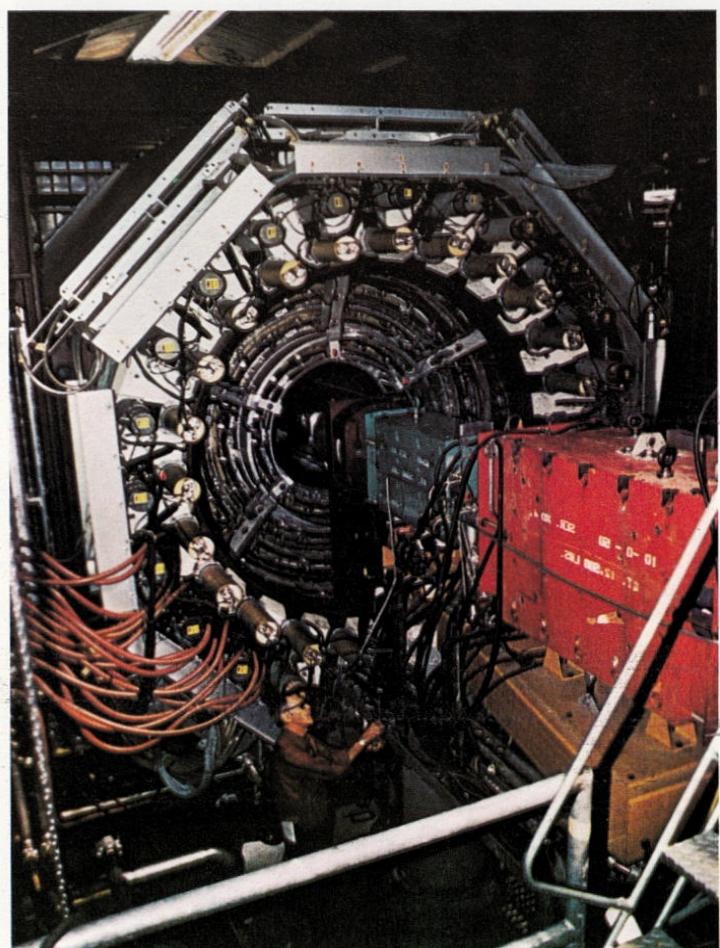
Das Synchrotron

Für Energien um 1 GeV wird auch das Synchrozyklotron schon ein monströses Gebilde. Der Magnet mit Joch wiegt bereits mehrere tausend Tonnen und hat einen Durchmesser von etwa 10 m. Höhere Energien sind die Domäne des 'Synchrotrons', in dem die Idee der mehrfachen Beschleunigung derselben Teilchen durch dieselben Beschleunigerkomponenten auf eine andere Art verwirklicht wird.

Im Unterschied zum Zyklotron, bei dem ein konstantes

Rechts: Diese Tabelle faßt die wichtigsten Teilchenspeicherringe zusammen, die z.Zt. in Bau oder geplant sind.

Unten: Ein 200 Tonnen schwerer Teilchendetektor, der die Auswirkungen von Kollisionen zwischen Elektronen- und Positronenstrahlen im SPEAR-Speicherring untersucht.



Magnetfeld benutzt wird und die Teilchen mit zunehmender Geschwindigkeit auf Bahnen mit größer werdendem Radius kreisen, wird beim Synchrotron das Magnetfeld so angepaßt, daß die Teilchen unabhängig von ihrer Energie bzw. Geschwindigkeit immer auf derselben Kreisbahn bleiben. Dieses Vorhaben gelingt mit einem Ring von kleineren Einzelmagneten anstelle eines einzelnen Riesenmagneten, und anstelle einer großen Vakuumkammer benutzt man ein ringförmiges evakuiertes Rohr, in dem die Teilchen beschleunigt werden.

Die Teilchen werden meistens in einem Linearbeschleuniger vorbeschleunigt (z.B. auf 50 MeV) und dann in die ringförmige Vakuumkammer des Synchrotrons eingeschleust. Dort bleiben sie bei zunächst niedrigem Magnetfeld auf einer Kreisbahn und durchlaufen mehrere Beschleunigungsstationen, wo sie durch ein elektrisches Feld einen Energiezuwachs erfahren. Durch die Energieerhöhung haben die Teilchen die Tendenz, eine Bahn mit größerem Radius einzunehmen, aber eine entsprechende Erhöhung des Magnetfeldes hält sie auf der ursprünglichen Bahn. Die Frequenz der Beschleunigungsspannung muß wieder entsprechend der Umlaufgeschwindigkeit und der relativistischen Massenzunahme der Teilchen angepaßt werden, um weitere Energieerhöhung zu erreichen.

(Ein Proton mit einer Energie von 30 GeV ist bereits rund dreißigmal schwerer als ein ruhendes Proton.) Wenn die Teilchen die gewünschte Energie erreicht haben, werden sie durch Ablenkungsmagnetfelder aus der Kreisbahn nach außen geschleust. Ein neues 'Paket' von Teilchen wird eingeschleust, und der Beschleunigungsprozeß beginnt von neuem.

Theoretisch gibt es keine Grenze für die Energie, auf die man Teilchen auf diese Weise beschleunigen kann. Die größten Beschleuniger der Welt sind alle nach diesem Prinzip gebaut.

Die höchste Protonenenergie erreicht das Synchrotron in Batavia, in der Nähe von Chicago, USA, mit 500 GeV. Der Beschleunigerring hat einen Durchmesser von etwa 2 km. In Europa liefert das Synchrotron des CERN in Genf Protonen mit 400 GeV, wobei die Teilchen auf ihrem Weg durch den Beschleunigertunnel die französisch-schweizerische Grenze überqueren.

Sollten noch höhere Energien benötigt werden, so werden wahrscheinlich supraleitende Magnete die höheren Magnetfelder liefern. Bei etwa gleichen Abmessungen wie bei den heute größten Beschleunigern wären damit Teilchenenergien von 1 000 GeV durchaus möglich.

Speicherring	Tätig seit	Typ	Gespeicherte Teilchen	Strahlenergie in GeV
VEPP-2, Nowosibirsk (UdSSR)	1965	Mehrachs-speicherringe	Elektronen, Positronen	0,08
ACO, Paris	1966	Einzelring	Elektronen, Positronen	0,5
VEPP-2M, Nowosibirsk (UdSSR)	1975	Einzelring	Elektronen, Positronen	1,3
ADONE, Frascati (Italien)	1965	Einzelring	Elektronen, Positronen	1,5
VEPP-3, Nowosibirsk (UdSSR)	1977	Einzelring	Elektronen, Positronen	3,0
DCI, Paris	1975	Doppelspeicherringe	Elektronen, Positronen	3,7
SPEAR, Stanford (USA)	1972	Einzelring	Elektronen, Positronen	4,2
DORIS, DESY, Hamburg	1974	Einzelring	Elektronen, Positronen	4,5
VEPP-4, Nowosibirsk (UdSSR)	1978	Einzelring	Elektronen, Positronen	7,0
CESR, Cornell (USA)	1979	Einzelring	Elektronen, Positronen	8,0
PEP, Stanford (USA)	1980	Einzelring	Elektronen, Positronen	18,0
PETRA, DESY, Hamburg	1978	Einzelring	Elektronen, Positronen	19,0
VAPP, Nowosibirsk (UdSSR)	?	Einzelring	Protonen, Antiprotonen	23,0
ISR, CERN, Genf	1971	Doppelspeicherringe	Protonen	31,0
ISR p \bar{p} , CERN, Genf	1980	Doppelspeicherringe	Protonen, Antiprotonen	31,0
LEP, CERN, Genf	(1985-1990)	Einzelring	Elektronen, Positronen	86,0
SPS p \bar{p} , CERN, Genf	(1981)	Einzelring	Protonen, Antiprotonen	270,0
ISABELLE, Brookhaven (USA)	(1986)	Doppelspeicherringe	Protonen	400,0
Fermilab p \bar{p} (USA)	(1982)	Einzelring	Protonen, Antiprotonen	1 000,0
UNK, Serpuchow (UdSSR)	(1985-1990)	Einzelring	Protonen, Antiprotonen	3 000,0
VBA (Standort unbestimmt)	kein Termin	Einzelring	Protonen, Antiprotonen	20 000,0

TEILCHENDETEKTOREN

Teilchendetektoren können die elementaren Bauteile der Materie erfassen; Teilchen, die so klein sind, daß sie nicht einmal einen Durchmesser von einem Millionstel Zentimeter haben.

Da subatomare Teilchen (Elementarteilchen) extrem klein sind, können sie nicht mit dem Auge betrachtet werden, auch wenn man die stärksten Mikroskope benutzt; man muß sie also indirekt beobachten. Dies geschieht mit Hilfe von Detektoren, die die Teilchen auf verschiedene Weise aktivieren können.

Der größte Teil der Teilchendetektoren nutzt den Ionisierungseffekt aus. Bewegt sich ein geladenes Teilchen mit hoher kinetischer Energie durch einen Festkörper, eine Flüssigkeit oder ein Gas, kann es beim Zusammenstoß Elektronen aus deren Atomen herausschlagen. Man spricht in diesem Falle von Ionisierung (siehe IONEN UND IONISATION). Das freigesetzte Elektron oder das ionisierte Atom kann dann dazu herangezogen werden, zu 'sehen', welchen Weg das Elementarteilchen durchlaufen hat.

Der Wissenschaftler, der sich mit Elementarteilchen beschäftigt, möchte verschiedene Dinge erforschen. So möchte er z.B. wissen, wo sich das Teilchen befindet, welche Geschwindigkeit es hat und um welches Elementarteilchen es sich handelt. Teilchendetektoren sollen diese Fragen möglichst genau beantworten können. Ein Beispiel für die Genauigkeit von Teilchendetektoren ist, daß man auf einige Tausendstel

Unten: Darstellung einer Funkenkammer. Dringt ein geladenes Teilchen in Kondensatoren ein, entstehen Funkendurchschläge, wenn unmittelbar nach dem Durchlauf des Teilchens ein Hochspannungsimpuls erfolgt. Eine Fernseh-Kamera wandelt die Lichtsignale in elektrische Signale um.



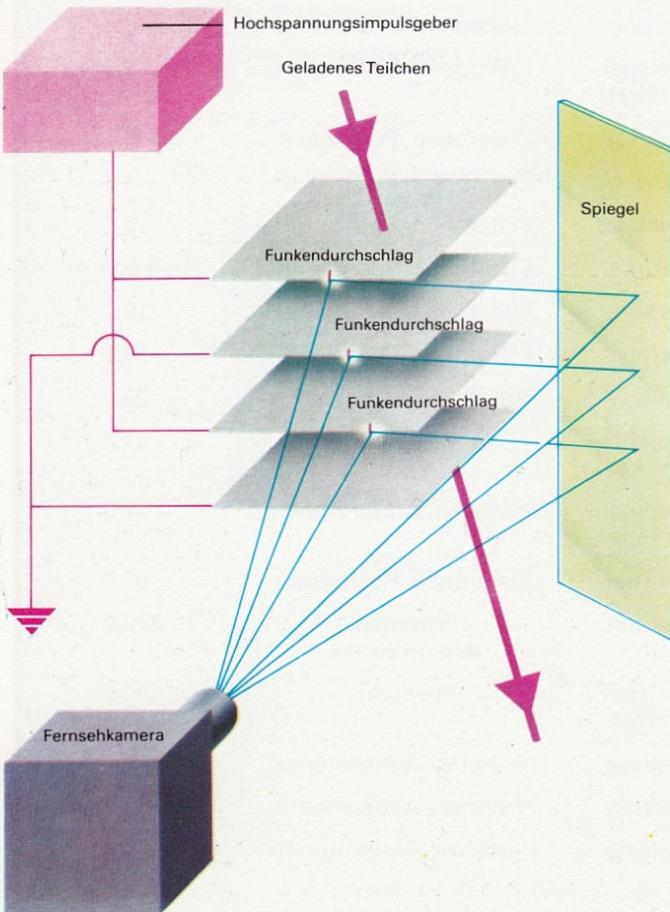
Millimeter genau feststellen kann, wo die Teilchen den Detektor durchlaufen haben, selbst wenn der Vorgang nur wenige Tausend Millionstel Sekunden dauerte.

