

HEFT 68 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

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| Zähleinrichtungen                  | 1877 |
| Zahnpasta                          | 1879 |
| Zahnradbahn                        | 1881 |
| Zeilendrucker                      | 1883 |
| Zeit                               | 1886 |
| Zellophan                          | 1889 |
| Zement                             | 1890 |
| Zenerdiode<br>(Z-Diode)            | 1896 |
| Zentrifugalkraft<br>und Zentrifuge | 1900 |
| Zerstäuber                         | 1904 |

### 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.

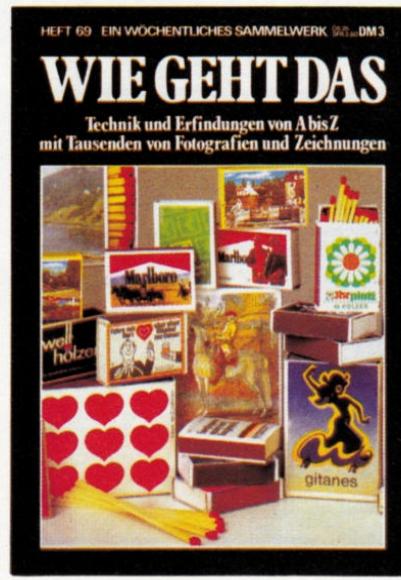
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

**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 69 von Wie Geht Das



Zündhölzer wurden zum ersten Mal kommerziell im Jahre 1827 hergestellt. Heute werden jährlich Billionen Zündhölzern produziert; eine moderne Streichholzmaschine hat eine Tagessleistung von 20 Millionen Stück. Lernen Sie aus Heft 69 von Wie Geht Das, wie die Herstellung vor sich geht.

Eines der wichtigsten Bestandteile des Automotors ist das Zündsystem. Erfahren Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das, wie Zündanlagen funktionieren.

#### 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 Ordern 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 bitte der 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 lesbar enthalten.



# Z

## ZÄHLEINRICHTUNGEN

In vielen Bereichen des Handels und der Industrie werden Zähleinrichtungen benötigt, angefangen bei den einfachen mechanischen Kilometerzählern in Autos bis hin zu den sehr schnellen elektronischen Zählern, mit denen sich die Radioaktivität messen läßt.

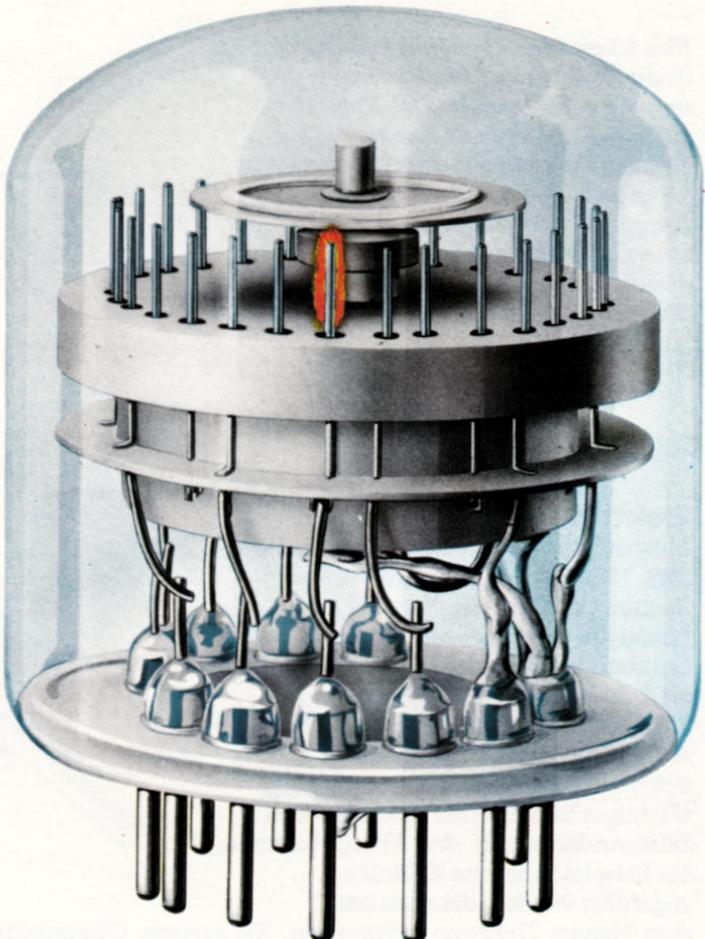
Zähleinrichtungen gibt es in mechanischer, elektromechanischer oder elektronischer Ausführung. Grundlage mechanischer Zähler ist eine Schaltklaue, die in ein Sperrad mit zehn Zähnen greift. Jede Rück- und Vorwärtsbewegung der Klaue schiebt das Rad um einen Zahn weiter. Ein Zahnkranzring, dessen Außenseite mit Ziffern beschriftet ist, liegt über dem Sperrad. Die gesamte Anordnung ist meist in ein Gehäuse mit einer Fensteröffnung eingebaut, so daß immer nur eine Ziffer sichtbar ist. Jede Bewegung der Klaue bringt die Folgeziffer in das Fenster.

Gewöhnlich ordnet man mehrere Räder nebeneinander an,

PAUL BRIERLEY



Eine Getriebeanordnung im mechanisch arbeitenden Zähler überträgt die Bewegung der Antriebsspindel, damit die rote Zifferntrommel auf der rechten Seite arbeiten kann. Erscheint die Ziffer 9, rückt ein Stift links der Trommel in ein Stirnrad und dreht die Zifferntrommel sofort in Linksstellung.



Eine heute kaum noch verwendete Dekatron-Zählröhre. Die mittlere Scheibe ist die Anode, die Stifte ringsum sind Katoden, wovon jede dritte eine Hauptkatode mit eigenem Sockelanschluß ist. Jede Hauptkatode ist von zwei 'Lockelektroden' umgeben, die alle an zwei getrennten Anschlüssen zusammengefaßt sind.

jedes links liegende Rad erhält den Antrieb von dem rechts neben ihm befindlichen Rad, so daß es sich nach jeder vollen Umdrehung des rechts liegenden Rades um eine Ziffer weiterdreht. Man erhält auf diese Weise Zehner-, Hunderter-, Tausenderstellen usw.

Nicht alle Vorgänge sind auf die beschriebene Vor/Rückwärtsbewegung der Klaue zurückzuführen. Der Kilometerzähler eines Autos arbeitet über eine Welle, die von einem Umdrehungszähler angetrieben wird. Dieser Meßwertaufnehmer erhält seinen Antrieb von einem der Fahrzeugräder. Ein Zahnradgetriebe und Nocken setzen die Drehbewegung in eine Rück- und Vorwärtsbewegung um. Der umgesetzte Bewegungsvorgang läuft etwas schneller ab, als es eigentlich notwendig wäre. Mit dieser Maßnahme bezieht man die Zahnradreihe des Sperrades, die für eine einzige Ziffer gedreht werden muß, mit ein, so daß sich die Ziffer an der letzten Stelle der Anzeige kontinuierlich zu drehen scheint, wenn sich das Fahrzeug bewegt. Der Nockenmechanismus erzeugt immer, unabhängig von der Wegrichtung des Fahrzeugs, die gleiche Klauenbewegung, weshalb sich auch rückwärts gefahrene Strecken zur Vorwärtsfahrt des Wagens addieren.

Baut man zur Erzeugung der Rück- und Vorwärtsbewegung eine elektrisch arbeitende Zylinderspule ein, lassen sich elektrische Pulse zählen. Solcher Art ausgestattete Zählbausteine finden ein großes industrielles Anwendungsfeld. Sie lassen sich überall dort einsetzen, wo der Arbeitsablauf einer Maschine in elektrische Signale umgesetzt werden muß oder ein ähnlich arbeitender Schalter — beispielsweise durch Umdrehungen einer Achse — betätigt werden soll.

Eine häufig benutzte Zähleinrichtung ist der in Autos und Motorrädern eingegebauten Tachometer. Das Kabel des Kilometerzählers dreht eine kurze Spindel, die wiederum den Geschwindigkeitsanzeiger durch magnetische Kupplung betätigt, wodurch der Kilometerzähler über ein Schneckengetriebe und einen Sperrmechanismus in Bewegung gesetzt wird.

### Elektronische Zähler

Mechanisch arbeitende Zähler sind mit dem Nachteil einer verhältnismäßig langsamem Zählweise behaftet. Sie benötigen immerhin den Bruchteil einer Sekunde zum Wechseln einer Ziffer und sind deshalb unbrauchbar für hohe Zählgeschwindigkeiten. Für solche Fälle stehen verschiedene Arten von elektronischen Zählern zur Verfügung. Wichtiges Bauteil einer elektronischen Zähleinrichtung ist der Anzeigebaustein. Als Beispiel kann eine Zählröhre angeführt werden, die auch unter

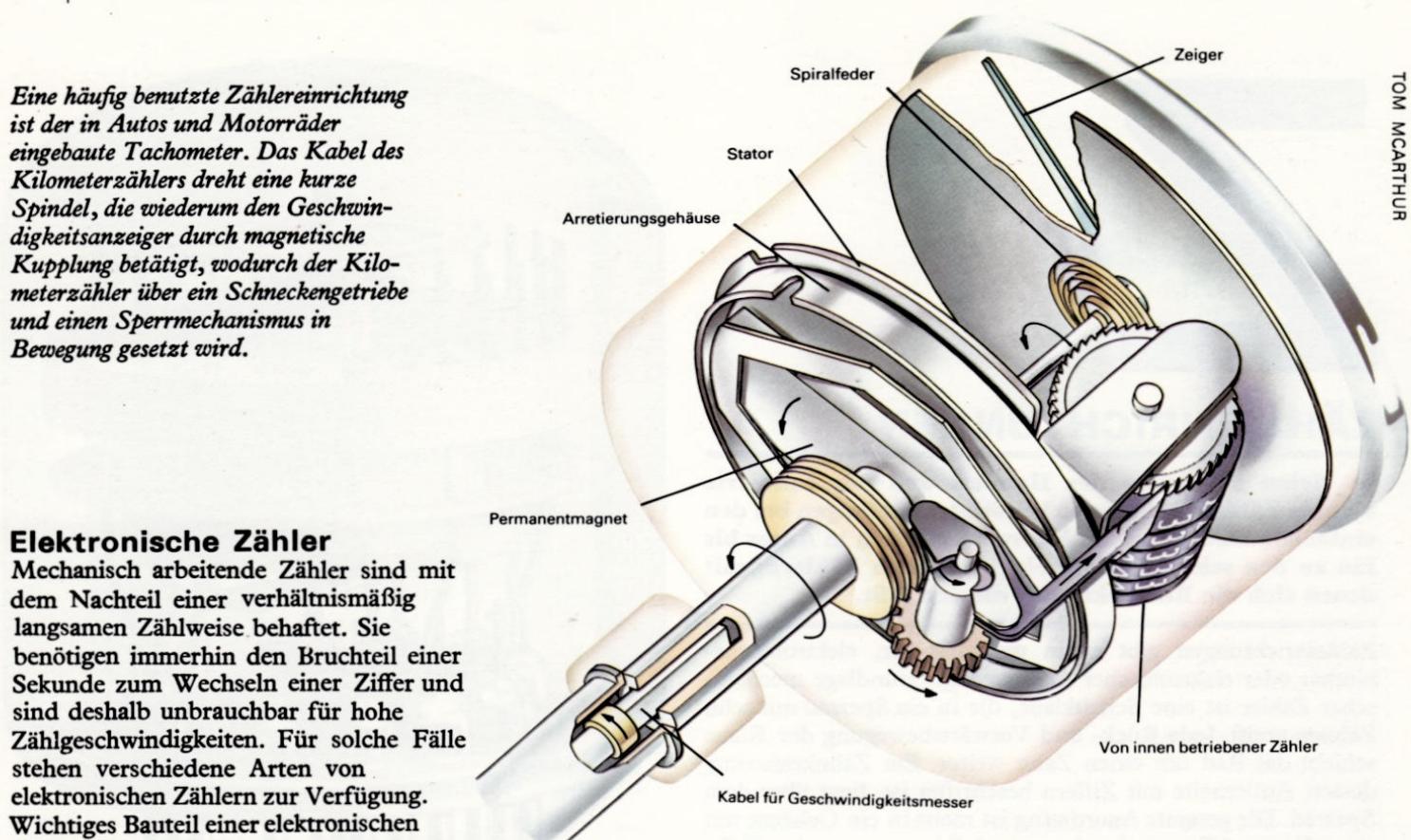
dem Namen Dekatron bekannt ist. Sie erzeugt Glimmlichtpunkte auf einer Nummernscheibe, deren Rand mit Ziffern von 1 bis 10 beschriftet ist. Für jede Ziffer gibt es einen Glimmpunkt. Das Glimmlicht wird auf ähnliche Weise wie das Licht in einer Gasentladungsröhre erzeugt: Der elektrische Strom ionisiert Gasmoleküle in Niederdruckatmosphäre, wobei die für den Glimmvorgang entscheidenden Größen so berechnet sind, daß der Hauptanteil des Glimmlichtes in der Umgebung der Katode verbleibt.

Die Zählröhre besitzt eine Anode und 10 Hauptkatoden mit jeweils zwei benachbarten Leitkatoden, A und B. Die Leitkatoden bezeichnet man auch oft als Lockelektroden. Alle A-Katoden sind miteinander verbunden, ebenso alle B-Katoden. Die Anschlüsse beider Gruppen sind an zwei getrennten Stiften aus dem Sockel der Vakuumröhre herausgeführt. Jede der Hauptkatoden besitzt einen eigenen Anschlußstift.

Der Entladungsvorgang läßt sich auf einer beliebigen Hauptkatode festhalten, wenn alle Katoden das gleiche Potential gegenüber der Anode besitzen, denn die Abstände der Katoden reichen aus, um ein Überspringen eines Funkens zwischen den Katoden zu verhindern. Wo immer das Glimmlicht zunächst stehen bleibt, werden die benachbarten Lockelektroden zur Aufrechterhaltung der Entladung vorbereitet, obwohl sie normalerweise eine positive Spannung führen.

Wenn die Entladung zur Anzeige der nächsthöheren Ziffer weitergeleitet werden soll, muß ein negativer Impuls an die Zuführung der A-Elektroden und später an die der B-Elektroden gelegt werden. Der Entladungsvorgang springt schnell von der Hauptkatode zu A, dann zu B und anschließend zur nächsten Hauptkatode, an der der Impuls endet. Der gesamte Prozeß verläuft sehr schnell; es lassen sich Zählvorgänge mit Geschwindigkeiten bis hoch zu 5 000 Zählungen pro Sekunde erreichen.

Gelangt der Entladungsvorgang nach einer vollständigen Umdrehung an die Katode 0, entsteht ein Impuls, der von einer elektronischen Schaltung in eine Impulsfolge verwandelt wird, die notwendig ist, damit eine weitere Röhre ange-



sprochen werden kann, so daß sich Zehner-, Hunderter-, Tausenderstellen usw. darstellen lassen.

Will man den Zähler zurücksetzen, muß an allen Katoden außer Null ein positiver Impuls angelegt werden. Damit wird bewirkt, daß die Glimmentladung sofort auf Null zurückspringt. Der Rücksetzvorgang verläuft sehr schnell, was von entscheidendem Vorteil sein kann, wenn es notwendig erscheint, den Zählerstand abzulesen und dann die Zähleinrichtung zurückzusetzen, ohne daß Zählpulse verloren gehen dürfen.

Eine Weiterentwicklung dieses Anzeigebausteins besitzt statt nur jeweils eines Punktes eine feldartige Anordnung von Punkten. Die leitende Verbindung zu ihnen ist so aufgebaut, daß jedes fortschreitende Punkt muster verschiedene Ziffern oder unterschiedliche Zeichen darstellt.

Eine weit verbreitete Anzeigeröhre ist die 'Ziffernanzeigeröhre', auch als 'Digitron' bekannt. Sie besitzt zehn hintereinanderliegende Katoden, die als Ziffern von 0 bis 9 ausgebildet sind. Jede Katode hat einen eigenen Anschluß. Eine zusätzliche elektrische Schaltung muß den erforderlichen Katodenanschluß auswählen und für das entsprechende negative Potential sorgen. Die Auswahlsschaltungen gehören zu den Logikschaltungen; sie führen den Zählvorgang für die Anzeige der Röhren durch. Ziffernanzeigeröhren haben gegenüber Zählröhren den Vorteil, daß der von ihnen angezeigte Wert ständig abgelesen werden kann, ohne daß man die Ziffern an den Rändern von Anzeigebändern suchen muß.

Die hohen Zählgeschwindigkeiten der Ziffernanzeigeröhren lassen sie zur Messung von Radioaktivität gut geeignet erscheinen. Die Radioaktivität wird in Form von Pulsen nachgewiesen.

Andere Zählmethoden beruhen auf lichtempfindlichen Eigenschaften von fotoelektrischen Elementen, auf die ein Lichtstrahl gelenkt wird. Befindet sich ein Gegenstand zwischen Lichtquelle und Fotoelement, fließt im elektrischen Anschlußkreis kein Strom mehr. Damit erhält ein elektromechanischer oder elektronischer Zähler Pulse, die gezählt und angezeigt werden können.

## ZAHNPASTA

**Zahnpasten sollen das Aussehen der Zähne verbessern und Zahnerkrankungen vorbeugen, indem sie Zahnbelaäge und Nahrungsrückstände entfernen sowie das Wachstum der den Zahnverfall verursachenden Bakterien hemmen.**

Präparate zur Zahnpflege gibt es nicht erst seit gestern — bereits Hippokrates (430 bis 377 v.Chr.) erkannte den Nutzen von Marmorputz (Calciumcarbonat) als Zahnpulpa (Putzmittel), und seitdem findet diese chemische Verbindung, wenn auch in sich wandelnder Form, für diesen Zweck Verwendung. Im Mittelalter wurden die Zähne mit den verschiedensten, teilweise recht komplizierten Mixturen mit so abenteuerlichen Namen wie 'Drachenblut' o.ä. bearbeitet, um ihr Aussehen zu verbessern und für frischen Atem zu sorgen.

### Zusammensetzung

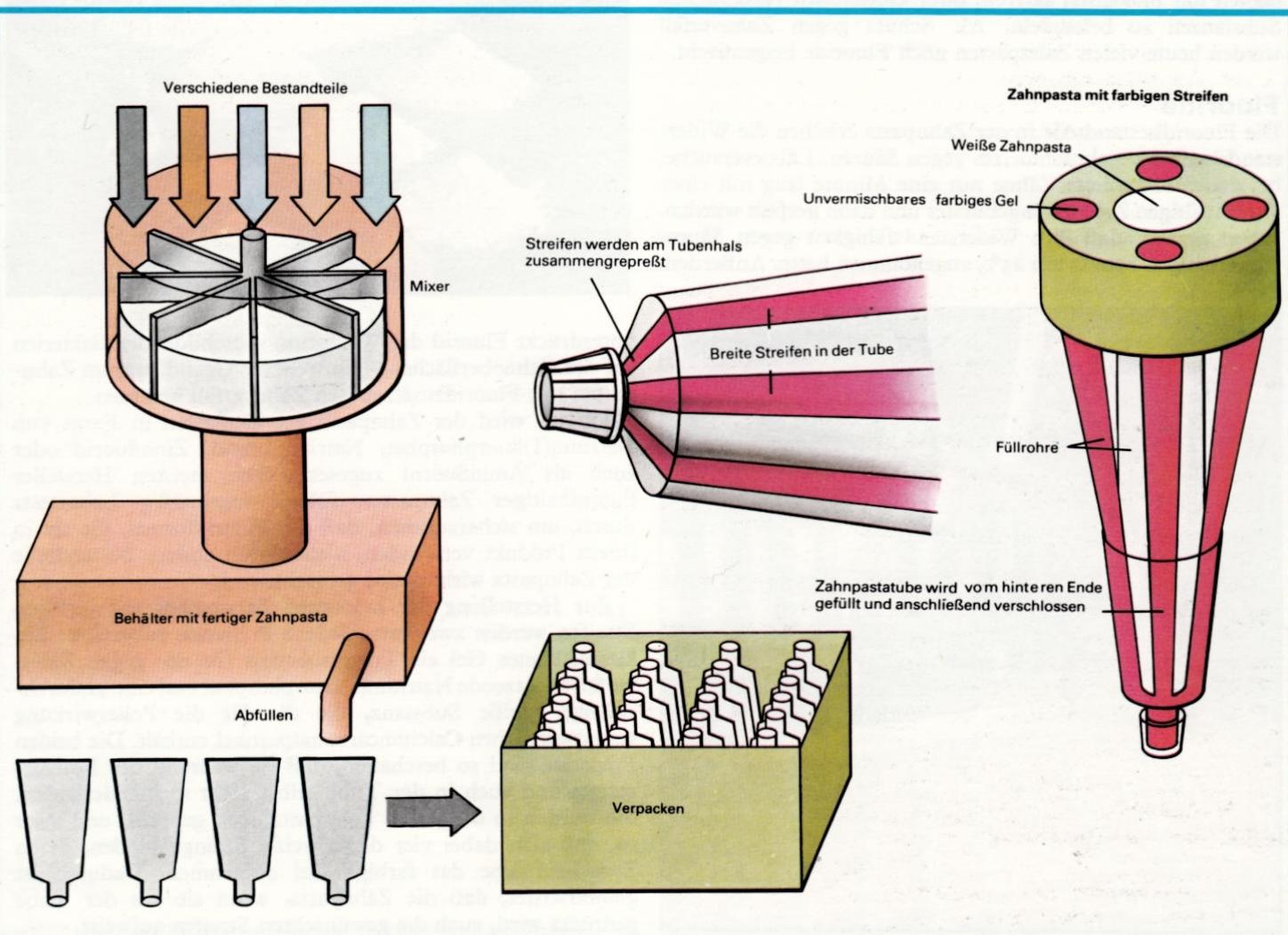
Hauptzweck einer modernen Zahnpasta ist es, Verfärbungen und bakterielle Zahnbelaäge ('Plaque'), die den Zahnverfall verursachen, von der Oberfläche der Zähne zu entfernen. Zahnpasten können die natürliche Zahngarbe weder durch Bleichen noch auf andere Art und Weise verändern. Sie reinigen lediglich die Zähne durch Beseitigung des Belags auf der Oberfläche und können durch eine gewisse Polierwirkung den Glanz etwas erhöhen.

