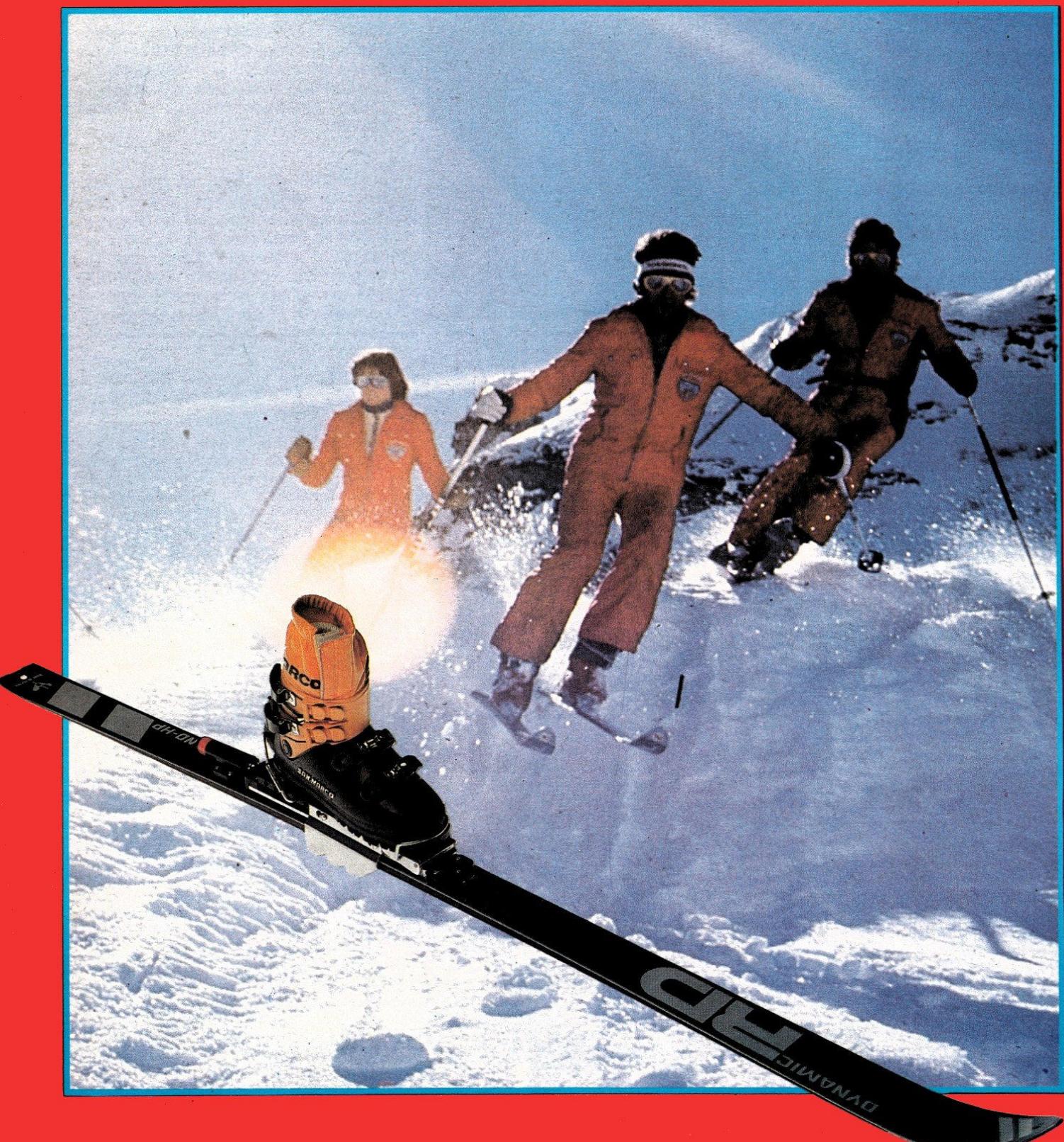


HEFT 52 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25  
SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

<b>Sirene</b>	<b>1429</b>
<b>Ski</b>	<b>1430</b>
<b>Skibindung</b>	<b>1434</b>
<b>Solenoid</b>	<b>1437</b>
<b>Sonargerät</b>	<b>1438</b>
<b>Sonnenenergie</b>	<b>1440</b>
<b>Spannungsregler</b>	<b>1442</b>
<b>Speichermedien</b>	<b>1444</b>
<b>Spektrometer</b>	<b>1448</b>
<b>Spektroskopie</b>	<b>1457</b>

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDO 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.

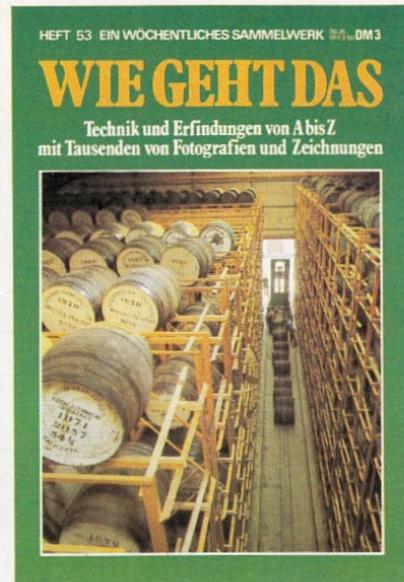
Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

**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 53 von Wie Geht Das



Spirituosen werden durch die Destillation von Alkohol hergestellt, der durch das Vergären von Früchten, Gemüsen oder von Getreide entstanden ist. In den meisten Ländern, in denen Spirituosen erzeugt werden, gibt es traditionelle alkoholische Getränke. In Heft 53 von Wie Geht Das können Sie lesen, wie die verschiedenen Spirituosenarten hergestellt werden.

Das Filmtheater ist auch heute noch eine der bedeutendsten Institutionen der Unterhaltungsindustrie. Das Fernsehen ist zwar eine sehr ernstzunehmende Konkurrenz, kann aber das Kino nicht vollständig verdrängen. Wie man einen Film macht, steht im nächsten Heft von Wie Geht Das.

### SAMMELORDNER

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

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

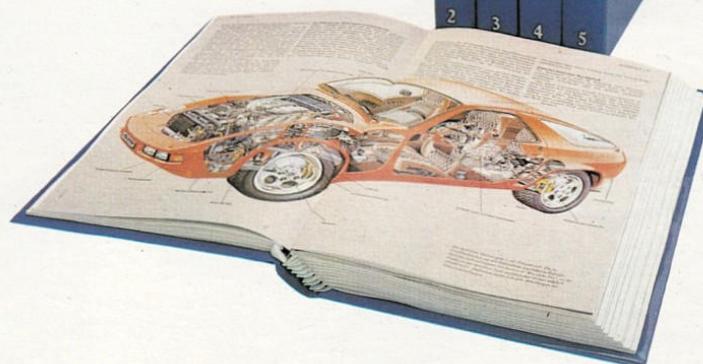
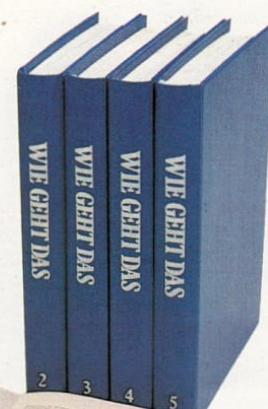
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

Schweiz: Der Sammelordner kostet sfr. 15. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner

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

**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.



## SIRENE

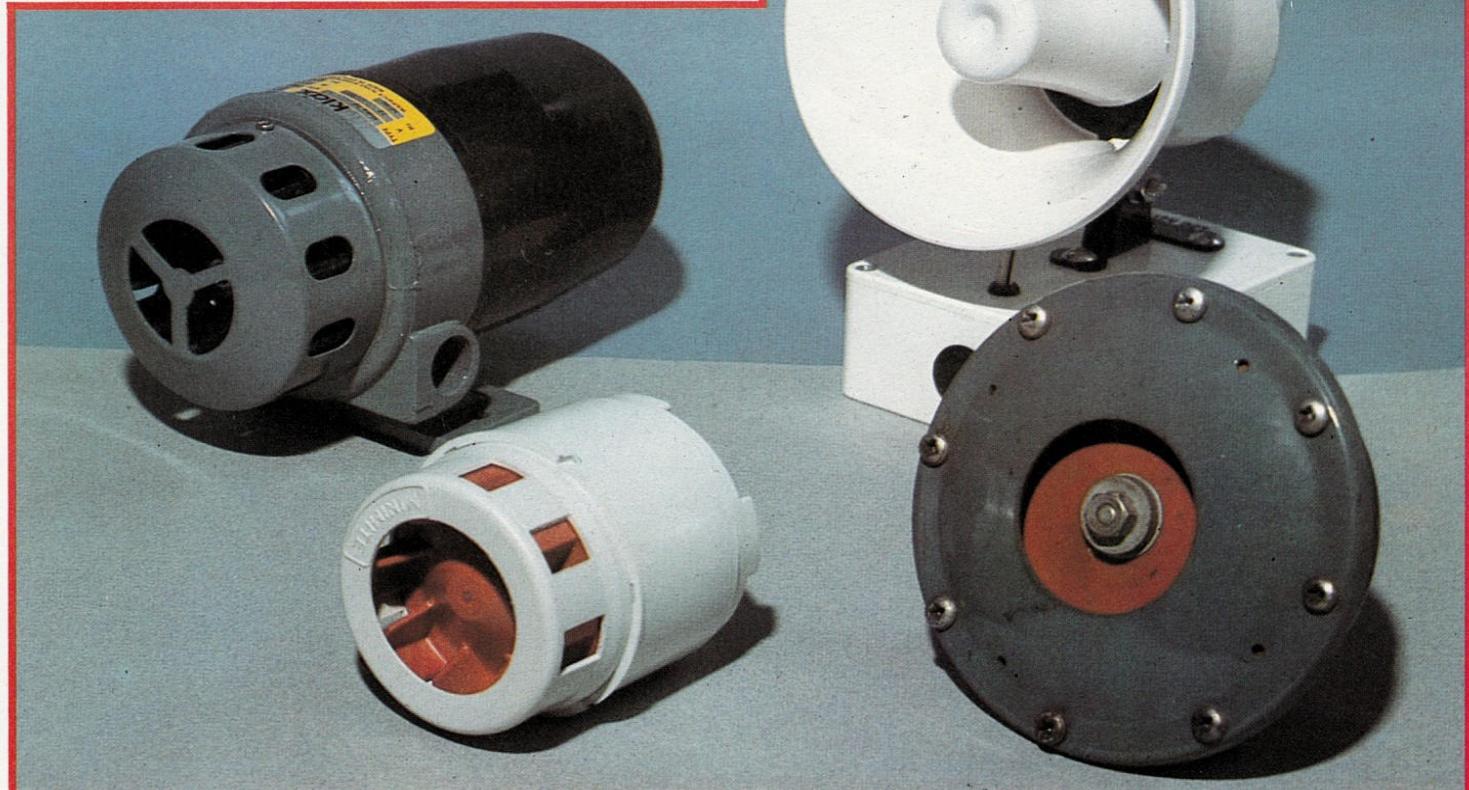
Die Größe von Sirenen liegt zwischen batteriebetriebenen Kleingeräten, die man vielleicht nur dreißig oder vierzig Meter weit hört, und großen Anlagen, die sich auf öffentlichen Gebäuden befinden und auf eine Entfernung von vielen Kilometern zu hören sind.

Die Sirene ist eine Einrichtung zur Erzeugung von Schallwellen im Hörbereich. Dies geschieht durch die periodische Unterbrechung eines Druckluft- oder Gasstromes und die dadurch bedingten Druckschwankungen. Ursprünglich verglich man mit Hilfe von Sirenen Schallfrequenzen, während sie heute als Schallgeber dienen. Ihr Name geht auf Gestalten der griechischen Mythologie zurück, die auf einer Insel im Tyrrhenischen Meer lebten und mit ihrem Gesang vorüberfahrende Seeleute ins Verderben lockten. Auf die Verwendung dieses Namens für die Einrichtungen zur Erzeugung von Schallsignalen verfiel man, als sich herausstellte, daß Sirenen auch unter Wasser Töne erzeugen können.

### Frühe Sirenen

Erfunden wurde die Sirene etwa zu Anfang des 19. Jahrhunderts. Sie diente zuerst dazu, die Frequenz anderer Schallquellen durch Vergleich zu ermitteln. In ihrer ursprünglichen Form bestand sie aus einer flachen Scheibe, um deren Rand in gleichmäßigen Abstand eine Anzahl von Löchern gebohrt war. Setzte man die Scheibe in Umdrehung, wurden die Löcher in ihrer Längsrichtung von einem Luftstrahl angeblasen. Dabei entstand eine Anzahl von Druckimpulsen, deren hörbare Frequenz unmittelbar proportional zur Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe war. Nimmt man beispielsweise eine Scheibe mit zehn Löchern, die sich mit 15 Umdrehungen pro Sekunde dreht, erhält man eine Frequenz von 150 Hz (Hertz = Schwingungen pro Sekunde). Zur Ermittlung der Frequenz einer anderen Schallquelle ändert man die Drehzahl

**Unten:** Sirenen für Sicherheitsanlagen. Ihre 'Reichweite' variiert gewöhnlich zwischen 30 m und 400 m.



der Scheibe so lange, bis der Ton beider Schallquellen übereinstimmt. Auf diese Weise läßt sich die unbekannte Tonfrequenz recht genau ermitteln.

### Die moderne Sirene

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts veränderte sich das Aussehen der Sirene entscheidend und näherte sich der Konstruktion, die wir heute kennen. Statt die Löcher um eine flache Scheibe anzurichten, brachte man sie in gleichmäßigen Abständen an der Seite eines umlaufenden, becherförmigen Hohlkörpers an, der als Rotor oder Läufer bezeichnet wird. Dieser Becher wurde dann in einen weiteren, feststehenden und daher als Stator bezeichneten Becher eingesetzt, in dem sich ähnlich wie beim Läufer Löcher befinden. Ein Luftstrom trat an der offenen Seite in den Rotor ein und verließ ihn in Form zahlreicher kleiner Luftstrahlen jedesmal dann, wenn sich die Löcher im Rotor und Stator deckten. Durch den höheren Luftdruckunterschied, der sich bei den zahlreichen Luftaustrittsöffnungen ergibt, konnte mit diesem Verfahren der Schalldruck erheblich gesteigert werden. Damit war die Sirene über die Anwendung als Meßinstrument hinaus auch als Schallgeber brauchbar.

Moderne Sirenen werden entweder durch Druckluft oder durch Dampf, der in einen Läufer mit im Winkel stehenden Luftschaufeln eingeblasen wird, betrieben, so daß sich der Läufer unter dem Druck in Bewegung versetzt. Der Antrieb kann aber auch — dies ist heute häufiger der Fall — durch einen Elektromotor mit angesetzten Luftschaufeln erfolgen, die Luft an der Vorderseite in den Rotor hineinsaugen, diese verdichten und durch die Löcher im Läufer und Stator herauspressen.

## SKI

**Skier sind heute hochwertige Präzisions-Sportgeräte. Verschiedene Skier werden für jeweils einen bestimmten Zweck konstruiert. Ein Slalomski ist für Abfahrtsrennen ebensowenig geeignet wie ein für präparierte Pisten gedachter Ski im Pulverschnee.**

Noch Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg bestanden Skier aus massivem Holz — gewöhnlich Esche oder Hickoryholz — und waren mit einer Länge bis zu 2,50 m bedeutend länger als heutige Skier. Sie waren ihrem Verwendungszweck angepaßt, d.h. man konnte mit ihnen über relativ unbefahrene Hänge geradeaus fahren, meist durch weichen Schnee, wo die gesamte Kurventechnik im gelegentlichen Richtungswechsel oder im Bogenfahren bestand. Auf die unbeschichteten hölzernen Laufsohlen dieser Skier trug man täglich mit einem heißen Bügeleisen Wachs auf. Wenn sie überhaupt Kanten hatten, so waren es Verstärkungen, die in Form von Stahlkanten an den Stellen des größten Verschleißes in Form einzelner Streifen aufgeschraubt waren, und die man einzeln kaufen konnte.

In den späten fünfziger Jahren setzte eine Revolution im Skilauf ein. Sie betraf nicht nur die Entwicklung zum Breitensport, sondern auch die Technik des Skifahrens, insbesondere das Schwingen. Diese Entwicklung führte schließlich dazu, daß man an steileren Hängen spezielle Abfahrts- und Buckelpisten anlegte. Hierfür waren die bisher üblichen Holz-Skier mit ihrer hohen Biegeelastizität nicht mehr geeignet. An die Stelle von massivem Holz trat in Schichten verleimtes Holz (Laminate). Später kamen zunächst recht primitive, dann jedoch zunehmend verbesserte Metallskier auf den Markt, danach (Ende der sechziger Jahre) die ersten Skier aus Epoxydharz. Heute sind Skier Präzisions-Sportgeräte. Man kann sie grob in Holz-, Metall-, Glasfaser- oder, wo Metall

und Glasfaser gemeinsam verwendet werden, Verbundskier, einteilen. Die hauptsächlich in Skandinavien für das Überwinden großer Entfernungen (Wasa-Lauf) verwendeten, aber auch bei uns immer beliebter werdenden Langlaufskier ähneln noch am ehesten den früher üblichen Ausführungen; sie sind allerdings schmäler, länger und leichter als Abfahrtsskier. Sie bestehen aus Holz, haben keine Stahlkanten und werden mit anderen Skibindungen ausgerüstet als andere Skiaarten (siehe SKIBINDUNG).

### Moderne Skier

Hölzerne Skier findet man nach wie vor in den unteren Preiskategorien. Es handelt sich um Skier, die in Schichtbauweise hergestellt und mit Kunststoff ummantelt werden. Die meisten von ihnen haben eine Laufsohle aus Kunststoff und fest eingesetzte, durchgehende Winkelkanten aus Stahl. Das Holz verfügt zwar über gute schwingungsdämpfende Eigenschaften. Es ist jedoch wenig bruchfest, verzieht sich leicht und zeigt vergleichsweise früh Anzeichen von Materialermüdung.

Metallskier bestehen keineswegs ausschließlich aus Metall. Sie werden in Sandwich-Bauweise aus metallenen Oberflächen mit Seitenwangen aus Kunststoff hergestellt, die einen Innenkern aus Holz (in Schichtbauweise) oder, in jüngerer Zeit, aus Polyurethanschaum, umhüllen. Von allen in Skiern verwendeten Werkstoffen neigt Metall am meisten zum vibrationsbedingten 'Klappern', wenn es nicht durch Einlagen aus Neopren-Schaumstoff gedämpft wird. Diese Art Skier ist sehr langlebig und bei Pulverschnee äußerst beliebt. Glasfaserskier können nach dem gleichen Sandwich-Verfahren hergestellt sein wie Metallskier. Ein Glasfaser-Ski hat gute Dämpfungseigenschaften und eignet sich vorzüglich für das Fahren auf präparierten Pisten.

In der Praxis hat inzwischen die Kombination aus Metall und Glasfaser in verschiedenen Verfahren, mit Kernen aus



*Skiurlauber in den Schweizer Alpen, die eine Skiabfahrt machen. Skilaufen ist heute ein Massensport.*

**Rechts:** Querschnitt durch vier verschiedene Skier unterschiedlicher Bauart. Der verleimte Holzski wird heute fast nur von Anfängern und Kindern benutzt. Der zweite Ski, in Sandwichbauweise hergestellt, enthält eine Glasfaserkonstruktion, die auch bei metallverstärkten Skiern und bei Verbundskiern verwendet wird. Der dritte Ski hat eine eingespritzte Kunststoffschaumlage. Dabei sorgt die gezahnte 'Verankerungskante' für eine gute Verbindung mit dem Schaumstoff. Der vierte Ski hat einen im 'Naßverfahren' hergestellten Torsionskasten.

Schaummaterial und anderen glasfaserverstärkten Laminaten, zum Verbundski geführt. Damit wird in gewisser Weise die oben getroffene, vereinfachende Einteilung nach Skiarten wieder aufgehoben. Als Kernmaterial tritt Polyurethanschaum immer mehr in den Vordergrund, weil er leicht und billig herzustellen ist und leichte Qualitätshölzer immer teurer und seltener werden. Wegen des geringen Gewichtes und der leichter einzuhaltenden gleichmäßigen Qualität von Polyurethanschaum können Hersteller Qualitätsschwankungen bei der Fertigung in sehr engen Grenzen halten. Darüber hinaus verfügt dieses Material über ausgezeichnete Dämpfungseigenschaften, und es kann sich nicht verziehen. Allerdings hat es um die Längsachse eine geringere Verwindungssteifigkeit als Holz.

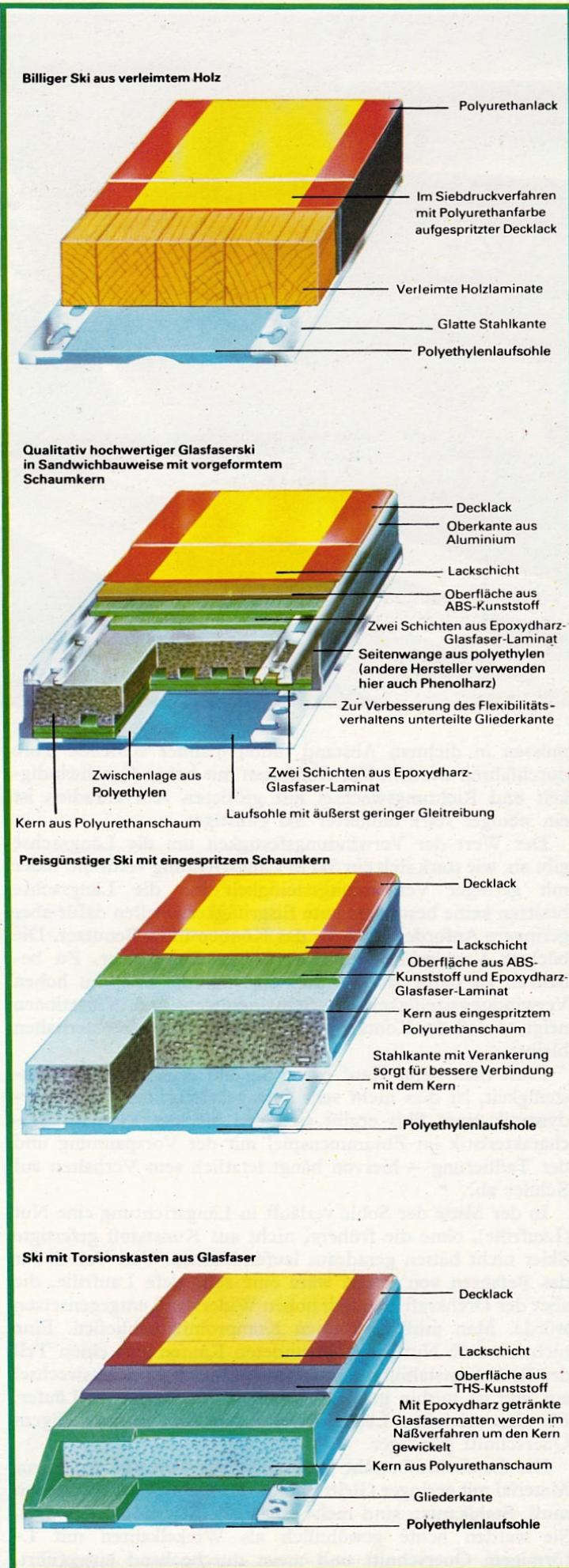
### Aussehen eines Skiers

Der Ski läuft vorne in einer Spitzte zu. Kurz hinter der eigentlichen Spitzte liegt die Schaufel. Nahezu in der Mitte liegt die schmalste Stelle, die Taille. Der breitere Teil hinten heißt Skikörper; auf ihn folgt das Skiente.

Ein Ski kann auf der ganzen Länge elastisch oder steif sein, er kann jedoch auch vorne weich (Härtewert an der Schaufel) und hinten hart (Härtewert am Ende) sein. Moderne Werkstoffe ermöglichen hier eine große Variationsbreite. Die Biegecharakteristik, die ein Hersteller seinem Ski mit auf den Weg gibt, ist von großer Wichtigkeit. Leichte Läufer kommen besser mit einem weichen Ski zurecht; außerdem kann man mit ihm besser Kurven fahren, während ein härterer Ski für einen schweren Skiläufer und Tourenlauf besser geeignet ist.

Damit sich das Gewicht des Skiläufers über die ganze Länge des Skis verteilt, weist dieser an der Aufstandfläche eine konkave Wölbung auf, die Teil der Biegelinie des Skis ist. Die dabei auftretende Vorspannung hat eine Art Sprungbrettwirkung, was die Gewichtsverlagerung (Hochentlastung) bei Richtungsänderungen erleichtert. Weist ein Ski eine zu hohe Spannung auf, werden Richtungswechsel zu kraftzehrend; bei zu geringer Vorspannung haben Schaufel und Ende keinen 'Biß' im Schnee und rutschen weg. Man kann das Maß der Vorspannung erkennen, wenn man die Skier mit ihren Laufflächen aneinander hält. Da heute die Flexibilität in der Herstellung genauestens vorgegeben und überwacht werden kann, haben moderne Skier im Vergleich zu früheren eine relativ geringe Vorspannung. Man kann das rein äußerlich an einer weniger stark ausgeprägten Biegelinie erkennen. In der Praxis erleichtert diese Charakteristik das Skifahren.