Die meisten Detektoren wandelten ursprünglich ihre Informationen in den sichtbaren Bereich um, indem die Teilchen Spuren in Emulsionen oder in der Blasenkammer hinterließen. Diese Art der Darstellung von Teilchenwechselwirkungen hat gewisse Vorteile, da diese Vorgänge auf Film aufgezeichnet werden können. Dies bedeutet jedoch die Entwicklung des Filmes, das Untersuchen, ob sich Interessantes ereignet hat, das Ausmessen der Spuren und das anschließende Übertragen der Informationen an einen Computer zur Berechnung des Teilchenverhaltens. Deshalb tendiert man heute dazu, Detektoren einzusetzen, die die Informationen in Form elektrischer Pulse abgeben. D.h. die elektrischen Pulse können einem Computer unmittelbar zugeführt werden — man spricht dann von einer 'On-Line'-Datenverarbeitung. Die Daten können dann vom Computer gesammelt und anschließend ausgewertet werden. Man kennt eine Vielzahl von Teilchendetektoren, deren frühere Typen von der fotografischen Analyse Gebrauch machten.

Kernemulsionen

Eine der ersten Erfassungstechniken für Elementarteilchen war die Verwendung fotografischer Emulsionen, die als Kernemulsionen bekannt wurden, weil man sie zum Nachweis von Kernteilchen (z.B. Protonen) verwendete. Dicke Emulsionsschichten, die den zehnfachen Silberbromidanteil gewöhnlicher Filme hatten, erfaßten den Weg der geladenen Elementarteilchen. Sie zerstörten die Silberbromidmoleküle, während sie diese Schicht durchquerten. Nach der Entwicklung der Emulsion waren die hinterlassenen Spuren der Elementarteilchen deutlich zu erkennen.

Mit dieser Technik kann die Teilchenspur mit hoher Genauigkeit sichtbar gemacht werden. Man erhält jedoch keine Information darüber, wann das Teilchen in die Emulsion eintrat. Daneben enthält die Emulsion verschiedene Atome,



Links: Funkenkammern werden für die Untersuchung sehr kleiner Ströme, die durch Wechselwirkungen von Leptonen zustande kamen, herangezogen. Der Detektor ist 7 m lang und besteht aus 150 Funkenkammern. Zwei 15 m² große Spiegel reflektieren die Teilchenspuren an eine Kamera.

d.h. es fällt manchmal schwer, zu entscheiden, welches Teilchen die Spur hervorgerufen hat. Kernemulsionen werden heute nur noch selten verwendet. In den späten vierziger Jahren waren sie jedoch die am häufigsten verwendeten Teilchendetektoren. Sie wurden z.B. zur Erfassung kosmischer Strahlung in Ballons untergebracht oder auf Bergspitzen installiert. Die Untersuchung der kosmischen Strahlung, d.h. der Teilchen, die aus dem Weltraum kommen, führte zur Entdeckung der Pionen, Teilchen, die im Atomkern eine bedeutende Rolle spielen (siehe TEILCHENPHYSIK).

Nebel- und Blasenkammer

Die hier erfaßten Teilchen werden sichtbar gemacht, indem man in einer Nebelkammer die Spur aus Wassertröpfchen oder in einer Blasenkammer die Spur aus Dampfbläschen fotografiert. Diese Teilchendetektoren werden bei Experimenten mit Teilchenbeschleunigern eingesetzt. Sie ermöglichen es, alle geladenen Teilchen bildlich darzustellen, die durch einen Zusammenstoß von beschleunigten Teilchen mit

Teilchen in der entsprechenden Kammer entstanden. Das Ausmessen der Spuren kann mit hoher Genauigkeit erfolgen. Aber auch hier ist der Prozeß des Entwickelns und Ausmessens des Filmes langwierig. Noch heute werden große Blasenkammern bei Experimenten mit Teilchenbeschleunigern eingesetzt. Mit ihnen wurden die meisten der bis jetzt rund 200 bekannten Elementarteilchen entdeckt.

Funkenkammer

Die Funkenkammer sammelt Informationen über den Aufenthalt geladener Teilchen in Form elektrischer Pulse.

Eine Funkenkammer besteht im Prinzip aus zwei Ebenen von dünnen, parallel ausgerichteten Drähten, die sich in einem Abstand von einem Zentimeter gegenüberstehen. Der Zwischenraum wird mit einem inerten Gas wie z.B. Argon ausgefüllt. Diese Kondensatoren werden bis nahe an ihre Durchbruchspannung (etwa 15 000 V bis 20 000 V) aufgeladen.

Durchläuft ein geladenes Teilchen den Plattenzwischenraum, ionisiert es das Gas, und es kommt an den entsprechenden Stellen zu Funkendurchbrüchen. Ein Funkendurchbruch erzeugt am Draht einen elektrischen Impuls, wodurch die Teilchenposition bekannt ist. Im allgemeinen schaltet man mehrere der Plattenkondensatoren hintereinander. Durchdringt ein Teilchen die Kondensatoren, kann die Teilchenspur verfolgt werden.

Die Genauigkeit der Bestimmung der Teilchenposition ist nicht sehr gut, da die Drähte einen Abstand von etwa 1 mm haben. Größere Genauigkeit wird erzielt, wenn man die Funkendurchbrüche fotografiert. Hierbei verwendet man statt der Drähte Aluminiumfolie als Kondensatorplatten. Man nennt diesen Typ Teilchendetektor auch *optische Funkenkammer*. Neuerdings lässt man den Film als Zwischenträger weg, indem man die Funkendurchbrüche mit einer Fernsehkamera aufnimmt. Sie wandelt das Licht des Funkens in gleicher Weise in elektrische Pulse um, wie es bei normalen Fernsehbildern üblich ist.

Geiger-Müller-Zählrohr und Proportionalzähler

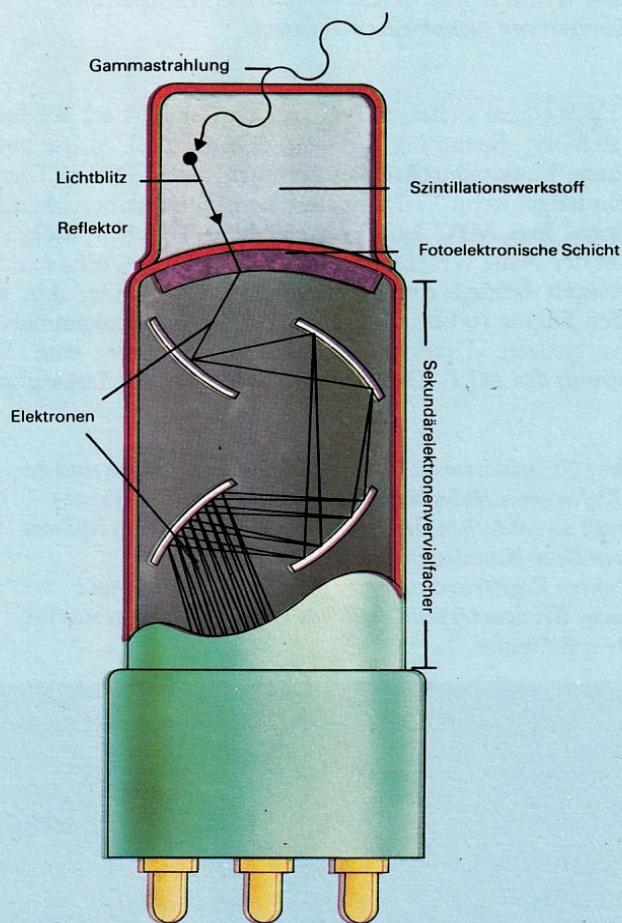
Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein weiterer Detektor, der in den frühen Tagen der Kernphysik große Bedeutung hatte. Heute ist er weitgehend durch modernere Detektoren ersetzt worden. Man hat hier einen in einem Gehäuse befindlichen Draht, der gegenüber dem Gehäuse auf einige Tausend Volt positiv aufgeladen ist. In der Nähe des Drahtes werden durch Ionisierung erzeugte Elektronen so stark beschleunigt, daß sie selbst wieder ionisieren. Die auf diese Weise durch sekundäre Ionisation verstärkte Ladungsmenge wird über einen hochohmigen Widerstand abgeleitet. Der am Widerstand entstehende Spannungsstoß wird über einen Verstärker vermessen.