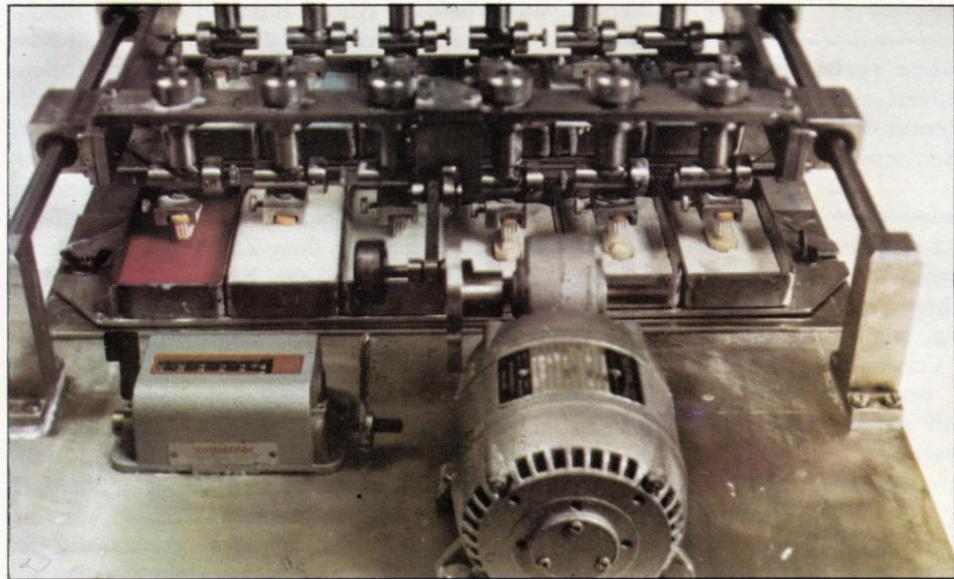
Der wichtigste Bestandteil einer Zahnpasta, der für die Reinigungs- und Polierwirkung verantwortlich ist, ist ein unlösliches anorganisches Pulpa. Häufig handelt es sich dabei um Calciumcarbonat, das eine milde Scheuerwirkung mit Säure neutralisierenden Eigenschaften vereint; aber auch

Phosphatsalz, wasserhaltiges Aluminiumoxid oder — besonders im Falle der klaren, gelartigen Zahnpasten — Silicat oder Silicagel finden Verwendung. Genaue Form und Korngrößenverteilung der Partikel unterliegen einer sorgfältigen Kontrolle seitens des Herstellers, um einerseits beim Aufbürsten der Partikel auf die Zahnoberfläche einen bestmöglichen Reinigungseffekt zu erzielen und andererseits zu gewährleisten, daß die Zähne selbst nicht beschädigt werden. Der Teil des Zahnes, der normalerweise über dem Zahnfleischrand liegt, die 'Zahnkrone', ist mit einer sehr harten Schicht, dem 'Zahnschmelz', überzogen. Unter dem Zahnschmelz liegt ein weicheres Gewebe, das Dentin oder 'Zahnbein'. Besonders bei älteren Menschen liegt dieses Zahnbein an der Zahnwurzel manchmal am Zahnfleischrand entlang frei. Eine Zahnpasta muß deshalb in der Lage sein, diese weichere Zahngarbe ebenso wie den härteren Zahnschmelz zu reinigen, ohne Schäden zu verursachen. Eine gute Polierwirkung ist ebenfalls von Bedeutung, nicht nur aus kosmetischen Gründen, sondern auch deshalb, weil sie den Bakterien das Festsetzen auf der Zahnoberfläche erschwert. Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop zeigen, daß sich mit einer guten Zahnpasta eine saubere, glatt polierte, kratzerfreie Zahnoberfläche erzielen läßt.

Neben den Reinigungs- und Polierzusätzen enthalten Zahnpasten heute normalerweise einen 'Anfeuchter', z.B. Glyzerin

*Moderne Zahnpasta entsteht durch Mischen von Poliermitteln, Emulgatoren, Anfeuchtern, Bindemitteln und Geschmackstoffen. Bei der gestreiften Zahnpasta werden die Streifen in Form eines unvermischarbaren Gels durch Rohre mit speziellen Düsen gleichzeitig mit der weißen Paste in die Tube gepreßt.*





**Links:** Anlage zum Testen von Zahnpasta-Rezepturen. In einem ovalen Akrylblock in der Mitte jeden Tablets sind jeweils zwei Zähne befestigt, die mit Bürsten, die an einer sich hin- und herbewegenden Schiene angebracht sind, bearbeitet werden.

**Unten:** Bestandteile einer modernen Zahnpasta mit farbigen Streifen, wovon die wichtigsten das Poliermittel und Natriumfluorophosphat sind; letzteres erhöht die Widerstandsfähigkeit des Zahnschmelzes.

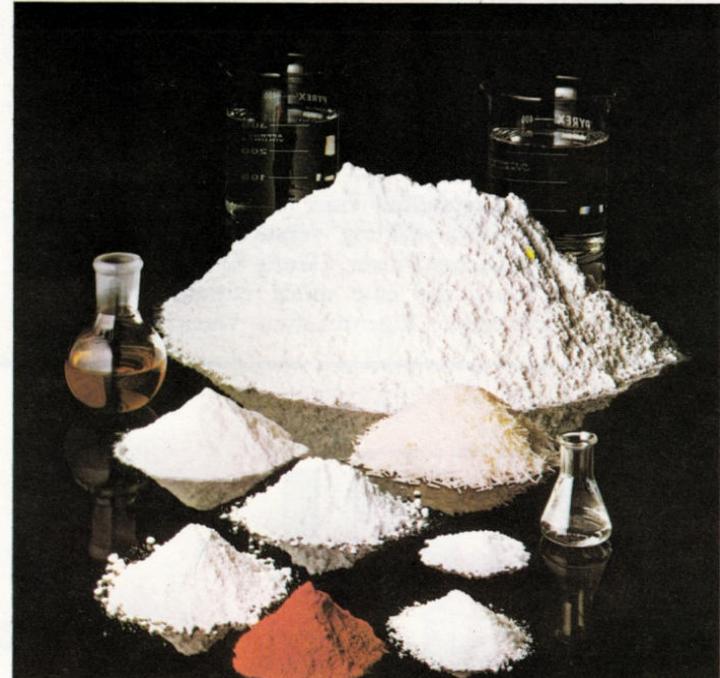
**Unten links:** Automatisches Abfüllen der Zahnpasta. Die umgekehrt aufgestellten leeren Tuben werden von oben (dem hinteren Ende) gefüllt. Im Vordergrund der Aufnahme sind die verschlossenen Zahnpastatuben zu sehen, jetzt mit den Verschlußkappen nach oben.

oder Sorbit, um die Paste in der Tube feucht zu halten. Gelegentlich enthalten sie auch noch ein Reinigungsmittel, beispielsweise Natriumlaurylsulfat, das den bakteriellen Zahnbefrag und die Nahrungsmittelrückstände löst. Durch Zugabe von Verdickungsmitteln wie Zellulose und Alginaten, die als wasserbindende (hydrophile) Kolloide wirken, wird verhindert, daß sich die flüssigen und festen Phasen in der Zahnpasta trennen; Saccharin und Geschmackstoffe schließlich sorgen für den Wohlgeschmack.

Da Zahnpasta für den regelmäßigen Gebrauch bestimmt ist, steht mit ihr ein einfaches Mittel zur Verfügung, die Zähne täglich mit biologisch aktiven, ihrer Gesundheit förderlichen Substanzen zu behandeln. Als Schutz gegen Zahnverfall werden heute vielen Zahnpasten noch Fluoride beigemischt.

### Fluoride

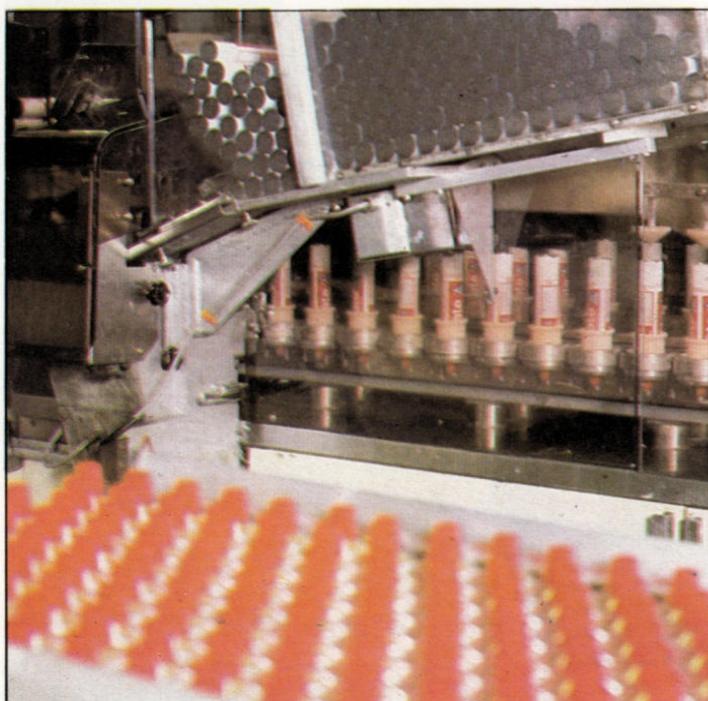
Die Fluoridbestandteile in der Zahnpasta erhöhen die Widerstandskraft des Zahnschmelzes gegen Säuren. Laborversuche, bei denen extrahierte Zähne nur eine Minute lang mit einer fluoridhaltigen Zahnpasta gebürstet und dann gespült wurden, haben gezeigt, daß ihre Widerstandsfähigkeit gegen Säureeinwirkungen bereits um 25% zugenommen hatte. Außerdem



unterdrückt Fluorid das Wachstum säurebildender Bakterien auf der Zahnoberfläche — ein weiterer Grund, warum Zahnpasten mit Fluoridzusätzen den Zahnverfall hemmen.

Fluorid wird der Zahnpasta am häufigsten in Form von Natrium(I)fluorophosphat, Natriumfluorid, Zinnfluorid oder auch als Aminfluorid zugesetzt. Die meisten Hersteller fluoridhaltiger Zahnpasten führen regelmäßig Labortests durch, um sicherzugehen, daß die Fluoridformel, die sie in ihrem Produkt verwenden, nicht durch andere Bestandteile der Zahnpasta wirkungslos gemacht wird.

Zur Herstellung der modernen Zahnpasten mit farbigen Streifen werden zwei verschiedene Präparate zubereitet: Ein klares, blaues Gel als Trägersubstanz für das gegen Zahnverfall schützende Natrium(I)fluorophosphat und eine undurchsichtige, weiße Substanz, die die für die Polierwirkung verantwortlichen Calciumcarbonatpartikel enthält. Die beiden Präparate sind so beschaffen, daß sie während des Füllvorganges und auch in der Tube selbst nicht ineinanderlaufen. Sie werden in die leeren Zahnpastatuben gepreßt, und zwar so, daß sich dabei vier dicke weiße Stränge binden, deren Zwischenräume das farbige Gel aufnehmen. Dadurch ist gewährleistet, daß die Zahnpasta, wenn sie aus der Tube gedrückt wird, auch die gewünschten Streifen aufweist.



## ZAHNRADBAHN

**Früher waren Zahnradbahnen in den Gebirgsregionen Europas etwas Alltägliches — inzwischen sind sie jedoch weitgehend von Seilbahnen verdrängt worden. Die wenigen noch verbliebenen Zahnradbahnen dienen vorwiegend als Touristenattraktion.**

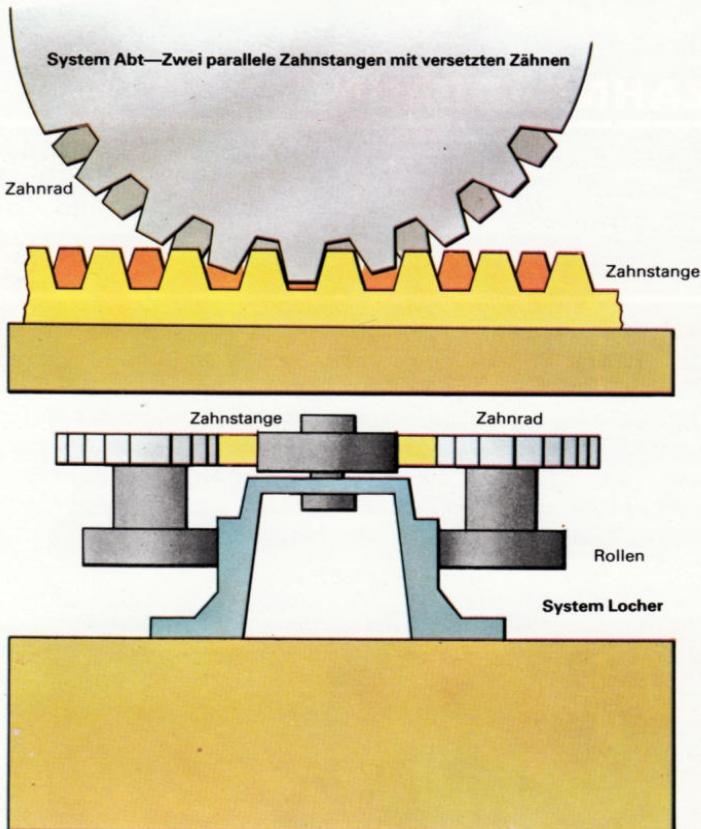
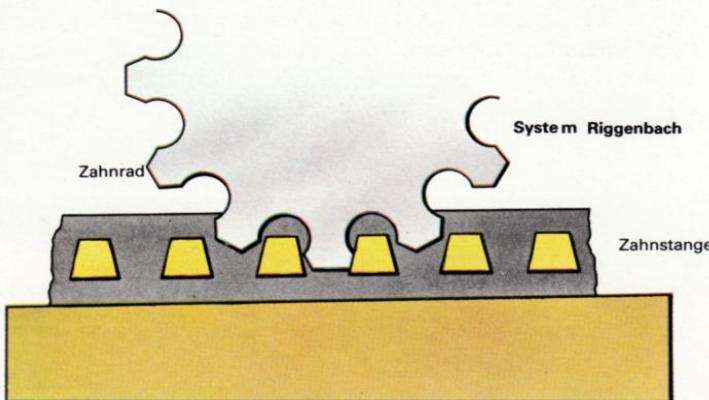
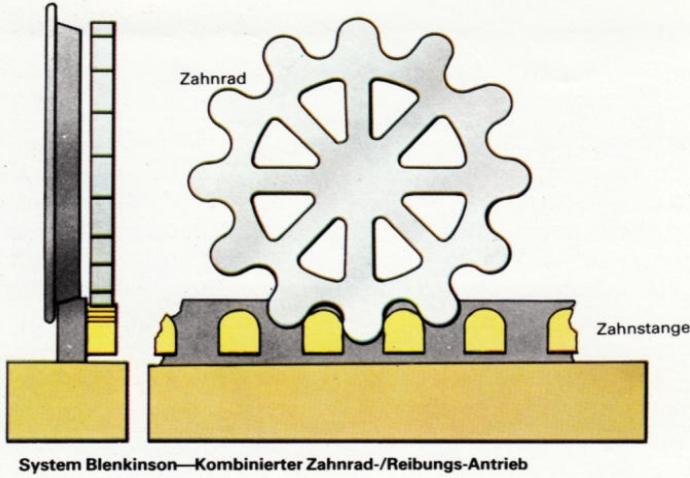
Schienenbahnen sind gewöhnlich nicht zum Betrieb in stark ansteigendem Gelände geeignet; bei Hauptstrecken darf die Steigung nicht größer als 1:35 (2,9%) sein und bei Nebenstrecken oder Schmalspurstrecken, wo das Gewicht der Wagen geringer ist, 1:20 (5%) nicht übersteigen. Bei einer Steigung von 2,9% kann eine normale Schienenbahn pro Kilometer Fahrstrecke einen Höhenunterschied von maximal 30 m überwinden. In hügeligem oder bergigem Gelände kann dies

nicht ausreichen, um eine Strecke so zu führen, daß sie mit den naturgegebenen Steigungen und Gefällen schritthalten kann. In einem solchen Falle läßt sich allerdings Abhilfe schaffen, indem man die Trasse der Schienenenbahn sehr viel steiler anlegt (1:8 bzw. 12,5% und mehr) und einen Zahnradantrieb benutzt, um sicherzustellen, daß die Räder beim Fahren oder, noch wesentlicher, beim Bremsen nicht durchrutschen.

Der Zahnradantrieb geht auf die Pionierzeit der Dampflokomotive zwischen 1812 und 1820 zurück, als auch die ersten Eisenschienen eingeführt wurden. Der britische Erfinder und Ingenieur J. Blenkinsop (1783 bis 1831) war der Meinung, daß sich Lokomotiven mit glatten Rädern auf glatten Schienen nicht fortbewegen könnten. Er baute deshalb im Kohlenrevier in der Nähe der englischen Stadt Leeds eine zusätzliche, mit Zähnen versehene Schiene parallel zu einer der beiden

*Die 'Kandaharbahn'-Bergbahn im Einsatz in den österreichischen Bergen in der Nähe von St. Anton.*





Vier verschiedene Zahnradbahnsysteme (im Uhrzeigersinn): Eine mit Zähnen versehene Schiene verläuft innen direkt neben der normalen; zwei in der Mitte zwischen den Schienen laufende Zahnstangen mit gegeneinander versetzten Zähnen; Zahnstange in Form einer Leiterschiene; beiderseitige Verzahnung.

normalen Schienen, in die ein an der Lokomotive befindliches Zahnrad einging. Die Strecke verlief durch relativ ebenes Gelände, und man stellte bald fest, daß bei Schienbahnen, die nur geringfügige Steigungen zu überwinden hatten, ein Zahnradantrieb entbehrlich war. War das auf den Triebräden der Lokomotive lastende Gewicht groß genug, so reichte die auf Reibung beruhende Haftung der Räder auf der Schiene aus.

Die Zahnradbahn geriet etwas in Vergessenheit, bis im Jahre 1869 der amerikanische Erfinder S. March (1803 bis 1844) die erste Gebirgs-Zahnradbahn auf den Mount Washington in den USA baute. Zwei Jahre später eröffnete N. Rigenbach die erste Zahnradbahn in Europa, die Rigibahn im Schweizer Kanton Luzern. Seitdem sind in den Gebirgsregionen innerhalb und außerhalb Europas zahlreiche Zahnradbahnen gebaut worden. Gelegentlich findet man auch bei Industriebahnen — z.B. Grubenbahnen — den Zahnradantrieb zur Überwindung von Höhenunterschieden.

Das seit nunmehr 100 Jahren gebräuchliche Zahnradbahnsystem besteht aus einer in Gleismitte angeordneten Zahnstange, in die unter der Lokomotive und den Wagen sitzende Zahnräder eingreifen. Nach der Ausführung der Zahnstange unterscheidet man vier verschiedene, in Details voneinander abweichende Systeme: Beim System Rigenbach hat die Zahnstange das Aussehen einer stählernen Leiter, die Systeme Abt und Strub verwenden eine senkrecht stehende Schiene mit obenliegender Verzahnung. Eines dieser vorgenannten Systeme findet sich bei nahezu jeder Zahnradbahn, allerdings darf dann die Steigung aus Sicherheitsgründen nicht mehr als 25% betragen. Bei der wohl steilsten Zahnradbahn, der Pilatusbahn in der Schweiz, mit einer Steilneigung von 1:2 (48%), findet das System Abt Verwendung, bei dem paarweise horizontal angebrachte Zahnräder in die beiderseits der Zahnstange eingeschnittenen Zähne eingreifen und so

die Wagen antreiben bzw. abbremsen.

Die ersten auf steilen Bergstrecken eingesetzten Dampflokomotiven hatten noch senkrechte Kessel. Später jedoch wurden die Kessel so konstruiert und montiert, daß sie in der Ebene einen Winkel zum Fahrgestell bildeten und dadurch bei der Bergfahrt eine horizontale Lage erhielten. Heute gehören auf Bergstrecken verkehrende Dampflokomotiven bis auf wenige Ausnahmen der Vergangenheit an. Zu diesen, im regulären Liniendienst eingesetzten Ausnahmen zählen eine Bahn in der Schweiz; die einzige britische Zahnradbahn, die auf den höchsten Berg in Wales, den Snowdon, führt; und einige andere mehr. Die meisten Strecken wurden jedoch inzwischen elektrifiziert, andere mit Dieseltriebwagen ausgerüstet.



Die Schweizer Rothornbahn (System Abt). In Haltestellung ist die Neigung flacher, so daß der auf stärker geneigter Strecke waagerecht stehende Kessel hier einen leichten Winkel bildet.

## ZEILENDRUCKER

**Das Resultat von Bemühungen, Computer mit Drucker-Ausgabegeräten auszustatten, deren Arbeitsgeschwindigkeit der des Prozessors angeglichen ist, war der Zeilendrucker.**

Wie der Name andeutet, drucken Zeilendrucker Information zeilenweise. Die Druckgeschwindigkeit kann 2 000 Zeilen pro Minute erreichen. Damit werden zum Bedrucken einer gewöhnlichen Seite Computerpapier (60 Zeilen mit 132 Zeichen pro Zeile) zwei Sekunden benötigt. Eine Stenotypistin würde daran etwa eine Viertelstunde arbeiten. Man unterscheidet zwei Haupttypen von Zeilendruckern: Die 'Trommeldrucker' und die 'Glieder-' oder 'Kettendrucker'.

### Puffer

Trotz seiner hohen Arbeitsgeschwindigkeit ist der Zeilendrucker — ein elektromagnetisches Gerät — wesentlich langsamer als die Zentraleinheit des Computers. Um den Prozessor und den Zentralspeicher während des Druckausgabevorgangs für weitere Arbeiten freizumachen, wird die zu druckende Information in einem speziell dem Drucker vorgesetzten Puffer gespeichert (Datenspuffer).

Ein weiterer, direkt mit dem Drucker verbundener SPEICHER kann ein codiertes 'Bild' aller Zeichen aufnehmen, die dem Druckwerk angeboten werden sollen. Vor Gebrauch des Druckers wird dieses Register mit der gewünschten Zeichenkonfiguration geladen, indem ein entsprechendes Computerprogramm ausgeführt wird.

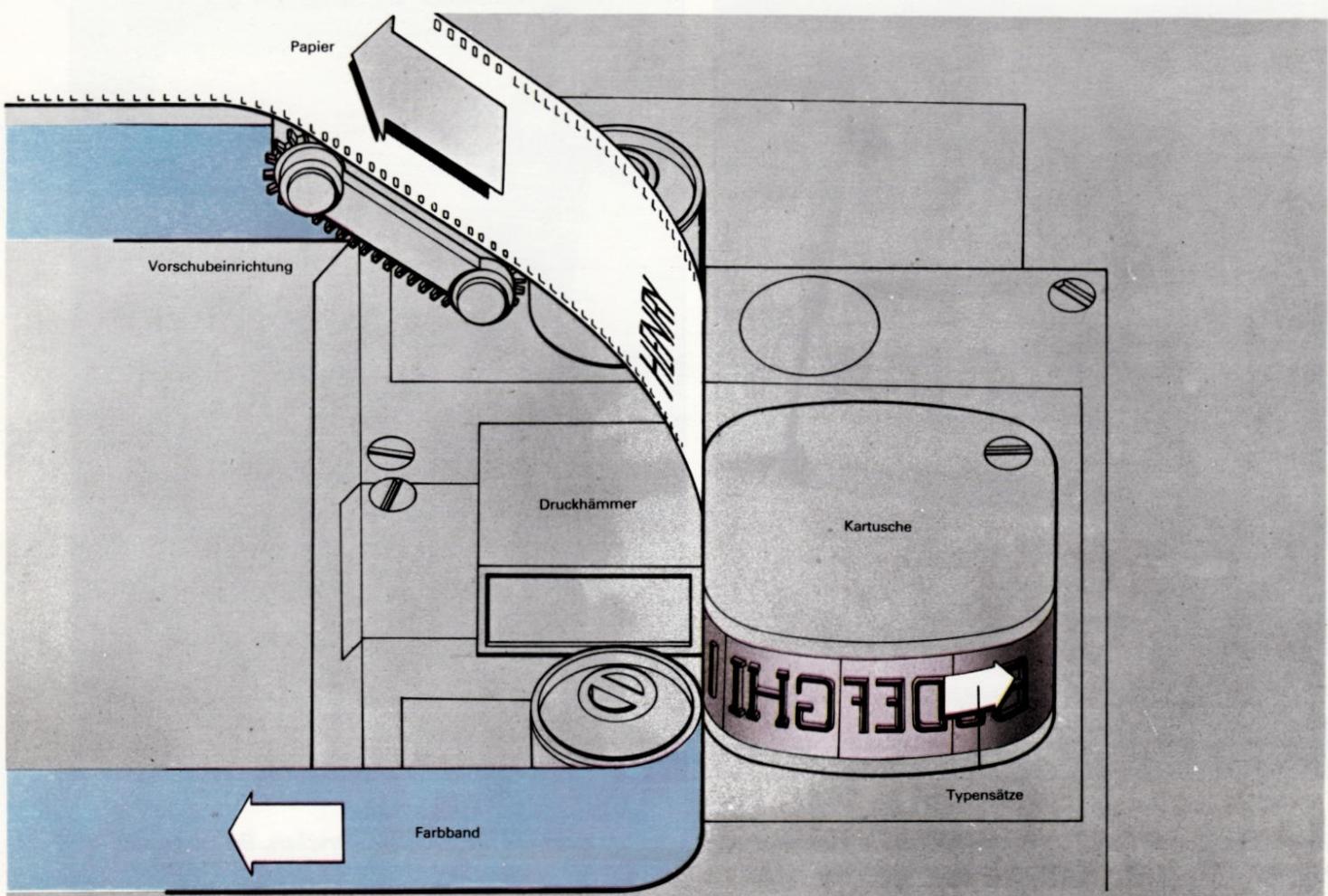
Das Druckwerk erzeugt selbst die 'Zeittakt'-Pulse, in deren Rhythmus Datenspuffer und Zeichenvorrat verglichen werden. Aus dem Zeichenvorrat wird jeweils ein Zeichen nach dem

anderen für eine Druckposition angeboten. Jedesmal wird der Datenpuffer befragt, ob dieses Zeichen an dieser Stelle gedruckt werden soll. Wenn das richtige Zeichen ansteht, stellt die elektronische Schaltung Übereinstimmung fest, löst den Druckhammer aus, und dieses Zeichen wird gedruckt.