Die Aufsicht auf den Ski zeigt, in welchem Maße er im Verhältnis zur Schaufel und zum Skiente tailliert ist. Die Lage der Taille und das Ausmaß der Taillierung sind wichtige Größen für die Gleitcharakteristik eines Skis. Wird er durch eine Bewegung des Knie auf die Seite gelegt (verkantet), 'beißt' ein stark taillierter Ski und übt damit eine größere Drehkraft aus als ein wenig taillierter, der nur eine geringe Drehkraft ausüben kann. Zum Geradeauslaufen kann ein untaillierter Ski mit parallel verlaufenden Kanten großartig sein, eine gute Kurventechnik aber lässt sich mit ihm nicht erzielen. Ein schmäler, stark taillierter Ski begünstigt scharfe Richtungswechsel, wie sie beispielsweise beim Slalom vorkommen. Bei dieser, auch Torlauf genannten Disziplin





**Links:** Glasfasermaterial wird mit hochfesten Epoxydharzen getränkt und auf diese Weise mit dem hölzernen Kern verbunden. Dabei entsteht ein langlebiger 'Kasten', der kräftig und biegeelastisch ist. Dieser Torsionskasten kommt dann in eine Form, und der Ski wird unter eine hydraulische Presse gelegt.

**Rechts:** Diese Maschine prüft die absolute Festigkeit von Skiern. Im normalen Gebrauch sind moderne Skier praktisch unzerbrechlich. Dies unterscheidet sie von den Holzskiern, die verhältnismäßig häufig brechen.

**Rechts unten:** Es gibt zwei Hauptverfahren der Skiherrstellung — die Sandwichbauweise und die Torsionskastenbauweise. Bei der hier gezeigten Art des Torsionskastens liegen Glasfasermatte um einen hölzernen Kern.

müssen in dichtem Abstand hintereinander stehende Tore durchfahren werden. Für Abfahrten mit hoher Geschwindigkeit und Richtungswechsel mit größeren Kurvenradien ist ein weniger stark taillierter Ski günstiger.

Der Wert der Verwindungsfestigkeit um die Längsachse gibt an, wie stark sich ein Ski in Längsrichtung verdreht. Skier mit geringer Verwindungssteifigkeit um die Längsachse besitzen keine besonders gute Eisgriffigkeit, stellen dafür aber geringere Anforderungen an das Können ihrer Benutzer. Die höchste Verwindungssteifigkeit haben Slalomskier. Zu bedenken ist dabei jedoch, daß ein Ski mit einer zu hohen Verwindungssteifigkeit zu Schwingungen und Vibrationen neigt, so daß der Kontakt zum Schnee nicht aufrechterhalten bleibt.

Prüft man beim Kauf einen Ski auf seine Verwindungssteifigkeit, ist dies nicht sehr aussagekräftig, denn die Fahr-dynamik eines Skis ergibt sich erst aus der Verwindungscharakteristik im Zusammenspiel mit der Vorspannung und der Taillierung — hiervon hängt letztlich sein Verhalten auf Schnee ab.

In der Mitte der Sohle verläuft in Längsrichtung eine Nut (Laufrille), ohne die frühere, nicht aus Kunststoff gefertigte Skier nicht hätten geradeaus laufen können. Von Vorteil für das Befahren von Pisten wäre eine sehr tiefe Laufrille, die aber der Drehkraft ziemlich hohen Widerstand entgegensetzen würde. Man muß also einen Kompromiß schließen. Eine nicht zu tiefe Nut mit abgerundeten Kanten gibt einen Teil der Richtungsstabilität zugunsten leichterer Richtungswechsel auf und ist mithin gut für Anfänger und unsichere Läufer. Für den schnellen Läufer ist eine Nut von rechtwinkligem Querschnitt günstiger.

Die Laufsohle besteht jetzt meist aus Polyethylen, einem Material mit geringer Gleitreibung, das nicht gewachst werden muß. Stahlkanten sind meist ein fester Bestandteil des Skis. Sie werden heute gewöhnlich als Winkelkanten mit L-förmigem Querschnitt und meist durchgehend ausgeführt. Es finden sich jedoch auch (in einzelne Abschnitte unterteilte)

Gliederkanten. Diese bieten ein höheres Maß an Flexibilität.

Die meisten Skiläufer benutzen inzwischen kürzere Skier als noch vor einigen Jahren; viele entscheiden sich sogar für sogenannte 'Kurzskier'. Da sie leichter sind, den Läufer weniger ermüden, ihm Richtungsänderungen mit geringerem Kraftaufwand ermöglichen und nicht so 'schnell' sind wie Skier der üblichen Länge, sind Kurzskier besonders für Anfänger gut geeignet. Außerdem sind sie sicherer, weil sie bei einem Sturz geringere Hebelkräfte auf die betroffenen Körperteile (Fußknöchel) ausüben. Oberhalb gewisser Geschwindigkeiten sind sie weniger fahrstabil als Langskier.

### Der Aufbau eines Skis

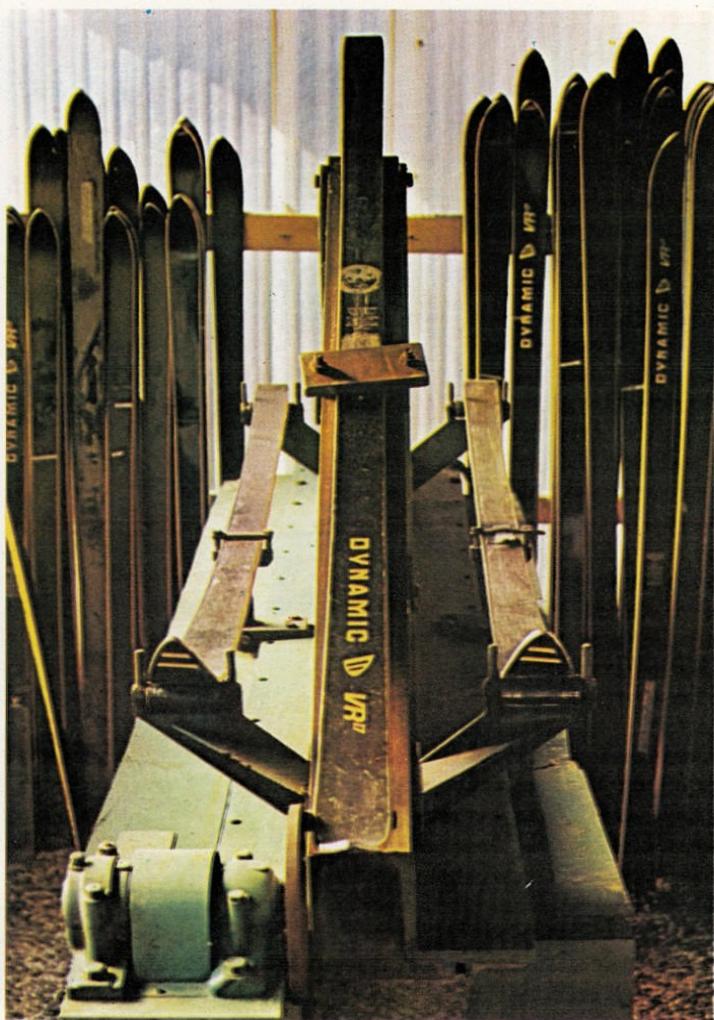
Die ersten verleimten Skier wurden hergestellt, indem man die Holzlaminate miteinander verband, ihnen die richtige Form gab, an beiden Seiten der Laufsohle Metallkanten anschraubte, den Laufsohlenlack auftrug und die Oberfläche lackierte.

Heute allerdings, da sich mehr als zwei Dutzend Hersteller auf einem hartumkämpften Markt um die Gunst der Käufer bemühen, gibt es verschiedene Bauweisen; jede von ihnen hat ihre eigenen Vorteile. Für die Forschung und die Entwicklung technischer Verfahren werden immense Geldsummen aufgewendet. Auch der kleinste Produzent muß für eine Presse, ohne die kein moderner Kunststoffski gebaut werden kann, mehr als DM 30 000 ausgeben.

Am weitesten verbreitet ist die Sandwichbauweise. Über und unter den Kern werden Schichten aus Metall, Glasfaser oder beidem gelegt. Die Dicke des Schichtenpakets (Sandwich) bestimmt das Flexibilitätsverhalten — je dünner es ist, desto flexibler ist der Ski.

Holzkerne werden vorzugsweise aus dem Holz des Hickory-Nußbaumes oder aus Okume, dem Holz eines in Gabun wachsenden Baumes aus der Gruppe der Balsambaumgewächse, hergestellt. Zur Erzielung hoher Verwindungssteifigkeit werden die Lamine stehend miteinander verklebt.

Kerne aus Schaummaterial können vorgeformt sein, so daß



man ihnen nur noch die Sandwich-Teile beigeben muß. Der Schaum kann aber auch in eine Form gespritzt werden, an der die Teile des Schichtenpaketes schon befestigt sind. Das erste Verfahren ermöglicht eine innigere Verbindung der einzelnen Teile. Es erfordert jedoch zwei unterschiedlich gestaltete Formen, wodurch der Herstellungsvorgang verteuert wird.

Ein Verkleben mit Schaummaterial ist schwieriger als ein Verkleben mit Holz. Man verwendet hierzu die besten Epoxydharzkleber; zwischen den Schichten des Sandwichs und dem Kern liegt oft noch eine dünne Gummischicht, mit der man den unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe Rechnung trägt.

Die aus Metall gefertigten Sandwichschichten bestehen aus Zicral, einer sehr festen und leichten Aluminiumlegierung, die vorwiegend in der Luftfahrtindustrie eingesetzt wird. Glasfasermaterial wird in Form eines in einer Richtung verlaufenden Gewebes entweder in Epoxydharz getränkt (dieses 'Naßverfahren' ist ziemlich klebrig und wenig sauber) oder in Form halbfertiger 'vorimprägnierter' Matten eingesetzt. Beim 'nassen' Verfahren findet eine innigere Verbindung mit dem Kern statt. Die Methode, die mit 'vorimprägnierten' Matten arbeitet, wird im allgemeinen für Skier verwendet, bei denen der Schaumstoff eingespritzt wird.

Durch den Einsatz von Glasfasern wird ein Ski normalerweise leichter dirigierbar und 'lebhafter' — allerdings auf Kosten der Langlebigkeit — als bei Metall. In Verbundbauweise (aus Metall und Glasfaser) hergestellte Skier erzielen eine gewisse Ausgewogenheit dieser Eigenschaften.

Das andere weitverbreitete Konstruktionsverfahren arbeitet mit dem durch Tiefenverankerung unterteilten Ski. Um einen vorgeformten Kern aus Holz oder Schaummaterial werden im 'Naßverfahren' Glasfasermatten vollständig gewickelt, so daß ein länglicher Torsionskasten entsteht. Diese z.B. von der Firma Völk angewendete Bauweise ist zwar kostenintensiv und zeitraubend, sie gewährleistet dafür aber hohe Verwindungssteifigkeit, innere Festigkeit und Lebensdauer. Durch unterschiedliche Dicke des Torsionskastens kann die Verwindungscharakteristik des Skis über seine ganze Länge beeinflußt werden, während beim im Sandwichverfahren hergestellten Ski die Torsionseigenschaften über die gesamte Länge gleich sind.

Die Winkelprofil-Stahlkanten werden bei einem in Sandwichbauweise hergestellten Ski oft als konstruktiver Bestandteil mit vorgesehen. Bei anderen Verfahren werden sie in die Presse mit eingelegt oder vorher mit Klebeband am Kern befestigt. Außer bei sehr aufwendigen Skiern bestehen sie aus biegeelastischem Stahl. Für sie findet weicheres Material Verwendung, das sich besser mit den rasiermesserscharfen Kanten versehen läßt, die für sehr präzise Kantenführung erforderlich sind.

Die aus Polyäthylenfolie hergestellte Laufsohle wird auf das Glasfaserlaminat aufgebracht. Die Oberfläche ist meist eine Folie aus ABS-Copolymeren oder aus Phenolharz — letzteres ist weniger spröde, letzteres hat bessere Dämpfungs-eigenschaften. Die Seitenwangen bestehen, außer bei Skiern mit eingespritztem Schaumkern, bei denen das sich ausdehnende Polyurethan bis zur Kante reicht, aus Phenolharzstreifen.

Sind alle Bestandteile zusammengebracht, wird der Rohski in die Presse gelegt, in der er je nach Bauweise und Verklebungsanforderungen zwischen 10 und 45 Minuten bleiben muß. Dort wird er einem hydraulischen Druck zwischen 5  $\text{kN/cm}^2$  und 45  $\text{kN/cm}^2$  ausgesetzt. Anschließend wird der Ski herausgenommen; er durchläuft nun die letzten Fertigungsschritte des Musteraufdruckes (im Siebdruckverfahren), Lackierens und Polierens. Die ideale Skibauweise erzielt den Torsionskasteneffekt durch oben und unten teilweise stehend eingesetzte Glasfaserlamine.

## SKIBINDUNG

Skibindungen müssen so fest sitzen, daß sie den Schuh eines Skiläufers unter allen Schneeverhältnissen auch bei hoher Geschwindigkeit und bei Richtungsänderungen sicher halten. Sie müssen sich aber auch bei starkem Ruck (z.B. bei einem Sturz) sofort öffnen.

Die Mehrzahl der heutigen Skibindungen sind Sicherheitsbindungen, die sich so einstellen lassen, daß sie 'auslösen', d.h. sich öffnen, wenn die auf sie einwirkende Kraft einen bestimmten Grenzwert übersteigt. Da bei einem Sturz große Hebelkräfte auf das Bein des Skiläufers einwirken, sind Sicherheitsbindungen zur Verhinderung von Beinbrüchen und Bänderrissen äußerst wichtig.

### Geschichtlicher Hintergrund

Die ersten Bindungen hat man an Skis gefunden, die an skandinavischen Torflagerstätten ausgegraben wurden. Sie stammen aus prähistorischer Zeit und waren einfache Lederriemen, mit denen die Fußspitzen des Skiläufers auf dem Ski festgehalten wurden. Da zu jener Zeit Skier kein Sportgerät waren, sondern ausschließlich als Transportmittel dienten, mußte der Skiläufer in der Lage sein, für die beim Langlauf typischen Fußbewegungen die Ferse zu heben.

Zu Beginn dieses Jahrhunderts bestand eine Standardbindung aus zwei senkrecht angeordneten Sohlenhaltern (links und rechts neben der Schuhkappe stehende Flansche), durch die ein Lederriemen über den Schuh verlief und ihn festhielt, sowie aus einem federnden Kabel, das vor der Schuhkappe auf dem Ski befestigt war und durch Seitenführungen am Ski unter dem Fußballen hindurch um eine im oberen Teil des Schuhabsatzes liegende waagerechte Kerbe verlief. Die Elastizität des Kabels gestattete ein Heben des Fußes. Man konnte sogar auf einem Ski niederknien, was zur Durchführung des damals üblichen Telemark-Bremschwunges erforderlich war. Diese Elastizität machte die Bindung relativ sicher.

PIN DISPORTS

Da aber Rennskier fester fixiert werden mußten, entwickelte man die Kandaharbindung. Bei ihr wurden die Zehenhalter über den Schuhrand gebogen, womit der Zehenriemen überflüssig und zugleich eine höhere Festigkeit erzielt wurde. Hinter den ursprünglichen Seitenführungen wurden zwei weitere angebracht, so daß die Ferse des Skiläufers fest auf der Bindungsplatte stand. Eine solche Bindung konnte sich beim Sturz höchstens dadurch lösen, daß Schrauben aus dem Holz brachen; sie war also für den Benutzer gefährlich.

Die erste Verbesserung zur Erhöhung der Sicherheit — und damit ein Übergang von der starren Bindung, die den Fuß nicht freigab, zur Auslösebindung, die ihn unter Belastung freigibt — bestand in einer Veränderung am Kabelhalter. Er konnte nun unter Belastung ausgelöst werden, so daß der Skifahrer beim Vorwärtssturz die Ferse heben konnte. Zuvor hatte das Kabel zu einem Vorderfederstrammer mit Endlagen-

RODNEY WRIGHT-WATSON



**Oben:** Eine moderne Sicherheitsbindung, die nach vorn und zur Seite, und zwar mit großer Zuverlässigkeit, auslöst. Zum Öffnen der Fersenautomatik drückt man, wie im Bild gezeigt, mit der Stockspitze auf den Öffnungshebel.

**Oben:** Die Gertschbindung gehört zu den wenigen Sicherheitsbindungen, die unabhängig vom benutzten Schuh zuverlässig öffnen.



**Links:** Detailansicht der Plattensicherheitsbindung vom Typ 'Lange Burt'. Man kann erkennen, wie sich das Seil unter Belastung abrollt. An der Schuhspitze befindet sich eine ähnliche Einrichtung. Sobald die Belastung aufhört, rollt sich das Seil wieder auf, und der Ski federt an den Fuß zurück. Solche Plattensicherheitsbindungen gehören zu den neueren Entwicklungen.

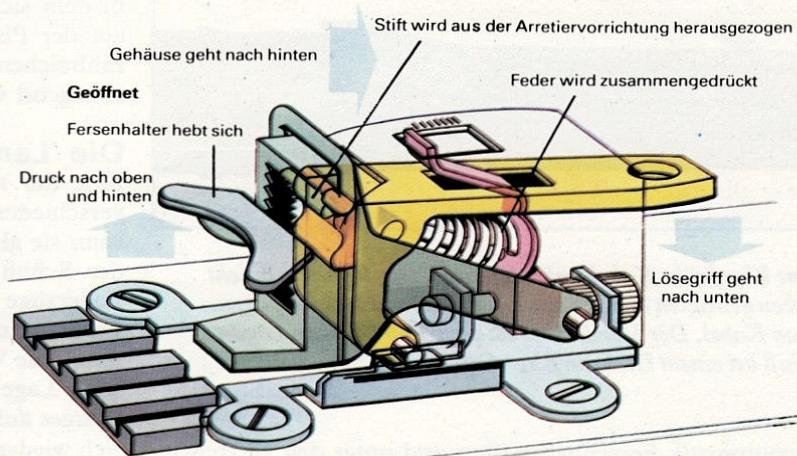
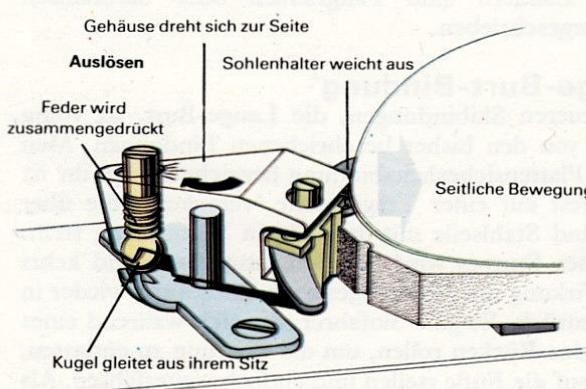
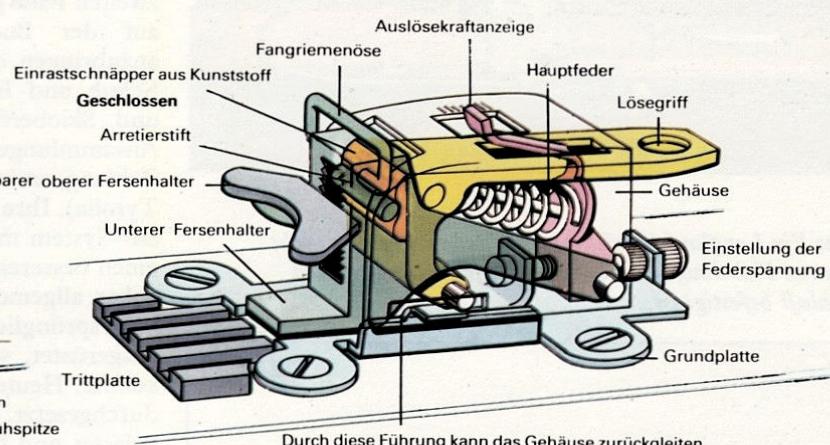
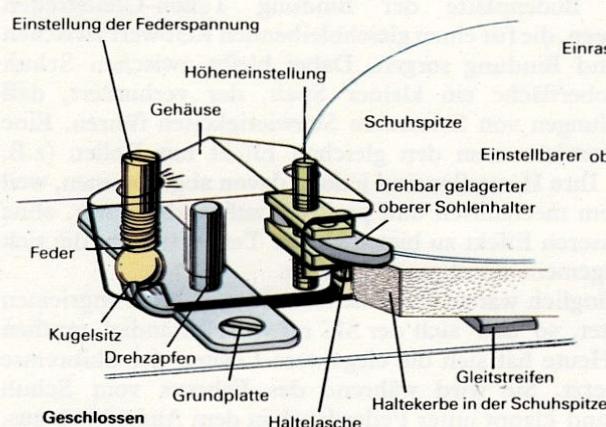
**Unten:** Vorderkopf und Fersenautomatik einer einfachen Auslösebindung mit Kugelverrastung. Der Vorderkopf gibt den Schuh zur Seite (bei Drehstürzen) und die Fersenautomatik nach oben (bei Vorwärtsstürzen) frei. Dariüber hinaus kann die Fersenautomatik gegen den Federdruck nach hinten gleiten, wodurch sich die Federspannung einstellen lässt. Dies gibt dem Schuh die Möglichkeit, um ein geringes Maß nach hinten auszuweichen, wie z.B. beim Herausdrehen aus dem Vorderkopf. Allerdings führt eine Bewegung des Schuhs nach hinten nicht zum Auslösen der Fersenautomatik.

halterung geführt, das heißt: Der Hebel straffte das Kabel, wenn er nach vorne umgelegt wurde, und arretierte es, sobald er über die Mitte des Weges hinaus war. Jetzt wurde der Halter mit einer auf Zug belasteten Schraubenfeder verbunden, die bei Belastung nach hinten nachgeben konnte. Am Ende eines bestimmten (einstellbaren) Weges traf der Halter auf einen Vorsprung, der ihn öffnete.

Bei einem Drehsturz löste eine solche Bindung allerdings nicht aus. Daher brachte der nächste Schritt auf dem Weg zur Sicherheitsbindung eine Zehenhalterung, die unter Belastung seitlich auswich. In einer frühen Form, die von der Firma Marker vorgestellt wurde, bestand diese Halterung aus einem an der Schuhspitze anliegenden Drehkopf mit Kugelverrastung. Es handelte sich dabei um eine dreieckige Metallkonstruktion, die auf einem senkrechten Zapfen drehbar gelagert war und sich somit zur Seite schwenken ließ. An der zum Schuh liegenden Basis des Dreiecks waren zwei kleine Laschen angebracht, die in Aussparungen am Schuhrand paßten, sowie eine Backe, die über den Schuhrand griff und ihn so hielt. Trat nun seitlich am Schuh eine Belastung auf, verschob sich die Basis des Dreiecks zur Seite und gab den Schuh frei. Um diese Bewegung ausführen zu können, mußte der Schuh außerdem ein wenig nach hinten rücken; damit öffnete sich normalerweise auch die Kabelauslösung.

### Moderne Sicherheitsbindungen

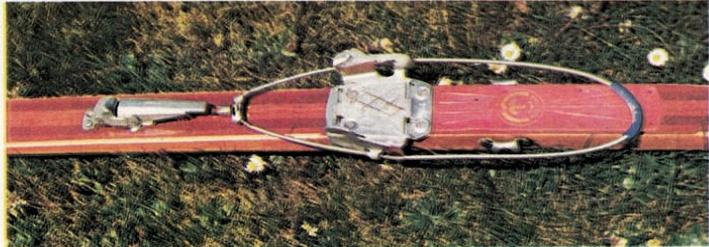
Die früher üblichen Kabelzugbindungen neigten zum Klemmen durch Vereisung. Schon ein Schlag gegen die Seite konnte die Kabelführungen so verbiegen, daß sie nicht mehr frei beweglich waren. In moderne Sicherheitsbindungen mit individuell einstellbarer Auslösekraft kann man den Schuh meist einfach hineinstellen, ohne ihn mit der Hand feststellen zu müssen. Die Vorderköpfe ähneln bei der Mehrzahl der Systeme dem von Marker entwickelten Typ, während bei der





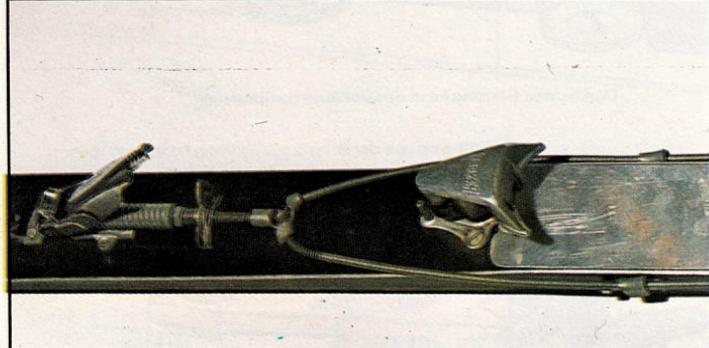
**Oben:** Bindungen aus den ersten Jahren unseres Jahrhunderts. Sie haben Sohlenhalter, bei denen der Schuh von einem Lederriemen, der über die Schuhspitze geführt ist, gehalten wird. An der Ferse haben diese Bindungen statt eines Federdrahtseils auch einen Lederriemen. Die Bindungen an den beiden links gezeigten Skipaaren wurden über Metallverschlüsse geschlossen, während das Paar rechts buchstäblich angeschnallt wurde.