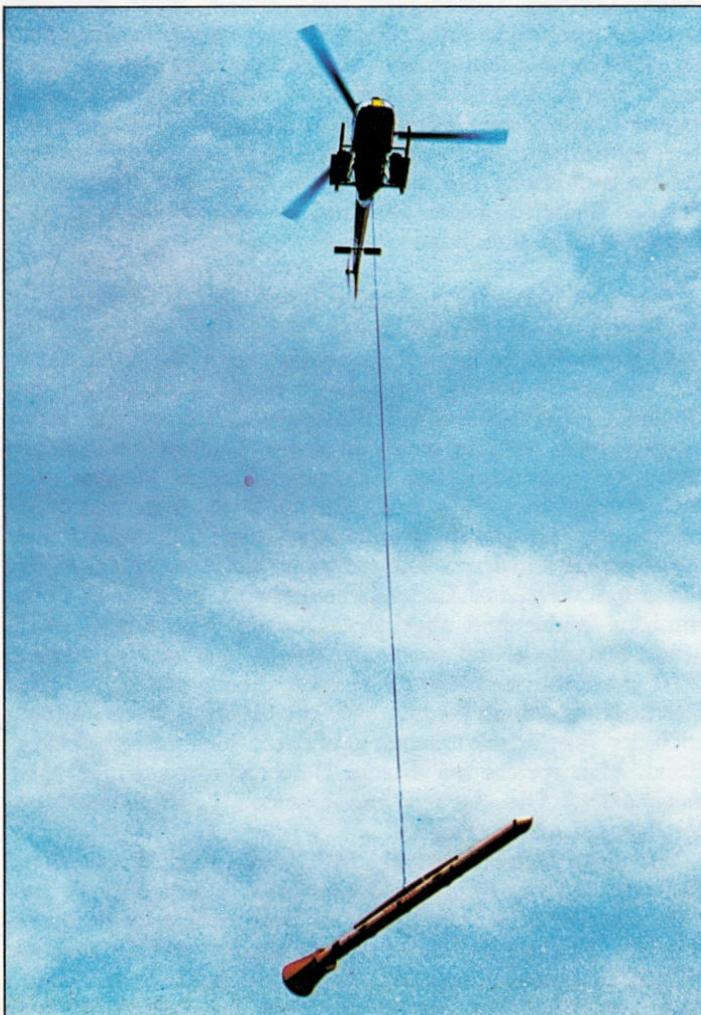
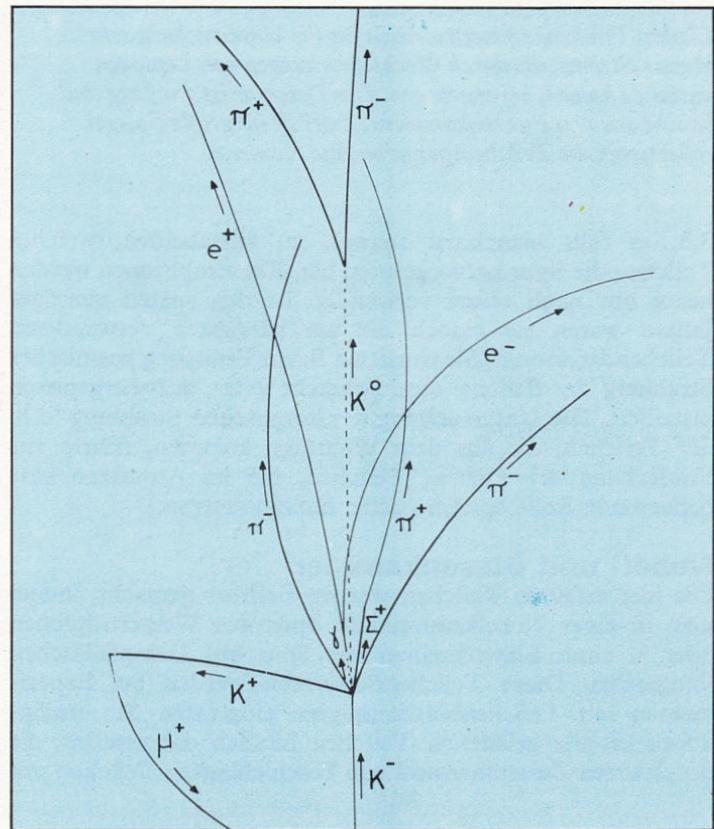
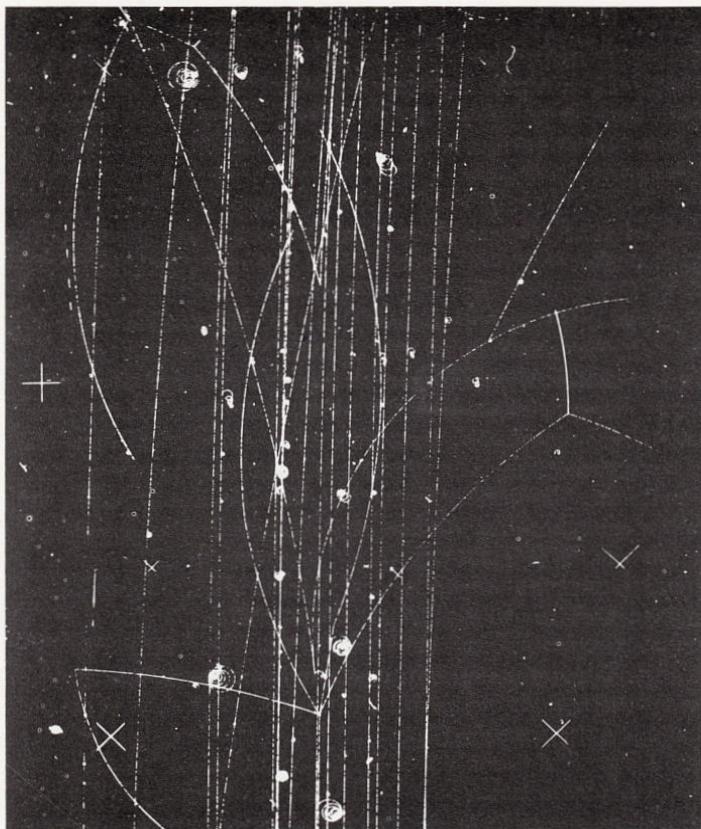
Ist die Zählrohrspannung nicht so hoch, daß es zu einer Sekundärlionisation kommt, ist die Ionisationsverstärkung noch der vom Primärteilchen gebildeten Ionenmenge proportional. Man spricht bei diesem Detektor von einem *Proportionalzähler*. Die beiden modernsten Teilchendetektoren beruhen auf diesem Prinzip.

Der erste Detektor ist als MPC (Multiwire Proportional Chamber = *Mehrdraht-Proportionalzähler*) bekannt. Er besteht aus einer Ebene von parallelen Drähten. Derjenige Draht, der dem Weg des Teilchens am nächsten liegt, empfängt das elektrische Signal. Verstärker, die mit jedem Draht verbunden sind, verstärken das Signal, bevor es an einen Computer weitergeleitet wird.

Das MPC ähnelt der Funkenkammer. Beide Detektoren unterscheiden sich jedoch dahingehend, daß das MPC kontinuierlich Signale empfangen kann. In einer Funkenkammer tritt nach einem Funkendurchschlag ein Spannungsabfall ein.

Ein Szintillationszähler, der bei der Erfassung von Elementarteilchen extrem schnell ist. Ein geladenes Teilchen, das den Szintillationswerkstoff durchdringt, verursacht einen Blitz, der von einem Sekundärelektronenvervielfacher verstärkt wird. Das Signal wird einem Computer zugeführt.





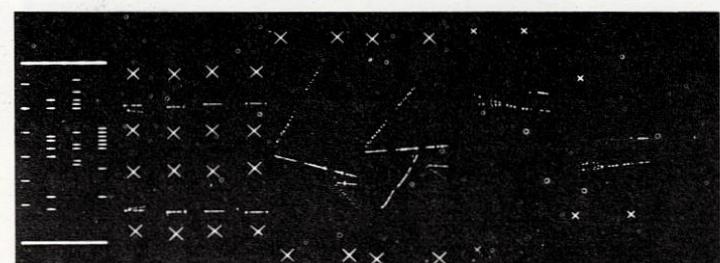
UKAEA

Oben links und rechts: Eine Aufnahme, die in einer Blasenkammer von 2 m Durchmesser gemacht wurde, sowie ihre Interpretation (rechts). Als ein Schauer von negativ geladenen Kaonen (K^-) in die Kammer geschossen wurde, gingen die meisten glatt hindurch, aber eins kollidierte mit dem Wasserstoffkern eines Protons und erzeugte einen Sprühregen von subnuklearen Teilchen.

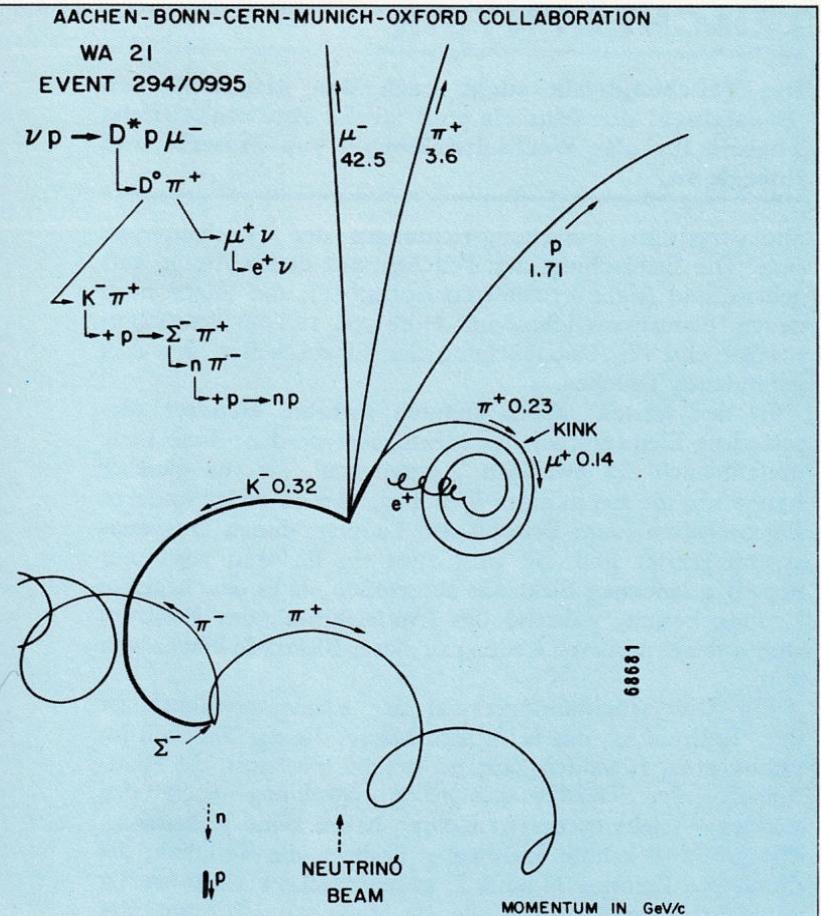
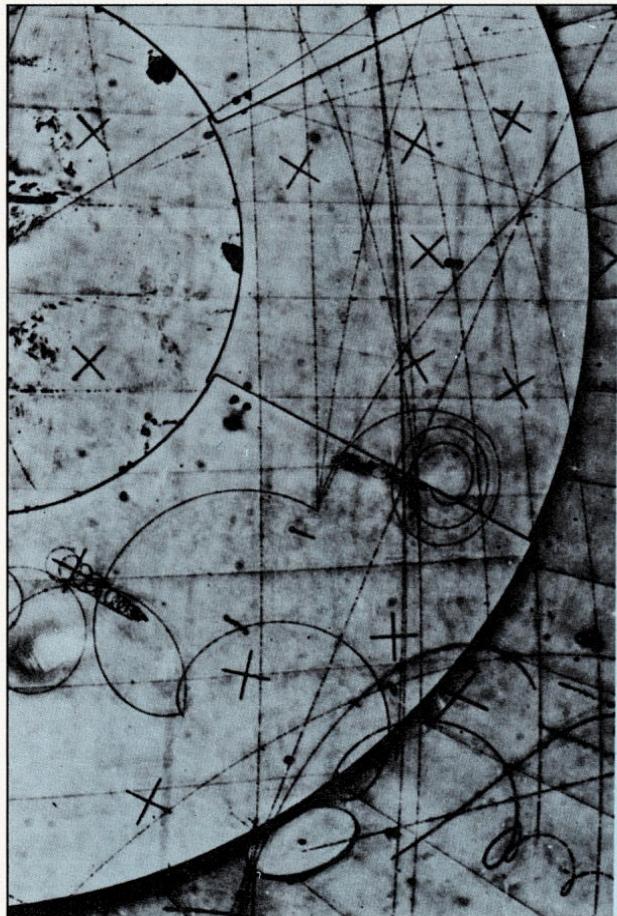
Erst nach einem Zeitraum von einigen Hundertstel Sekunden hat sich die Spannung so weit erhöht, daß es zu einem erneuten Funkendurchschlag kommen kann. Diese 'Totzeit' ist sehr lange, wenn Teilchen aus einem Teilchenbeschleuniger kommen. Das MPC kann verschiedene Teilchen, sofern sie sich in der Nähe verschiedener Drähte befinden, erfassen. Die Auflösezeit beträgt eine Zehnmillionstel Sekunde, d.h. eine um den Faktor 10 bessere Zeit als bei der Funkenkammer.

