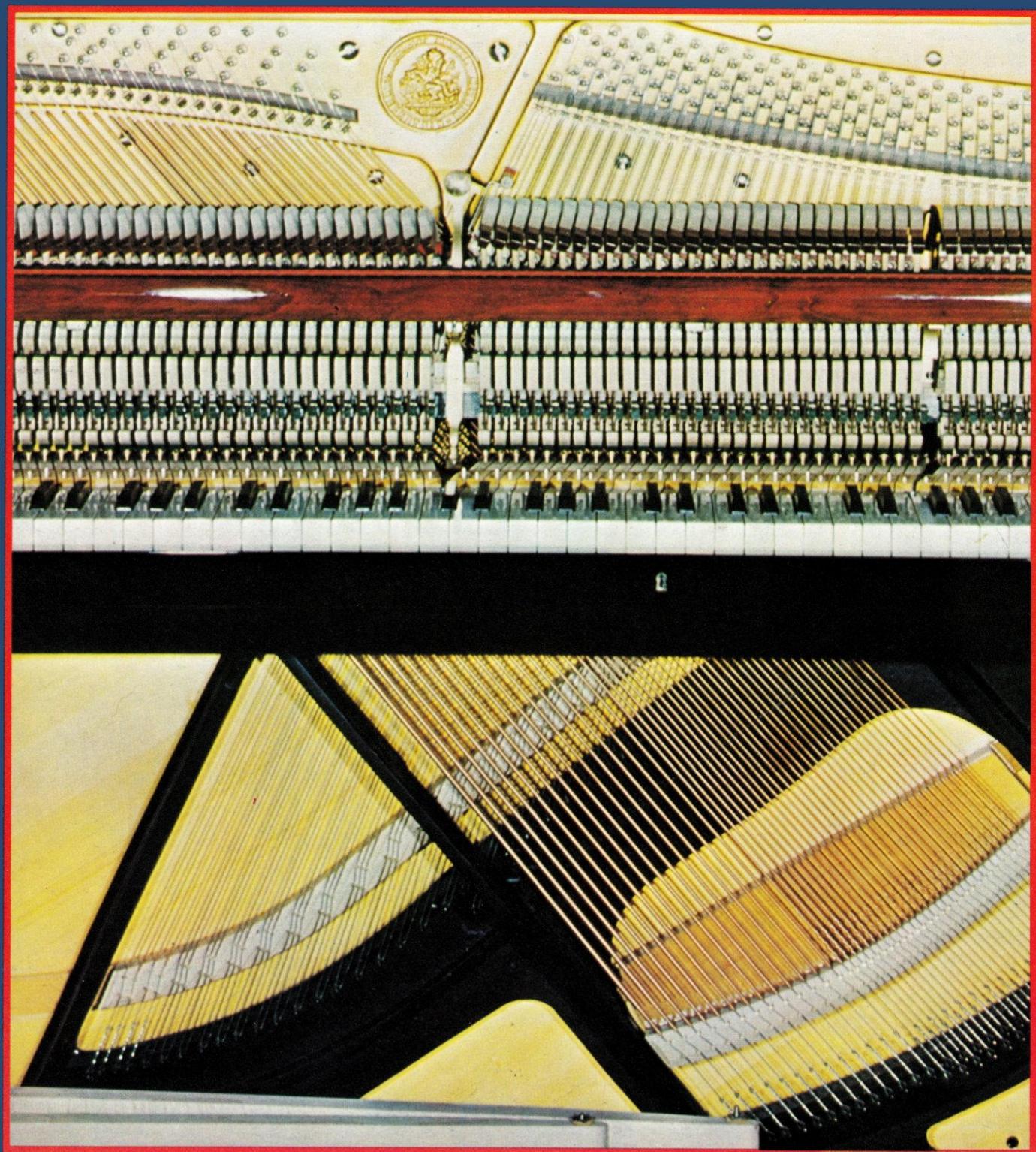


HEFT 27 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25 SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



---

scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Katadioptrische Systeme	729
Katalyse	730
Katodenstrahlröhre	734
Katzenauge	737
Keramikwerkstoffe	738
Kernkettenreaktion	744
Kernresonanz, magnetische	749
Klavier	751

### 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 schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

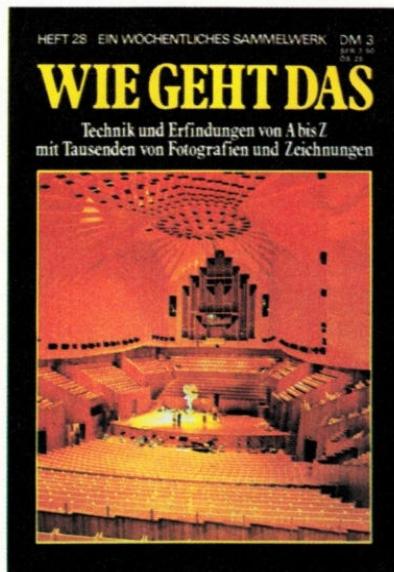
**Wichtig:** Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

### 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 28 von Wie Geht Das



Moderne Klimaanlagen können die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit in einem Gebäude mit nur geringen Abweichungen konstant halten, selbst wenn außerhalb extreme Temperaturen herrschen. In Heft 28 von Wie Geht Das wird die Funktionsweise von Klimaanlagen beschrieben.

Kohlenstofffasermaterialien sind leicht, widerstandskräftig und rostfrei. Sie werden in wachsendem Maße in der Industrie verwendet, so z.B. in der Flugzeugindustrie. Lesen Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das wie Kohlenstofffasermaterialien hergestellt und wo sie eingesetzt werden.

### 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.

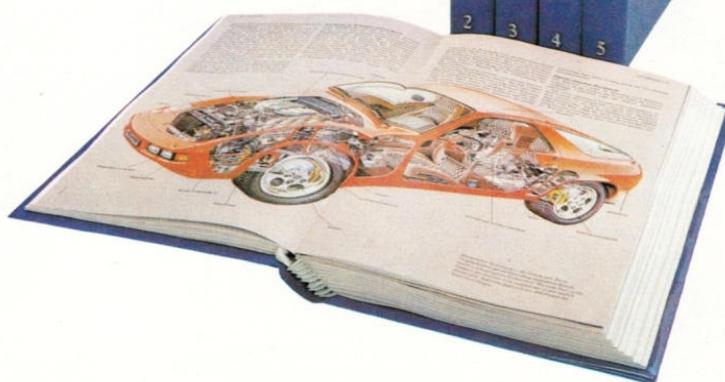
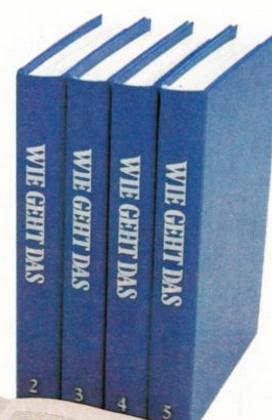
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202. Kennwort: SAMMELORDNER.

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 schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung des Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: SAMMELORDNER.

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



## KATADIOPTRISCHE SYSTEME

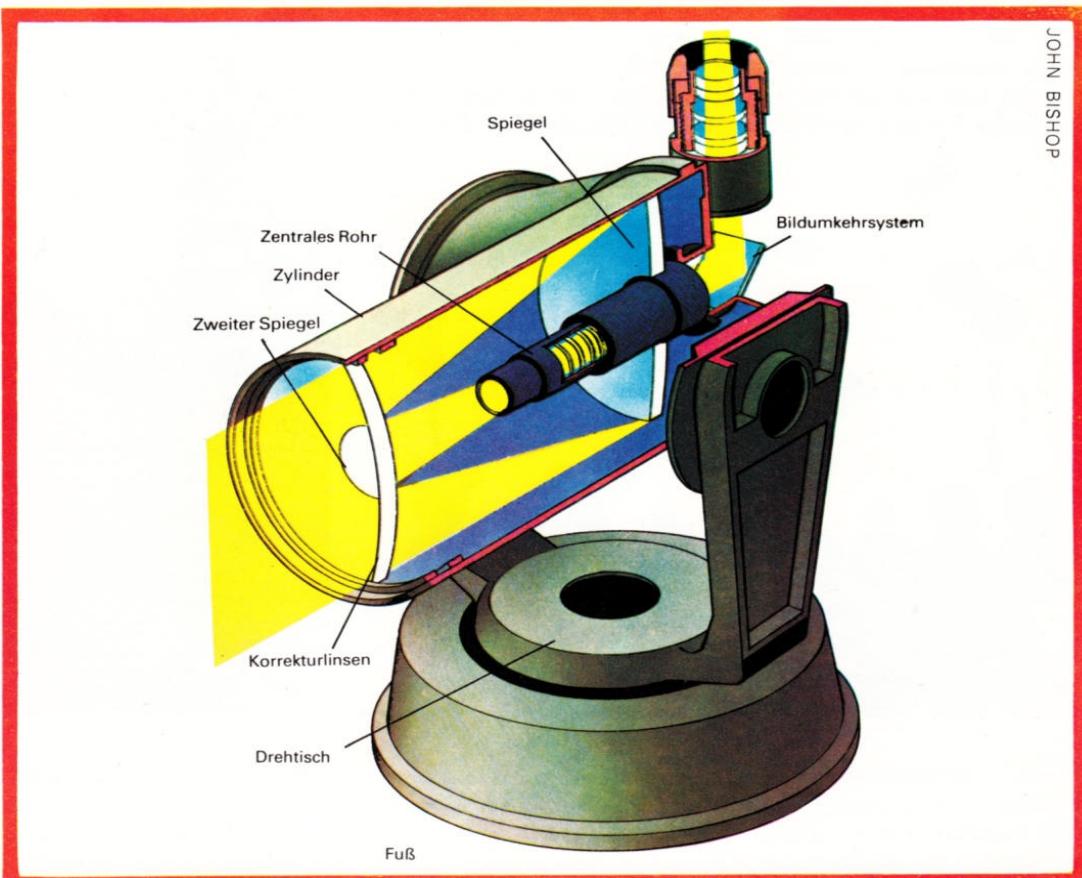
Durch katadioptrische Systeme können große Brennweiten in sehr gedrängtem Aufbau realisiert werden.

Der Ausdruck Katadioptrik zur Erzeugung eines Bildes wird sowohl auf lichtreflektierende (SPIEGEL) als auch auf lichtbrechende Systeme (LINSEN) angewendet. Konventionelle optische Systeme verwenden entweder die Reflexion (TELESKOP) oder die Brechung des Lichtes (FERNGLAS, Kamera und terrestrische Fernrohre). Katadioptrische Systeme werden seit etwa fünfzig Jahren eingesetzt. Erst seit dem Zweiten Weltkrieg kennt man die 'Spiegellinsen'-Anordnung für Kameras (Spiegelreflexkamera).

Diese Art katadioptrisches System ist allgemein bekannt, da

**Rechts:** Querschnitt durch ein katadioptrisches System. Der Weg des Lichtes ist gelb dargestellt: Licht tritt links durch eine schwach gekrümmte konkave Linse ein und wird im Hintergrund auf eine reflektierende Stelle auf der Rückseite der Linse reflektiert. Von hier gelangt das Licht in ein zentrales Rohr auf ein 45er Prisma, das es dem Objektiv zuführt.

**Unten:** Das katadioptrische System Questar, das entweder als Teleskop (man sieht auf dem Bild das Okular) oder als Teleobjektiv, bei dem das Okular und das Prisma entfernt werden und auf die Rückseite eine Kamera angesetzt wird, Verwendung findet.



es eine sinnvolle Alternative zum TELEOBJEKTIV ist, mit dem Gegenstände in weiter Entfernung fotografiert werden können. Das katadioptrische System ist kürzer als das Linsensystem in einem Teleobjektiv; dies bedeutet ein geringeres Gewicht. Durch den größeren Durchmesser können Bilder selbst im Dämmerlicht 'geschossen' werden.

Die Anordnung der Linsen wird nach ihrem Entwickler D. D. Maksutov benannt. Licht, das von einem Gegenstand kommt, tritt durch eine leicht konkav gekrümmte Linse ein, die das Licht etwas divergieren lässt. Das Licht wird dann von einem Konkavspiegel auf eine reflektierende Stelle auf der Rückseite der Linse geworfen. Das hier reflektierte Licht dringt durch eine Öffnung im Hauptspiegel und wird gebündelt, um das Bild zu ergeben. Die konvexe Stelle auf der Rückseite der Linse vergrößert das Bild, indem die effektive

Brennweite des Systems vergrößert wird. Aufgrund dieser Anordnung kann das katadioptrische System so kompakt gebaut werden. Hinter dem Spiegel wird eine Kamera statt mit gewöhnlichen Linsen mit Spiegellinsen angebracht.

Ein solches System kommt im Gegensatz zum Teleobjektiv, das sechs bis acht Linsen enthält, mit nur zwei optischen Bauteilen aus. Durch die hohe Genauigkeit, die sowohl für die Linsen als auch für den Spiegel erforderlich ist, ist dieses System in der Herstellung nicht billig.

Das Maksutov-System kann auch als Teleskop verwendet werden. Wegen seiner gedrängten Form wurde es allgemein bekannt. Ein weiteres katadioptrisches Abbildungssystem ist der Schmidt-Spiegel. Es handelt sich hier um einen konkaven, sphärisch geschliffenen Spiegel, dessen Krümmungsmittelpunkt im Zentrum der Öffnungsblende liegt. Das Bild liegt auf einer zum Spiegel konzentrischen Kugelfläche im Abstand des halben Krümmungsradius. Bringt man an diese Stelle eine fotografische Platte an, kann das Bild festgehalten werden. Ein Fehler des Kugelspiegels, die sogenannte sphärische Aberration, wird durch eine deformierbare Korrektionsplatte (Schmidtsche Platte) innerhalb der Öffnungsblende beseitigt.

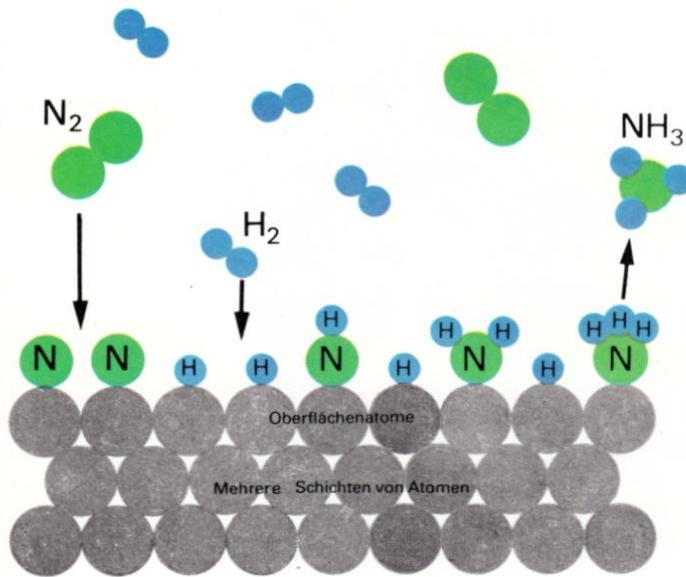
# KATALYSE

Durch die Verwendung von Katalysatoren zur beschleunigten Reaktion chemischer Produkte spart die chemische Industrie bei der Herstellung von Produkten Millionenbeträge ein.

Chemische Reaktionen sind vielfach schwierig einzuleiten. Oder aber — ist eine Reaktion eingeleitet — kann die Reaktionsgeschwindigkeit sehr klein sein. Um chemische Reaktionen ablaufen zu lassen oder zu beschleunigen, verwendet man Katalysatoren. D.h. mit Katalysatoren lassen sich chemische Vorgänge beschleunigen. Zur Durchführung chemischer Reaktionen genügen in der Regel nur kleine Katalysatormengen, da der Katalysator bei dem chemischen Vorgang nicht 'verbraucht' wird, d.h. der Katalysator beeinflusst die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion, ohne selbst chemische Veränderungen zu erfahren.

Jedes Jahr werden von der chemischen oder Erdölindustrie Millionen Tonnen von Produkten durch katalytische Prozesse

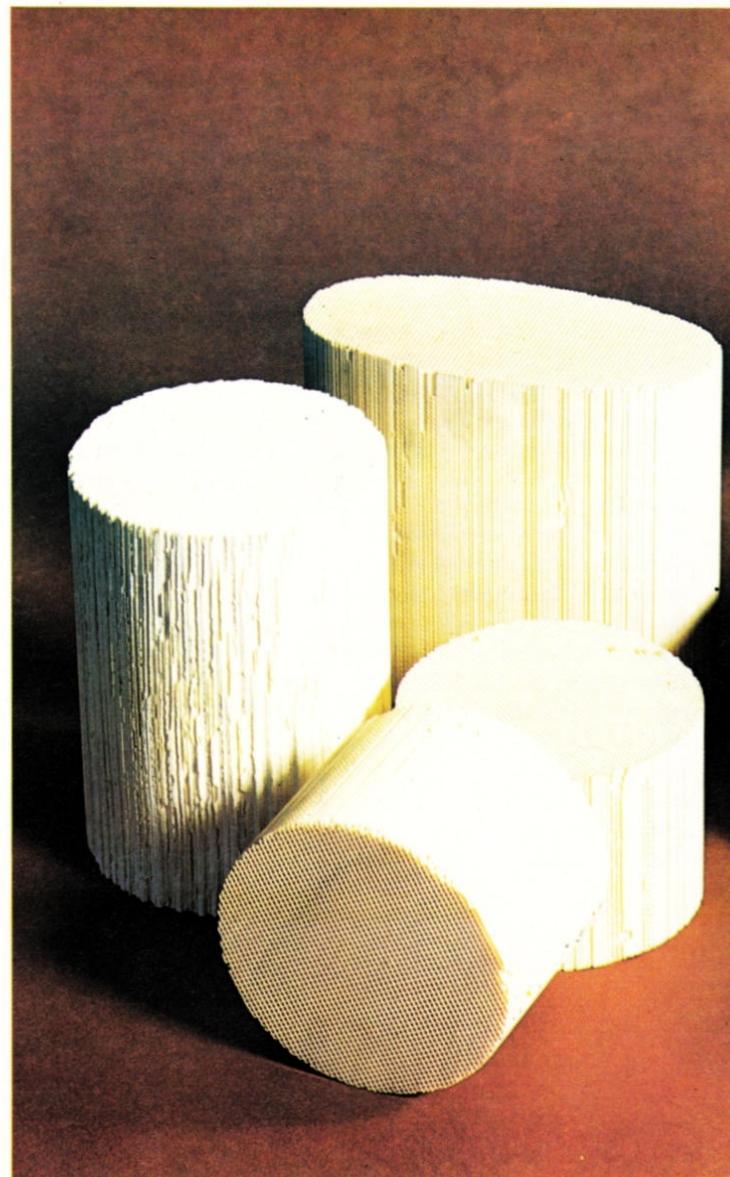
ERIC JEWELL ASSOC.



**Oben:** Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff auf der Oberfläche eines Eisenkatalysators. Durch Experimentieren wurde festgestellt, daß die Reaktion durch einen Katalysator aus Magnetit beschleunigt werden kann. Die beiden Gase adsorbieren kurzzeitig als Atome, nicht als Moleküle.

hergestellt. Sie umfassen die Herstellung von Kunstdünger, Brennstoffen aus Öl, synthetischen Fasern oder Kunststoffen, Haushaltsfetten und synthetischem Gummi. Der wachsende Unmut der Bevölkerung über die Umweltverschmutzung hat dazu geführt, daß die Industrie intensiv forscht, in welcher Weise diese Verschmutzung eingedämmt werden kann. Dies kann vielfach mit Hilfe von katalytischen Prozessen geschehen. Beispielsweise können die Auspuffgase eines Kraftfahrzeuges unschädlich gemacht werden, indem man sie über Katalysatoren leitet.

Als Katalysator können verschiedene chemische Substanzen verwendet werden. Hierzu gehören z.B. Metalle, wie Platin, Nickel oder Silber, oder Metalloxide, wie Vanadium-pentoxid, Chromoxid oder Aluminiumoxid. Unter katalytischer Aktivität versteht man die Geschwindigkeit, mit der eine Substanz die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Das Verhalten einer chemischen Reaktion zu einem Katalysator kann unterschiedlich sein, so daß die Reaktionsgeschwindigkeit von dem verwendeten Katalysator abhängt. Die katalytische



Selektivität ist eine wichtige Kenngröße. Man versteht darunter die Fähigkeit des Katalysators, die Geschwindigkeit der erwünschten Reaktion — u.U. auf Kosten anderer möglicher Reaktionsschritte — zu erhöhen.

## Anwendungen

Die Hersteller von stickstoffhaltigen Kunstdüngern stellen zuerst Ammoniak ( $NH_3$ ) aus dem Stickstoff ( $N_2$ ) der Luft und Wasserstoff ( $H_2$ ) her. Der hier verwendete Katalysator ist die erste industrielle Anwendung des Katalysators. Im Jahre 1909 wurde nach Jahren der Forschung entdeckt, daß ein Katalysator aus Eisen — er wurde aus Magnetit ( $Fe_3O_4$ ), das aus Gallivare in Schweden kam, gewonnen — über lange Zeiten kontinuierlich Ammoniak erzeugen kann. Der Katalysator aus Eisen enthielt geringe Verunreinigungen, die seine Eigenschaften noch verbesserten. Geringe Beimischungen anderer Substanzen können die Eigenschaften eines Katalysators noch verbessern; man nennt sie Katalysebeschleuniger. Bei einem anderen katalytischen Prozeß wird Ammoniak unter Verwendung eines Platin/Rhodium-Katalysators oxidiert, um Salpetersäure herzustellen. Durch Verbinden der Salpetersäure mit weiterem Ammoniak erhält man schließlich das für das DÜNGEMITTEL wichtige Ammoniumnitrat.

Bei einer katalytischen Reaktion müssen sich die reagierenden Ausgangsstoffe kurzzeitig mit dem Katalysator vereinigen. Bei Festkatalysatoren spricht man von Adsorption der Moleküle der Ausgangsstoffe. Die Stärke der Adsorption kann



JOHNSON MATHEY

durch die Chemisorption unterschiedlich sein. Hierbei entstehen chemische Bindungen durch Atombindungen. Bei der physikalischen Adsorption treten nur die schwächeren Molekülbindungen auf.

Man beachte, daß die in der Abbildung gezeigte Adsorption der Atome nur auf der Oberfläche des Eisenkatalysators, jedoch nicht im Inneren des Katalysators stattfindet. Stickstoff- und Wasserstoffmoleküle diffundieren zu den Eisenatomen auf der Oberfläche des Katalysators, werden in Atome zerlegt und als solche adsorbiert. Auf der Katalysatoroberfläche vereinigen sich die Stickstoff- und Wasserstoffatome zu NH. Anschließend werden zwei weitere Wasserstoffatome angelagert, so daß sich NH<sub>2</sub> und schließlich NH<sub>3</sub> bildet. Das Ammoniakmolekül löst sich dann von der Katalysatoroberfläche.

### Energie

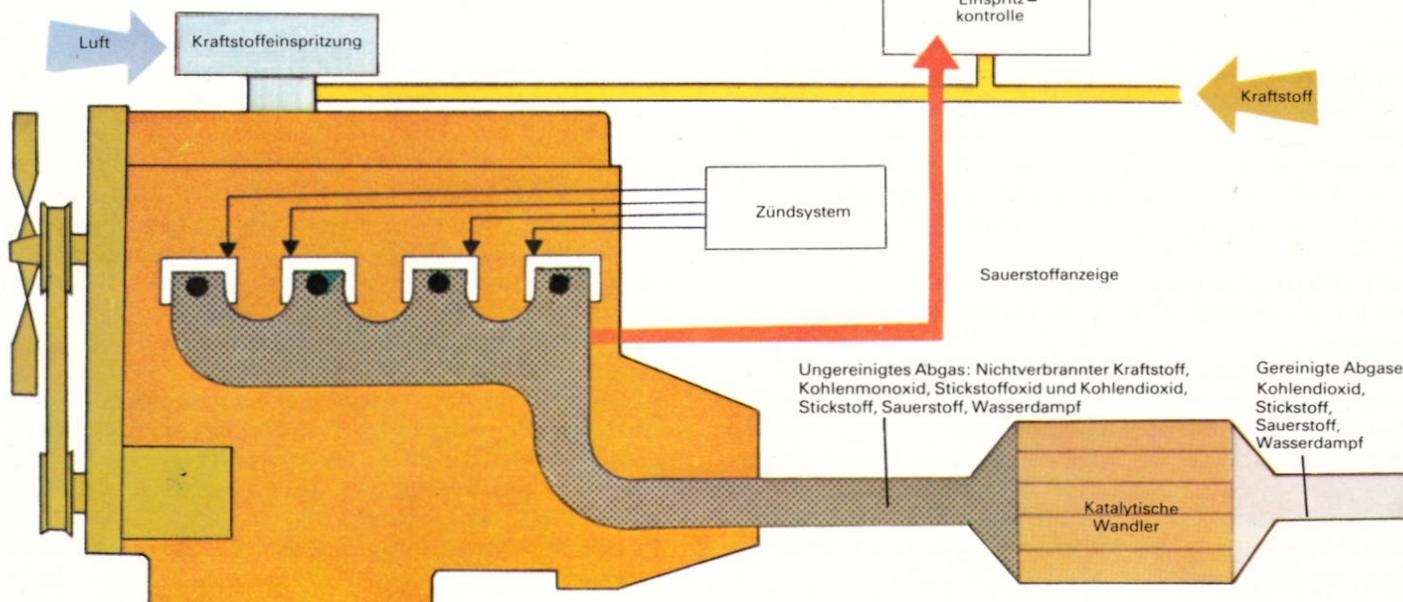
Nur wenige chemische Reaktionen verlaufen spontan, d.h. bilden ohne äußere Einwirkung eine Verbindung. Meist muß Energie (z.B. in Form von WÄRME) zugeführt werden, damit eine Reaktion stattfinden kann. Durch einen Katalysator verläuft eine chemische Reaktion bei niedrigeren Energiebeträgen ab als bei der Reaktion ohne Katalysator.