PF HANCOCK



**Oben:** Ein Langlaufski mit Sohlenhaltern und einem nicht dehbaren Kabelzug, der über eine Zugfeder am vorderen Verschluß befestigt ist.

RODNEY WRIGHT-WATSON



**Oben:** Eine frühe Kabelauslösebindung. Der Verschluß sieht dem oben gezeigten ähnlich. Er löst sich aber durch kräftigen Zug am Kabel. Der Vorderkopf ist vom Typ Marker, er gibt den Fuß bei einem Drehsturz zur Seite frei.

Fersenautomatik Fersenhalter über und unter den vorstehenden Rand am Schuhabsatz greifen. Bei einfacheren Systemen kann der Absatz sich nur aufwärts lösen, nicht aber zur Seite.

Will man eine solche Bindung verschließen, stellt man die Schuhspitze unter die Haltebacke am Vorderkopf und senkt die Ferse auf die Bodenplatte der Fersenautomatik. Dadurch wird diese nach unten gedrückt, und der obere Fersenhalter legt sich über den Schuhabsatz. Damit rastet die Bindung ein und lässt sich mit Hilfe eines hinten befindlichen Öffnungshebels wieder lösen.

Eine andere Art der Fersenautomatik, bei der ganz kurze Kabel oder Stangen zu einem hinter der Ferse liegenden Schließmechanismus führen, die sogenannte Drehtellerbindung, hält den Schuh noch fester, weil sie die ganze Ferse umschließt. Erkauft wird dieser Vorteil mit einer kleinen Einbuße an Bequemlichkeit gegenüber Bindungen, in die man einfach 'einstiegt', weil der Skifahrer sich zum Verschließen nach hinten hinabbeugen muss. Dieses System findet sich z.B. bei der Marke 'Compact Rotamat'. Bei einigen Bindungen entspricht die Länge der Trittplatten der Länge der Schuhsohle, wodurch die Trittplatten mit dem Schuh gelöst werden; man bezeichnet sie daher als Plattenbindungen.

Ein gutes Beispiel für eine ausgereifte Sicherheitsbindung mit Vorderkopf und Fersenautomatik ist wohl die Eckel Royal, die erste Bindung mit diagonaler Auslösung. Bei ihr öffnen sich beide Einrichtungen sowohl zur Seite als auch nach oben, und damit löst die Bindung bei Vorwärts-, Rückwärts-, Seitwärts-, Drehstürzen und ihren Kombinationen aus.

### Zubehör

Die freie Beweglichkeit des Schuhs gegenüber dem Ski kann bei einem Seitwärts- oder Drehsturz durch Eis unter der Schuhsohle behindert werden. Vielleicht sitzt auch eine Lage Schnee so zwischen Schuh und Ski, daß die Bindung sich nicht vollständig schließen lässt. Beide Zustände sind gefährlich — im ersten Falle kann die Bindung nicht auslösen, im zweiten Falle geschieht dies vorzeitig. Daher ist es jetzt üblich, auf der Bodenplatte der Bindung Teflon-Gleitstreifen anzubringen, die für einen gleichbleibenden Reibwert zwischen Schuh und Bindung sorgen. Dabei bleibt zwischen Schuh und Skioberfläche ein kleiner Spalt, der verhindert, daß Ansammlungen von Schnee zu Schwierigkeiten führen. Eine Zeitlang erzielte man den gleichen Effekt mit Rollen (z.B. Tyrolia). Ihre Hersteller sind jedoch davon abgekommen, weil das System mechanisch und preislich aufwendiger war, ohne einen besseren Effekt zu bieten als die Teflonstreifen, die sich daher allgemein durchgesetzt haben.

Ursprünglich waren Sicherheitsbindungen mit Fangriemen ausgerüstet, so daß sich der Ski nicht 'selbstständig' machen konnte. Heute hat sich die elegantere Lösung der Skibremse durchgesetzt. Sie wird während des Fahrens vom Schuh belastet und klappt unter Federdruck in dem Augenblick aus, in dem sich der Schuh vom Ski löst. Der Ski bleibt einfach auf der Piste liegen und kann keinen Schaden anrichten. In zahlreichen Ländern sind Fangriemen oder Skibremsen zwingend vorgeschrieben.

### Die 'Lange-Burt-Bindung'

Eine der neueren Skibindungen, die Lange-Burt, ist völlig verschieden von den bisher beschriebenen Bindungen. Man kann sie als Plattensicherheitsbindung bezeichnen. Bei ihr ist der Schuh fest auf einer Trägerplatte 'verankert', die über Federzüge und Stahlseile mit dem Ski in Verbindung steht. Im Falle eines Sturzes wird das Seil ausgezogen und kehrt durch die Wirkung des Federzuges nach Entlastung wieder in seine Lage zurück. Es gibt Skifahrer, die sich während eines Sturzes auf den Rücken rollen, um die Bindung zu entlasten, sich wieder auf die Füße stellen und einfach weiterfahren. Als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme löst sich der Schuhabsatz von der Platte, wenn das Seil vollständig ausgezogen ist.

# SOLENOID

**Solenoide oder Spulenmagnete arbeiten als Schalter, die Schaltkreise, in denen große Ströme fließen, öffnen und schließen, selbst aber mit geringen Strömen angesteuert werden. Auf diese Weise lässt sich der Starter eines Kraftfahrzeugmotors durch Knopfdruck betätigen.**

Das Solenoid ist ein Bauteil der Elektrotechnik, das aus einer einfachen Drahtspule besteht. Die Drahtspule lässt sich beispielsweise durch Wickeln eines Drahtes um einen langgestreckten Zylinder herstellen. Wenn ein Strom durch den Draht fließt, baut sich ein Magnetfeld auf (siehe ELEKTROMAGNETISMUS). Das Feld bewirkt die Bewegung eines Eisenkernes, der sich im Inneren der Spule befindet. Der Eisenkern lässt sich mechanisch mit Luftklappen, Schaltern und anderen beweglichen Bauteilen koppeln, wodurch der Bewegungsvorgang auf bewegliche Bauteile übertragen wird. Das Solenoid ist aus diesem Grunde eine direkte Anwendung des Elektromagneten.

## Anwendungsbeispiele

Die Fähigkeit des Spulenmagneten, starke magnetische Kräfte zu erzeugen, führt zu Anwendungen in Bauteilen, bei denen durch Knopfdruck Startfunktionen erfüllt werden sollen. Die erzeugte Kraft kann so groß sein, daß mit ihr schwer bewegliche Steuerschieber geöffnet oder geschlossen werden können. Die Erregung des Solenoiden erfolgt durch einfachen Knopfdruck. Spulenmagneten dieser Art findet man oft in elektrischen Anlagen von Kraftfahrzeugen, wo sie den Anlasser einschalten.

Auf dem Anlasser befinden sich zwei Spulenmagnete — eine Anzugsspule und eine Haltespule. Innerhalb der beiden

Spulen befindet sich ein beweglicher Tauchkern, der einmal im Bereich gleichförmiger magnetischer Feldstärke liegt und einmal in einem Bereich, in dem die Feldstärke einen Höchstwert besitzt. Das eine Ende des Tauchkerns ist mit einem Hebel verbunden, der das Ritzel des Anlassers zum Schwungrad des Motors ein- und auskuppelt. Das andere Ende des Tauchkerns ist mit einem elektrischen Schaltkontakt verbunden.

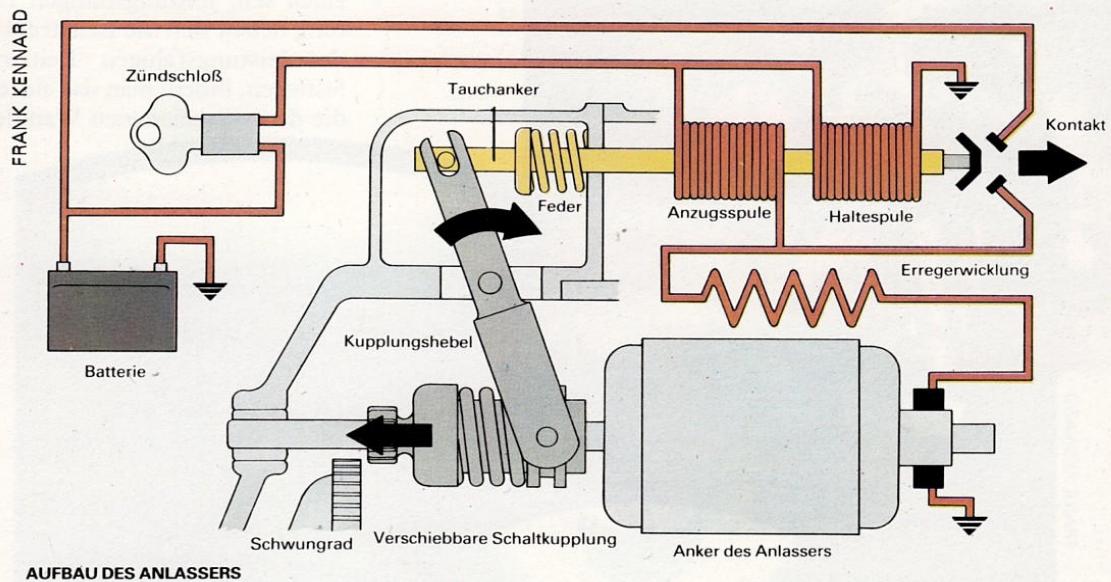
Nach Betätigung der Zündung wird die Anzugsspule erregt und der Tauchkern nach rechts gezogen. Dadurch wird der Anlasser mit dem Schwungrad gekoppelt. Schließt der Tauchkern den Kontakt des Schalters, werden Haltespule und Anlasser erregt; die Anzugsspule wird kurzgeschlossen.

Der Anlaßvorgang läuft deswegen so kompliziert ab, weil die Anzugsspule der Batterie einen größeren Strom entnimmt, als der Tauchkern in der Halteposition benötigt. Die Stromdifferenz wird aber zum Durchdrehen des Anlassers benötigt.

Nachdem das Fahrzeug gestartet und der Zündschalter zurückgesprungen ist, wird die Haltespule stromlos und eine Feder drückt den Tauchkern in seine Anfangsstellung. Dieser Vorgang trennt den Anlassermotor vom Schwungrad des Motors.

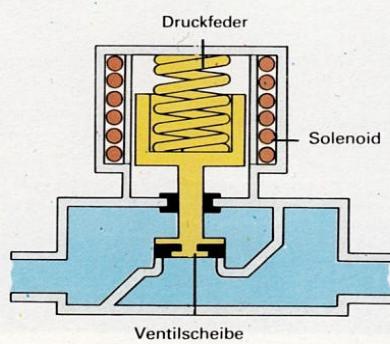
Einen einfachen, mit viel Kraftaufwand zu betreibenden Schalter findet man in Zentralheizungen für Wohn- und Bürogebäude. Dort liefert das Solenoid die Kraft zum Öffnen und Schließen der Rohrventile. Die Klappe ist über eine Stange mit dem Kern des Solenoiden verbunden. Im stromlosen Zustand des Solenoiden drückt eine Feder das Ventil in die Öffnung der Röhre, die Röhre ist geschlossen. Fließt Strom durch die Spule, wird ein Magnetfeld erzeugt, und der Spulenkerne wird mit dem Verbindungsstab zum Ventil in die Spule hineingezogen. Damit gibt das Ventil die Öffnung der Röhre frei. Bei abgeschaltetem Strom drückt die Feder das Ventil zurück; die Öffnung ist wieder verschlossen.

G. A. ROBINSON

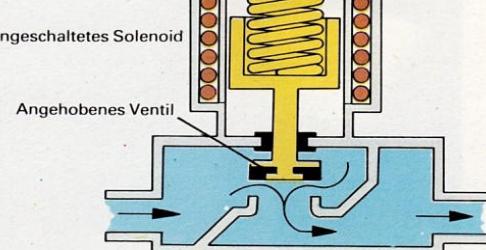


**Oben:** Ein Solenoid betätigt einen Drehschalter mit mehreren Kontakten. Der Elektromagnet schaltet Kontakte mit mechanischen Sperrkliniken.

**Rechts:** Zwei weitere Anwendungsgebiete von Spulenmagneten: Der Anlasser eines Verbrennungsmotors arbeitet mit zwei Solenoiden. Eines zieht über einen Tauchanker die Schaltkupplung an, das andere hält die Anzugsstellung des Tauchankers so lange, wie der Anlassermotor die Maschine dreht.



### SOLENOIDVENTIL



## SONARGERÄT

**Sonargeräte wurden während des Zweiten Weltkrieges zum Orten von Unterseebooten entwickelt. Heute liegt ihre Funktion hauptsächlich darin, auf See Kollisionen zu verhüten bzw. bei Seekriegsführung Unterseeboote und Minen zu orten.**

Sonargeräte (Sound Navigation and Ranging = Navigations- und Entfernungsmeßgerät) nutzen Schallwellen zum Erfassen von Unterwassergegenständen und zum Ausloten der Wassertiefe aus. In der Regel stellt man sich unter Schallwellen eine wellenförmige Ausbreitung eines Tones in dem Medium Luft vor. Schallwellen können sich jedoch auch in flüssigen Medien (Wasser) oder Festkörpern ausbreiten. Sendet man von einem Schiff eine Schallwelle in Richtung des Meeresbodens aus, kann man sich durch Erfassen der Echowelle ein Bild über die Struktur des Meeresbodens machen.

Man sendet mit Hilfe eines am Schiffsdeck installierten Wandlers — er wandelt elektrische Energie in andere Energieform (z.B. Schallenergie) um — Schallpulse aus. Die ausgestrahlten Frequenzen liegen im Hör- oder Ultraschallbereich. Der Schallimpuls breitet sich im Wasser so lange aus, bis er beispielsweise auf den Meeresgrund oder auf ein anderes Objekt unter Wasser (z.B. Eisberg) trifft. Der Schallimpuls wird dann in Richtung der Schallquelle reflektiert. Dieses Signal wird von einem zweiten Wandler empfangen. Es wird die Zeitdifferenz zwischen Aussenden und Empfangen des Schallsignals bestimmt. Aus der Kenntnis der Schallgeschwindigkeit in Wasser (etwa 1500 m/s, etwa vierfache Schallgeschwindigkeit in Luft) kann die Entfernung des Objektes bestimmt werden, das das Schallsignal reflektiert hat.

Je nach Sonargerät liegt die Impulsbreite des Schalles zwischen einigen Tausendstel und einigen Sekunden. Je weiter die Entfernung des zu ortenden Gegenstandes ist, um so größer ist die Impulsbreite. Die Zeitabstände zwischen den einzelnen Impulsen betragen, wieder in Abhängigkeit der Entfernung, Bruchteile einer Sekunde, Sekunden oder sogar Minuten. Ein typisches Sonargerät auf einem Schiff verwendet zur Navigation zwei Schallsignale. Ein kürzeres misst Entferungen bis zu 6 m, ein längeres Tiefen bis zu 200 m oder mehr.

Das Zeitintervall — und somit die Entfernung — kann gemessen werden, indem man eine Neonröhre auf eine sich drehende Scheibe installiert. Die Neonröhre leuchtet auf, wenn das Echo empfangen wird. Die Scheibe rotiert mit konstanter Geschwindigkeit. Beim Aussenden des Schallsignals befindet sich die Neonröhre auf einer Nullmarke. Wird das Echolot auf 200 m Entfernung eingestellt, zeigt die Marke nach einer vollen Umdrehung der Scheibe 100 m an, da das Signal ja einen Hin- und Rückweg hatte. Bei manchen Geräten verwendet man einen rotierenden Stift, der beim Erkennen eines Signales eine Markierung auf Papier bringt. Bei anderen Geräten wiederum wird zur Anzeige eine Kathodenstrahlröhre zur Anzeige verwendet. Alle Handels- und Kriegsschiffe haben heute Sonargeräte an Bord. Im einfachsten Falle bestimmen sie nur die Wassertiefe. Fischereischiffe verfügen über Sonargeräte, die Ort und Tiefe, in denen sich Fischschwärme bewegen, anzeigen. Marine- und Forschungsschiffe sind mit Sonargeräten ausgerüstet, die leistungsfähiger, jedoch auch komplexer sind. Die Schallpulse werden als enges Strahlenbündel mit Hilfe mechanischer Hörner in ähnlicher Weise ausgestrahlt wie bei Richtfunkstrecken.

Die Strahlenbündel lassen sich auch erzeugen, wenn man eine Reihe von Wandlern längs des Schiffsdeckens anordnet. Obgleich jeder Wandler Signale in alle Richtungen aussendet, interferieren die einzelnen Strahlen.

In der einen Richtung addieren sich die Signale und bilden einen sehr leistungsfähigen Leitstrahl. In der anderen Richtung heben sich die Leitstrahlen gegenseitig auf. Die Richtung des leistungsfähigen Leitstrahles lässt sich sehr einfach festlegen, indem man das elektrische Zeitverhalten der Signale, die den verschiedenen Wandlern zugeführt werden, ändert.

**Links oben:** Während des Zweiten Weltkrieges waren Schiffe ständig der Gefahr eines U-Bootangriffs ausgesetzt. Sonargeräte waren ein wichtiges Hilfsmittel zum Orten von Unterseebooten. Hier ein Sonargerät, das auf einem Begleitschiff eines Konvois der Alliierten im Jahre 1943 eingesetzt wurde.

**Links:** Eine Fledermaus stößt Schreie aus, die eine Frequenz von 100 000 Hz haben können. Das Echo der Fledermauschreie enthält Informationen für die Fledermaus, ob sich ein Tier oder ein Gegenstand in der Flugbahn befinden oder nicht, wie groß dieses Objekt ist, wie weit es entfernt ist, usw.

**Rechts oben:** Sonargerät mit Anzeige auf einer Kathodenstrahlröhre auf der Brücke des Schiffs 'Kirkella'.

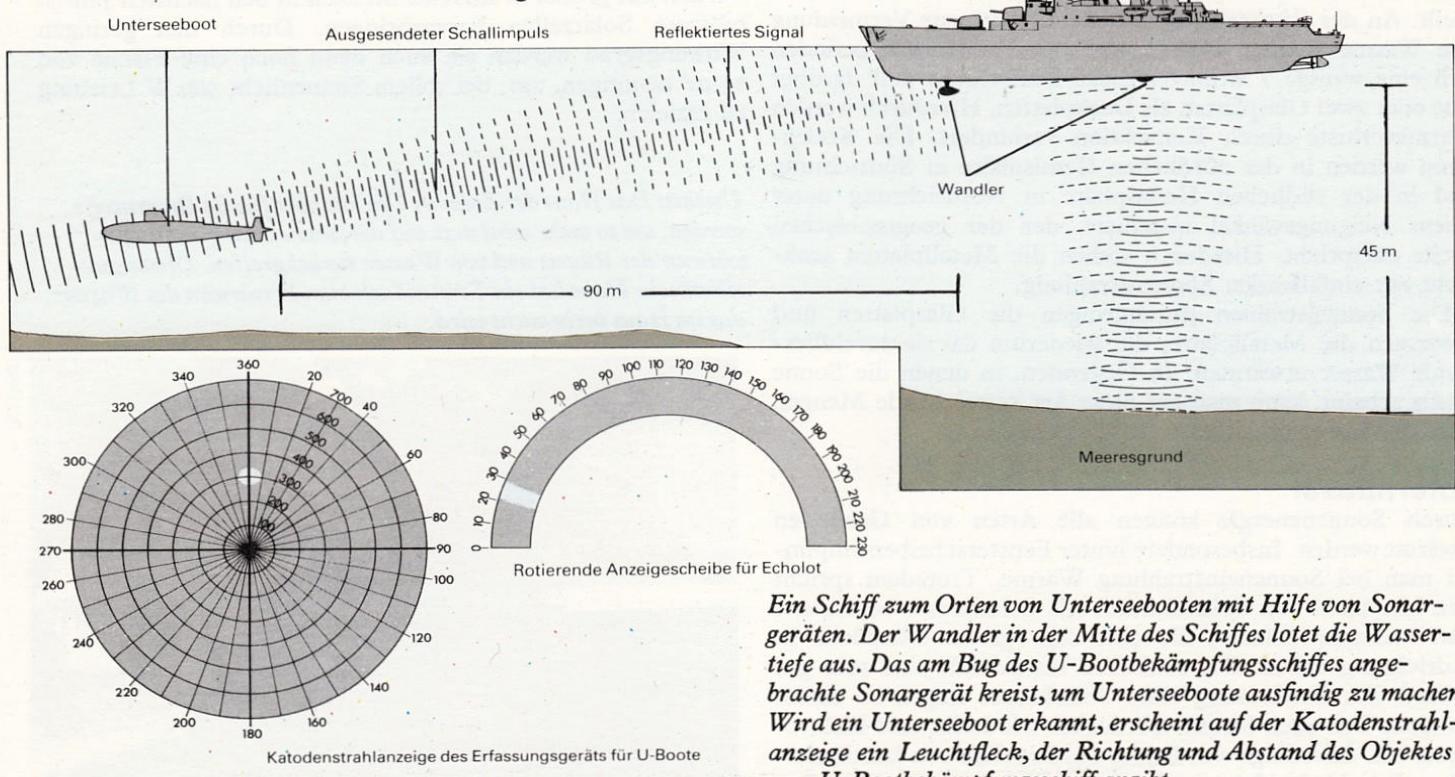




Die Entfernung, die Schallwellen in Wasser erreichen können, ist begrenzt. Es ist ein allgemein übliches Verfahren der Marine, Hubschrauber einzusetzen, die die Schallquelle bis unter die Wasserfläche hinablassen. Hubschrauber werden auch zum Auslegen von Bojen verwendet. Diese Bojen sind z.B. mit Mikrofonen ausgestattet, die jedes reflektierte Signal an den Hubschrauber oder an ein in der Nähe befindliches Schiff übermitteln. In den sechziger Jahren wurden extrem leistungsfähige Wandler, die Millionen von Watt Schallenergie ausstrahlten, am Rand des kontinentalen Schelfs entlang der Küste Nordamerikas installiert, um weit entfernte U-Boote orten zu können. Sonargeräte auf dem Meeresboden, auf Schiffen oder in Hubschraubern können auch passiven Typs sein, d.h. es wird kein Schallsignal ausgesendet. Stattdessen erfassen die Wandler Schallwellen, die von Maschinen, vom Propeller oder von anderen Schallquellen eines getauchten Unterseebootes kommen. Der derzeitige Nachteil von

Sonargeräten liegt darin, daß man selbst mit hochentwickelten Geräten kein detailliertes Bild des erfaßten Objektes erhalten kann. Wissenschaftliche Untersuchungen deuten darauf hin, daß die Bildaufnahme eines Tages möglich sein wird, und zwar dann, wenn man die HOLOGRAPHIE mit der Sonartechnik koppelt.

Wie schon oben besprochen, kann ein leistungsfähiger Schallimpuls erzeugt werden, wenn man mehrere Wandler hintereinander anordnet. Die Anzahl der möglichen Wandler ist durch die Schiffslänge begrenzt. Diese Begrenzung kann vermieden werden, indem man einen Wandler verwendet, der über einen längeren Zeitpunkt Schallwellen aussendet. Zur gleichen Zeit legt das Schiff z.B. 300 m zurück. Ob man in einem Schiff auf einer Länge von 300 m Wandler anbringt oder mit einem Wandler das Schiff 300 m fahren läßt — die Wirkung ist die gleiche.



Ein Schiff zum Orten von Unterseebooten mit Hilfe von Sonargeräten. Der Wandler in der Mitte des Schiffes lotet die Wassertiefe aus. Das am Bug des U-Bootbekämpfungsschiffes angebrachte Sonargerät kreist, um Unterseeboote aufzufinden. Wird ein Unterseeboot erkannt, erscheint auf der Kathodenstrahlanzeige ein Leuchtfeuer, der Richtung und Abstand des Objektes vom U-Bootbekämpfungsschiff angibt.