### Druckhämmer

Eine Reihe kleiner Hämmer einer für jede Druckposition ist hinter dem Papier, gegenüber dem 'Typensatz' und dem Farbband, angebracht. Es gibt Drucker mit 160 Druckpositionen (pro Zeile), meist werden aber nur 132 benutzt. Alle Typen (Zeichen, also Buchstaben des Alphabets, Ziffern und Symbole) werden schnell an der Druckposition vorbeibewegt. Sobald die zu druckende Type ankommt, wird der Hammer für diese Position elektromagnetisch betätigt. Der Hammer wird so frühzeitig ausgelöst, daß das Papier gegen Farbband und Type bewegt werden kann, ehe bei korrekter Ausrichtung im richtigen Moment der Druck erfolgt. Da die Typen ständig in Bewegung sind, ist die Berührungszeit für den tatsächlichen Druckvorgang sehr kurz — etwa zehn Mikrosekunden. Dadurch werden Verschmierung und Unschärfe des Eindrucks in Grenzen gehalten. Nachdem jeder Hammer Gelegenheit hatte, das jeweils vorgesehene Zeichen zu drucken, ist die Zeile vollständig. Das Papier kann dann für den Druck der nächsten Zeile weiterrücken.

*Schemazeichnung der Arbeitsweise eines Gliederdruckers: Die Typensätze werden mit hoher Geschwindigkeit um die Kartusche herumgedreht; die gewünschten Zeichen werden auf das Papier gedruckt, indem kleine Druckhämmer die Rückseite des Papiers gegen das Farbband und die Type pressen.*



## Trommeldrucker

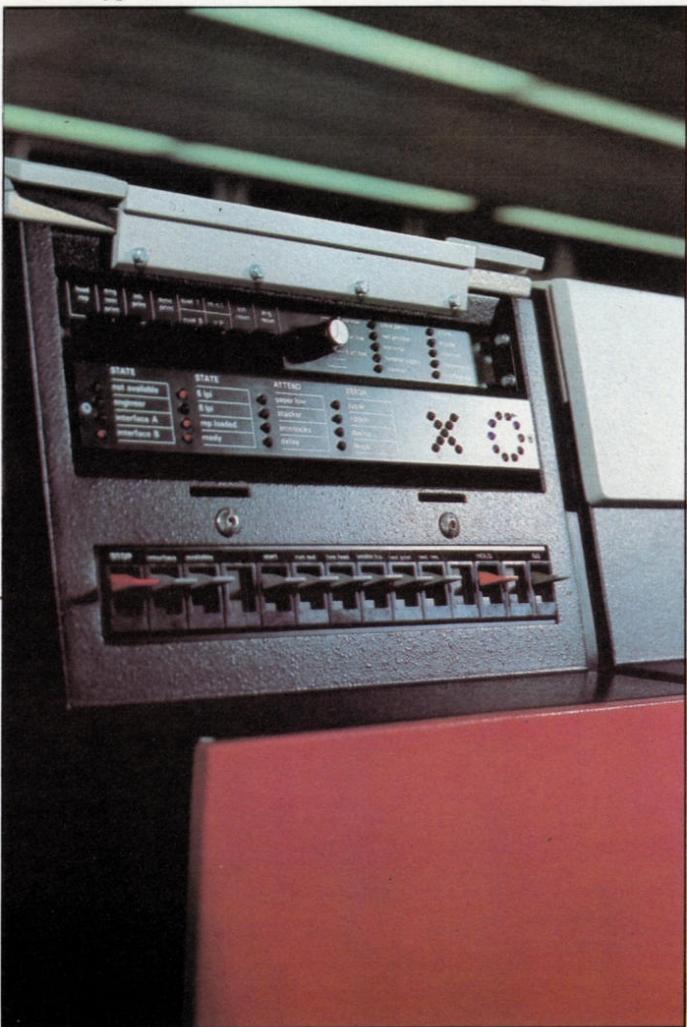
Der Hauptunterschied zwischen Trommeldrucker und Kettendrucker ist die Methode, nach der der Typenvorrat gegenüber der Druckposition bewegt wird. Der Trommeldrucker, der vor dem Kettendrucker entstand, besitzt eine Reihe von kreisförmigen Scheiben, die nebeneinander auf einer horizontalen Achse sitzen, die sich ständig dreht. Zu jeder Druckposition gehört eine Scheibe ('Spur'). Auf ihrem Umfang sitzen 64 Drucktypen, die bei einer vollen Umdrehung der 'Trommel' nacheinander an der Druckposition vorbeilaufen.

Die Abfragepulse werden von der Trommelachse ausgelöst, so daß das Zeichenregister mit der Trommel synchronisiert ist. Ein Nachteil dieser Druckerversion besteht darin, daß man die 'Konfiguration' (die Anordnung der Typen auf der Trommel) nur umständlich verändern kann. Die ganze Trommel muß vom technischen Kundendienst ausgetauscht werden. Außerdem muß bei Beschädigung oder Abnutzung einer einzigen Type eine ganze Spur ausgetauscht werden.

## Gliederdrucker und Kettendrucker

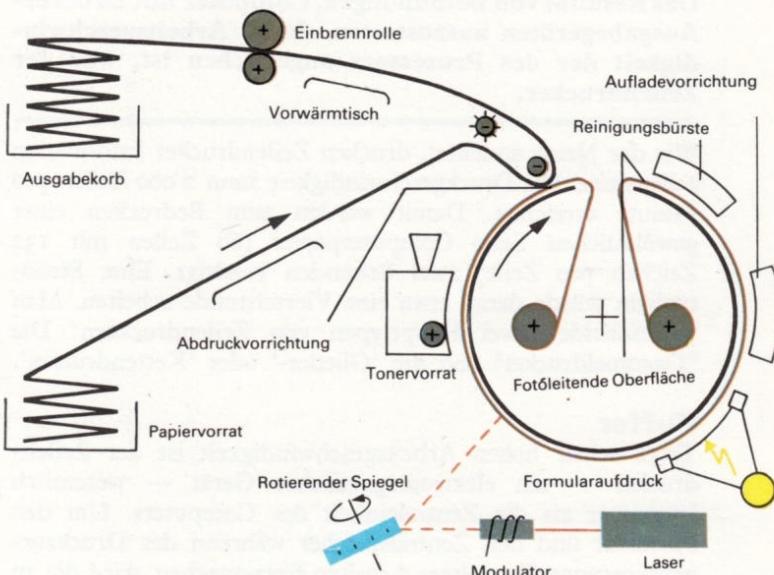
Die neueren Glieder- oder Kettendrucker unterscheiden sich dadurch von den Trommeldruckern, daß die Typen sich gegenüber der Zeile in horizontaler Richtung bewegen. Die Konfiguration besteht normalerweise aus fünf Gruppen von 48 Zeichen. Im allgemeinen sind die Typen bei einem Gliederdrucker in Typensätzen (engl. 'slugs') von jeweils drei Zeichen gegossen. Die Typensätze der Kettendrucker bestehen aus je zwei Zeichen.

Die Typensätze sind in eine 'Kartusche' eingebaut. Diese

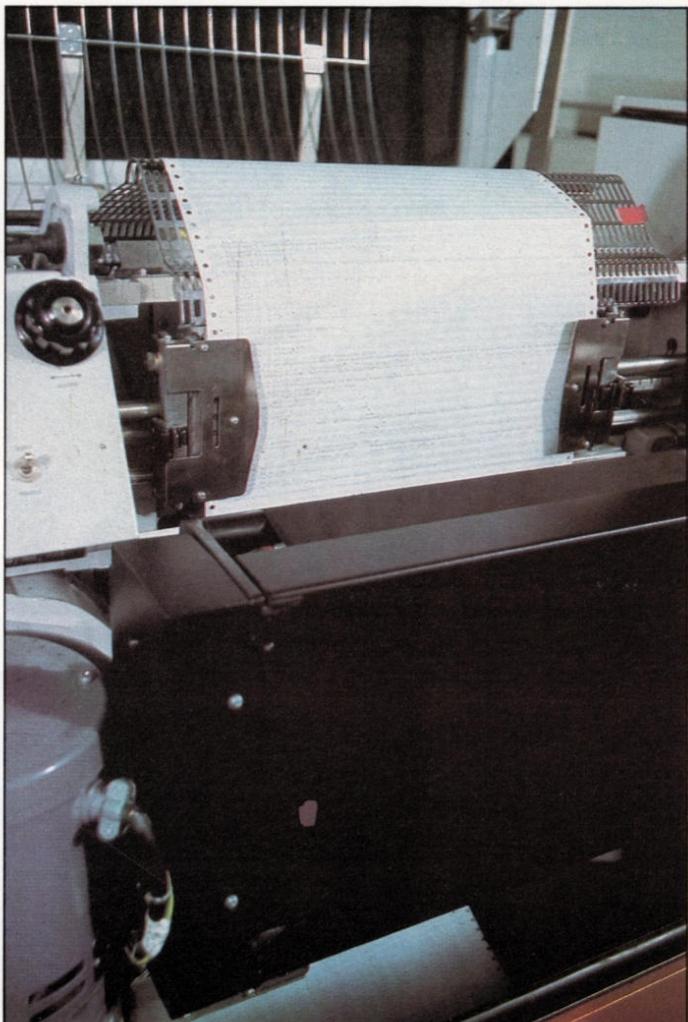


Das Bedienungspult des ICL-Gliederdruckers, das zusammen mit dem Computer der ICL-2900-Serie verwendet wird. Die Maschine kann bis zu 160 Zeichen pro Zeile drucken.

**IBM 3800 DRUCKERSYSTEM**  
(Fotoelektronischer Drucker)



**Oben:** Dieser IBM-Drucker bedient sich eines Lasers zum 'Beschriften' einer fotoleitenden Trommel, die 'Toner'-Tinte aufnimmt und diese auf das Papier überträgt.



Der Papierzuführungsschub des ICL-2900-Druckers. Bei maximaler Geschwindigkeit kann diese Maschine 1 500 Zeilen (240 000 Zeichen) pro Minute drucken.

Kartuschen lassen sich leicht vom Betreiber des Druckers selbst austauschen, ohne daß ein Firmentechniker gerufen werden muß. Die Konfiguration des Druckers kann also bequem durch Austauschen der Kartusche verändert werden. Natürlich muß auch das Zeichenregister neu geladen werden, damit der neue Zeichenvorrat auch richtig verwendet werden kann.

Bei einem Kettendrucker sind die Typensätze mit kleinen Schrauben auf einer Raupenkette befestigt. Der Gliederdrucker dagegen besitzt eine aus gehärteten Stahlgliedern bestehende flexible Schiene, in der die Typensätze gleiten. Zähne an der Rückseite der Typensätze sorgen für schlupffreien Kontakt mit dem Antriebsrad. Der Typensatz in Kontakt mit dem Antriebsrad wird in der Schiene weitergeschoben und drückt seinerseits die anderen Typensätze mit einer Geschwindigkeit von etwa 18 km/h durch die Kartusche.

Der Gliederdrucker besitzt gegenüber dem Kettendrucker den Vorteil einer solideren Führung der Typensätze. Außerdem treten die mit der Kette verbundenen Probleme einer zu geringen oder zu hohen Zugspannung nicht auf. Auch der Ersatz ausgeschlagener oder beschädigter Typen läßt sich durch Herausheben des entsprechenden Typensatzes beim Gliederdrucker leichter vornehmen.

Bei Glieder- und Kettendruckern wird der Zeittakt zur Synchronisierung der Typensätze mit dem Zeichenregister durch die Antriebsräder ausgelöst.

### Papiervorschub

Zur Aufrechterhaltung der hohen Ausgabegeschwindigkeit

muß der schnelle und präzise Vorschub des Papiers von Zeile zu Zeile gewährleistet sein. Vorschubmechanismus und Vorschubsteuerung müssen deshalb robust und zuverlässig sein.

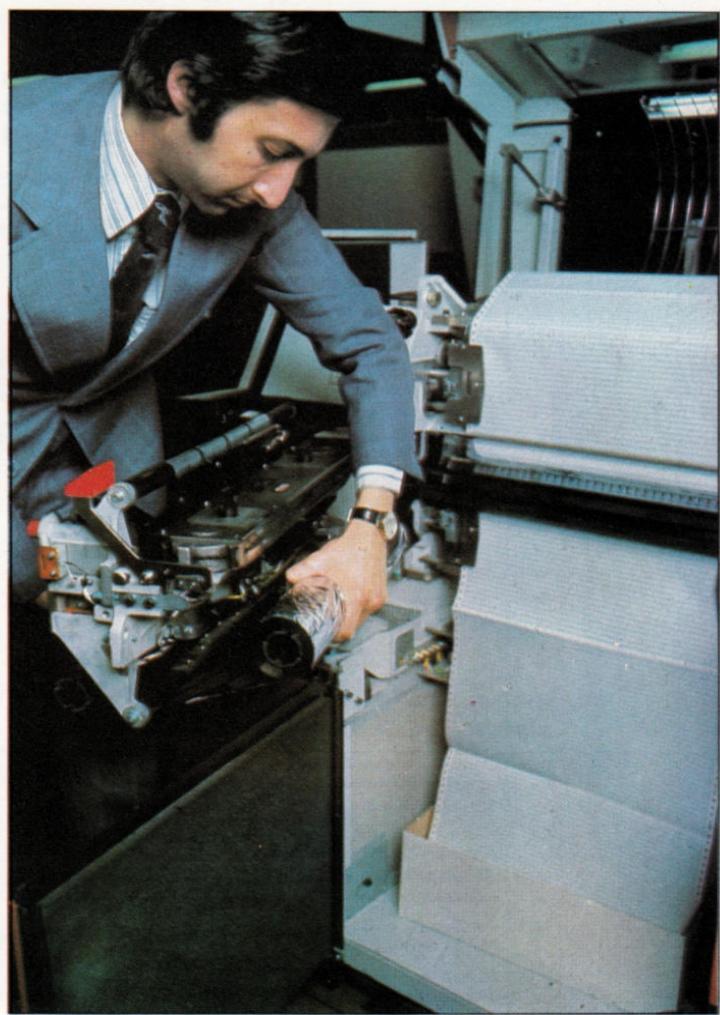
Das Druckerpapier ist an den Rändern perforiert. Die Löcher der Perforation passen auf die kleinen Mitnehmerbolzen der Antriebsriemen aus Gummi oder Kunststoff. Diese Vorschubeinrichtungen werden von Rollen angetrieben, die horizontal im Drucker eingebaut sind. Durch Verschieben der Vorschubeinrichtungen können verschiedene Papierbreiten bedruckt werden. Ein hydraulischer Antrieb sorgt für die Bewegung der Rollen der Vorschubeinrichtung; der Papiervorschub wird durch entsprechende Befehle des Computerprogramms gesteuert. Kleine Bewegungen (bis zwei Zeilen Vorschub) erfolgen durch Betätigen der Ventile des hydraulischen Antriebs.

Für größeren Vorschub wird die Bewegung der Vorschubeinrichtung über einen Lochstreifen aktiviert, auf dem die verschiedenen Arten der Vorschubsteuerung gespeichert sind.

Ein Vorschubsteuerbefehl, der verlangt, auf eine bestimmte Stelle auf dem Lochstreifen zu springen, setzt den Antrieb für Papiervorschub und Lochstreifenleser gleichzeitig in Gang. Ist die Position auf dem Lochstreifen erreicht, hält auch das Papier an. Verschiedene elektronische Pausenschalter sorgen dafür, daß das Papier völlig ruht, ehe die nächste Zeile gedruckt wird. Ohne diese zusätzliche Sicherheit kommt es zu wellenförmigem Zeilenverlauf, weil das Papier sich noch während des Druckvorgangs bewegt.



Im Gegensatz zum Farbband einer Schreibmaschine, das sich horizontal bewegt, läuft das Farbband eines Zeilendruckers vertikal; es ist so breit, daß es die ganze Zeile bedeckt.



Hier ist die Kartusche des ICL-2900-Druckers zu sehen. Es handelt sich um das flache, rechteckige Teil auf dem Bild links von der Armbanduhr des Technikers.

## ZEIT

**Im täglichen Leben sehen wir die Zeit als eine kontinuierlich veränderliche, gleichmäßig voranschreitende Größe an, die von der verwendeten Meßmethode und von der Person, die sie mißt, unabhängig ist. Einstein (1879 bis 1955) hat jedoch gezeigt, daß es kein absolutes Maß für die Zeit gibt.**

Obwohl sich jedermann etwas unter 'Zeit' vorstellen kann, ist der Zeitbegriff sehr schwer in wissenschaftliche und philosophische Worte zu fassen. In der Wissenschaft, insbesondere in der RELATIVITÄTSTHEORIE, kann ein Zeitintervall sehr ähnlich wie eine Strecke im Raum behandelt werden. Man spricht daher auch von der Zeit als 'vierter Dimension', die neben den drei räumlichen Dimensionen Länge, Breite und Höhe existiert. Einige Philosophen wehren sich jedoch gegen die Vorstellung, daß wir uns einfach auf einer 'Bahn' im vierdimensionalen 'Raum' bewegen. Denn eine solche vorgegebene Bewegung würde im Rahmen einer deterministischen Weltanschauung auch die Zukunft festlegen, die durch den freien Willen nicht mehr beeinflußbar wäre.

Man fühlt intuitiv, daß Zeit vergeht. Für eine genaue Messung ist jedoch ein Vergleich des fraglichen Zeitintervalls mit einem regelmäßig wiederkehrenden Prozeß nötig. Auf der Erde ist der wichtigste periodische Vorgang der Tagesablauf, der Wechsel von Tag und Nacht. Die meisten Lebewesen haben eine innere 'biologische Uhr', die die physiologischen Vorgänge bei Tag und Nacht verschieden reguliert — auch wenn man eine künstliche, unveränderliche Umgebung vorgibt.