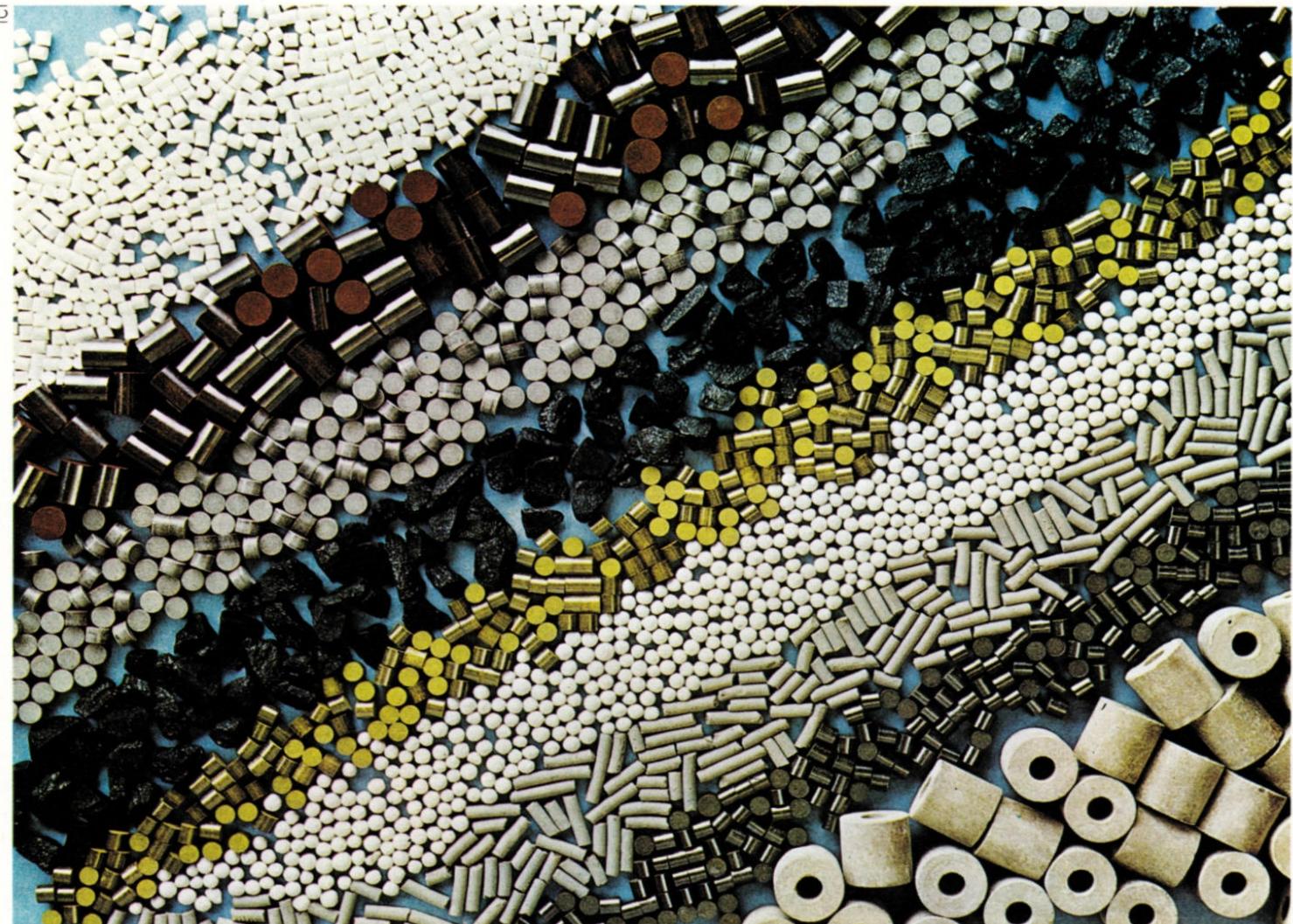
Obwohl auf dem Gebiet der Katalyse noch viele Fragen ungeklärt sind und derzeit noch intensive Forschungen betrieben werden, kann ganz allgemein erklärt werden, warum Eisen für die Synthese von Ammoniak bevorzugt wird. Eisen adsorbiert das Stickstoffatom gerade stark genug, damit es mit den Wasserstoffatomen reagieren kann. Andere Katalysatoren adsorbieren die Atome entweder zu stark, so daß sie nicht mehr reaktionsfähig sind, oder so schwach, daß nur wenige Atome an der Oberfläche des Katalysators 'gebunden' sind.

### Oberfläche

Da die chemischen Reaktionen auf der Oberfläche eines Katalysators stattfinden, wird versucht, die Katalysatoroberfläche so groß wie möglich zu machen. Bei der Margarineherstellung werden Pflanzenöle gehärtet, indem man sie mit Wasserstoff verbindet (Hydrierung). Als Katalysator verwendet man im allgemeinen Nickel. Der Nickelkatalysator

*Katalytische Wandler (oben) werden in das Auspuffsystem von Kraftwagen (siehe Abbildung unten) zur 'Reinigung' der Auspuffgase eingesetzt. Diese Wandlerelemente (im Bild vor und nach Gebrauch) verwenden Platin, das dünn auf einen porösen Keramikträger aufgebracht wird.*





wird dadurch erhalten, daß man aus einer Nickel/Aluminium-Verbindung mit Hilfe einer heißen Alkalilösung Aluminium herauslöst. Hierdurch wird eine große Nickeloberfläche (etwa 100 m<sup>2</sup> pro Gramm Nickel) erhalten. Wird ein Edelmetall wie Platin als Katalysator verwendet, wird eine dünne Schicht des Metalls auf ein spezielles Trägermaterial aufgebracht, um eine große Oberfläche zu erhalten. Als Trägermaterial dienen Aluminiumoxid oder Holzkohle, die pro Gramm eine Oberfläche bis zu 1000 m<sup>2</sup> erreichen.

Bei der BENZINHERSTELLUNG werden zwei Verfahren angewendet: die katalytische Crackung und das katalytische Reforming-Verfahren. Beim katalytischen Crackprozeß werden Kohlenwasserstoffmoleküle (siehe KOHLENSTOFF) mit Hilfe von Silicium/Aluminium- oder kristallinen Aluminiumsilicat-Katalysatoren in kleinere Molekülgruppen gespalten. Beim Reforming-Prozeß wird die Oktanzahl des Benzens verbessert, indem man das Benzin über einen Platin-Katalysator, der auf saurem Aluminium aufgebracht ist, laufen läßt.

### Vergiftung eines Katalysators

Werden Katalysatoren bei einer chemischen Reaktion nicht erneuert, werden sie im Laufe der Zeit weniger wirksam. Beispielsweise kann die Aktivität eines Katalysators erheblich abnehmen, wenn er überhitzt wird. Hierbei wachsen große Oberflächenbereiche zusammen, was eine Verkleinerung der Oberfläche zur Folge hat. Man nennt diesen Prozeß Sintern. Katalysatorgifte sind Substanzen, die sich auf der Oberfläche des Katalysators sehr fest anlagern und somit dessen Aktivität negativ beeinflussen. Beispielsweise können geringe Mengen einer Schwefelverbindung Nickelkatalysatoren deaktivieren, weil sie von den Oberflächenatomen des Nickels stark adsor-

*Neun Katalysatortypen. Von oben nach unten: Edelmetall auf einem Aluminiumträger — dient zur Entfernung von Azetylen aus Äthylengas; Eisenoxid — dient zur Umwandlung des gefährlichen Kohlenstoffmonoxids in Kohlenstoffdioxid; Kobalmolybdät — dient zur 'Entschwefelung'; Eisenoxid — dient zur Ammoniaksynthese; Zink- und Chromoxide — dienen zur Herstellung von Methanol aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff; Zink — dient zur Entfernung von Schwefelwasserstoff aus Leichtöl und Gasen; Kobalmolybdät in einer anderen Form; Kupfer- und Zinkoxide mit Aluminiumoxid — dienen zur Kohlenstoffdioxidumwandlung bei niedrigen Temperaturen; Nickel — dient zur Umwandlung von Leichtöl in Methanol, Ammoniak und Stadtgas.*

bieren werden. Aktive Katalysatoroberflächen können auch von Kohlenstoffniederschlägen, die während der Kohlenwasserstoffherstellung entstehen, deaktiviert werden. Vergiftete Katalysatoren können häufig reaktiviert werden, indem man sie mit Wasserstoff oder Wasserdampf bei hohen Temperaturen behandelt.

Verständlicherweise sollte man sich bemühen, bei jedem katalytischen Prozeß Gifte vom Katalysator fernzuhalten. Eine Methode ist die Hydrodesulfurierung. Sie wird so genannt, weil Schwefel durch Reaktion mit Wasserstoff entfernt wird. Dies ist ebenfalls ein katalytischer Prozeß, wobei ein Gemisch aus Kobalt und Molybdänoxiden auf einem Aluminiumträger aufgebracht wird.

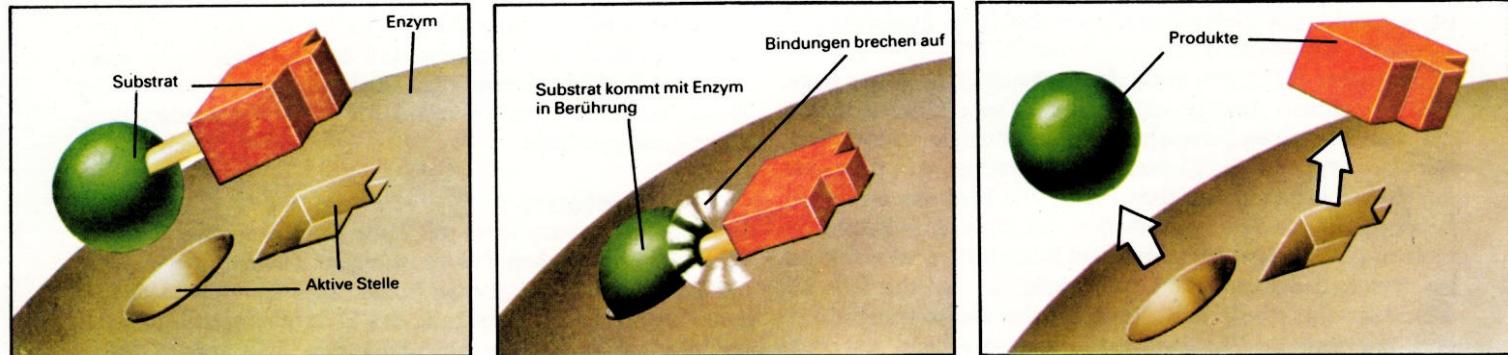
Bei den bisher beschriebenen Beispielen waren gasförmige oder flüssige Reaktionsprodukte vorhanden, die an der Oberfläche eines festen Katalysators reagierten. Dies sind Beispiele

der sogenannten heterogenen Katalyse, weil verschiedene Phasen (Festkörper, Flüssigkeiten oder Gase) bei der chemischen Reaktion vorkommen. Es können sich aber auch Ausgangsstoffe und Katalysator in der gleichen Phase befinden; man spricht dann von der homogenen Katalyse. Die Katalyse in wässriger Lösung, bei der alle Stoffe der Reaktion in Wasser gelöst sind, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Beispielsweise wird Acetaldehyd ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ ) aus einem Gemisch von Äthylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) und Sauerstoff hergestellt, das durch eine wässrige Lösung aus Kupfer- und Palladiumchloriden geleitet wird. Bei der homogenen Katalyse findet eine Reaktion dann bevorzugt statt, wenn sich zwischen den zu reagierenden Stoffen und dem Katalysator kurzzeitig eine Komplexverbindung bildet. Die Komplexverbindung zerfällt dann, wobei das Reaktionsprodukt entsteht und der Katalysator wieder gewonnen wird.

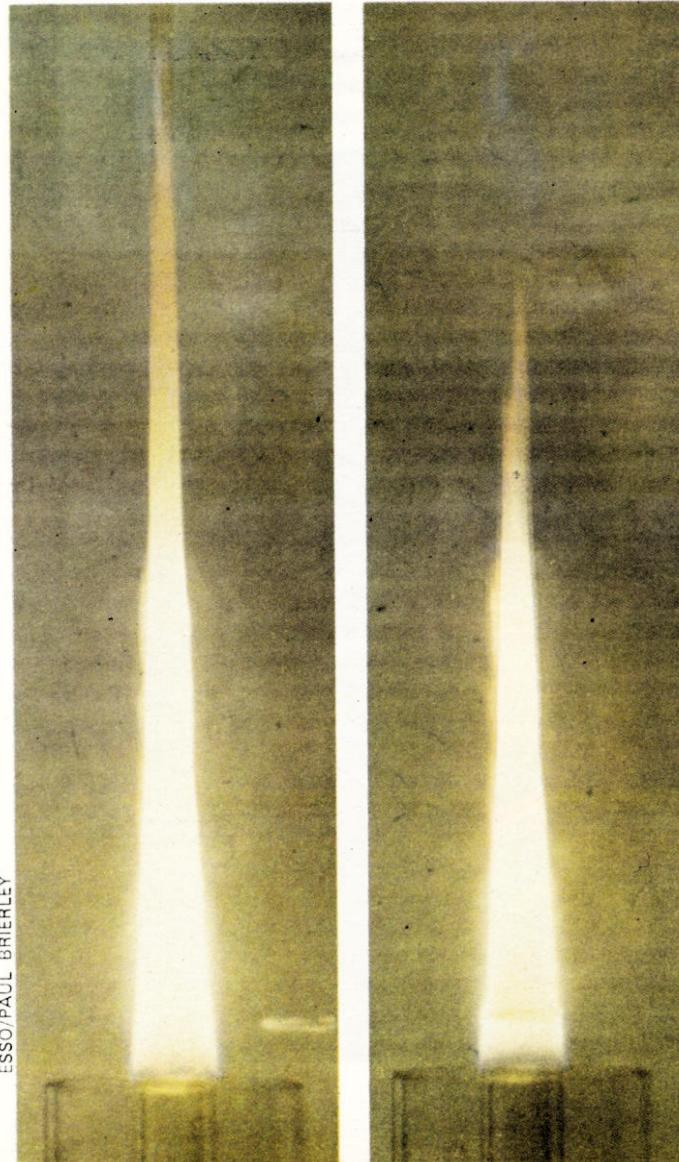
## Enzyme

Katalysatoren in der belebten Welt nennt man Enzyme (auch Fermente). Lange Zeit wurden Enzyme erfolgreich bei der WEINHERSTELLUNG verwendet. Durch Enzyme wird der in dem Rebensaft enthaltene natürliche Zucker in Alkohol und Kohlenstoffdioxid umgesetzt. Die Enzyme befinden sich als HEFESTOFF in der Haut der Traube. Bei den ersten Forschungsergebnissen zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts waren die Enzyme so eng mit der Hefe verbunden, daß man sie nach ihrer griechischen Bezeichnung in Sauerteig benannte.

Im menschlichen Körper kommen Hunderte verschiedener Enzyme vor. Viele von ihnen sind in den Zellen, andere im Darm des Menschen enthalten, wo sie zur Verdauung der gegessenen Speisen dienen. Enzyme spielen bei fast allen chemischen Reaktionen, die im menschlichen Körper stattfinden, eine Rolle. Jedes Enzym beeinflußt, im Gegensatz zu



**Oben:** Enzyme sind Katalysatoren für spezielle Anwendungen.  
1. Ein Teil des Enzyms, das als aktive Stelle bekannt ist, vereinigt sich mit dem Substrat (die Substanz auf die das Enzym einwirkt). 2. Das Enzym ordnet die Elektronen des Substrats in neue Umlaufbahnen um, wodurch eine chemische Bindung entstehen oder aufbrechen kann. 3. Die entstehenden Produkte lösen sich von dem Enzym. Das unveränderte Enzym kann nun an einer erneuten Reaktion mitwirken.



**Links:** Katalysatoren können auch dazu verwendet werden, den Rauch von Flammen zu reduzieren, indem teilweise unverbrannter Kohlenstoff verbrannt wird. Die Bilder zeigen den Unterschied zwischen einer normal brennenden Flamme (links) und einer Flamme, bei der ein Katalysator mitverwendet wird (rechts). Der Rauch ist weitgehend verschwunden.

den meisten anorganischen Katalysatoren, nur einen ganz bestimmten, scharf umgrenzten chemischen Vorgang. Das Enzym zur Umwandlung von Saccharose (Rohzucker) in Glukose und Fruktose nennt man beispielsweise Saccharase. (Die Endung -ase wird vielfach zur Bezeichnung von Enzymen verwendet.)

Die Enzyme werden entsprechend ihrer Art der Reaktion klassifiziert. Oxidase beispielsweise dient zur OXIDATION mit Sauerstoff, Dehydrogenase entfernt Wasserstoff von Molekülen, um sie zu oxidieren. Das Enzym Hydrolase beschleunigt den Hydrolyse-Prozeß, d.h. die Trennung von Molekülen durch Hinzufügen von Wassermolekülen. Die meisten der verdauungsfördernden Enzyme gehören zu dieser Gruppe.

Enzyme haben bemerkenswerte katalytische Eigenschaften. Sie sind bei den üblichen Umgebungstemperaturen wirksam und werden bei der künftigen Entwicklung von Katalysatoren eine große Rolle spielen (siehe auch ORGANISCHE CHEMIE).

# KATODENSTRAHLRÖHRE

**Das bedeutendste Sichtanzeigegerät, das in elektronischen Schaltungen eingesetzt wird, ist die Katodenstrahlröhre.**

Die Katodenstrahlröhre wird beispielsweise in Fernsehgeräten, als Sichtgerät in Radaranlagen und in wissenschaftlichen Meßgeräten wie dem OSZILLOSKOP verwendet.

Eine Katodenstrahlröhre besteht aus einem luftleer gepumpten Glasrohr, das an einem Ende einen flachen Schirm besitzt, dessen Innenseite mit einem fluoreszierenden Material beschichtet ist. Am anderen Ende ist ein Elektronenstrahlerzeugersystem eingebaut, das Elektronen in Richtung der Längsachse der Röhre zum Schirm hin aussendet. Durch die Elektronenstöße auf den Fluoreszenzschirm werden dessen Atome angeregt, und der Schirm überzieht sich mit Glimmlicht, wodurch die Sichtanzeige hergestellt ist. Die Stärke des Glimmlichtes ist der Anzahl der auftreffenden Elektronen proportional. Die Elektronen können durch ein Steuerelement innerhalb des Elektronenerzeugersystems beeinflußt werden.

Die bisher erwähnten Bauteile sind noch nicht in der Lage, eine brauchbare Anzeige zu erzeugen. Der Elektronenstrahl, der aus dem Erzeugersystem austritt, divergiert sehr stark. Dies bedeutet, daß die Elektronen weit streuen, d.h. man sieht auf dem Schirm einen trüben Fleck. Die Elektronen müssen, bevor sie auf den Schirm auftreffen, mit Hilfe eines Fokussiersystems gebündelt werden. Auf dem Bildschirm erscheint dann ein feiner, nadelförmiger Leuchtpunkt. Es ist ebenfalls ein Ablenkssystem erforderlich, durch das der Elektronenstrahl — und mit ihm der Leuchtpunkt — entsprechend auf dem Schirm bewegt werden kann.

## **Elektronenstrahlerzeugersystem**

Ein Elektronenstrahlerzeugersystem arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie eine ELEKTRONENRÖHRE. Es besitzt grund-

sätzlich drei Komponenten: eine Katode, ein Gitter und eine Anode. Die Anode wird gegenüber der Katode auf einem höheren Potential gehalten. Die elektronenemittierende Schicht der Anode ist mit dem Alkalimetall Cäsium überzogen. Wird die Katode von einem kleinen Heizelement erwärmt, können Elektronen die Oberfläche des Materials durchdringen und in den freien Raum gelangen. Da die Elektronen negativ geladen sind, wandern sie zur Anode. In der Mitte der Anode befindet sich ein kleines Loch, durch das einige Elektronen hindurchtreten. Diese Elektronen bilden den divergierenden Strahl, der in Richtung des Bildschirmes verläuft. Eine Steuerung der Strahlintensität wird über das Gitter vorgenommen, das sich zwischen Katode und Anode befindet. Durch Änderung der Spannung am Gitter läßt sich der Elektronenstrom zur Anode beeinflussen.

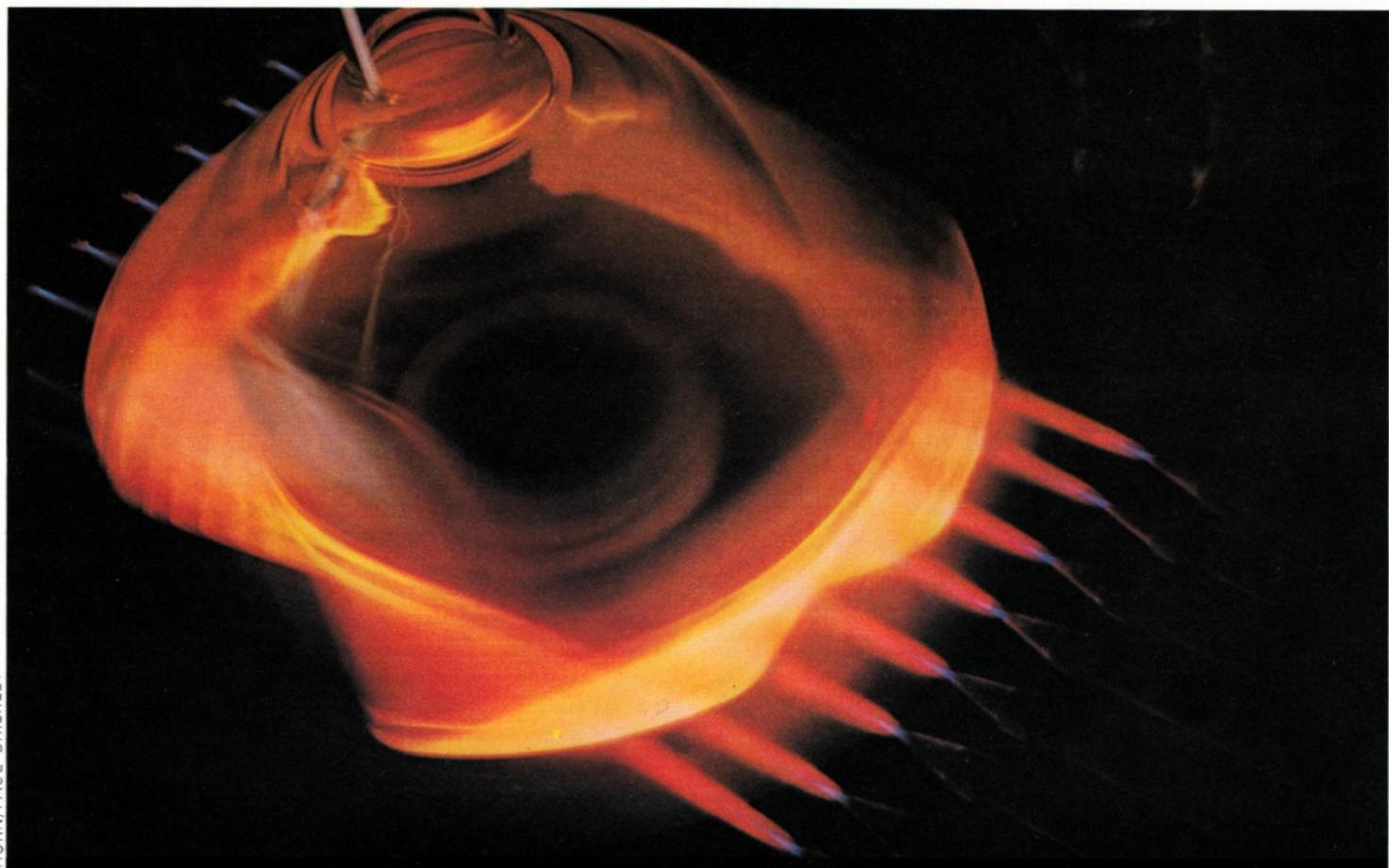
## **Fokussiersystem**

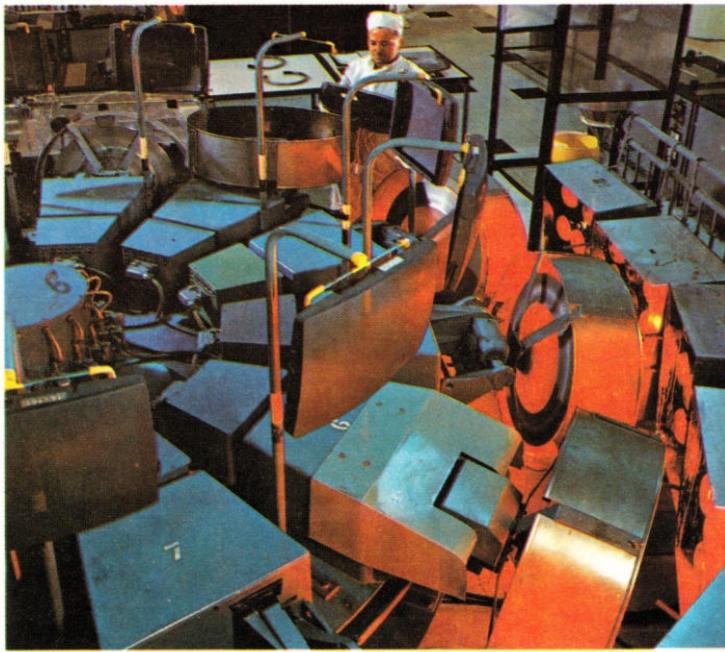
Der auseinanderlaufende Elektronenstrahl kann entweder mit einem elektrostatischen oder einem elektromagnetischen Feld gebündelt werden. Dazu werden die für die Bündelung vorgesehenen Bauteile so geformt, daß der elektrische oder magnetische Feldlinienverlauf den Elektronenstrahl in gleicher Weise beeinflußt, wie es mit Hilfe optischer Linsen beim Lichtstrahl geschieht.