Der neueste Detektor ist die Driftkammer, eine Verbesserung des MPC. Der Abstand zwischen den Drahtplatten

Links: Szintillationsdetektoren für Gammastrahlen sind an den Kufen eines Hubschraubers angebracht, um Uranvorkommen zu entdecken. Im Innern des Hubschraubers befindet sich ein Drei-Kanal-Gammastrahlempfänger mit getrennten Registrierausgängen für Uran, Thorium und Kalium. Bei dem torpedoähnlichen Objekt handelt es sich um ein Magnetometer.



Rechts: Ein typisches Foto einer optischen Funkenkammer. Es werden zwei Ansichten der 12 Funkenkammern gezeigt. Es können Referenzkreuze erkannt werden.



ist größer. Statt ein Signal durch einen sich in der Nähe eines Teilchens befindlichen Draht zu erfassen, erfassen mehrere Drähte ein Signal. Außerdem wird die Zeit gemessen, die die Elektronen benötigen, um sich unter Einfluß des elektrischen Feldes zu den Drähten zu bewegen. Dies gibt Auskunft über die Eintrittsstelle und über das Zeitverhalten des Teilchens.

Szintillationszähler

Besseres Zeitverhalten kann mit Szintillationszählern erzielt werden, die die Eigenschaften mancher Werkstoffe (z.B. einiger Kunststoffe) ausnutzen, Lichtblitze abzugeben, wenn sie von hochenergetischen geladenen Teilchen getroffen werden. Man zählt hier jedoch nicht die Lichtblitze mikroskopisch, sondern verstärkt deren Intensität mit einem Sekundärelektronenvervielfacher. Das Licht fällt auf eine Elektrode, aus der Elektronen freigesetzt werden. Man erhält hierdurch einen elektrischen Impuls, der z.B. einem Computer zugeführt wird. Das Auflösungsvermögen kann bis zu einer Milliardstel Sekunde betragen.

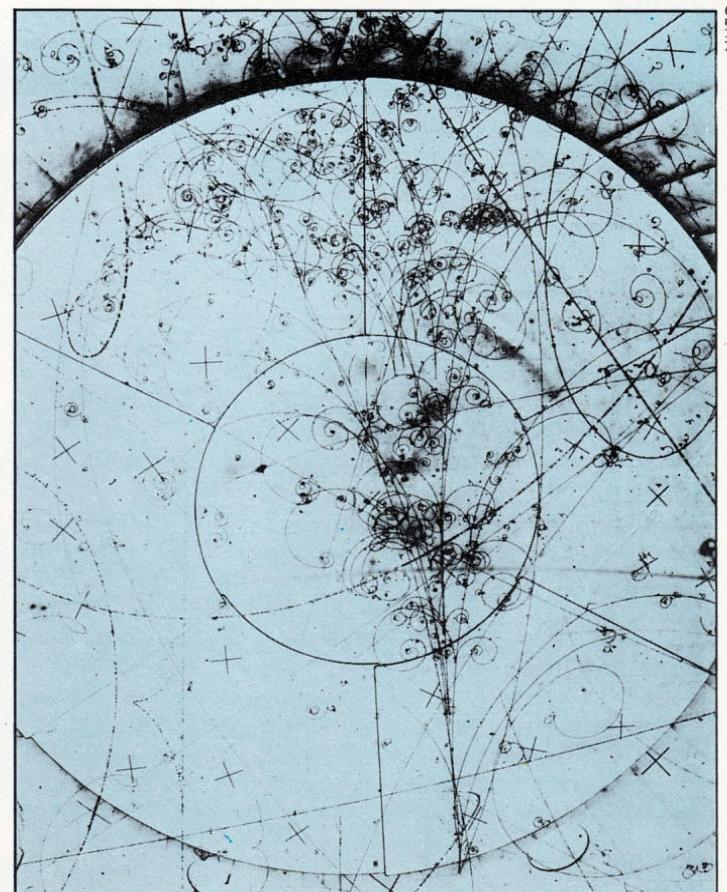
Tscherenkow-Zähler

Diesen Zähler verwendet man häufig zur Unterscheidung von Teilchen. Er beruht auf dem Prinzip, daß ein hochenergetisches Teilchen in einem durchsichtigen Medium (z.B. Lucite, einem Methakrylharz) mit dem Brechungsindex (n) eine höhere Geschwindigkeit als die Lichtgeschwindigkeit des Mediums hat. In diesem Falle sendet das Teilchen Licht unter einem Winkel gegen seine Fortpflanzungsrichtung aus. Durch Messung des Winkels mit Sekundärelektronenvervielfachern kann die Geschwindigkeit der Teilchen bestimmt werden.

Durchläuft ein Teilchen ein Magnetfeld, bevor es den Zähler erreicht, wird von dem Teilchen eine Kurve beschrieben, die von der Masse des Teilchens abhängt. Der Tscherenkow-Zähler bestimmt die Geschwindigkeit des Teilchens, wodurch das Teilchen aufgrund seiner Masse identifiziert werden kann.

Oben: Teilchenspuren in einer Blasenkammer mit 3,7 m Durchmesser.

Unten: Spuren in einer Blasenkammer, die eine Wechselwirkung von Neutrinos, Kaonen, Protonen und Pionen zeigen.



TEILCHENPHYSIK

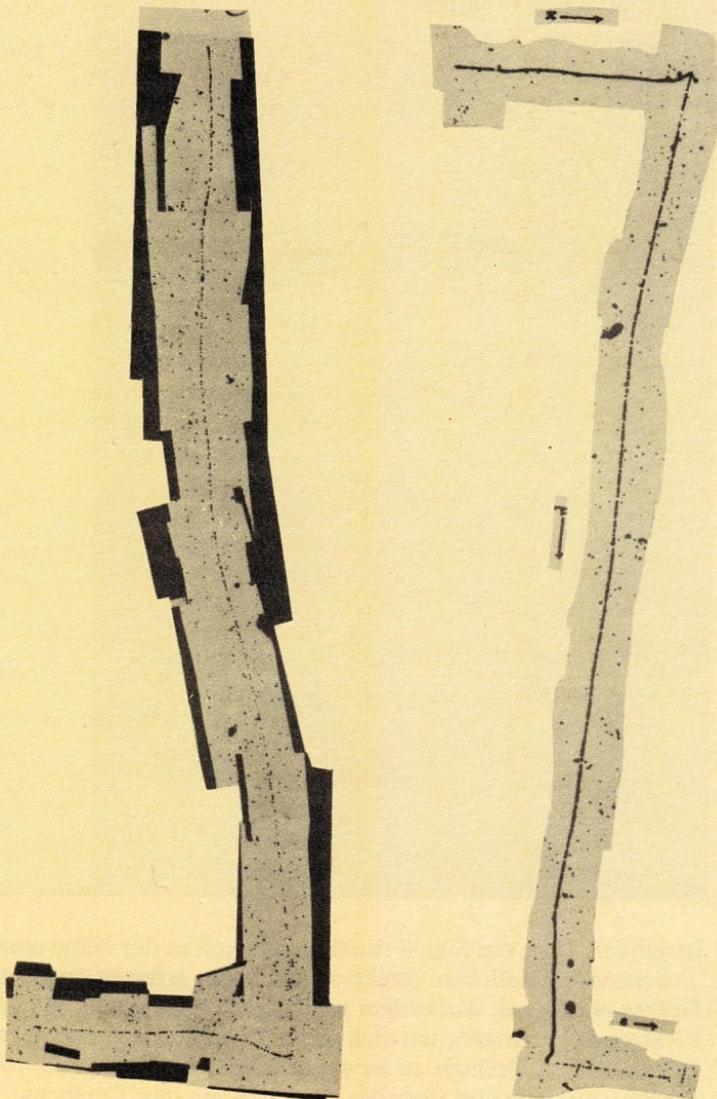
Die Teilchenphysik sucht nach den grundlegenden 'Bausteinen' der Materie und strebt eine einheitliche Theorie für alle Wechselwirkungen von Materie und Energie an.

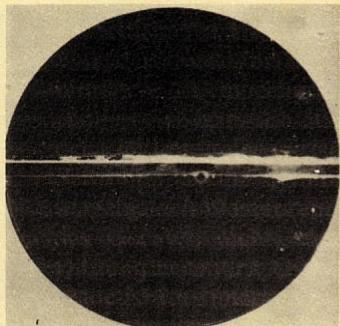
Die derzeitigen Forschungsrichtungen der Teilchenphysik sind: Die Erforschung der Teilchen, aus denen Atome aufgebaut sind (siehe ATOME UND MOLEküLE); die Suche nach neuen 'Elementarteilchen' mit Hilfe von TEILCHENBESCHLEUNIGERN und die Untersuchung der Eigenschaften der dort gefundenen Teilchen.

In den letzten Jahren konnten mehrere Hundert verschiedene Elementarteilchen identifiziert werden; diese Liste umfaßt auch die jeweiligen 'Antiteilchen', die von gleicher Masse wie die zugehörigen Teilchen, aber in vielen anderen Eigenschaften (zum Beispiel der Ladung) diesen entgegengesetzt geartet sind. So wird etwa ein Elektron von einer negativ geladenen Elektrode abgestoßen, da es eine negative Ladung besitzt, während das 'Antielektron', das Positron, wegen seiner positiven Ladung zu dieser Elektrode hingezogen wird.

Ein Unterscheidungsmerkmal der Elementarteilchen ist ihre 'Ruhemasse', das heißt jene Masse, die ein Teilchen im unbewegten, ruhenden Zustand besitzt. *Photonen*, die 'Bausteine' jeder elektromagnetischen Strahlung—auch des Lichtes—(siehe QUANTENTHEORIE), haben keine Ruhemasse. Die größte bekannte Ruhemasse besitzen die Teilchen, die durch die Zeichen N und Z gekennzeichnet sind; sie ist ungefähr dreimal so groß wie die Masse eines Protons, das heißt eines Atomkerns des Wasserstoffatoms. Die Elementarteilchen teilt man nach ihrer Ruhemasse in drei Gruppen:

Unten: Graphische Darstellung eines Wasserstoffatoms. Der Kern des Atoms ist bedeutend größer als das ihn umkreisende Elektron.





Links und oben: Durchlaufen Elementarteilchen einen Detektor, so erzeugen sie Ionisationseffekte, die durch einen Film aufgezeichnet werden. Die hier gezeigten Teilchen wurden durch die Auswertung solcher Filme entdeckt. Die Entdeckung des Positrons (oben links) im Jahre 1932. Aus dem Krümmungsradius der Bahn und der Dichte der Ionisationspunkte wurde die Masse bestimmt. Man fand, daß sie der des Elektrons entspricht. Die erste Aufzeichnung des Zerfalls eines π^+ -Mesons (links außen), auch Pion genannt (1947). Das Pion erzeugt die Spur und zerfällt in ein μ^+ -Lepton (auch Myon genannt; vertikale Spur). Im Bild daneben wird der Zerfall eines Pions (obere horizontale Spur) in ein Myon dargestellt. Das Myon zerfällt anschließend in ein Positron und ein Neutrino. Langsamere Teilchen ionisieren öfter und erzeugen dadurch eine intensivere Spur.