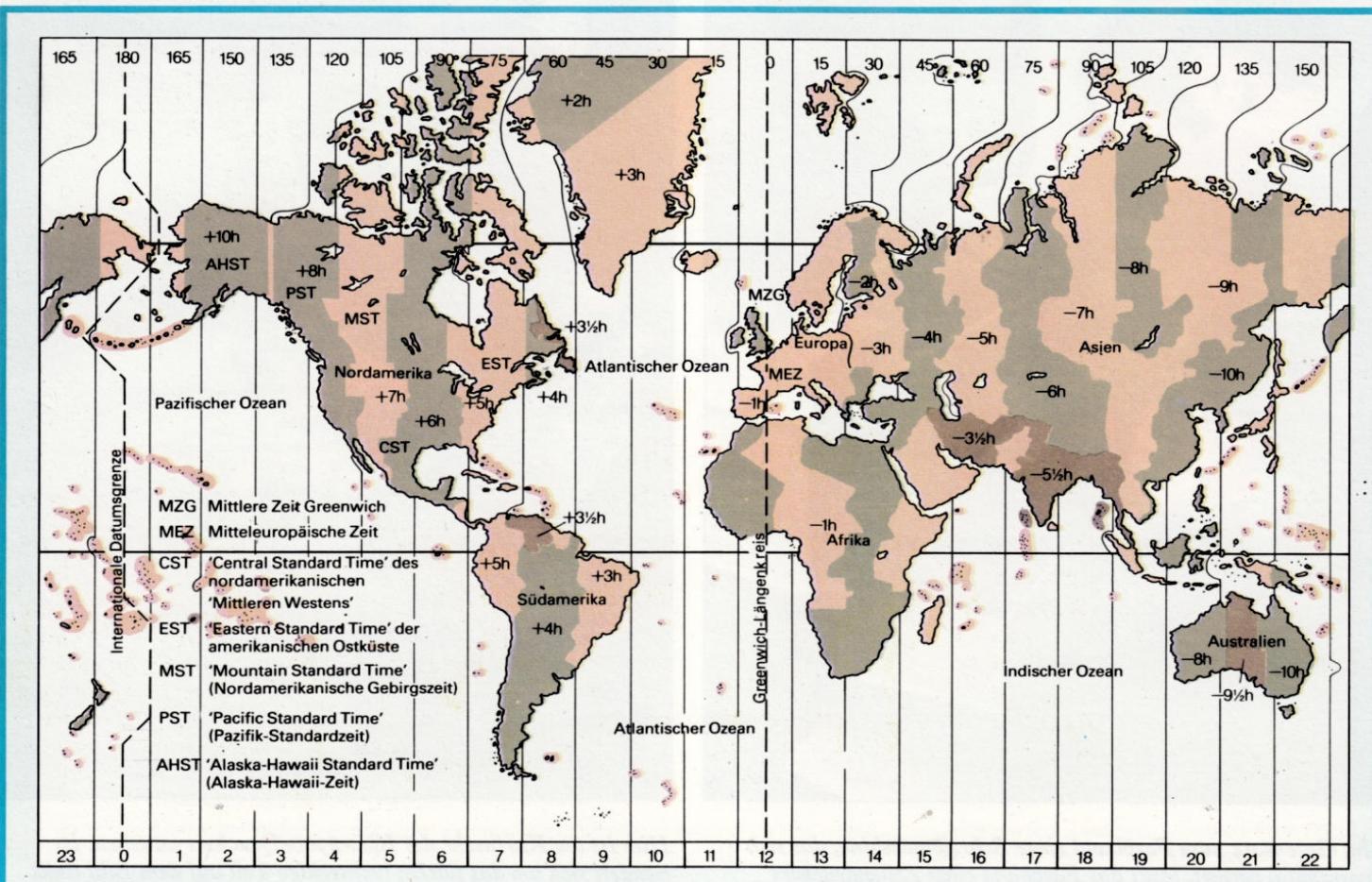
### Kalender

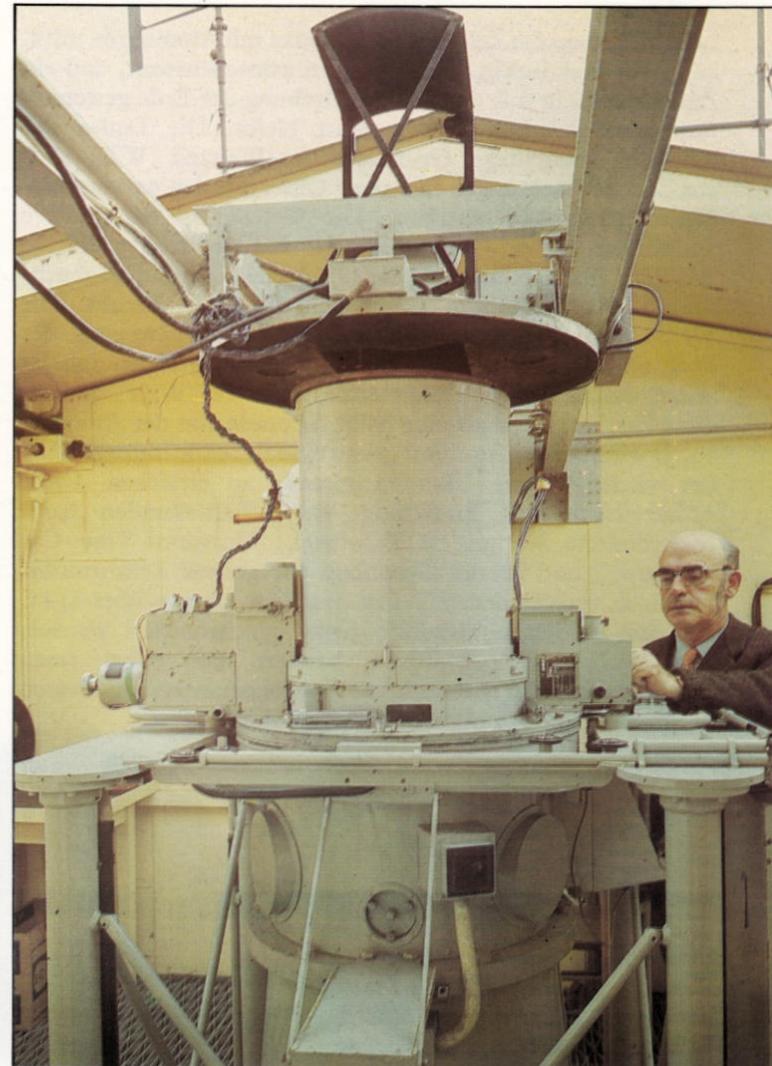
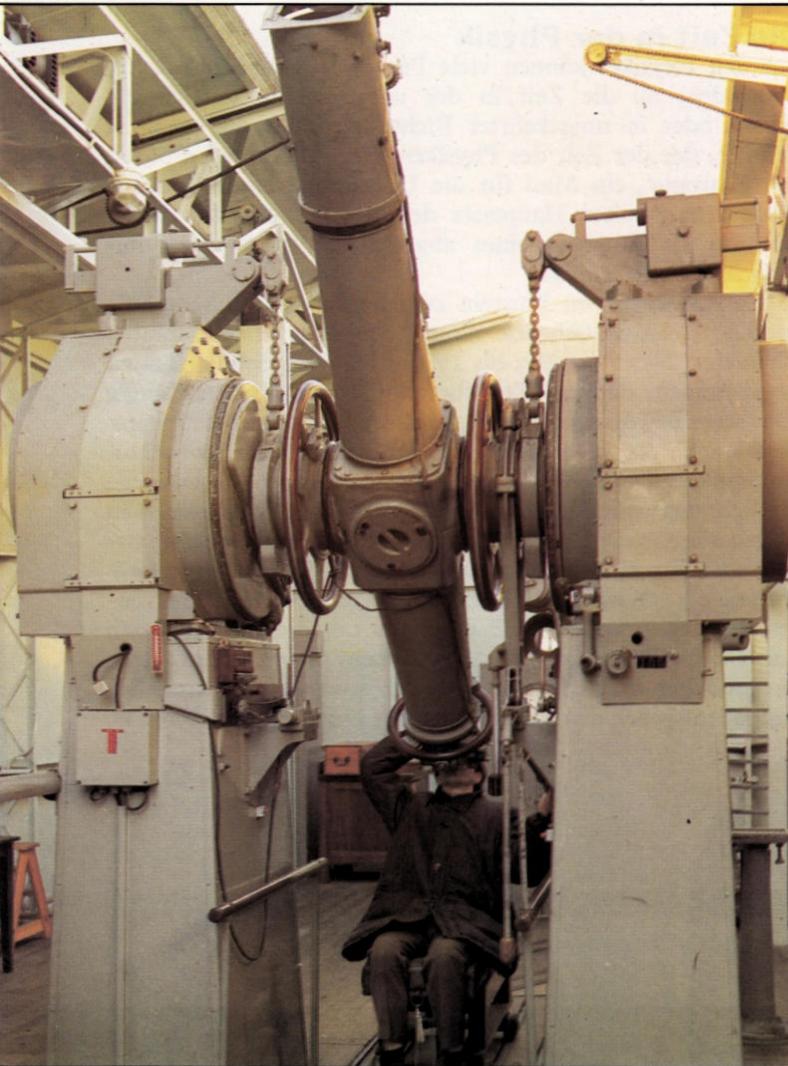
Auch das Jahr ist ein wichtiges Zeitintervall. Da der Mensch daneben noch ein mittleres Zeitmaß brauchte, wurde in der Geschichte unter anderem auch die Zeit zwischen zwei

aufeinanderfolgenden Neumondpositionen (ein 'synodischer Monat') zur Zeiteinteilung benutzt. Damit waren Probleme bei der Aufstellung eines einheitlichen Kalenders unvermeidlich, denn weder ein Mondmonat noch ein Jahr ist ein ganzzahliges Vielfaches eines Tages: Wir nennen die Zeit, die die Erde braucht, um sich gegenüber der Sonne einmal um ihre eigene Achse zu drehen, einen Tag. Aber es gibt keinen Grund dafür, daß die Zeit, die die Erde braucht, um sich einmal um die Sonne zu bewegen, nicht ein ganzes Vielfaches eines Tages ausmachen sollte.

Ein Jahr ist ungefähr 365,25 Tage lang, ein synodischer Monat enthält 29,5 Tage, so daß ein Jahr aus etwa 12,3 synodischen Monaten besteht. Der heute in den meisten Ländern übliche Gregorianische Kalender geht nicht vom synodischen Monat aus; das Jahr wird willkürlich in zwölf Monate von 30 oder 31 Tagen eingeteilt. Der Monat Februar hat normalerweise nur 28 Tage. Alle vier Jahre, während eines 'Schaltjahrs', wird ein zusätzlicher Tag eingefügt, damit im Mittel pro Jahr 365,25 Tage vergehen. In dieser Form geht der Kalender schon auf Julius Cäsar zurück, der im Jahr 46 v. Chr. den 'Julianischen Kalender' begründete. Mit der Einlegung eines Zusatztages alle vier Jahre weicht das mittlere Jahr nur 11 Minuten vom tatsächlichen Jahr ab. Bis 1582 war auf diese Art aber eine Abweichung von 10 Tagen zustandegekommen, die Papst Gregor XIII. zu einer

*Aus praktischen Gründen ist die Welt in 'Zeitzonen' eingeteilt. Die nach der Position der Sonne festgestellte Zeit ändert sich um 4 min für jeden Längenkreis (Meridian). Der Einfachheit halber benutzt man aber in einer Zone überall dieselbe Zeit. Sie muß nicht mit der Sonnenzeit übereinstimmen. In der UdSSR sind z.B. alle Zeitzonen um eine Stunde 'vorwärts' verschoben (nach dem Stand der Sonne ist es eine Stunde später).*





kleinen Korrektur veranlaßte. Nach der Richtigstellung fällt seitdem der 29. Februar in solchen 'Säkularjahren' (durch Hundert ohne Rest teilbare Jahreszahlen) aus, die nicht durch 400 teilbar sind. So war 1900 kein Schaltjahr, aber das Jahr 2000 wird ein Schaltjahr sein. Der Gregorianische Kalender ist bis auf 26 s pro Jahr genau und kann Tausende von Jahren brauchbar bleiben.

Andere Kalender sind teils noch heute in Gebrauch. Der Jüdische Kalender benutzt beispielsweise das 'gebundene Mondjahr' mit Monaten verschiedener Länge und Jahre mit 12 oder 13 Mondumläufen. So erhält man Jahre verschiedener Länge, aber im mehrjährigen Mittel eine Anpassung an den Sonnenkalender.

## Uhren

Die älteste Vorrichtung zur Bestimmung der Tageszeit ist die Sonnenuhr. Die Lage des Schattens eines Stabes gibt die Stunde an. Zur Zeit der Sonnenuhren war die helle Periode eines Tages in eine feste Zahl von 'Stunden' eingeteilt, deren Länge sich mit der Jahreszeit veränderte. Seit der Einführung mechanischer UHRWERKE (Wasseruhren seit 1500 v. Chr.) besteht der Tag in der uns bekannten Weise aus 24 gleich langen Stunden. Die ersten durch Gewichte angetriebenen Uhren stammen aus dem späten 13. Jahrhundert. Sie waren noch nicht sehr genau, weil ihr Gleichlauf von der Lagerreibung einer horizontal schwingenden 'Balkenunruhe' abhing. Es war unmöglich, diese Reibung konstant zu halten. Huygens (1629 bis 1695) erfand im Jahre 1656 eine Uhr mit Schwerependel, ausgehend von der Beobachtung Galileis (1564 bis 1642), daß die Schwingungsdauer eines Pendels sich nicht ändert. In den folgenden Jahrhunderten wurden viele

**Links oben:** Lange haben Astronomen die Zeit mit einem Meridianfernrohr bestimmt; es kann nur entlang der Nord-Süd-Linie schwingen. Der Betrachter sieht die Sterne, die sich in dem jeweils durch die Erddrehung entstehenden Blickfeld ziegen. Er kann feststellen, wann ein Stern, dessen Position genau bekannt ist, das Blickfeld durchquert. So lassen sich Veränderungen in der Erdumdrehung messen. Modernere Methoden werden ein fotografisches Zenitrohr (oben), eine nach oben gerichtete Kamera, an. Wiederum bildet die Drehung der Erde in Relation zur Stellung der Sterne die Basis der Zeitmessung.

Änderungen und Verbesserungen eingeführt; die besten Pendeluhrn besitzen heute eine Ganggenauigkeit von einer tausendstel Sekunde pro Tag.

Die genauesten Uhren unserer Zeit beruhen jedoch nicht mehr auf Räderuhrenwerken, sondern nutzen Schwingungen von Kristallen oder Resonanzübergänge der Elektronen von Atomen aus. QUARZUHREN, die im Jahre 1929 vorgestellt wurden, waren auf Anhieb zehnmal genauer als die besten Pendeluhrn. Seitdem sind sie weiter verbessert worden. Inzwischen gibt es Cäsium-ATOMUHREN, auch schon in tragbarer Form, die genauer als auf eine millionstel Sekunde pro Tag gehen. Die Grundeinheit der Zeitmessung, die Sekunde, abgekürzt 's', wird heute durch den Mittelwert mehrerer Cäsiumuhren an verschiedenen Orten der Erde festgelegt; nicht mehr durch die Dauer eines Tages. (Man weiß heute, daß der Tag um eine tausendstel Sekunde pro Jahrhundert länger wird. Diese Erkenntnis beruht auf einer Auswertung der ältesten Berichte über die Orte, an denen eine Sonnenfinsternis auftrat.)

Obwohl man die Zeit heute sehr genau mit Atomuhren mißt, ist es aus praktischen Überlegungen wünschenswert, daß ein Zusammenhang mit der aus der Drehung der Erde gewonnenen astronomischen Zeit gewahrt bleibt. Die Dauer des mittleren Sonnentags, Grundlage der Weltzeit (WZ), wird aus den Beobachtungen mehrerer Observatorien an verschiedenen Standorten bestimmt. Die Weltzeit ist die mittlere Sonnenzeit am 0. Längengrad. Sie hat die früher übliche 'Mittlere Zeit Greenwich' (MZG) abgelöst, die auf Beobachtungen der Sternwarte Greenwich (London) beruht. Die Weltzeit wird korrigiert, um Effekte der Polbewegung der Erde und der Verlagerung von Luftmassen mit den Jahreszeiten auszugleichen. Damit erhält man die 'WZ2'. Weicht diese Zeit um mehr als eine halbe Sekunde von der Atomzeit ab, so wird bei der Atomzeit genau eine Sekunde hinzugezählt, um wieder bessere Übereinstimmung zu erreichen. Diese Atomzeitskala mit Einfügung von Schaltsekunden heißt 'Koordinierte Weltzeit' (UTC=engl.: 'Universal Time Coordinated') und ist die Grundlage für genaue Zeitmessung. Uhren in verschiedenen Teilen der Welt können über UTC auf eine millionstel Sekunde genau synchronisiert werden. Zur Nachrichtenübermittlung benutzt man dabei einen Satelliten oder das 'Loran C'-Radionavigationssystem, dessen Frequenz durch Atomuhren bestimmt wird.

## Die Zeit in der Physik

Für den Physiker können viele Prozesse unabhängig davon stattfinden, ob die Zeit in der uns gewohnten Richtung abläuft oder in umgekehrter Richtung. Einer der wenigen Begriffe, der der Zeit des Physikers eine 'Richtung' gibt, ist die 'Entropie', ein Maß für die Unordnung eines Systems. Nach dem Zweiten Hauptsatz der THERMODYNAMIK nimmt nämlich die Entropie eines abgeschlossenen Systems mit fortschreitender Zeit zu.

Die vor allem von Einstein zwischen 1905 und 1915 entwickelte Relativitätstheorie nimmt der Zeit ihren absoluten Charakter. Newton (1643 bis 1727) und seine Schüler hatten angenommen, daß die Zeit für alle Beobachter unabhängig von ihrem Bewegungszustand gleich sei. Nach der Relativitätstheorie scheint eine bewegte Uhr für einen Beobachter langsamer zu gehen als eine ruhende Uhr (relativistische Zeitdehnung). Ein ähnlicher Effekt wird von der Allgemeinen Relativitätstheorie für Zeitmessungen in einem Gravitationsfeld oder für zwei umeinander kreisende Uhren angegeben. Im Jahre 1971 wurden Cäsiumuhren von Überschallflugzeugen in entgegengesetzten Richtungen um die Erde geflogen und anschließend mit Uhren verglichen, die an einem festen Ort geblieben waren. Der Unterschied (etwa eine millionstel Sekunde) entsprach den Vorhersagen der Einsteinschen Theorie.

*Eine der Atomuhren, die in Experimenten verwendet wurden, die Einsteins Theorien bezüglich der Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Schwerkrafteffekte auf die Zeit testeten. Dieses Modell befand sich auf einem zweistündigen Raketenflug, während seine Zeitmessung mit ähnlichen Uhren auf der Erde verglichen wurde.*



## ZELLOPHAN

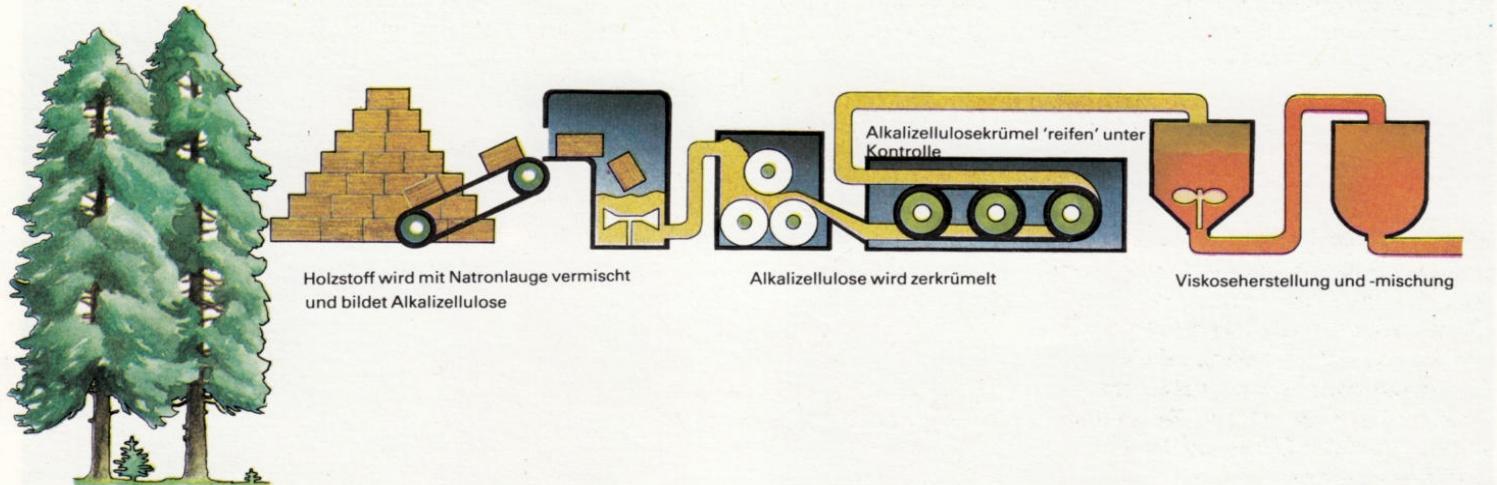
Seitdem Zellophan zur Jahrhundertwende erstmals aus Zellulose hergestellt wurde, hat sich sein Produktionsumfang ständig erweitert. Er beträgt jetzt, bezogen auf 32 Länder, mehr als 550 000 t pro Jahr.

Zellophan ist die Handelsbezeichnung, unter der Regeneratzellulose verkauft wird. Die Zellulose kommt in Form von Holzzellstoffplatten, die meist von Fichten oder Eukalyptusbäumen stammen, in den Fabriken an. Die Herstellung von Folien beginnt damit, daß diese Holzzellstoffplatten zur Bildung von Alkalizellulose mit Natronlauge behandelt werden. Die Alkalizellulose wird zerfasert und mit Kohlenstoffdisulfid zur Reaktion gebracht, wodurch Natronzellulose-Xanthogenat entsteht. Diese krümelige, orangefarbene Xanthogenatmasse wird dann in verdünnter Natronlauge aufgelöst, wobei die orangefarbene sirupartige Flüssigkeit entsteht, die in dieser Branche als Viskose bekannt ist.

Nach dem Reifen (Alterungsprozeß), das den gewünschten chemischen Zustand herbeiführen soll, wird die Viskose in die Feinfoliengießmaschine gepumpt. Dort wird sie durch

Gase, Gerüche und Fette, und sie ist gegen eine ganze Reihe von Chemikalien resistent. Diese Folie kann jedoch nur sehr begrenzt zum Verpacken verwendet werden, denn sie ist weder feuchtigkeitsundurchlässig noch heißsiegelfähig. Sie wird deshalb hauptsächlich als Grundmaterial für Selbstklebestreifen (Klebebänder) und als stabile Trennmembran bei der Herstellung von Folien und Formteilen aus verstärktem Kunststoff verwendet. Bei diesem Anwendungsgebiet werden zur Herstellung von Folie aus glasfaserverstärktem KUNSTSTOFF (GRP = Glass Reinforced Plastic) Glasfaserstoff und Harz schichtweise zwischen zwei Zellophanfolien angeordnet. Das Harz haftet nicht an dem Zellophan. Dieses verhindert somit, daß der glasfaserverstärkte Kunststoff an der Form klebt. Wenn der Kunststoff ausgehärtet ist, kann die Zellophan-schicht entfernt werden.

Durch die Entwicklung von beschichteter Folie im Jahre 1927 waren die Einschränkungen bezüglich der Verwendungsmöglichkeiten nicht mehr nötig, und der Anwendungsbereich von Zellophan hat sich enorm erweitert, insbesondere für Schutzverpackungen von Zigaretten, Keksen, Konfekt, Backwaren und anderen Lebensmitteln. Die entweder auf Nitrozellulose oder Vinylidenchlorid basierende Beschichtung wird



eine Metallbreitschlitzdüse in ein Schwefelsäurebad gespritzt, wo sie zu einer endlosen Bahn aus Regeneratzellulose erstarrt. Laufrollen transportieren diese endlose Bahn durch eine Reihe von Reagenzienbädern, in denen sie erst gereinigt und dann gebleicht wird, wobei das anfängliche milchige Aussehen verschwindet und eine klare, durchsichtige Folie entsteht. Zum Schluß wird die endlose Bahn in ein Bad geleitet, wo der Folie chemische Weichmacher (meistens Glycerin oder andere mehrwertige Alkohole) zugesetzt werden. Durch eine sorgfältige Auswahl der Art und der Menge der Weichmacher wird die endgültige Biegsamkeit der Folie eingestellt. Die Folie gelangt dann in eine Trockenkammer, wo erwärmte Metallwalzen und zirkulierende Heißluft den Feuchtigkeitsgehalt der Folie auf ein optimales Niveau reduzieren. Zum Schluß wird die Folie zu Rollen aufgewickelt.

