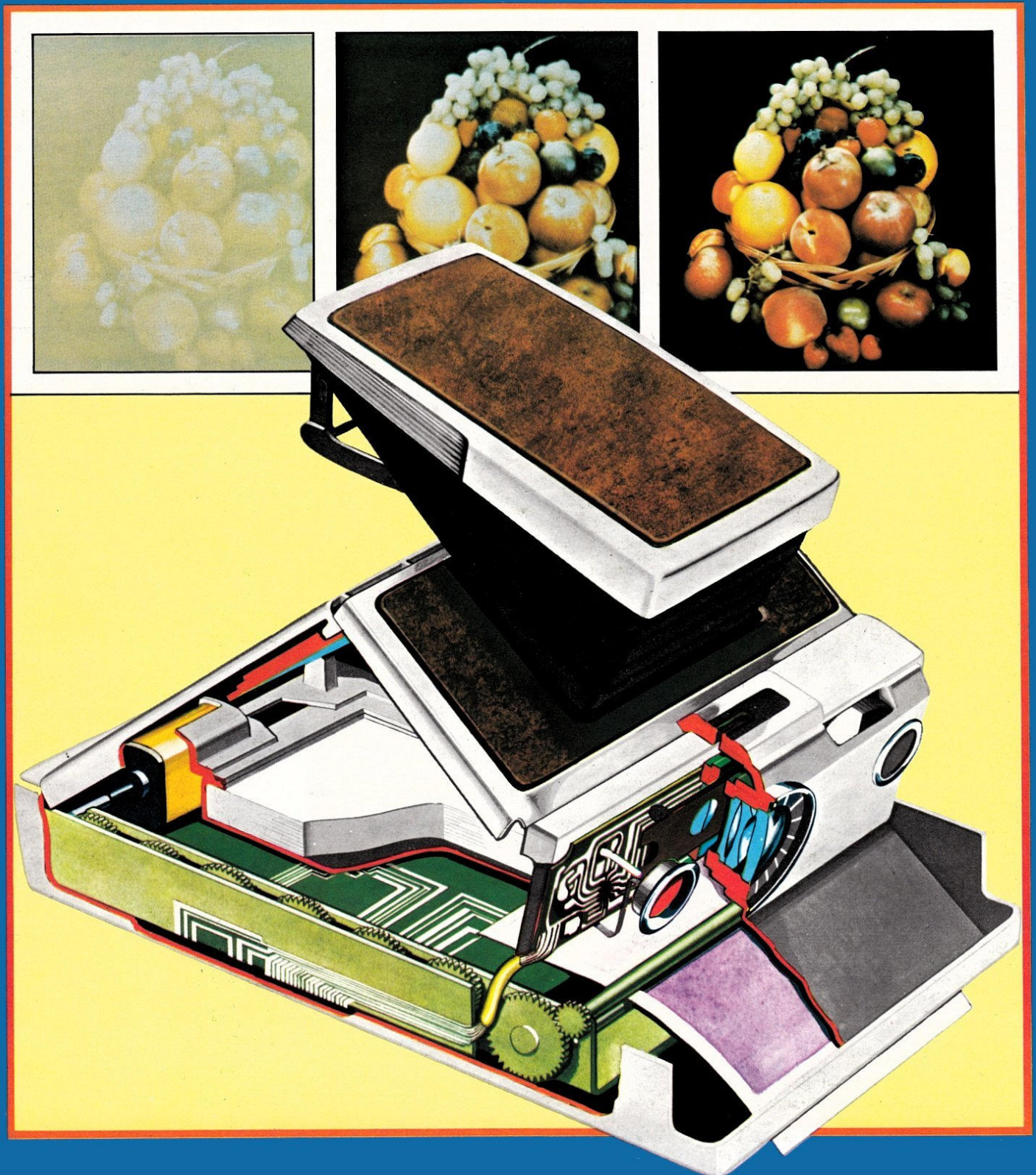


# WIE GEHT DAS

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



---

scan: **IGDL**



# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Planetengetriebe	1121
Platinmetalle	1123
Plattenspieler	1126
Polarisation	1130
Polarograph	1133
Polaroid-Kamera	1134
Polygraph	1140
Polymere und Polymerisation	1142
Potentiometer	1144
Prägemaschinen	1146
Prisma	1147

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

### ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

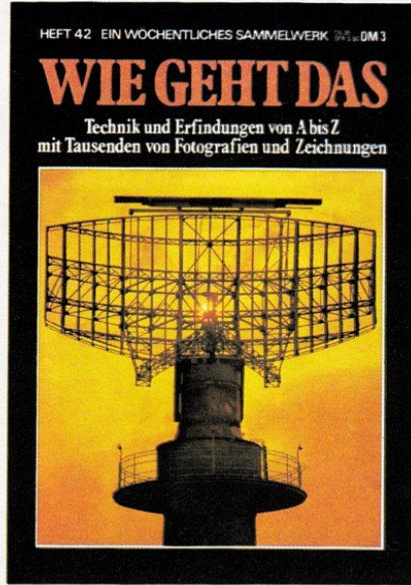
**Wichtig:** Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

### INHALTSVERZEICHNIS

Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen.

Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis dadurch, daß Sie die Umschläge der Hefte abtrennen und in der dafür vorgesehenen Tasche Ihres Sammelordners verwahren. Außerdem können Sie alle 'Erfindungen' dort hineinlegen.

## In Heft 42 von Wie Geht Das



Das Radar wurde Mitte der zwanzige Jahre entwickelt und war im Zweiten Weltkrieg von großer Bedeutung für den Luftund den Seekrieg. Heute ist es aus der zivilen Luft- und Seefahrt kaum mehr wegzudenken. Es dient zur Verkehrskontrolle und erhöht die Sicherheit. Lesen Sie in Heft 42 von Wie Geht das wie Radar funktioniert, und welche Verbesserungen entwickelt wurden.

Die Physik machte Anfang dieses Jahrhunderts einen enormen Sprung nach vorn, als der deutsche Wissenschaftler Max Planck (1858 bis 1947) im Jahre 1900 die Theorie entwickelte, Energie trete in diskreten Einheiten oder Quanten auf, nicht als kontinuierlicher Strom. Der Quantentheorie ist ein Beitrag im nächsten Heft von Wie Geht Das gewidmet.

### 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.

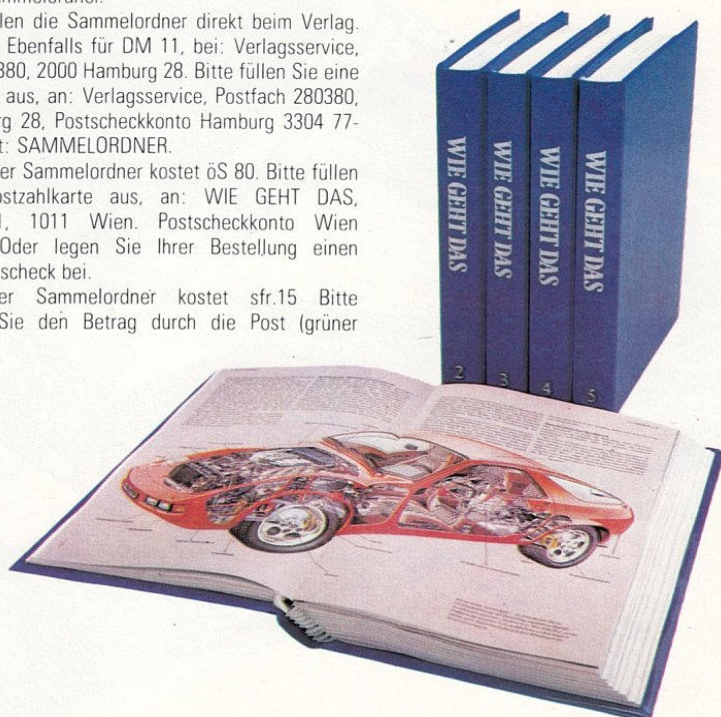
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

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





# PLANETENGETRIEBE

**Planetengetriebe, auch Epizykloidengetriebe genannt, sind kompakte, höchst wirksame Antriebe mit einer breiten Palette von Einsatzmöglichkeiten, die von in Fahrrädern installierten kleineren Einheiten bis hin zu weit größeren Sätzen, wie sie in LKWs (Lastkraftwagen) Verwendung finden, reichen.**

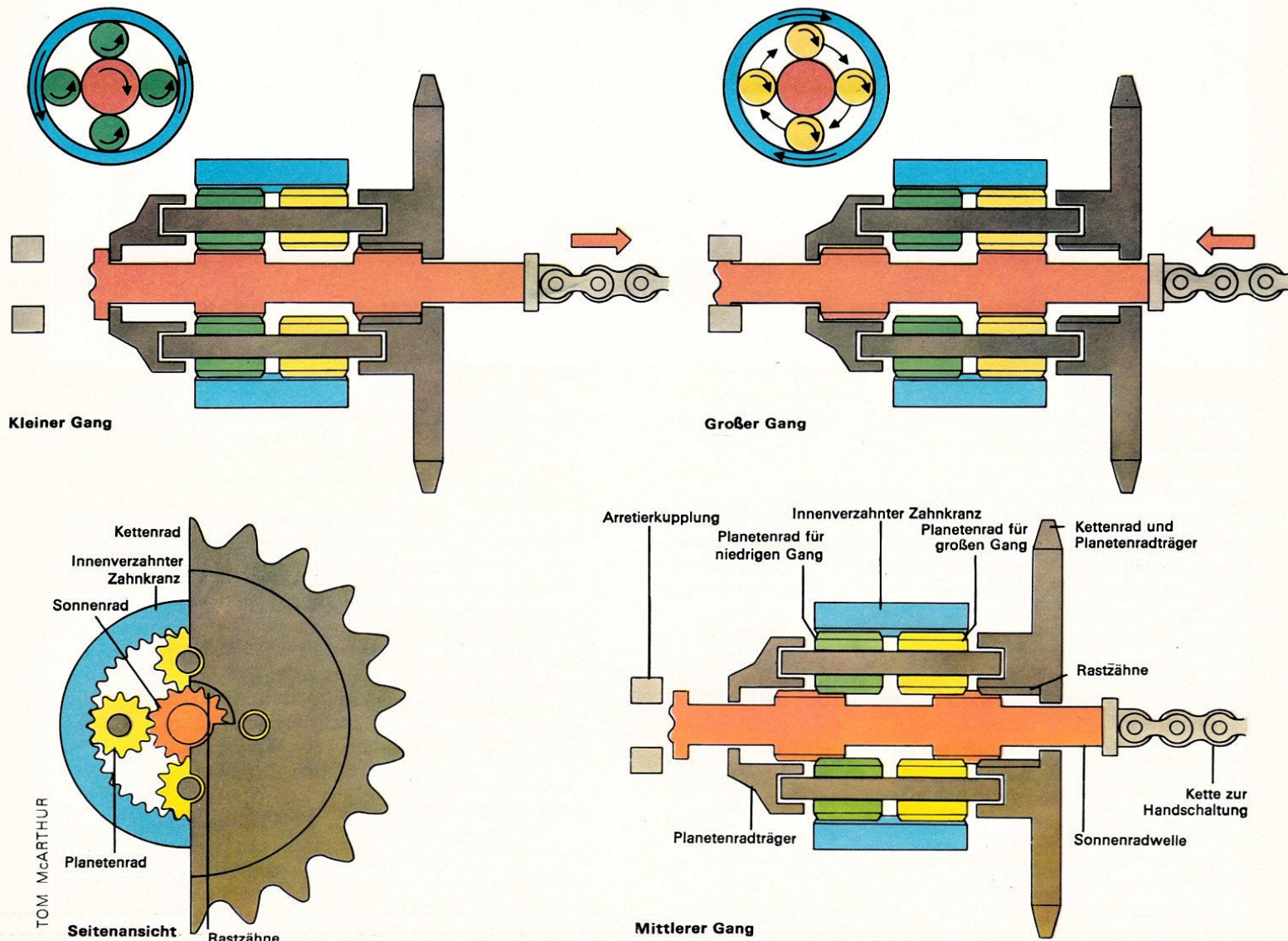
Der Begriff 'Epizykloidengetriebe' stammt aus dem Griechischen und bedeutet 'Umlaufrädergetriebe'. Ein solches System fand zum ersten Mal in einem von griechischen Astronomen entwickelten Modell der Planetenbewegungen Verwendung; daher auch die ebenso geläufige Bezeichnung 'Planetengetriebe'. Unter einem Planetengetriebe versteht man ein Getriebe, bei dem ein oder mehrere Zahnräder auf einem anderen Zahnrad abrollen.

Der Vorteil eines Planetengetriebes liegt darin, daß auf kleinstem Raume mehrere Übersetzungen möglich sind, ohne daß die Zahnräder in und außer Eingriff gebracht werden müssen. Planetengetrieben begegnet man häufig in Automatikgetrieben. Auch die Radnabe am Fahrrad hat stets diese Form.