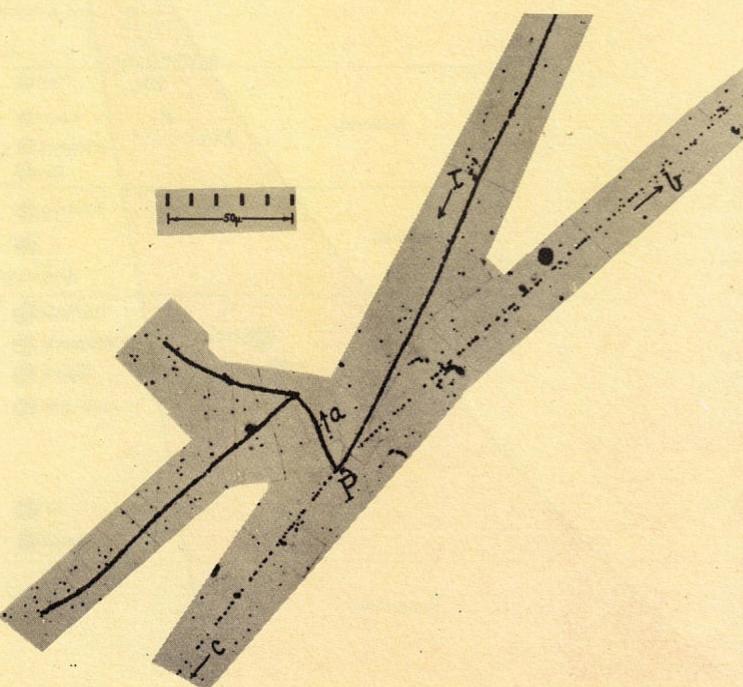
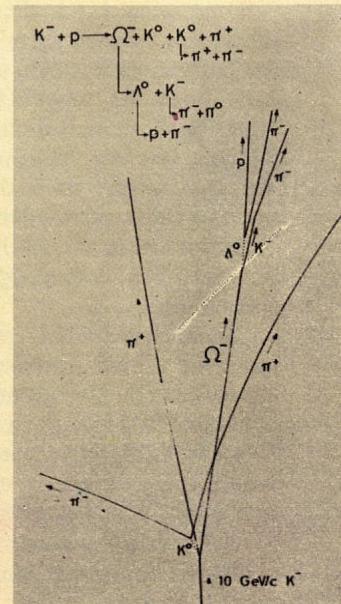
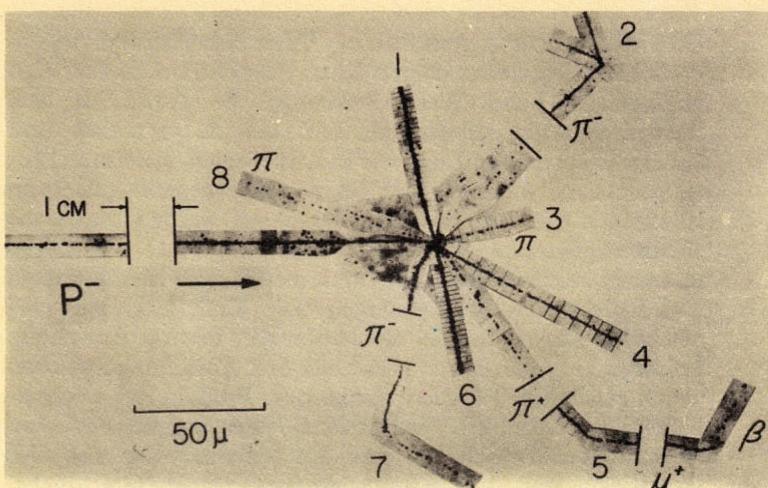
Oben rechts: Dieses Nebelkammerfoto aus dem Jahre 1947 zeigt den Zerfall eines mittelschweren, neutralen Teilchens (eines Kaons) in zwei geladene Teilchen, deren Spuren das umgekehrte V in der rechten unteren Ecke des Bildes bilden.

die Baryonen ('schwere' Teilchen, z.B. das Proton), die Mesonen ('mittelschwere' Teilchen, z.B. das Pion) und die Leptonen ('leichte' Teilchen, z.B. das Elektron). Zu den anderen meßbaren Teilcheneigenschaften gehört die elektrische Ladung, die positiv, negativ oder neutral sein kann, und der Eigendrehimpuls des Teilchens, der 'Spin'. Bei allen Reaktionen mit Elementarteilchen, zu denen auch Erzeugung und Vernichtung von Teilchen gehören, gelten einige Erhaltungssätze: So muß die gesamte Ladung, die gesamte

Energie (das heißt die Summe aller Massen und Energien) und auch der gesamte Spin erhalten bleiben. Wird zum Beispiel unter Erhaltung der Gesamtenergie ein positiv geladenes Teilchen erzeugt, so ist dieses aufgrund der Ladungserhaltung stets mit der gleichzeitigen Schaffung eines negativ geladenen Teilchens verbunden.

In der Physik unterscheidet man vier verschiedene Wechselwirkungsarten: 'starke', elektromagnetische, 'schwache' und Gravitations-Wechselwirkung. In ihrer Kraftwirkung ist die elektromagnetische Wechselwirkung etwa hundertmal, die

Unten: Die erste Beobachtung des Kaon-Zerfalls in drei Pionen im Jahre 1949 (Bild unten links). Das langsame π^- -Meson erzeugt Spur 'a': es wird durch einen Atomkern eingefangen und vernichtet. Die Spuren 'b' und 'c' registrieren schnelle Pionen. Im Jahre 1958 wurde dieses Ereignis (Bild unten) aufgezeichnet: Ein Antiproton wird beim Aufprall auf einen Kern vernichtet und erzeugt einen 'Stern' aus den Spuren des zurückgestoßenen Kerns (Spur 1), ein π^- -Meson (Spur 2), das wiederum selbst einen Stern und drei Pionen erzeugt (Spuren 3, 4, 6), sowie ein negatives Pion (Spur 7) und ein positives Pion, das in ein Myon und danach in ein Positron zerfällt. Das Bild unten in der Mitte und die Darstellung rechts daneben sind ein Blasenkammerfoto aus dem Jahre 1965 und die Erklärung und Interpretation dazu. Das Foto zeigt den Zerfall eines Omega-Teilchens, dessen Masse 1972 MeV und dessen Lebensdauer $1,1 \times 10^{-10}$ Sekunden beträgt.



schwache ungefähr 10^9 mal (tausendmillionenmal) und die Gravitation über 10^{36} mal schwächer als die starke Wechselwirkung.

Auch analog den vier Wechselwirkungsarten lassen sich die Elementarteilchen in Gruppen ordnen: Zunächst spüren alle Massen (auch bewegte Photonen) die Gravitation, das heißt die Massenanziehung; die elektrisch geladenen Teilchen wechselwirken elektromagnetisch. Alle Teilchen, die man zu den 'Hadronen' zählt, unterliegen daneben der starken und alle 'Leptonen' der schwachen Wechselwirkung.

Die Gravitation

Zwischen Massen wirkt stets eine anziehende Kraft, die 'Gravitationskraft'; sie bewirkt, daß zwei Massen sich gegenseitig anziehen, aber nie abstoßen. Sie ist für den fallenden Apfel verantwortlich, der Isaak Newton zum Gravitationsgesetz geführt haben soll (der Apfel wurde durch die Gravitationskraft der Erde angezogen), und sie bestimmt die Umlaufbahnen der Erde und der anderen Planeten um die Sonne durch die gegenseitige Anziehung. Die Größe der Gravitationskraft ist dem Produkt der beteiligten Massen proportional und nimmt mit dem Quadrat des gegenseitigen Abstandes ab (d.h. im doppelten Abstand hat die Gravitationskraft ein Viertel des ursprünglichen Wertes). Die Reichweite der Gravitation reicht bis ins Unendliche.

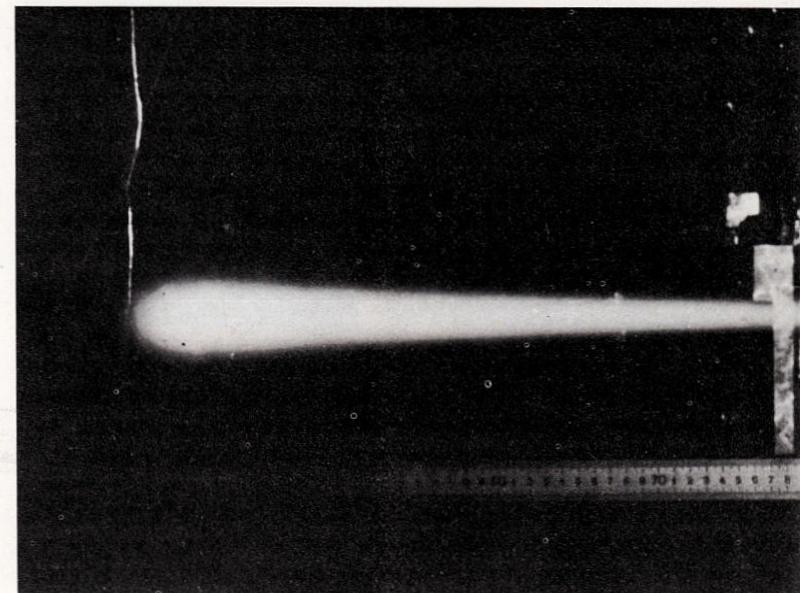
Stehen große Massen in Gravitationswechselwirkung, so ergeben sich gewaltige Effekte; doch im Maßstab der Elementarteilchen ist die Gravitationswirkung ausgesprochen schwach und wird von den anderen Wechselwirkungsarten überschattet.

Die elektromagnetische Wechselwirkung

Zwischen allen elektrisch geladenen Objekten beobachtet man elektromagnetische Wechselwirkung; sie führt zu den Phänomenen der Elektrizität und des Magnetismus und äußert sich ebenso in Licht wie in Radiowellen (siehe ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN). Die Bahnen der negativ geladenen Elektronen um den positiven Atomkern werden durch die elektromagnetische Wechselwirkung festgelegt; elektrische und magnetische Kräfte sind somit die Ursache aller atomaren und molekularen Erscheinungen. Die Kraft zwischen zwei ruhenden Ladungen, die 'Coulombkraft', bewirkt Anziehung zwischen entgegengesetzt geladenen und Abstoßung zwischen gleich geladenen Teilchen; sie ist dem Produkt der wechselwirkenden Ladungen proportional und nimmt mit dem Abstand quadratisch ab. Die Coulombkraft ist also der Gravitationskraft ähnlich und wirkt ebenso bis ins Unendliche.