## **Ablenkssysteme**

Die Strahlablenkung kann mit Hilfe eines magnetischen oder eines elektrostatischen Feldes erfolgen. Zur Strahlablenkung der Elektronen benötigt man immer zwei dieser Felder: Das eine Feld dient zur Ablenkung des Elektronenstrahls in horizontaler, das andere zur Ablenkung des Elektronenstrahls in

*Schwarz/Weiß-Bildröhre während der Herstellung. Die Frontplatte wird zum Kolben hin gewölbt. Die Leuchtschicht wird vor dem Einbau des Strahlerzeugersystems aufgebracht.*





ist so groß, daß das Auge ein vollständiges Bild mit unterschiedlichen Helligkeitswerten wahrnimmt. Die einzelnen Linien sind so fein und liegen so eng beieinander, daß man sie nicht unterscheiden kann. Bei Fernsehempfängerröhren ist die Wahl der Materialien wegen des Phänomens des Nachleuchtens wichtig. Hierbei leuchtet die überstrichene Schicht eine Zeitlang nach, obwohl sich der Elektronenstrahl schon entfernt hat. Die Nachleuchtdauer des Schichtmaterials vermittelt den Eindruck eines vorhandenen Bildes zwischen den Abtastvorgängen. Fernsehbilder werden 25mal in einer Sekunde geschrieben. Ist die Nachleuchtdauer viel länger als  $1/25$  s, entsteht bei schnell ablaufenden Vorgängen ein verwischter Eindruck. Andererseits führt eine geringere Nachleuchtdauer zu einem flackernden Bild, da es verschwindet, bevor der neue Abtastvorgang beginnt.

Bei Oszilloskop und Radaranzeigen kann die erforderliche

**Links:** Das Bild zeigt die Zentrifugen, mit deren Hilfe die drei Farbschichten auf der Schirmminnenseite verteilt werden. Die rote leuchtende Schicht wird als letzte aufgebracht, weil sie besonders teuer ist.



vertikaler Richtung. Auf diese Weise können mit dem Elektronenstrahl alle Punkte auf dem Bildschirm überstrichen werden.

Werden die elektrostatische Fokussierung und die Ablenkung eingesetzt, müssen die erforderlichen Anordnungen innerhalb der Röhre angebracht sein. Systeme, die ein Magnetfeld erzeugen, können auch außerhalb der Röhre angeordnet werden. Hierdurch wird der Aufbau der Röhre einfacher und billiger.

### Fluoreszierende Materialien

Katodenstrahlröhren, auf denen die Abbildung in Schwarz/Weiß-Stufen zu sehen ist, besitzen als fluoreszierende Stoffe gewöhnlich silberaktivierte Zinksulfide und silberaktivierte Zink/Cadmiumsulfide. Werden sie im richtigen Verhältnis gemischt, entsteht auf dem Schirm nach Anregung ein bläulich-weißes Glimmlicht.

Im Fernsehempfänger entsteht ein fortlaufendes Bild dadurch, daß der Elektronenstrahl den Bildschirm in Serien horizontaler Linien abtastet, wobei sich die Intensität des Strahles ändert. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht,

'Leuchttürme', die das ultraviolette Licht durch die Lochmaske auf die lichtempfindliche Schicht der Frontglasplatte abstrahlen, wobei die Lochmusteranordnung entsteht.

Nachleuchtdauer der Fluoreszenzschicht länger gewählt werden, weil die Geschwindigkeit der wechselnden Vorgänge, die angezeigt werden sollen, sehr viel niedriger ist.

Bei Farbfernsehröhrchen ist der Bildschirm auf seiner Innenseite mit einem feinen Raster dreier verschieden fluoreszierender Materialien bedeckt, die mit den drei Primärfarben Rot, Grün und Blau glimmen. Jede Farbe besitzt ein eigenes Elektronenstrahlerzeugersystem. Alle drei Systeme sind so angeordnet, daß sie auf dem Schirm ein rotes, grünes und blaues Bild erzeugen. Für das Auge verschmelzen die Bilder zu einem genau definierten Farbbild.

### Herstellung

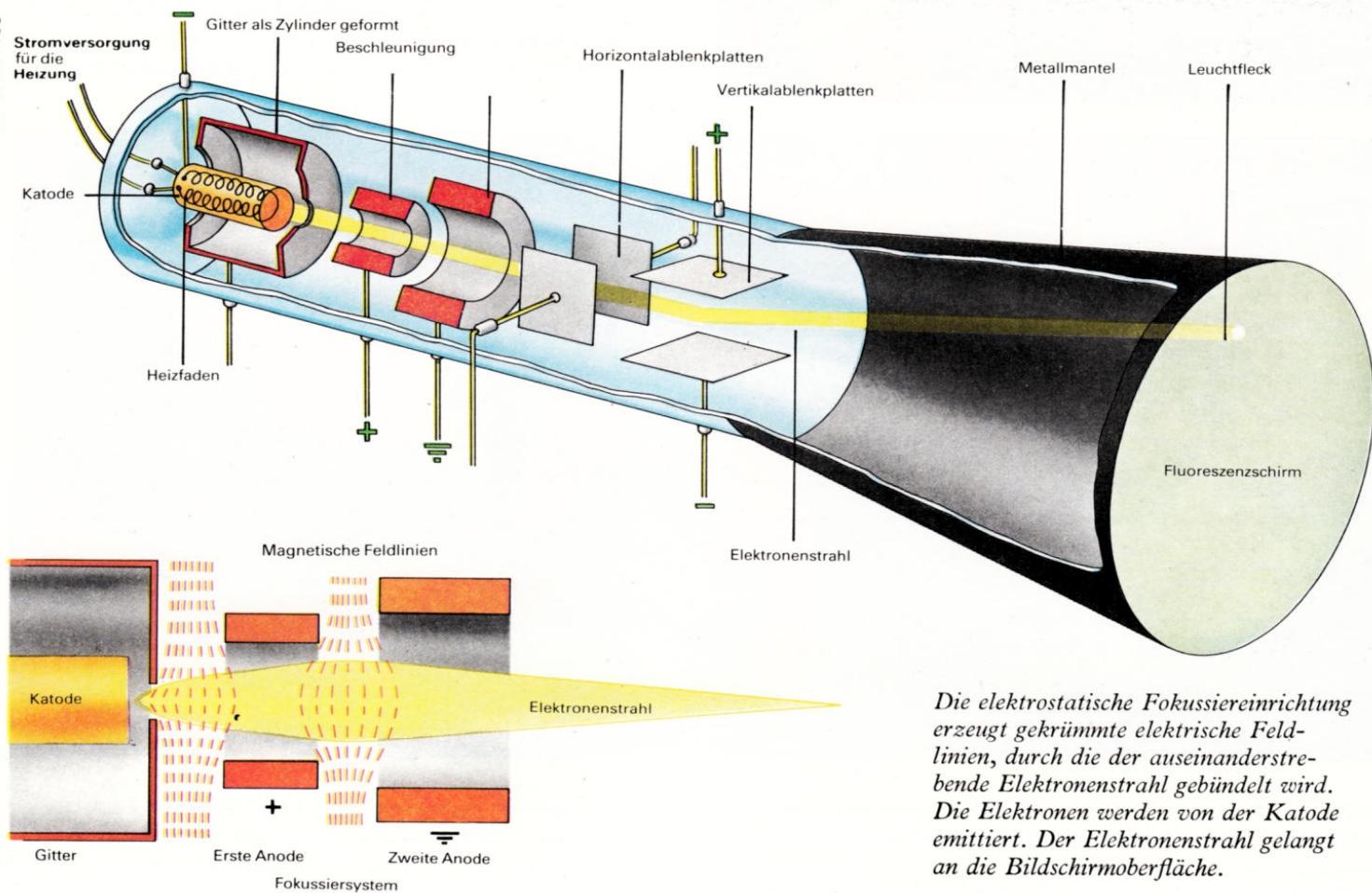
Jede Katodenstrahlröhre besteht grundsätzlich aus einem geblasenen Glaskolben mit getrennter Frontplatte, die den Leuchtschirm trägt. Beide Teile werden entweder im Hoch-

vakuum oder unter einer inaktiven Gasatmosphäre zusammengeschweißt. Die Herstellung kleiner Röhren für Oszilloskope ist einfacher als die Herstellung von Großbildröhren für Radar- oder Fernsehanwendungen. Am schwierigsten ist der Produktionsprozeß der Farbbildröhre. Der Schirm muß auf seiner Innenseite mit einem Raster von Leuchtstoffpunkten der drei Primärfarben überzogen werden. Vor dem Leuchtschirm in Richtung des Körbens wird eine Lochmaske angebracht, die äußerst sorgfältige Justierarbeiten erfordert, da die Löcher der Maske exakt mit den Farbpunkten übereinstimmen müssen. Hierdurch wird vermieden, daß während der Strahlablenkung in horizontaler Richtung falsche Leuchtstoffpunkte angeregt werden.

Die Maske besteht aus einer 0,15 mm dicken Nickellegierung. Sie wird beidseitig mit einer lichtempfindlichen Schicht ummantelt. Danach preßt man das Maskenblech zwischen zwei Glasplatten, die ein Raster von 400 000 Punkten

bettet, die über die Lochmaske mit ultraviolettem Licht bestrahlt wird und anschließend abgespült werden muß. An den Stellen, wo die Emulsion durch die Bestrahlung ausgehärtet ist, bleiben Punkte zurück. Diese Vorgänge müssen für alle drei Primärfarben wiederholt werden, wobei das ultraviolette Licht durch Verschiebung unterschiedliche Stellen aushärtet. Ebenso muß für jede Farbe eine entsprechende Schicht aufgetragen und die Lochmaske immer wieder entfernt und neu montiert werden. Die Leuchtschichten werden, während die Frontplatte in einer Zentrifuge schnell rotiert, als feiner Niederschlag aufgebracht, um eine gleichmäßige Beschichtung zu gewährleisten. Nach den Belichtungs- und Waschvorgängen erhält man als Ergebnis eine Glasoberfläche, auf der die Leuchtpunkte der drei Primärfarben angeordnet sind.

Der Glaskolben der Röhre wird gesondert hergestellt. Seine Größe wird auf Maßhaltigkeit überprüft, dann gesäubert und



mit einem Durchmesser von 0,3 mm aufweisen. Das Raster wird mit einer Bogenlampe bestrahlt, die Löcher werden auf die lichtempfindliche Schicht übertragen. Anschließend wäscht man mit einer Sprühvorrichtung das an den unbelichteten Stellen nicht ausgehärtete Material ab und läßt die Schicht austrocknen. Nach dem Trocknen wird eine Säure gegen die beiden beschichteten Seiten gesprührt, wodurch die bedeckten Metallstellen herausgeätzt werden.

Das Blech wird dann zur Beseitigung innerer Gefügespannungen gehärtet und sphärisch geformt, damit es sich an die Krümmung der Frontglasplatte anpaßt. Daraufhin versieht man die Lochmaske mit einem kräftigen Rahmen und befestigt die Anordnung an der Frontglasplatte der Röhre. Diese Platte besteht aus gewölbtem, hochwertigem Glas. Sie muß außerordentlich genau und frei von inneren Gefügespannungen hergestellt werden. In ihr ist eine chemische Emulsion einge-

von außen mit einer Graphitschicht belegt. Im Inneren versieht man sie mit einem dünnen Graphitbelag. Nach Montage der Lochmaske mit der Frontglasplatte verbindet man den Kolben mit dem Schirmboden, indem zunächst Pulverglas mit niedrigem Schmelzpunkt auf die Nähte aufgetragen wird. Beide Teile werden eingespannt und in einem Ofen vakuumdicht verschmolzen.

Das Elektronenstrahlerzeugersystem mit Katode und Fokussiereinrichtung wird innerhalb des Röhrehalses befestigt. Anschließend wird die Röhre luftleer gepumpt und überprüft. Was noch verbleibt, ist ein Schutz der Röhre gegen Implosionsgefahr, d.h. es muß verhindert werden, daß sie unter Einwirkung des äußeren Luftdruckes nach innen hin explodiert. Am Ende des Herstellungsprozesses erfolgt ein nochmaliger Test zur Überprüfung der Gesamtfunktions tüchtigkeit der Röhre.

## KATZENAUGE

**Das Katzenauge (auch Rückstrahler) ist ein sehr einfaches Hilfsmittel zum besseren Kennlichmachen bei Dunkelheit. Es trägt wesentlich dazu bei, Nachtfahrten zu erleichtern und damit sicherer zu gestalten.**

Das in die Fahrbahn eingelassene Katzenauge wurde im Jahre 1934 von dem englischen Ingenieur Percy Shaw erfunden. Er überlegte während einer langen nächtlichen Fahrt, daß in den Straßenbelag eingelassene Reflektoren wirksamer sein müßten als die Rückstrahler, die in den Straßenbegrenzungspfählen eingebaut sind. Er entwarf ein Gerät, das aus einem Zapfen und zwei Gläsern besteht. Man kann es in die Straßendecke einlassen, so daß nur die Gläser über der Straßenoberfläche liegen. Die beiden Reflektoren sind in ein Gummikissen eingebettet, das von einem Eisengusssockel umschlossen ist, der im Straßenbelag verankert wird.

Überrollt ein Autoreifen diese Anordnung, drückt sich das Gummikissen zusammen und die Rückstrahler sinken in ihr Gummigehäuse. Dabei werden die Reflektoren gereinigt, bevor sie in ihre alte Stellung zurückspringen. Reifen und Reflektor haben nur geringen Kontakt miteinander, wodurch kaum Abrieb auftritt.

### Der Aufbau des Katzenauges

Das Katzenauge besteht aus einem festen Zylinder mit einer konvexen Frontlinse. Am anderen Ende des Zylinders ist ein versilberter Reflektor angebracht. Das Katzenauge besteht im allgemeinen aus Gußglas. Der Zylinder ist so beschaffen, daß

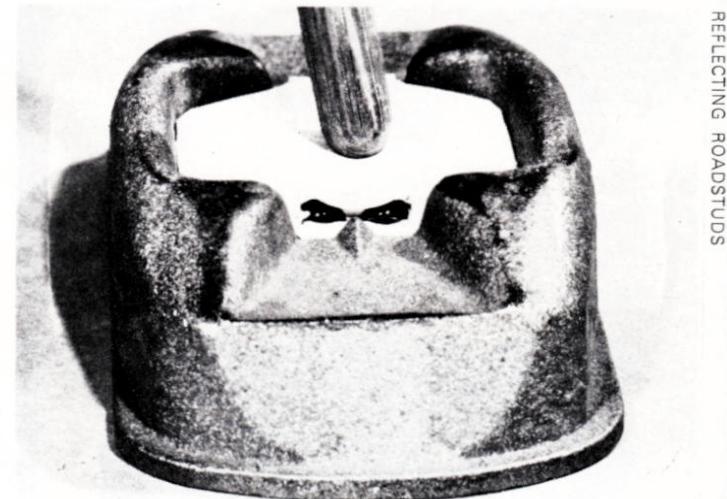
**Rechts:** Das Katzenauge befindet sich mit einer Gummihalterung in einem Gußeisengehäuse. Der Gummi reinigt das Katzenauge, wenn es heruntergedrückt wird.

**Katzenauge:** Licht wird in einem Brennpunkt fokussiert, der kurz vor dem Spiegel liegt, so daß die Strahlen etwas auseinanderlaufen. Das Scheinwerferlicht wird also in die Augenhöhe des Fahrers gebracht.

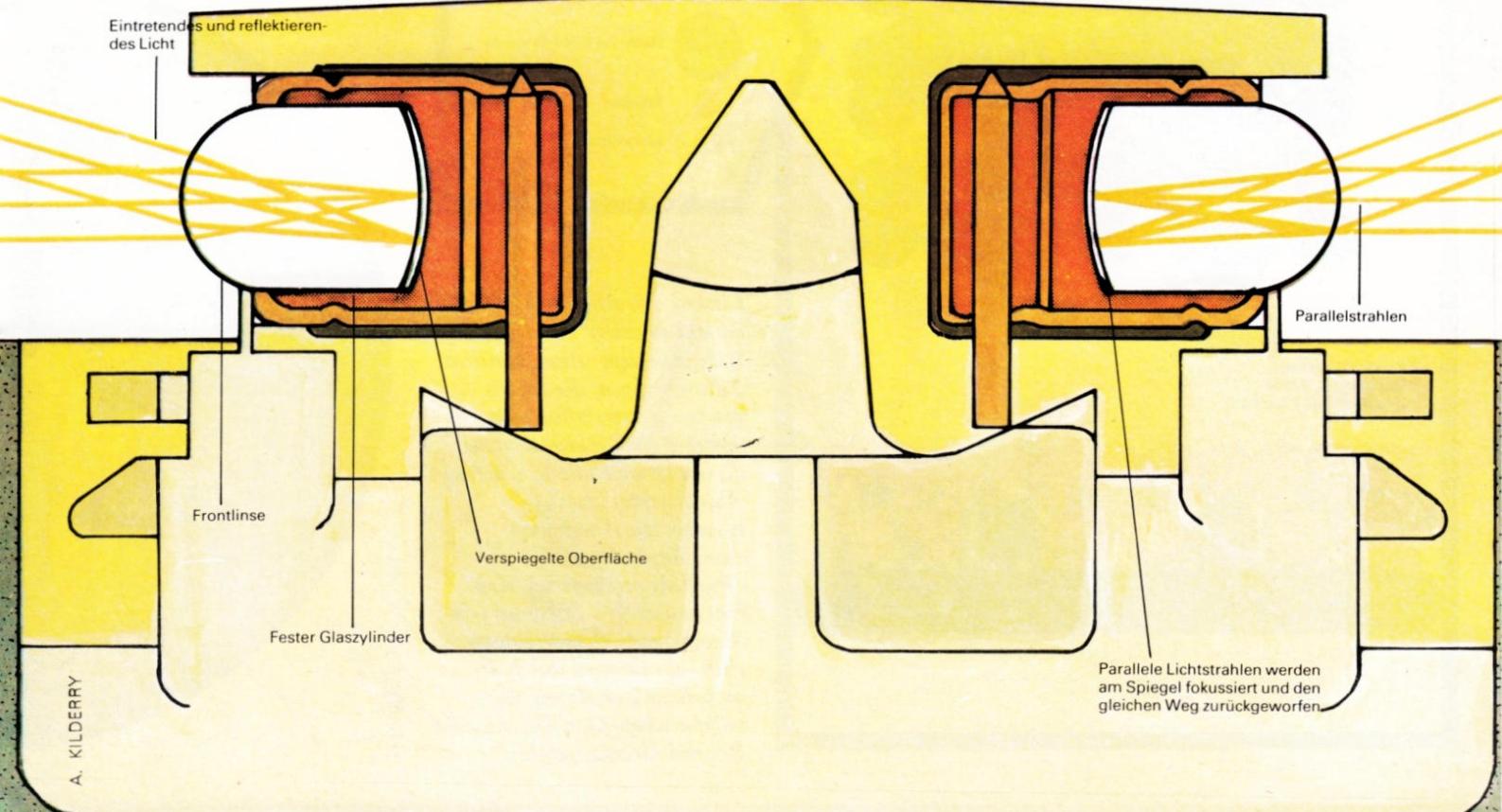
der Krümmungsmittelpunkt des Spiegels am gleichen Ort liegt wie der Krümmungsmittelpunkt der Frontlinse. Zusätzlich ist der Radius der Spiegeloberfläche gleich der Brennweite der Frontlinse. Ein paralleler Lichtstrahl wird in dieser Anordnung an der Oberfläche des Reflektors fokussiert und auf dem gleichen Weg zurückgeworfen.

Der Name 'Katzenauge' röhrt nicht nur daher, weil sein Leuchten an die Augen einer Katze erinnert, sondern auch, weil diese Tiere eine ähnlich wirkende optische Einrichtung besitzen. Im Sehorgan der Katze befindet sich eine besondere, reflektierende Schicht, die hinter den Stäbchen und Zäpfchen in der Netzhaut gelagert ist. Diese reflektierende Schicht ist bekannt als 'tapetum lucidum'. Sie bewirkt, daß einfallendes Licht zum Auge zurückgeworfen und damit das Sehvermögen im Dunkeln verbessert wird.

Katzenaugen sind grün bernsteinfarben, rot oder gelb getönt erhältlich; es gibt sie auch aus reinem Glas. Verschiedenartige Gußeisensockel können für unterschiedliche Einsatzbedingungen hergestellt werden. Für starken Verkehr mit großen Lastzügen oder auch schweren Schneepflügen nimmt man lange Sockel. In Straßenabschnitten mit scharfen Kurven werden wegen der auftretenden seitlichen Druckkräfte gekrümmte Sockel in die Straßendecke eingesetzt.