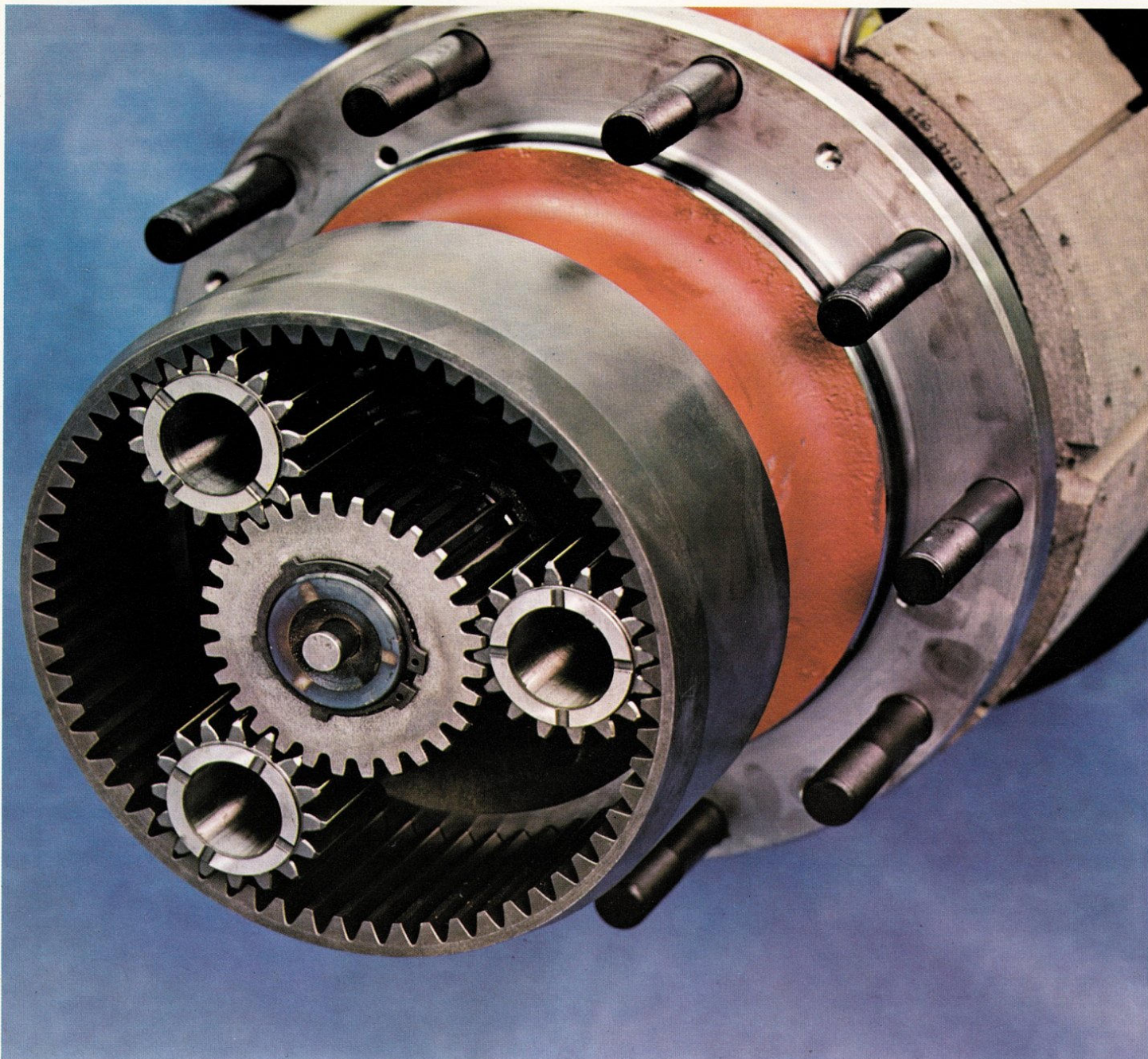
Ein Planetengetriebe besteht aus drei Hauptelementen: dem Sonnenrad, einem oder mehreren Planetenrädern an einem Planetenradträger und dem Zahnkranz mit Innenverzahnung. Das Sonnenrad ist auf einer Welle montiert. Der Planetenradträger sitzt auf einer anderen Welle, die mit der

ersten in einer Flucht liegt. Unter dem Planetenradträger muß man sich einen Steg mit einem oder mehreren senkrecht zur Welle angeordneten Armen vorstellen, von denen jeder einen parallel zur Welle verlaufenden Zapfen trägt, auf dem jeweils ein Planetenrad sitzt und sich frei drehen kann. Im allgemeinen hat man zur Verteilung der Last mindestens drei Planetenräder, die identisch sind. Ihre Zahl hat keine direkte Auswirkung auf das System als solches. Die Planetenräder sind voneinander und von der Welle gleichweit entfernt. Sie

**Unten: Fahrrad-Gangschaltung als 3-Gang Nabenschaltung.** Sie besteht aus einer verschiebbaren Welle mit zwei Sonnenrädern und zwei Planetenradsätzen, die auf einem Planetenradträger sitzen, der seinerseits mit dem Kettenrad eine Einheit bildet. Letzteres hat eine ringförmige Innenverzahnung, in die das Sonnenrad einrasten kann. Beide Planetenradsätze werden von ein und demselben Zahnkranz umschlossen. Dieser treibt das Fahrrad über einen (nicht abgebildeten) Freilauf an. Im mittleren Gang ist die Sonnenradwelle so verschoben, daß die Sonnenräder einerseits mit den Planetenrädern kämmen und andererseits in das Kettenrad einrasten. Auf diese Weise ist das ganze System blockiert und läuft zusammen mit dem Kettenrad um. Im niedrigen Gang ist die Welle nach rechts verschoben und in das Kettenrad eingerastet. Das linke Sonnenrad kämmt mit dem linken Planetenradsatz und dreht diesen rückwärts. Die Planetenräder führen den innenverzahnten Zahnkranz langsam mit zurück.







MAGIRUS/DEUTZ

kämmen mit dem Sonnenrad und rollen auf seinem äußeren Umfang ab. Der innenverzahnte Zahnkranz schließt das System nach außen ab, und die Planetenräder werden, während sie auf dem Sonnenrad abrollen, von ihm geführt.

Verschiedene Übersetzungen erhält man dadurch, daß man den Antrieb auf das eine Element, den Abtrieb auf das zweite legt und das dritte blockiert, so daß es sich nicht drehen kann. Treibt man z.B. das Sonnenrad an und hält den Zahnkranz fest, folgt der Planetenradträger dem Sonnenrad mit niedrigerer Drehzahl in der gleichen Richtung. Hält man stattdessen den Planetenradträger fest, dreht sich der Zahnkranz mit derselben Drehzahl wie das Sonnenrad, jedoch in entgegengesetzter Richtung. Treibt man den Planetenradträger an und hält das Sonnenrad fest, dreht sich der Zahnkranz schneller in der gleichen Richtung. Auch andere Kombinationen sind möglich. Man kann das ganze System auch völlig feststellen, so daß die Kraftübertragung ähnlich wie bei einer feststehenden Welle unmittelbar erfolgt.

Ein Planetengetriebe bietet viele Variationsmöglichkeiten. Ein Getriebekomplex kann z.B. aus mehreren hintereinanderliegenden Planetengetrieben bestehen, oder ein einziges Planetengetriebe kann mehrere Sonnenräder unterschied-

*Epizyklische Gänge sind sehr kompakt. Im Bild ein Reduktionsgetriebe, das in die Radnabe eines Magirus-Deutz-Lkws eingebaut ist.*

licher Größe mit dazu passenden Planetenrädern und Zahnkränzen aufweisen. Alle Zahnräder des Systems haben unterschiedliche Zähnezahlen, und jedes von ihnen kann mittels einer Bremse oder einer Kupplung auf einer kraftbetriebenen Welle fixiert werden.

Das Planetengetriebe in einer Fahrrad-Nabenschaltung ist in seiner Konstruktion relativ einfach. Die Gangwahl erfolgt üblicherweise über einen Vierkantbolzen, der in entsprechende Löcher in den Zahnrädern paßt. Dieser Bolzen wird über einen Drahtzug vom Schalthebel aus betätigt. Einen niedrigen Gang erhält man durch Feststellen des einen Sonnenrades, einen hohen Gang durch Feststellen des anderen und den mittleren ('Normalgang') durch Feststellen beider Sonnenräder. Eine Nabenschaltung mit Planetengetriebe ist mit und ohne Rücktrittbremse möglich. Daneben gibt es auch Gangschaltungen für Fahrräder mit Rücktrittbremse und zwei Gängen, die ebenfalls über den Rücktritt geschaltet werden.



## PLATINMETALLE

**Die sechs unter dem Begriff Platinmetalle bekannten Elemente sind sehr teuer: Platin kostet etwa so viel wie Gold; Rhodium und Iridium sind nahezu doppelt so teuer.**

Zu den Platinmetallen zählen: Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Palladium (Pd), Osmium (Os), Iridium (Ir) und Platin (Pt). Die ersten drei Platinmetalle stehen vor dem Silber am Ende der 2. Reihe der Übergangselemente im Periodensystem (siehe CHEMIE); die letzten drei stehen am Ende der 3. Reihe vor dem Gold und gehören zu den dichtesten Stoffen, die man kennt. Ihre Dichte liegt zwischen  $21,4 \text{ kg/dm}^3$  und  $22,4 \text{ kg/dm}^3$ . Die sechs Metalle sind sich chemisch sehr ähnlich und kommen in der Natur gemeinsam vor.

Am häufigsten kommen Platin und Palladium vor. Platin wurde als erstes dieser Metalle entdeckt, nämlich bereits um 1550 durch die Spanier in ihren südamerikanischen Silberminen. Das Metall erhielt den Namen 'Platina del Pinto' (silberähnliches Metall aus dem Pinto-Fluß), wurde aber als ein vom Silber verschiedener Stoff erkannt, da es nicht schmelzbar war (Silber schmilzt bei  $960^\circ\text{C}$ , Platin bei  $1769^\circ\text{C}$ ). Die Spanier hatten Schwierigkeiten damit, da seine Dichte ähnlich ist wie die Dichte von Gold. Vergoldet war Platin daher von echtem Gold praktisch nicht zu unterscheiden.

Im Jahre 1803 zeigt W. H. Wollaston (1766 bis 1828), daß das Platin, das man bis dahin gekannt hatte, tatsächlich nur eine Legierung aus Platin und ähnlichen Metallen gewesen war. Er konnte zwei dieser Metalle isolieren: Das eine nannte

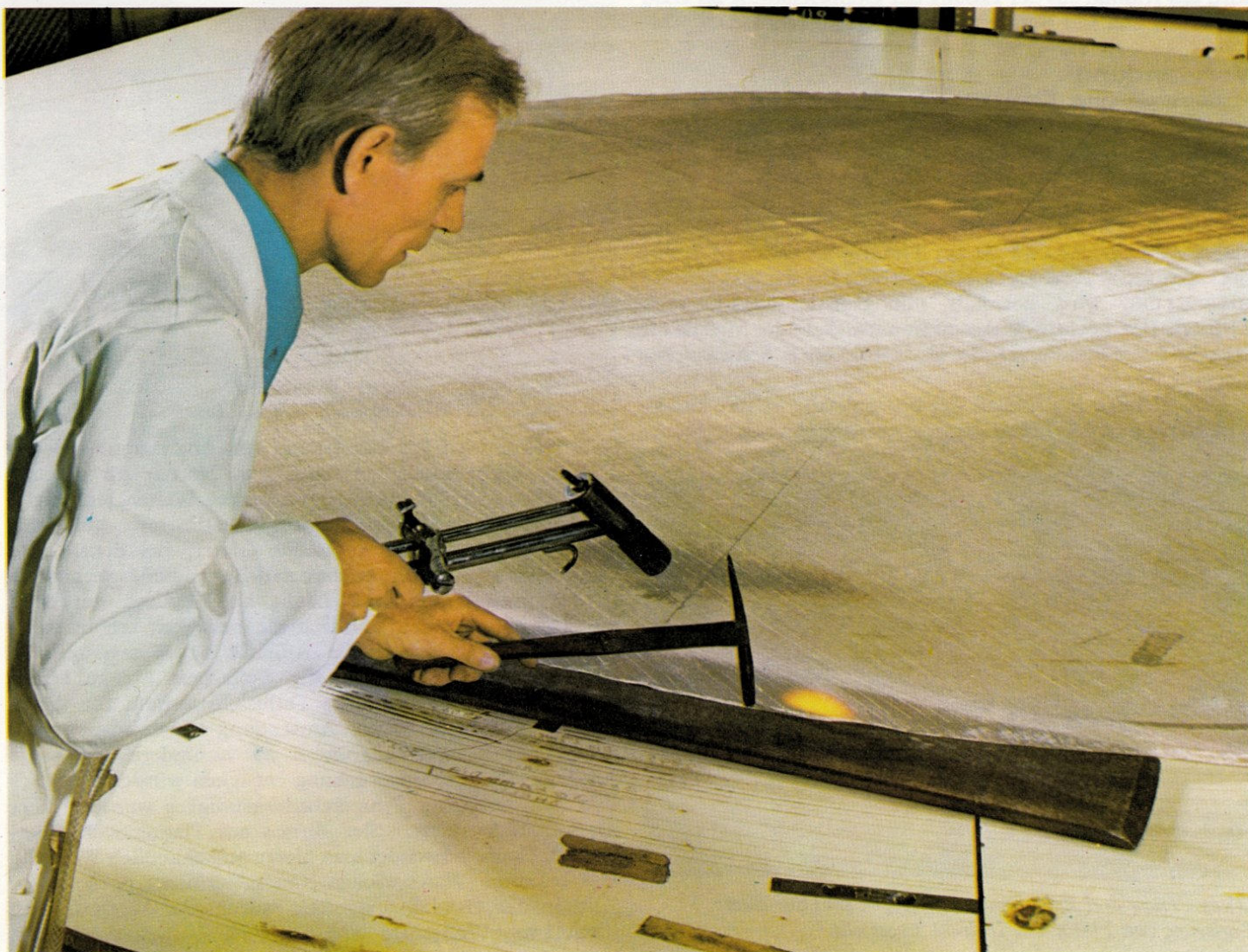
er Palladium, nach Pallas, einem neu entdeckten Planeten; das andere Rhodium, nach dem griechischen Wort *rhodon*, Rose, weil einige seiner Verbindungen rosa gefärbt sind. Ein Jahr später entdeckte S. Tennant (1761 bis 1815) zwei weitere Platinmetalle, von denen er eines wegen des unangenehmen Geruches des Oxids nach dem griechischen Wort *osme*, Gestank, als Osmium bezeichnete, während er dem anderen nach dem griechischen Wort für Regenbogen — *iris* — den Namen Iridium gab. Im Jahre 1845 vervollständigte der deutsch-russische Chemiker K. E. Claus (1796 bis 1864) das Sextett durch die Entdeckung des Rutheniums, das er nach einer russischen Provinz benannte.