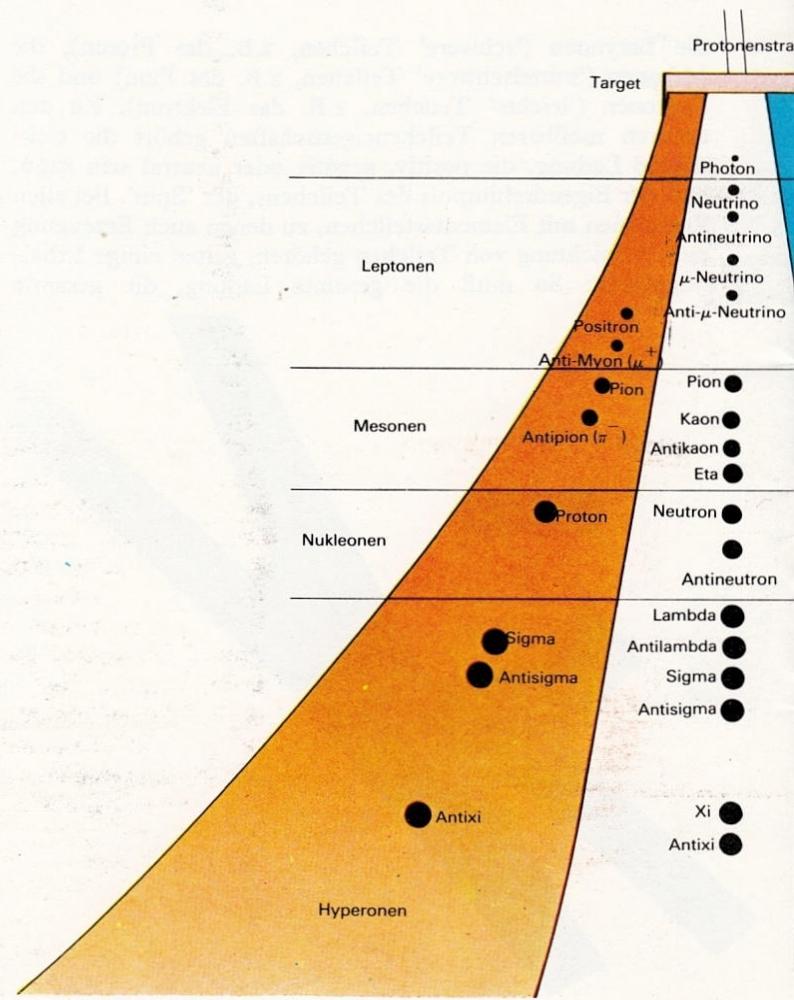
Die Wirkungsweise der elektromagnetischen Wechselwirkung wird durch die Quantenelektrodynamik (QED) beschrieben, wonach jedes Teilchen von einer 'Photonenwolke', das heißt einer Vielzahl solcher Energiepakete, die eine Lichtwelle aufbauen, umgeben ist. Diese Photonenwolke ist in der Nähe des Teilchens dicht und wird mit wachsendem Abstand dünner, was die Abnahme der Coulombkraft erklärt. Jedes Teilchen sendet nach diesem Modellbild ständig Photonen aus und fängt sie wieder ein. Geladene Teilchen treten über die Photonen in Wechselwirkung, etwa durch Austausch eines Photons. Bei entgegengesetzten Ladungen führt dies zur Anziehung.

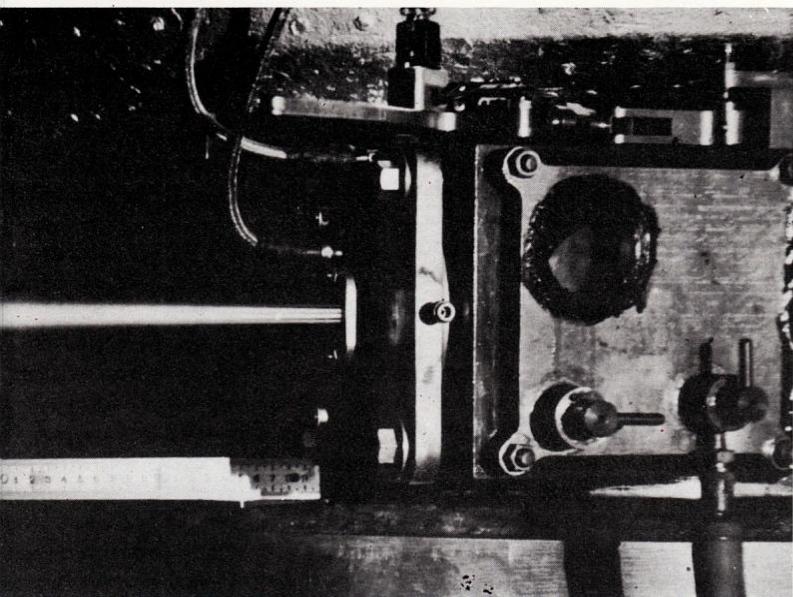
Die Eigenschaften geladener Teilchen ändern sich ein wenig durch die Anwesenheit der Photonenwolke; durch die experimentelle Bestimmung dieser, von der Quantenelektrodynamik vorhergesagten kleinen Veränderungen konnte diese Theorie erfolgreich getestet werden. Die Quantenelektrodynamik wurde zur Deutung einiger weniger Erscheinungen entwickelt, doch sie erklärte nicht nur die Wechselwirkung im Bereich einiger Hundertstel Fermi ($1 \text{ Fermi} = 10^{-15} \text{ m}$), das heißt tief innerhalb eines geladenen Teilchens erfolgreich, sondern auch auf Entferungen von Millionen von Kilometern.



Oben: Ein Strahl hochenergetischer Deuteronen des Zyklotrons in Berkeley (USA). Ein Deuteron ist ein nur schwach gebundenes, jedoch stabiles Atom mit einem Kern aus einem Proton und einem Neutron.

Rechts: Ein Wasserstoffatom besteht aus zwei Teilchen — einem Proton und einem Elektron. Ein Atom des Anti-Wasserstoffs wird von den Antiteilchen Antiproton und Positron gebildet. Teilchen und Antiteilchen haben jeweils gleiche Masse, aber entgegengesetzte Ladung. **Unten:** Schematische Darstellung der Familien und relativen Massen einiger Elementarteilchen. In einem imaginären Protonenstrahl sind die positiven Teilchen rot, die negativen blau und die neutralen in der Mitte eingezeichnet.





Die starke Wechselwirkung

Zwischen Hadronen (Nukleonen und Hyperonen) wirkt die starke Wechselwirkung; sie bewirkt den Zusammenhalt der Atomkerne trotz der elektrischen Abstoßung zwischen den Protonen. Die Reichweite der starken Wechselwirkung ist von der Größenordnung des Atomkerndurchmessers (einige Fermi); dies erklärt, warum Atomkerne keine anderen Hadronen anziehen, sofern diese nicht in das Kernvolumen eindringen.

Ähnlich der Vorstellung, daß ein geladenes Teilchen von

einer Photonenwolke umgeben ist, stellt man sich Hadronen von einer Mesonenwolke umgeben vor, wobei die π -Mesonen (auch Pionen genannt) am häufigsten auftreten. In diesem Modell teilt ein Hadron einem anderen seine Anwesenheit durch Austausch eines Pions mit. Das Pion hat jedoch im Gegensatz zum Photon eine Ruhemasse von etwa einem Viertel einer Protonenmasse, so daß die Pionenwolke nur auf die engste Umgebung des Hadrons beschränkt ist und die starke Wechselwirkung nur eine geringe Reichweite hat.

Dieses relativ einfache Modellbild wurde jedoch gestört, als an Teilchenbeschleunigern eine Vielzahl von Mesonen und Hadronen entdeckt wurden. Diese Elementarteilchen entstehen durch Zusammenstöße stark beschleunigter Teilchen mit ruhenden oder in Gegenrichtung bewegten Teilchen (beim Deutschen Elektronensynchrotron DESY in Hamburg benutzt man zum Beispiel beschleunigte Elektronen). In den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts sammelten die Teilchenphysiker neue Elementarteilchen (wie Botaniker Blumen), ohne jedoch zu verstehen, warum diese existieren und welche Rolle sie in der Natur spielen. Je genauer die Teilcheneigenschaften bestimmt wurden, desto klarer traten Beziehungen hervor, die eine Ordnung nach Art des Periodensystems der chemischen Elemente ermöglichten.

Die Hadronen zerfallen danach in Gruppen von acht und zehn Teilchen mit jeweils ähnlichen Eigenschaften. Ebenso wie der Atomaufbau aus Atomkern und Elektronenhülle dem periodischen System zugrunde liegt, vermutet man auch eine Struktur in den Hadronen, durch die das Ordnungsschema verständlich wird. Diese Struktur besteht nach dem heute anerkannten Modell aus verschiedenen Kombinationen dreier unteilbarer Basisteilchen, die 'Quarks' genannt werden.

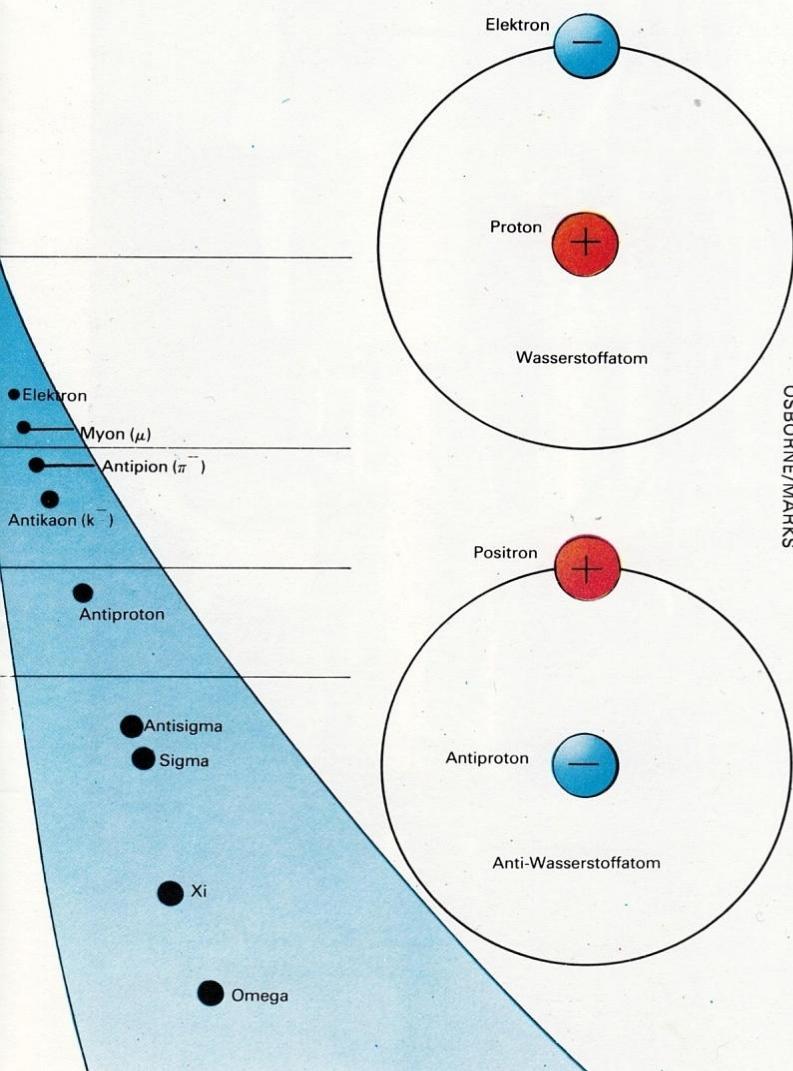
Das ursprüngliche Quark-Modell konnte nicht alle Phänomene erklären und mußte seit seiner Erfindung durch Murray Gell-Mann (geb. 1929) und George Zweig im Jahre 1963 mehrfach stark geändert werden. Heute kennt man bis zu zwölf Quarks, die sich in Masse und Ladung sowie in 'strangeness'-Zahl und 'Charm' unterscheiden.