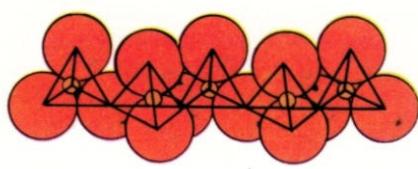


REFLECTING ROADSTUDS



## DIE STRUKTUR VON KAOLINIT

1 Silikatgruppen-Kette

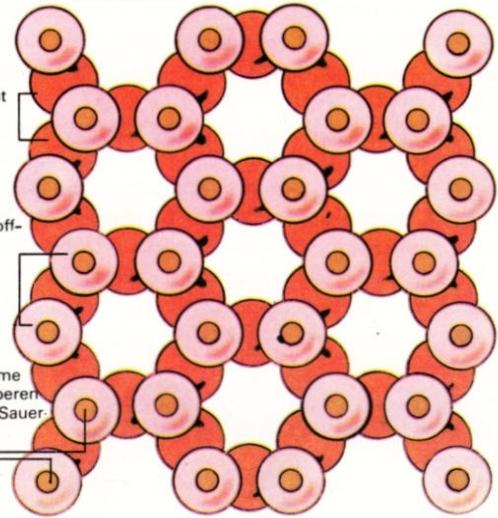


2 Silikatplättchen

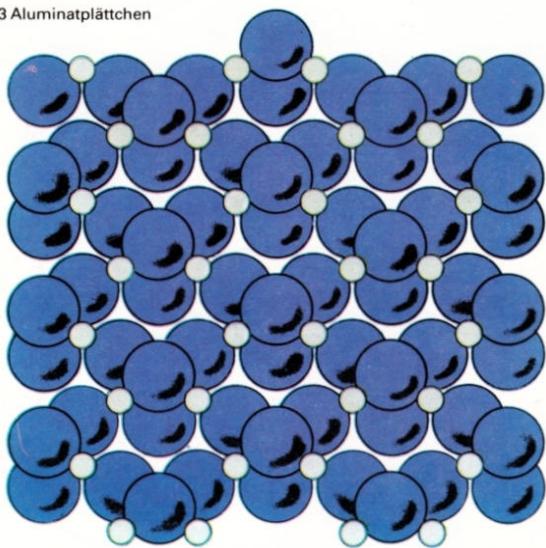
Untere Sauerstoffschicht

Obere Sauerstoffschicht

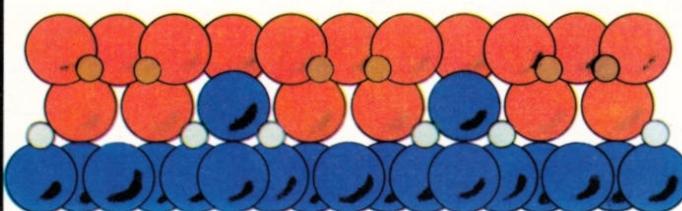
Siliziumatome unter der oberen Schicht von Sauerstoffatomen



3 Aluminatplättchen



4 Kaolinitplättchen-Laminat aus Silikat- und Aluminat-Plättchen



## KERAMIKWERKSTOFFE

**Einige der unverwüstlichsten alltäglichen Gebrauchsgegenstände bestehen aus Keramikwerkstoffen.**

Das Wort Keramik stammt von dem griechischen Wort keramikos ('aus Keramik'), das wiederum von einem noch älteren Sanskrit-Stammwort hergeleitet ist, das sich auf ein Brenn- oder Glühverfahren bezog. Heute gilt der Begriff Keramik für jedes anorganische, nichtmetallische, feste Material, das während seiner Herstellung bei einer hohen Temperatur erhitzt wird. Dies bedeutet, daß außer Ton auch andere in der Natur vorkommende Materialien, wie z.B. Rutil (Titandioxid), und auf chemischem Wege hergestellte Materialien, wie Siliciumcarbid, zu den Keramikwerkstoffen gezählt werden können.

## Entwicklung

Die Verwendung von Ton, aus dem die meisten Keramikwerkstoffe hergestellt sind, ist so alt wie die zivilierte Welt. Die Wasserbeständigkeit, die relativ bequeme Handhabung und die allgemeine Verwendbarkeit machten den Ton schon seit der Urgeschichte zu einem nützlichen Baustoff, der auch heute noch von großer Bedeutung ist. Schon damals entdeckte der Mensch schnell, daß der Ton, wenn er der Sonnenwärme ausgesetzt wird, eine ganz wesentliche Veränderung durchmacht; er wird fest und spröde.

Der Mensch entdeckte auch, daß diese natürliche Veränderung durch die gesteuerte Anwendung von Feuer künstlich herbeigeführt werden konnte. Ton ist somit in vieler Hinsicht das natürlichste, dem Menschen zur Verfügung stehende Material, wobei seine Verwendung völlig abhängig ist von den vier Elementen im Griechenland der Antike Erde, Feuer, Luft und Wasser.

Seit der Vorgeschichte hat sich die Verwendung von Ton in verschiedene Richtungen entwickelt. Aus der Herstellung von



**Links:** Porzellanerde (Kaolin) besteht in erster Linie aus hydratisiertem Aluminosilikat. Silikatgruppen, die jeweils von vier Sauerstoffatomen umgeben sind, bilden Ketten (1), die wiederum Plättchen bilden (2). Aluminatplättchen (3) bestehen aus Aluminium-onen, die von Hydroxyl-Gruppen umgeben sind. Kaolinit ist eine Art 'Laminat' von Silikat- und Aluminatplättchen (4). Es wird durch die natürliche Zersetzung von vulkanischem Gestein, wie zum Beispiel Granit, gebildet.

ENGLISH CHINA CLAYS





**Oben:** Hochdruckwasserstrahlen, die bei einem Druck bis zu 24 bar arbeiten, werden dazu verwendet, Porzellanerdeablagerungen aus dem Boden zu waschen. Die Wasserstrahlen erzeugen einen Schlamm, der aus Wasser, Ton und den Quarz- und Glimmer-Teilchen, die sich im Ton befinden, besteht. Dieser Schlamm wird in eine Trennanlage gepumpt, wo Quarz und Glimmer entfernt werden. Der zurückgewonnene Ton wird dann gepreßt und getrocknet. Mehr als drei Viertel des Weltvertrages von Porzellanerde werden für die Papierherstellung verwendet. Im Bild links wird Bindeton mit Preßluftspaten abgebaut.



sonnengetrockneten, aus Schlamm bestehenden Ziegelsteinen entstand die 'Grobkeramik'-Industrie, die für die Herstellung von Ziegeln, Kacheln und anderen Baustoffen verantwortlich ist. Die Eigenschaft der Verformbarkeit des Materials führte zu der allmählichen Entwicklung von Tischgeschirr, Zierporzellan und Sanitärartikeln, die heute in großem Umfang industriell gefertigt werden. Dieser Industriezweig hat sich unmittelbar aus der Herstellung von grob modellierten Bechern und Urnen der späten Steinzeit entwickelt. Aufgrund der Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber hoher Temperatur, starken Temperaturschwankungen, Korrosion und Abrieb vollzog sich in den letzten dreihundert Jahren die Entwicklung der Anwendung von Keramik in Wissenschaft und Industrie.

Heute werden Keramikwerkstoffe in den verschiedensten Bereichen, z.B. bei der Herstellung von Steingut, Isolatoren, Raketenbeschleunigern, Maschinenwerkzeugen, Kernbrennstoffen und außerdem für Laser und als Magnetkerne für Computer verwendet. Produkte, die auf der Grundlage von Ton hergestellt sind, werden auch in wichtigen Anwendungsbereichen eingesetzt, in denen die Formbarkeit des Materials nicht Grundbedingung ist, wie zum Beispiel in der Papierindustrie. Viele andere Industriezweige hingegen, wie z.B. die Eisen- und

Stahlindustrie, sind auf die Wärmebeständigkeit der feuerfesten Keramikerzeugnisse angewiesen. Diese wichtige Erweiterung des Anwendungsbereiches von Keramik in der heutigen Zeit sollte jedoch die Bedeutung der traditionellen Keramikerzeugnisse für den Komfort und die Annehmlichkeiten des Alltags nicht in den Schatten stellen. Gäbe es keine Ziegelsteine oder keine Teller, wäre es ein schwacher Trost zu wissen, daß es reichlich Magneten und Raketendüsen gibt.

### Eigenschaften

Keramikwerkstoffe haben zwei wichtige Eigenschaften: Sie sind im Vergleich zu den meisten Metallen und Materialien, die Kohlenstoff als Grundelement enthalten (organische Materialien), chemisch inert und sie haben eine komplexere innere Struktur. Diese Kristallstruktur umfaßt im allgemeinen eine Anzahl verschiedener Elemente, die durch die starke Ionenbindung zusammengehalten werden. Magnesiumoxid (bekannter als Antacidum Magnesia) ist ein einfacher Keramikwerkstoff, der aus positiven Magnesiumionen und negativen Sauerstoffionen besteht, die als kubisches Gitter angeordnet sind.

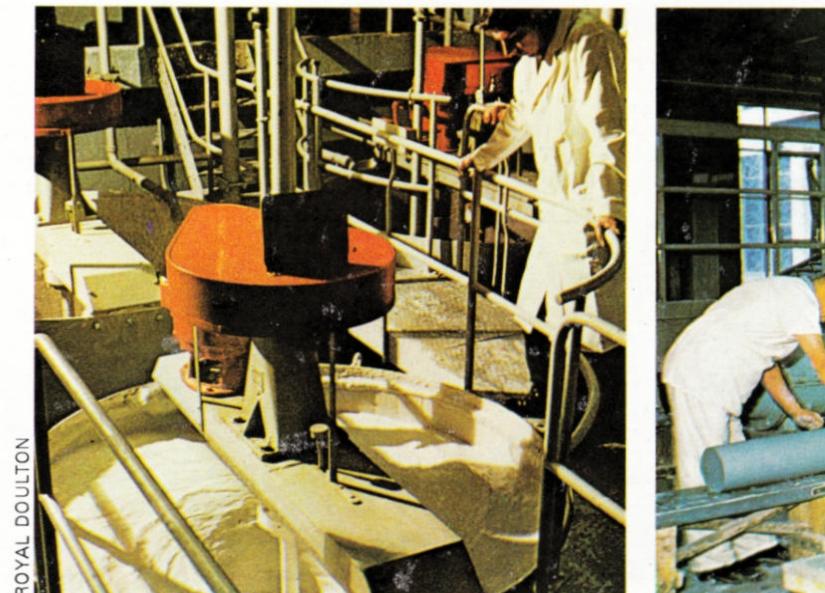
Diese Strukturfestigkeit im Zusammenhang mit einem Mangel an chemischer Reaktionsfähigkeit haben nützliche Eigenschaften zur Folge. Keramikwerkstoffe sind hart, härter als Metalle oder Plastikmaterialien. Man kann nützliche Schleifmittel daraus herstellen. Keramikwerkstoffe haben zwar den Nachteil, bei Zugbelastung spröde zu sein, aber sie sind sehr widerstandsfähig gegenüber Druck, wobei sie diese Eigenschaften noch bei Temperaturen, die fast den Schmelzpunkt erreichen, beibehalten (Tonerde,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , schmilzt zum Beispiel bei  $2000^\circ\text{C}$ ). Dadurch sind sie dort äußerst nützlich, wo Hochtemperaturbeständigkeit gefordert wird, z.B. als Ofenauskleidung oder als Rakenschutzkegel. Wenn sie entsprechend billig hergestellt werden können, werden sie für Bausteine, wie z.B. Ziegel, verwendet. Keramikwerkstoffe haben eine niedrige elektrische Leitfähigkeit, wodurch sie für Isolatoren, zum Beispiel in Stromversorgungsnebenstellen ideal geeignet sind. Durch ihr geringes chemisches Reaktionsvermögen sind sie gegenüber aggressiven Chemikalien extrem korrosionsbeständig. Behälter aus solchen Materialien eignen sich daher gut für die Aufnahme von geschmolzenen Metallen, Säuren und Alkalien. Außerdem sind sie widerstandsfähig gegenüber OXIDATION bei hohen Temperaturen.

### Grobkeramische Erzeugnisse

Hierzu gehören Baumaterialien, wie zum Beispiel Ziegelsteine, Dachziegel, Bodenfliesen und Abwasserrohre. Die verwendeten Rohmaterialien sind je nach der Verfügbarkeit eines Tons oder eines harten Brandschiefers (einer Art erdigen Feldspats) von Ort zu Ort verschieden. Zu den wesentlichen Merkmalen gehört, daß es billige Rohmaterialien sind, die man bei einer angemessen niedrigen Temperatur ( $900^\circ\text{C}$  bis  $1100^\circ\text{C}$ ) brennen kann, damit sie die erforderliche mechanische Festigkeit erhalten. Die Tendenz ist dahingehend, daß die mechanischen Beanspruchungen dieser Produkte steigen, wie z.B. im Falle von Ziegelsteinen für Hochhäuser, so daß heute mehr technische Fachkenntnisse erforderlich sind, um optimale Festigkeit und optimale Erosionsbeständigkeit zu erreichen.

### Feinkeramische Erzeugnisse

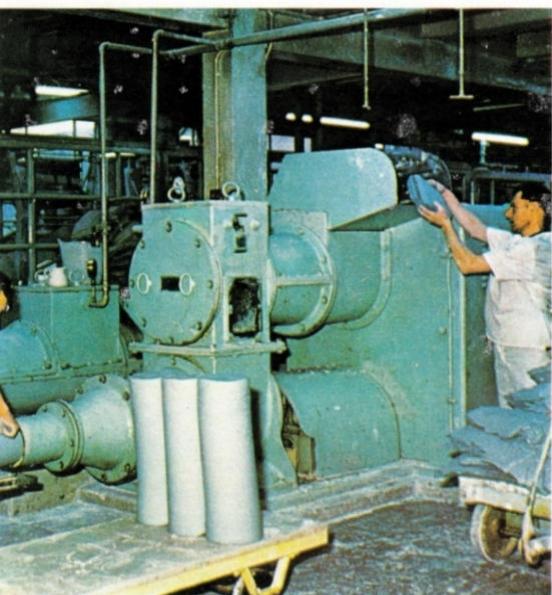
Zu den feinkeramischen Erzeugnissen gehören nicht nur feines dünnes Porzellan, sondern auch Sanitärtikel und Kacheln. Die Erzeugnisse beruhen im wesentlichen auf Kaolin und Töpferton ('Ball Clay', eine Art Kaolin) mit anderen Zusätzen, wie z.B. Flint und Feldspat (ein Aluminiumsilicatgestein, das in Granit gefunden wird) für Steingut, und Knochenasche (Calciumphosphat) für feines Porzellan (Knochenporzellan).



Die jeweils verwendeten Rohmaterialmengen und die nachfolgende Brenntemperatur bestimmen die Eigenschaften des Produktes.

Die Entwicklung von gewöhnlichen Töpferwaren bis zu feinem Porzellan ist auf das kontinuierliche Streben des Töpfers nach Verfeinerung und Vervollkommenung zurückzuführen, denn er bemühte sich, immer weißere und feinere Gefäße herzustellen. Zuerst gelang ihm dies dadurch, daß er die roten Farbtöne mit einer undurchsichtigen Glasur bedeckte und Majolikaware herstellte. Dann stellte er Steingut her, indem er seinen Ton so auswählte, daß er weißes Material brannte und die Brenntemperatur erhöhte. Wenn genügend Flußmittel (Substanzen zur Verbesserung des Schmelz-

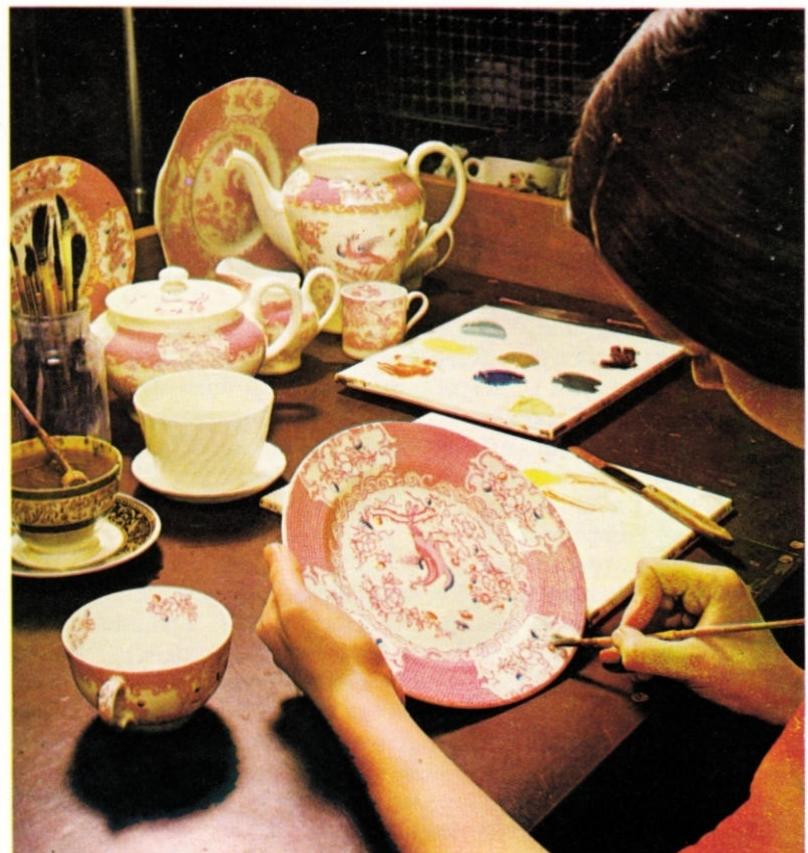




*Der Ton wird mit Wasser vermischt (ganz links) und fein im Wasser geschlämmt. Die Tonmasse wird durch eine Filterpresse gepumpt, gepreßt und getrocknet (unten links). Die getrockneten 'Tonkuchen' kommen in eine Lehmmühle (links), wo Luftblasen entfernt werden und die Tonmasse vorgeformt wird. Von diesen Vorformen werden entweder automatisch einfache oder bei komplizierteren (wie Teekannen) teilweise in Handarbeit Endformen hergestellt. Sie werden getrocknet, mit Glasur versehen, gebrannt und bemalt.*



ROYAL DOULTON



ROYAL DOULTON

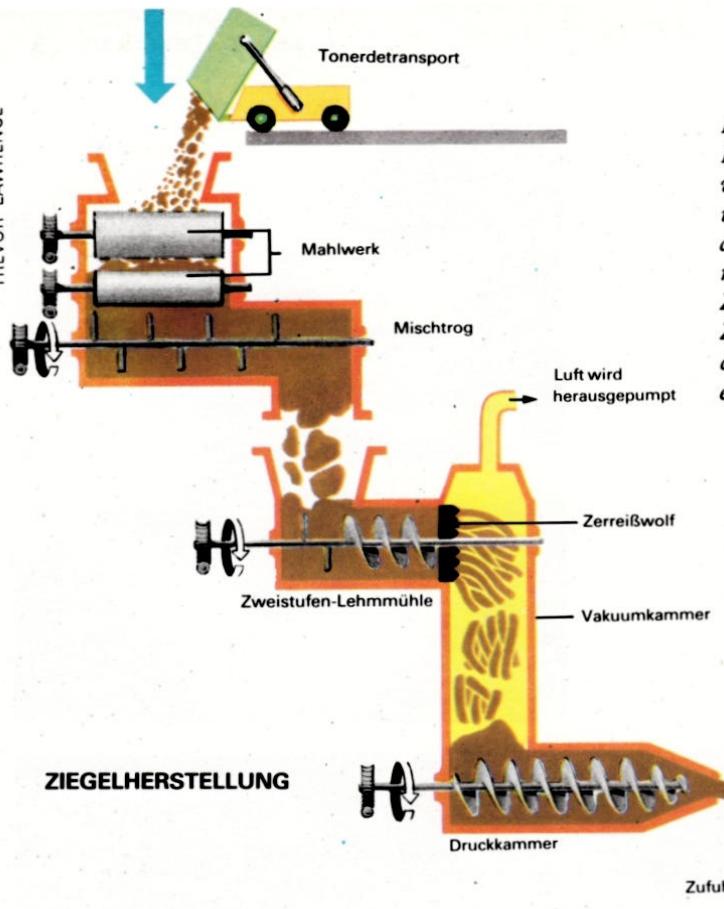
vorgangs), wie z.B. Feldspat, verwendet wurden und die Brenntemperaturen erhöht waren, konnten nichtporöse, lichtdurchlässige Materialien, wie z.B. feines Porzellan, hergestellt werden.

### Feuerfeste Steine

Diese Baustoffe sind speziell dafür geeignet, gegenüber hohen Temperaturen und Korrosionseinwirkungen beständig zu sein. Dies wird durch Ausnutzung der hohen Schmelztemperatur und der Chemikalienbeständigkeit von Keramikmaterialien erreicht. Typische feuerfeste Werkstoffe sind einige gebrannte Tonmaterialien, Tonerde und Siliciumcarbid. Sie können zum Beispiel als Wände in Stahlöfen und Glasschmelzkesseln, als Gegenstände zum Aufnehmen anderer Keramikerzeugnisse während des Brennvorgangs und als hochtemperaturbeständige Maschinenteile, wie zum Beispiel Turbinenschaufeln, verwendet werden.

### Moderne Keramikerzeugnisse

Bisher wurden nur die traditionellen Keramikwerkstoffe behandelt. In den letzten zehn oder zwanzig Jahren sind neue Keramikwerkstoffe entwickelt worden, um den besonderen Anforderungen der modernen Industrie zu entsprechen. Diese neuen Werkstoffe erforderten auch einige neue Verfahrens- und Herstellungsmethoden. Sie werden häufig durch Trockenpreßverfahren und nachfolgendes Erhitzen unter Druck (Heißpressen) — man spricht auch von Sintern — oder durch isostatisches Pressen (wobei sich das Material in einem elastischen Sack befindet, der von unter hohem Druck stehender Flüssigkeit umgeben ist) und nachfolgendes Brennen hergestellt. Die neuen Werkstoffe sind reine Verbindungen, die aus natürlich vorkommenden Materialien, wie zum Beispiel Metallerzen, oder aus chemisch hergestellten Materialien, wie z.B. Bariumtitannat, Stickstoffsilicid und Siliciumcarbid, gewonnen werden.



### ZIEGELHERSTELLUNG

In Anwendungsbereichen mit hoher Temperatur, wie z.B. Raketenschutzkegel und Raketendüsen, werden Keramikwerkstoffe wie Boronitrid, Borcarbid, Zirconiumborid und Siliciumcarbid verwendet. Zirconiumborid wird auch als Schutzschicht auf Turbinenschaufeln und für Brems- und Kupplungsbeläge benutzt. Kernbrennstoffe werden gewöhnlich aus Thoriumoxid ( $\text{ThO}_2$ ); Uranoxid ( $\text{UO}_2$ ) oder Urankarbid hergestellt. Keramikwerkstoffe, die den PIEZOELEKTRISCHEN Effekt aufweisen (äußerer Druck erzeugt eine elektrostatische Wirkung), wie z.B. Bleizirconat-Titanat (als PZT bekannt) und Bariumtitanat, finden Anwendung bei der Herstellung von Tonabnehmern (PLATTENSPIELER), Unterwasserortungsgeräten (SONAR) und piezoelektrischen Zündern. Zu den verschleißbeständigen Keramikwerkstoffen, die zum Beispiel für LAGER verwendet werden, gehören Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Zirconiumborid und Stickstoffsilicid. Zur Herstellung von Schleifpulver und Schleifmitteln werden Tonerde (die in der Natur als Aluminiumoxid vorkommt) und Siliciumcarbid (gewöhnlich wird es Karborund genannt) verwendet. Wenn Tonerde mit Eisenoxid (gewöhnlich Magnetit,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) gemischt wird, wird Schmigel erzeugt. Tonerde wird auch bei der Herstellung von ZÜNDKERZEN verwendet.

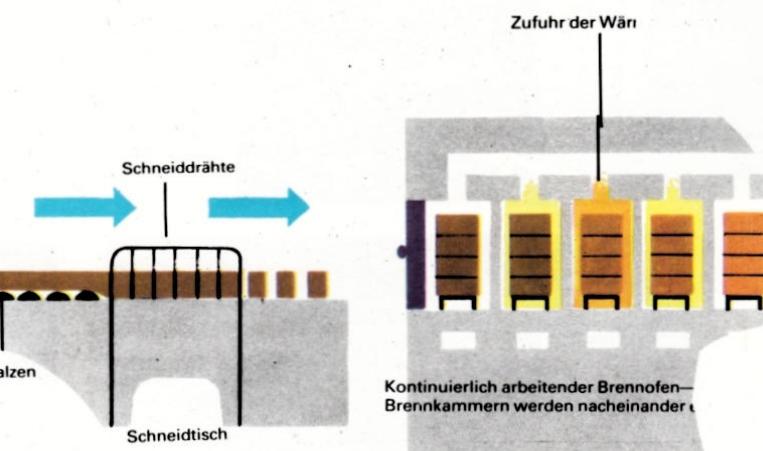
Zu den hochtemperaturbeständigen (feuerfesten) Werkstoffen, die zum Beispiel für die Herstellung von Schmelztiegeln und Ofenteilen verwendet werden, gehören Magnesiumoxid ( $\text{MgO}$ ), Zircondioxid ( $\text{ZrO}_2$ ) und Thoriumoxid ( $\text{ThO}_2$ ).

In der Elektronik gebraucht man Tonerde manchmal als 'Fenster' in elektronischen Geräten, wie z.B. Klystrons. Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) wird häufig in KONDENSATOREN verwendet. Von Ferriten kennt man eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, u.a. bei Dauermagneten, Transformatorkernen, Antennenstäben und Digitalspeichereinrichtungen für Computer.