### Vorkommen und Gewinnung

Platinmetalle kommen in gediegener Form in alluvialen Ablagerungen im Ural, in Kolumbien und im goldhaltigen Gestein von Witwatersrand in Südafrika vor. Platin kommt ferner als Sulfid PtS (Cooperit) vor. Ein Palladium, Platin und Nickel enthaltendes Mischsulfid wird in Rustenburg in Südafrika gefunden. Ferner gibt es das Platindiarsenid  $\text{PtAs}_2$  (Sperrylit) in den großen Kupfer- und Nickelsulfid-Lagerstätten Ontarios, Kanada.

Bei Vorkommen in gediegener Form bereitet man die

**Unten:** Der Rand eines aus einer Platin-Rhodium-Legierung hergestellten Drahtnetzes wird verschweißt. Derartige Netze werden als Katalysatoren bei der Oxidation von Ammoniak zu Stickstoffoxid, der ersten Stufe der technischen Salpetersäureherstellung, verwendet.





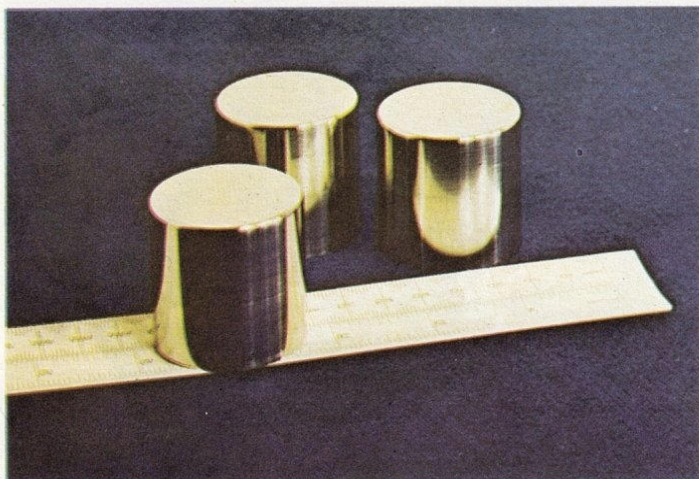
Metalle nach ähnlichen Verfahren auf, wie sie in den Goldminen angewendet werden. Treten sie hingegen als Nebenprodukte bei der großtechnischen Gewinnung von Kupfer und Nickel aus den Sulfiden auf, gibt man bei der Bildung des Kupfer- bzw. Nickelsteins weniger als die erforderliche Schwefelmenge zu, so daß kleine Regionen aus metallischem Kupfer oder Nickel entstehen, in denen sich die Platinmetalle lösen. Die so angereicherten Legierungen werden zerkleinert und magnetisch zerlegt. Durch Wiederholung dieser Schwefelbehandlung wird die Konzentration der Metalle weiter erhöht. Das so angereicherte Konzentrat wird dann elektrolytisch raffiniert, wobei die Platinmetalle als unlöslicher Anodenschlamm zurückbleiben.

Die Trennung der einzelnen Platinmetalle und ihre Reinigung erfordern eine Reihe komplizierter chemischer Reaktionen, die sich in Einzelheiten unterscheiden können, grundsätzlich aber ähnlich sind. Zunächst erfolgt eine Behandlung mit heißem Königswasser (Gemisch aus Salpetersäure und Salzsäure), das nur Platin und Palladium löst. Diese beiden Metalle werden dann als Ammoniumsalze getrennt aus der Lösung ausgefällt. Die Salze werden bei hoher Temperatur zu den Metallen reduziert. Der in Königswasser unlösliche Anteil wird bei 700°C in Gegenwart von Chlor mit geschmolzenem Natriumchlorid umgesetzt, wobei man wasserlösliche Doppelchloride erhält. Osmium, das in keiner dieser Stufen in Lösung geht, wird aus dem Rückstand dieses Verfahrens unter Bildung des flüchtigen Oxids gewonnen. Ruthenium und Rhodium werden aus der Lösung der Doppelchloride als Sulfide ausgefällt. Diese werden erneut gelöst und dann nacheinander ausgefällt. Schließlich wird das Iridium aus der Lösung der Doppelchloride als Oxid gewonnen und mit Wasserstoff zum Metall reduziert.

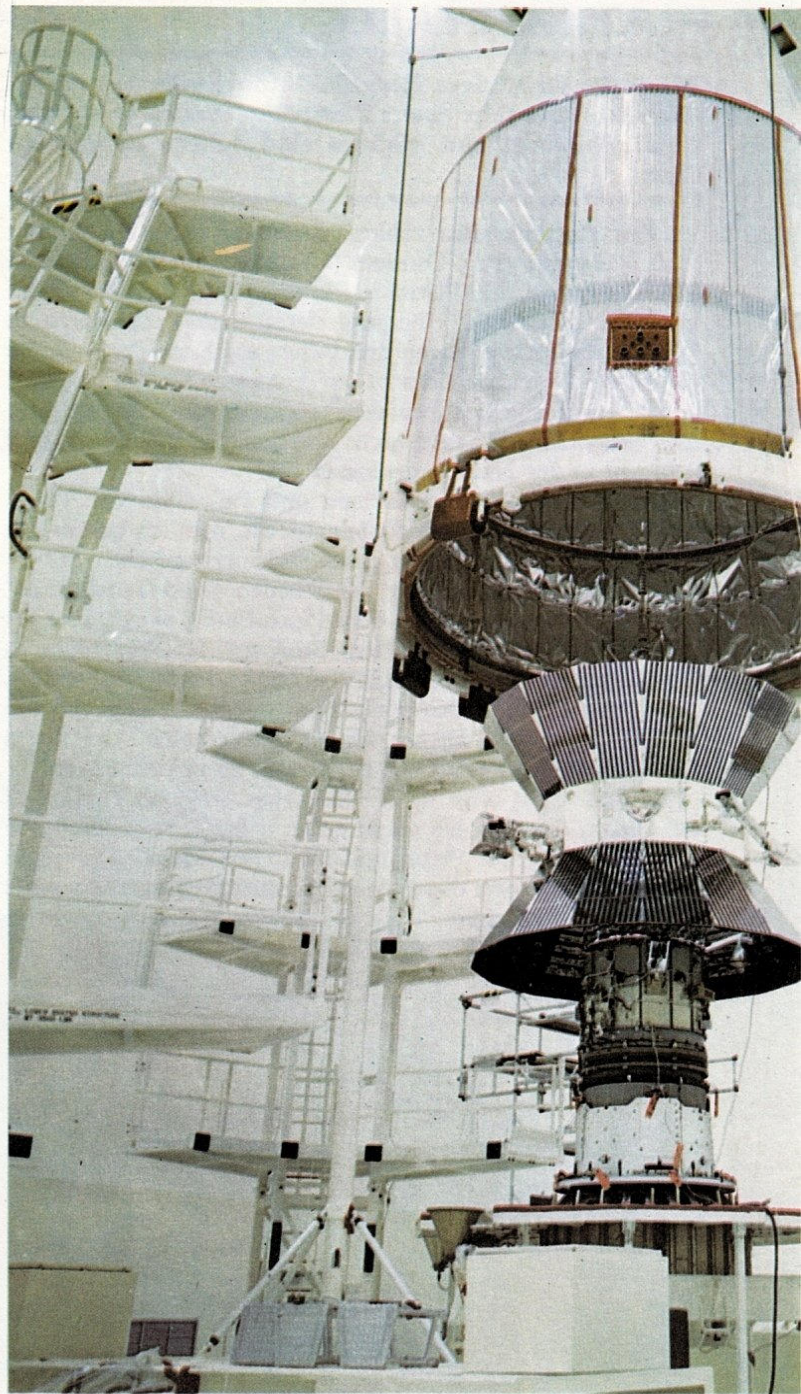
### Verwendung

Platin ist ein guter Katalysator für zahlreiche organische und anorganische Reaktionen. So katalysiert es z.B. die Oxidation von Ammoniak bei der Erzeugung von Salpetersäure, wobei die Katalysatorwirkung durch Zusatz von 10% Rhodium noch gesteigert werden kann. Platin- und Palladiumkatalysatoren werden bei vielen Verfahren der pharmazeutischen Industrie eingesetzt, wo sie zur Bildung spezieller Moleküle hochspezifische Reaktionen ermöglichen. Bei der MARGARINEHERSTELLUNG wird ebenfalls mit Palladiumkatalysatoren hydriert. Ihre höchste Wirksamkeit entwickeln die Metalle oft als sehr feinteilige Pulver, die als 'Mohr' oder 'Schwarz' bezeichnet werden.

Eine wichtige Eigenschaft der Platinmetalle ist ihre außergewöhnliche Beständigkeit gegen aggressive chemische Stoffe.



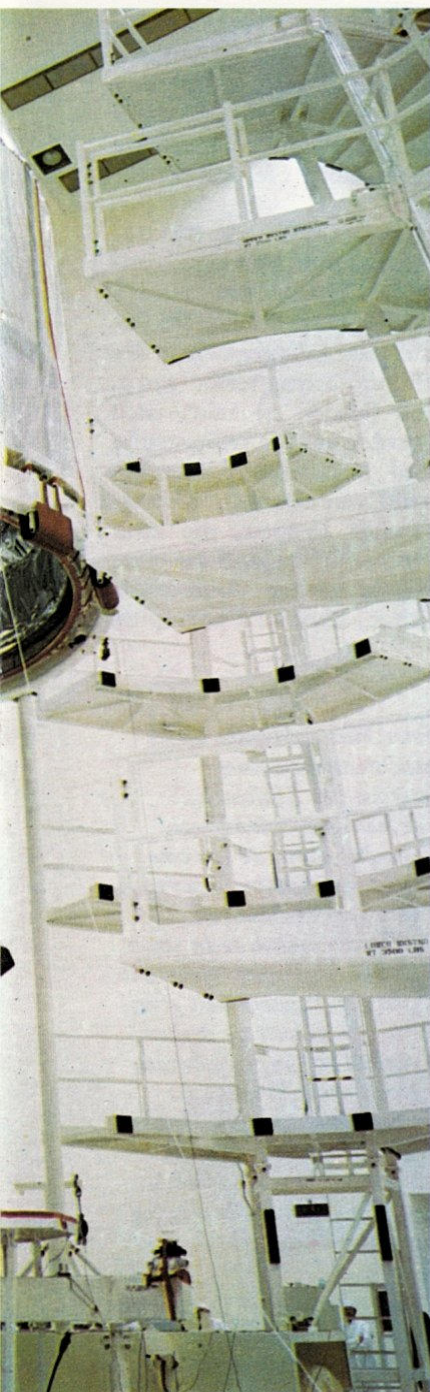
**Oben:** Diese drei Kilogramm-Prototypen sind aus einer Legierung von Platin und Iridium hergestellt.



Platin selbst wird zur Herstellung von Analysengeräten wie Tiegeln, Verbrennungsschiffchen und Netzen zur elektrochemischen Metallabscheidung verwendet. Weitere technische Anwendungen sind Spinnköpfe zur Kunstfasererzeugung und Tiegel zur Herstellung optischer Gläser, bei denen eine Verunreinigung durch Nichtmetall-Bestandteile verhindert werden muß. Platin wird häufig als Gemisch mit 20% Rhodium angewendet, wodurch die Festigkeit erhöht wird. Palladium zeigt eine große Affinität zu Wasserstoff. Es absorbiert Wasserstoff bis zur 850fachen Menge seines Eigenvolumens und wird als Diffusionsmedium für dieses Gas verwendet. Bei dieser Anwendung legiert man es mit Silber, um Formveränderungen zu verhindern, die sonst durch die Wärmebeanspruchung entstehen würden.