Diese Quarks werden als wahrhaft elementare Teilchen, das heißt als grundlegend und unteilbar, angesehen. Obgleich sie allgemein als die 'Bausteine' der Hadronen angesehen werden (Experimente mit hochenergetischen Teilchen deuten darauf hin, daß Protonen und Neutronen aus drei Bausteinen — vielleicht Quarks — bestehen), konnten noch keine Quarks aus Hadronen herausgelöst werden. Trotz des Erfolges bei der Ordnung und der Vorhersage neuer Teilchen sowie deren Verhalten bei starker Wechselwirkung gibt es bisher noch kein überzeugendes Experiment zum Beweis des Quark-Modells.

Die schwache Wechselwirkung

Schwache Wechselwirkung tritt beim Zerfall oder Aufbruch von Teilchen in andere Elementarteilchen auf. Die Zerfallszeiten liegen in der Größenordnung von 10^{-9} Sekunden (eine Milliardstel Sekunde). Vergleicht man dies mit den Wechselwirkungszeiten der starken Wechselwirkung, die 10^{12} mal kürzer sind, erkennt man daraus die 'Schwäche' dieser Wechselwirkung. Nach unserem gegenwärtigen Wissensstand liegt hier eine 'Punktwechselwirkung' vor, die nur innerhalb eines Elementarteilchens wirkt.

Als es noch keine Teilchenbeschleuniger gab, kannte man die schwache Wechselwirkung nur vom radioaktiven Zerfall von Atomkernen (siehe RADIOAKTIVITÄT), insbesondere vom Zerfall eines Neutrons in ein Proton und ein Elektron, dem 'Beta-Zerfall'. Da dabei das ausgestoßene Elektron mit verschiedenen Energiewerten gemessen wurde, folgerte man, daß ein weiteres, nicht beobachtetes Teilchen die restliche, beim Zerfall frei werdende Energie wegtragen müsse. Dieses unsichtbare Teilchen wurde Neutrino (das kleine Neutrale) genannt. Es ist ein elektrisch neutrales Lepton, das nur die



schwache Wechselwirkung spürt. Wolfgang Pauli (1900 bis 1958) fühlte sich deshalb sicher, als er eine Kiste Champagner darauf wetzte, daß dieses Neutrino nie beobachtet würde. Zu Paulis Pech wurde es durch die Wechselwirkung mit anderen Teilchen in der Nähe von Kernreaktoren, wo jede Sekunde Millionen von Neutrinos ausströmen und in Hochenergiebeschleunigern, wo Neutrinostrahlen zur Untersuchung der schwachen Wechselwirkung benutzt werden, nachgewiesen.

Die Experimente zur schwachen Wechselwirkung widersprachen, bezogen auf die Art der Naturgesetze, in vielen Punkten dem 'gesunden Menschenverstand'. Die erste Überraschung wurde um 1950 beim Beta-Zerfall von Atomkernen gefunden: 'Bis dahin glaubte man, daß in der Natur keine Vorzugsrichtung existiere, das heißt, daß man kein Experiment zur Unterscheidung von 'rechts' und 'links' angeben könne. Betrachtet man jedoch den Spin der nach einem Beta-Zerfall auslaufenden Elektronen, so findet man hier stets den Drehsinn im Uhrzeigersinn, was bedeutet, daß die dabei frei werdenden Neutrinos ihren Spin gegen den Uhrzeigersinn ausgerichtet haben (wegen der Erhaltung des Gesamtdrehimpulses). Mit diesem Experiment könnte man einem Bewohner eines weit entfernten Planeten unsere Begriffe von rechts und links an einem Naturereignis vermitteln.'

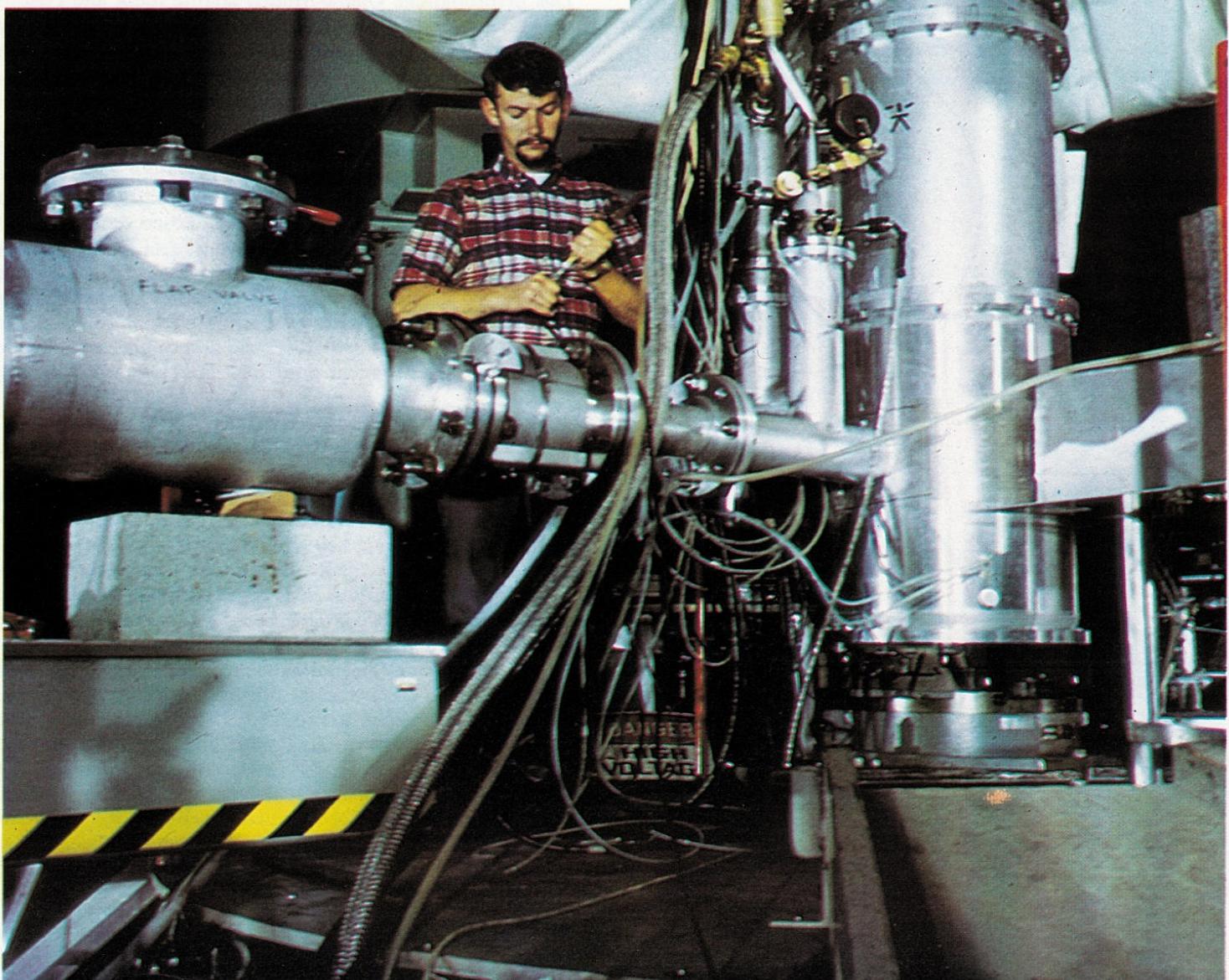
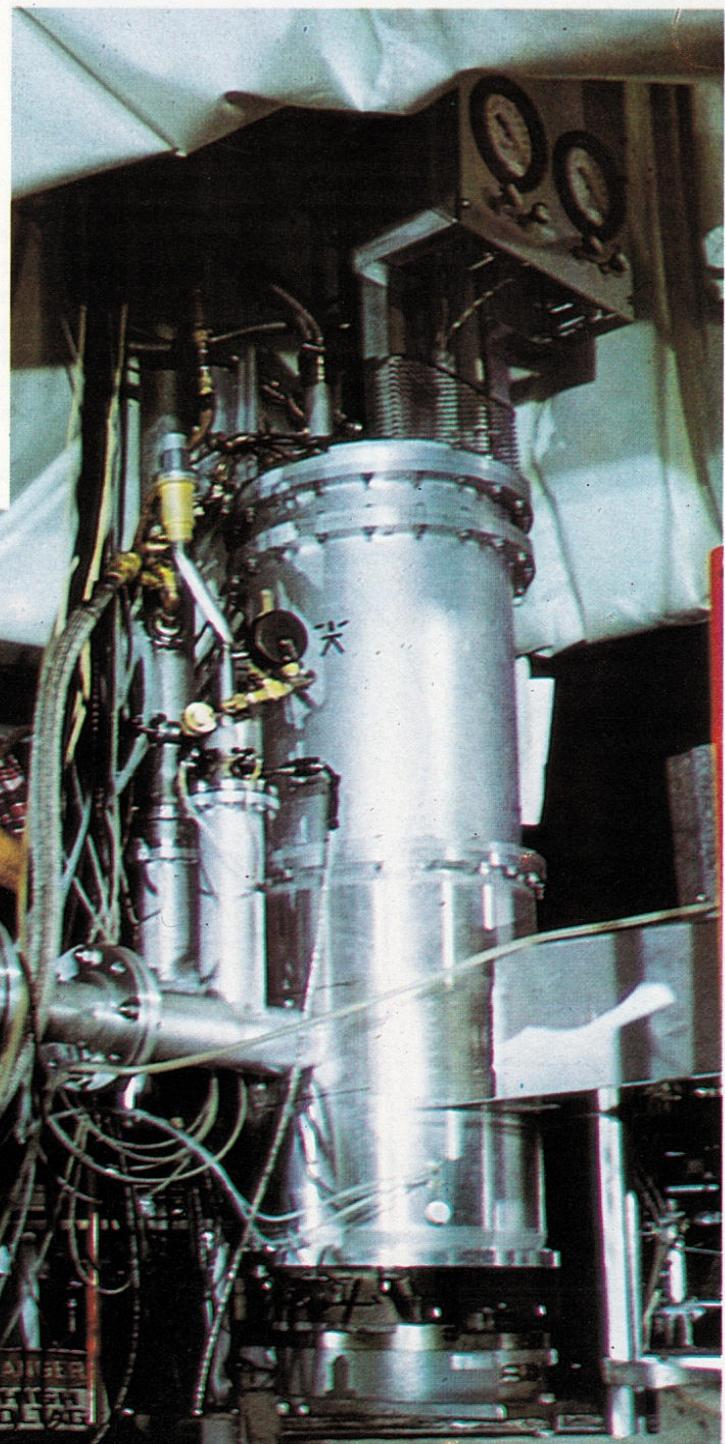
Zehn Jahre später erlebte man eine zweite Überraschung beim Zerfall des neutralen K Mesons — oder Kaons — (eines Teilchens aus der Gruppe der Mesonen). Es zeigte sich, daß die Natur nicht nur unterschiedliche Raumrichtungen, sondern auch eine Richtung des Zeitablaufes vorgibt. Vor dieser Entdeckung meinte man, daß bei einer Zeitumkehr die Naturvorgänge — wie beim Rückwärtslaufen eines Filmes —

in umgekehrter Reihenfolge ablaufen; dies wurde durch die Beobachtungen beim Kaonen-Zerfall widerlegt.

Bisher existiert keine befriedigende Theorie zur Beschreibung der schwachen Wechselwirkung. Ein Modell schlägt in Analogie zur Quantenelektrodynamik und zum Pionen-Austausch in der starken Wechselwirkung das Bild des Austausches eines Bosons oder W-Teilchens vor. Doch bisher konnte kein experimenteller Hinweis auf ein solches Boson gefunden werden. Unter den vier Wechselwirkungsarten birgt die schwache Wechselwirkung noch die meisten Rätsel.