## SONNENENERGIE

Die auf der Erde vorkommenden natürlichen Energiequellen (z.B. Kohle und Erdöl) werden in einigen Jahrzehnten versiegt sein. Bei der Suche nach anderen Energiequellen bietet sich neben der nicht unproblematischen Kernenergie die Sonnenenergie als Alternative an.

Die Sonne liefert durch Kernverschmelzung fortwährend eine Energiemenge von  $3,8 \cdot 10^{20}$  MW (380 Millionen Millionen Millionen Megawatt). Nur ein kleiner Teil dieser ungeheuren Energiemenge erreicht die Erde. Außerdem ändert sich die Intensität der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit der Jahreszeiten, der Tageszeiten und der Bewölkung. Die maximale Sonneneinstrahlung beträgt am Mittag eines klaren Tages etwa 1 000 MW/km<sup>2</sup>. Die höchste mittlere Sonneneinstrahlung (auf das Jahr bezogen) hat man in den tropischen Wüsten. Am Äquator liegt der Wert wegen der hohen Luftfeuchte etwas niedriger. Die Einstrahlung an Sonnenenergie auf die Erde in einem Zeitraum von zwei Wochen entspricht den derzeitigen Energiereserven in Kohle, Erdöl und Erdgas.

Um viel Sonnenenergie einfangen zu können, benötigt man riesige Sonnenkollektoren, die heute noch sehr teuer sind. Nehmen jedoch die Verknappung (und entsprechend die Kosten) von Kohle oder Erdöl zu, und werden für die Solarzellen die Technologien verbessert, so daß die derzeitigen Preise sinken, steht mit der Sonne eine unerschöpfliche Energiequelle zur Verfügung.

### Aufwärmen von Wasser

Fällt Sonnenenergie auf einen schwarzen Gegenstand, wird er durch die Absorption von Lichtstrahlen erwärmt. Auf diese Weise läßt sich Strahlungsenergie in Wärmeenergie umwandeln. Eine derzeit verbreitete Anwendung der Sonnenenergie, die durch Einfangen der Einstrahlung mittels Sonnenkollektoren erhalten wird, ist das Aufwärmen von Wasser in Haushalten. In Japan, Israel und Australien werden viele Millionen dieser Sonnenkollektoren verwendet. Sie bestehen aus einer geschwärzten Metallplatte. Unterhalb der Metallplatte verlaufen Rohre, durch die das zu erwärmende Wasser fließt. An der Rückseite ist die Metallplatte zur Vermeidung von Wärmeverlusten isoliert. Vor der Metallplatte befinden sich eine wenige Zentimeter dicke Luftsicht und darüber eine oder zwei Glasplatten als Deckplatten. Hierdurch werden Wärmeverluste durch Konvektion verhindert. Die Kollektoren werden in der nördlichen Hemisphäre in Südrichtung und in der südlichen Hemisphäre in Nordrichtung unter einem Neigungswinkel installiert, der der geographischen Breite entspricht. Hierdurch stehen die Metallplatten senkrecht zur einfallenden Sonnenstrahlung.

Die Sonnenstrahlen durchdringen die Glasplatten und erwärmen die Metallplatte, die wiederum das sie durchfließende Wasser erwärmen. In Gegenden, in denen die Sonne häufig scheint, kann man auf diese Art ausreichende Mengen warmes Wasser erhalten.

### Solarhäuser

Durch Sonnenenergie können alle Arten von Gebäuden erwärmt werden. Insbesondere hinter Fensterscheiben empfindet man bei Sonneneinstrahlung Wärme. Trotzdem spricht man hier nicht von Solarhäusern. Als Solarhäuser bezeichnet man vielmehr Häuser, die eine sehr große Glasfläche in Südrichtung haben. Die restlichen Hauswände sind sehr gut isoliert. Zur Erwärmung eines Solarhauses tragen zu einem gewissen Teil auch Stromverbraucher wie Licht und Elektrogeräte bei. Allerdings wurde hier das Problem von kontinuierlicher Frischluftzufuhr noch nicht befriedigend gelöst. Das

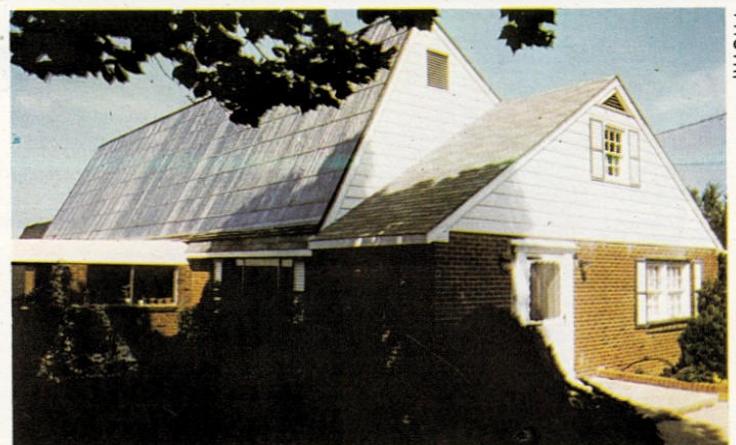
'Centre National de la Recherche Scientifique' (französische Forschungsbehörde) hat eine interessante sonnenbetriebene KLIMAANLAGE für Gebäude (siehe ENERGIE) entwickelt. Jedes Gebäude hat eine schwarz angestrichene Südwand, die Wärmeenergie absorbiert. Darüber befindet sich eine Glaswand. Die Sonnenstrahlen durchdringen das Glas und erwärmen die Hauswand und somit die zwischen Glas- und Gebäudewand eingeschlossene Luft. Durch Lufteinlaßöffnungen kann die erwärmte Luft in das Innere des Gebäudes gelangen und die Räume aufheizen. Im Sommer kann man mit dieser Energie eine Klimaanlage betreiben. Da die schwarze Wand die Wärmeenergie speichert, arbeitet das System auch bei Dunkelheit oder Bewölkung.

### Elektrizitätsgewinnung

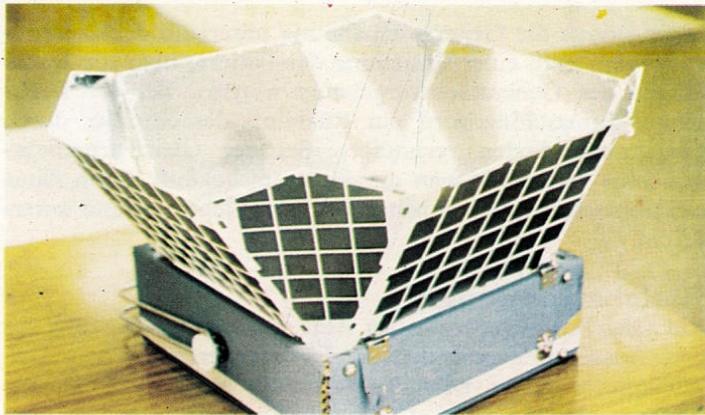
Die Notwendigkeit, die elektrische Energieversorgung in Satelliten zu gewährleisten, führte in den fünfziger Jahren zur Entwicklung der Solarzelle durch die Forschungslabatorien der Firma Bell Telephone, USA. Diese Halbleiterbauelemente werden aus einkristallinem Silicium hergestellt. Sie erzeugen durch Bestrahlung mit Licht elektrische Energie. Ihre spektrale Empfindlichkeit liegt in dem Bereich von 400 nm bis 1 100 nm (Nanometer = 1 Milliardstel Meter). Der sichtbare Bereich liegt zwischen 400 nm und 800 nm. Der Wirkungsgrad für die Energieumwandlung liegt bei Solarzellen weit unter 50%. Der beste bisher erzielte Wirkungsgrad beträgt 18%. Die restlichen 82% gehen in Form von Wärmeenergie verloren.

Solarzellen bestehen aus einem einkristallinen Siliciumplättchen, das mit Bor (dreiwertiges Element) und Arsen (fünfwertiges Element) dotiert ist. Hierdurch entsteht ein PN-Übergang. Fallen in die sich ausbildende Raumladungszone Lichtquanten (Photonen) ein, brechen sie dort chemische Bindungen auf. Es entstehen Elektronen (negative Ladungsträger) und Defektelektronen (positive Ladungsträger), die zur N- bzw. P-Schicht wandern, d.h. es fließt ein elektrischer Gleichstrom. Solarzellen können keine elektrische Energie speichern, weshalb man die erzeugte elektrische Energie Batterien zuleitet. Solarzellen sind heute noch zu teuer, um weite Verbreitung zu finden. Andere Fertigungsmethoden werden mit großer Wahrscheinlichkeit in den nächsten Jahren billigere Solarzellen hervorbringen. Durch den geringen Wirkungsgrad werden sie auch dann noch eine Fläche von  $2\frac{1}{2}$  m<sup>2</sup> benötigen, um bei vollem Sonnenlicht 500 W Leistung zu erzielen.

**Unten: Das Haus der Zukunft?** Je knapper fossile Brennstoffe werden, um so mehr wird man auf die Sonnenenergie zum Erwärmen der Räume und von Wasser zurückgreifen. Dieses amerikanische Haus hat ein Sonnendach zum Erwärmen des Wassers, das im Haus verbraucht wird.



PHOTRI



**Oben:** Die reflektierenden Oberflächen dieses tragbaren Ofens bündeln Sonnenenergie in ihrem Brennpunkt.

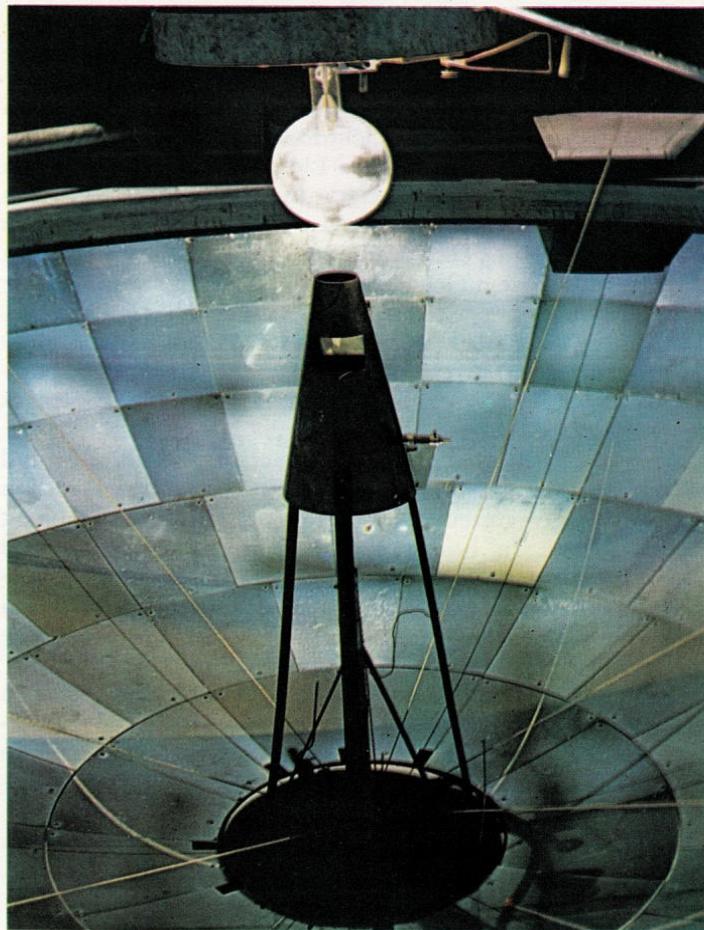
DAILY TELEGRAPH COLOUR LIBRARY



**Oben und rechts:** Zwei verschiedene Ansichten des Sonnenofens in Odeillo, Pyrenäen. Die im Bild rechts zu sehenden 9 000 Spiegel bilden einen nach Norden zeigenden Parabolspiegel, in dessen Brennpunkt sich der Schmelzofen befindet. (Nahaufnahme des Schmelzofens im Bild oben.) Auf dem gegenüberliegenden Berg (nicht abgebildet) befinden sich 11 000 Planspiegel, die die Sonnenstrahlen auf den Parabolspiegel reflektieren. In wenigen Minuten ist der Schmelzofen, der keine Umweltverschmutzung erzeugt, auf 3 300° C erhitzt.



**Unten:** Moderne Laboratorien verwenden Parabolspiegel zur Erzeugung hoher Temperaturen zu niedrigen Kosten. Dieser 'Sonnenofen' steht in der Universität von New South Wales in Australien.



PHOTOGRAPHIC LIBRARY OF AUSTRALIA

KEYSTONE PRESS

## SPANNUNGSREGLER

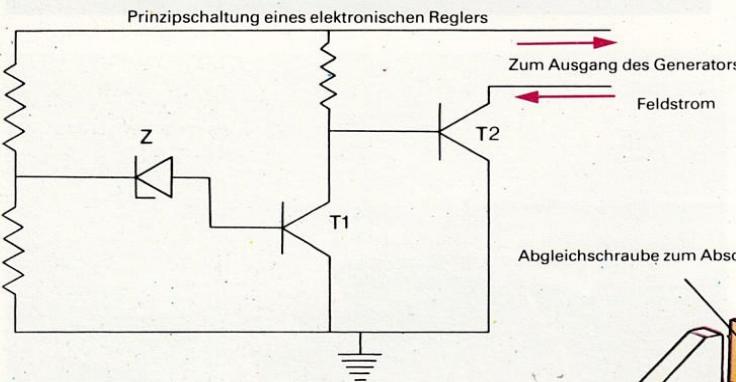
Spannungsregler dienen beispielsweise im Auto zur Aufrechterhaltung des Leistungsvermögens der Batterie. Sinkt die Spannung der Batterie, lässt der Spannungsregler einen größeren Ladestrom fließen. Ist die Spannung groß genug, sorgt er für eine Verringerung des Ladestromes.

Der Ausgangstrom einer Lichtmaschine steigt mit zunehmender Drehzahl des Motors. Lichtmaschinen arbeiten in Kraftfahrzeugen als Generator. Ihr Antrieb erfolgt vom Motor. Die Drehgeschwindigkeiten können von 1 000 U/min im Stand bis zu 15 000 U/min bei Höchstgeschwindigkeiten reichen. Aus diesem Grunde muß die Ausgangsspannung der Lichtmaschine geregelt werden, denn der Akkumulator des Fahrzeugs — er wird gemeinhin als BATTERIE bezeichnet — sollte sich immer in einem ausreichenden Ladezustand befinden, damit die elektrische Stromversorgung des Fahrzeugs gewährleistet bleibt.

Man kennt zwei Arten von Generatoren: Gleich- und Wechselstromgeneratoren. Sie werden nach verschiedenen Regelsvorgängen gesteuert. Das Prinzip ihrer Regelung bleibt jedoch gleich. In beiden Fällen sinkt der Feldstrom des Generators, wenn die Spannung steigt. Der Feldstrom vergrößert sich, wenn die Spannung sinkt. Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Reglern anwenden: elektromagnetische Regler oder elektronische Regler.

Bei Gleichstromlichtmaschinen im Auto verwendet man elektromagnetische Regler; bei entsprechenden Wechselstromlichtmaschinen — sie sind als Drehstromgeneratoren ausgeführt — werden vorwiegend elektronische Regler eingesetzt.

Ist die Drehzahl der Lichtmaschine hoch genug, fließt ein Strom in die Verbraucher des Fahrzeugs oder in die Batterie.



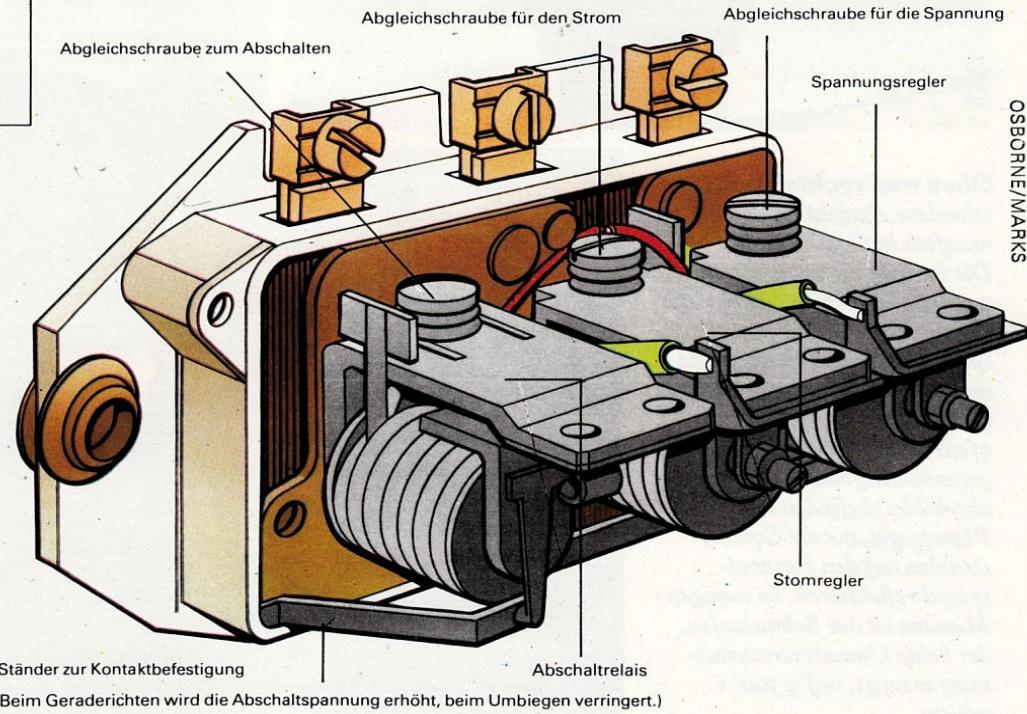
*Elektromagnetische Spannungsregler müssen bei Gleichstrommaschinen drei Relais enthalten, damit optimale Bedingungen zur Aufladung der Batterie geschaffen werden können. Drehstromlichtmaschinen brauchen nur Gleichrichterdiode (im Bild nicht zu sehen) und eine elektronische Steuerung des Feldstromes. Fällt die gleichgerichtete Wechselspannung ab, werden Z-Diode und Transistor T nichtleitend. Erhöht sich die Basisspannung am Transistor T, vergrößert sich der Feldstrom und damit die Ausgangsspannung.*

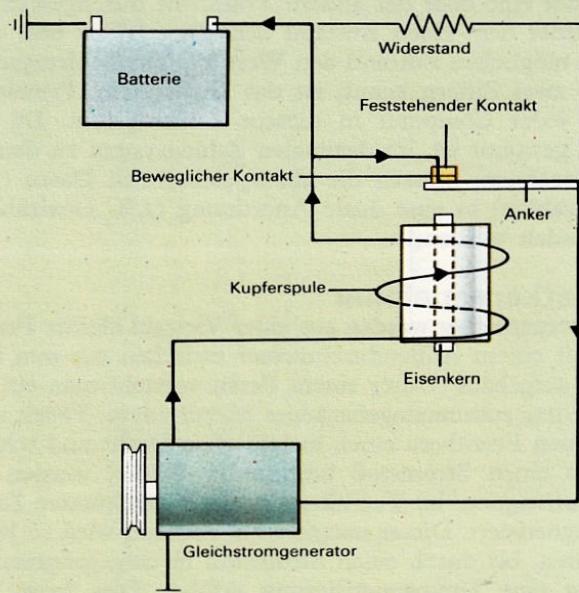
Liegt jedoch die Generatorenspannung unterhalb der Batteriespannung, muß einer Entladung der Batterie über die Wicklungen des Generators vorgebeugt werden. Bei der Drehstromlichtmaschine wird ein Rückfluß des Stromes durch Gleichrichterdioden verhindert. Bei der Gleichstromlichtmaschine verhindert man diesen Stromrückfluß durch einen elektromechanischen Schalter, der die Lichtmaschine unterbricht.

### Gleichstromregler

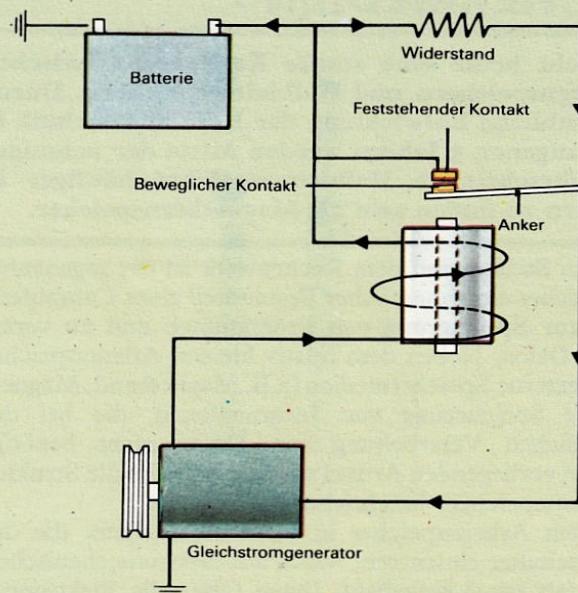
Ein Gleichstromgenerator im Auto muß eine Steuerung für den Ausschalter und den Regler besitzen. Für den Ausschaltmechanismus wird die Wicklung eines elektromechanischen RELAIS mit den Ausgangsklemmen der Lichtmaschine als Nebenschluß verbunden. Das Relais besitzt zwei Kontakte, die normalerweise durch Federdruck getrennt sind. Einer dieser Kontakte ist an die Batterie angeschlossen, der andere liegt an einer Anschlußklemme der Lichtmaschine. Bei ausreichender Generatorenspannung schließen die Relaiskontakte, d.h. es fließt ein Ladestrom vom Generator zur Batterie. Um die Relais-Nebenschlußspule ist eine weitere Spule gewickelt, die elektrisch in Reihe mit Batterie und Lichtmaschine geschaltet ist. Sie unterstützt die Relaispule und hält zusätzlich die Kontakte geschlossen; auf diese Weise kann während des Stromflusses kein 'Flattern' der Kontakte entstehen. Fällt die Spannung der Lichtmaschine ab, versorgt die Batterie kurzzeitig die Lichtmaschine mit Strom. Das magnetische Feld der Reihenspule liegt nun entgegengerichtet zum Feld der Relais-Nebenschlußspule; die Kontakte öffnen und somit wird einer Entladung der Batterie vorgebeugt.

Als Spannungsregler arbeitet ein weiteres elektromagnetisches Relais, das an die Ausgangsklemmen der Lichtmaschine angeschlossen ist. Die Kontakte dieses Relais regeln die Einspeisung des Generatorfeldes und sind normalerweise geschlossen. Wenn die Spannung ansteigt, zieht das Relais den Anker an, die Kontakte werden getrennt, und der Feldkreis wird unterbrochen. Die erzeugte Spannung beginnt sofort abzufallen, der Relaisanker wird wieder freigegeben, und die Kontakte sind wieder geschlossen. Dieser Vorgang verläuft sehr schnell, im Schnitt 40- bis 60mal in der Sekunde. Die von der Lichtmaschine erzeugte Spannung wird auf diese Weise um einen vorbestimmten Wert geregelt. Dieser Wert





*Funktionsprinzip eines Spannungsreglers: Bei geschlossenen Kontakten fließt der Strom durch die Spule und kehrt zur Feldspule zurück.*



*Die steigende Spannung magnetisiert den Eisenkern und zieht die Kontakte auseinander. Der Strom wird über den Widerstand geleitet.*

ist abhängig von der mechanischen Vorspannung des Kontaktfederatzes.

Besitzt die Batterie einen niedrigen Ladezustand, könnte der erzeugte Ladestrom so groß sein, daß die Drahtwicklungen der Lichtmaschine beschädigt werden. Um einem Schaden vorzubeugen, bieten sich alternativ zwei Verfahren der Regelung an. Ein Verfahren benutzt wieder eine zusätzliche Reihenspule, die um die Nebenschlußspule des Reglers gewickelt ist. Fließt nun ein starker Ladestrom durch die Spule, unterstützt sie den Öffnungsvorgang der Kontakte und verringert die Regelspannung, wodurch wiederum der Stromfluß verkleinert wird.

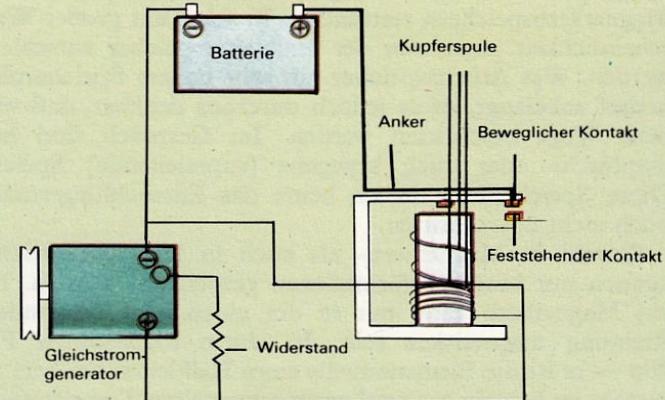
Bei dem anderen Verfahren wird in Reihe zu den vorhandenen Kontakten ein weiterer Kontaktsatz gelegt. Diese Kontakte werden von einem Elektromagneten, der vom Ladestrom aktiviert wird, angesteuert. Fließt nun ein großer Ladestrom, öffnen erst die stromgesteuerten und dann die spannungsgesteuerten Kontakte. Die Generatorenspannung verringert sich bis zu einem unteren Schwellenwert.