Wegen der hohen Temperaturbeständigkeit wurden früher die Glühfäden elektrischer Birnen aus Platinmetallen hergestellt. Heute verwendet man hierzu ausschließlich Wolfram. Das bekannte Warenzeichen 'Osram' erinnert noch an die Zeit, in der Osmium eingesetzt wurde (der Wortteil -ram stammt vom Wolfram).





PHOTRI



ENGELHARD INDUSTRIES

Der thermische Ausdehnungskoeffizient von Platin ist ähnlich wie der von Glas. Damit wird Platin zum idealen Material für Verbindungen zwischen Glas und Metall, obgleich hierfür auch eine kupferbeschichtete Nickel-Eisen-Legierung entwickelt wurde, die wesentlich billiger ist. Thermoelemente aus Platin und einer Platinlegierung mit 10% Rhodium arbeiten zuverlässig bis 1700°C und werden in der Stahlindustrie oft verwendet. Für sehr genaue Temperaturmessungen ist das Platin-Widerstandsthermometer das anerkannte Meßinstrument. Die Platinmetalle sind auch geeignete Materialien zur Herstellung von Relais-Schaltern, die jahrelang ohne Wartung zuverlässig arbeiten, und von Elektroden in hochwertigen ZÜNDKERZEN von Verbrennungsmotoren.

Platin und Palladium werden in großen Mengen in der Schmuckindustrie zum Fassen von Diamanten und anderen Edelsteinen verwendet. Palladium besitzt hierbei gegenüber Platin die Vorteile, daß die Nachfrage der chemischen Industrie nicht so groß ist und daß seine Dichte nur etwa die Hälfte beträgt. Ebenso wie Gold werden die beiden Metalle

**Oben links:** Die Antenne dieses Raumschiffes besitzt 150 Platindrähte im Reflektor, womit die aufgefundenen Signale fokussiert werden. Das 'Helios' genannte Raumschiff wurde für Einsätze in Sonnennähe gebaut, daher mußten zum Bau hitzebeständige Materialien wie Platin verwendet werden.

**Oben:** Geschmolzenes Platin wird in eine Form gegossen. Der Schmelzpunkt von Platin liegt bei 1769,3°C.

selten in reiner Form verarbeitet, da sie zu weich sind. Eine dünne Schicht aus Rhodium, dem am leichtesten galvanisch abzuscheidenden Metall der Gruppe, auf Silber verhindert das Anlaufen durch Sulfidbildung. Die Spitzen von Füllfederhalterfedern werden meist aus Legierungen aus Platin, Osmium und Iridium hergestellt, die geeignete Härte mit Korrosionsbeständigkeit gegenüber Tinte vereinen.







*Viele moderne Plattenspieler, wie der hier gezeigte, haben eingebaute Quarzoszillatoren, die die Spielgeschwindigkeit regulieren.*

TRIO



## Elektrische Plattenspieler

Seit ungefähr 1915 wurde die durch den Beginn des Ersten Weltkriegs unterbrochene Forschung auf dem Gebiet der elektrischen Verfahrensweisen zur Aufzeichnung und Wiedergabe nach einer für den Rundfunk und den Telefondienst entwickelten Technologie fortgeführt. Um 1925 waren die meisten Schallplattenfirmen zur elektrischen Schallaufzeichnung übergegangen. In der Folge fanden elektrische Plattenspieler immer stärkere Verbreitung. Die Aufzeichnungstechniken änderten sich ungemein — mit Hilfe von Mikrofonen war es möglich, Aufzeichnungen unter gewissermaßen natürlichen Umständen vorzunehmen, anstatt Musiker oder Sänger um einen Schalltrichter zu gruppieren. Beim Abspielen wurde die Modulation der Schallplattenrinne durch den Tonabnehmer (Abtastkopf) in einen elektrischen Impuls umgewandelt, der seinerseits über einen elektronischen Verstärker zu einem Lautsprecher weitergeleitet wurde.

## Tonabnehmer

Die ersten Tonabnehmer waren magnetisch. Der Abtaststift war mit einem Stahlstück, dem Anker, verbunden, dessen Schwingungen durch Erregung eines Magnetfeldes zur Erzeugung eines elektrischen Stromes in einer Wicklung führten.

Mitte der dreißiger Jahre begann man damit, piezoelektrische Werkstoffe zu benutzen. Ein Kristallscheibchen, z.B. ein Seignettesalzkristall, wurde mit dem Abtaststift verbunden. In einem piezoelektrischen Material wird eine Biege- oder Drehkraft in eine elektrische Spannung umgewandelt. Die ersten Einkristall-Tonabnehmer waren wirkungsvoller als die einfachen Magnet-Tonabnehmer, da sie zu einer viel höheren Leistung führten. Seignettesalz-Einkristalle dagegen haben den Nachteil, daß sie wasserlöslich sind und

in heißen Klimabereichen schmelzen. Später wurden Keramik-Tonabnehmer entwickelt, die wegen ihrer piezoelektrischen Eigenschaften noch heute bei billigen Plattenspielern eingesetzt werden.

Die Entwicklung der magnetischen Tonabnehmer ging weiter. Der erste leichte Tonabnehmer kam in Deutschland im Jahre 1939 auf den Markt. Seine Masse war stark verringert worden, und die Nadelauflegekraft lag jetzt bei nur 28 g. Der Nadelträger besaß eine bessere Federwirkung, und die Nadel selbst konnte aus einem Edelstein oder aus Edelmetall hergestellt und Hunderte Male benutzt werden, ehe sie verbraucht war. Diese Faktoren bedeuteten eine gesteigerte Qualität des zum Verstärker weitergeleiteten Signals. Durch die elektronische Schaltung im Verstärker muß die Niederfrequenz wiederhergestellt werden, ein als Kompensation bezeichneter Vorgang. Während nun die Ausgangsleistung des leichten Tonabnehmers von hochwertiger Qualität war, wurde die Lautstärke stark herabgesetzt, weshalb ein Vorverstärker erforderlich wurde, der heute in den Verstärker eingebaut ist.

## Moderne Schallplatten

Während der dreißiger Jahre hatte die Firma RCA in den Vereinigten Staaten von Amerika eine Langspielplatte auf den Markt gebracht, die aus den gleichen Werkstoffen hergestellt wurde und die gleiche Rillengröße wie eine Schallplatte mit einer Drehzahl von 78 U/min besaß, aber mit einer Drehzahl von  $33\frac{1}{3}$  U/min abgespielt wurde. Sie erwies sich nicht als erfolgreich, und zwar teilweise deshalb nicht, weil die langsamere Drehzahl ohne Verbesserung anderer Faktoren ein viel



stärkeres Oberflächengeräusch bewirkte.

Nach dem Zweiten Weltkrieg ermöglichten die Forschung auf dem Kunststoffsektor und der hohe Stand der Entwicklungen von Tonabnehmern neue Arten von Schallplatten. Im Jahre 1948 brachte die Firma CBS in den USA eine neue Langspielplatte aus Polyvinylchlorid (PVC) mit Mikrorillen auf den Markt. Die Firma RCA stellte ein ganz neues System vor, zu dem eine Schallplatte mit 45 U/min und einem Durchmesser von 16,5 cm gehörte, die ein großes Loch in der Mitte besaß. Für diese Schallplatte war ein spezieller Plattenwechsler entwickelt worden. Die RCA-Schallplatte bestand ebenfalls aus Vinylit und besaß eine Mikrorille. Anfang der fünfziger Jahre führte der 'Kampf um Geschwindigkeiten' dazu, daß die Schallplatten mit einer Drehzahl von 78 U/min als veraltet abgetan wurden. Die Schallplatte mit 45 U/min wurde zum Medium für 'Singles' der Pop-Musik.

Durch die Qualitätskontrolle bei der Schallplattenherstellung sind die durch die Schallplatte erzeugten Oberflächengeräusche verschwunden. Moderne magnetische Tonabnehmer arbeiten mit einer Nadelauflegekraft, die unter 2 g liegt. Mit der Einführung von Schallplatten mit Mikrorillen und Füllschrift durch die Firma CBS in den fünfziger Jahren konnte die Abspieldauer der 30-cm-Schallplatte mit einer Drehzahl von  $33\frac{1}{3}$  U/min auf mehr als dreißig Minuten pro Seite erhöht werden, im Vergleich zu ungefähr 4 Minuten für eine 30-cm-Schallplatte mit 78 Umdrehungen pro Minute.

### Plattenwechsler

Plattenwechsler wurden wegen der kurzen Spielzeit von Schallplatten mit 78 Umdrehungen pro Minute entwickelt, bei der mehrere Seiten für ein sinfonisches Thema erforderlich waren.

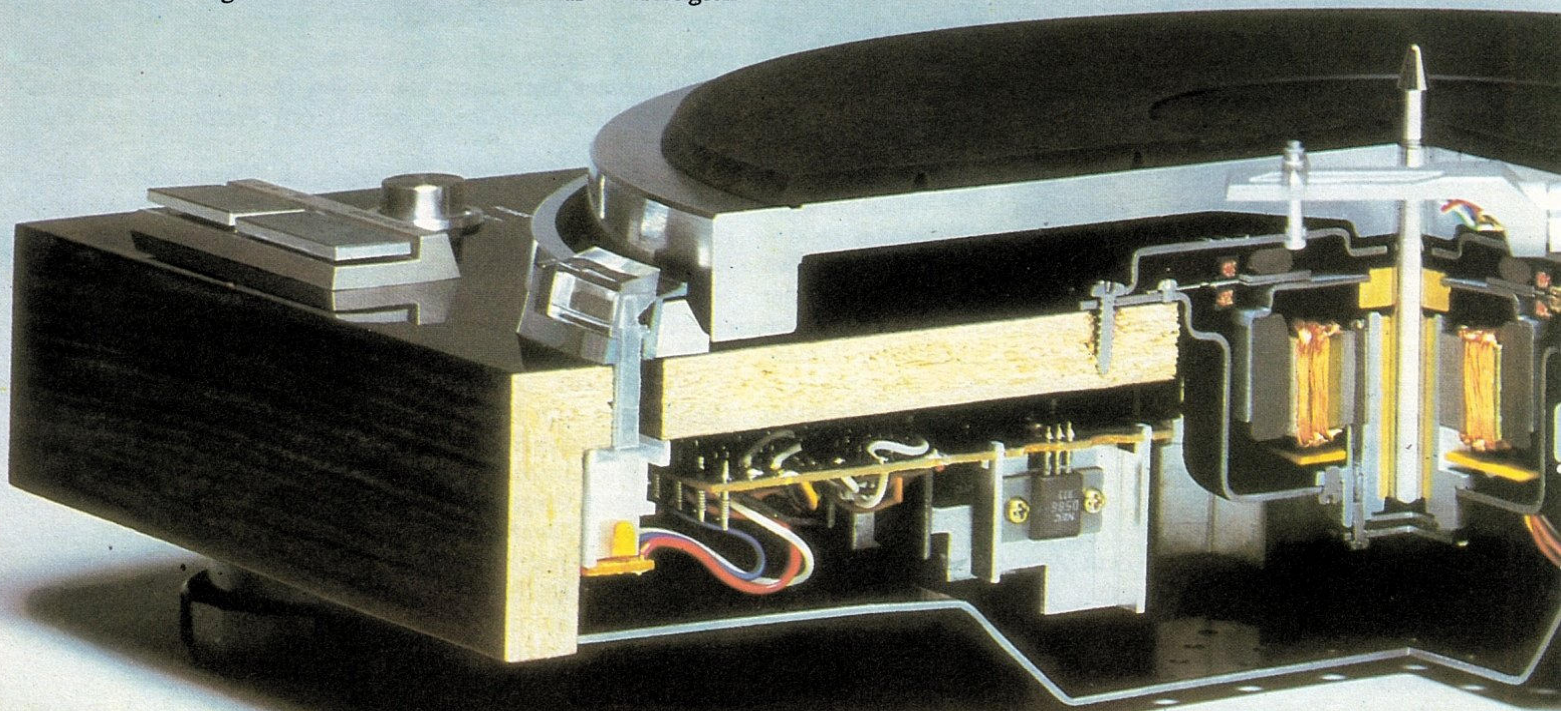
Die ersten erfolgreichen Plattenwechsler wurden von E. W. Mortimer entwickelt. Am Ende der Schallaufnahme befindet sich auf der Schallplatte eine weitläufige, Auslaufrille genannte, Spirale. Gleitet der Tonabnehmer über diese Rille, bewirkt seine Lage das Einrasten eines am Tonarm befestigten

Hebels in eine an einem Nocken unter dem Schallplatten-tisch angebrachte Kralle. Hierdurch wird der mit einer Verzahnung versehene Nocken um ein paar Grad gedreht und greift in die Zähne der den Plattenteller tragenden Hauptwelle ein. Während der Nocken eine Umdrehung vollzieht, betätigen zahlreiche Nockenprofile Hebel, die den Tonarm von der Schallplatte abheben, von dem auf der Stapelachse liegenden Schallplatten-Stapel fortführen, den Plattenwechsel-Mechanismus betätigen und den Tonabnehmer auf der Einlaufrille der nächsten Schallplatte ablegen.