### Glaskeramik

Die Strukturfestigkeit von GLAS ist hoch. Die Festigkeit von handelsüblichem Glas ist jedoch durch innere und Oberflächenfehler, die Sprünge hervorrufen, begrenzt. Keramisches Glas überwindet diese Einschränkungen. Es wird durch die Umwandlung von Glas in einen feinkristallinen, porosenfreien

Das Diagramm zeigt die wesentlichen Schritte der Ziegelherstellung. Die Rohtonmasse wird zerkleinert und gemahlen. Im Mischbottich wird der Ton dann auf den richtigen Feuchtigkeitsgehalt gebracht und vermischt. In der Zweistufen-Lehmmühle werden aus dem Ton die in ihm noch enthaltenen Luftblasen entfernt. Die Lehmmühle preßt die Tonmasse dann in kontinuierliche Blöcke, die in Ziegel geschnitten, getrocknet und gebrannt werden. Rechts ein Zwischenbrennofen der 'Doultons Pottery' in Großbritannien. Nach dem Zwischenbrennen werden Muster und Glasur aufgetragen, die in einem zweiten Brennvorgang gehärtet werden.



Keramikwerkstoff gebildet, und zwar durch einen gesteuerten Erwärmungszyklus, der gesteuerte Kristallisation induziert. Das Erzeugnis wird vor der Kristallisation nach traditionellen Glasherstellungsverfahren geformt. Auf diese Weise können komplizierte Formen hergestellt werden, die nach normalen Keramik-Formgebungsverfahren nicht herstellbar wären. Eine herkömmliche Tonsubstanz könnte in Glaskeramik umgewandelt werden, indem sie bei  $1700^\circ\text{C}$  geschmolzen wird. Bei dieser Temperatur entsteht eine homogene Flüssigkeit, die bei Abkühlung zu Mullit und Kieselerde auskristallisiert.

Der große Vorteil von Glaskeramik liegt in der Möglichkeit, die Eigenschaften durch unterschiedliche Zusammensetzung des Ausgangsglasses beträchtlich zu variieren. Es kann eine niedrige Wärmeausdehnung erzeugt werden, wodurch das Material für feuerfestes Geschirr geeignet ist. Seine Korrosionsbeständigkeit ist bei Wärmetauschern nützlich, und seine gleichbleibenden dielektrischen Eigenschaften (isolierende Wirkung) werden bei Radarhauben (ein Radarschutzgehäuse) und Leiterplatten ausgenutzt.

### Herstellung von keramischen Erzeugnissen

Die vielen verschiedenartigen Eigenschaften von keramischen Erzeugnissen sind teilweise darauf zurückzuführen, daß bei deren Herstellung viele Faktoren eine Rolle spielen. Nach dem Brennvorgang setzen sich die meisten Keramikwerkstoffe aus einer oder mehreren kristallinen Phasen zusammen, aus einer sich nicht im Gleichgewicht befindlichen Glasphase mit veränderlicher Zusammensetzung sowie aus Poren, die einen großen Teil des Gesamtvolumens ausmachen.

Die sehr stark variierbaren Eigenschaften des Erzeugnisses erklären zum Teil die relativ späte Entwicklung der Industriekeramik. Die traditionelle Beschreibung des Herstellungsverfahrens — 'Materialien von unbestimmter Zusammensetzung werden eine unbestimmte Zeit auf eine unbekannte Temperatur erhitzt' — ist zwar eine Vereinfachung, aber für einen großen Teil der Keramikherstellung gilt sie gewissermaßen noch immer.

Es gibt zwar außerordentlich viele keramische Erzeugnisse,



Gebogene Ziegel

für die Herstellungsverfahren gelten aber bestimmte Grundprinzipien. Tonmaterialien, die sich gewöhnlich aus kleinen Teilen von Aluminosilicaten zusammensetzen, werden aus dem Boden gewonnen, gereinigt oder mit anderen Stoffen gemischt. In noch feuchtem oder plastischem Zustand werden sie dann durch Formpressen oder Gießen in die gewünschte Form gebracht. Ziegel und Fliesen können aus Rohton, so wie er aus dem Boden gewonnen wird, hergestellt werden, während der Ton für Erzeugnisse wie Tischgeschirr vor der Verwendung sorgfältig gemischt, gereinigt und gefiltert werden muß.

Nach der Formgebung läßt man die Erzeugnisse trocknen, bis sie berührungsfest sind. Anschließend werden sie in einem Brennofen gebrannt. Während des Brennens wird der verformbare Ton in ein sprödes und poröses kristallines Material umgewandelt. Die Brenndauer und die Temperatur werden je nach Art des verwendeten Tons verändert, der Temperaturbereich liegt jedoch normalerweise zwischen 600°C und 1600°C.

Das Herstellungsverfahren für grobkeramische Produkte, wie z.B. Ziegelsteine und Dachziegel, ist nun beendet. Kompliziertere keramische Erzeugnisse werden noch einem oder mehreren weiteren Brennprozessen unterzogen, ihre Oberflächen durch den Zusatz einer glasartigen Glasursschicht unporös gemacht und alle erforderlichen Dekorationen aufgetragen.

### Technische Keramik

Die für Haushalts-Keramikerzeugnisse angewendeten Herstellungsverfahren haben auch für viele in Wissenschaft und Industrie verwendete Keramikartikel Gültigkeit. Viele andere Erzeugnisse hingegen sind hochspezialisiert und erfordern

eine besondere Behandlung. Bei diesen kann die Formgebung auch durch STRANGPRESSEN, SPRITZGIESSEN, Vibrationspressen oder durch Pressen von trockenem Pulver in einer Form erreicht werden.

Zündkerzen werden aus Tonerde in einem isostatischen Preßverfahren hergestellt. Dieses Verfahren beseitigt die ungleichmäßige Druckverteilung des herkömmlichen Trockenpressens, wie es bei der Fliesenherstellung angewendet wird. Da sich das zum Formling zu verpressende Pulver in einem dehbaren Sack aus Gummi, Plastikmaterial oder Metall befindet und von einer Flüssigkeit, die unter Druck steht, umgeben ist, wird um die Form ein gleichmäßiger Druck erzeugt. Der gleichmäßige Druck erzeugt bessere mechanische und elektrische Eigenschaften in dem Fertigprodukt. Die isostatisch gepreßte Tonerde wird aus der Form genommen, auf einer Drehbank geformt, getrocknet, in Glasur getaucht und gebrannt. Maßbeständigkeit ist wichtig, um gute Passung der Metallteile zu gewährleisten.

Stickstoffsilicid-Keramik ist aus zwei Gründen ein besonders interessantes Material: Es wird durch eine chemische Reaktion hergestellt und es hat einige der vielversprechendsten physikalischen Eigenschaften unter den Keramikwerkstoffen. Stickstoffsilicid-Keramik hat insbesondere deshalb in der Anwendung Bedeutung erlangt, weil sie — im Gegensatz zu anderen Keramikwerkstoffen — in den letzten Fabrikationsstufen keine Veränderung in den Abmessungen erfährt. Bei den meisten keramischen Materialien ist während des Brennstadiums ein Schwund in einer Größenordnung von 20% zu verzeichnen; dadurch ist es schwierig, diese Materialien in Bereichen anzuwenden, wo es darauf ankommt, mit präzisen Maßen zu arbeiten.

# KERNKETTENREAKTION

**Kernkettenreaktionen setzen eine ungeheure Energie- menge frei. Sie sind Quelle sowohl des Lebens (Sonnen- energie) als auch des Todes (Atom- und Wasserstoff- bomben).**

Eine Kernkettenreaktion tritt durch Spaltung von Atomkernen auf, die sich in der Materie ausbreiten. Jede Spaltung ruft neue Spaltprodukte hervor, was schließlich zur Freisetzung einer ungeheuer großen Energiemenge führt. Kernkettenreaktionen können aber auch stattfinden, wenn Atomkerne zusammenschmelzen. Die hierbei frei werdende Energie ruft neue Kernverschmelzungen hervor.

Kettenreaktionen kann man im täglichen Leben sehr häufig beobachten. Das Abbrennen eines Blattes Papier ist ein Beispiel für eine Kettenreaktion. Ausgelöst wird die Reaktion durch ein brennendes Streichholz, das die erforderliche Wärmeenergie liefert, um das Papier zum Brennen zu bringen. Brennt das Papier, wird weitere Wärmeenergie geliefert, wodurch sich die Flamme weiter ausbreiten kann.

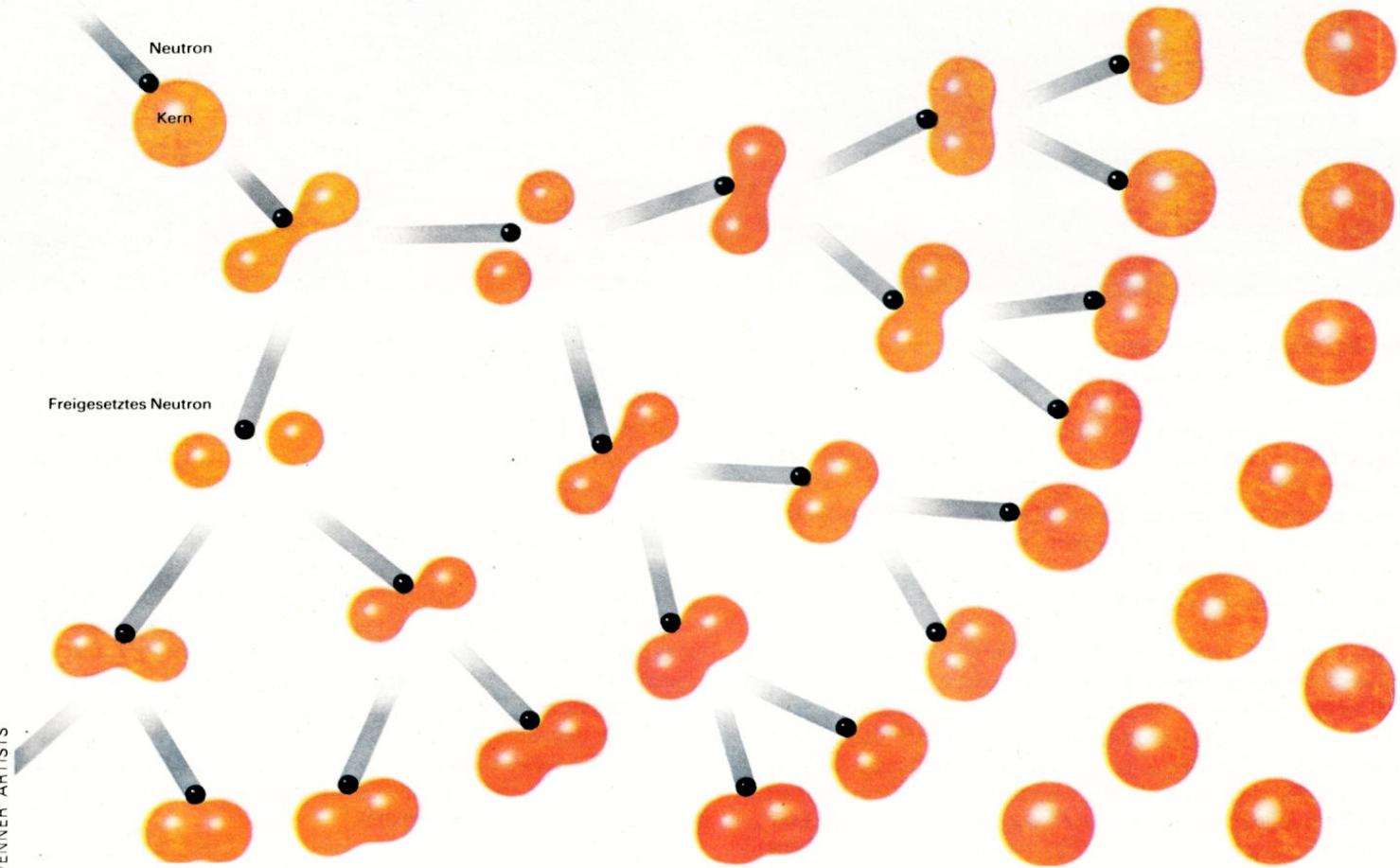
Im Falle einer Kernkettenreaktion mit URAN sind die Neutronen die 'Wärmeenergie', das Uran entspricht dem

Kettenreaktionen lassen sich steuern. Es werden große Mengen von Wärmeenergie freigesetzt. Diese Energie kann Wasser erhitzen oder Metall schmelzen. Durch Umwandlung der gespeicherten Wärmeenergie in elektrische Energie kann beispielsweise Elektrizität für den Haushalt oder für die Industrie erzeugt werden. Verläuft eine Kettenreaktion unkontrolliert, kann dies sehr rasch zu einer Explosion führen. Auf diesem Prinzip beruhen Kernbomben (besser bekannt als Atombomben — siehe A-BOMBE).

## Kernspaltung

Bei der Kernspaltung bricht ein schweres Atom auf, um leichtere Atomkerne zu bilden. Ein Teil der Bindungsenergie, die benötigt wird, um den schweren Atomkern zusammenzuhalten, wird bei der Kernspaltung Energie frei.

Kurz vor Beginn des Zweiten Weltkrieges untersuchten viele Wissenschaftler das Verhalten von Uran, das das schwerste der in der Natur vorkommenden Elemente ist. Der Urankern enthält 92 Protonen (positiv geladene Teilchen) und eine veränderliche Anzahl (etwa 145) Neutronen (sie tragen keine Ladung, haben aber etwa die gleiche Masse wie die Protonen). Die Wissenschaftler untersuchten, was geschieht, wenn dem Urankern ein weiteres Neutron zugeführt wird.



**Oben:** Fliegt ein freies Neutron in den Kern eines schweren Atoms, kann eine Kettenreaktion ausgelöst werden. Der erste Kern spaltet sich. Es werden weitere Neutronen frei, die von umgebenden Kernen absorbiert werden. Die hier gezeigte Kernkettenreaktion hat einen Multiplikationsfaktor von 2.

'Papier'. Die Neutronen veranlassen den Urankern, sich zu spalten, wodurch weitere Neutronen freigesetzt werden. Diese werden von anderen Urankernen eingefangen, wodurch weitere Kernspaltungen erfolgen.

Man fand Spuren von leichteren Atomkernen, wie beispielsweise Barium-Kerne. O. Frisch (geb. 1904) und Liese Meitner (1878 bis 1968) äußerten im Jahre 1939 die Meinung, daß der Urankern durch das zusätzliche Neutron so gestört wird, daß er in zwei nahezu gleiche Hälften gespalten wird. Diese zerfallen dann in weitere leichtere Atomkerne. Bildet man die Summe der Massen der Zerfallprodukte und vergleicht sie mit der Masse des Ausgangsproduktes, tritt eine Massendifferenz auf. Sie erscheint als Energie, da nach Einstein die Energie der Masse proportional ist. Die bei der Spaltung eines Urankerns freigesetzte Energie ist 50millionenmal größer als die Energie,



*Einführen eines Brennstoffstabes aus Uranoxidpulver in ein Brennstoffelement eines gasgekühlten Reaktors. Jedes Brennstoffelementbündel besteht aus 36 Brennstoffstäben mit Graphitummantelung. Die Brennstoffstäbe setzen sich aus angereichertem Uranoxid zusammen, die in rostfreie Stahlrohre eingesetzt sind.*



*Links: Brennstoffstäbe aus Uranoxidpulver für ein Brennstoffelement in einem Schwerwasserreaktor. Jedes Brennstoffelementbündel befindet sich in einem separaten Druckrohr, und die Druckrohre in einem Schwerwasserbehälter.*

die beim Verbrennen von Kohle entsteht, ein Vorgang, bei dem sich ein Kohlenstoffatom mit Sauerstoffatomen verbindet.

Der Kernspaltungsprozeß wurde anschaulich mit einem Flüssigkeitstropfen verglichen, dem man noch eine kleine Menge Flüssigkeit zufügt. Die Kräfte, die den Tropfen vorher zusammengehalten haben, reichen nach Hinzufügen der geringen Flüssigkeitsmenge zum Zusammenhalt nicht mehr aus. Der Tropfen nimmt eine Hantelform an und zerfällt in zwei kleinere Tropfen.

Ein entscheidendes Merkmal des Spaltungsprozesses ist, daß der schwere Atomkern so viele Neutronen enthält, daß beim Spaltungsprozeß einige frei werden. Außerdem können die leichteren Atomkerne zu viele Neutronen enthalten. Sie gehen unter Abgabe von Neutronen in einen stabilen Zustand über. Erst durch das Freisetzen von Neutronen beim Spaltungsprozeß kann eine Kettenreaktion in Gang gesetzt werden. Denn diese Neutronen können von einem noch neutralen Urankern, der sich dann spaltet und weitere Neutronen freisetzt, absorbiert werden.

Das Bild rechts zeigt den Injektor für neutrale Teilchen in der Apparatur zur Erforschung der Kernfusion.

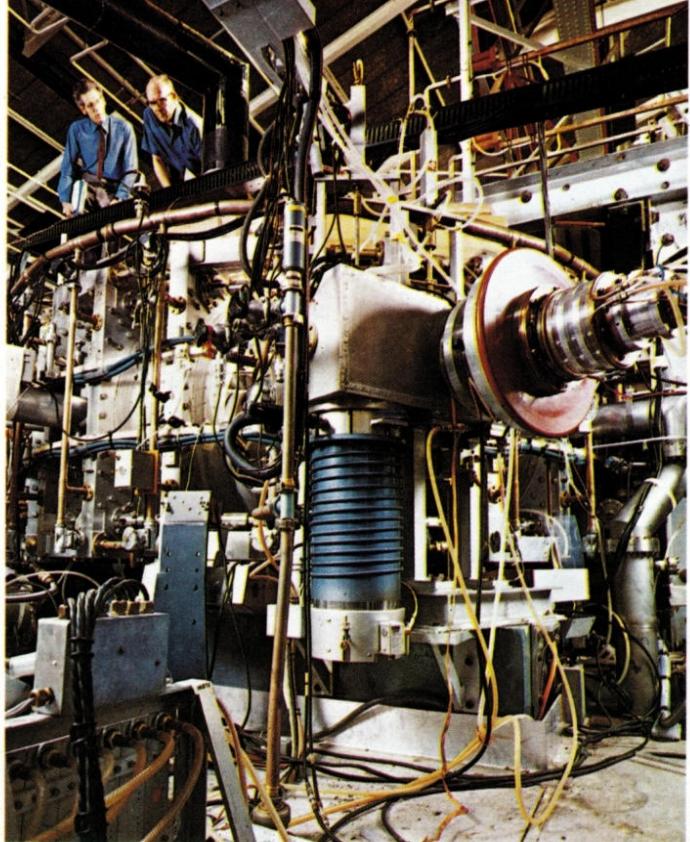
Wird bei einer Spaltung nur eines der freigesetzten Neutronen wieder von einem Urankern absorbiert, wird die Kettenreaktion aufrechterhalten. Ist der 'Multiplikationsfaktor' aber größer als 1, kommt es sehr rasch zu einer Explosion. Eine unkontrollierte Kettenreaktion tritt schon dann auf, wenn der Multiplikationsfaktor nur wenig über 1 liegt (z.B. 1,001). Setzt jedes Uranatom zwei Neutronen frei, können beide Neutronen eine Kernspaltung einleiten, d.h. der Multiplikationsfaktor ist 2.

### Anwendung der Kernspaltung

Die unkontrollierte Kettenreaktion ist die Ursache für die bei Atombomben freiwerdende ungeheure Energie. Kontrollierte Kettenreaktionen werden in einem Kernreaktor ausgeführt. Hier wird die Anzahl der Neutronen, die zur weiteren Spaltung dienen sollen, sehr genau kontrolliert, indem 'überflüssige' Neutronen, beispielsweise von Cadmium, absorbiert werden.

Damit eine Kernkettenreaktion stattfinden kann, muß genügend Masse an Uran — die sogenannte kritische Masse — vorhanden sein. Unterhalb der kritischen Masse fliegen die Neutronen durch das Uran, ohne eine Kernspaltung auszulösen. Bei der Atombombe werden bei der Zündung zwei unterkritische Massen zusammengebracht, die dann eine kritische Masse bilden und eine unkontrollierte Kernkettenreaktion ermöglichen.

*Kernfusion durch Laserstrahlen. Eine Tablette aus Deuterium und Tritium wird von Laserstrahlen erhitzt. Durch 'heiße' Elektronen wird die Oberfläche erwärmt. Energieriche Materie wird nach außen gestoßen. Als Reaktion wirken Kräfte nach innen, wodurch der Rest der Tablette implodiert.*

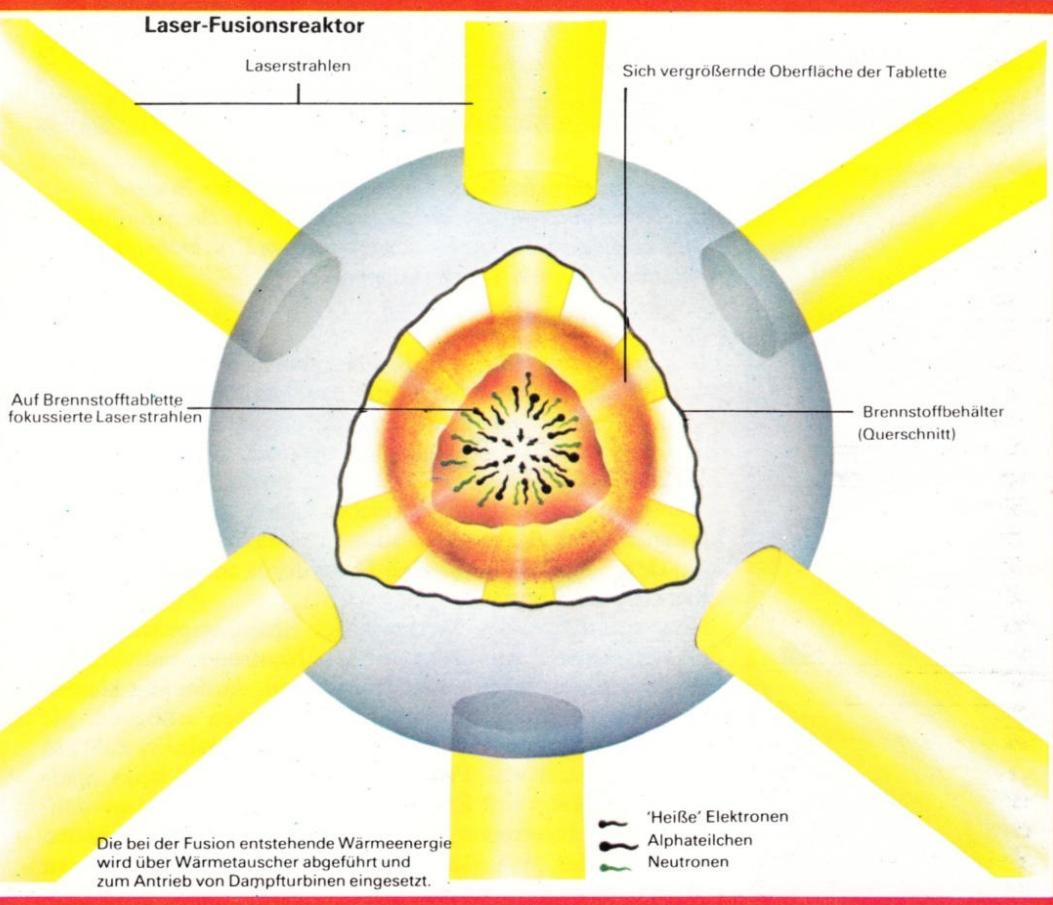


UKAEA

### Spaltbare Kerne

Nicht alle schweren Atomkerne lassen sich auf einfache Weise spalten. Der Kern des Uranisotops-235 mit 92 Protonen und 143 Neutronen ist das einzige in der Natur vorkommende Atom, das sich mit sogenannten langsamem Neutronen (Neutronen geringer Energie) spalten lässt. Uran-238 mit 147 Neutronen kann nur mit schnellen Neutronen gespalten werden. Andere — allerdings künstliche — Atomkerne wie Uran-233 oder Plutonium-239 lassen sich ebenfalls mit langsamem Neutronen spalten. Uran-238 kann sich ohne Einwirkung von äußeren Neutronen spontan spalten. Allerdings geschieht