Die auf diese Weise hergestellte flache, nichtfaserige Folie ist biegsam und stark. Sie ist zwar normalerweise farblos und durchsichtig, aber sie kann durch FÄRBEN oder Pigmentierung ein farbiges Aussehen erhalten. Sie ist undurchlässig für

*Zellophanfilm wird aus regenerierter Zellulose hergestellt, indem natürliche Zellulose in eine chemische Lösung verwandelt wird, aus der Zellulose in brauchbarerer Form wird.*

*Holzzellstoff wird mit Natronlauge vermischt, um Alkalizellulose zu bilden, die dann mit Kohlenstoffdisulfid zur Reaktion gebracht wird und Zellulose-Xanthogenat bildet. Dieses wird in Natronlauge aufgelöst; die dadurch entstandene Viskose löst nach Reifung die Neubildung von Zellulose aus. Die gereifte Viskose wird mit Schwefelsäure behandelt, wodurch sich die Zellulose verdickt und zu einem Film wird.*

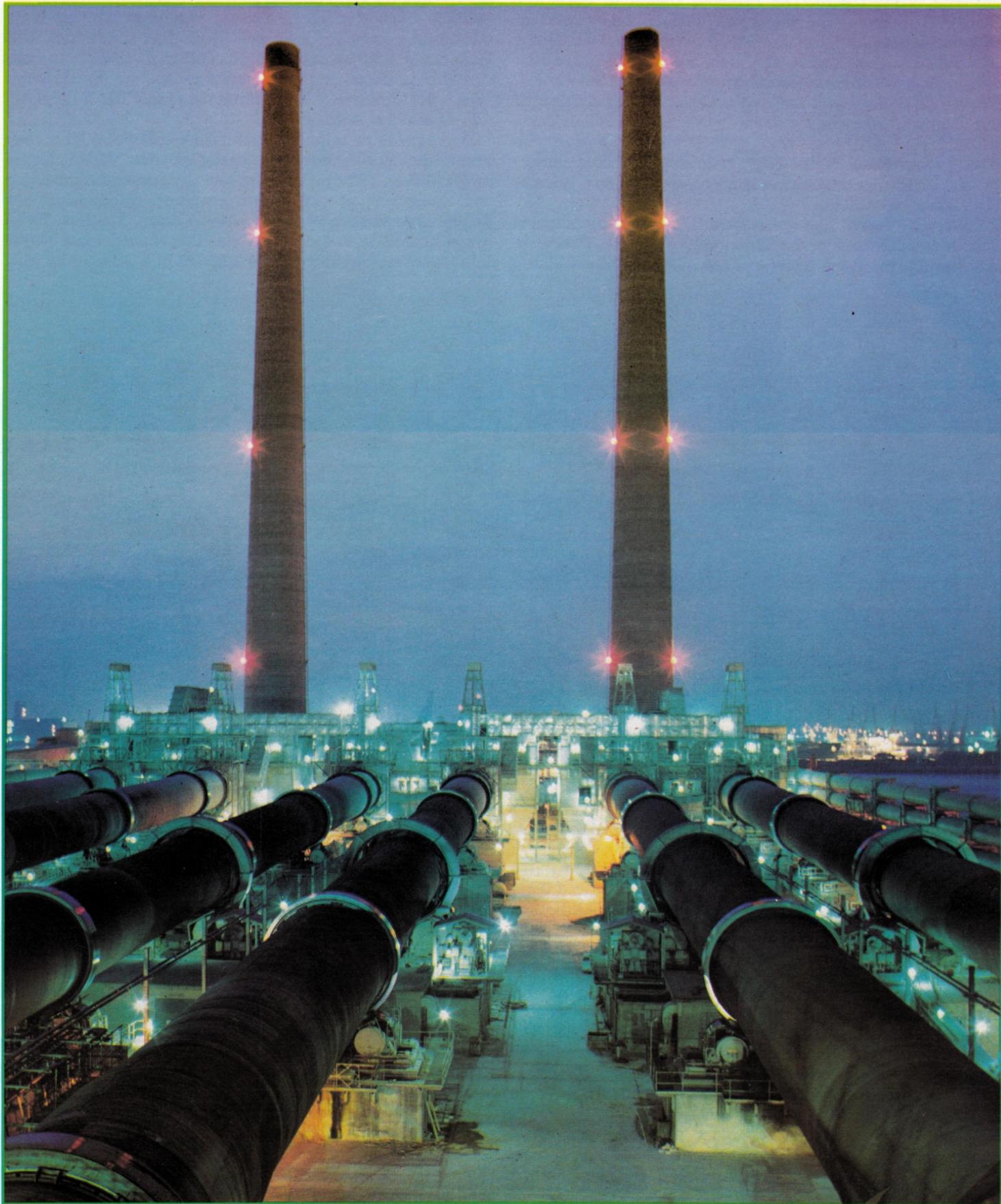
auf beide Oberflächen aufgetragen, indem man die Folie durch eine Lösung oder Dispersion der vermischten Beschichtungsbestandteile leitet. Nach dem Entfernen der überschüssigen Flüssigkeit wird die Folie erst durch eine Trockenkammer und dann durch eine Befeuchtungskammer geleitet.

## ZEMENT

**Zement wird in großem Umfang in der Bauindustrie verwendet. Er dient nicht nur als Bestandteil des Mörtels, den man zur Verkittung von Ziegelsteinen und anderen Bausteinen verwendet, sondern auch als Bestandteil von Beton, dem am häufigsten verwendeten Baumaterial.**

Die ersten Baumeister waren ständig bemüht, Verbindungen ausfindig zu machen, die einzelne Ziegel oder Steine zusammenhalten und die Belastung verteilen können. Diese

*Die sechs Drehrohröfen (horizontale Rohre) eines großen Zementwerks in Großbritannien. Diese Öfen produzieren insgesamt 4 Millionen Tonnen Klinker jährlich.*



Verbindungen nennt man Mörtel. Sie bestehen gewöhnlich aus einer inerten Substanz, wie z.B. Sand, einem Bindemittel und Wasser. Das Bindemittel nennt man Zement. Die meisten Zementarten, die gegenwärtig in der Bauindustrie verwendet werden, sind Wasserzemente, d.h. sie reagieren chemisch mit Wasser, so daß sie abbinden und hart werden.

Die Ägypter verwendeten zum Bau der PYRAMIDEN einen Mörtel, der Gips (ein Calciumsulfat,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) enthielt. Löschkalk (Calciumhydroxid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) wurde von den Griechen und Römern als Mörtel für einen großen Teil ihrer Bauwerke verwendet. Dieser Löschkalk wird durch Erhitzen von Kalkstein hergestellt, der im wesentlichen aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) besteht, wobei Kalk (Calciumoxid,  $\text{CaO}$ ) entsteht. Der Kalk wird dann gelöscht, d.h. mit Wasser zur Reaktion gebracht. Leider neigt der mit gelöschtem Kalk hergestellte Mörtel dazu, Sprünge zu bekommen und zu zerbröckeln, wenn er den Witterungsbedingungen ausgesetzt wird. So fanden sowohl die Griechen als auch die Römer einen viel besseren Zement, einen richtigen Wasserzement, den man Pozzuolanerde nannte.

Dieser Zement wurde aus feingemahlenem Kalk, Sand und ein wenig vulkanischem Material hergestellt, wobei letzteres insbesondere in der Nähe der italienischen Stadt Pozzuoli

zu finden war.

Nach Zugabe von Wasser wurde er hart. Diese Art Zement wurde sowohl beim Bau des Pantheons als auch beim Bau des Kolosseums verwendet. Bis in das späte 18. Jahrhundert wurde dieser Zement eingesetzt, obwohl sich die Qualität in der Zeit nach den Römern verschlechterte. John Smeaton, der den Auftrag erhielt, den Eddystone-LEUCHTTURM vor der Küste von Cornwall in England wieder aufzubauen, führte Versuche mit Wasserkalk durch. Diesen stellte er durch Erhitzen von Kalkstein und Ton her, wobei Wasser und Kohlenstoffdioxid eliminiert wurden. Er stellte fest, daß das Produkt für die Verwendung unter Wasser noch besser war als Pozzuolanerdezement.

Im Jahre 1824 erwirkte Joseph Aspdin in England ein Patent über ein Verfahren zur Herstellung von Portlandzement. Diese Bezeichnung, die keine Markenbezeichnung ist, wurde wegen einer geringen farblichen Ähnlichkeit des hart gewordenen Zements mit Portlandstein verwendet. Bei diesem Verfahren wurde eine höhere Brenntemperatur verwendet als früher, und es entstand ein Zement mit einer viel größeren Festigkeit.

### Zementerzeugung

Zement ist relativ billig und wird im allgemeinen in der Nähe der Steinbrüche hergestellt, wo die zur Zementherstellung erforderlichen Rohmaterialien abgebaut werden. Es ist praktischer, das Fertigprodukt zu transportieren als das grobstückige Rohmaterial. Die Rohmaterialien sind Kalk oder Kalkstein, die das Calciumcarbonat liefern, und Ton oder

*Luftbild eines Zementwerks. Kalk und Ton werden von der langen Fördereinrichtung zum Werk transportiert. Vorne rechts, gleich neben dem langen Drehrohrofen, befinden sich die Zementbreikessel, dahinter die in Gruppen angeordneten Silos.*

PHOTRI

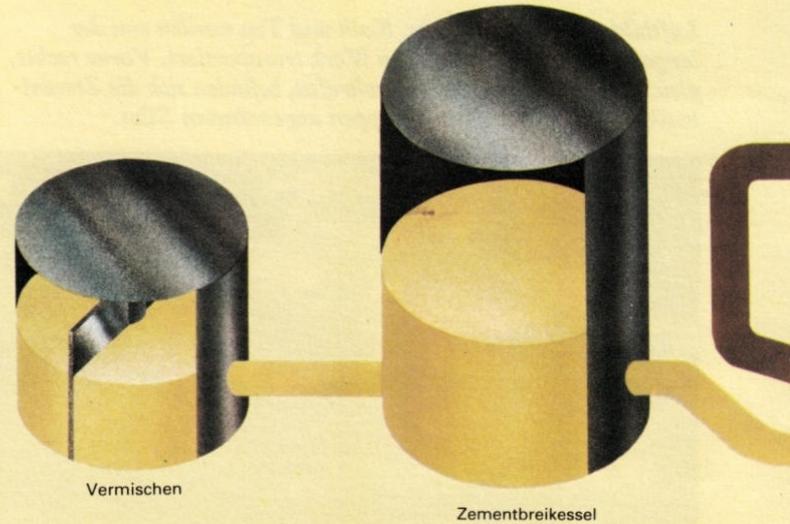
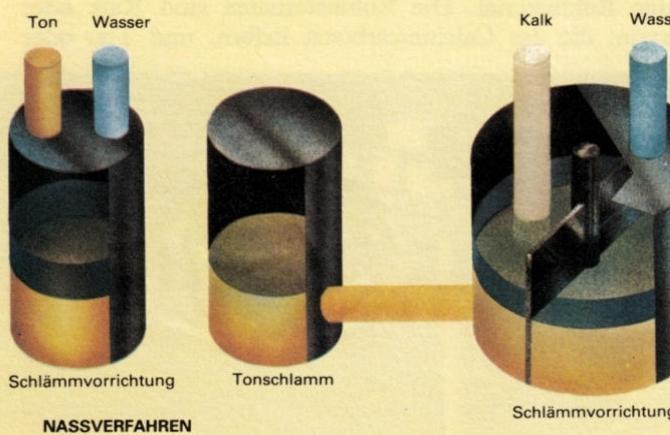


Schiefer, die Quelle der Aluminiumsilicate. Andere Materialien, wie z.B. Hochofenschlacke und sogar Eisenerz, werden verwendet, wenn sie in der Nähe ohne weiteres verfügbar sind. Die Zusammensetzung dessen, was in den Brennofen hineingegeben wird, wird sorgfältig überwacht, da sich die Eigenschaften des Fertigproduktes entsprechend der verschiedenen Bestandteile erheblich verändern können. Die zermahlenen Rohmaterialien werden miteinander vermischt und gelangen in den oberen Teil eines Drehrohrofens. Wenn die Rohmaterialien einen hohen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen, wird ein 'Naß'-Verfahren angewendet. Die Rohmaterialien werden in einen Rohschlamm umgewandelt, der in den Brennofen gegeben wird. Dieser Brennofen hat eine etwas geneigte Position und dreht sich langsam. Die durch Kohlenbrennstaub, Öl oder Gas erzeugte Wärme wird am unteren Ende des Ofens zugeführt. Der Ofen kann bis zu 120 m lang sein. Bei der Betriebstemperatur von etwa 1500°C wird das Gemisch teilweise gesintert; es bilden sich Klumpen aus Zementklinker.

Der Klinker wird dann gekühlt und kann bequem, sogar im Freien, als Vorrat gelagert werden. Fertigen Zement kann man jedoch nur über relativ kurze Zeiträume und nur unter sorgfältig gesteuerten atmosphärischen Bedingungen aufbe-

wahren. Zur Herstellung von Zementpulver wird zu dem Klinker eine geringe Menge Gips, etwa 2%, hinzugegeben. Das Gemisch wird zu einem sehr feinen Pulver gemahlen, das als Portlandzement bekannt ist. In jedem Stadium der Zementherstellung wird die Zusammensetzung sorgfältig kontrolliert, um zu gewährleisten, daß das Fertigprodukt die gewünschten Eigenschaften aufweist.

Da Zement ein feines, trockenes Pulver ist, fließt es unter Druckeinwirkung wie eine Flüssigkeit. Diese Eigenschaft wird genutzt, um Zement unverpackt zu liefern. Es wird von dem Hersteller in Druckkesselfahrzeuge und dann in die Zementsilos der Kunden hineinpumpt. Es ist erheblich billiger, Zement unverpackt zu liefern, als ihn in Säcke zu füllen. Deshalb werden in Großbritannien etwa 75% des Zements auf diese Weise transportiert; in den Vereinigten Staaten ist der Anteil sogar noch höher. Da Zement ein solch feines Pulver ist, ist es wichtig, daß der Staubpegel kontrolliert wird. Das Einatmen von Zementstaub scheint jedoch nicht schädlich zu sein. Der Staub wird durch sorgfältige Handhabung und durch die Verwendung von Elektrofiltern und anderen Filtereinrichtungen unter Kontrolle gehalten. Die Elektrofilter ermöglichen das Absetzen der feinen Staubteilchen, indem sie elektrisch aufgeladen werden



**Zementherstellung:** Das Naßverfahren wird angewendet, wenn Kalk und Ton als Rohmaterialien dienen. Vor dem Vermischen zur Bildung eines Breies wird dem Kalk Wasser zugegeben. Das Gemisch aus Kalk und Ton wird dann in einen Drehrohrofen gepumpt, der das Wasser herauskocht. Bei Temperaturen über 1500°C verwandelt sich das Gemisch in Klinker. Das Trockenverfahren wird bei härteren Rohmaterialien, wie beispielsweise Kalkstein und Schiefer, angewendet. Diese werden zu einem Rohstaub vermahlen, vorgewärmt und dann durch den Drehrohrofen geleitet. Der Klinker wird zermahlen und es entsteht Zement.

#### TROCKENVERFAHREN



und an dem Kollektor eine entgegengesetzte Ladung aufgebracht wird.

### Chemische Eigenschaften

Zement ist eine komplexe Verbindung von vier Hauptbestandteilen, die durch Teilsinterung in trockener Form gemischt werden. Bei Zugabe von Wasser reagiert das Gemisch mit diesem, und es entsteht eine fest zusammenhängende Masse, die eine große Festigkeit und Härte aufweist.

Diesen Zustand der Trockenheit der Bestandteile nennt man in der Chemie kristallwasserfrei, was bedeutet, daß die Bestandteile keinerlei gebundenes Wasser oder Kristallwasser enthalten. Die vier Hauptbestandteile sind Tricalciumsilicat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), Tricalciumaluminat ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Dicalciumsilicat ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) und Tetracalciumaluminoferrit ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Der Zusatz von Wasser zu diesen kristallwasserfreien Verbindungen kann zu zwei chemischen Reaktionen führen. Die eine ist die Hydratisierung, der Einbau von Wasser-Molekülen in das KRISTALLGITTER, wobei oft der Gitterbau

verändert wird. Die andere ist die Hydrolyse, die Bildung einer Säure und einer Base durch die chemische Reaktion von Wasser mit einem Salz. Häufig wird bei diesen Reaktionen viel Wärme frei. Das Ergebnis ist die Bildung einer komplexen, fest zusammenhängenden Grundmasse aus langen, nadelförmigen Kristallen, die dem Material diese große Festigkeit verleihen. Die chemische Zusammensetzung dieser Matrix kennt man nicht ganz genau, aber die Festigkeit ist vermutlich auf die Silicium-Sauerstoff-Bindungen ( $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ ) zurückzuführen.

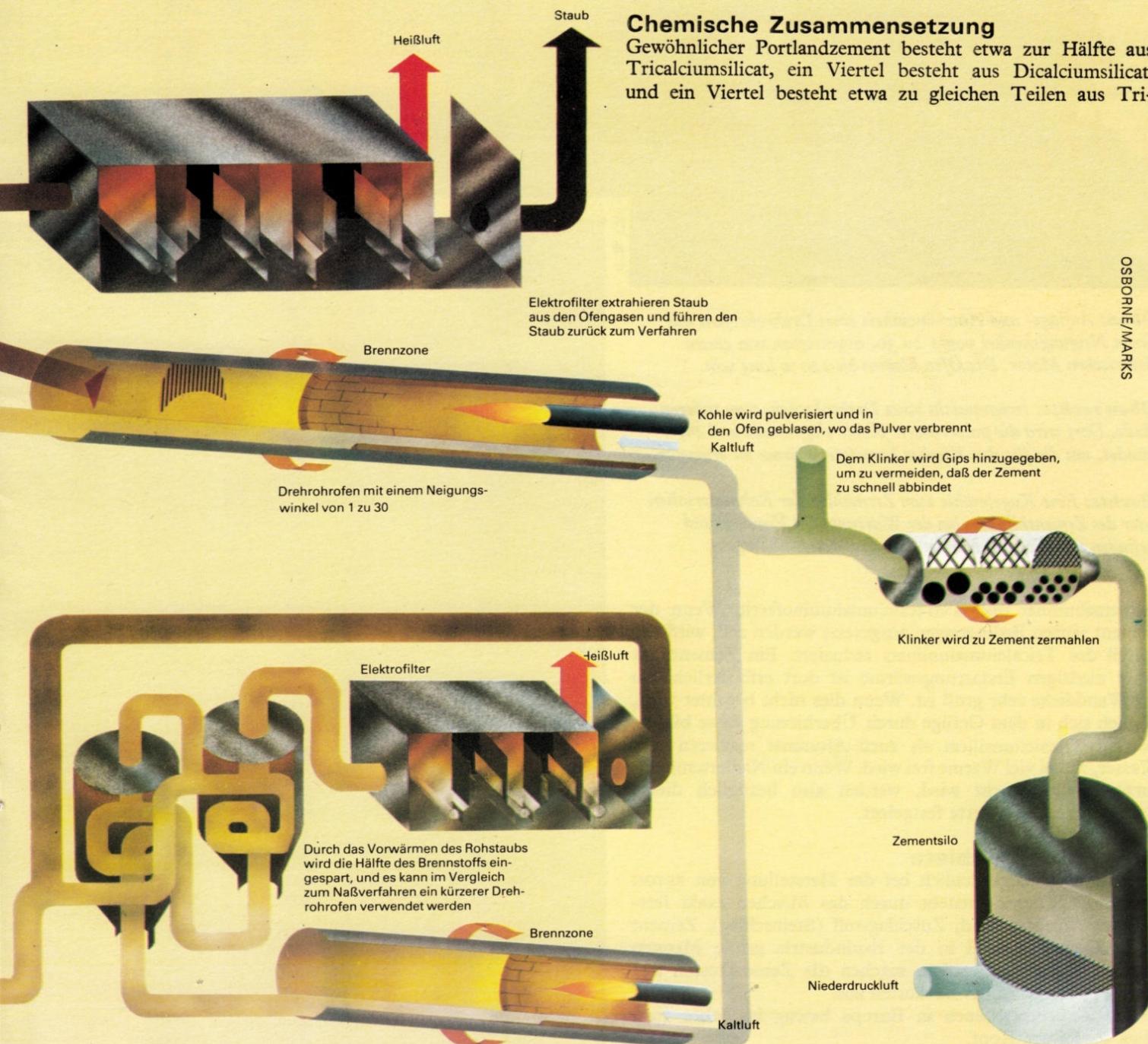
Eine geringe Menge Gips ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) wird zu dem Zementpulver hinzugegeben, um zu vermeiden, daß es beim Mischen mit Wasser zu schnell abbindet. Wenn Zementbrei über einen Zeitraum von mehreren Jahren abgelagert wird, erhöht sich die Härte aufgrund vermehrter Kristallbildung.

Die Herstellung von Zement aus Kalkstein (Calciumcarbonat) und Ton (Aluminiumsilicat) umfaßt die Teilsinterung von Calciumoxid, das sich durch die Zersetzung von Calciumcarbonat bildet, und von Aluminiumsilicat, wobei das Gemisch aus komplexen Silicaten, d.h. Zement, entsteht.

### Chemische Zusammensetzung

Gewöhnlicher Portlandzement besteht etwa zur Hälfte aus Tricalciumsilicat, ein Viertel besteht aus Dicalciumsilicat, und ein Viertel besteht etwa zu gleichen Teilen aus Tri-

OSSORNE/MARKS





**Oben:** Auflage- und Antriebseinheit eines Drehrohrofens mit einem Neigungswinkel von 1 zu 30, angetrieben von einem elektrischen Motor. Die Öfen können bis 120 m lang sein.

**Oben rechts:** Innenansicht eines Drehrohrofens vom tieferen Ende. Dort wird die pulverisierte Kohle eingeblasen und entzündet, um die für den Klinker benötigte Wärme zu erzeugen.

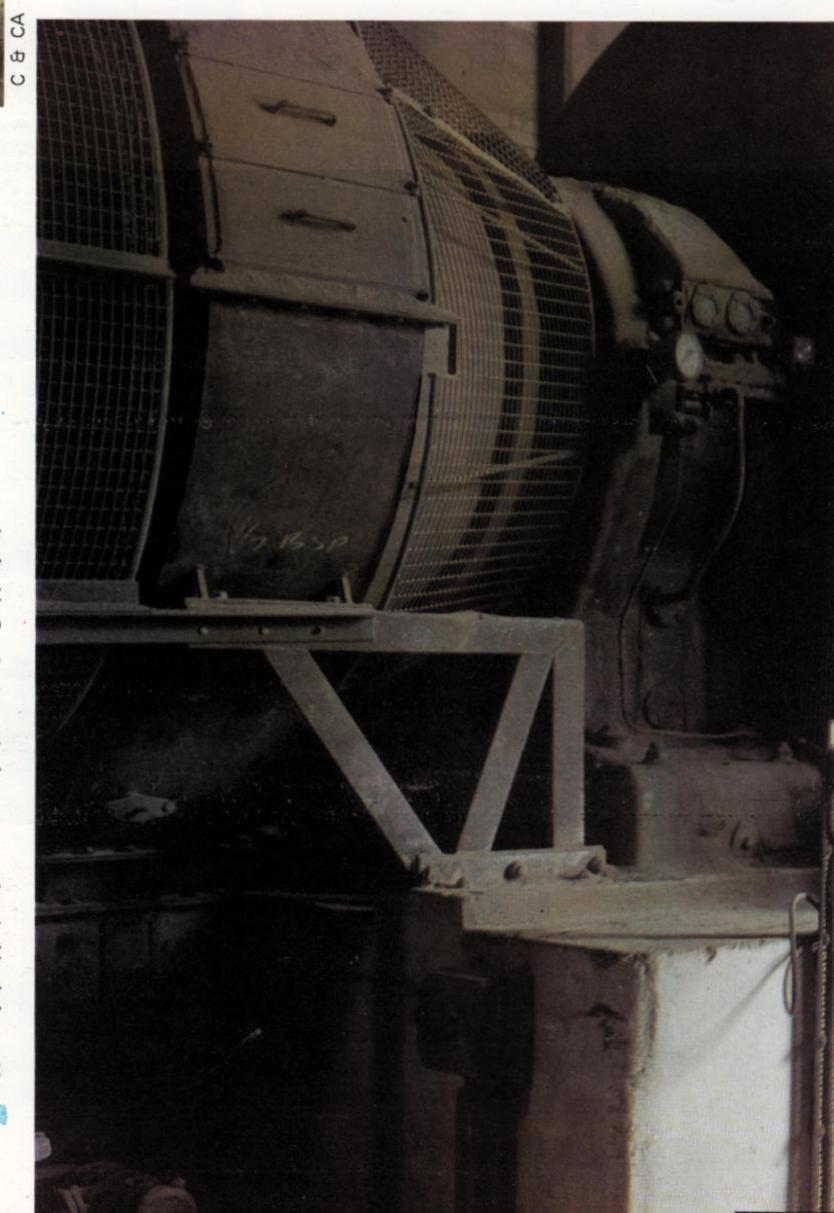
**Rechts:** Eine Kugelmühle zum Zermahlen der Rohmaterialien oder des Zementklinkers bei der Wartung. Im Vordergrund befinden sich die zum Mahlen verwendeten Stahlkugeln.

calciumaluminat und Tetracalciumaluminoferrit. Wenn der Zement sauren Bedingungen ausgesetzt werden soll, wird der Anteil des Tricalciumaluminats reduziert. Ein Zement mit einer niedrigen Erstarrungswärme ist dort erforderlich, wo die Wanddicke sehr groß ist. Wenn dies nicht beachtet wird, können sich in dem Gefüge durch Überhitzung Risse bilden. Sowohl Tricalciumsilicat als auch Aluminat reagieren mit Wasser, wobei viel Wärme frei wird. Wenn ein Niedertemperaturzement gebraucht wird, werden also bezüglich dieser Bestandteile Grenzwerte festgelegt.