Bei den meisten modernen Plattenwechslern besitzt die Stapelachse Schlitz, in denen Spreizträger und Klemmbacken untergebracht sind. Ein in der Mitte der Stapelachse angeordneter Metallkegel drückt gegen die unterste Schallplatte, wodurch der ganze Plattenstapel angehoben wird, um die Schlitz freizugeben. Gleichzeitig werden die um  $120^\circ$  versetzten Klemmbacken aus ihren Schlitz in der Stapelachse herausgepreßt. Die Klemmbacken legen sich von innen her mit großer Kraft gegen den Rand der Schallplattenlöcher, wobei sie aber die zuunterst liegende Platte nicht erfassen. Durch weiteres Hochschieben des Kegels legt sich der mit dem Kegelgestänge fest verbundene Schließring um die federnden Spreizträger und schiebt diese durch ihre Schlitz in die Stapelachse hinein. Jetzt kann die von den Klemmbacken nicht erfaßte unterste Schallplatte auf den Plattenteller herunterfallen.

Nachdem der Kegel wieder in seine Ausgangslage zurückgefallen ist, drückt die zuvor zusammengepreßte Feder im Kopf der Stapelachse die Klemmbacken in Ruhestellung. Die Schallplatten rutschen nun wieder auf die Spreizträger herunter. Nachdem durch entsprechende Wiederholungen die letzte Schallplatte heruntergefallen ist, schaltet sich der Plattenwechsler nach Abspielen der letzten Schallplatte ab.

Bei der Herstellung von Plattenwechslern zeigen sich in unserer Zeit keine Schwierigkeiten. Jedoch erfordert jeder



*Schnittperspektive eines modernen HiFi-Plattenspielers. Wie viele der neuen Modelle, hat auch dieser Plattenspieler einen Plattenteller, der direkt vom Motor — ohne Zwischenantrieb durch z.B. Einzahnscheibe — angetrieben wird.*



Plattenwechsel einen großen Energieaufwand, der sich besonders an den Mittellöchern auswirkt. Aufgrund der längeren Abspieldauer der heutigen Schallplatten ziehen viele Leute den vom Lautsprecherteil getrennten, für jeweils eine Schallplatte konstruierten Plattenspieler vor (siehe HI-FI-SYSTEME).

### Motoren und Antriebe

Die ersten Elektromotoren zum Antrieb von Plattenspielern besaßen Fliehkraftregler. Der Plattenteller wurde über ein Schneckenrad angetrieben. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die Methode, den Plattenteller über ein aus Hartgummi hergestelltes Zwischen- oder Mitlaufrad anzutreiben, entwickelt. Das Mitlaufrad selbst wird von einer auf der Motorwelle angebrachten, glattrandigen Antriebsscheibe bewegt. Diese Anordnung trug zur Isolierung des Plattentellers von Motorengeräuschen bei, soweit es damals nötig war, und wird noch heute bei den meisten billigen Plattenspielern benutzt.

Bei der heute vorherrschenden hochwertigen Qualität der Schallplatten und Tonabnehmer ist es im Interesse bestmöglicher Tonwiedergabe erforderlich, den Motor noch stärker von der Schallplatte zu isolieren. Am häufigsten wird ein Riemenantrieb benutzt, bei dem ein vom Motor kommender Antriebsriemen eine Riemenscheibe antreibt. Ein entsprechend längerer, aus Weichgummi hergestellter Antriebsriemen läuft von der Riemenscheibe über eine unter dem Plattenteller angebrachte Riemenscheibe. Dieses System wird bei den meisten Plattenspielern angewendet. (Das 'modernste' Antriebssystem scheint jedoch der Direktantrieb zu werden, bei dem die Achse des Motors gleichzeitig auch die Achse des Plattentellers ist. Daher dreht sich die Achse des Motors (Welle) nur so schnell, wie es die eingestellte Geschwindigkeit vorschreibt. Wegen seiner geringen Drehzahl schließt der Direktantrieb das Rumpeln praktisch aus.)

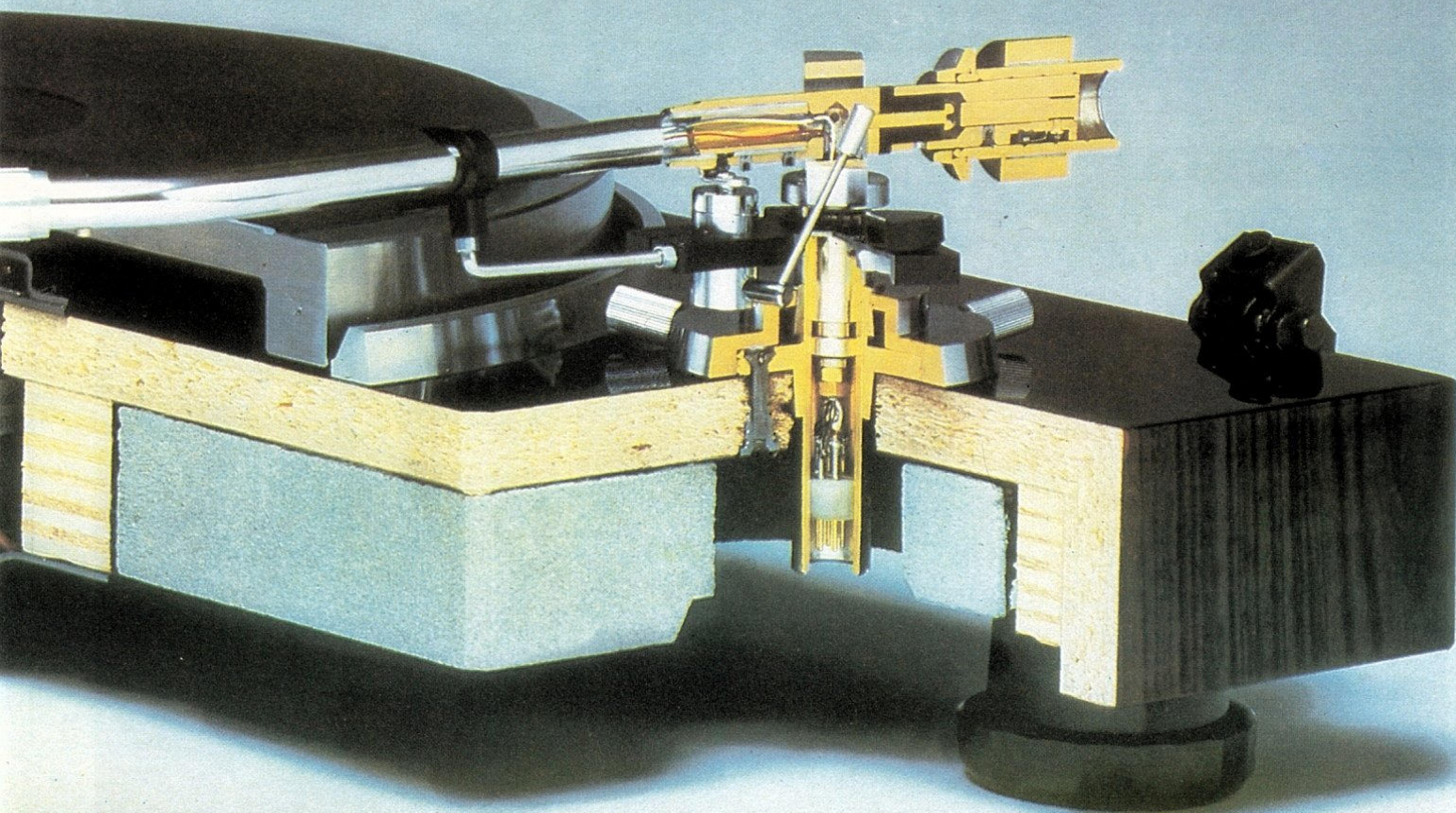
Sowohl bei dem beliebten Plattenwechsler als auch bei den Plattenspielern der gehobenen Qualitätsklasse werden ab-

geschirmte Induktionsmotoren eingesetzt. Hierbei wird die Drehzahl durch die Stromfrequenz und gleichzeitig durch die Last gesteuert, weshalb der Plattenteller häufig besonders schwer gemacht wird, damit zur Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Drehzahl eine Schwungradwirkung erreicht wird.

### Stereo

Vor dem Zweiten Weltkrieg hatte man sich bereits eingehend mit der Schallaufzeichnung und -wiedergabe über mehrere Kanäle beschäftigt. Ursprünglich hatte man beabsichtigt, Schallplatten für die Wiedergabe über zwei Kanäle durch Kombination eines Längs- und eines Berg- und Tal-Schnittes (Zweikomponentenschrift) in derselben Rille herzustellen. Das aber hätte, im Vergleich zu den bestehenden Schneid- und Abspieltechniken für Mono-Schallplatten, eine Qualitätsbegrenzung der Stereo-Schallplatten bedeutet. Als die Stereo-Schallplatten schließlich Ende der fünfziger Jahre verkauft wurden, hatten sich die Schallplattengesellschaften für die 45/45 Technik entschieden, bei der jede Wandung einer Rille (45° von einer senkrecht zur Schallplatten-Oberfläche gedachten Linie; untereinander haben sie einen Winkel von 90°) einen getrennten, im Längsschnitt erzeugten Impuls trägt. Der Stereo-Tonabnehmer ist im Grunde nichts anderes als zwei zu einer Einheit zusammengefaßte, magnetische (oder keramische) Tonabnehmer. Dieser Fortschritt regte die Entwicklung noch leichterer Nadelauflegekräfte, geringerer Nadelspitzen-Durchmesser und noch stärkerer Elastizität an.

In den frühen siebziger Jahren propagierte dieser Industriezweig die Vierkanal-Stereophonie (Quadrophonie), ein Verfahren zur Übertragung der räumlichen Kennzeichen von Sprech- und Musikdarbietungen mit Hilfe von vier Übertragungskanälen, die noch wirklichkeitsgetreuer als Stereo-Aufzeichnungen sind, da die Quadrophonie die akustische Wirkung des Aufnahmeortes weitaus besser wiedergibt.





## POLARISATION

**Der Mensch ist nicht das einzige Lebewesen, das das Phänomen der Polarisation ausnutzt — Enten und Bienen z.B. nutzen die Polarisation des Himmelslichtes als Navigationshilfe.**