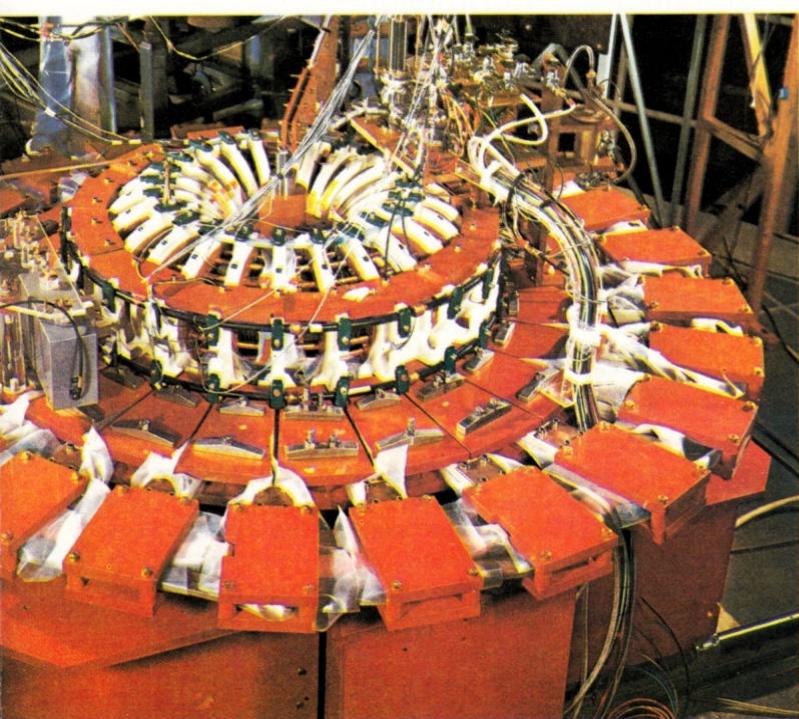
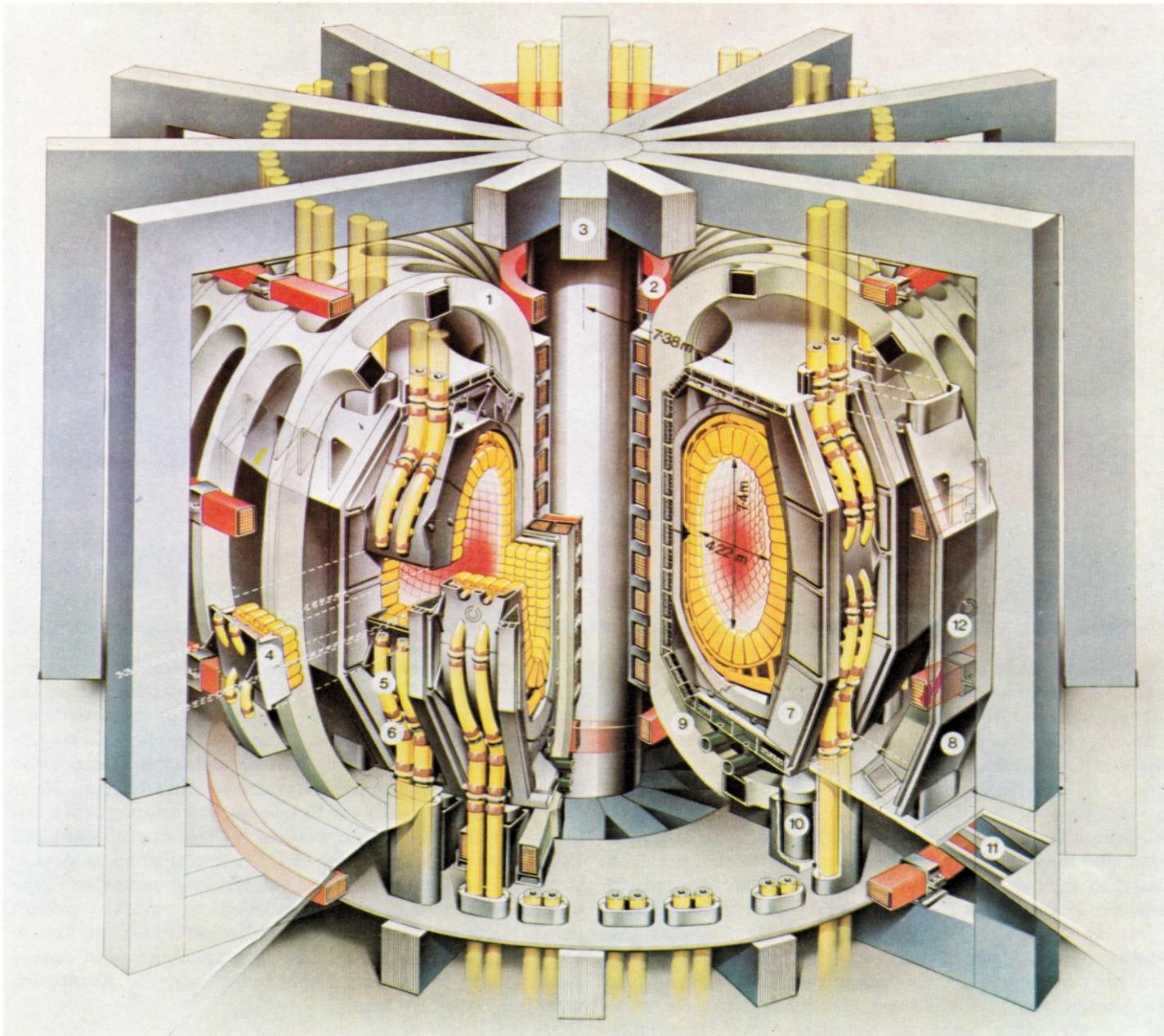
### Laser-Fusionsreaktor



*Unten: Ein Tokamak-Fusionsreaktor in Culham/Großbritannien. Mit diesem Reaktorprototyp werden nukleare Experimente durchgeführt.*



UKAEA



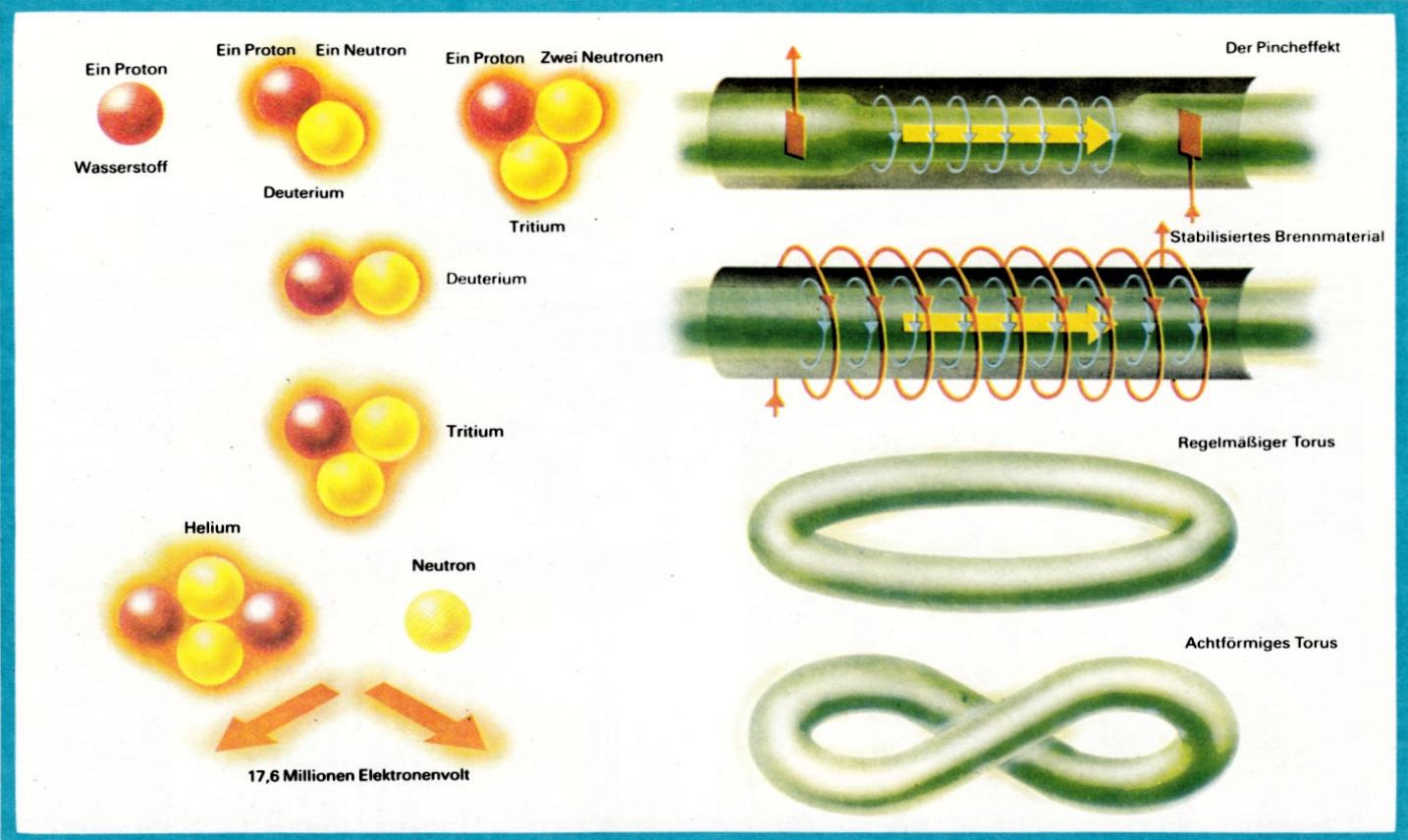
**Oben:** Querschnitt durch einen Tokamak-Fusionsreaktor. Deuterium und Tritium, zwei Wasserstoffisotopen, fusionieren in einem heißen Plasma (ionisiertes Gas) und bilden Helium-4. (1 u. 2 — Feldspulen, 3 — Kern, 4 — Wärmeaustauscher, 5 — Kühlleitung, 6 — Verbindungsstücke, 7 — Strahlungsschutz mit Vakuumwand, 8 — Zugang zur Strahlungsschutzwand, 9 — Kühlung der Strahlungsschutzwand, 10 — Lager der Schutzwand, 11 — Reaktorboden, 12 — Zugang für Brennstoffauffüllung).

dies im Vergleich zum normalen Abbau, bei dem zwei Protonen und zwei Neutronen freigesetzt werden, im Verhältnis von 1 : 1 000 000. Ein anderer Kern, der sich spontan spaltet, ist Plutonium-240.

### Kernfusion

Bei der Kernfusion vereinigen sich zwei und mehr leichte Atome, indem sie einen Atomkern eines schwereren Elementes bilden. Bei diesem Vorgang wird wegen des Unterschiedes in der nuklearen Bindungsenergie, die die Teilchen in den verschiedenen Kernen zusammenhält, Energie frei.

Die bedeutendste Kernfusion vereinigt zwei Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern. Am häufigsten tritt Wasserstoff



**Oben:** Schematische Darstellung einer Kernfusionsreaktion, in der sich Deuterium- und Tritiumkerne zu einem Heliumkern unter Abgabe eines freien Neutrons vereinigen. Die Darstellung rechts zeigt den Zusammenhalt eines 'heißen' (energiereichen) Plasma mit Hilfe eines Magnetfeldes.

mit einem aus einem Proton bestehenden Atomkern auf. Man kennt allerdings auch Isotope des Wasserstoffkerns, der dann zusätzlich noch ein oder zwei Neutronen enthält. Man spricht dann vom Deuterium (1 Neutron) oder Tritium (2 Neutronen).

Aus der Sicht der Energie wird die beste Ausbeute mit Deuterium- und Tritiumkernen erzielt. Mit Tritiumkernen wird bei der Kernfusion ein Heliumkern, ein Neutron und eine Energie von 17,6 Millionen Elektronenvolt (siehe TEILCHENBESCHLEUNIGER) erzeugt. Verglichen mit chemischen Reaktionen sind die freiwerdenden Energiebeträge unglaublich groß. Wenn beispielsweise die Wasserstoffkerne, die in 4,5 l Wasser enthalten sind, zur Kernfusion herangezogen würden, könnte mehr Energie freigesetzt werden als von 4,5 Millionen Liter Erdöl.

Da Wasserstoff (in Form von Wasser) in großen Mengen vorhanden ist, würde durch die Kernfusion eine Energiequelle zur Verfügung stehen, die jedes Energieproblem lösen könnte. Allerdings treten der technischen Verwertung dieser Art Energiegewinnung noch Schwierigkeiten entgegen. Der Wasserstoffkern ist wegen des Protons positiv geladen. Aus der Elektrostatisik weiß man, daß sich positive Ladungen abstoßen. Je näher positive Ladungen in ihrem Abstand gebracht werden, um so größer werden die Abstößungskräfte. Um einen Fusionseffekt erzielen zu können, müssen sich die Kerne in einem Volumen von  $1/1\ 000\ 000 \times 1/1\ 000\ 000 \times 1/1\ 000\ 000\text{ cm}^3$  vereinigen. Außerdem müssen sie wegen der elektrostatischen Abstößungskräfte mit hoher Geschwindigkeit aufeinanderzufliegen, um sich zu vereinigen. Zwei Faktoren bestimmen die Produktivität der Kernfusionsreaktion: Die Dichte, in der die Kerne gepackt sind (die Dichte der Wasserstoffkerne) und die Geschwindigkeit, mit der sich die Teilchen bewegen (die Temperatur). Zur Fusion werden Temperaturen von einigen Millionen Grad Celsius benötigt.

Das eigentliche Problem liegt darin, ein dichtes Volumen

an Wasserstoffkernen bei einer Temperatur von einigen Millionen Grad Celsius zu erzielen. Forschungsstätten in vielen Ländern der Erde versuchen, mit verschiedenen Methoden ein heißes 'Plasma' unter Kontrolle zu bringen. Unter einem Plasma versteht man ein ionisiertes Gas, d.h. ein aus positiven Ionen und Elektronen bestehendes Gas. Magnetische Felder können zur Erzeugung der erforderlichen hohen Dichten herangezogen werden. Sie dienen auch dazu, das Plasma von den Wänden des Gefäßes fernzuhalten, in dem es sich befindet. Die Gefäßwände würden sonst schmelzen. Eine andere Möglichkeit, eine Kernfusion zu erzielen, besteht darin, hochenergetische Laserstrahlen auf Pillen aus festem Deuterium zu richten. Im derzeitigen Stadium bedarf es aber noch einiger Forschungsarbeit, bevor man die Kernfusion technisch verwerten kann.

### Vorkommen der Kernfusion

Kernfusionsreaktionen wurden in größerem Ausmaße bei Experimenten mit der Wasserstoffbombe (H-BOMBE) durchgeführt. Zum 'Zünden' der H-Bombe, d.h. zum Erreichen der erforderlichen Temperatur- und Dichtebedingungen, bedarf es einer Atombombe. Die bei der H-Bombe freiwerdende Energie entspricht vielen Millionen Tonnen des konventionellen Sprengstoffs TNT (Trinitrotoluol).

In der Natur ist die Kernfusion ein alltäglicher Prozeß. Daß der Mensch auf der Erde das Licht der Sonne oder die von der Sonne ausgestrahlte Wärme empfängt, beruht auf Prozessen von in der Sonne stattfindenden Kernfusionen. In gleicher Weise finden in allen Sternen, die der Mensch nachts am Himmel sieht, Kernfusionen statt.

Daß diese Kernfusionen stattfinden können, beruht auf den Schwerkrafteffekten von großen Massen, die Wasserstoff zusammenhalten können. Die Sonne unseres Planetensystems beispielsweise hat in ihrem Inneren eine Dichte von etwa  $150\text{ g/cm}^3$ , und die Temperatur beträgt etwa 14 Millionen Grad Celsius. In der Sonne kommt es bei 10 000 Millionen Millionen Millionen ( $10^{22}$ ) Zusammenstößen von Atomkernen zu einer Kernfusion. Dies bedeutet, daß in diesem kleinen Verhältnis aus Wasserstoffkernen ein Heliumkern gebildet wird. Nur aufgrund dieser 'kontrollierten' Kernfusion ist Leben auf der Erde möglich.

## KERNRESONANZ, MAGNETISCHE

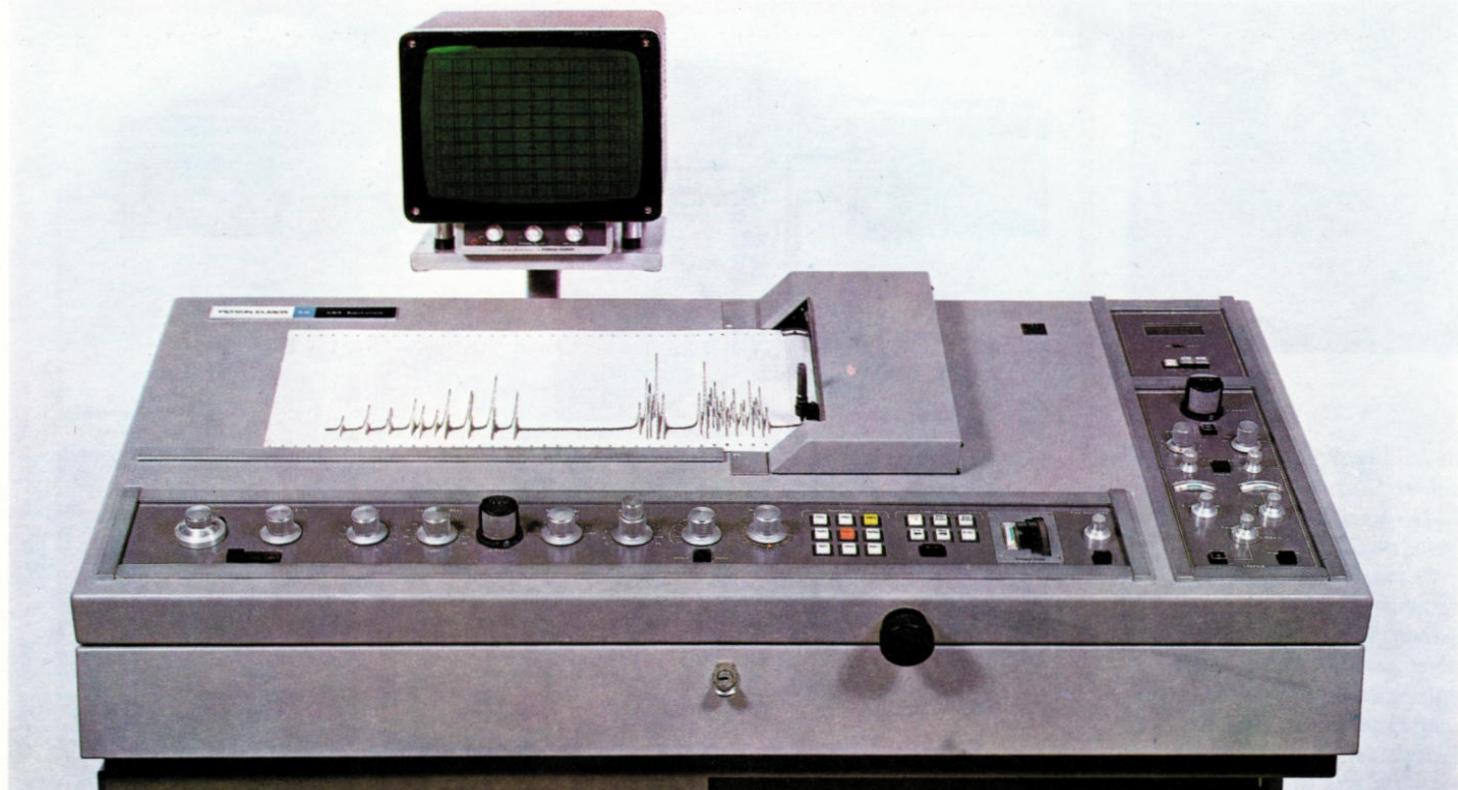
**Die magnetische Kernresonanz ist ein aussagekräftiges Werkzeug des Chemikers zur Strukturbestimmung einer neuen Verbindung.**

Die magnetische Kernresonanz, im allgemeinen nach der englischen Bezeichnung 'Nuclear Magnetic Resonance' (NMR) abgekürzt, ist eine Technik zur Messung der magnetischen Eigenschaften einzelner Atomkerne. Seit ihrer Entdeckung im Jahre 1945 ist NMR eine weitgehend benutzte Methode zur chemischen Bestimmung der Molekülstruktur geworden.

NMR wird überall benutzt, wo neue Verbindungen synthetisiert werden, besonders in den Forschungslabors der pharmazeutischen Industrie und der Universitäten. Sie hat viele Informationen über die Struktur der synthetischen Polymere, die Grundstoff für Kunststoffe sind, geliefert. Eine weitere bedeutende Anwendung ist die Analyse von Naturprodukten, die von Pflanzen oder Tieren isoliert wurden. Magnetische Kernresonanz wird auch benutzt, um die Metabolite oder Zerfallsprodukte von Drogen im Körper zu erforschen, obgleich die sehr geringen Mengen, in denen man diese Zerfallsprodukte erhalten kann, große Schwierigkeiten bereiten. NMR wird zunehmend auf biologische Probleme angewendet, z.B. zur Erforschung der Struktur von Proteinen oder der Wirkungsweise von Enzymen.

Die Grundlage der NMR ist die Wechselwirkung zwischen einer bestimmten Art von Atomkernen und magnetischen Feldern (siehe MAGNETISMUS). Einige Atomkerne verhalten sich so, als drehten sie sich um eine Achse. Da sie elektrisch geladen sind, haben sie ein magnetisches Moment. Diese Kerne richten sich in einem magnetischen Feld, ähnlich einer Kompaßnadel im Magnetfeld der Erde, aus. In Übereinstimmung mit der Quantentheorie können Atomkerne nur bestimmte Orientierungen in einem Magnetfeld annehmen. In den wichtigsten Fällen verhalten sich die Atomkerne wie magnetische Dipole und haben genau zwei Ausrichtungsmöglichkeiten im Magnetfeld. Dazu gehören die häufig vorkommenden Isotope des Wasserstoffs  $^1\text{H}$ , des Fluors  $^{19}\text{F}$  und des Phosphors  $^{31}\text{P}$  sowie das selten auftretende Isotop des Kohlenstoffs  $^{13}\text{C}$ , das eine natürliche Häufigkeit von 1% besitzt.

Jede Ausrichtung der Kerne entspricht einem unterschiedlichen Energiezustand. Die Energiedifferenz zwischen diesen Zuständen ist der Stärke des Magnetfeldes proportional. Wenn die Atomkerne elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt werden, deren Frequenz genau dem Abstand zwischen den Energiezuständen entspricht, werden die Kerne angeregt,



Der grafische Aufzeichner eines Spektrometers registriert die Frequenzen einer Probe.

PERKIN-ELMER

von einem Zustand in den anderen überzuwechseln. Die Folge ist, daß bei einer Frequenz, der 'Resonanzfrequenz', die Atomkerne Energie aufnehmen. Bei den üblicherweise benutzten Magnetfeldstärken tritt diese Energieaufnahme im Hochfrequenzbereich auf.

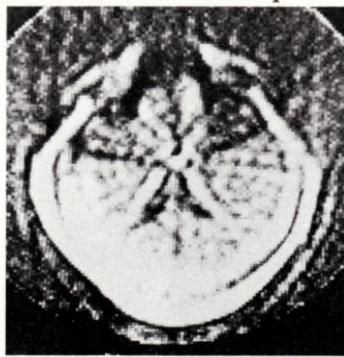
### Absorptionsfrequenzen

Die Bedeutung der NMR für chemische Analysen beruht darauf, daß es für jedes Isotop eine Reihe von Absorptionsfrequenzen gibt, die von der chemischen Beschaffenheit der Kernumgebung abhängt. Durch die Abschirmung der den Kern umgebenden Elektronen erfährt dieser ein etwas anderes als das von außen angelegte Magnetfeld. So werden dann unterschiedliche Resonanzfrequenzen für verschiedene Verbindungen und auch für Kerne an verschiedenen Stellen desselben Moleküls gefunden. Zum Beispiel zeigt die Resonanz von Äthylalkohol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) drei verschiedene Absorptionsfrequenzen, die den drei vorhandenen Typen von Wasserstoff zuzuordnen sind. Die Intensität der einzelnen Absorptionen ist der Zahl der beitragenden Kerne proportional; dies ergibt hier das Verhältnis 3:2:1.