### Anwendungsgebiete

Zement wird hauptsächlich bei der Herstellung von BETON verwendet. Dieser entsteht durch das Mischen exakt festgelegter Mengen Sand, Zuschlagstoff (Steinschlag), Zement und Wasser. Obwohl in der Bauindustrie große Mengen Zement verwendet werden, machen die Zementkosten nur etwa 3% der gesamten Baukosten aus.

Der Zementverbrauch in Europa betrug im Jahre 1978 etwa 500 kg pro Kopf.





## ZENERDIODE (Z-DIODE)

**Z-Dioden können als Spannungsreferenzquellen in elektronischen Schaltungen dienen. Sie erzeugen eine Spannungsreferenz zwischen 3 V und einigen 100 V.**

Z-DIODEN sind Halbleiterdioden, die nach dem amerikanischen Wissenschaftler Clarence Zener, der die theoretischen Grundlagen für die Arbeitsweise dieses Bauelementes schuf, benannt sind. Sie verfügen über die sehr nützliche Eigenschaft, unter gewissen Bedingungen einen veränderbaren Strom bei einer vorgegebenen Spannung erzeugen zu können. Deshalb können Z-Dioden als Spannungsreferenzquellen z.B. in stabilisierenden Gleichstromnetzgeräten verwendet werden.

### N- und P-Halbleiter

Silicium und Germanium, die in reinem Zustand schlechte Leiter sind, können durch Dotieren mit speziellen Verunreinigungen zu einigermaßen guten elektrischen Leitern gemacht werden.

Setzt man den reinen Halbleitern Phosphor-, Antimon- oder Arsenatome (5wertige Elemente) zu, verfügen sie über eine zusätzliche Anzahl von Elektronen. Diese Elektronen können sich relativ frei durch das Material bewegen und somit zur elektrischen Leitfähigkeit beitragen. Da Elektronen eine negative elektrische Ladung haben, spricht man auch von N-dotierten Halbleitern.

Dotiert man mit Bor-, Aluminium-, Indium- oder Galliumatomen (3wertige Elemente) in das Halbleitermaterial, tritt eine Verarmung an Elektronen auf. Die Bindungsplätze an 'verarmten' Elektronen bezeichnet man als Defektelelektronen, da sie sich wie positiv geladene Elektronen verhalten und benachbarte Elektronen anziehen. Man spricht hier von einem P-dotierten Halbleiter, da die elektrische Leitfähigkeit auf der Bewegung von Defektelelektronen beruht.

### Der PN-Übergang

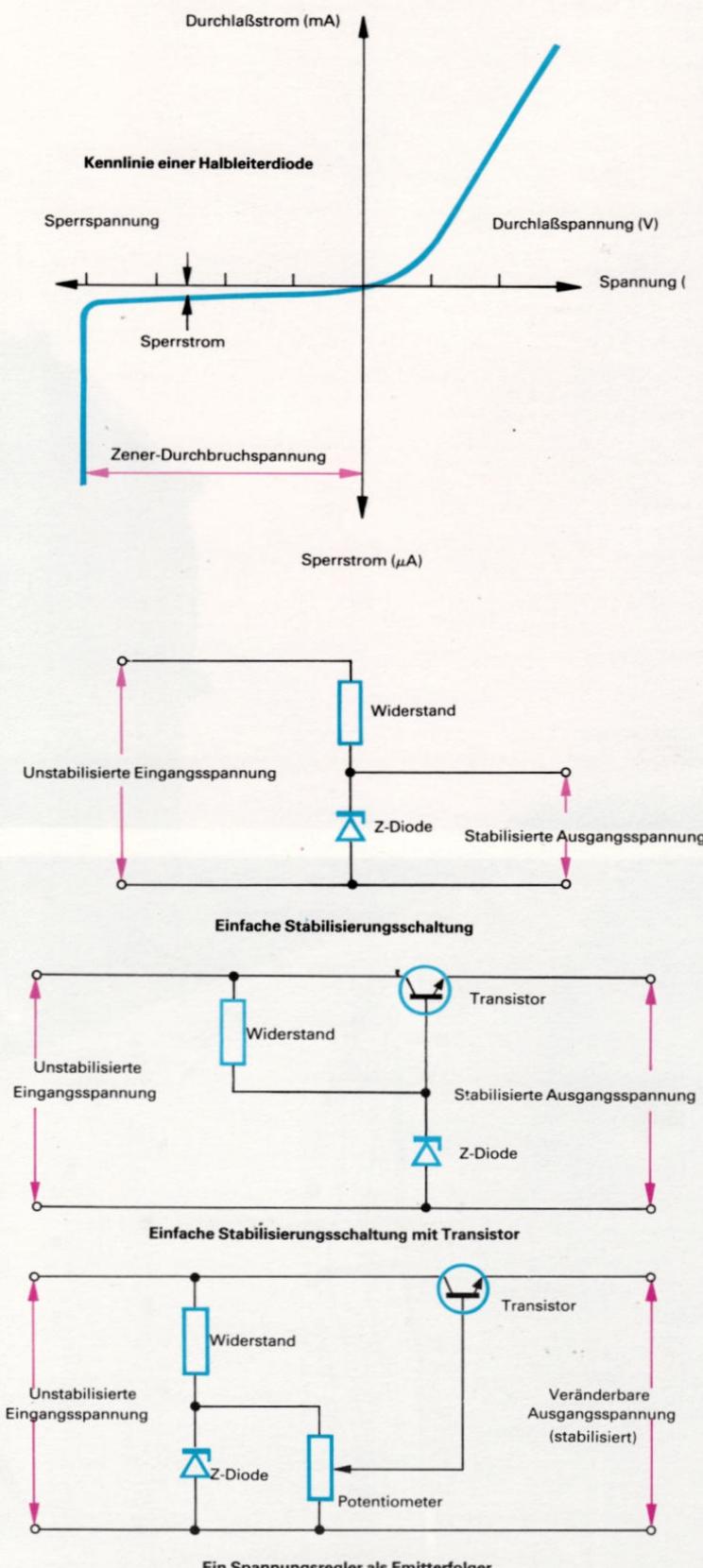
Werden P- und N-leitende Materialien zusammengebracht, wandern aufgrund von Diffusionseffekten Elektronen aus der N-dotierten in die P-dotierte Schicht und umgekehrt Defektelelektronen aus der P-dotierten in die N-dotierte Schicht. Dies bedeutet, daß sich in der P-dotierten Schicht negative und in der N-dotierten Schicht positive Ladungsträger ansammeln. Als Folge hiervon bildet sich an den Grenzen der beiden Dotierungszonen eine Potentialschwelle aus, die ein weiteres Diffundieren von Elektronen in die P-Schicht und von Defektelelektronen in die N-Schicht verhindert.

Legt man an die N-Schicht den negativen Pol einer Spannungsquelle und an die P-Schicht den positiven Pol einer Spannungsquelle an, kann ab einem gewissen Spannungswert ein elektrischer Strom fließen; d.h. der PN-Übergang ist in Durchlaßrichtung geschaltet. Polt man die Spannungsquelle um, kann kein Strom mehr fließen (Sperrichtung). Dies ist der Grund, warum ein PN-Übergang — man bezeichnet ihn im beschalteten Zustand als Diode — als Gleichrichter verwendet werden kann.

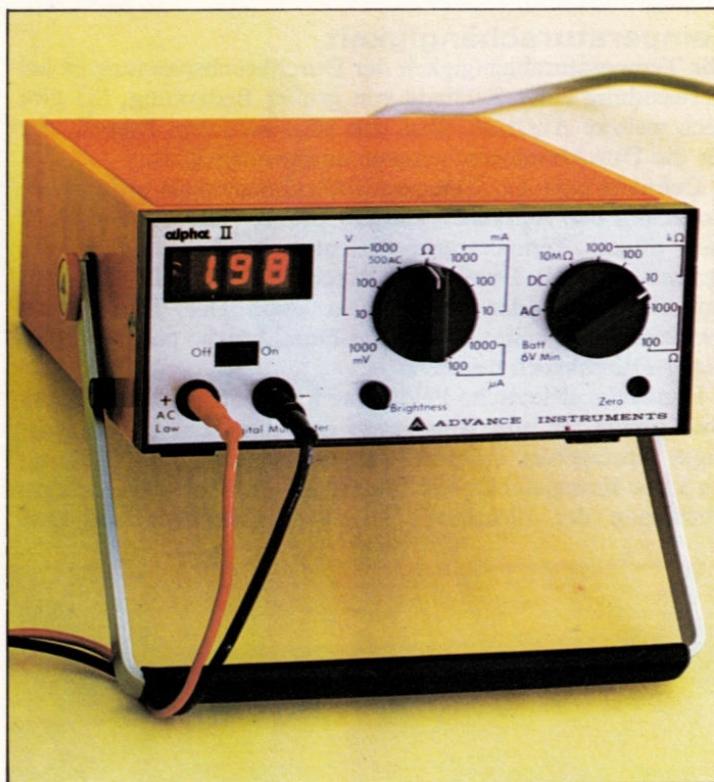
### Die Zener-Spannung

Wird die Spannung in Sperrichtung (Sperrspannung) erhöht, so ist bei einem gewissen Spannungswert ein plötzlicher Stromanstieg zu beobachten. Man spricht hier von einem Durchbruch der Diode. Bei der sogenannten Durchbruchspannung wird der Ohmsche Widerstand des Bauelementes veränderbar; dies entspricht einer konstanten Spannungskennlinie, die unabhängig von der Stärke des durch die Diode fließenden Stromes ist.

Durch gezielte Auswahl des Materials und des Dotierungsgrades kann die Durchbruchspannung der Diode auf Span-



Die Strom/Spannungs-Kennlinie einer Z-Diode (im obersten Teil der Darstellung) zeigt, daß sie sich in Durchlaßrichtung wie eine normale Diode verhält. Erreicht sie in Sperrichtung den Wert der Durchbruchspannung, so kann der Strom ohne weiteren Spannungsanstieg stark zunehmen. Hierdurch eignet sich die Z-Diode als stabile Spannungsreferenzquelle bei einem Gleichstromnetzgerät. Die drei Schaltungen (in den drei unteren Darstellungen) unterscheiden sich in ihrer Komplexität, ihrer Stabilität sowie in den Bereichen ihrer Ausgangsspannungen.



nungswerte zwischen 3 V und einigen 100 V festgesetzt werden. Die Durchbrucherscheinung ist reversibel (umkehrbar), und das Bauelement wird nicht zerstört. Voraussetzung ist allerdings, daß der fließende elektrische Strom begrenzt ist.

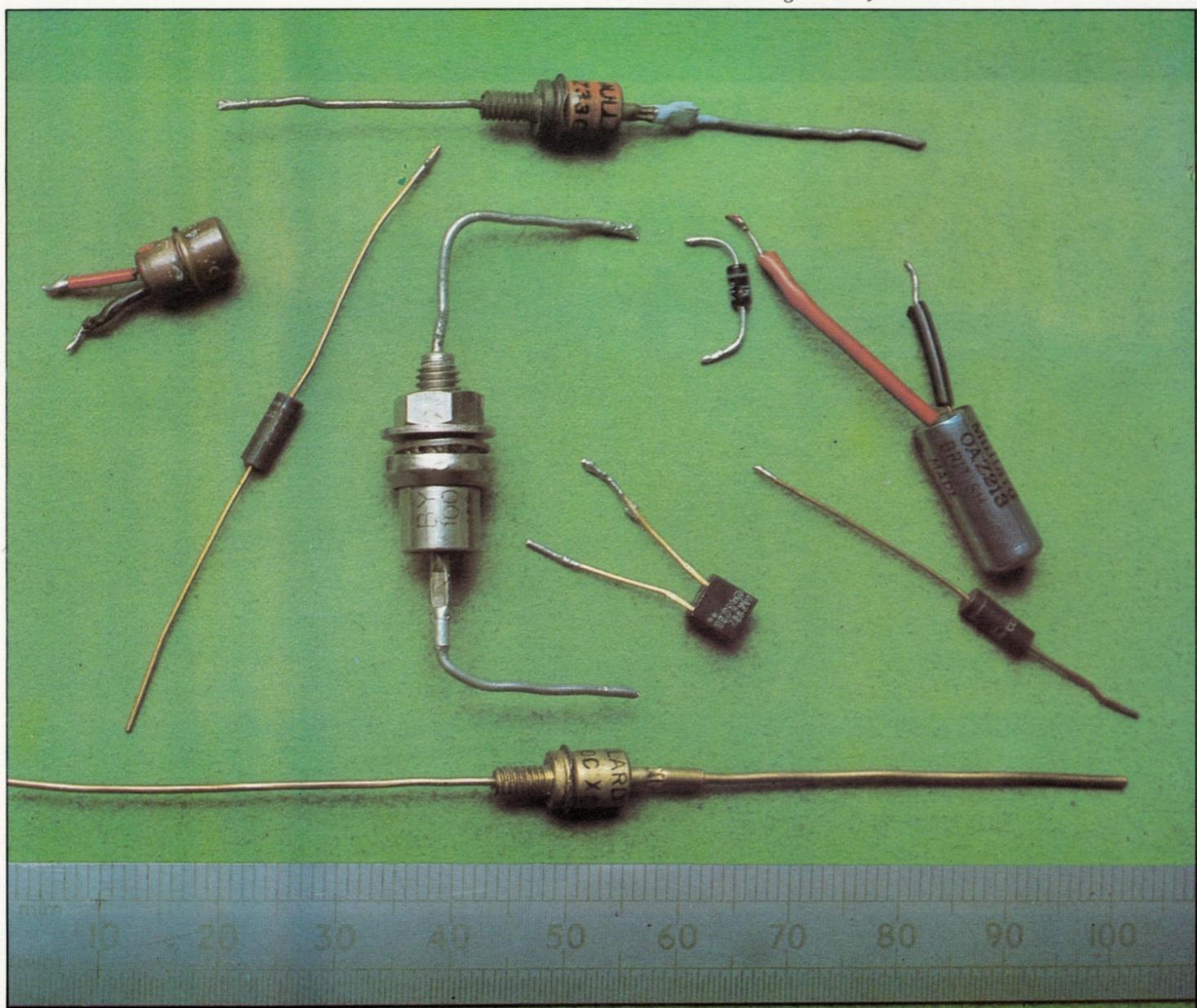
### Erklärung des Durchbruchs

Die ursprünglich von Zener vertretene Theorie erklärte, daß der Durchbruch der Diode zustande kommt, indem Bindungen in der Sperrzone auftreten und plötzlich viele Ladungsträger zur Stromleitung zur Verfügung stehen. Er erkannte, daß durch die hohe elektrische Feldstärke ein Aufbrechen der Bindungen ermöglicht wird.

Der hier beschriebene Zener-Effekt tritt, wie man heute weiß, nur bei Durchbruchspannungen unterhalb 6 V auf. Bei der

**Links:** Z-Dioden findet man auch bei integrierten Schaltungen wie beispielsweise in diesem modernen Multimeter.

**Unten:** Verschiedene Z-Dioden. Wegen der Temperaturempfindlichkeit von Halbleitern bei hohen elektrischen Strömen sind die Dioden in Metallgehäusen untergebracht, die die Verlustwärme besser ableiten. Bei speziellen Anwendungen spielen nicht nur die Durchbruchspannungen, sondern auch die maximalen Ströme, die die Diode vertragen kann, eine Rolle.



Z-Diode spielt aber ein anderer Effekt — der Avalanche-Effekt — eine größere Rolle, da Z-Dioden in der Regel bei Spannungen von > 6 V arbeiten. Aus diesem Grunde spricht man heute (auf Wunsch von Dr. Zener!) nicht mehr von der Zener-, sondern von der Z-Diode.

### Avalanche-Durchbruch

Beim Avalanche-Effekt werden ab einer bestimmten Sperrspannung durch das elektrische Feld die Elektronen und die Defektelelektronen so sehr beschleunigt, daß ihre kinetische Energie ausreicht, Bindungen aufzubrechen, wenn sie mit den Gitteratomen zusammenstoßen. D.h. es werden neue freie Elektronen und Defektelelektronen gebildet, die wiederum beschleunigt werden und weitere Bindungen aufbrechen können. Dieser Lawineneffekt wird als Avalanche-Durchbruch bezeichnet, der zur Folge hat, daß der elektrische Strom schnell anwächst.

### Temperaturabhängigkeit

Die Temperaturabhängigkeit der Durchbruchspannung ist bei Verwendung einer Z-Diode von großer Bedeutung. Sie gibt auch weitere Auskunft über den physikalischen Prozeß, der für die Durchbrucherscheinung verantwortlich ist.

Definiert man den Temperaturkoeffizienten als prozentuale Änderung der Referenzspannung pro K (Kelvin) und mißt man diesen Temperaturkoeffizienten in Abhängigkeit des Stromes, der das Bauelement durchfließt, so stellt man fest, daß er positiv oder negativ sein kann. Der Temperaturkoeffizient ist beim Avalanche-Durchbruch positiv, beim Zener-Durchbruch negativ.

Damit die elektrische Feldstärke bei niedrigen Spannungen hoch genug ist, um Bindungen aufzubrechen, ist ein sehr enges Sperrgebiet erforderlich. Bei höheren Temperaturen wird der Energieinhalt der Elektronen größer, wodurch zum Abtrennen der Elektronen aus dem Kristallverband eine



**Rechts:** Auch in Netzgeräten für Fernsprechzentralen werden Z-Dioden zur Stabilisierung der Stromspannungen verwendet.

**Links:** Eine Anzahl verschiedener Z-Dioden, wie sie in Einheiten von Hochspannungsnetzgeräten zu finden sind, die mit Z-Dioden ausgestattet sind. Die Einheiten können bis zu 30 kV bei einem Höchststrom von 500 mA liefern. Die Z-Dioden haben zwei Funktionen: Erstens verhindern sie Schwankungen in der Ausgangsspannung und zweitens bieten sie Durchschlagsschutz für wichtige Elemente im Stromkreis.



weniger große Spannung benötigt wird. Die Zener-Spannung kann also kleiner werden, wenn die Temperatur ansteigt. Dies erklärt den negativen Temperaturkoeffizienten.

Bei großer Breite des Sperrgebietes eines PN-Überganges — sie hängt von der Dotierung ab — ist die elektrische Feldstärke gering, d.h. der Durchbruch kommt aufgrund des Avalanche-Effektes zustande. In diesem Falle verursacht ein Anstieg der Temperatur erhöhte Gitterschwingungen im Kristall, was zur Folge hat, daß die Wahrscheinlichkeit der Zusammenstöße zwischen den Atomen und den beschleunigten Ladungsträgern erhöht wird. Die Wahrscheinlichkeit, daß ausreichend viele Ladungsträger einen genügend hohen Energieinhalt haben, um Bindungen aufbrechen zu können — d.h. den Avalanche-Prozeß einzuleiten — nimmt hingegen ab. Erhöht man also die Temperatur, muß man die Durchbruchspannung erhöhen, um einen Avalanche-Durchbruch zu erreichen. Dies entspricht aber einem positiven Temperaturkoeffizienten.

## Anwendungen

Angenommen, der Strom durch eine Z-Diode wird kontrolliert, kann sie die Quelle für einen großen Bereich von reproduzierbaren Referenzspannungen sein. Bei genauer Auslegung und genauer Auswahl der Dotierung kann jede gewünschte Referenzspannung zwischen 3 V und einigen

100 V als Durchbruchspannung gewählt werden.

Die Z-Diode findet daher häufig Anwendung in elektronischen Schaltungen wie Spannungsreferenzquellen und Konstantspannungsquellen in Spannungsreglern. Ist ein Netzgerät nicht geregelt, so verändert sich die Ausgangsspannung mit Änderung der Netzsspannung. Bei einem Gleichstromnetzgerät ändert sich auch die Gleichspannung am Ausgang mit einer Änderung der am Eingang anliegenden Wechselspannung.

Bei Halbleiteranwendungen unterliegt der Z-Diode die gleiche Aufgabe wie einer gasstabilisierenden Röhre in Schaltungen, in denen Elektronenröhren eingesetzt wurden. Die Z-Diode hat gegenüber der gasstabilisierenden Röhre — abgesehen von den Größenunterschieden — etliche Vorteile.

Gasstabilisierende Röhren können nur zur Stabilisierung von Spannungen, die > 45 V sind, herangezogen werden. Unterhalb dieser Spannungswerte steht die Z-Diode konkurrenzlos da. Die Zündspannung der Röhre muß unterhalb der unstabilisierten Versorgungsspannung liegen. Fällt die unstabilisierte Versorgungsspannung ab, leitet die Röhre nicht mehr, d.h. es fließt so lange kein Strom, bis die Versorgungsspannung den Wert der Zündspannung wieder erreicht hat. Im Falle der Z-Diode wird die Steuerung wieder erhalten, wenn die unstabilisierte Spannung nur einmal den stabilen Pegel überschreitet.

## ZENTRIFUGALKRAFT UND ZENTRIFUGE

**Die durch Drehung mit hohen Geschwindigkeiten hervorgerufene Zentrifugalkraft ist der Gravitationskraft sehr ähnlich, jedoch viel stärker als diese. Zentrifugen — die bekanntesten sind die Wäscheschleudern — können deshalb gravitationsabhängige Prozesse beschleunigen.**

Bewegt sich ein Körper auf einer kreisförmigen Bahn, so treten immer Zentrifugal- und Zentripetalkräfte auf. Kreist zum Beispiel ein mit einem Seil fest verbundener Stein um den anderen Endpunkt der Schnur, so versucht er stets tangential, d.h. gerade, weiterzufliegen. Diese Neigung, sich vom Zentrum der Drehbewegung zu entfernen, wird auf eine vom Drehpunkt weg gerichtete Kraft zurückgeführt, die man Zentrifugalkraft (zentrifugal entstammt dem Lateinischen und bedeutet 'das Zentrum fliehend') nennt. Diejenige Kraft, die den Stein auf seiner Kreisbahn hält, zeigt auf den Drehpunkt und wird als Zentripetalkraft bezeichnet. Im obigen Beispiel wird die Zentripetalkraft durch die Zugkraft im Faden aufgebracht. Beide Kräfte, die Zentrifugal- und die Zentripetalkraft, sind gleich groß, jedoch entgegengesetzt gerichtet; sie treten stets gemeinsam auf.