### Regelung der Drehstromlichtmaschine

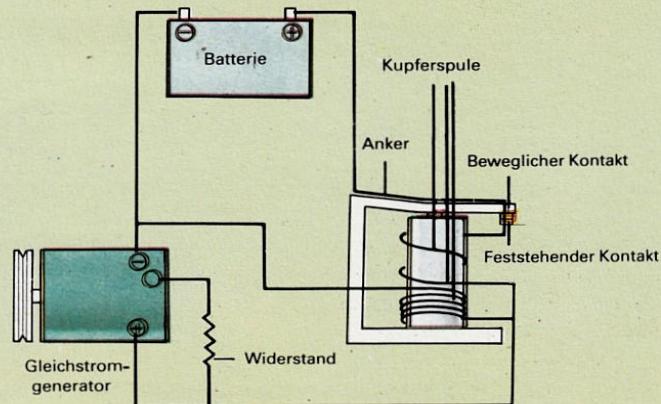
Die Drehstromlichtmaschine ist als selbstregelnder Generator bekannt. Dies bedeutet: Bei einer gegebenen Spannung wird der Strom begrenzt, der Vorgang findet innerhalb der Maschine statt. Die Begrenzung wird schon während der Konstruktionsphase festgelegt, weshalb keine strombegrenzenden Bauteile zur Regelung benötigt werden. Hinzu kommt, daß am Ausgang der Drehstromlichtmaschine Gleichrichterdioden angeordnet sind, die einen Stromfluß nur in einer Richtung zulassen; auf diese Weise erübrigt sich ein Abschalter. Die Drehstromlichtmaschine benötigt also nur eine Spannungsregelung.

Der elektronische Regler, wie man ihn als Baugruppe in der Drehstromlichtmaschine zumeist eingebaut findet, enthält einen Transistor, der den Feldstrom und den Regelungskreis schaltet.

Die erzeugte Spannung der Lichtmaschine wird dem Regelkreis zugeführt, der mindestens einen Transistor, der den Basisstrom des eigentlichen Stromsteuertransistors der Lichtmaschine bereitstellt, enthält. Im Basiskreis des Vortransistors liegt eine Z-Diode (Halbleiterdiode, die im Sperrbereich arbeitet), die nur dann leitend wird, wenn ihre Sperrspannung einen vorbestimmten Wert erreicht. Wird diese Spannung



*Das Abschalten funktioniert ähnlich: die Kontakte werden auseinandergedrückt und unterbrechen den Stromkreis zur Batterie.*



*Beim Einschalten dreht sich der Generator und durch die Spule fließt Strom. Die Kontakte und der Stromkreis schließen sich.*

erreicht, öffnet der Diodenstrom den Vortransistor, und der Basisstrom des folgenden Stromsteuertransistors wird nach Masse abgeleitet. Der Feldstrom der Lichtmaschine muß nun kleiner werden. Der Feldstrom geht so lange zurück, bis die Diodenspannung wieder kleiner als die vorgegebene Durchbruchspannung der Z-Diode ist (Durchbruchspannung = der Spannungswert, bei dem die Diode leitend wird).

## SPEICHERMEDIEN

Es herrscht heute eine starke Konkurrenz zwischen Magnetkernspeichern und Halbleiterspeichern. Durch die unglaubliche Entwicklung der Halbleitertechnik in den vergangenen 5 Jahren werden Mitte der achtziger Jahre wahrscheinlich Halbleiterspeicher häufiger in Computern zu finden sein als Magnetkernspeicher.

Neben dem Steuer- und dem Rechenwerk ist der sogenannte Arbeitsspeicher ein wesentlicher Bestandteil eines Computers. Er dient zur Speicherung von Programmen und zu verarbeitenden Daten. Neben dem relativ kleinen Arbeitsspeicher existieren externe Speichermedien (z.B. Magnetband, Magnetplatte) zur Speicherung von Informationen, die bei der augenblicklichen Verarbeitung von Daten nicht benötigt werden. Im vorliegenden Artikel wird die prinzipielle Struktur eines Arbeitsspeichers beschrieben.

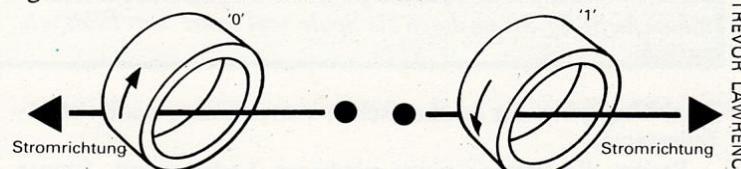
Die ersten Arbeitsspeicher in Rechenmaschinen, die das Computerzeitalter einleiteten, waren aus elektromechanischen Bauteilen (ab 1934) aufgebaut. Ihnen folgte die Elektronenröhre (ab Mitte 1940), und Mitte 1950 wurde der Magnetkernspeicher eingeführt, den man auch heute noch in Großcomputern antrifft. In den nächsten Jahren wird jedoch ein Wettlauf zwischen hochintegrierten Halbleiterspeichern und Magnetkernspeichern stattfinden. Er wird mit großer Wahrscheinlichkeit zugunsten der Halbleiterspeicher entschieden werden. Was Arbeitsspeicher mit sehr hohem Speicherplatzbedarf anbelangt, ist es jedoch durchaus denkbar, daß völlig neue Wege beschritten werden. Im Gespräch sind holographische oder auch kryogene (supraleitende) Speicher. Diese Speicherarten haben heute das Entwicklungsstadium noch nicht überschritten.

Sowohl in Magnetkern- als auch in Halbleiterspeichern können nur binäre Informationen gespeichert werden. D.h. ein Magnetkern kann nur in der einen oder der anderen Richtung magnetisiert sein. In einem sogenannten Flipflop — es ist die Elementarzelle eines Halbleiterspeichers und besteht im Prinzip aus zwei gegengekoppelten Transistoren —

ist nur der eine oder der andere Transistor durchgeschaltet. Man ordnet dem einen Zustand den Wert '1' zu und dem anderen möglichen Zustand den Wert '0'. Ein Zahlensystem, das nur zwei Ziffern kennt, ist das Dualsystem. Prinzipiell arbeitet jeder Computer in diesem Zahlensystem. Da der Mensch gewohnt ist, im dezimalen Zahlensystem zu denken und zu rechnen, müssen die abzuspeichernden Daten (z.B. Dezimalzahlen) in eine duale Anordnung (z.B. Dualzahlen) umgewandelt werden.

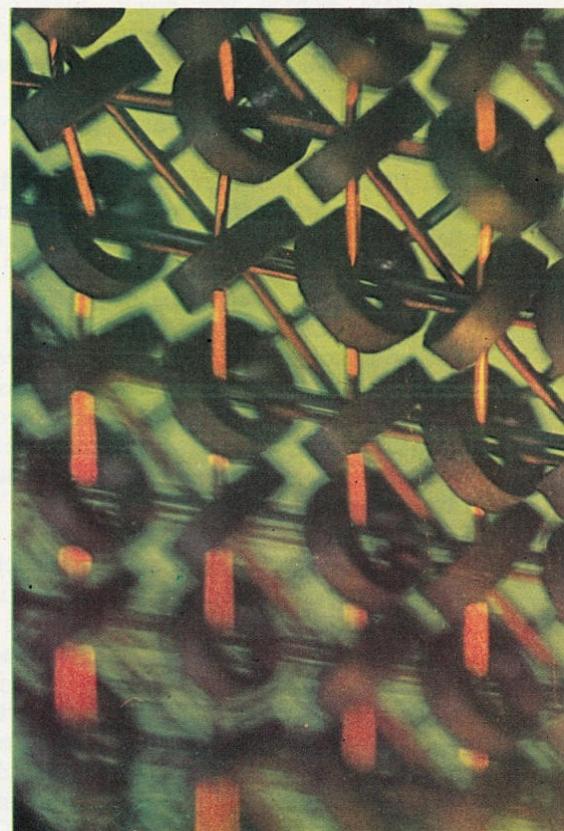
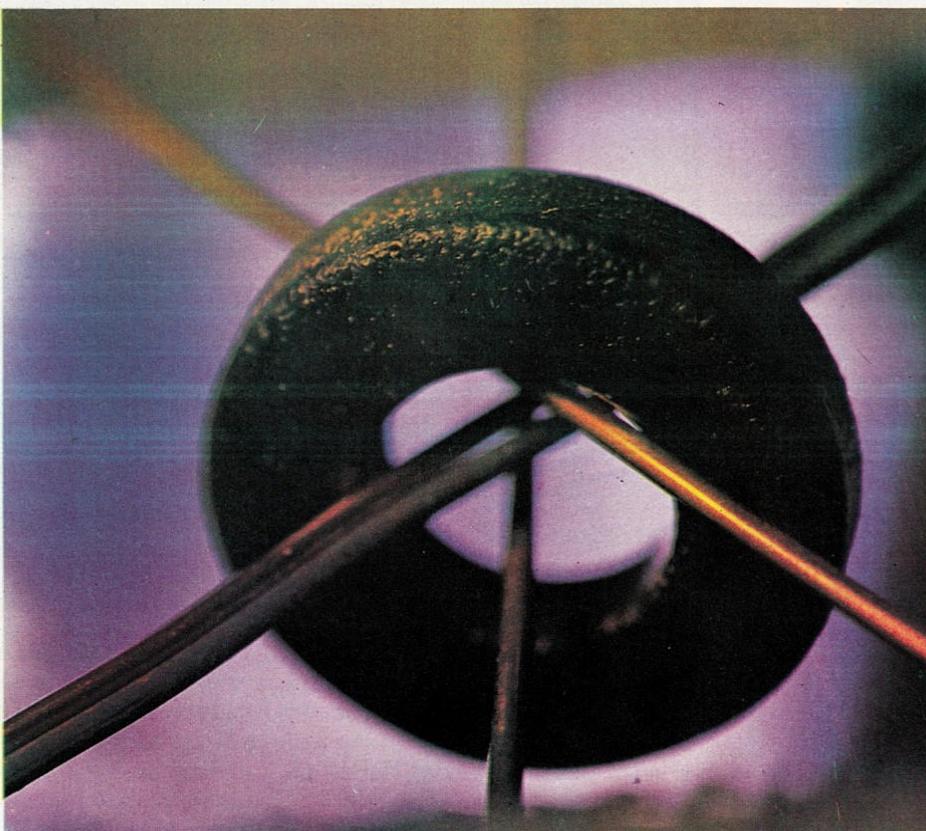
### Magnetkernspeicher

Magnetkernspeicher werden aus einer Vielzahl kleiner Ferritkerne mit einem Außendurchmesser zwischen 0,3 mm und 1,2 mm aufgebaut. Unter einem Ferrit versteht man ein bei großer Hitze zusammengebackenes Metallpulver. Fädelt man durch einen Ferritkern einen metallischen Draht und schickt über ihn einen Stromstoß bestimmter Stärke, werden die Elementarmagnete im Ferritkern in einer bestimmten Richtung magnetisiert. Dieser magnetische Zustand wird so lange beibehalten, bis durch einen Stromstoß in entgegengesetzter Richtung eine Ummagnetisierung erfolgt. Dies kann folgendermaßen veranschaulicht werden:



Man ordnet nun dem einen Magnetisierungszustand den Wert '0', dem anderen den Wert '1' zu. Fädelt man z.B. 8 Ferritkerne auf einen Draht auf, kann man 8 duale Stellen oder 8 Bits (Bit = Binary Digit = Binärzeichen) zu einem sogenannten Wort zusammenfassen. In einem 8-Bit-Wort lassen sich die Dezimalzahlen 0 bis 255 in duality Form darstellen. Wird durch den Draht ein Stromstoß geschickt, werden alle Ferritkerne in gleicher Richtung magnetisiert, d.h. eine duale bzw. binäre Zahlendarstellung ließe sich nicht realisieren. Aus diesem Grunde führt man durch die Ferritkerne einen sogenannten Zeilendraht und senkrecht hierzu

MULLARD/PAUL BRIERLEY



sogenannte Spaltendrähte. Soll beispielsweise ein bestimmter Ferritkern in '1'-Richtung magnetisiert werden, schickt man sowohl über den Zeilendraht als auch über den entsprechenden Spaltendraht den halben Magnetisierungsstrom. Beide Ströme addieren sich und magnetisieren den ausgewählten Ferritkern in die gewünschte '1'-Richtung. Bringt man 64 Zeilen- und 64 Spaltendrähte an, können  $64 \times 64 = 4096$  Speicherkerne in diesem Drahtgeflecht (man spricht von einer Kernspeicher-matrix) angeordnet werden.

Will man aus einer Speicherstelle eine Information auslesen, wird der betreffende Ferritkern durch einen Stromimpuls in '0'-Richtung magnetisiert. Befand sich die Speicherstelle im '1'-Zustand, wird beim Ummagnetisieren ein Stromsignal in einen sogenannten Lesedraht, der ebenfalls durch den Ferritkern geführt wird, erzeugt. Befand sich die Speicherstelle im '0'-Zustand, erfolgt keine Ummagnetisierung, so daß der Lesedraht keinen Stromimpuls erhält. Beim Lesevorgang einer Information wird also der betreffende Inhalt des Ferritkernspeichers gelöscht. Nach dem Lesevorgang wird die Information in einen Zwischenspeicher, das sogenannte Lese/Schreib-Register, eingeschrieben und anschließend wieder in die entsprechende Speicherstelle gebracht. D.h. jeder Lesevorgang ist mit einem Schreibvorgang verknüpft.

Die wichtigsten Kenngrößen eines Arbeitsspeichers sind: Zugriffszeit, Zykluszeit und Kapazität. Der Befehl für das Auslesen einer Information aus dem Kernspeicher erfolgt vom Steuerwerk der Zentraleinheit eines Computers. Der Speicherbereich, in dem die Information steht, muß erst ermittelt und anschließend in das Schreib/Lese-Register übertragen werden. Die Zeitspanne für den Ablauf dieses Vorganges bezeichnet man als *Zugriffszeit*. Die Zugriffszeit plus die Zeit zum Rückschreiben der Information aus dem Schreib/Lese-Register in den Arbeitsspeicher bezeichnet man als *Zykluszeit*. Die *Kapazität* gibt Auskünfte, wie viele Informationen im Arbeitsspeicher abgelegt werden können.

## Halbleiterspeicher

Durch die rasche Entwicklung der Halbleitertechnik können heute Halbleiterspeicher mit bis zu 65 536 Speicherzellen hergestellt werden. Bezogen auf ein Bit, sind sie billiger und

schneller als Kernspeicher. Unter der Vielzahl von verschiedenen Halbleiterspeichertypen kann man — abgesehen von Spezialspeichern — drei Hauptkategorien unterscheiden: Schreib/Lesespeicher (auch RAM = Random Access Memory), Festwertspeicher (auch ROM = Read Only Memory) und serielle Speicher. In Schreib/Lesespeicher kann man Informationen einschreiben und wieder auslesen. Bei Festwertspeichern können Informationen nicht eingeschrieben, sondern nur ausgelesen werden. Die Informationen werden während des Fertigungsprozesses in den Festwertspeicher eingeschrieben. Man kennt jedoch auch programmierbare Festwertspeicher (auch PROM = Programmable Read Only Memory), bei denen mit Hilfe spezieller Programmiergeräte Informationen in den schon gefertigten Baustein eingeschrieben werden. Bei seriellen Halbleiterspeichern werden die Informationen durch Verschieben von einer zur nachfolgenden Bitstelle eingeschrieben oder ausgelesen.

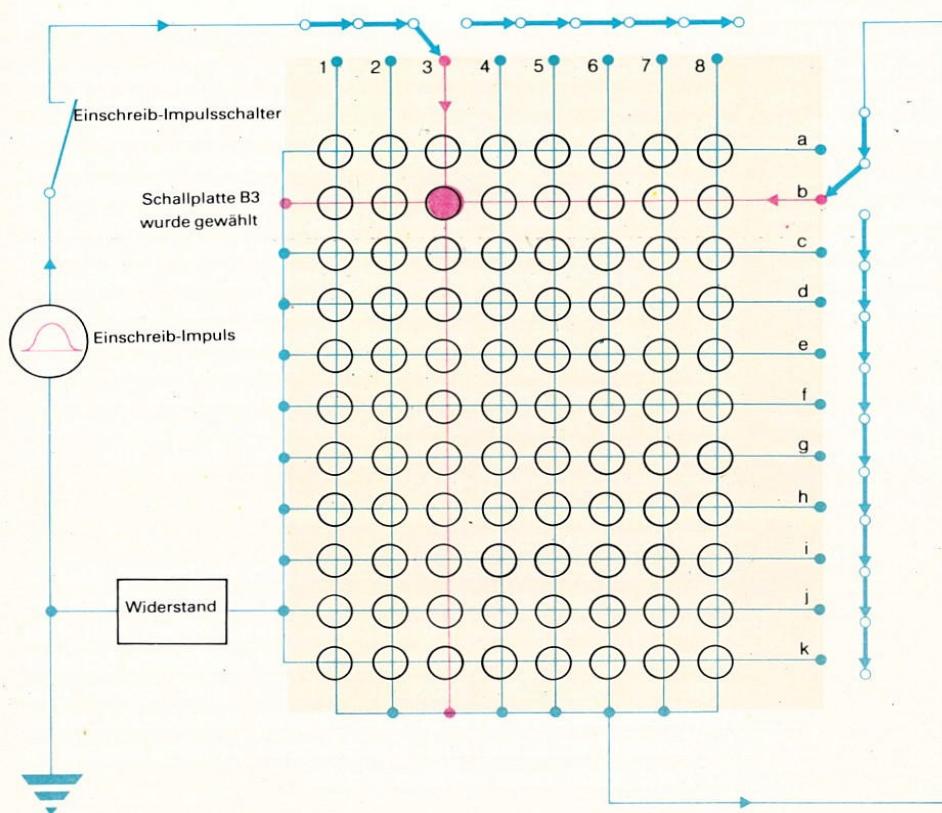
Ohne näher auf die einzelnen Technologien von Halbleiterspeichern einzugehen, wird im folgenden die typische Wirkungsweise der einzelnen Speicherkategorien beschrieben.

## Schreib/Lesespeicher

Bei Schreib/Lesespeichern unterscheidet man zwischen statischen und dynamischen Halbleiterspeichern. Statische Schreib/Lesespeicher können eine einmal gespeicherte Information so lange festhalten, bis sie durch äußere Einwirkung veranlaßt werden, ihren Speicherinhalt zu ändern. Bei Ausfall der Spannungsversorgung geht die gespeicherte Information allerdings verloren. Dynamische Schreib/Lesespeicher können die einmal eingespeicherten Daten ebenfalls beliebig lange speichern. Bei ihnen ersetzt man beim Integrationsprozeß die voluminösen Transistoren durch Kondensatoren, wodurch eine höhere Integrationsdichte erzielt wird. Da sich Kondensatoren aber relativ schnell entladen, müssen sie in einem Zeitintervall von etwa 2 ms eine Wiederaufladung (Refresh) erfahren.

## Statische Schreib/Lesespeicher

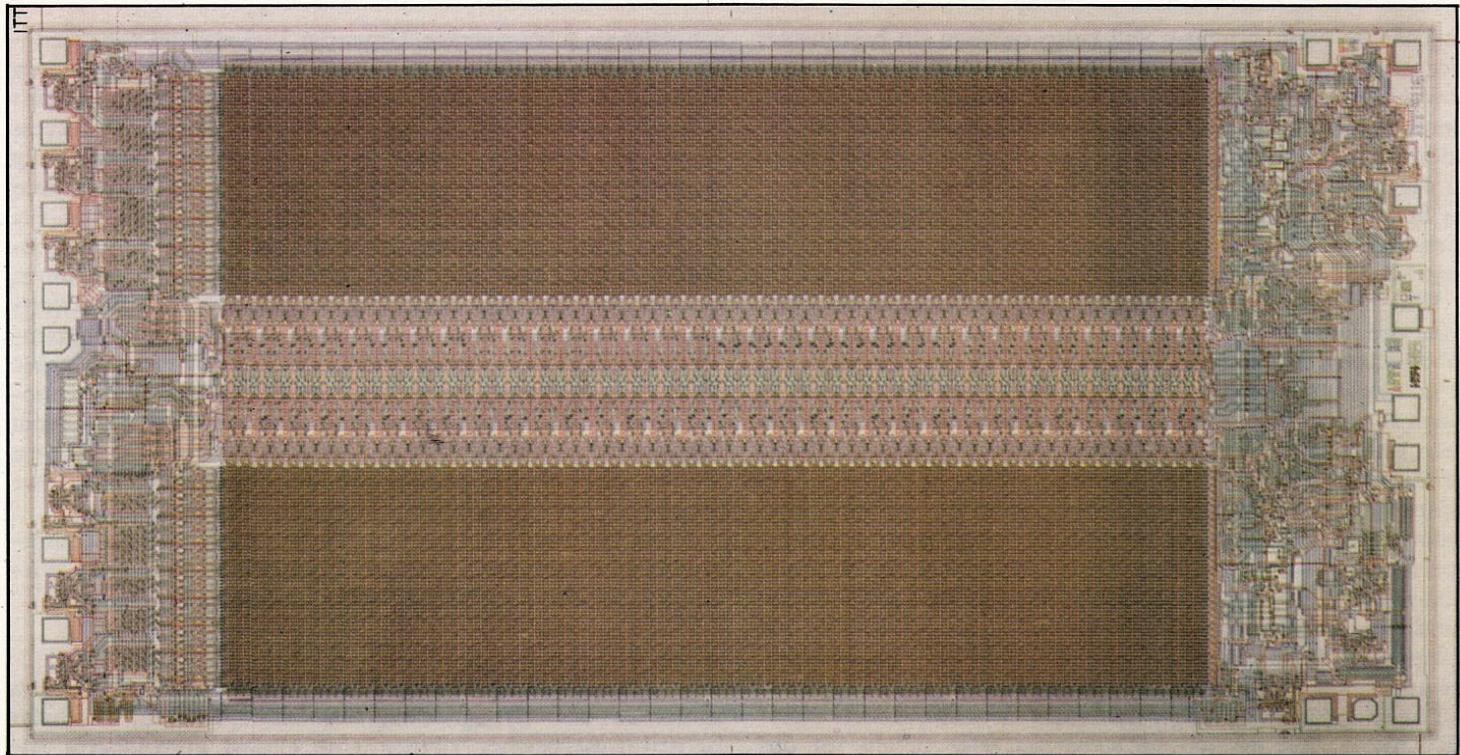
Die Funktionsweise eines statischen Schreib/Lesespeichers sei am Beispiel des elementaren RS-Flipflops erklärt, dessen S-



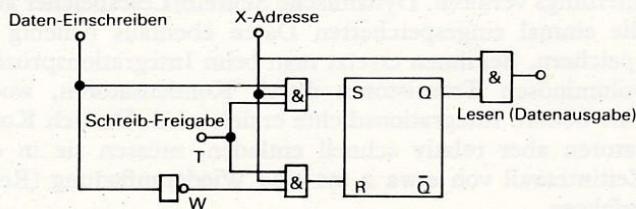
**Ganz links:** Nahaufnahme eines einzelnen Ferritspeicherkerne mit Zeilen- und Spaltendraht sowie den Lese- und Blockierdrähten, die durch den Ferritkern gezogen sind. Der Ferritkern hat einen Durchmesser von ungefähr 0,5 mm.

**Mitte:** Eine Teilansicht eines Ferritkernspeichers, die zeigt, wie die Kerne horizontal und vertikal in Reihen angeordnet sind. Ein großer Speicher kann Millionen von Kernen enthalten.

**Links:** Schemazeichnung eines magnetischen Kernspeichers einer Musikbox. Die Speicherstelle B3 ist gewählt worden, und die Impulse sind über die Schalter B und 3 eingeschrieben worden, um den entsprechenden Ferritkern anzusprechen.



bzw. R-Vorwahleingänge und dessen Ausgang durch zusätzliche Logik beschaltet sind (siehe Bild).