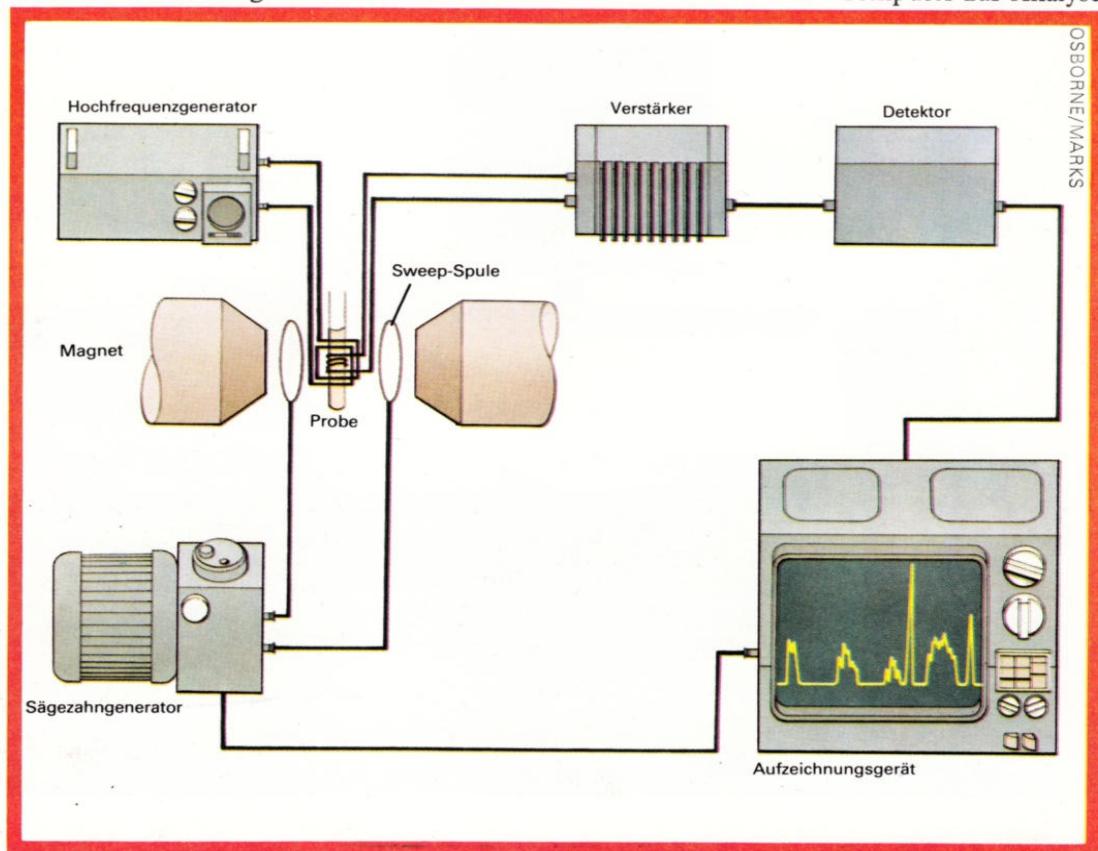
Ein weiteres bedeutendes Merkmal ist, daß die Signale eine kleine Aufspaltung durch die Wechselwirkungen zwischen den

benachbarten magnetischen Kernen im Molekül zeigen. Diese Aufspaltungen geben Aufschluß über die Anzahl und Anordnung der benachbarten Kerne. Im Äthylalkohol z.B. ist das zur CH<sub>3</sub>-Gruppe gehörende Signal in drei eng benachbarte Signale aufgespalten; das zur CH<sub>2</sub>-Gruppe gehörende Signal zeigt vier Spitzen. Dies beruht darauf, daß jedes Wasserstoffatom der CH<sub>3</sub>-Gruppe zwei Wasserstoffatome am benachbarten Kohlenstoffatom 'sieht' und mit diesen in Wechselwirkung treten kann; jedes Wasserstoffatom der CH<sub>2</sub>-Gruppe andererseits 'sieht' die drei Wasserstoffatome der CH<sub>3</sub>-Gruppe. Die Signale sind in (n+1) Spitzen aufgespalten, wobei n die Anzahl der 'gesehenen' Wasserstoffatome bezeichnet.

Der Bereich der Resonanz- bzw. Absorptionsfrequenzen für jedes Isotop ist klein, z.B. einige Kilohertz für Wasserstoff bei einer Resonanzfrequenz von 100 MHz. Die Signalauf-



Im Bild rechts ein vereinfachtes Diagramm eines NMR-Spektrometers. Die Probe, im Bild oben Schädelprobe eines Menschen, wird zwischen die Pole eines sehr starken Magneten plaziert — neben einer Hochfrequenzspule, einer Sweep-Spule und einer Detektorspule. Die Signale der Probe werden verstärkt und aufgezeichnet.



spaltungen sind viel kleiner, in einigen Fällen kleiner als 1 Hz, und ihre Messung erfordert ausfeilte Apparaturen.

### NMR-Spektrometer

Das Instrument zur Messung der magnetischen Kernresonanz ist das NMR-Spektrometer. Es besteht aus einem Magneten, einem Hochfrequenzgenerator und Detektor sowie einer Anordnung zum Durchkämmen des Spektrums durch Verändern der Magnetfeldstärke oder der Frequenz. Um die Einzelsignale gut zu trennen, ist ein möglichst starkes Magnetfeld wünschenswert. Dazu werden Elektro- und Dauermagneten mit Feldstärken im Bereich von 1,4 T bis 2,3 T (T = Tesla) benutzt. Die entsprechenden Resonanzfrequenzen liegen dann für Wasserstoff bei 60 MHz bis 100 MHz. Um noch höhere Feldstärken zu erreichen, werden supraleitende Magneten mit möglichen Feldstärken bis zu 8 T verwendet.

Das Magnetfeld muß extrem gleichmäßig sein, da jede Abweichung zur Verbreiterung der beobachteten Signale führt. Die Probe ist üblicherweise in einem Glasrohr von 5 mm bis 10 mm Durchmesser enthalten, und das magnetische Querfeld darf sich nur um weniger als ein Millionstel Prozent ändern.

Um dies zu erreichen, ist der Magnet mit Korrekturspulen versehen, die Magnetfelder so erzeugen, daß sich die Inhomogenitäten (Ungleichmäßigkeiten) im ursprünglichen Magnetfeld ausgleichen. Das überlagerte Feld muß sehr stabil sein, damit die relative Lage der Signale genau gemessen werden kann.

Mit Dauermagneten ist es möglich, das Feld zu stabilisieren, indem man die Temperatur des Magneten sehr genau kontrolliert; bei Elektromagneten ist dies wegen der Verlustwärme nicht möglich. Dafür wird ein Kernresonanz-Bezugssignal mit einem Rückkopplungssystem benutzt, um die Resonanzfrequenz, und hierdurch auch das Magnetfeld, konstant zu halten. Um das Spektrum zu untersuchen, kann entweder die Hochfrequenz oder das Magnetfeld verändert werden. Eine neue Alternative ist, die Probe mit einem breiten Frequenzband zu bestrahlen und einen On-line-Computer zur Analyse

der Reaktion der Probe zu verwenden.

Die meisten Anwendungen beruhen auf der Untersuchung organischer Verbindungen durch ihre Wasserstoffresonanz. Obgleich der Bereich der Absorptionsfrequenzen klein ist, sind die relativen Lagen sehr charakteristisch für die nächste Umgebung des Wasserstoffatoms im Molekül. Die Aufspaltungen in jedem Signal kennzeichnen die Zahl der Wasserstoffkerne in der Nähe des das Signal gebenden Atomkerns sowie die Zahl und die Orientierungen der sie trennenden chemischen Bindungen. Das Wasserstoffspektrum kann so benutzt werden, um die Lage der Wasserstoffatome und die Molekularstruktur zu bestimmen.

Die Grenze dieses Verfahrens ist erreicht, wenn verschiedene Signale sich oft überlagern, so daß weniger Information erhalten wird. Um dies zu überwinden, werden ständig stärkere Magneten entwickelt. Das von dem Kohlenstoffisotop <sup>13</sup>C erhaltenes Spektrum ergänzt häufig das Wasserstoffspektrum. Obgleich das Kohlenstoffspektrum wegen der schwachen Signale schwieriger zu messen ist, wurde es durch die Computertechnik möglich, auch die Kohlenstoff-Kernresonanz anzuwenden.

# KLAVIER

**Unter den Musikinstrumenten wird die Vielseitigkeit des modernen Klaviers höchstens noch von der Orgel übertroffen.**

Wie bei seinen sämtlichen Vorläufern, unter ihnen das Klavichord und das Cembalo, werden die Saiten des Klaviers durch Niederdrücken von Tasten zum Erklingen gebracht. Die Tonerzeugung selbst ist allerdings in allen drei Fällen unterschiedlich.

## **Das Klavichord**

Im 16. Jahrhundert schätzten Instrumentalisten das Klavichord sehr, es war aber bereits um 1800 veraltet. Auf der Diskantseite (rechts) des Kastenkörpers befinden sich der Stimmstock, der Steg und die Stimmwirbel, während auf der Baßseite (links) die Tastatur liegt. Die Saiten verlaufen quer zu ihr. Ein Druck auf die in der Mitte drehbar gelagerte Taste führt den am Tastenende angebrachten Metallstift (Tangente) bis zur Saite, die er anreißt. Die Saite schwingt nur zwischen Steg und Tangente. Ihr freier Teil wird durch einen Tuch- oder Filzstreifen, der zwischen den Saiten geführt ist, am Schwingen gehindert.

Der sanfte Klang des Klavichords macht es für Hausmusik besonders geeignet. Seine Sonderrolle unter den Vorläufern des Hammerklaviers röhrt daher, daß man mit ihm den Ton dynamisch gestalten kann. Hierzu muß der Spieler allerdings eine andere Technik als beim Klavier anwenden, so daß ein Pianist Eingewöhnungsschwierigkeiten haben dürfte. Wird die Tangente durch scharfen Anschlag rasch betätigt, ergibt sich ein größeres Klangvolumen, während bei festerem Tasten-

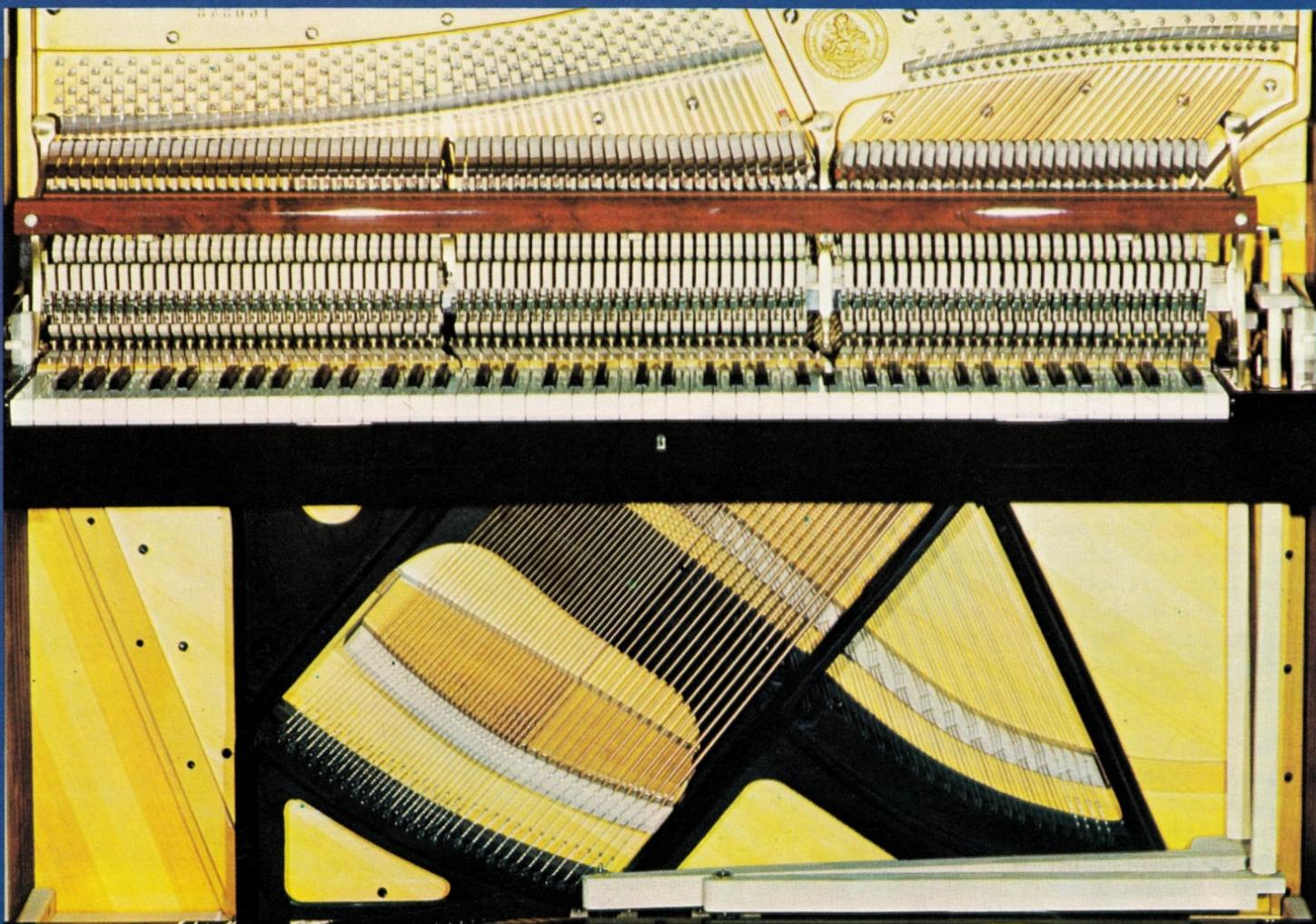
druck die Tonhöhe der Saite verändert (höher) wird, was zu unreinem Spiel führt.

## **Das Cembalo**

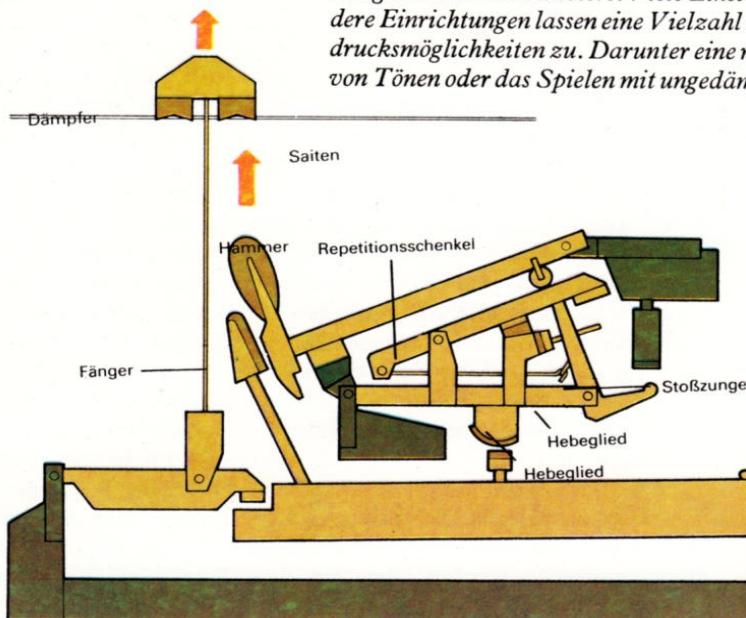
Das Cembalo erreichte den Höhepunkt seiner Beliebtheit im 17. und 18. Jahrhundert. Beim Niederdrücken einer Taste geht ein Springer hoch, der einen Kiel mit einem Dämpferfilz an der Saite vorbeiführt. Der Kiel ist nach oben abgewinkelt, so daß er im Heraufgehen die Saite anreißt. Er ist im oberen Teil des Springers an einem Schiffchen befestigt, das über eine Achse und eine Feder beweglich gelagert ist. Beim Herunterfallen drückt die Saite das Schiffchen mitsamt dem Kiel beiseite. Ein dicht über dem Kiel befindlicher Dämpferfilz sorgt dafür, daß die Saite dabei nicht ertönt.

Einchorige Cembali waren unter der Bezeichnung Spinett oder Virginal verbreitet. Ein 'richtiges' Cembalo hat gewöhnlich zwei, drei oder vier 'Chöre', deren Saiten jeweils von eigenen Springern angerissen werden. Die zum jeweiligen 'Chor' gehörigen Saiten sind gleich gestimmt. Der Spieler kann über Docken Register betätigen, durch die Saiten hinzugenommen werden oder 'aus dem Spiel bleiben'. Dies beeinflußt sowohl den Klang als auch das Volumen des Instrumentes. Zusätzliche Springer können die Saiten nahe dem Ende anreßen, was einen Klang wie bei einer in der Nähe des Stegs gezupften Gitarre erzeugt. Die Klangfarbengestaltung kann über einen Lautenzug variiert werden. Dabei legt sich ein Filzstreifen über die Saiten. Springer können Kiele aus Kunststoff oder aus Leder haben; bei alten Instrumenten sind es echte Federkiele (von Raben). Der Spieler betätigt die zusätzlichen Einrichtungen zur Klangveränderung während des Spiels durch Pedale oder über Knie- und Handhebel.

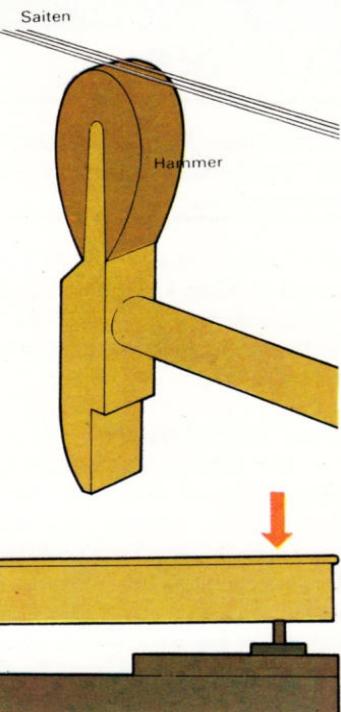
Innenansicht eines Klaviers



## KALVIER



*Die Mechanik ist der komplizierteste, aber auch der vielseitigste Teil eines Klaviers. Viele Einstellungen und besondere Einrichtungen lassen eine Vielzahl musikalischer Ausdrucksmöglichkeiten zu. Darunter eine rasche Wiederholung von Tönen oder das Spielen mit ungedämpften Saiten.*



PICTUREPOINT

**Das Klavier (Hammerklavier, Pianoforte)**

Zu Beginn des 18. Jahrhunderts versuchten Instrumentenbauer, ein Tasteninstrument zu bauen, das einen variableren Klang als das Cembalo ermöglichte. Cuisiné stellte im Jahre 1708 ein Tasteninstrument vor, bei dem ein sich drehender, mit Harz bestrichener Bogen ähnlich wie bei einer Violine die Saiten zum Schwingen brachte. Ein von Marius im Jahre 1716 erfundenes 'clavecin à maillets' zeigt einen Ansatz in Richtung Hammerklavier; es war eine Art Cembalo mit Prellmechanik. Im allgemeinen wird Bartolomeo Cristofori als eigentlicher Erfinder des Hammerklaviers mit Stoßmechanik angesehen. Er stammte aus Padua und war Konservator der Instrumentensammlung des Fürsten Ferdinand von Medici. Ein Brief aus dem Jahre 1711 lobt 'das piano (leise) und forte (laut) in Thema und Wiederholung, sowie das allmähliche Verschweben des Tones, wobei anschließend gleich wieder der mächtige Klang des Instruments zu hören war'. Um 1731 wurde bereits für das neue Instrument komponiert.

**Die Wirkungsweise des Klaviers**

Das Arbeitsprinzip des Klaviers beruht darauf, daß ein filzbedeckter Hammer bis zur Saite aufsteigt und anschließend unverzüglich zurückfällt, unabhängig davon, ob der Spieler die Taste niedergedrückt läßt oder nicht. Der Hammer wird nicht geführt, sondern geradezu hochgeschleudert, daher muß er sich rascher bewegen können als die ihn auslösende Taste. Die

Hebel zwischen Taste und Hammer werden als Hammermechanik bezeichnet.

Damit der durch die Schnellkraft des Hammers mögliche Dynamikbereich voll ausgeschöpft werden kann, ist ein Fänger in der Mechanik angebracht, der den Hammer beim Zurückfallen festhält. Ohne diesen Fänger könnte ein Rückprall des Hammers zur Saite den Klang dämpfen. Das Hebeglied wird beiseitegeschoben, so daß der Hammer auch dann unter seinen Ausgangspunkt zurückfallen kann, wenn die Taste noch niedergedrückt ist. Moderne Konzertflügel haben eine komplizierte Repetitionsmechanik, bei der die Stoßzunge sofort wieder unter ihren Angriffspunkt am Hammerstiel gelangen kann, so daß sich der gleiche Ton sehr rasch erneut anschlagen läßt.

Über die Tasten werden nicht nur die Hämmer betätigt, sondern auch die Dämpfer, die sich beim Niederdrücken der Taste heben und beim Loslassen heruntergehen, um die Saite zu dämpfen (am Schwingen zu hindern). Ein Gestänge ver-

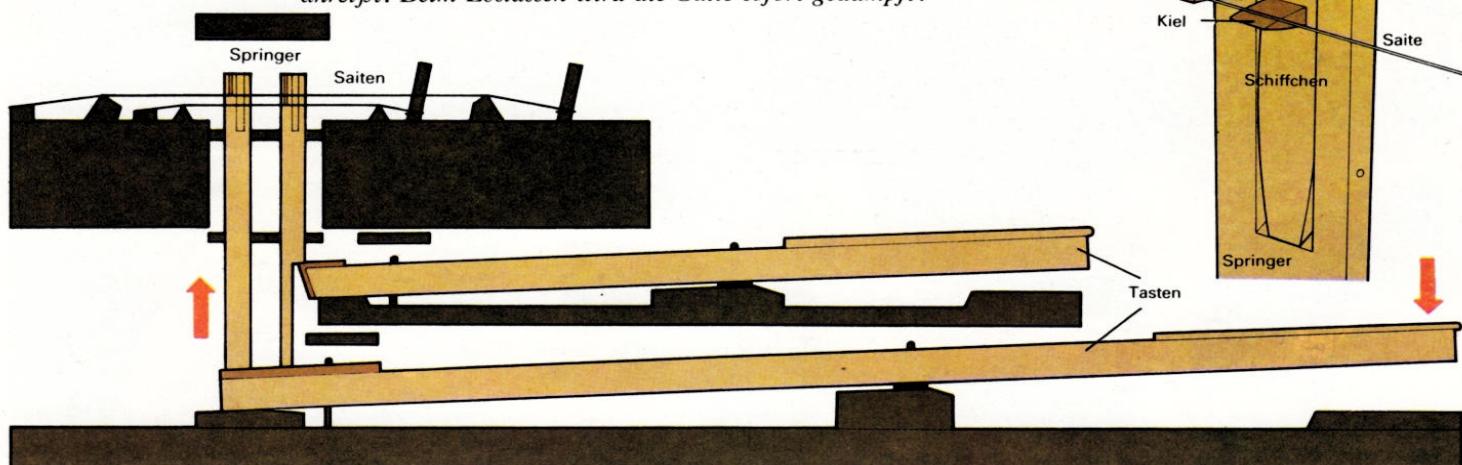
*Ein französisches Cembalo (1780) links oben. Im Bild unten ein kreuzsaitig bespanntes Pianino mit Unterämpfung. Bei kreuzsaitiger Bespannung laufen die Saiten diagonal übereinander.*



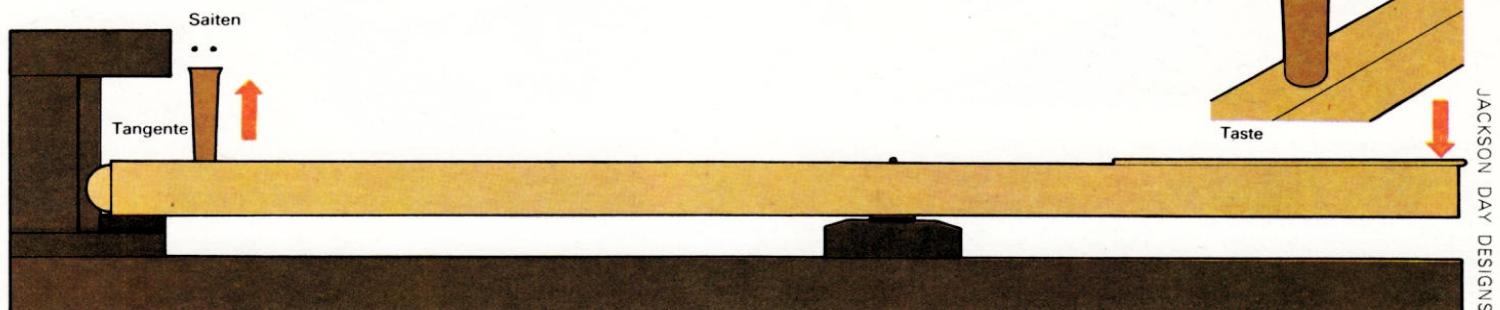
PICTUREPOINT

**CEMBALO**

*Beim Cembalo reißt nach Niederdrücken der Taste der Kiel die Saite an. Der Kiel ist drehbar im Springer gelagert, so daß er beim Zurückfallen die Saite nicht noch einmal anreißt. Beim Loslassen wird die Saite sofort gedämpft.*

**KLAVICHORD**

*Die Mechanik des Klavichords arbeitet mit einer Tangente. Die Taste ist drehbar gelagert. Bei ihrer Betätigung steigt auf der anderen Seite die Tangente und reißt die Saite an. Da ein Teil der Saite am Schwingen gehindert wird, bestimmt die schwingende Länge der Saite die Tonhöhe.*



bindet sämtliche Dämpfer mit dem rechten Pedal, dem sogenannten Großpedal oder Fortezug. Wird es betätigt, hebt es die Dämpfer von den Saiten ab und bewirkt nicht nur ein Nachklingen der angeschlagenen Töne, sondern auch eine Verstärkung durch Mittötön nicht angeschlagener Saiten; dies ergibt einen reicherem Klang. Außerdem wird das Großpedal zum Binden von Tönen dort verwendet, wo ein Legatospiel sonst nicht möglich wäre.