Im Jahre 1687 veröffentlichte Sir Isaac Newton (1643 bis 1727) seine drei berühmten Bewegungsgesetze. Das erste fordert, daß jeder Körper im Zustand der Ruhe verharrt oder sich mit konstanter Geschwindigkeit (d.h. mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag längs einer Geraden) bewegt, sofern keine Kraft auf ihn wirkt. Der Geschwindigkeitsbetrag ist dabei richtungsunabhängig als der pro Zeiteinheit zurückgelegte Weg definiert. Zur eindeutigen Bestimmung der Geschwindigkeit ist aber neben dem Betrag auch die Richtung erforderlich. So kreist im obigen Beispiel der Stein mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag um das andere Seilende; die Geschwindigkeit aber ändert sich ständig mit der Position auf dem Kreis, da sie tangential zur Kreisbahn gerichtet ist. Nach dem ersten Newtonschen Bewegungsgesetz muß also auf den Stein eine Kraft wirken, die diese Geschwindigkeitsänderung verursacht und ihn auf die Kreisbahn zwingt: die Zentripetalkraft. Da die Geschwindigkeitsänderung pro Zeiteinheit als Beschleunigung definiert ist, wird der Stein also beschleunigt. Die Beschleunigung ist aber nicht längs der Kreisbahn, sondern senkrecht dazu gerichtet. Ihre Größe ist durch das Quadrat des Geschwindigkeitsbetrages  $v$  auf der Kreisbahn geteilt durch deren Radius  $R$  gegeben, also  $v^2/R$ .

Das zweite Newtonsche Bewegungsgesetz fordert, daß bei konstanter Masse die auf einen Körper wirkende Kraft dem Produkt aus der Masse und der von der Kraft verursachten Beschleunigung entspricht. Somit erhält man die auf den Stein wirkende Zentripetalkraft, indem man die Masse des Steins mit der zum Zentrum gerichteten Beschleunigung multipliziert.

### Kurven

Fährt ein Motorradfahrer durch eine Kurve, so wird die nötige Zentripetalkraft durch die Reibung zwischen den Reifen und der Straße aufgebracht. Ist die Straße vereist und somit die Reibung gering, wird das Motorrad aus der Kurve getragen, wenn der Fahrer nicht die nach außen wirkende Zentrifugalkraft ausgleicht, z.B. indem er sich 'in die Kurve legt'. Ist die Fahrbahn zur Kurveninnenseite geneigt, so wirkt eine zur Oberfläche senkrechte Kraft auf das Motorrad, die in zwei Komponenten zerlegbar ist: Eine vertikale Komponente, die das Gewicht ausgleicht, und eine horizontale Komponente, die die nötige Zentripetalkraft liefert.

**Rechts:** Das Innere einer Zentrifuge zur Trennung von Protein und Stärke in der Stärkeherstellung aus Maiskörnern.

**Rechts unten:** Brauerei-Zentrifuge, die dazu benutzt wird, um die Hefe vom Jungbier (nach der Gärung entstandenes Bier) zu trennen. Dieser Separator kann bis zu 12 000 Liter Jungbier pro Stunde verarbeiten.

### Anwendungen der Zentrifugalkraft

Zentrifugalkräfte werden in Drehzahlbegrenzern und einigen Kupplungsmechanismen benutzt. Im Weltall werden die Planeten und künstlichen Himmelskörper durch die Gravitationskraft auf kreisförmigen oder elliptischen Bahnen gehalten. Auch Zentrifugen, Geräte, die durch schnelle Drehung verschiedene Bestandteile trennen, nutzen die Zentrifugalkraft.

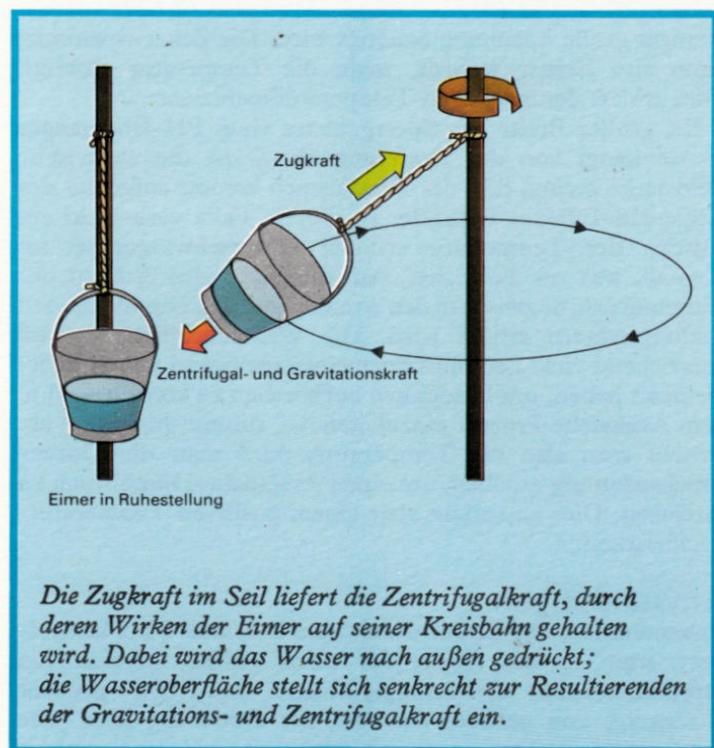
### Zentrifugen

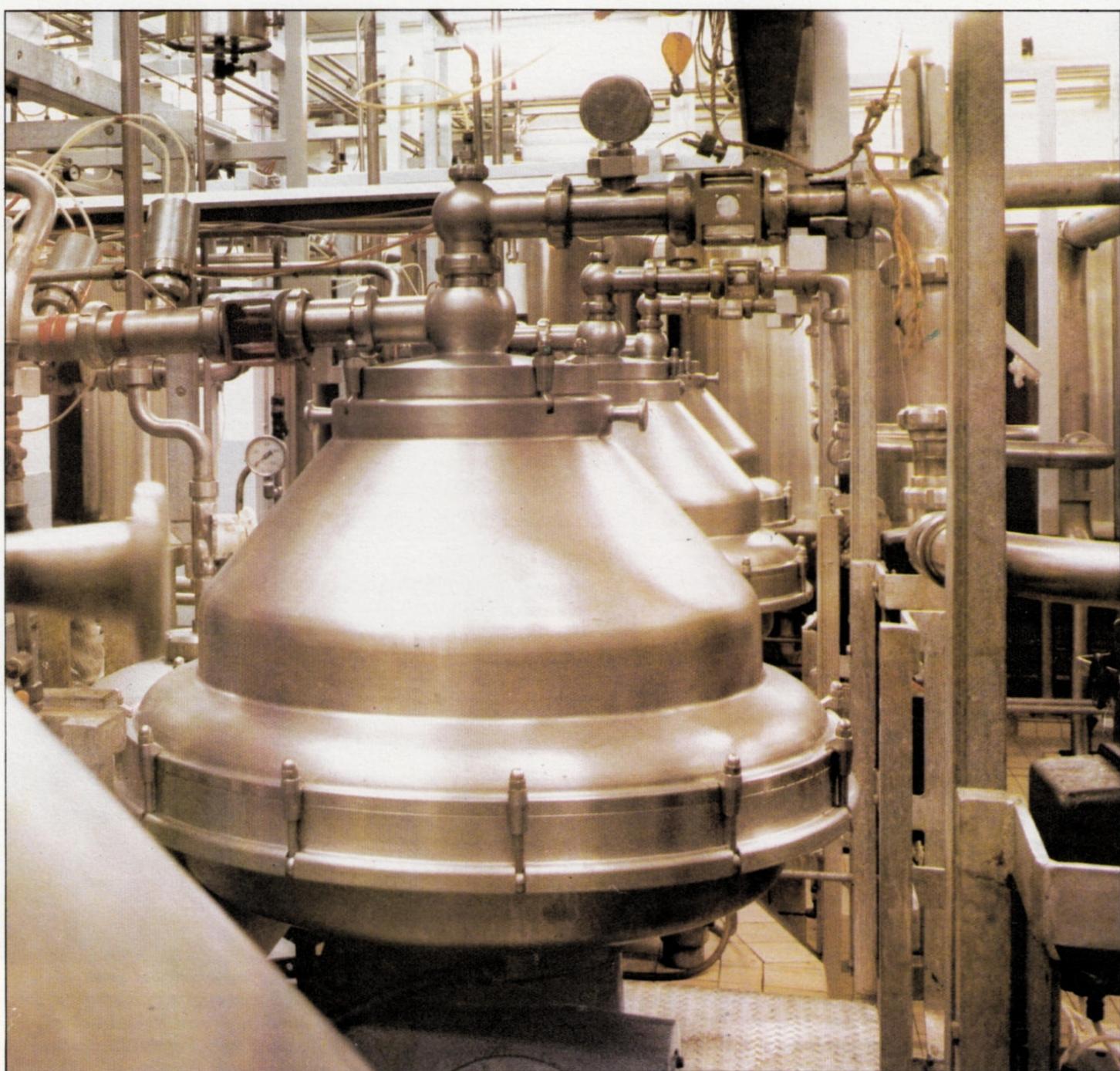
Zentrifugen führen die Absonderung von Sedimenten, die physikalische Trennung fester und flüssiger Komponenten (Filtration) und die Trennung zweier nicht mischbarer Flüssigkeiten — Vorgänge, die Stunden dauern würden — in wenigen Minuten durch. Im stehenden Zustand tritt diese Trennung durch die Gravitation ein, doch die in Zentrifugen erreichbaren Beschleunigungen sind zwischen einhundert- und einmillionenmal so groß wie die Erdbeschleunigung ' $g$ ' ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

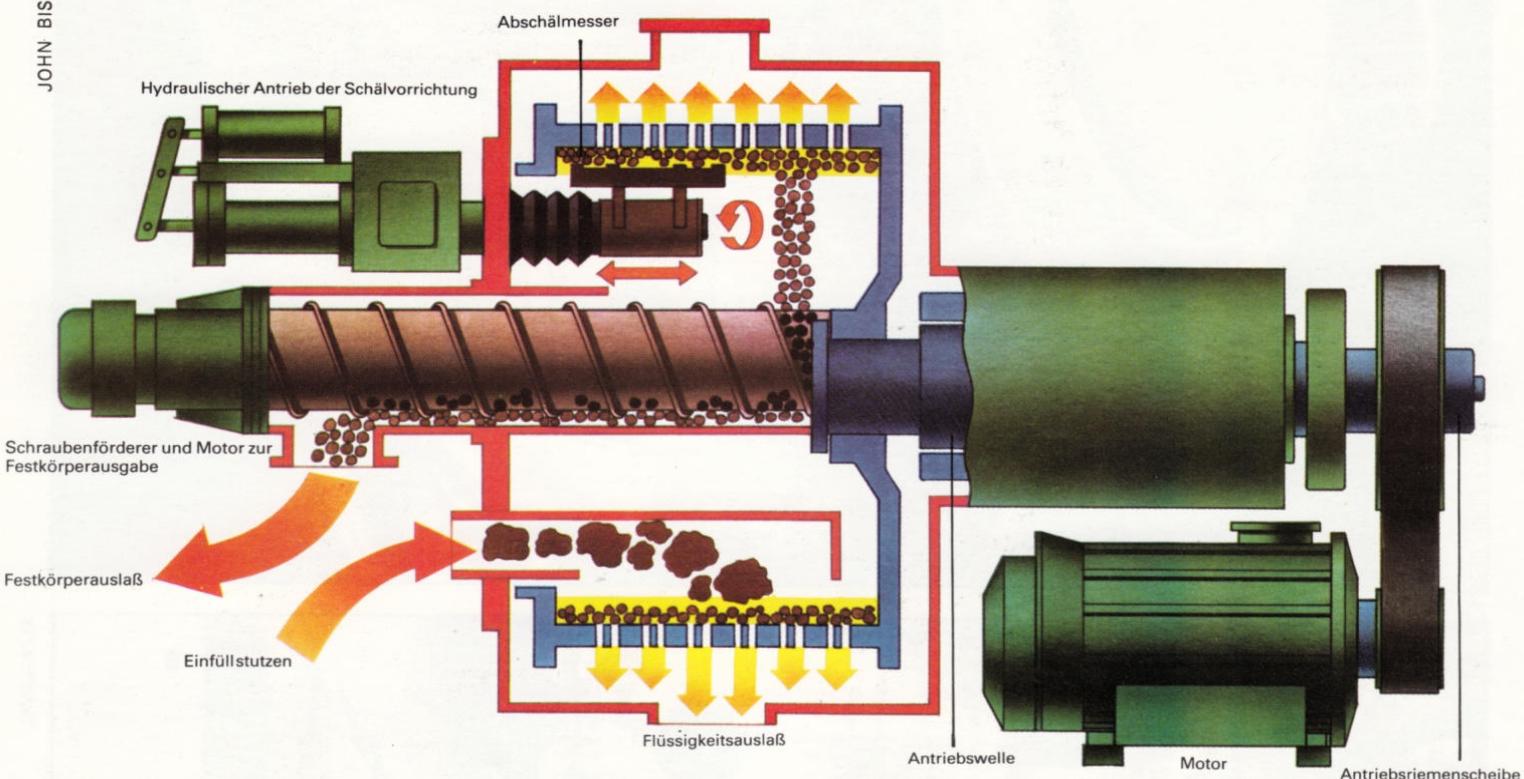
### Wäscheschleudern

Die bekanntesten Zentrifugen sind wohl die im Haushalt gebräuchlichen Wäscheschleudern. Sie sind ähnlich den industriellen Maschinen zum Filtrieren von Feststoffen aufgebaut: Eine gelochte Trommel ist auf einer Welle gelagert, die durch einen Elektromotor in Drehung versetzt wird. Diese Anordnung wird von einem Gehäuse umgeben, das die rotierenden Teile schützt und die abgesonderte Flüssigkeit aufnimmt.

Handelsübliche Geräte haben bis zu 2,5 m Durchmesser und entwickeln Beschleunigungen zwischen 200  $g$  und 300  $g$  (zweihundert- bis dreihundertfache Erdbeschleunigung). Die Drehachse dieser Geräte kann horizontal oder vertikal angeordnet sein; viele Maschinen sind auf Dauerbetrieb ausgelegt.







legt, der wirtschaftlicher ist, als der bei Waschmaschinen übliche schubweise Betrieb. Automatische Geräte dieses Typs sind in der Nahrungsmittelindustrie, der chemischen Industrie und in Bergwerken gebräuchlich, um unerwünschtes Wasser aus Feststoffen aller Art, wie Zucker, Stärkemehl oder zerkleinerter Kohle, zu entfernen.

### Zentrifugen mit Förderern

In automatischen Zentrifugen werden getrocknete Feststoffe zum Beispiel durch eine oszillierende Platte aus der Zentrifuge in einen Sammelbehälter befördert. Für schwierige Trennprozesse werden dreistufige Modelle eingesetzt, bei denen ein Waschgang zwischengeschaltet werden kann. Diese Geräte werden in der chemischen Industrie oft benutzt, um Kristalle zu waschen und zu sammeln. Anstelle der hin- und herschwingenden Platte werden auch Schraubenförderer (s. ARCHIMEDISCHE SCHRAUBE) verwendet. Die Zentrifugen werden dann konisch zulaufend konstruiert, wobei der Förderer in die um eine horizontale Achse rotierende Trommel eingebaut ist. Dieser entfernt laufend die abgeschiedenen Festkörper in halb getrocknetem Zustand aus der Trommel und sammelt sie am konischen Ende der Maschine. Solche Zentrifugen werden zur Entwässerung von Klärschlamm eingesetzt.

### Separatoren

Um 1880 entwickelte Dr. Gustav de Laval (1845 bis 1913) in Schweden den ersten kontinuierlich arbeitenden Separator zur Trennung von Milch und Sahne. Das Gerät besteht aus einer sich mit hoher Geschwindigkeit um eine horizontale Achse drehenden Schale, in der Beschleunigungen von 5 000 g bis 10 000 g erreicht werden. Ständig wird neues Füllgut zugeführt, und die getrennten Komponenten werden gesammelt. Durch den Einbau von Scheiben in die Zentrifuge wird der Trennvorgang verbessert, da die Wege der getrennten leichten und schweren Bestandteile im Separator verringert werden. Durch seitlich angebrachte Düsen können feste Bestandteile, die während des Dauerbetriebes gesammelt wurden, ohne Anhalten der Zentrifuge entnommen werden. Neben Milch und Sahne trennen diese Maschinen auch

*Große industrielle Zentrifuge zum Waschen und Sammeln feiner Festkörperteile. An der Stirnseite wird das Brechgut eingefüllt; durch die Rotation wird es nach außen gedrückt und die Flüssigkeit durch die Zentrifugalkraft herausgepresst. Die festen Bestandteile fallen in eine Sammelvorrichtung und werden durch einen Schraubenförderer abgesetzt.*

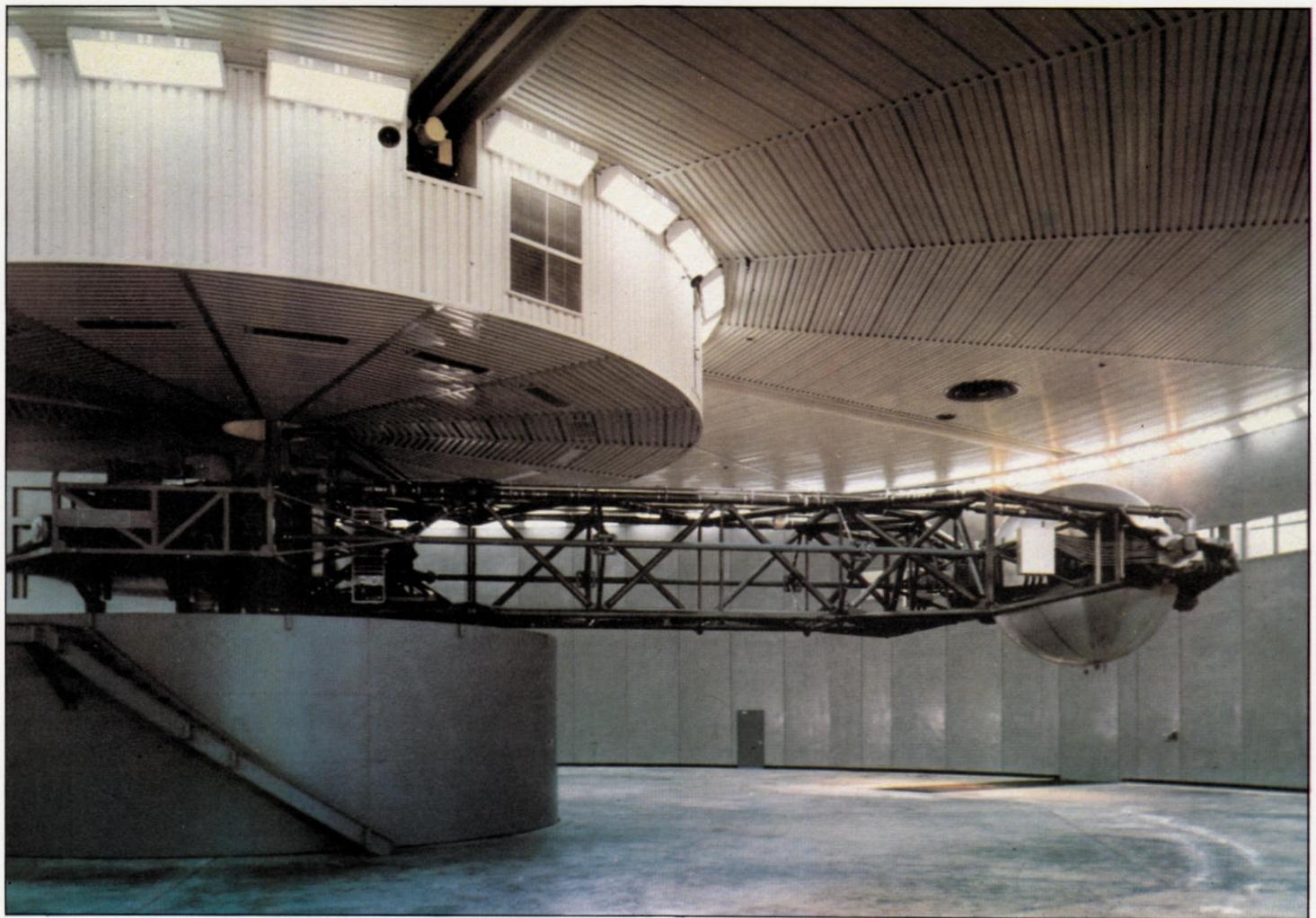
Verunreinigungen aus Schmieröl und reinigen Bier und Wein. Selbst zur Trennung verschiedener Komponenten in biologischen Synthesen werden derartige Separatoren eingesetzt.

### Ultrazentrifugen

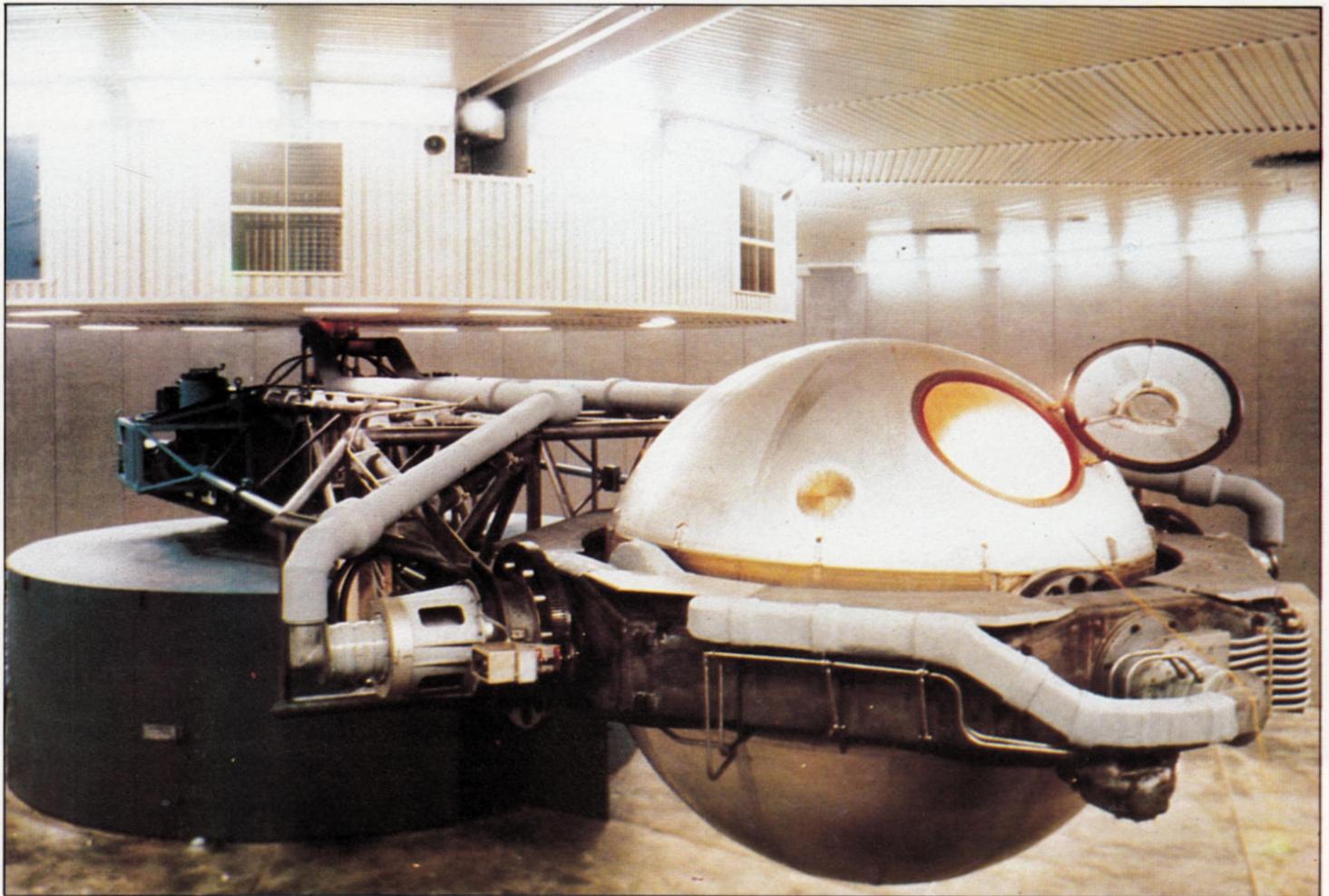
Die bei einigen Trennvorgängen notwendigen hohen Drehgeschwindigkeiten werden durch Ultrazentrifugen erreicht. Kleine Proben (von 1 ml bis 50 ml) werden in Glaskolben gefüllt und mit Beschleunigungen von etwa zwei millionenmal der Erdbeschleunigung  $g$  gedreht. Damit lassen sich die Molekulargewichte von Makromolekülen bestimmen, wie sie in Polymeren und Proteinen auftreten.