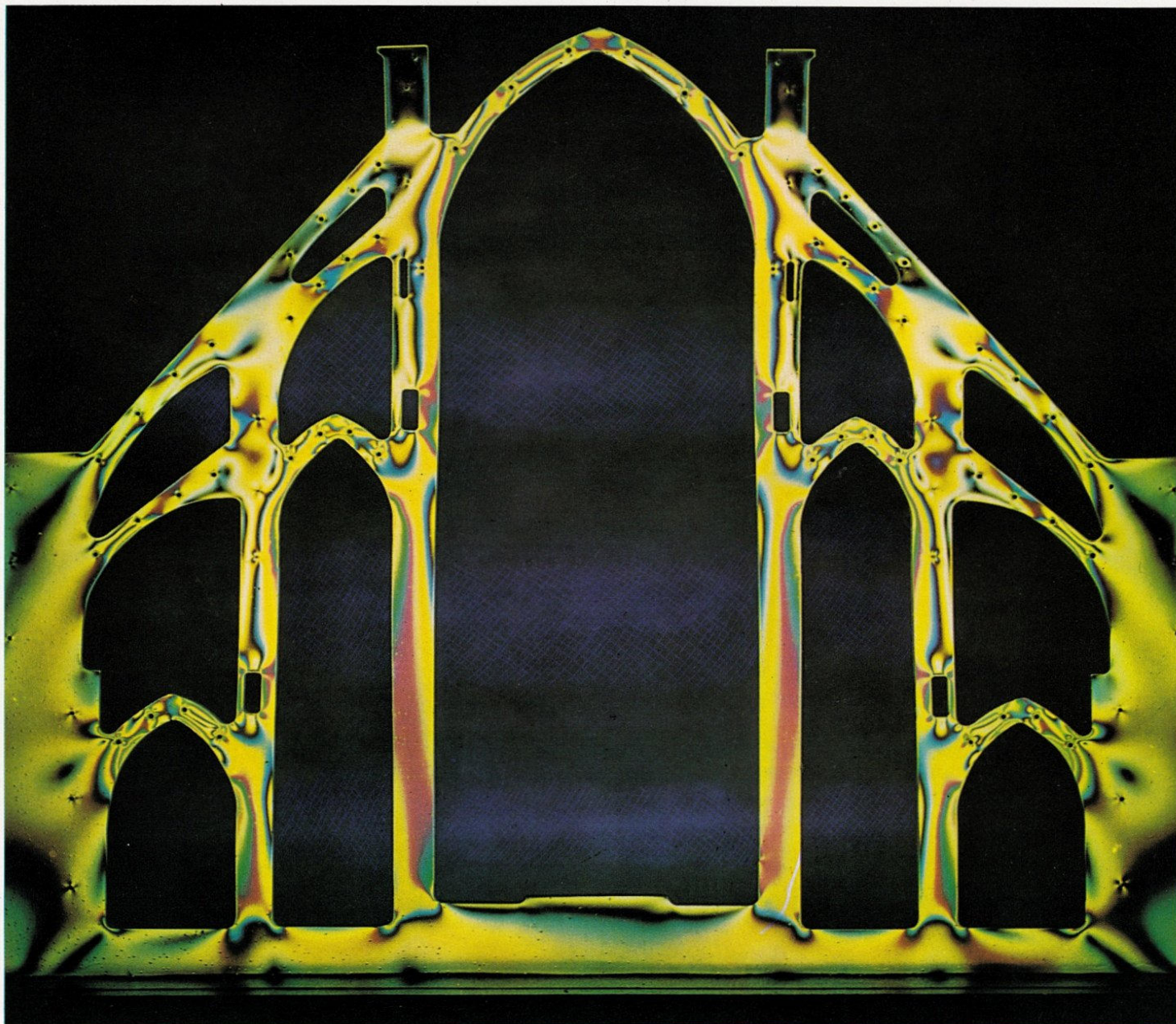
Im 17. Jahrhundert entdeckte Erasmus Bartholinus (1625 bis 1698) in Dänemark, daß Kalkspat-Kristalle, natürliches kristallines Calcium-Carbonat, Licht in zwei Strahlen aufspaltet. Dieser Prozeß ist heute als Doppelbrechung bekannt. Die unterschiedlichen Eigenschaften der beiden Strahlen führten im Jahre 1817 Thomas Young (1773 bis 1829) zur Vorstellung, Licht bestehe aus transversalen Wellen, deren Schwingungen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stattfinden. Doppelbrechende Kristalle, wie Kalkspat, erzeugen zwei Teilstrahlen, deren Schwingungsrichtungen zueinander senkrecht sind (beide stehen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung). So kann z.B. ein Lichtstrahl, der horizontal geradlinig verläuft, in zwei Teilstrahlen aufgespalten werden, deren einer aus vertikal schwingenden Wellen und der andere aus in Rechts/Links-Richtung schwingenden Wellen besteht. Diese werden vertikal bzw. horizontal polarisierte Strahlen genannt.

Heute ist bekannt, daß Licht nur ein kleiner Ausschnitt des

gesamten Spektrums der elektromagnetischen Strahlung ist, die aus transversalen elektrischen und magnetischen Wellen besteht, wobei das magnetische Feld senkrecht zum elektrischen Feld gerichtet ist. Üblicherweise wird die Richtung des elektrischen Feldes als Polarisationsrichtung vereinbart, obgleich es ebenso möglich wäre, die Richtung des Magnetfeldes zu benutzen. Elektromagnetische Strahlung wird durch die Beschleunigung geladener Teilchen, üblicherweise Elektronen, erzeugt. Die Polarisationsrichtung der Strahlung ist dann einfach die Beschleunigungsrichtung der Ladung.

Gewöhnliches Licht, z.B. von der Sonne oder von einer Glühlampe, wird durch die zufällige Bewegung der Elektronen in einem heißen Körper erzeugt. Deshalb ist die Polarisation der entstehenden Wellen ebenfalls zufällig. Im

**Unten und unten rechts:** Druckanalyse an einem Kunststoff-Modell — im Bild ein Modell der französischen Kathedrale in Bourges. Der Kunststoff dreht die Polarisations-ebene für verschiedene Farben unterschiedlich stark. Das Auge kann zwischen den zwei Polarisierungen nicht unterscheiden, so daß es weiterhin weißes Licht sieht. Ein Polarisationsfilter mit vertikaler Durchlaßrichtung läßt am stärksten die Farbe durch, die der vertikalen Polarisationsrichtung am nächsten kommt.





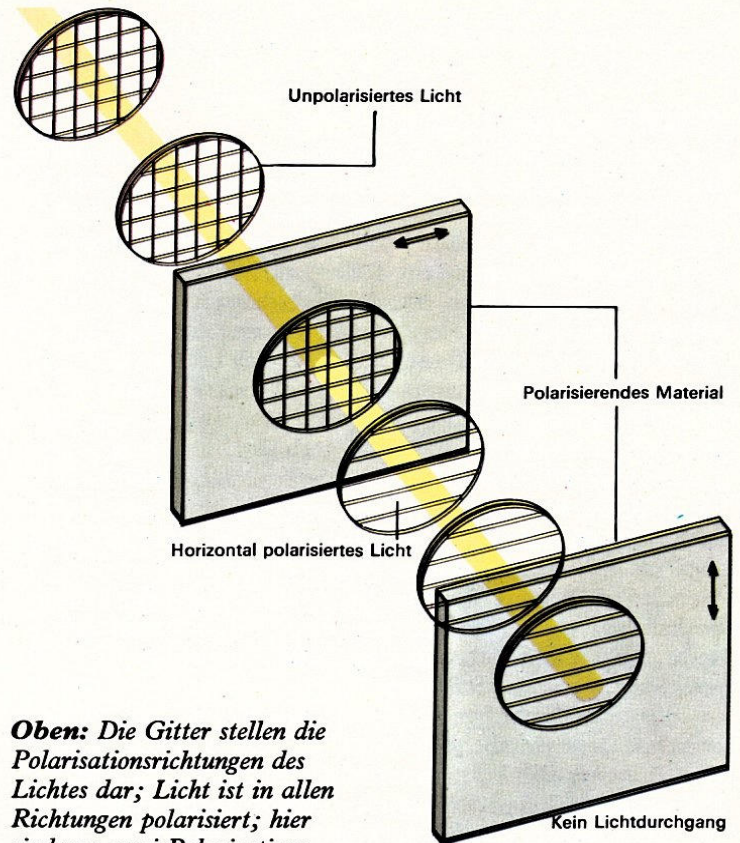
Mittel tritt ebensoviel horizontale wie vertikale Polarisation auf. Das Licht wird gewöhnlich als unpolarisiert bezeichnet, obgleich jede einzelne Welle eine bestimmte Polarisation besitzt.

Die meisten Methoden zur Erzeugung von polarisiertem Licht beinhalten die Aufspaltung von unpolarisiertem Licht in zwei polarisierte Strahlen und die Absorption oder Unterdrückung eines der beiden Strahlen. Einige Laser erzeugen direkt polarisiertes Licht, da die schrägen Enden der Laser-Röhre eine der beiden Polarisationen herausreflektieren und die andere verstärken.

### Dichroitische Polarisierer

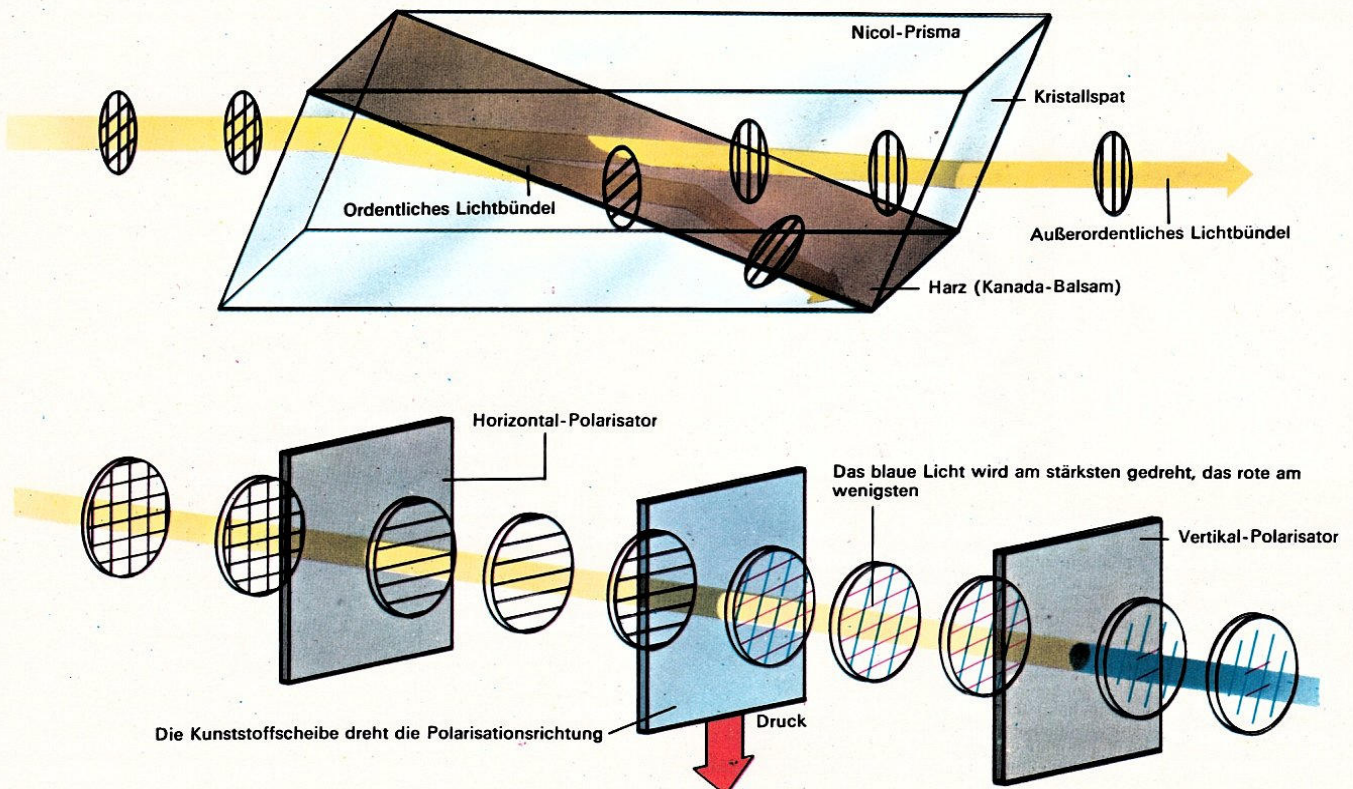
Heute wird zur Polarisation üblicherweise dichroitisches Material benutzt, d.h. Substanzen, die nur eine Lichtpolarisation durchlassen und die andere absorbieren. Diese Eigenschaft besitzen einige natürlich vorkommende Kristalle, wie etwa Turmalin. Heute können jedoch dichroitische Schichten aus Plastik in größeren Abmessungen und billiger hergestellt werden.

Sehr schwierig sind Metallgitter herzustellen, um Strahlung so geringer Wellenlänge, wie sie bei Licht vorkommt (weniger als ein Tausendstel Millimeter), zu polarisieren. In der Praxis werden sehr lange, dünne Moleküle in Kunststoffen benutzt. Eine Schicht von Polyvinyl-Alkohol zum Beispiel wird durch Erhitzen geschmeidig gemacht und dann ruckartig auf ein Vielfaches der ursprünglichen Länge gedehnt, um die langen Moleküle parallel auszurichten. Dann wird die Folie auf einem festen Untergrund, wie etwa Zellulose-Azetat, fixiert, und in eine Jodlösung getaucht, die mit den Plastik-Molekülen reagiert. Die langen Ketten von so gebildeten Jodatomen wirken als das feine, leitende Gitter, das zur Polarisation von Licht benötigt wird. Es können Materialien von verschiedenem Polarisationsgrad hergestellt werden, die in unterschiedlichem Ausmaß die unerwünschte Polarisation unterdrücken, obwohl dabei auch die Ausbeute an erwünschter Polarisation vermindert wird. Die Ausbeute geht gewöhnlich von dem theoretischen Wert von 50% auf 40% zurück,



**Oben:** Die Gitter stellen die Polarisationsrichtungen des Lichtes dar; Licht ist in allen Richtungen polarisiert; hier sind nur zwei Polarisationsrichtungen gezeigt.

**Unten:** Die Wirkung eines Nicol-Prismas. Unpolarisiertes Licht tritt von links ein und wird von Kalkspat in zwei zueinander senkrecht polarisierte Strahlen aufgespalten. Der eine Strahl trifft auf die Schicht aus Kanada-Balsam unter einem Winkel, der etwas größer als der kritische Winkel für dieses Material ist, und wird im Kalkspat total reflektiert.