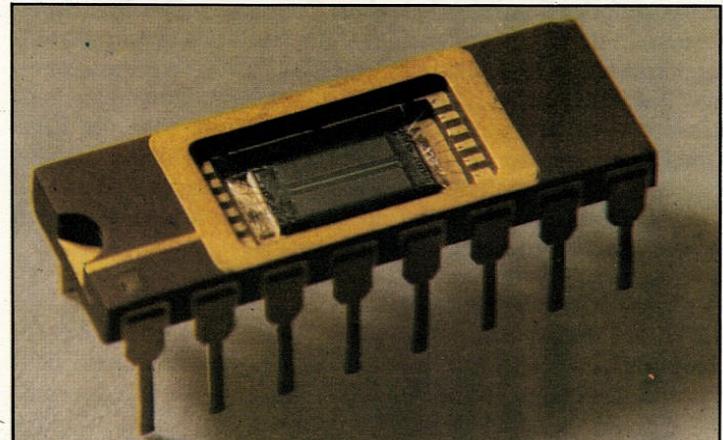
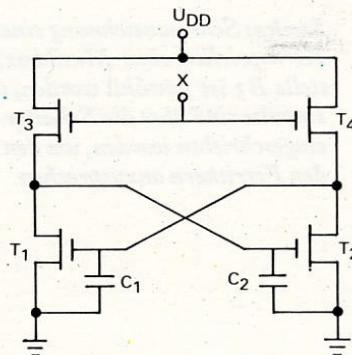


Um Daten einzuschreiben oder auszulesen, muß der Adresseingang X mit H-Signal belegt sein. Beim Einlesen von Daten kann das am W-Eingang anliegende Signal nur dann wirksam werden, wenn zusätzlich der Freigabeeingang T aktiviert wurde. Liegt am W-Eingang (Write = Schreiben) H(L)-Signal an, liegen am Vorbereitungseingang S H(L)-Signal und am Vorbereitungseingang R H(L)-Signal an. Entsprechend tritt am Ausgang Q H(L)-Signal auf, d.h. das Signal entspricht dem über dem W-Eingang eingeschriebenen Signal.

In der integrierten Schaltungstechnik lassen sich derzeit bis zu 16 384 solcher Speicherzellen einschließlich der notwendigen Steuerelemente auf einer Größe von 16 mm<sup>2</sup> unterbringen. In naher Zukunft werden von vielen Halbleiterherstellern RAM mit 65 536 Bit Speicherkapazität angeboten werden.

### Dynamische Schreib/Lesespeicher

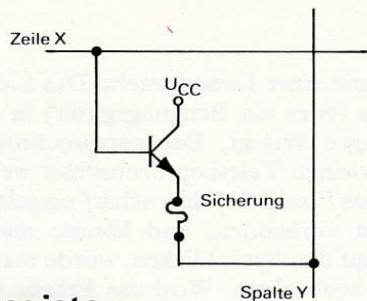
Ein Beispiel für eine dynamische Speicherzelle, die aus einem Feldeffekttransistor und einem Kondensator besteht, zeigt das Bild.



Das Einschreiben einer Information erfolgt, indem man die Spannung, die an der Datenleitung anliegt, über den Feldeffekttransistor dem Kondensator zuführt. Das Lesen einer Information erfolgt so, daß sie in Abhängigkeit von der Kondensatorladung als Signalsprung auf der Datenleitung erscheint, wenn der Feldeffekttransistor T über die Zeileauswahlleitung in leitenden Zustand versetzt wird. Der Nachteil dieser einfachen Speicherzelle liegt darin, daß der Speicherinhalt beim Auslesen verloren ist. Deshalb muß nach jedem Lesevorgang die verlorengegangene Information wieder eingespeichert werden. Aufgrund unvermeidlicher Leckströme, die temperaturabhängig sind, entlädt sich der Kondensator im Verlaufe der Zeit. Deshalb muß die gespeicherte Information (Kondensatorladung) in der Regel alle 2 ms regeneriert (refreshed) werden.

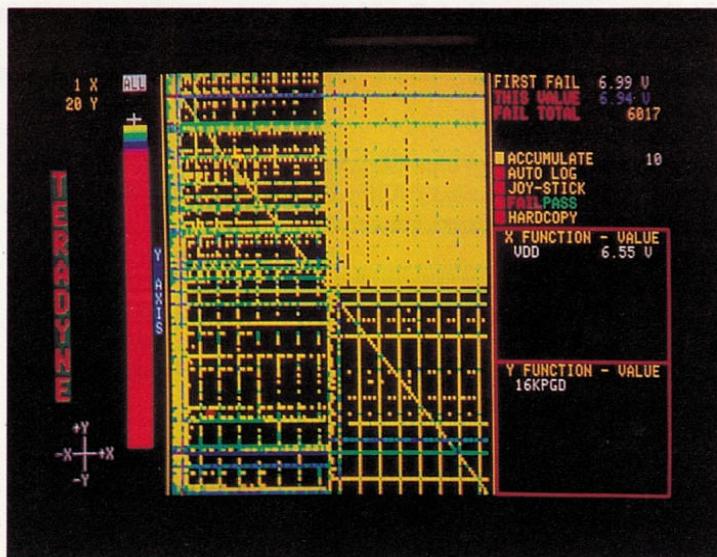
### Festwertspeicher

Bei einem Festwertspeicher handelt es sich im Prinzip darum, daß sich je nach der Information, die in den Speicher eingeschrieben wird, ein Schalter schließen oder öffnen läßt. Ein Beispiel für eine Festwertspeicherzelle mit geöffnetem Schalter zeigt das Bild. Der geöffnete Schalter wird durch eine sogenannte Sicherung dargestellt, die man durchbrennt, wenn der Schalter schließen soll. Geschlossene Schalter können in der Regel nicht mehr geöffnet werden.



## Schieberegister

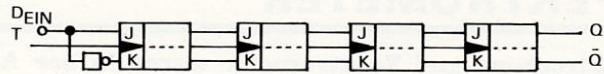
Unter einem Schieberegister versteht man eine Bitanordnung, bei der eine eingespeicherte Information nach rechts, links oder im Kreise verschoben werden kann. Ein Rechtsschieberegister für vier Bit zeigt das Bild.



**Links oben:** Ein 16 384-Bit-RAM-(Random Access Memory = Schreib/Lesespeicher) Chip vor und (links) nach dem Montieren auf einen Kunststoffsockel. Das Verwenden der VLSI-Technik (Very Large Scale Integration = Größtintegration) hat es den Herstellern ermöglicht, die Zahl der Bits, die auf einem Chip untergebracht werden können, seit 1959 jedes Jahr zu verdoppeln.

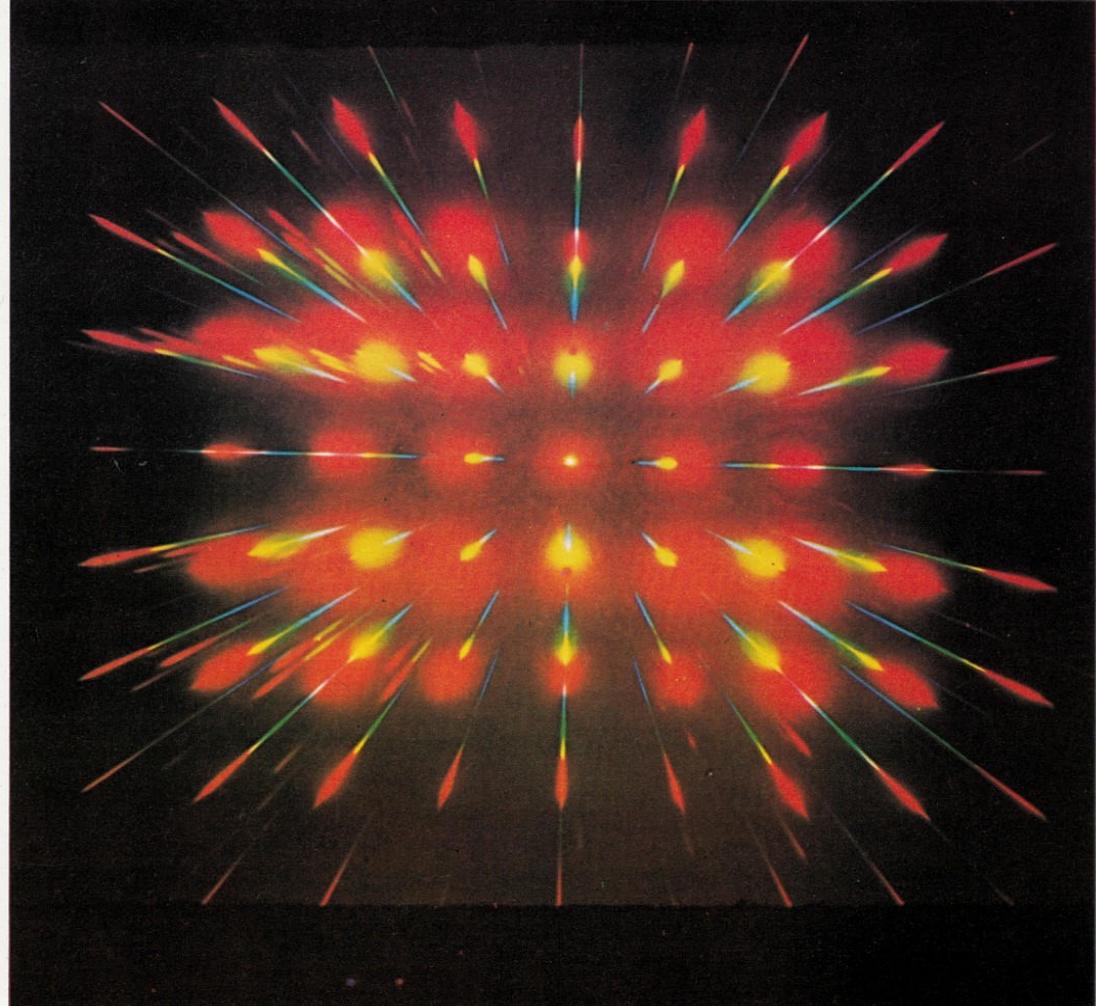
**Oben:** Der Bildschirm einer Maschine zum Testen von Halbleiterspeichern. Die Maschine kann fehlerhafte Bits erkennen, was den Ingenieuren erlaubt, die Fehlerquelle zu finden und zu beseitigen. Der Bildschirm zeigt eine 'Karte' der Bits. Die Fehlerbereiche sind besonders markiert.

**Rechts:** In Zukunft könnte es sich als praktisch erweisen, Informationen in holographische Speicher einzugeben. Die Informationen werden dabei als Diffraktionsmuster auf holographischen Platten gespeichert.



Nach jedem Taktimpuls hat sich die jeweilige Information um eine Stelle nach rechts verschoben. Die aus TTL-Flipflops (TTL = Transistor-Transistor-Logik) hergestellten Schieberegister haben in der integrierten Schaltungstechnik eine unvertretbar hohe Verlustleistung und verbrauchen bei der Integration relativ viel Material, so daß die Herstellungskosten sehr hoch wären. Man kennt deshalb nur hochintegrierte Schieberegister (mit bis zu 65 536 Bit) in der sogenannten MOS-Technik (MOS = Metall Oxid Semiconductor = Metalloxid-Halbleiter). Um Schieberegister mit extrem hoher Packungsdichte zu erhalten, arbeitet man mit Einheiten, die Ladungspakete bei Spannungsänderung verschieben. Man nennt sie auch CTD (Charge Transfer Device = Ladungsverschiebeeinheit) oder CCD (Charge Coupled Device = ladungsgekoppelte Einheit). Bei ihnen werden durch kapazitive Effekte Ladungspakete erzeugt, die durch Spannungsänderung an den einzelnen Anschlüssen von einem auf den nächsten Kondensator übertragen werden. Auf diese Weise können Informationen durch Ladungsverschiebung weitergeleitet werden.

Als integrierte Bausteine kennt man Halbleiterspeicher zwischen 256 Bit und 64 kBit (65 536 Bit) mit Zugriffszeiten zwischen 15 ns und 450 ns (1 ns = 1 Milliardstel Sekunde) und Bitpreisen zwischen 0,3 Pf und etwa 10 Pf. Ferritkernspeicher haben eine Kapazität bis zu 100 Millionen Bit, eine Zugriffszeit zwischen 300 ns und 1 000 ns und kosten pro Bit etwa 1 Pf bis 5 Pf.



## SPEKTROMETER

**Spektroskope und Spektrometer waren in der Astronomie von ähnlicher Bedeutung wie Teleskope. In der chemischen Analyse spielen sie jedoch auch heute noch eine genauso wichtige Rolle wie konventionelle chemische Methoden.**

Die einfachste Form eines Spektroskops ist eine Vorrichtung zur Beobachtung des Farbenspektrums des Lichtes durch ein Prisma oder ein Beugungsgitter. Diese einfachen Instrumente werden heute fast nur noch im Unterricht benutzt, während es in der praktischen Anwendung eine Vielfalt von Geräten, wie z.B. Spektrographen, Spektrometer, Spektralfotometer und Kolorimeter, gibt.

Mit Spektroskopen und Spektrographen wird das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichtes über das Auge oder fotografisch aufgenommen. Spektrometer wählen hingegen, z.B. mit einer Fotozelle, einen kleinen Wellenlängenbereich zur Messung aus; meistens kann man dieses 'Fenster' über einen größeren Teil des Spektrums verschieben. Man untersucht sowohl Emissions- als auch Absorptionsspektren. Emissionspektren bestehen aus einer Reihe von hellen, farbigen Linien, während man Absorptionsspektren als fehlende und daher dunkle Linien im kontinuierlichen Farbspektrum wahrnimmt.

### Spektroskope

Der Aufbau eines Spektroskops, wie man es heute noch zu Unterrichtszwecken benutzt, hat sich seit dem 18. Jahrhundert nur wenig verändert. Zur Erzeugung eines schmalen, parallelen Lichtbündels tritt weißes Licht durch einen 'Kollimator', der

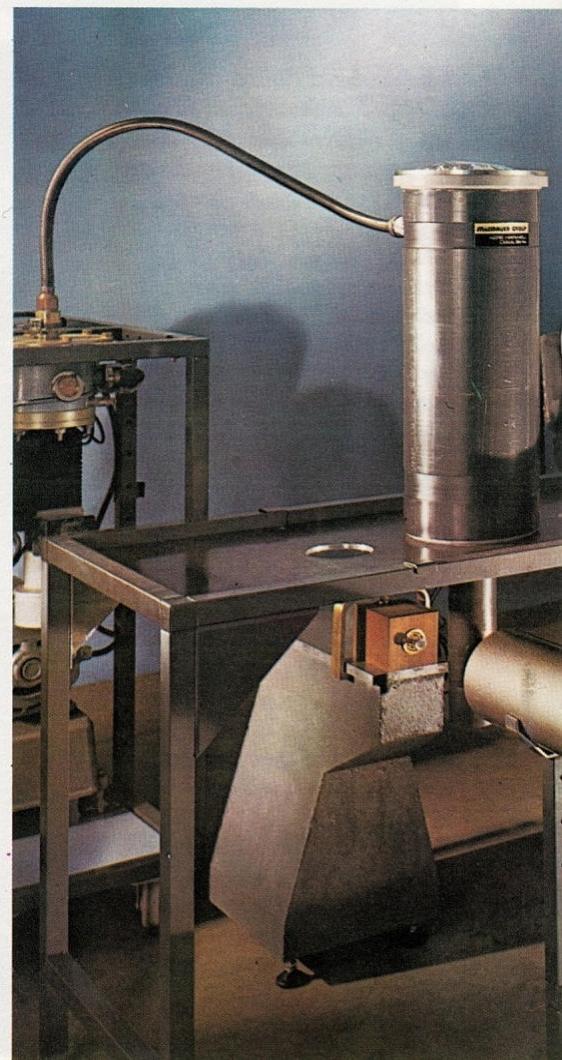
aus einem Spalt und einer Linse besteht. Das Licht wird dann durch ein Prisma (oder ein Beugungsgitter) in die verschiedenen Wellenlängen zerlegt. Das entsprechende Spektrum kann mit einem kleinen Teleskop beobachtet werden, das auf die Entfernung des Eintrittsspaltes scharf eingestellt ist. Wäre das Prisma nicht vorhanden, und könnte man durch das Teleskop direkt auf den Spalt blicken, würde man ein scharfes Bild des Spaltes beobachten. Wird das Prisma in den Strahlengang gestellt, wird der Strahl für verschiedene Wellenlängen verschieden stark abgelenkt, so daß man nun nicht mehr ein einziges Bild des Spaltes, sondern ein Bild für jede Farbe erhält. Die Auflösung hängt von der Breite des Spaltes ab, die verändert werden kann. Für eine Lichtquelle, die alle Farben aussendet, wie z.B. eine elektrische Glühlampe, erhält man so ein vollständiges, zusammenhängendes Spektrum.

Häufig wird das Prisma oder das Beugungsgitter im

**Unten links:** Ein Infrarot-Gasanalysegerät wird hier zur Messung der Auspuffgase eines PKW's benutzt. Auf diese Weise wird die Kontrolle der Luftverschmutzung erleichtert.

**Unten Mitte:** Ein Mößbauer-Spektroskop in einem Forschungszentrum. Es untersucht die Absorption der Atomkerne und die Emission von Gamma-Strahlen bei tiefen Temperaturen. Mit diesem Gerät lassen sich charakteristische Eigenschaften der Kerne mit großer Genauigkeit messen.

**Unten rechts:** Dieses Bohrlochmeßgerät ist leicht zu transportieren und kann durch Röntgenfluoreszenz innerhalb von 30 s kleine Mengen von Zinn nachweisen.



Zentrum eines kleinen kreisrunden Tisches mit Winkelunterteilung angebracht, um dessen Achse Teleskop und Kollimator gemeinsam gedreht werden können. Bei einem Spektrum, das viele weit voneinander entfernte Linien enthält, muß das Teleskop zur Untersuchung verschiedener Teile des Spektrums um die Achse geschwenkt werden.

### Spektrographen

Bringt man an die Stelle des menschlichen Auges eine Fotoplatte oder einen Film, kann man das Spektrum aufzeichnen. Die Aufnahme kann mit dem 'Densitometer' ausgewertet werden; man erhält dann eine graphische Darstellung des Spektrums. Die mit dem Auge beobachteten 'Linien', die jeweils eine Abbildung des Spaltes darstellen, werden in dieser Weise bei Emissionsspektren als schmale, scharfe Spitzen ('Peaks') und bei Absorptionsspektren als Einschnitte ('Dips') aufgezeichnet. Ein Spektroskop mit fotografischer Aufzeichnung ist ein 'Spektrograph'. Die Fotos heißen genaugenommen 'Spektrogramme', obwohl sie in der Praxis oft einfach 'Spektren' genannt werden. Im 19. Jahrhundert begann man, Spektrographen mit Teleskopen zu kombinieren, um Sternspektren aufzunehmen. Um 1908 wurden spektrographische Methoden in der Industrie zur Analyse eingeführt. Die zu untersuchende Probe wurde dabei als eine von zwei Elektroden, zwischen denen ein Lichtbogen erzeugt wurde, geschaltet.

Moderne Spektrographen zur Spektralanalyse zeichnen nicht das ganze Spektrum auf, da sie ja nach bestimmten Spektrallinien suchen sollen. Man benutzt vielmehr die 'direkte Suchtechnik': Eine Reihe von Fotovervielfacherröhren oder Lichtdetektoren werden mit der jeweils spezi-

fischen Aufgabe, die Intensität einer bestimmten Spektrallinie auszumessen, aufgebaut.

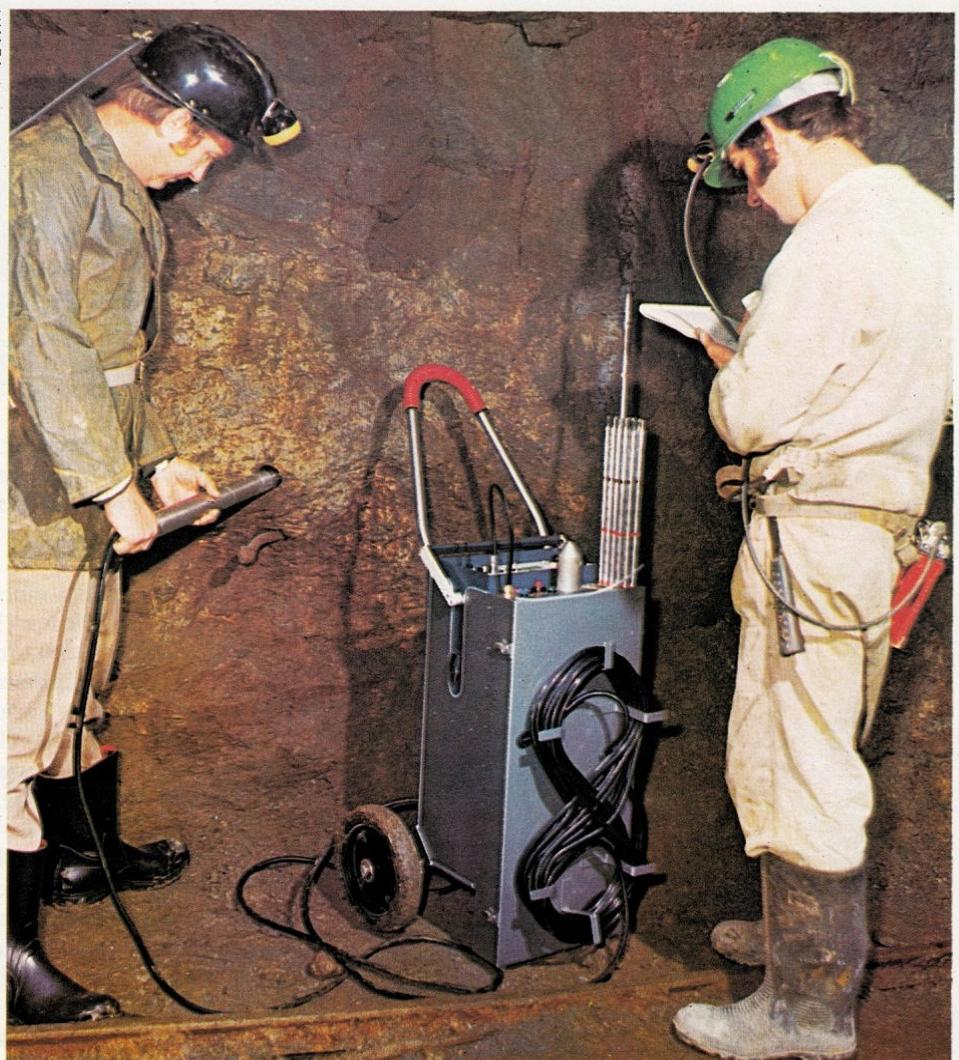
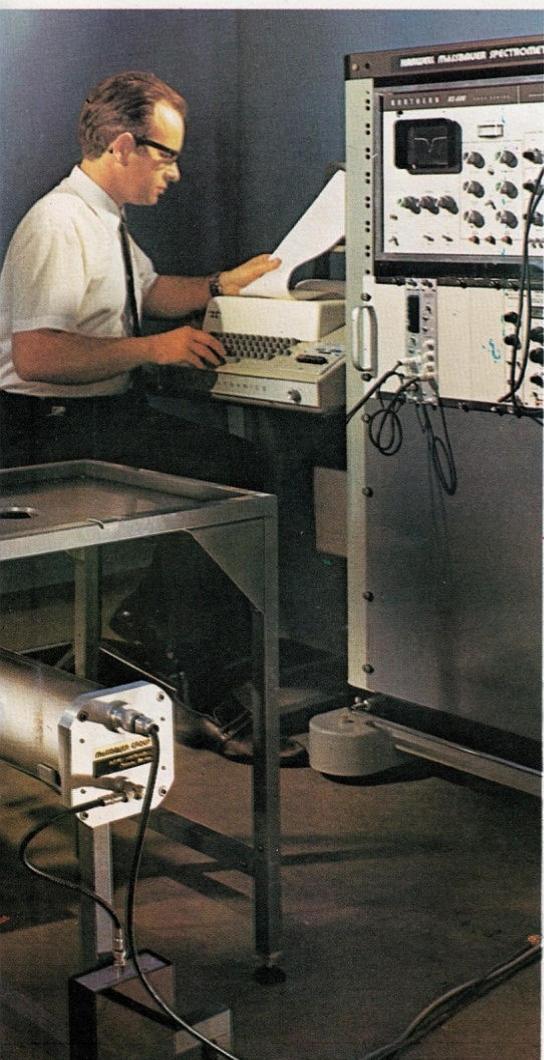
### Absorptionssysteme

Anfänglich standen auch bei der Absorption Arbeiten im sichtbaren Spektralbereich im Vordergrund. Die ersten Absorptionsmeßgeräte oder 'Kolorimeter' enthielten einen Satz farbiger optischer Filter, um den interessierenden Bereich des Spektrums abzusondern. Die Probe wurde im flüssigen Zustand in eine Küvette mit planparallelen, lichtdurchlässigen Fenstern gefüllt, durch die das Licht trat, ehe es auf eine Fotozelle fiel. Manchmal wurden auch zwei Fotozellen nebeneinander benutzt, um stabilere Meßwerte zu erhalten. Das Absorptionsvermögen der Probe wurde gemessen und zur Bestimmung der Konzentration mit dem Absorptionsvermögen von bekannten Eichproben verglichen.

Obwohl diese Filtergeräte für Arbeiten mit geringer Auflösung nach wie vor Verwendung finden, sind ihre Anwendungsmöglichkeiten begrenzt; sie wurden weitgehend von Instrumenten mit 'Monochromator' abgelöst.