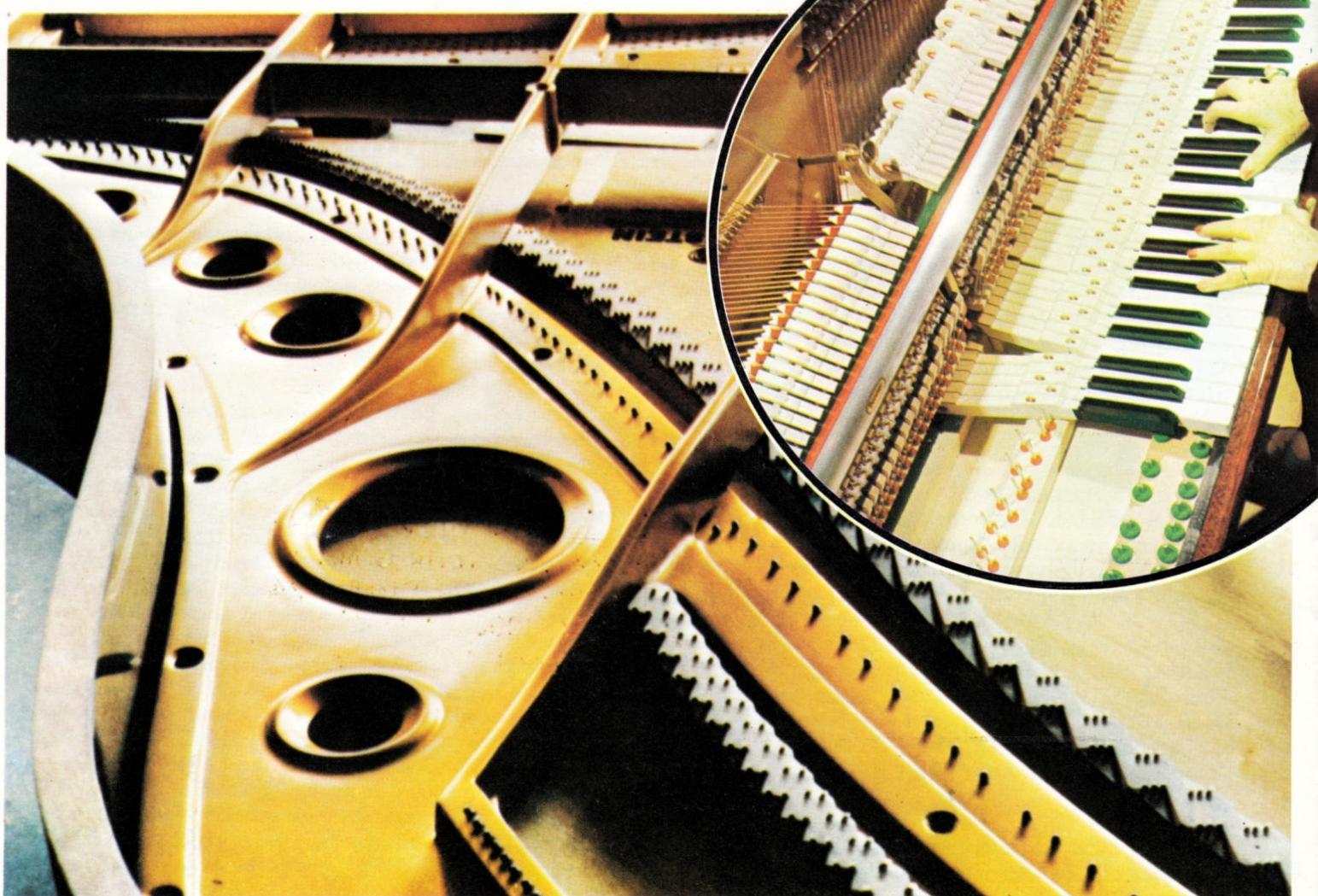
Das linke Pedal heißt Piano-Pedal oder Verschiebung. Es rückt die Klaviatur und die Mechanik ein wenig nach rechts, wodurch der Hammer jeweils statt der drei Saiten des Chores nur zwei trifft (bei 'una corda', 'due corde' zu spielen). Der Begriff 'una corda' (eine Saite) stammt aus der Zeit, als man nach Wahl eine, zwei oder drei Saiten anschlagen konnte. Der Haupttreiz der Verschiebung besteht in einer Veränderung der Klangfarbe. Bei den meisten Konzertflügeln gibt es ein drittes (mittleres) Pedal, das sogenannte Tonhaltungspedal. Dieser Pedalzug hebt nur die Dämpfer des gerade angeschlagenen Tones oder Akkords, solange das Pedal niedergetreten bleibt. Damit kann der Spieler entweder eine Note halten, während er eine andere anschlägt, oder er kann gehaltene Töne ('sostenuto') und abgesetzte Töne ('staccato') mischen.

**Saiten**

Cristoforis erstes Instrument arbeitete zwar nach dem neuen Anschlagverfahren, aber anfänglich unterschied sich der Klang des Instruments nicht sehr von dem des Cembalo. Im Cembalo

war die Mechanik für die Kraftübertragung beim Anschlag sehr geeignet, weil die Saiten leicht waren und die gesamte Anreßenergie des Kiels aufnehmen konnten. Gerade diese Beschaffenheit der Saiten führte aber dazu, daß sie bei der neuen Hammermechanik nicht mehr in der Lage waren, die zugeführte Energie aufzunehmen: Je schneller der Hammer ansetzte, desto größer war seine Kraft. Bis 1834 wurden die Drahtsaiten aus Eisen oder Messing gezogen. Sie ergaben einen scharfen, aber ziemlich 'kleinen' Ton. Ein Hersteller aus Birmingham führte als Ausgangsmaterial Stahl ein. Während des ganzen 19. Jahrhunderts lag die englische Firma Webster and Horsfall mit der Firma Müller aus Wien im edlen Wettstreit um die besten Saiten. Der hohen Zugfestigkeit von Stahl verdankt der neuzeitliche Konzertflügel sein Klangvolumen.

Allgemein gilt: Wird die Länge einer Saite halbiert, ist die Tonhöhe eine Oktave höher als bei ursprünglicher Saitenlänge. Für die tiefsten Baßtöne eines Klaviers würde eine Saitenlänge von etwa 5 m erforderlich sein. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, werden die Baßsaiten dicker gemacht. Sie bestehen aus einem Kerndraht, der zur Vergrößerung der schwingenden Masse mit Kupfer- oder Neusilberdrähten umspunnen ist. Doch nicht nur die Länge und Masse der Saite, sondern auch ihre Spannung hat Einfluß auf die Tonhöhe. Bei Verdopplung der mechanischen Spannung liegt der erzeugte Ton ebenfalls um eine Oktave höher als zuvor. Wegen der zunehmenden Dicke und mechanischen Spannung der Drähte wurde es im Verlaufe des 19. Jahrhunderts notwendig,





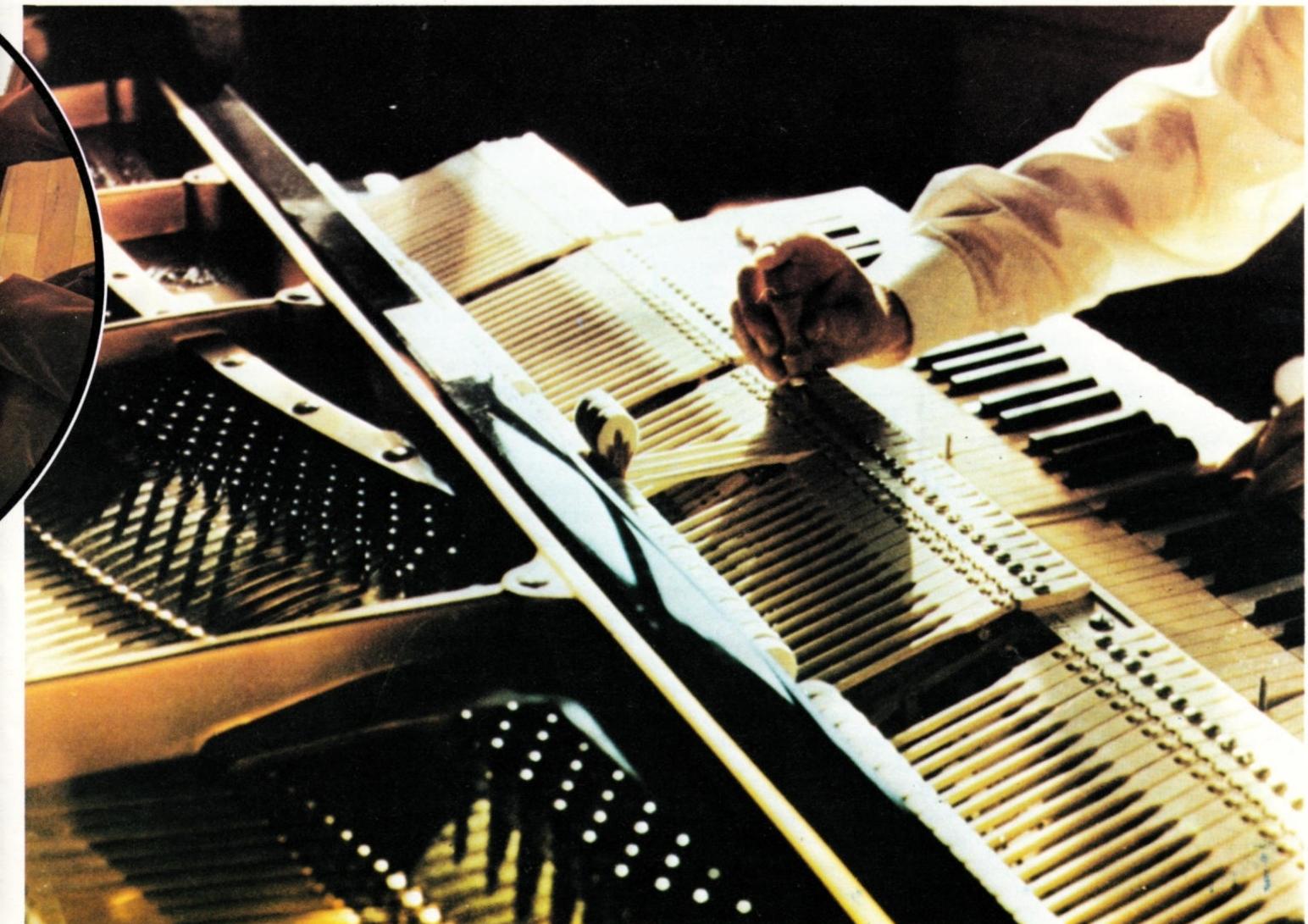
**Ganz links:** Wegen der enormen Belastung des Rahmens durch die Klaviersaiten, müssen die verwendeten Holzteile besonders kräftig sein. Hier ein Klavierbauer der Firma Bechstein in Berlin.

**Links:** Die Herstellung von Qualitätsklavieren ist weitgehend vom handwerklichen Können der Klavierbauer abhängig. Der größte Teil der Arbeiten muß mit der Hand ausgeführt werden.

**Links unten:** Der volle Klang der Bechsteinflügel kommt durch die Konstruktion des Klangbodens zu stande. Hier der Flügelboden vor der Bespannung mit den Saiten und dem Einbau der Mechanik.

**Mitte (Einsatz):** Das Montieren der Tastenmechanik. Links im Bild sind die Auflagepunkte für die Tasten deutlich zu erkennen. Bevor die Saiten gestimmt werden, muß das mechanische Funktionieren gesichert sein.

**Unten:** Ein Klavierstimmer bei der Arbeit.





den Rast des sich immer weiter entwickelnden Instruments zu verstärken: Der Rahmen eines modernen Klaviers muß immerhin eine Zugkraft bis zu 20 000 N aufnehmen können.

### Aufbau

Unter den Saiten liegt der Resonanzboden, eine aus mehreren Teilen zusammengefügte Holzplatte, die die Schwingungen der Saiten aufnimmt und abstrahlt. Dieser Resonanzboden ist ein sehr wichtiges Bauteil. Das dafür ausgewählte Holz muß den Ton rasch und möglichst unverändert abstrahlen. Die besten Hölzer, wie Bergfichte, Sitkafichte, Rottanne oder Silbertanne, übertragen Schall bis zu vierzehnmal schneller als die Luft. Wichtig ist auch die Lage der Saiten im Verhältnis zum Resonanzboden; hier hat die moderne Kreuzspannung sehr viel zur Verbesserung des Klanges beigetragen.

Anfänglich wurden Klaviere, wie auch Cembali, vollständig aus Holz hergestellt. Der hölzerne Rast war aber den zunehmenden Saitenspannungen nicht gewachsen, so daß der Aufhängestock mit Metallstäben oder einer Blechauflage verstärkt wurde. Vor und nach 1800 wurden verschiedene Systeme zum Patent angemeldet. Allerdings ist es denkbar, daß die von ihnen vorgesehene Verwendung von Metallstreben hauptsächlich der Platzersparnis dienen sollte. Im Jahre 1820 wurde für eine Konstruktion aus Metallstäben und Platten aus verschiedenen Metallen ein Patent erteilt. Bei diesem Rahmen wird das Prinzip der unterschiedlichen Wärmeausdehnung verschiedener Metalle ausgenutzt, wie man es auch beim Uhrenpendel kennt. Dadurch konnten sich die Haltestifte der Saiten entsprechend der jeweiligen Temperatur geringfügig bewegen. Der erste volle Gußrahmen mit Saitenträger wurde im Jahre 1825 in Boston hergestellt. Drei Jahre später kam der kreuzsaitige Bezug auf, bei dem die langen Basssaiten schräg über die anderen Saiten geführt werden. Von der geringeren Größe des benötigten Raumes abgesehen, wird die besonders schwungsfähige Mitte des Resonanzbodens dabei besser ausgenutzt; außerdem regen sich die übereinanderliegenden Saiten bei aufgehobener Dämpfung zum Mitschwingen an.

In Deutschland baute man während des ganzen 18. Jahrhunderts Klaviere mit einfacher Auslösung. In vielen Fällen

**Oben:** Innenansicht eines Bechsteinklaviers, eines sogenannten Pianinos, bei dem die Saiten in einem vertikalen Gehäuse montiert sind, das bis nahezu auf den Boden herunterreicht. Nachdem im Jahre 1800 der Engländer Hawkins diese Bauart eingeführt hatte, entwickelte sich das Pianino zu einem beliebten Hausinstrument, das vor allem durch seine intime Klangfarbe bestach.

konnte die Dämpfung nur durch Handhebel aufgehoben werden. Andreas Stein entwickelte die 'deutsche' oder Wiener Mechanik, eine Prellmechanik mit Befestigung der Hämmer auf den Tastenhebeln. Der Fortezug wurde im Jahre 1783 in England für John Broadwood patentiert. Das Pianopedal stammt von John Isaac Hawkins. Durch Tuch- oder Lederauflagen, deren Stärke von einer Seite zur anderen zunahm, konnte der Spieler bei allmäßlicher Betätigung des Pedals ein 'diminuendo' oder 'crescendo' 'vortäuschen'.

Nachdem das Klavier ein beliebtes Hausinstrument geworden war, folgten unvermeidlich Sonderformen. Es gab Klaviere mit zwei Manualen für vierhändiges Spiel und wie Tische aussehende, rechteckige Klaviere (Tafelklaviere). Am brauchbarsten war das auch heute noch am weitesten verbreitete aufrechte Klavier. Die Schwierigkeit bei seiner Entwicklung lag darin, daß zur Betätigung der (waagerecht liegenden) Mechanik die Schwerkraft nicht ausgenutzt werden konnte. Die ersten aufrechten Klaviere waren sehr hoch, sozusagen aufrecht gestellte Flügel, und oft sahen sie recht eigenständlich aus (Giraffenklavier). Im Jahre 1800 führte Hawkins die Saiten bis nahezu auf den Boden herunter. Damit entstand die niedrige rechteckige Ausführung des heutigen Klaviers, das oft als 'Pianino' bezeichnet wird. Ein weiterer Wegbereiter dieser Bauweise war Robert Wornum. Um 1860 hatten Pianinos in den Haushalten das Tafelklavier verdrängt. Wegen ihres intimen Klanges zog Chopin sie sogar Konzertflügeln vor. Bei vielen Pianinos vermindert das linke Pedal den Neigungswinkel der Hämmer und nähert sie mehr den Saiten. Diese mechanische Abschwächung der Hebelkraft erleichtert das leise Spiel ohne Klangfarbenveränderung.



# Erfindungen 23: MÜNZEN

Bei primitiven Völkern hat 'Geld' auch heute noch viele verschiedene Formen. In einigen Teilen der Welt stellt es tatsächlichen Besitz, wie beispielsweise Vieh oder Metallstücke, dar. So wurden in Ostafrika noch bis vor kurzem wie Hacken geformte Eisenstücke im Zahlungsverkehr verwendet. In anderen Gegenden der Erde hat Geld nur einen sehr geringen Realwert. Als Beispiel seien die im Südpazifik als Zahlungsmittel verwendeten Kaurimuscheln genannt. Beide Arten von Geld jedoch haben eines gemeinsam: In den Kulturen, die es gebrauchen, wird es als Tauschmittel und als Wertmesser beim Kauf und Verkauf von Waren angesehen.

## Vormünzliches Geld

In den Ländern des frühgeschichtlichen Europa und im Mittleren Osten gab es Formen von Geld, die einander

ähnelten. Ab etwa 2000 v. Chr. finden sich Kupferbarren, gewöhnlich wie eine Ochsenhaut gestaltet, die für den Handel weithin 'Geltung' hatten. Auch bronzen Halsringe waren verbreitet. Nach etwa 700 v. Chr. dienten lange, schmale Eisenstücke als Geld. Erstaunlicherweise scheinen zu jener Zeit Gold und Silber als Geld keine Rolle gespielt zu haben. Allerdings kann der Grund hierfür auch in der wenig entwickelten Metalltechnik der damaligen Zeit liegen.

## Gold und Silber

Gold und Silber lassen sich leicht mit Kupfer verfälschen. Erst als man Edelmetalle im Kupellierverfahren rein darstellen und mit Hilfe von Probiersteinen auf ihre Reinheit prüfen

konnte, war es sinnvoll, Münzen aus Gold und Silber herzustellen. Die Kupellation ist ein oxidierendes Schmelzen von Edelmetallen in hochfeuerfesten Tiegeln. Bei diesem Verfahren werden sie von unedlen Metallen und Verunreinigungen befreit. Der Probierstein war ein Stück dunkles Gestein (Lydit), mit dem man über das Metall strich. Anhand der auf dem Stein sichtbaren Spur (dem 'Strich') konnte man den Reinheitsgrad von Gold und Silber erkennen.

Der Legende nach kamen die ersten Münzen um 700 v. Chr. aus Lydien im westlichen Kleinasien. Tatsächlich gibt es heute noch eine kleine

SARAK



Einige Silbermünzen aus der Zeit um das 5. Jahrhundert v. Chr.

**Links oben:** Eine frühe Münze, wahrscheinlich griechischer Herkunft, allerdings mit hebräischer Inschrift.

**Oben:** Eine athenische Tetradrachme mit dem Abbild der athenischen Eule.

**Links:** Eine griechische Münze aus Naxos auf Sizilien, das für seine Trauben berühmt war.

Anzahl von Goldmünzen aus jener Epoche.

SCALA

### Die Münzprägung

Das bei der Münzprägung ursprünglich angewendete Verfahren ist auch heute noch von Interesse, da es in seinen wesentlichen Zügen unverändert weiterbenutzt wird. Zuerst wog man das Gold genau aus. Zu jeder Wägung wurden nur einige kleine Stückchen des Metalls genommen. Anschließend kamen diese Stückchen in flache, kreisförmige Vertiefungen einer Tonform. Diese wurde erhitzt, bis das schmelzende Metall zur tief-



sten Stelle der Form lief. Nach dem Abkühlen wurden diese Goldronden oder Münzrohlinge aus der Form genommen, auf einen Amboß gelegt und mit einem eisernen Münzstempel geprägt. In ihn war als Gepräge das Zeichen des Landes oder Herrschers eingraviert, unter dessen Münzhoheit die Herstellung erfolgte. Das konnte der Kopf des Herrschers im Profil oder ein religiöses Symbol sein, wie z.B. die Eule auf frühen athenischen Münzen (als Wappenvogel Athens). Oft wurden zwei Schlagstempel benutzt, so daß beide Seiten der Münze (Avers und Revers) ein Gepräge erhielten.

Der Grund zur Prägung dieser frühen Münzen dürfte der Wunsch gewesen sein, eine Garantie für das Edelmetallgewicht und die Reinheit zu haben. Dennoch scheinen die frühesten Gold- und Silbermünzen nicht zum Zahlungsverkehr bestimmt gewesen zu sein: sie dienten eher als handliche Edelmetallstücke. Das heißt allerdings nicht, daß sie niemals bei Handelsgeschäften verwendet wurden. Tatsache jedoch ist, daß noch nach ihrer Einführung die Naturalwirtschaft mit ihrem Tauschhandel bestehenblieb.

### Bronzemünzen

Eine richtige Geldwirtschaft, in der Waren allgemein gegen Geld ge-



handelt wurden, scheint sich im zweiten vorchristlichen Jahrhundert entwickelt zu haben. Es ist ganz offensichtlich, daß ihre Einführung durch die Ausdehnung des Römischen Reiches beschleunigt wurde. Damit war es nicht mehr möglich, ausschließlich Gold- und Silbermünzen zu schlagen. Deshalb wurde für Scheidemünzen Bronze als Münzmetall herangezogen. Das Verfahren wurde dabei jedoch nicht verändert.

Bei der Ausgrabung zahlreicher römischer Städte wurden die Reste von Münzstätten entdeckt. Es ist selbstverständlich, daß die Ausgabe von Münzgeld unter der Hoheit der für das Gebiet Verantwortlichen stand. Das konnte offensichtlich zu Mißbrauch führen.

Im ersten Jahrhundert n. Chr. wurde die Zusammensetzung der Bronzemünzen geändert: Man verminderte den Zinnanteil der Legierung zugunsten von noch mehr Zink. Im Neuzustand sahen solche Münzen,

**Oben:** Eine gekennzeichnete Münze aus Syrakus. Das Gepräge stellt die Bergnymphe Arethusa dar.

**Links:** Indische Goldmünzen. Das obige Bild zeigt eine Münze aus der Zeit der Guptadynastie (um 400 n. Chr.), und das untere eine Münze aus Cholas (etwa 1000 n. Chr.).

ähnlich wie die Kupfer/Zink-Legierung Tombak, nahezu golden aus, obwohl sie billiger herzustellen waren als Zinnbronze.

### Fälschungen

Beinahe ebenso alt wie die Münzkunst ist das Fälschen von Münzen. Allerdings hatte der Fälscher nur zwei Möglichkeiten: Entweder hielt er sich an das Originalverfahren und schnitt Schlagstempel, mit denen er falsche Münzen prägen konnte. (Dies ist ein sehr schwieriges Unterfangen.) Oder er konnte von einer echten Münze einen Abguß machen und danach gießen. In diesem Falle mußte er die Gußnaht um den Rand der Münze herum entfernen. In beiden Fällen war bei einer sorgfältigen Prüfung die Münze als Fälschung zu entlarven. Hauptsächlich aus diesem Grund wurde das ursprüngliche Verfahren, nämlich Rohlinge zu schlagen, beibehalten.