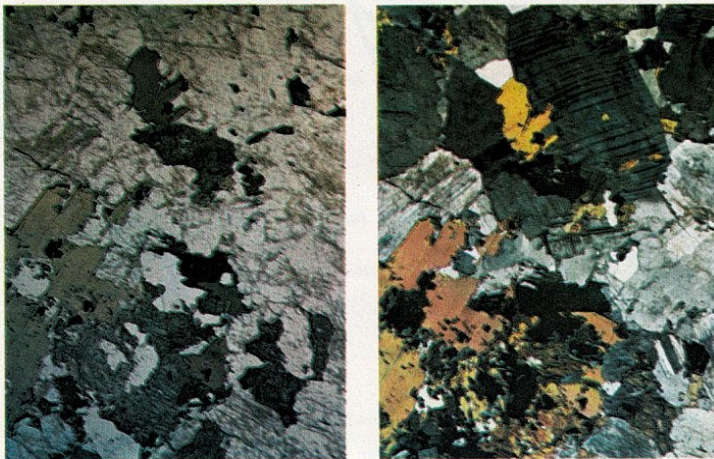
während die unerwünschte Polarisation auf 0,05% herabgedrückt wird.

### Andere Polarisierer

Dichroitische Polarisierer, wie Polaroid, die bis zu 48 cm Breite und in beliebiger Länge hergestellt werden können, sind die heute am häufigsten benutzten Polarisationsfilter. Bis zu dieser Erfindung im Jahre 1928 war das übliche Polarisiergerät das Nicol-Prisma, ein Kalkspatkristall, der schräg in zwei Teile zerschnitten wurde und danach mit Kanada-Balsam, einer Art von Harz, wieder zusammengefügt wurde. Der Kristall wird so geformt, daß einer der Lichtstrahlen, die durch die Doppelbrechung entstehen, innere Totalreflexion an der Harzschicht zeigt, wogegen der andere ungestört gerade durchläuft und im Experiment als polarisierter Lichtstrahl benutzt wird. Ein anderer Polarisierertyp nutzt die Tatsache aus, daß Licht, wenn es schräg an einer Oberfläche (mit Ausnahme von Metalloberflächen) reflektiert wird, stets bis zu einem gewissen Ausmaß polarisiert wird. (Bei Metallen verhindert dies die gute elektrische Leitfähigkeit, weshalb das von einem üblichen, versilberten Spiegel reflektierte Licht nicht polarisiert ist.) Der Lichtstrahl ist völlig polarisiert, wenn der reflektierte Lichtstrahl senkrecht zu dem an der Oberfläche gebrochenen Strahl ist. Der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Flächennormalen wird Brewster-Winkel genannt und beträgt für Glas etwa  $57^\circ$ . Ein einfaches Polarisationsgerät entsteht durch Glasplatten, die unter diesem Winkel in einem Rohr angeordnet sind: Wird es von einem Lichtstrahl durchlaufen, wird durch jede Glasplatte ein Teil der unerwünschten Polarisation herausgestreut und an der geschwärzten Wand absorbiert. Die andere Polarisationskomponente wird durch Reflexionsverluste nicht geschwächt und passiert das Rohr. Polarisationsapparate dieses Typs können so hergestellt werden, daß weniger als 1% der unerwünschten Polarisation durchkommt.

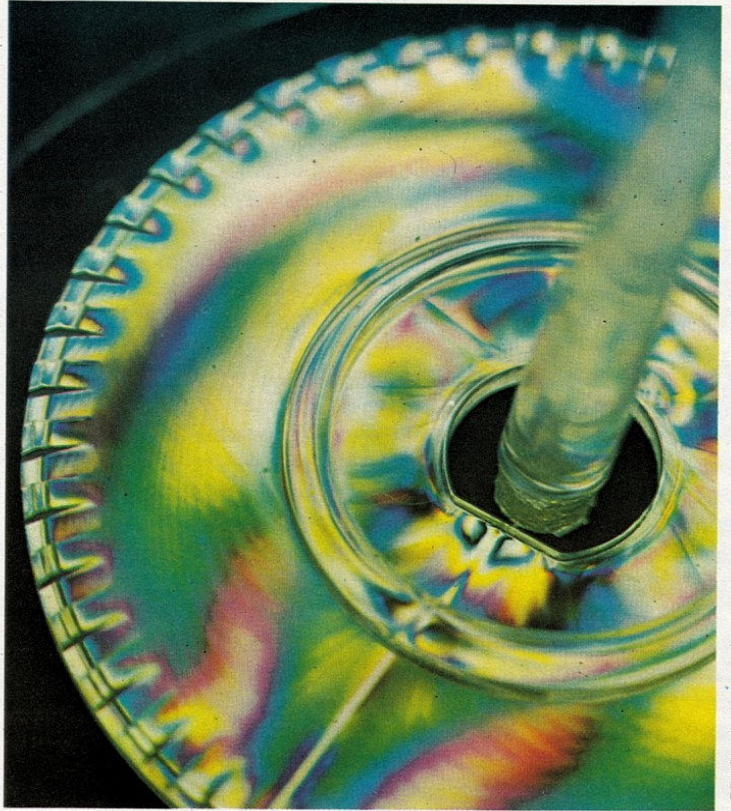
### Anwendungen

'Polaroid'-Sonnenbrillen haben dichroitische Gläser, die nur vertikal-polarisiertes Licht durchlassen. Sie vermindern die



**Oben:** Polarisiertes Licht kann Unterschiede in ansonsten farblosen Materialien enthüllen, wie an dieser Diorit-Probe gezeigt wird, die durch zwei Polarisationsfilter gesehen wird. Die farbigen Kristalle sind Biotit und Hornblende.

Helligkeit, da nur 40% des auftreffenden Lichtes transmittiert wird, aber — und das ist wesentlicher — sie unterdrücken die Blendwirkung noch stärker. Sonnenlicht, das von horizontalen Oberflächen, wie etwa Wasser, reflektiert wird, ist teilweise horizontal polarisiert; dieser Glanz wird wegen der vertikalen



PAUL BRIERLEY

**Oben:** Druckverteilung in einer Gußform aus Acryl — die gleiche Methode wie unten links beschrieben, wurde angewendet.

Durchlaßrichtung der Gläser weitgehend eliminiert.

Für polarisiertes Licht gibt es viele industrielle Anwendungen; die beiden bedeutendsten sind die Polarimetrie und die fotoelastische Druckanalyse. Nach der ersten Methode wird die Konzentration von Lösungen bestimmter Verbindungen, z.B. Zucker, gemessen, die aus asymmetrischen Molekülen bestehen. Diese optisch aktiven Substanzen drehen die Polarisationsrichtung des Lichtes; das Ausmaß der Drehung hängt von der Konzentration der Lösung ab. Im einfachsten Falle besteht ein Polarimeter aus zwei Polarisationsfolien und einem dazwischen liegenden Behälter, der mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt wird. Anfänglich sind die Polarisationsrichtungen der Filter gekreuzt, so daß kein Licht durchkommt. Die Glaszelle wird dann mit der Lösung gefüllt und eine der Polarisationsfolien so gedreht, daß kein Licht mehr durchgelassen wird. Der Winkel, um den der Polarisator gedreht wurde, ist dem Drehwinkel der Polarisationsrichtung durch die Lösung gleich. Auf diese Weise kann die Konzentration berechnet werden.

Die fotoelastische Analyse wird zur Bestimmung der Druckbelastung in mechanischen Bauteilen benutzt. Ein Modell des zu untersuchenden Teiles wird aus Kunststoff, etwa durchsichtigem Bakelit, angefertigt und zwischen den Polarisationsfiltern in einem Polarisoskop angebracht. Wieder sind die Polarisationsrichtungen der Filter zueinander senkrecht. Auf die Probe werden angemessene Kräfte ausgeübt. Die Bereiche unter Druck drehen die Polarisationsrichtung des vom ersten Polarisationsfilter polarisierten Lichtes, so daß die Polarisationsrichtung des Lichtes dann nicht mehr senkrecht zur Durchlaßrichtung der zweiten Polarisationsfolie ist. Das Ausmaß der Drehung hängt von der benutzten Lichtwellenlänge ab und so erscheinen bei Beleuchtung mit weißem Licht die Gebiete verschiedenen Druckes in unterschiedlichen Farben. Das Ergebnis ist eine stark gefärbte 'Kontur-Karte', welche die Größen und Richtungen der Drücke im Bauteil anzeigt.



# POLAROGRAPH

Der Polarograph ist heute ein unentbehrliches und hochempfindliches Gerät zur qualitativen und quantitativen elektrochemischen Analyse von gelösten Substanzen. Für diese Erfindung wurde J. Heyrovsky (1890 bis 1967) im Jahre 1925 der Nobel-Preis für Chemie verliehen.

Der Polarograph mißt mit Hilfe einer Strom-Spannungskurve chemische Veränderungen, die er während einer Elektrolyse aufzeichnet. Dabei wird die Spannung gleichförmig gesteigert und der Strom kontinuierlich registriert.

## Aufbau

Wesentliches Bestandteil des Polarographen ist die Elektrolysezelle mit der zu analysierenden Substanzlösung. Vorteilhafterweise wird dieser Lösung ein anderer Elektrolyt in großer Menge zugesetzt, der den Stromtransport weitgehend übernimmt. Die Zelle ist mit einer Arbeitselektrode und einer Gegenelektrode versehen.

Wichtig ist, daß die Oberfläche der Arbeitselektrode im Vergleich zur Gegenelektrode klein und die Stromdichte entsprechend hoch ist. Im Falle von Oxidationsreaktionen wird die Arbeitselektrode mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden und bildet also die Anode, während sie bei Reduktionsreaktionen als Katode umgepolt ist.

Die Arbeitselektrode ist in der Regel eine kleine Tropfelektrode aus flüssigem Quecksilber. Es fließt durch eine Kapillare und bildet am Auslauf Tröpfchen, die etwa 0,5 mm dick werden und dann abfallen. Der Vorgang wiederholt sich ständig, wodurch fortgesetzt eine neue und saubere Oberfläche gebildet wird.

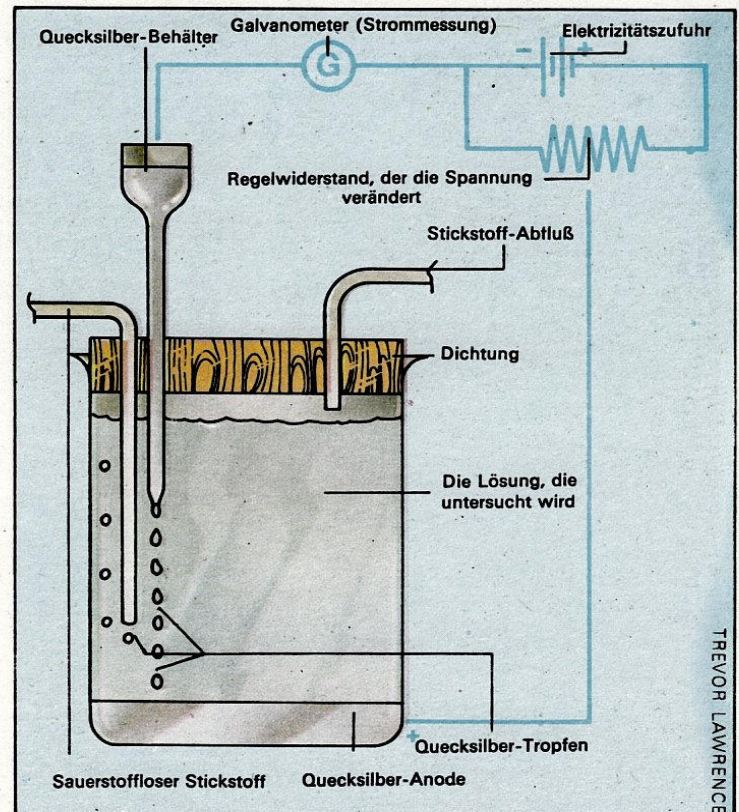
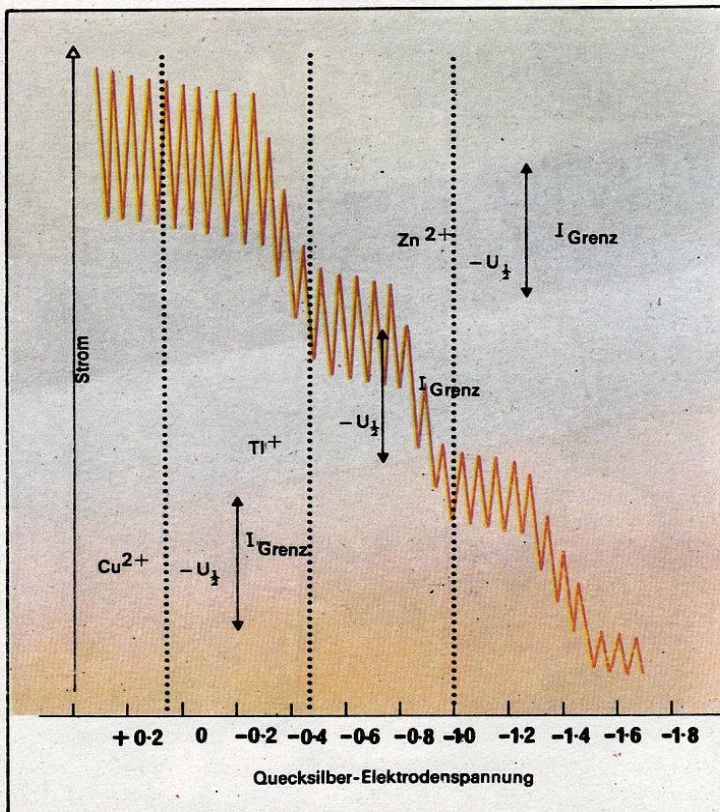
Enthält die Zelle z.B. eine Kupfersalzlösung und wird die Spannung zwischen den Elektroden langsam erhöht, ändert sich der Strom zunächst nicht. Erst nach Erreichen einer bestimmten Mindestspannung — der Zersetzungsspannung — steigt der Strom sprunghaft an. Die Kupferionen werden zu metallischem Kupfer reduziert. Wird die Spannung weiter erhöht, steigt zunächst der Strom an, da immer mehr

Kupferionen aus der Umgebung zur Tropfelektrode diffundieren und dort reduziert werden. Da aber nicht beliebig viele Kupferionen gleichzeitig nachdiffundieren können, verarmt die Umgebung der Tropfelektrode an Kupferionen, und der Strom erreicht einen Grenzwert, d.h. trotz weiterer Erhöhung der Spannung bleibt der Strom konstant. Die Grenzstromstärke ist ein Maß für die Konzentration der zu analysierenden Substanz. Die Zersetzungsspannung hat für jede Substanz einen spezifischen Wert, so daß bei einem Gemisch von mehreren Substanzen die einzelnen Substanzen mit steigender Spannung nach und nach reduziert werden. Es entsteht nicht nur eine Stufe, sondern eine treppenförmige Kurve als Polarogramm. Die Elektrolysezelle wird mit Spannungen von höchstens 2 V bis 3 V betrieben; die Stromstärken können bis zu 1 nA (= 1 Milliardstel Ampere) gemessen werden. Dadurch wird eine sehr hohe Meßgenauigkeit erreicht.