Unten: Der lineare Teilchenbeschleuniger in Stanford in den Vereinigten Staaten von Amerika.

PHOTRI



Erfindungen 53: WEBSTUHL UND WEBMASCHINE

Im allgemeinen nimmt man an, daß es sich bei den großen Erfindern der Zeit der Industriellen Revolution um praktische, nüchterne Maschinenbauer und Techniker handelt. Der Mann jedoch, der die Dampfkraft für den Webstuhl nutzbar machte, war der äußerst ungewöhnliche Individualist Dr. Edmund Cartwright.

Cartwright, der am Magdalene College in Oxford studiert hatte, war Dichter und Pfarrer. Sein Pfarrbezirk, das Dorf Goadby Marwood bei Melton Mowbray, in Leicestershire, lag weit von den Industriegebieten Lancashire, Yorkshire und Schottland entfernt. Obgleich Cartwright ein ideenreicher Erfinder war, wandte er sich erst mit 41 Jahren der mechanischen Entwicklung zu.

Cartwrights erster mechanischer Webstuhl

Im Verlaufe einer allgemeinen Konversation mit einigen Geschäftsleuten aus Manchester stellte er die Frage, warum man, nachdem doch Spinnen maschinell erfolgte, nicht auch die Arbeit des Webens von Maschinen durchführen lassen könnte. Die Erwiderung, daß maschinelles Weben wegen der zu komplizierten Bewegungen unmöglich wäre, befriedigte ihn nicht. Obgleich er noch nie einen Webstuhl gesehen hatte, baute er nach seiner Rückkehr in seine Pfarrei mit der Unterstützung eines Handwerkers eine fremdkraftbetriebene Webmaschine. Jedoch waren zu ihrer Bedienung zwei starke Männer erforderlich, die bereits nach zwei Stunden abgelöst werden mußten.

Handwebstuhl

Nun beschloß er, das Prinzip des Handwebstuhles genau zu untersuchen und nahm sich bei seinem nächsten Versuch die Bewegungen des Webstuhles und des Webers zum Vorbild. Auf diese im Jahre 1786 patentierte Maschine folgten innerhalb der nächsten zwei Jahre zwei weiter verbesserte Ausführungen. Auch hierbei hatte er den Handwebstuhl zum Vorbild genommen. Die Hauptschwierigkeit lag darin, die Drehbewegung der Antriebsquelle — ob es sich nun um eine Dampf-

maschine oder um das Wasserrad handelte — auf die Hin- und Herbewegungen des Webstuhles abzustimmen. Zunächst aber mußte die Drehbewegung über Treibriemen von einer unter der Decke des Fabrikationsraumes verlaufenden Welle abgenommen und für den Webstuhl nutzbar gemacht werden. Und hierin lagen zweifelsohne die Probleme, an die die Skeptiker aus Manchester gedacht hatten.

Betriebsvorgänge des Handwebstuhles

Beim Handwebstuhl sind folgende Arbeitsvorgänge erforderlich. Erstens: Das Heben und Senken der waagerechten Stangen (Schäfte), an deren Fäden die vom Kettbaum gehaltenen und über den Streichbaum geführten, im Wechsel gespannten Längsfäden (Kettfäden) befestigt sind. Durch das abwechselnde Heben und Senken der Kettfäden entsteht ein freier Raum, durch den das Schiffchen (Schützen) hindurchgezogen werden kann. Zweitens: Das Hindurchziehen des Schützen mit dem Querfaden (Schußfaden) durch den so entstandenen freien Raum. Drittens:

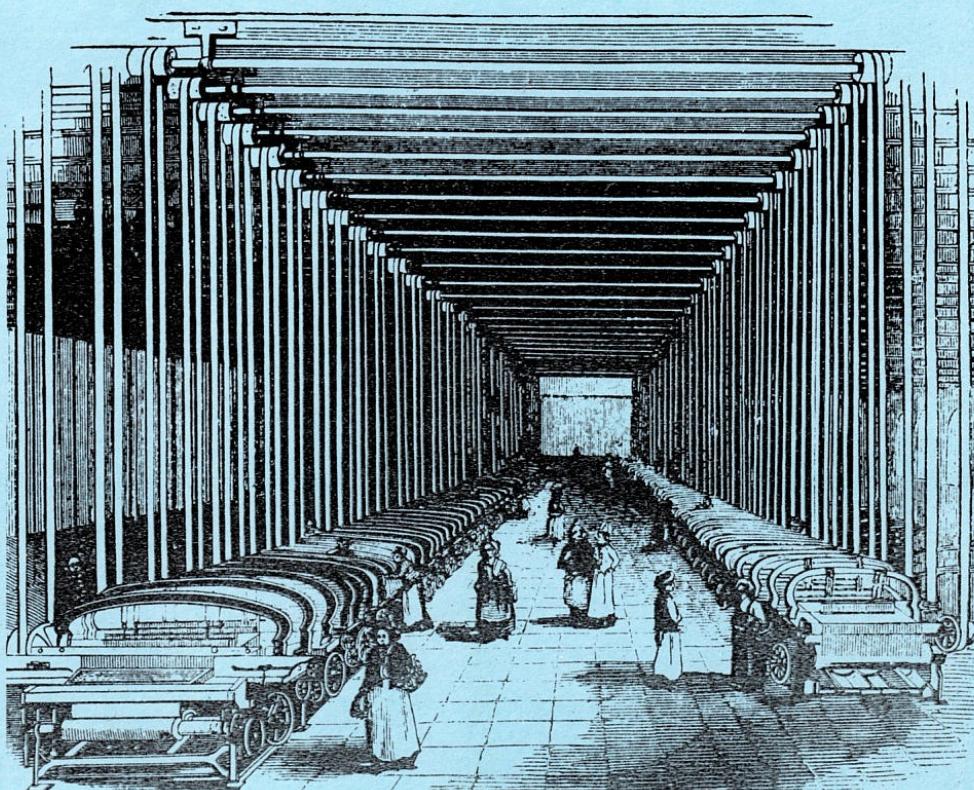
Das Heranziehen des Weberkammes, um den gerade 'eingetragenen' Schußfaden dicht an das bereits fertige, über den Brustbaum geführte Gewebe heranzuschieben.

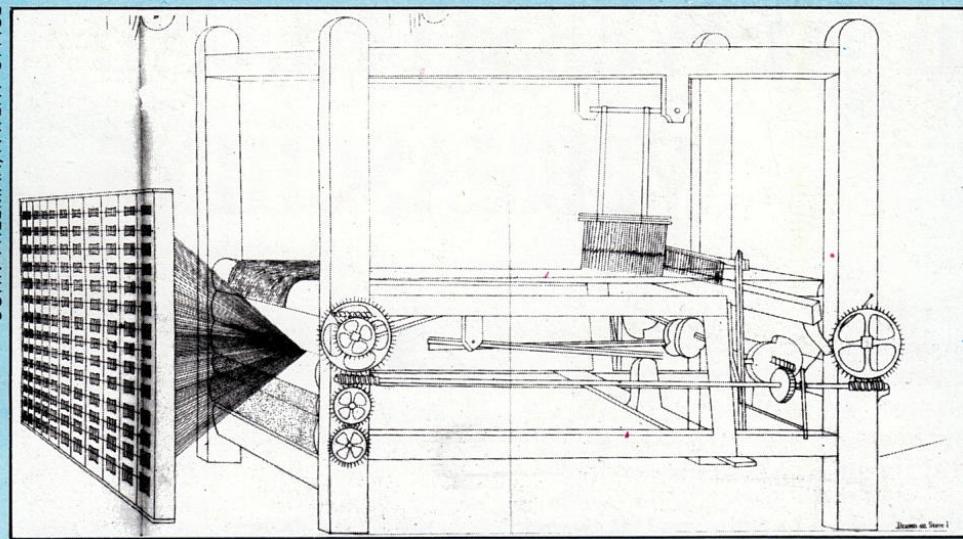
Den ersten Arbeitsgang führt der Weber durch Betätigung von Tretvorrichtungen (Tritte) aus. Der zweite erfolgt durch heftiges Stoßen eines auf beiden Seiten des Webstuhles mit Schnüren an Schnellern befestigten Stabes, was wiederum bewirkt, daß der Weberschützen zur anderen Seite geworfen wird (Schußeintrag). Der Weberkamm ist am Oberteil eines normalerweise unter dem Webstuhl an Scharnieren befestigten Rahmens (Lade) angebracht und wird vom Weber mit der Hand zu dem über dem Warenbaum liegenden Brustbaum hingezogen.

Umwandlung der Drehbewegung

Zur Umwandlung der Drehbewegung in die erforderlichen gegenläufigen

Im Laufe der Industrialisierung wurden die Handwebstühle von mechanischen Webstühlen — hier in einer Fabrik — abgelöst.





Oben: Teilansicht des Webstuhls von Cartwright aus der Patentbeschreibung vom Jahre 1786.

Bewegungen benutzte Cartwright bei seinen Konstruktionen Nocken, d.h. umlaufende Scheiben, die entweder an ihren Rändern oder auf ihren Seitenflächen kegelförmig bearbeitet waren, damit sie schwingende Bewegungen auf Hebel übertragen konnten. Der Vorteil hierbei besteht darin, daß durch Ändern der Nockenform die Geschwindigkeit und die zeitliche Aufeinanderfolge der erforderlichen Funktionsfolge unterschiedlich gestaltet werden können. So stieß z.B.

der Schlagnocken einen Hebel mit großer Kraft gegen eine Feder und ließ ihn plötzlich wieder los. Die Folge war, daß der Schützen zur anderen Seite hinübergeworfen wurde. Der Kräfleverzehr durch Reibung war die Ursache für den großen, zur Bedienung der Maschine erforderlichen Kraftaufwand. Außerdem gab es noch andere Probleme, wenn mehr als ein Webstuhl von einer einzigen Person bedient werden sollte: Es war eine Vorrichtung zum

Unten: 65 Jahre später befanden sich Webstühle wie der von Joseph Harrison entwickelte auf dem Markt.

sofortigen Abstellen des Webstuhles für den Fall eines Hängenbleibens des Schützen während des Fluges oder auch für den Fall eines Reißens des Schußfadens oder des Herausfallens des Schützen am Ende der Schußfadenrolle erforderlich, damit nicht eine ganze Reihe von Kettfäden innerhalb der Schützenflugbahn zerrißt werden konnte.

Fabrik-Webmaschinen

Als Cartwright dieses Problem gelöst hatte, machte er sich daran, Geschäftsleute für seine Maschinen zu interessieren. Nachdem er von Webereibesitzern abgewiesen worden war, beschloß Cartwright, selbst eine Weberei zu eröffnen und stellte junge Mädchen als Weberinnen ein. Seine ersten Fabriken baute er in Doncaster, Yorkshire und danach in Manchester. Jedoch wurde die Fabrik in Manchester bereits durch einen Brand vernichtet, als erst 20 der geplanten 500 Webstühle und eine Dampfmaschine installiert worden waren.

Cartwrights Webstühle waren ziemlich primitiv, aber sie funktionierten. Jedoch erwiesen sie sich nicht als geschäftlicher Erfolg. Ihre Hauptbedeutung bestand darin, daß Cartwright mit ihnen bewiesen hatte, daß Webstühle durch Fremdkraft betrieben werden konnten.