In der gleichen Art werden durch Drehung mit hohen Drehgeschwindigkeiten große Beschleunigungen simuliert, wie sie in gewissen Flugsituationen auf Piloten und Astronauten wirken. Auch die Gaszentrifugen, mit denen verschiedene Uranisotope aus gasförmigen Uranverbindungen separiert werden, arbeiten nach diesem Prinzip.

**Rechts:** Diese beiden Fotos zeigen Zentrifugen, die zum Training von Astronauten eingesetzt werden. Mit ihnen können dieselben Bedingungen simuliert werden, die in der Raumfahrt und insbesondere beim Raketenstart und beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre entstehen. Auf diese Weise haben Astronauten die Möglichkeit, schon im voraus sehr starken Beschleunigungen ausgesetzt zu werden, um mit den entstehenden Kräften vertraut zu werden und ihnen standhalten zu können. Das Bild oben zeigt eine Zentrifuge, die an einem etwa 15 m langen Arm angebracht ist und sich wie ein Karussell mit rasender Geschwindigkeit dreht. Das untere Bild zeigt eine Zentrifuge mit geöffnetem Einstieg.



PHOTRI



PHOTRI

## ZERSTÄUBER

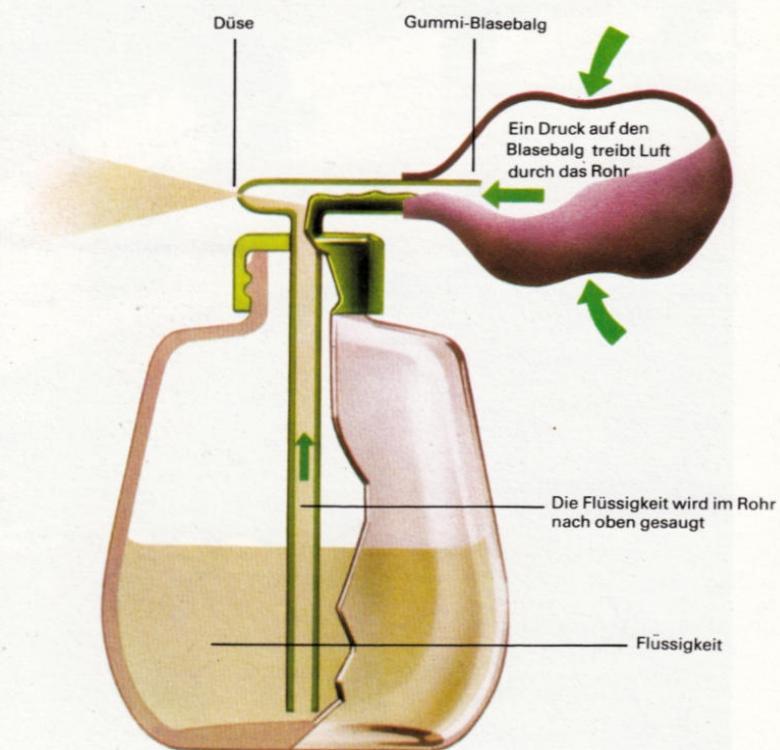
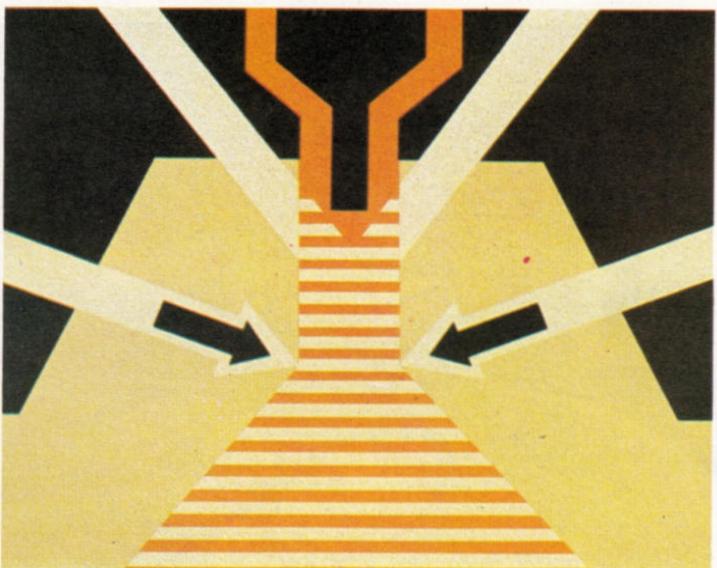
Der Zerstäuber verteilt eine Flüssigkeit in einen feinen Nebel, ähnlich einem Aerosol. Die Handhabung des Zerstäubers ist jedoch sicherer, da der Behälter nicht unter Druck steht und deshalb weder Explosionsgefahr noch die Gefahr der Luftverschmutzung durch die Treibgase besteht.

Zerstäuber sind Geräte, durch die eine Flüssigkeit nicht als Flüssigkeitsstrahl, sondern als Strom feiner und feinster Tröpfchen aus dem Behälter entsandt wird. Sie arbeiten nach dem VENTURI-Prinzip, wonach bei einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der Druck des bewegten Fluides abfällt.

Zerstäuber bestehen im allgemeinen aus zwei zueinander senkrecht angeordneten Rohren; durch das horizontale Rohr wird ein Luftstrom geblasen, der über Öffnung des vertikalen, in die Flüssigkeit eintauchenden Rohres hinwegstreicht. In einfachen Parfüm-Zerstäubern wird dieser Luftstrom durch Zusammendrücken eines Blasebalges aus Gummi erzeugt. Dadurch wird Druck an der Spitze des vertikalen Rohres erniedrigt, was zum Ansaugen der Flüssigkeit führt. Der Luftstrom reißt Teile der aus der Rohröffnung austretenden Flüssigkeit mit und zerteilt sie dabei in feine Tröpfchen, die sich mit dem Luftstrom vermischen.

**Farbspritzpistolen** und **VERGASER** benutzen dieses Zerstäuberprinzip; die Vergaser der ersten Automobile bestanden ausschließlich aus derartigen Zerstäubern.

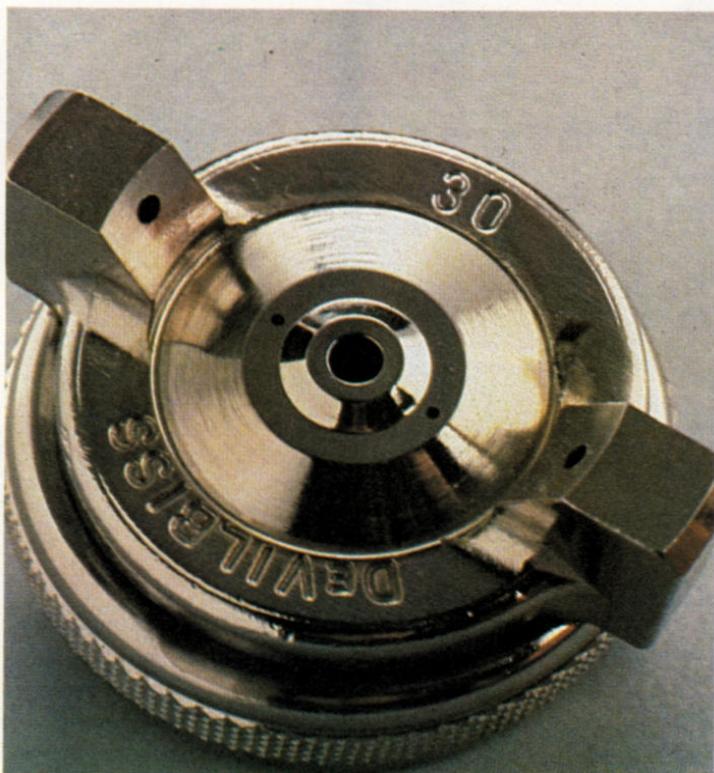
### Vergleiche AEROSOL



**Oben:** Ein typischer Flakon für Kölnisch Wasser. Beim Zusammendrücken des Gummibalges wird ein Luftstrom durch das horizontale Rohr geblasen, der den Druck am oberen Ende des vertikalen Rohres verringert. Als Folge steigt die Flüssigkeit im vertikalen Rohr, wird an dessen Spitze vom Luftstrom mitgerissen und somit als feiner Nebel aus der Düse zerstäubt.

**Oben:** Die Düse eines Zerstäubers verteilt die Farbe, um sie in einen sehr feinen, gleichmäßigen Sprühnebel zu verwandeln. Der Farbstrahl, der aus der Mitte der Düse kommt, trifft auf zwei Luftströme, die aus der Seite geblasen werden und ihn in feine Tröpfchen verwandeln.

**Rechts:** Die Düse eines Zerstäubers. Die Farbe kommt aus der Rohröffnung in der Mitte, und die Luftströme entweichen aus den beiden erhöhten Ansätzen.





# Erfindungen 64: HALBLEITER

Viele Menschen verbinden den Begriff Halbleiter mit dem Begriff Transistor. Der Transistor als elektronisches Bauelement wurde im Jahre 1948 erfunden. Erst 10 Jahre später fand er in der Industrie weitverbreitete Anwendung. Die elektronischen Eigenschaften von Halbleitern waren bekannt, bevor das erste Radio erfunden wurde.

## Halbleiter als Gleichrichter

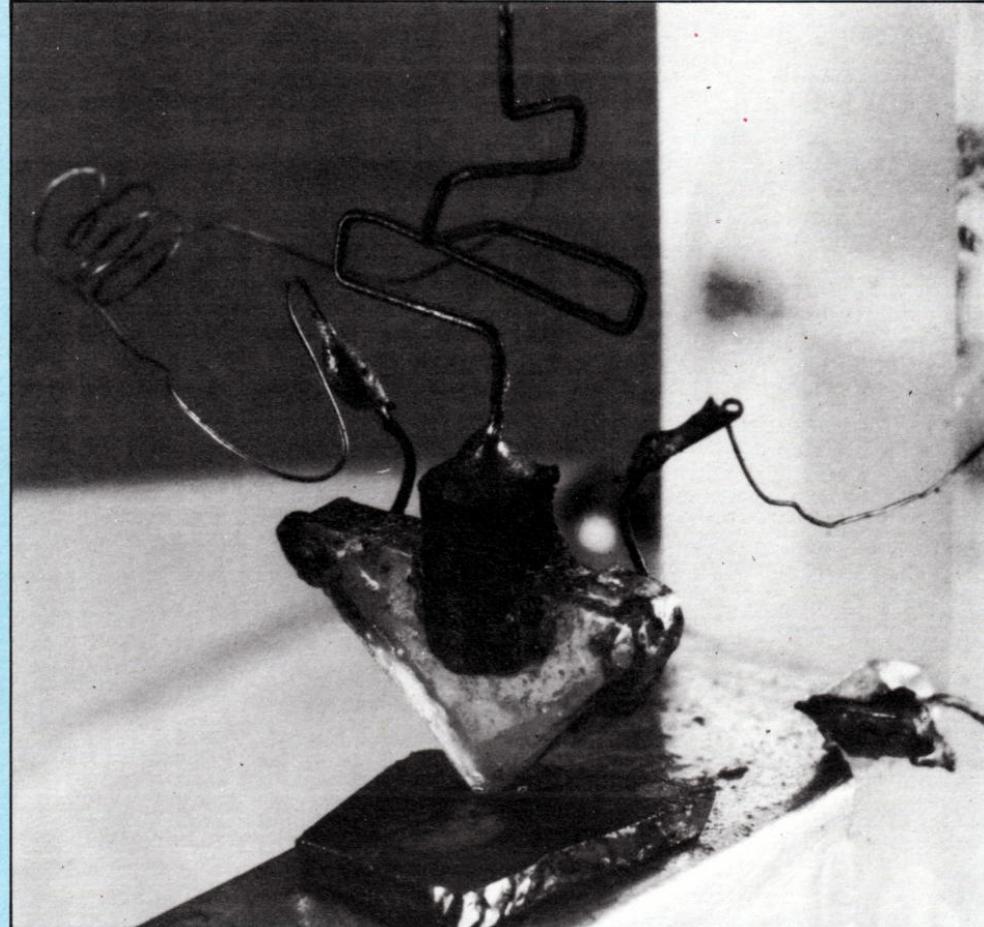
Als Halbleitermaterialien bezeichnet man solche Werkstoffe, deren Leitfähigkeit zwischen der von Isolatoren und Leitern liegt. Schon im Jahre 1880 war bekannt, daß einige Halbleiter als Gleichrichter — dies sind elektronische Bauteile, die elektrischen Strom nur in einer Richtung durchlassen — geeignet sind. Diese Eigenschaften wurden in den ersten Tagen des Radios ausgenutzt. Hier wurden verschiedene Kristalle von dünnen Drähten berührt. Da sie in der Detektorstufe von Radios verwendet wurden, sprach man auch von Kristalldetektoren.

Mit dem Aufkommen von Elektronenröhren nach Beendigung des Ersten Weltkrieges waren Kristalldetektoren überholt. Es wurden jedoch andere Halbleiterwerkstoffe wie z.B. Selen als Leistungsgleichrichter verwendet. Während des Zweiten Weltkrieges erkannte man, daß Kristalle für die Erfassung hochfrequenter Radiowellen (Mikrowellen) besser geeignet waren als Elektronenröhren. Man begann sich ernsthaft mit Halbleitern auseinanderzusetzen.

## Halbleitertheorie

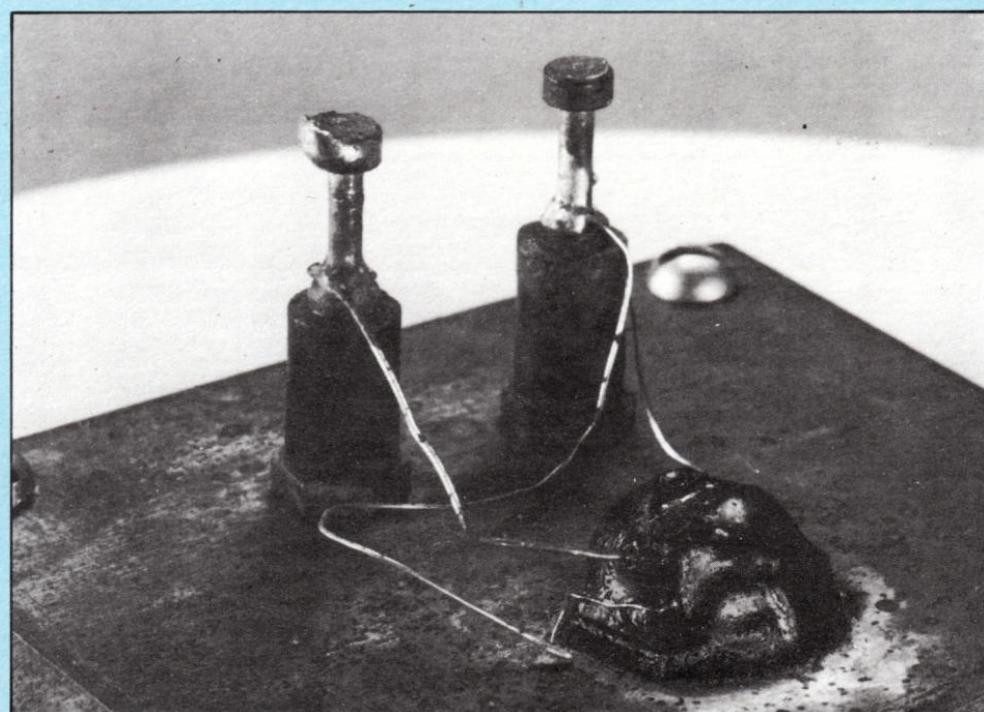
Als Halbleiter zum ersten Mal als Kristalldetektoren Verwendung fanden, basierten die Halbleiterexperimente noch auf 'Trial and Error' (Herumprobieren). In den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts war die Theorie der Halbleiter durch die Erkenntnisse, die die Quantenmechanik erarbeitet hatte, bekannt. Es war nun möglich, das Verhalten eines Halbleiters als Bewegung von Elektronen zwischen verschiedenen Energieniveaus zu verstehen.

Mit diesem Wissen schien die Möglichkeit zu bestehen, nicht nur Halbleiterdioden, sondern auch 'Halbleitertrioden', die verstärkende Eigenschaften ausweisen, herzustellen.



**Oben:** Der allererste Transistor, ein Spitzentransistor. Er war noch nicht voll entwickelt und sehr rauschanfällig. Er leitete jedoch eine neue elektronische Ära ein.

**Unten:** Der erste Bipolartransistor, der Vorgänger der heutigen Transistoren. Das teuerste Gerät, das bei seiner Entwicklung verwendet wurde, war ein Oszilloskop.



Ähnlich einer Triode, in der Elektronen beschleunigt werden, der Elektronenstrom jedoch durch ein Gitter gesteuert wird, sollte es auch möglich sein, den Elektronenfluß innerhalb eines Halbleiters steuern zu können.

Eine Arbeitsgruppe der Firma Bell Telephone Laboratories in New Jersey versuchte unter der Leitung des Physikers W. Shockley (geb. 1910), einen Halbleiter mit Verstärkereigenschaften zu entwickeln, und zwar indem sie den Halbleiter Germanium als eine Kondensatorplatte verwendete. Sie hoffte, daß durch Influenz der anderen Kondensatorplatte der Elektronenfluß im Germanium beeinflußt wird. Diese Hoffnung bestätigte sich allerdings nicht ganz, da die Halbleiteroberfläche scheinbar keinen Einfluß auf den Halbleiter hat. Der theoretische Physiker J. Bardeen (geb. 1908) arbeitete eine Theorie über die beobachteten Effekte aus.

#### Der Spitztransistor

Bei einem Experiment fand W. Brattain (geb. 1902) — er gehörte der Arbeitsgruppe an — heraus, daß bessere Ergebnisse zu erzielen sind, wenn man den Kontakt unmittelbar mit der Halbleiteroberfläche in Verbindung bringt. Diese Erkenntnis in Verbindung mit der Entdeckung, daß die Leitfähigkeit von Halbleitern durch Dotieren mit Elektronen oder Defektelektronen verbessert werden kann, führte zur Entwicklung des

**Rechts:** Ein Schnitt durch einen alten Spitztransistor zeigt deutlich sein Konstruktionsprinzip. Transistoren waren schon kleine Bauelemente. Mit Einführung der integrierten Schaltung Mitte der 60er Jahre begann das totale elektronische Zeitalter. **Unten:** Erste integrierte Schaltungen neben einem Fliegenauge.

ersten Spitztransistors.

Es wurden zwei Kontaktierungsspitzen (der Emitter und der Kollektor) auf einen Germaniumkristall aufgebracht, an dem eine Elektrode angebracht wurde, die man Basis nannte. Der Strom, der zwischen der Basis und dem Kollektor floß, hing von der Spannung des Emitters ab; man konnte verstärken. Wegen der kleinen Oberflächen der Kontakte war das Bauteil nicht sehr wirksam.

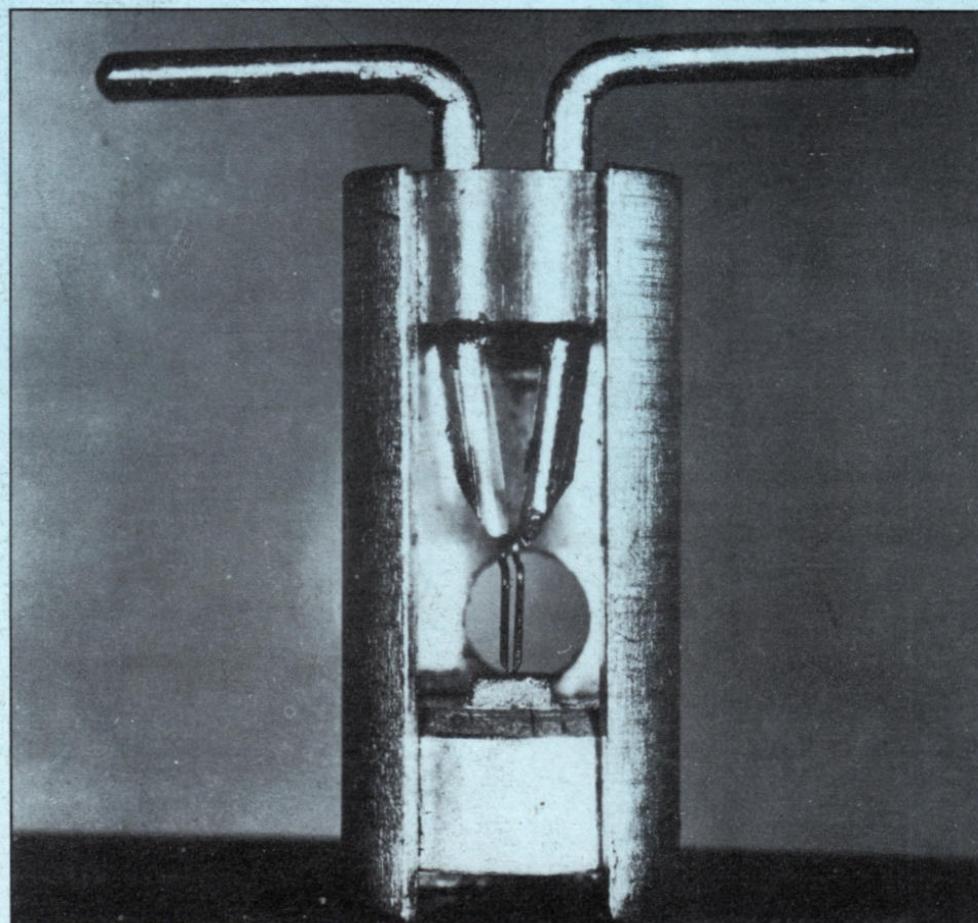
#### Der Bipolartransistor

Kurze Zeit später kam Shockley der Gedanke des Bipolartransistors, indem er verschiedene dotierte Halbleiterschichten in einer Sandwich-

Form anordnete. Es konnte nun die ganze Halbleiterfläche statt lediglich die Fläche von zwei Kontakten ausgenutzt werden. Dieser Gedanke führte zu dem Transistor.

#### Transistoren in Radios

Die ersten Transistoren wurden in ein Radio eingebaut, das ohne eine einzige Röhre in einem Hörsaal vorgeführt werden konnte. Bezuglich der Halbleitertechnologien war jedoch noch viel Entwicklungsarbeit notwendig, um die Qualität der heutigen Transistorradios zu erreichen. Shockley, Bardeen und Brattain erhielten für ihre Arbeiten im Jahre 1956 den Nobelpreis.



BELL LABORATORIES



RCA