### Monochromator

Ein Monochromator ist eine Vorrichtung zur Heraussonderung spezieller, schmaler Gruppen von Wellenlängen. Er enthält entweder ein Prisma oder ein Beugungsgitter. Gitter haben den Vorteil, im gesamten Spektrum die verschiedenen Wellenlängen gleichmäßig aufzufächern, während ein Prisma die Wellenlängen auf der roten Seite stark zusammendrängt. Prismen aus Quarz oder aus Natriumchlorid (Kochsalz) sind jedoch nützlich, weil sie auch im infraroten und im ultravioletten Lichtbereich durchlässig sind.



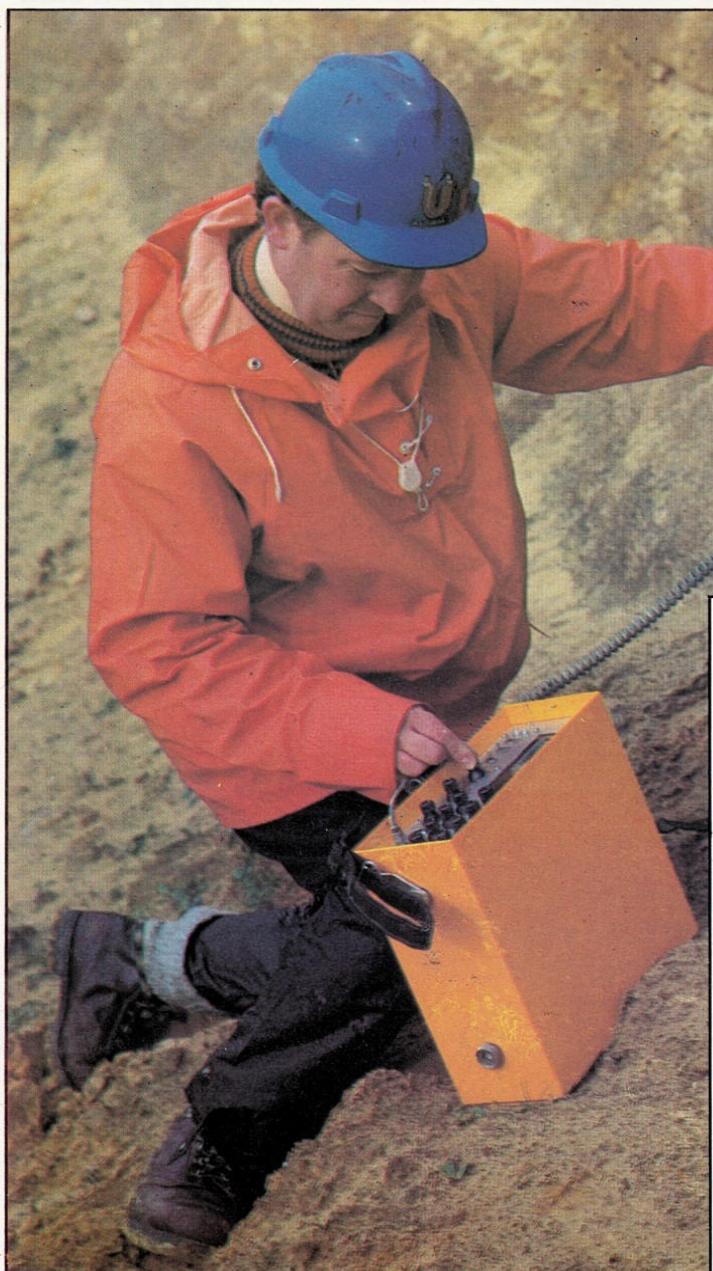
Durch Drehung des Gitters oder des Prismas erhält man wie beim Spektroskop einen Strahl der gewünschten Farbe mit einer Breite von nur 0,1 nm (1 nm = 1 Milliardstel Meter) auf der Wellenlängenskala; ein zweiter Schlitz blendet die unerwünschten Wellenlängen aus. Die 'Bandbreite' — der Bereich der durchgelassenen Wellenlängen — kann durch Verändern der Spaltbreite variiert werden, so daß man bei Bedarf mehr Licht auf Kosten der Auflösung nutzen kann. Der Monochromator tritt an die Stelle der Filter der einfacheren Instrumente.

### Spektralfotometer

Ein Fotometer mißt die Intensität des Lichtes; entsprechend dient ein Spektralfotometer der Messung der Intensität des Lichtes in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Ein einfaches Spektralfotometer besteht aus einem Monochromator, einer Lichtquelle für den interessierenden Bereich des Spektrums, einem Probenraum, einem Detektor und einem Anzeigesystem. Zu einem vorgegebenen Zeitpunkt wird bei nur einer Wellenlänge gemessen. Anschließend wird die Wellenlänge mit der Hand geändert.

Die vollautomatischen Spektralfotometer, bei denen die Wellenlänge selbsttätig variiert und ein Absorptionsdiagramm aufgezeichnet wird, haben je nach Wellenlängenbereich

verschiedene Funktionsweisen. Bei Arbeiten im infraroten und im ultravioletten Spektralbereich wird die zu untersuchende Probe abwechselnd mit der Vergleichsprobe gemessen. Soll beispielsweise ein wasserlöslicher Farbstoff untersucht werden, nimmt man reines Wasser als Vergleichsstoff. In einem Infrarotgerät wird der von der Lichtquelle kommende Strahl in zwei Teilstrahlen, die die Probe und die Vergleichsstoff beleuchten, aufgespalten. Durch eine Schwingblende werden die beiden Strahlen dann abwechselnd durch den Monochromator und auf den Detektor gelenkt. In schnellem Wechsel erhält so der Detektor Licht von der Probe und der Vergleichsprobe. Wenn sich die



Ein Spektrometer, das vier Gammastrahlkanäle hat und für die Suche nach Uran, Thorium und Kalium sowie Bohrlochvermessungen eingesetzt wird.

Intensitäten bei einer bestimmten Wellenlänge nicht unterscheiden, erhält man kein Signal. Tritt jedoch ein Unterschied auf, gibt der Detektor ein oszillierendes Signal (Wechselstrom) ab, das man mit einem Schreiber festhalten kann.

Automatische Spektralfotometer werden bei der chemischen Analyse und bei Gasuntersuchungen in großem Umfang eingesetzt. Die Geräte für den ultravioletten und den sichtbaren Spektralbereich werden meist zur Bestimmung der Konzentration absorbierender Materialien benutzt und arbeiten oft mit fester Wellenlänge. So findet man solche Geräte z.B. in Krankenhäusern zur Messung der Konzentration einer Vielzahl von Flüssigkeiten.

Beim 'Atomabsorptionsspektrometer' wird die Probe in eine Flamme gesprührt. Die auftretende Absorption liefert ein empfindliches Maß für sehr kleine Konzentrationen der Elemente — bis zu weniger als einem Teil in einer Million Teile.

## SPEKTROSKOPIE

Die Untersuchung von Spektren hat unser Verständnis physikalischer Vorgänge auf der Erde und im Weltall beträchtlich gefördert. Durch spektroskopische Messungen haben wir Einblick in den Aufbau der Atome, die Zusammensetzung von Sternen und die Entwicklung des Universums gewonnen.

Unter Spektroskopie versteht man die Analyse des Lichtes oder anderer Arten von Strahlung hinsichtlich des 'Spektrums' der vorhandenen Wellenlängen. Die Bedeutung der Spektroskopie liegt darin, daß jede Substanz sich durch einen ganz bestimmten charakteristischen Satz von Wellenlängen wie durch einen Fingerabdruck in einem Spektrum auszeichnet. Diese Tatsache nutzt man beispielsweise bei der 'Spektralanalyse', mit der man im Labor bestimmte Materialien in einer Probe nachweisen kann, oder bei der astronomischen Spektroskopie, die über Sterne und Spiralnebel eine nahezu unvorstellbare Vielfalt von Detailinformationen geliefert hat.

Ein Spektrum ist die nach Wellenlängen aufgeschlüsselte Darstellung von Wellen (siehe DIFFRAKTION). Die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes stellen nur einen Ausschnitt aus dem Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung dar, das von sehr langen Radiowellen bis zu extrem kurzen Gamma-Strahlen reicht. An den sichtbaren Bereich

**Unten:** Durch die Beobachtung der Sonne bei einer einzelnen Wellenlänge (hier wurde eine ultraviolette Heliumlinie vom Skylab aus aufgenommen) werden Einzelheiten sichtbar, die mit weißem Licht nicht festgestellt werden können. Die Farbabstufungen entsprechen verschiedenen Intensitäten.

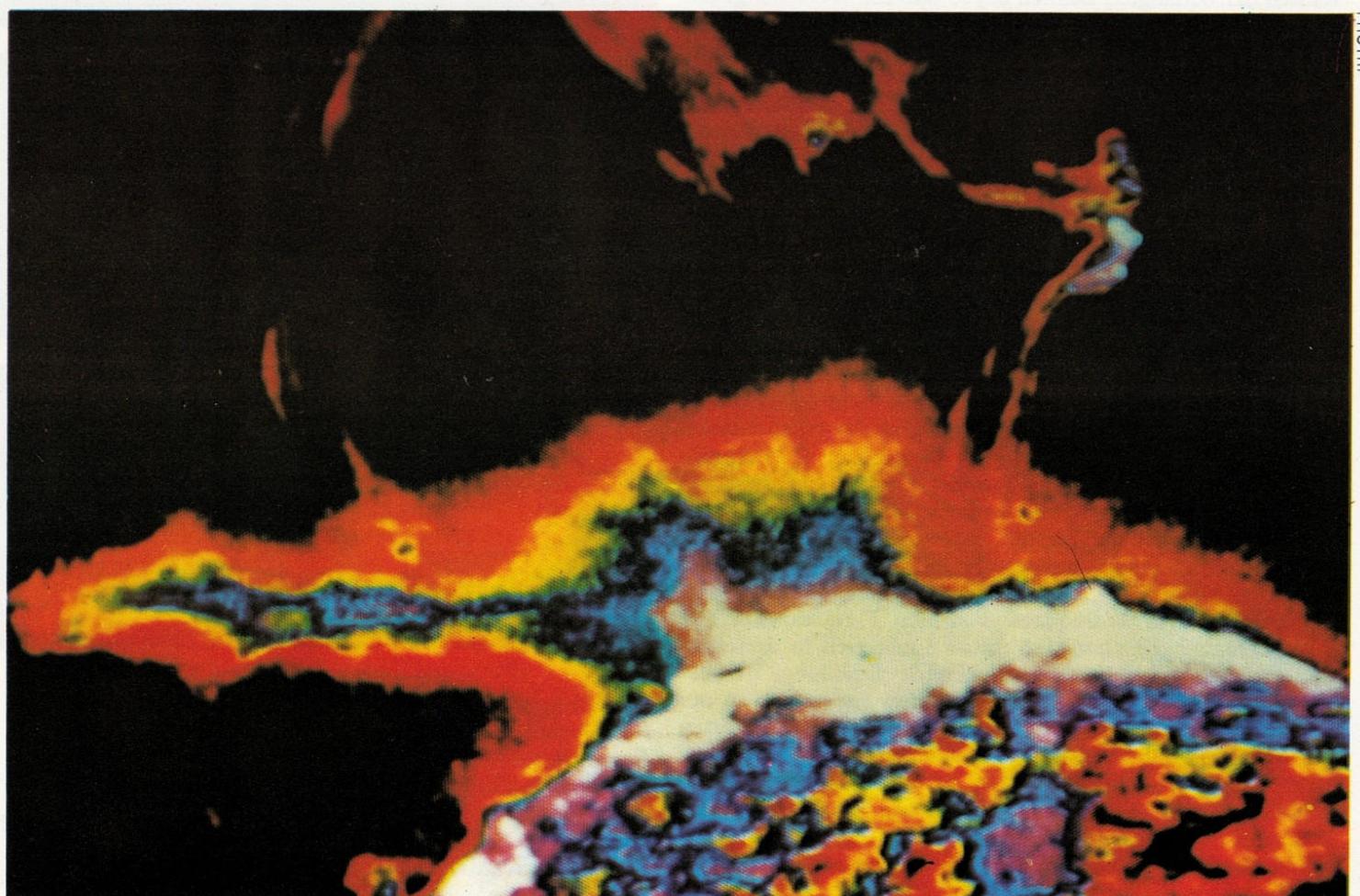
des Spektrums grenzen die Gebiete des Infraroten (auf der langwelligen Seite) und des Ultravioletten (auf der kurzwelligen Seite). Nach den Vorstellungen der Quantentheorie läßt sich ein Spektrum auch in Form von Quanten verschiedener Energie darstellen. Ein Lichtquant blauen Lichtes hat eine größere Energie als ein Lichtquant aus dem roten Spektralbereich.

### Anfänge der Spektroskopie

Schon bei seinen ersten Experimenten mit einem Prisma um 1665 bemerkte Newton (1643 bis 1727) im Spektrum des Sonnenlichtes eine Reihe von feinen dunklen Linien, die dem hellen Regenbogenspektrum überlagert waren und die er als Abgrenzungen zwischen verschiedenen Farben auffaßte. Anfang des 19. Jahrhunderts stellte Fraunhofer (1787 bis 1826) fest, daß es eine große Zahl solcher Linien gibt. Er katalogisierte Hunderte dieser Linien, obgleich die Ursache für ihr Auftreten unbekannt war. Erst die Arbeiten von Kirchhoff (1824 bis 1887) und Bunsen (1811 bis 1899) erlaubten es, die Natur der 'Fraunhoferschen Linien' zu erkennen. Jede dieser Linien läßt sich einer der hellen Linien zuordnen, die von den chemischen Elementen bei Erhitzung, etwa bei Verbrennung in einer Flamme, abgestrahlt werden. Die auftretenden Linien können also zur Identifizierung chemischer Elemente dienen.

### Spektraltheorie

Nachdem man ein halbes Jahrhundert lang die Spektrallinien der Elemente im Labor vermessen und gesammelt hatte, begannen mathematisch geschulte Physiker zu verstehen, warum einige Spektren einfach und andere kompliziert aussehen. Darüber hinaus gelang es ihnen, die mit dem Aussenden dieser Spektrallinien verbundenen Veränderungen im Inneren der Atome zu erkennen. Dieses Arbeitsgebiet, die Spektraltheorie, hat zu neuen Erkenntnissen, besonders über Atome



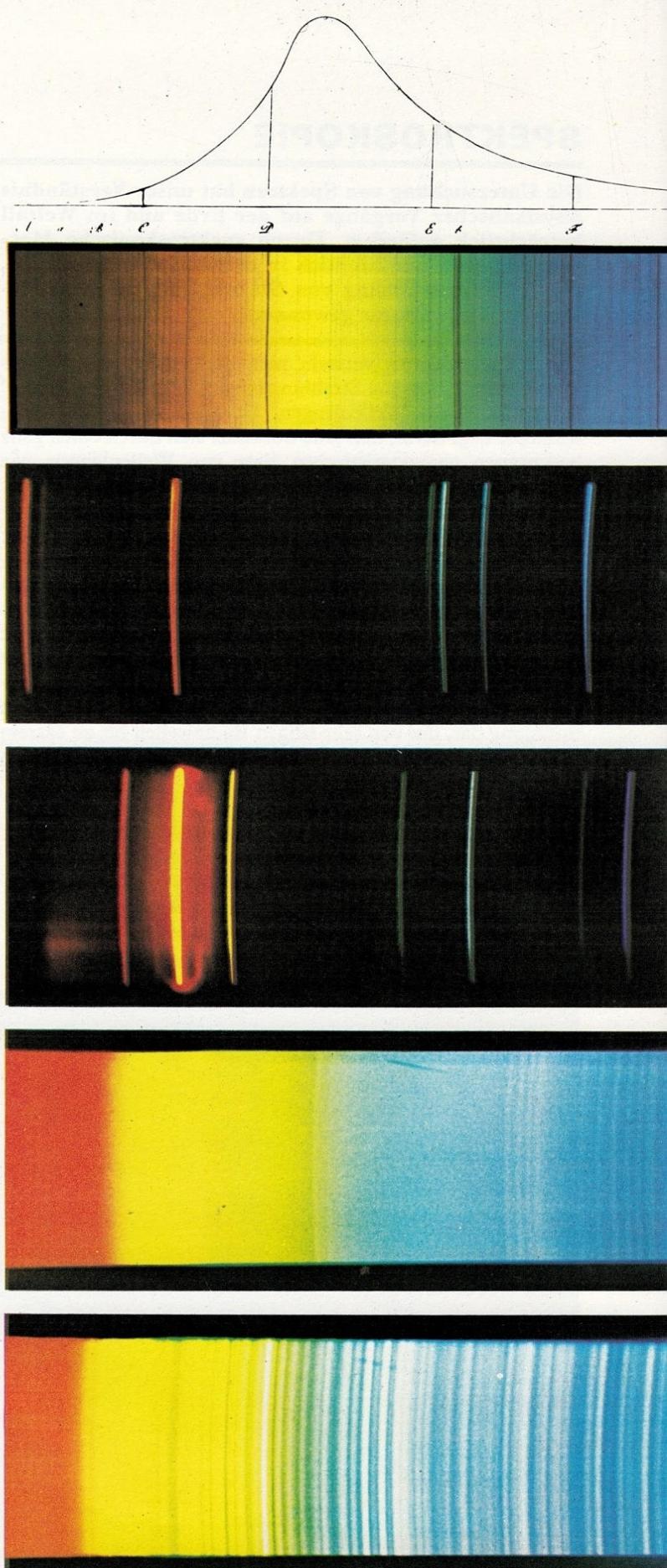
und Isotope, geführt, indem es konsequent auf der Grundaussage der Quantentheorie aufbaute, nach der Energie nicht kontinuierlich, gleichmäßig abgestrahlt wird, sondern in Form von einzelnen, voneinander getrennten 'Paketen', den Quanten. Eine Spektrallinie entsteht, wenn ein Elektron, das den Kern eines Atoms auf einer Umlaufbahn (einem festen Energieniveau) umfährt, in eine dem Kern nähergelegene Bahn (ein niedrigeres Energieniveau) übergeht. Der Energieunterschied wird dabei als elektromagnetische Strahlung abgegeben. Umgekehrt verlangt der Übergang von einem niedrigen zu einem höheren Niveau die Zufuhr von Energie, die sich durch eine (dunkle) Absorptionslinie im Spektrum von eingestrahltem Licht bemerkbar macht. Wird die zugeführte Energie bei anderen Wellenlängen wieder abgestrahlt, spricht man von Fluoreszenz.

Im 'Planetenmodell' des Atoms nach Niels Bohr (1885 bis 1962) stellte man sich die Elektronen als kleine Planeten vor, die den Atomkern in vorgegebenen Bahnen umkreisen. Spätere Untersuchungen zeigten Abweichungen von diesem Bild. Heute stellt man sich statt Bahnen sogenannte Orbitale vor, Gebiete hoher Aufenthaltswahrscheinlichkeit für die Elektronen. Zur anschaulichen Beschreibung ist das Konzept von Umlaufbahnen mit festen Abmessungen jedoch ausreichend.

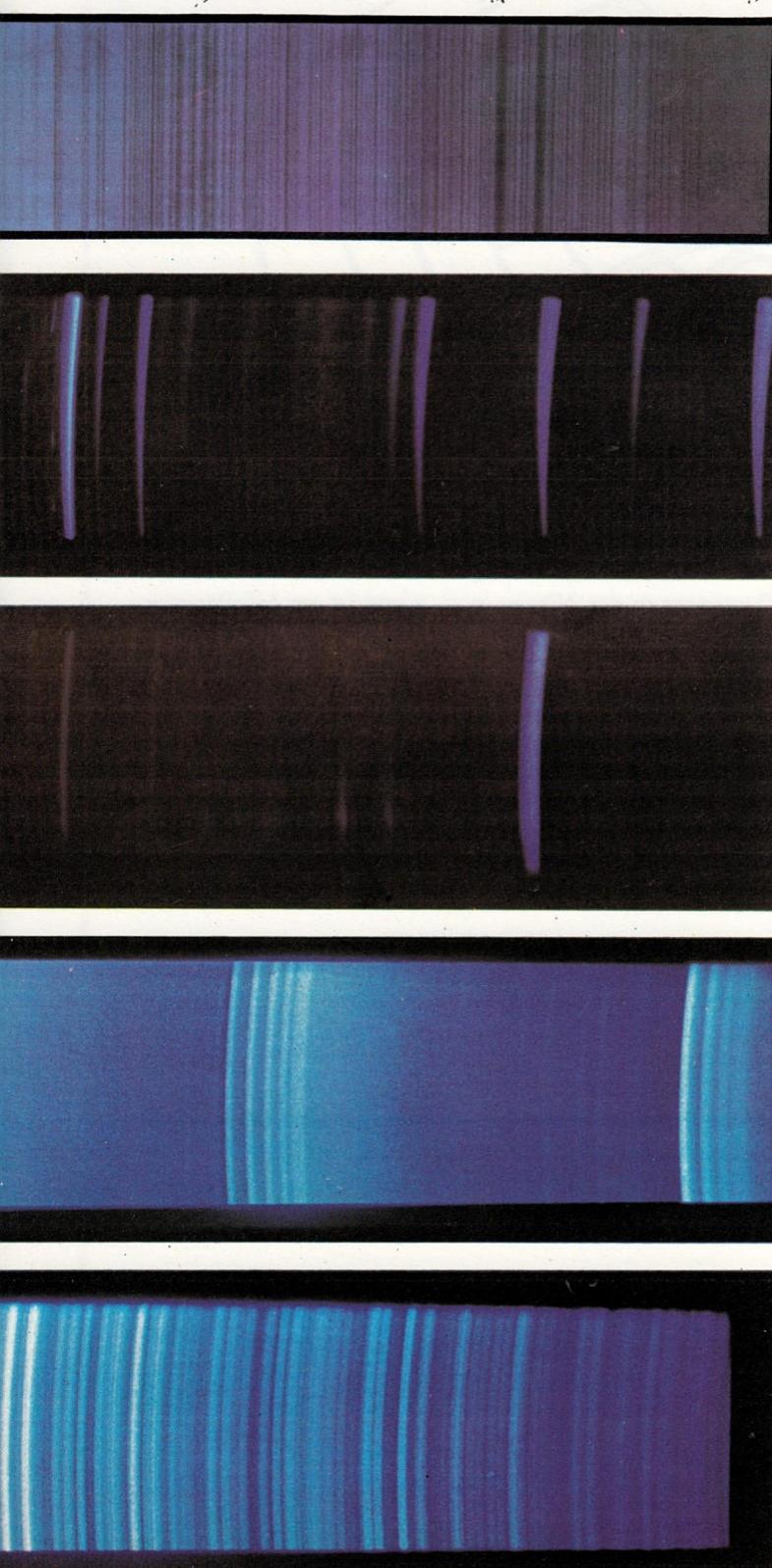
Da jedes Element aus Atomen besteht, die sich von denen aller anderen Elementen durch ihre charakteristische Zahl von Protonen (Kernbausteinen) unterscheiden, ist auch jede Spektrallinie eindeutig einem Element zuzuordnen. So besteht beispielsweise der Kern eines normalen Helium-Atoms aus zwei Protonen und zwei Neutronen, während der normale Wasserstoffkern nur ein Proton ist. Die größere positive Ladung bei zwei Protonen im Kern führt zu Elektronen-Umlaufbahnen mit kleinerem Radius als beim Wasserstoff. Die Energie, also auch die Wellenlänge, der bei einem elektronischen Übergang abgestrahlten Linie hängt von den Radien der beteiligten Bahnen ab, so daß die Wellenlänge der ausgesendeten Strahlung bei einem Sprung eines Elektrons von der zweiten zur ersten (inneren) Bahn für Helium kleiner ist als für Wasserstoff. Anderseits haben die Atome der schwereren Elemente Elektronenbahnen, die einen wesentlich größeren Radius besitzen als die inneren Bahnen des Wasserstoffs. Aus Übergängen zwischen diesen Bahnen erhält man Strahlung mit größeren Wellenlängen.

Ein Gas unter niedrigem Druck sendet seine charakteristischen Emissionslinien bei der Glimmentladung oder bei Erhitzung nach dem beschriebenen Mechanismus aus. Bei einem glühenden Festkörper jedoch findet man keine diskreten scharfen Linien, sondern ein zusammenhängendes 'Kontinuum', das man mit 'Strahlung eines schwarzen Körpers' bezeichnet (siehe ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN). Darin treten alle Farben des Regenbogens auf. Beim Sonnenlicht wird dieses Kontinuum durch die dunklen Absorptionslinien unterbrochen, die von Absorptionsvorgängen in kühleren Gasschichten der äußeren Sonnenatmosphäre herrühren: Aus dem von der Sonne ausgesendeten Licht kann von einem Atom ein Teil bei der für die Atomsorte charakteristischen Wellenlänge absorbiert werden. Es besteht kein Anlaß, daß das Atom diese zusätzliche Energie speichert, d.h. es strahlt sofort wieder ein Lichtquant derselben Frequenz ab. Die Wahrscheinlichkeit aber, daß dieses Licht sich in derselben Richtung ausbreitet wie die einfallende Strahlung, ist verschwindend gering. Für einen Beobachter ergibt sich so der Eindruck, daß — erkennbar an der dunklen Linie inmitten des hellen Kontinuums — Licht dieser speziellen Frequenz absorbiert worden ist.

Während die Spektren der Atome aus einzelnen Linien bestehen, findet man bei Molekülen oder Atomgruppen gewöhnlich breitere Liniengruppen. Diese 'Bänder' spielen eine wichtige Rolle in der Spektral-Fotometrie, bei der ein relativ



*Verschiedene Arten von Spektren und ihre Bedeutung: Oben die Fraunhofer'sche Kennzeichnung der Absorptionslinien des Sonnenspektrums. C, F und G gehören zur Balmer-Serie des Wasserstoffs. Darüber ist die graphische Darstellung der spektralen Verteilung des Lichtes, wie man sie mit einem Prisma mißt, wobei die rote Seite durch das Prisma zusammengedrückt wird. Lockyer entdeckte das Element Helium durch seine Absorptionslinien im Sonnenspektrum. Das Emissionsspektrum von*



Helium ist im nächsten Bild dargestellt. Das Element Natrium hat zwei dicht zusammenliegende 'D'-Linien (Bild 3), wie man es von den gelben Straßenlampen kennt. Das Spektrum eines Kohlelichtbogens in der Luft, auf dem zweiten Bild von unten dargestellt, zeigt die für Molekülspektren typischen Banden, die von dem im Lichtbogen gebildeten Cyan-Molekül (CN) herrühren. Ganz unten ist das linienreiche Spektrum des Eisens abgebildet.

einfacher Apparat ein Spektrum graphisch darstellt (siehe SPEKTROMETER).

### Spektralanalyse

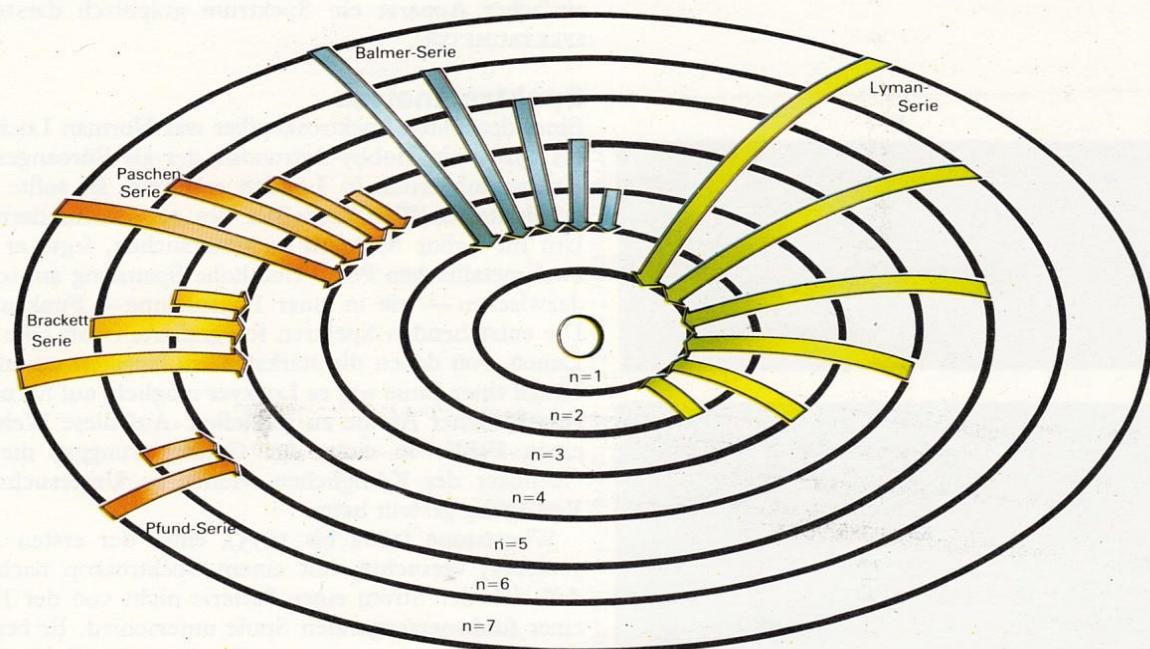
Einer der ersten Spektroskopiker war Norman Lockyer (1836 bis 1920), ein Hobby-Astronom, der als Büroangestellter im Kriegsministerium in London arbeitete. Er sollte einer der berühmtesten Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts werden. Um im Labor Spektren zu untersuchen, legte er zwischen zwei metallischen Polen eine hohe Spannung an, so daß sich dazwischen — wie in einer Bogenlampe — Funken bildeten. Die entstehenden Spektren fotografierte er als eine Serie von Linien, von denen die stärksten am längsten waren. Aus der Länge einer Linie war es Lockyer möglich, auf Mengenanteile verschiedener Atome zu schließen. Auf diese Weise fand er einen Fehler in einer der Goldlegierungen, die ihm ein Chemiker der Königlichen Münze zu Untersuchungen zur Verfügung gestellt hatte.

Wheatstone (1802 bis 1875), einer der ersten Elektroingenieure, versuchte, mit einem Spektroskop nachzuweisen, daß sich der Strom einer Batterie nicht von der Elektrizität einer funkenerzeugenden Spule unterschied. Er benutzte das Spektroskop aber auch zum Studium der Funkenentladung zwischen jeweils zwei Elektroden aus Kupfer, Zink, Blei und Zinn und veröffentlichte ein grobes Diagramm der Spektren, obwohl er die Wellenlängen nicht messen konnte. Er sagte vorher, daß man mit dieser Methode eines Tages Metalle analysieren würde. In der Tat hat sich aus diesen Anfängen die moderne Spektralanalyse entwickelt.

Zwischen 1915 und 1935 wurden in metallkundlichen Laboratorien Spektrographen eingeführt. Die zunächst üblichen Verfahren gingen von einer fotografischen Aufnahme des Spektrums aus, die mit dem Auge oder, etwas später, mit einem fototechnischen Meßgerät, z.B. einem Densitometer, ausgewertet wurde. Ab etwa 1930 wurde das direkte Spektrometer gebräuchlich, bei dem eine Fotozelle, mit der das Spektrum direkt abgetastet wird, eine Intensität über ein Meßgerät oder einen Papierschreiber liefert. Im Zweiten Weltkrieg wurde die Spektralanalyse zu einer der wichtigsten Methoden der Qualitätskontrolle, die weltweit von Herstellern von Legierungen auf Aluminium-, Magnesium-, Kupfer-, Blei- und Eisenbasis (Stahl) eingesetzt wurde. Heute ist das Verfahren so weit automatisiert, daß ein direktes Spektrometer die Zusammensetzung einer Probe mit einer Standardlegierung vergleicht und ein angeschlossener Rechner die notwendigen Korrekturen und Auswertungen vornimmt sowie die Resultate über einen Drucker ausgibt. Der ganze Vorgang dauert nicht länger als fünf Minuten. In einer Gießerei beispielsweise bedeutet dies eine beträchtliche Ersparnis an Energie, da man eine Probe einer geschmolzenen Legierung nun wesentlich schneller analysieren kann und somit die Zusammensetzung der Schmelze korrigieren kann.

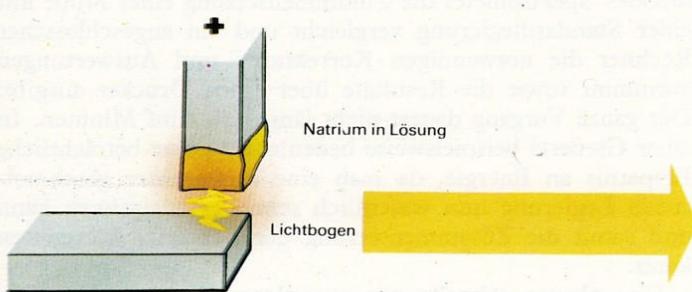
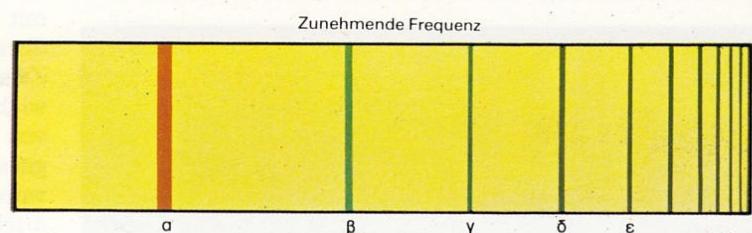
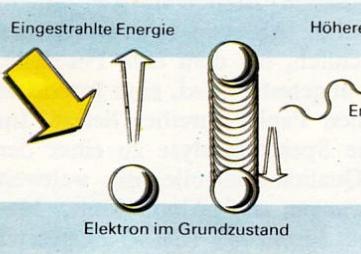
Eine ebenso schnelle wie grundlegende Anwendung der Spektralanalyse nutzt die Röntgenfluoreszenz, die im Bergbau wie in der Qualitätskontrolle der Metallindustrie eingesetzt wird. Hier wird eine Probe mit Röntgenlicht bestrahlt, die — ähnlich wie bei den Absorptionslinien beschrieben — bei gewissen Wellenlängen wieder Röntgenstrahlen aussendet ('fluoresziert'). Die Probe kann pulverförmig oder eine feste Scheibe des zu untersuchenden Materials sein. Auch dieses Röntgenfluoreszenzgerät ist heute automatisiert und kann in zehn Minuten sechs bis zwanzig Analysen für eine Probe ausdrucken.

Für die Suche nach Bodenschätzen sind tragbare Fluoreszenzspektrometer entwickelt worden, bei denen radioaktive Isotope statt Hochspannungsgeneratoren die Strahlung liefern. Der Gebrauch von Isotopen, die hochenergetische

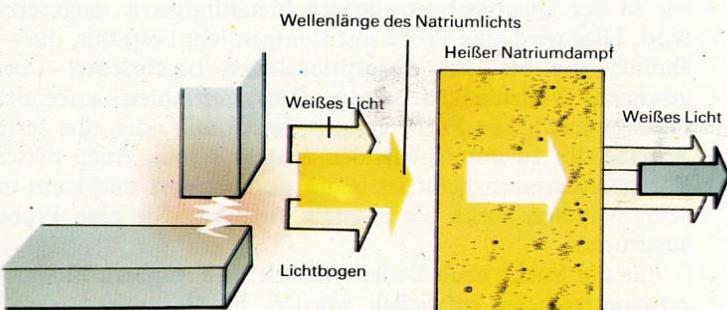


Oben ist eine schematische Abbildung eines Atoms wiedergegeben, wobei die Orbitale als Kreisumlaufbahnen veranschaulicht sind. Im Falle des elementaren Wasserstoffs besitzt das Atom nur ein Elektron. Sprünge dieses Elektrons von höheren Niveaus in den Grundzustand ( $n = 1$ ) ergeben die Lyman-Serie von Spektrallinien, die im Ultravioletten liegt. Die langwelligste  $\alpha$ -Linie der Lyman-Serie liegt bei 122 nm. Die Balmer-Serie (unten) des Wasserstoffs entspricht

Übergängen in das Niveau  $n = 2$  und ist am bekanntesten, weil sie im sichtbaren Bereich liegt — mit einer Wellenlänge von 656 nm für die  $\alpha$ -Linie. Darunter sind die Emissions- und Absorptionsspektren von Natrium abgebildet. Das Emissionspektrum erhält man von einem Lichtbogen, der Natrium dampf enthält. Das Absorptionsspektrum entsteht, wenn weißes Licht von einer Bogenlampe durch Natrium dampf geschickt wird.



Emissionslinien des Natriums



Absorptionsspektrum des Natriums



Gamma-Strahlen (sie haben eine kürzere Wellenlänge als Röntgenstrahlen) abgeben, ist wegen des geringeren Gewichtes der notwendigen Ausrüstung und wegen der größeren Eindringtiefe der Strahlen sinnvoll. Die Gammastrahlen treten aus einem Fenster des Gerätes aus, das vor die zu untersuchende Substanz gebracht wird. Es wird jeweils nur ein Element analysiert; mit Hilfe verschiedener Filter können mehrere Elemente nacheinander bestimmt werden.

Auch in den Labors der Museen ersetzt oder ergänzt die Röntgenfluoreszenz andere spektroskopische Methoden, vor allem wegen des Vorteils der zerstörungsfreien Analyse eines Objektes. So verschiedene Substanzen wie die Glasur auf Keramik, Farben auf alten Gemälden und die Edelmetallplattierung auf metallischen Gegenständen können mit ihr untersucht werden.

Kriminaltechnische Labors benutzen diese Methode, für die nur geringe Mengen an Material benötigt werden, zur Analyse von kleinsten Objekten, z.B. Farbspuren an den Kleidern des Opfers eines Autounfalls.

Die wahrscheinlich wichtigsten Anwendungen der Spektralanalyse finden sich im medizinisch-biologischen Bereich, wo alle Arten von Körperflüssigkeiten, tierische und pflanzliche Gewebe, Luft, Abgase und Gewässer untersucht werden. Gerichtsmedizinische Anwendungen standen am Anfang, insbesondere die Suche nach Giftstoffen im Magen-Darmtrakt des Menschen, die durch chronische oder akute Vergiftung aufgenommen werden können. (So können z.B. Elemente wie Blei und Quecksilber in einer Konzentration von einem Teil auf eine Million Teile schon gefährlich sein.) Später wurde die Spektralanalyse zur Routinemethode für alle normalerweise im Blutserum und in anderen Flüssigkeiten vorhandenen Elemente. Die Spektralfotometrie hat heute viele dieser Auf-

gaben übernommen. Vor einigen Jahren traten in Japan zahlreiche Fälle von Quecksilbervergiftung auf, wodurch es weltweit zu einer angemessenen Verbesserung der Analysenmethoden für Quecksilber kam. Man kann heute sogar die geringe Menge Quecksilber nachweisen, die in normalem Seewasser vorhanden ist. Damit ist es auch möglich, bei jedem höheren Wert auf eine Verseuchung zu schließen.

In der Kernindustrie wird die Spektralanalyse bei jedem wichtigen Produktionsschritt angewendet, von der Anreicherung von Uranerz bis zur Untersuchung hochfester Stähle im Reaktorbau. Die Produkte des Kernzerfalls und andere Nebenprodukte der Kernenergieproduktion werden auf diese Weise identifiziert, wobei die spektroskopischen Geräte in speziellen, abgetrennten Räumen (heisse Zellen usw.) untergebracht sind, um den Benutzer der Anlage nicht zu gefährden.

### Spektralfotometrie

In vielen Fällen ist es nicht nötig, zur Beobachtung der Emissionslinien eine Probe zu verdampfen. Man kann stattdessen die Molekül-Absorptionsbanden mit einem Spektralfotometer untersuchen. Man erhält eine graphische Darstellung der Absorption als Funktion der Wellenlänge, wobei sich die Probe gewöhnlich im flüssigen oder gasförmigen Zustand befindet. Die meisten der interessierenden Absorptionsbanden der Moleküle befinden sich im infraroten Bereich des Spektrums. Man kennt aber auch Fotometer für sichtbare und ultraviolette Strahlung.

Da die untersuchten Banden nicht die Schärfe der Linien eines Emissionsspektrums besitzen, lässt sich mit vergleichsweise schlechter 'Auflösung' arbeiten, wodurch die Analyse beschleunigt wird. (Unter Auflösung versteht man hier das





**Oben:** Ein Infrarot-Spektrometer mit einem eingebauten graphischen Aufzeichnungsgerät, das mit Papier arbeitet. Infrarot-Spektrometer werden häufig für chemische Analysen, darunter zur Analyse von Gasen, verwendet.

**Rechts:** Ein preiswertes Spektrometer für die Analyse von ultravioletten und sichtbaren Lichtspektren. Moderne Spektrometer wie das hier abgebildete sind so konstruiert, daß sie nicht nur leicht zu bedienen sind, sondern auch genau und zuverlässig arbeiten.



Vermögen, zwischen zwei eng benachbarten Linien zu unterscheiden.)

### Astronomische Spektroskopie

Viele Fortschritte in der Spektraltheorie sind dem Studium der Sterne und der Spiralnebel zu verdanken, wo die Materie in Zuständen existiert, die man im Laboratorium nicht verwirklichen kann. Die Spektroskopie hat in der Astrophysik und bei der Erforschung des Universums eine ähnlich große Rolle gespielt wie das Teleskop. Die Lage der Spektrallinien

wird durch verschiedene äußere Umstände beeinflußt, z.B. durch Druck, Temperatur, Turbulenz, magnetische und elektrische Felder, Bewegung (feststellbar durch den Doppler-Effekt) und durch die chemische Zusammensetzung der strahlenden Körper selbst. Durch die Untersuchung von immer weiter von uns entfernten Objekten läßt sich feststellen, wie sich die chemische Zusammensetzung des Weltalls mit seinem Alter verändert hat, da das Licht, das uns heute von den entferntesten Objekten erreicht, lange vor dem Entstehen der Erde ausgesendet wurde.



# Erfindungen 48: EISENERZEUGUNG MIT KOKS

Im Hochofen gibt man eine Mischung aus Eisenerz, Brennmaterial und Kalk in einen hohen Schacht aus feuerfestem Schamottemauerwerk. Dieser Schacht ist in der Mitte (am sogenannten Kohlensack) stärker ausgebaut als oben (an der Gicht) und unten (am Gestell). Bei der hier beschriebenen Art handelt es sich, im Gegensatz zu den später eingeführten Elektro-Hochöfen, um einen Blas-Hochofen. Der Name geht darauf zurück, daß im Rast (unter dem Kohlensack) Luft eingeblasen wird, deren Sauerstoffanteil die Verbrennung fördert. Die Verbrennungsgase erschmelzen aus dem Erz das Metall, das sich im 'Gestell' sammelt, wo es von Zeit zu Zeit abgestochen wird. Die Schlacke schwimmt auf dem flüssigen Metall und wird gegenüber der Abstichöffnung getrennt ausgestoßen.

Bis zum Ende des 17. Jahrhunderts war der einzige verfügbare Brennstoff Holzkohle, und die einzige Energiequelle für den 'Wind' — so heißt die Luft, die in den Ofen eingeblasen, aber auch in der Schmiede benötigt wird — waren Wasserräder. Diese Räder trieben auch die Fallhämmer und die primitiven Walzwerke jener Zeit an. Jedoch mehrten sich die Anzeichen für eine immer stärkere Verknappung von Brennmaterial. Im 17. Jahrhundert war es bereits erforderlich geworden, Holz zum Betrieb solcher Anlagen nach England einzuführen. Obgleich Besitzer von Eisenhütten bei den zahlreichen Gesetzen zur Eindämmung der zunehmenden Entwaldung des Landes ausgenommen waren, stagnierte die Eisenerzeugung. Einige Industriezweige, so zum Beispiel Ziegeleien, Buntmetallgießereien, das Brauwesen und Färbereibetriebe hatten auf Kohle ausweichen können. Da Kohle aber Schwefel enthält, der bei Erhitzung Eisen spröde macht, war sie im Blas-Hochofen und in der Schmiede nicht zu verwenden.

## Koks

Als man Malz mit Kohle darrte (trocknete) — die erste Stufe der Bierherstellung — machten die auftretenden Schwefeldämpfe das Bier nahezu ungenießbar. Diese Schwierigkeit löste man dadurch, daß man Kohle ebenso behandelte wie Holz



MANSSELL COLLECTION

**Oben:** Eine frühe Industrieland-schaft. Eine Eisenhütte in Coalbrookdale, England, im Jahre 1788. Das Wasserrad trieb eine Maschine zum Ausbohren von Geschütz-läufen, die im Eisenwerk gegossen worden waren.

**Unten:** Eine Ansicht aus dem Jahre 1758. Erkennbar sind die Über-tage-Anlagen von Coalbrookdale. Links wird der Zylinder einer Dampf-maschine transportiert, während man rechts große Haufen Kohle durch Schwelung verkoken läßt.



MANSSELL COLLECTION

bei der Erzeugung von Holzkohle. Man ließ die Kohle in großen, bedeckten Haufen ('Meilern') langsam und unter verringelter Sauerstoffzufuhr verbrennen, eigentlich nur ausglühen (Schwelung). Damit beseitigte man den Schwefel und andere flüchtige Bestandteile der Kohle. Die für den Einsatz in Hochöfen bestimmte Kohle, die dort mit Eisenerz zusammenkam, mußte ebenfalls nach diesem Verfahren, das man als Verkokung bezeichnet, behandelt werden. Das Ergebnis des Prozesses heißt Koks.

### Abraham Darby

Abraham Darby aus Coalbrookdale in Shropshire benutzte als erster das neue Brennmaterial zur Eisenerzeugung.

Er war Buntmetall- und Eisengießer in Bristol und hatte im Jahre 1708 den Hochofen in Coalbrookdale gepachtet, hauptsächlich, weil er dadurch immer genug Eisen für sein neues Verfahren zur Herstellung von bauchigen Eisentöpfen, das er sich patentieren ließ, haben würde. Für die damalige Zeit war es ein recht großer Hochofen, für den auch

reichlich Wasser zur Verfügung stand. Schon bald gab Darby der von ihm verwendeten Kohle Koks zu und ging schließlich ganz auf Koks über.

Die Einfachheit, mit der nach seinem Verfahren Hohlformen herstellbar waren, ermöglichten es ihm, auf dem Markt für Zylinder, die für die atmosphärische Dampfmaschine Newcomens (1663 bis 1729) gebraucht wurden, Fuß zu fassen.

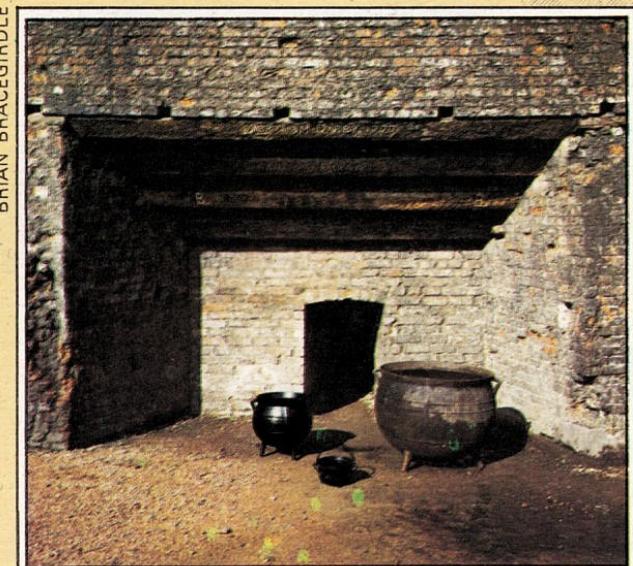
Diese Maschine zum Wasserheben machte den nächsten Schritt zur Industrialisierung möglich, nämlich den Kohleabbau aus Flözen, die tiefer lagen als die, aus denen die bis dahin verwendeten primitiven Pumpen das Wasser abpumpen konnten. Bald wurde Kohle zum wichtigsten Brennmaterial in der Industrie.

### Die Eisenindustrie und Koks

Nicht alle Kohlearten eigneten sich

für die Verkokung. Dies war der Grund, warum nicht die gesamte Eisenindustrie sofort diese neue Möglichkeit nutzte. Einige Besitzer großer Hüttenbetriebe gingen erst vierzig Jahre später auf die neue Methode, Eisen zu gewinnen, über. Darby hatte insofern Glück, als die am Ort verfügbare Kohle, die in Form großer Brocken anfiel, sich sehr leicht verkoken ließ. Lange Zeit hing die Erzeugung des Windes von der Wasserkraft ab, denn die Newcomensche Maschine wurde nicht etwa zur Winderzeugung eingesetzt, sondern pumpte lediglich das Wasser in den Stauteich zurück, der das Wasserrad antrieb. Erst mit Watts (1736 bis 1819) doppeltwirkender Dampfmaschine und mit neu konstruierten Gebläsen konnte sich die Eisenindustrie von ihren primitiven Ursprüngen lösen.

**Unten:** Das Abstichloch des Alten Hochofens in Coalbrookdale. Die mit der Jahreszahl 1777 gekennzeichneten Balken wurden gelegt, als die Anlage vergrößert werden mußte, damit dort die Träger für die Eisenbrücke gegossen werden konnten. Der kleine Gußkessel datiert aus dem Jahre 1714.



**Rechts:** Auf der Skizze oben ist das Abstichloch mit F gekennzeichnet. Die Darstellung stammt aus Diderots 'Encyclopédie' aus dem Jahre 1751. Die Ansicht unten zeigt das Wasserrad zum Antrieb des Blasebalgs, der den 'Wind' für den Hochofen lieferte.