Die Polarographie wird bei der Aufdeckung von Umweltverschmutzungen der Luft und des Wassers, zur Untersuchung von Nahrungsmitteln auf giftige oder gefährliche Stoffe, für Industrieanalysen, metallurgische und ähnliche Arbeiten benutzt. In jüngster Zeit wurden auch Proben von Mondgestein und archäologische Funde, wie z.B. Speerspitzen aus der Bronzezeit, polarographisch analysiert.

**Links unten:** Schematische Darstellung eines Polarographs.

**Unten:** Dieses Polarogramm zeigt eine Lösung, die Kupfer- ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Thallium- ( $\text{Tl}^+$ ) und Zink- ( $\text{Zn}^{2+}$ ) Ionen enthält. Wird die Spannung erhöht, wird das Kation (positiv geladenes Ion), das am leichtesten reduzierbar ist — in diesem Falle Kupfer — zuerst abgelagert. Das Halbwellen-Potential ( $U_{\frac{1}{2}}$ ) identifiziert das abgelagerte Ion; der Wert von  $I_{\text{Grenz}}$  (der diffusionsbegrenzte Strom) steht im Verhältnis zur Konzentration dieses Ions. Da der Quecksilbertropfen sich während des Sinkens in der Lösung vergrößert, schwängt der Strom zwischen maximal und minimal — dies veranlaßt eine spitzenförmige und nicht ebene Verteilungskurve.





## POLAROID-KAMERA

**Mit Hilfe des Polaroid-Verfahrens wurde es möglich, innerhalb von 60 Sekunden in einem Verarbeitungsprozeß und ohne Dunkelkammer ein fotografisches Bild herzustellen.**

Während der ersten etwa hundert Jahre der Fotografie war es ziemlich zeitraubend, ein Foto herzustellen. Das herkömmliche Verfahren erfordert nämlich zunächst die Verarbeitung und Trocknung des Negativs, dann das Kopieren auf Fotopapier und schließlich die Verarbeitung und Trocknung der Kopie. Diese Arbeiten müssen in Dunkelkammern ausgeführt werden und nehmen relativ viel Zeit in Anspruch. Neben diesem konventionellen und noch immer am weitest häufigsten angewendeten Verfahren gibt es schon seit 1947 die von der Firma Polaroid eingeführte Sofortbild-Fotografie.

Erfunden wurde das Polaroid-Verfahren von dem Amerikaner Dr. Edwin H. Land (geb. 1909), damals Chef einer Forschergruppe, die sich mit optischen Untersuchungen für militärische Zwecke und besonders mit einem auf der 'Polarisation' des Lichtes beruhenden Blendschutzmaterial beschäftigte. Nach einem Feiertag hatte seine Tochter ungeduldig nach den Fotos vom Vortag gefragt; Land hatte daraufhin beschlossen, einen Weg zu finden, möglichst schnell nach der Aufnahme die Bilder zu erhalten. Seine Forschungsarbeit gipfelte in der Herstellung eines einfarbigen (sepia-braunen) Bildes innerhalb von 60 Sekunden. Darüberhinaus waren diese Bilder im Vergleich mit konventionellen Filmen gleicher Empfindlichkeit schärfer und feinkörniger. Der Name 'Polaroid' wurde schließlich sowohl für die Sofortbild-Kamera als auch für die Polarisationsfilter beibehalten, obwohl es keinen sachlichen Zusammenhang zwischen den beiden Produkten gibt.

Das Geheimnis des Polaroid-Verfahrens liegt im Film. So ist es durchaus möglich, einen Polaroid-Film in einer normalen Plattenkamera zu belichten, obwohl in der Regel Polaroid-Kameras benutzt werden. Das Sofortbild-Verfahren beruht im Prinzip auf dem konventionellen fotografischen Prozeß, wobei der Entwickler, das Fixiermittel und das Kopiermaterial gemeinsam in einem Filmpaket enthalten sind und somit eine

Dunkelkammer überflüssig machen.

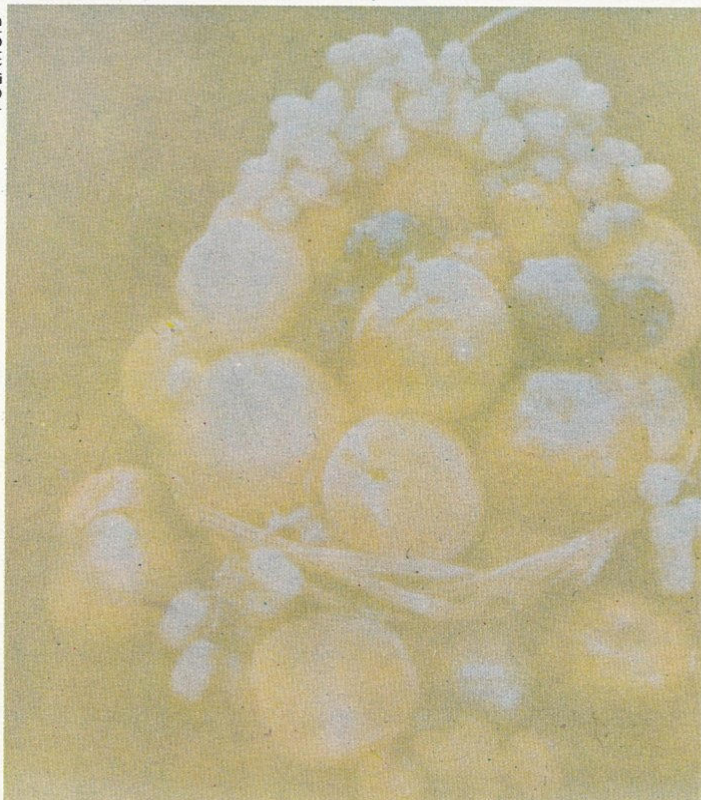
Die gesamte Fotografie basiert auf der Lichtempfindlichkeit von Silberhalogenid-Kriställchen, aus z.B. Silberbromid und -iodid. Diese Emulsionskörner bilden bei der Belichtung ein 'latentes Bild', das im Entwickler zu schwarzem Silber entwickelt wird. Es entsteht auf diese Weise ein Negativ. Die nicht belichteten Körner werden im Fixierbad herausgelöst. Im Polaroid-Prozeß wird dagegen aus den nicht belichteten Körnern das Licht aufgebaut. Es entsteht folglich ein positives Bild, da mit abnehmender Belichtung zunehmend viele Körner zur Schwärzung beitragen.

Auf ganz ähnliche Weise werden auch von einem Umkehrfilm Dias hergestellt. Das zunächst entwickelte Negativbild aus Silber wird weggebleicht, und die übriggebliebenen unbelichteten Körner werden anschließend entwickelt. Im Polaroid-Prozeß werden die unbelichteten Körner gelöst; die dabei gebildeten Silbersalze diffundieren in das im Kontakt befindliche Kopierblatt und werden dort zu schwarzem Silber entwickelt. Zur Erzielung der nötigen Bildschwärze wird aber wesentlich weniger Silber benötigt als bei einem Dia, da das Sofortbild in Aufsicht (d.h. infolge der Reflexion an der hellen Unterlage nach zweimaliger Lichtabsorption) und nicht in Durchsicht (nach einmaliger Absorption) betrachtet wird. Aus dem gleichen Grunde erscheint eine farbige Glasscheibe vor einem Stück weißen Papier intensiver gefärbt als in Durchsicht.

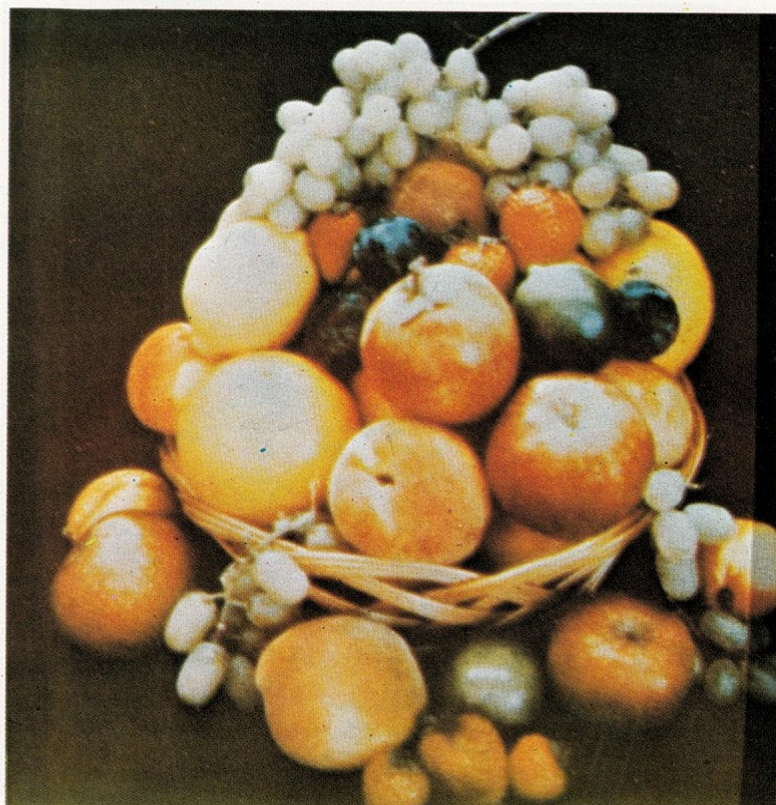
Der geringe Silberauftrag trägt übrigens zur schon erwähnten Feinkörnigkeit des Bildes bei. Dadurch kann andererseits bei vergleichbarer Körnigkeit eines konventionell hergestellten Bildes die Empfindlichkeit eines Sofortbildfilmes erhöht werden.

### Wirkungsmechanismus

Im einfachsten Falle eines Schwarz/Weiß-Sofortbildes, das innerhalb von 15 Sekunden entsteht, sind im Film folgende drei Hauptbestandteile enthalten: 1. das Negativ mit der lichtempfindlichen Emulsion; 2. eine mit einer Metallfolie ummantelte Kapsel aus Kunststoff, die in einer Paste den Entwickler, einen alkalischen Aktivator und das Fixiermittel enthält; 3. das Empfangsblatt oder Positiv, in dem das Bild



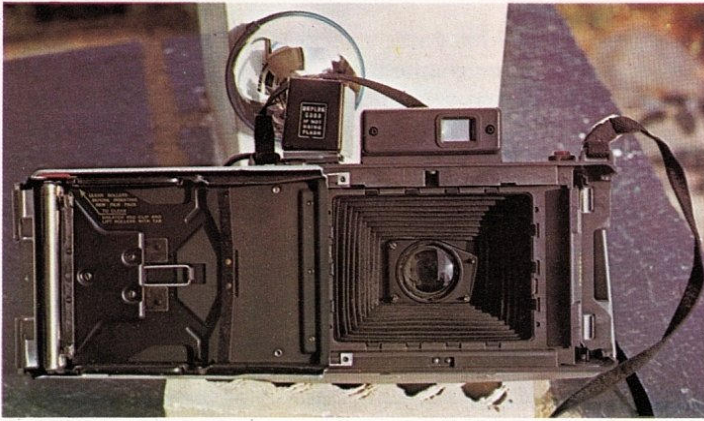
35 Sekunden



1 Minute



PHOTRI



**Oben:** Innenansicht einer Polaroid-Kamera ohne Film.

**Rechts:** Ein Polaroid-SX-70-Bildes während der Entwicklung.

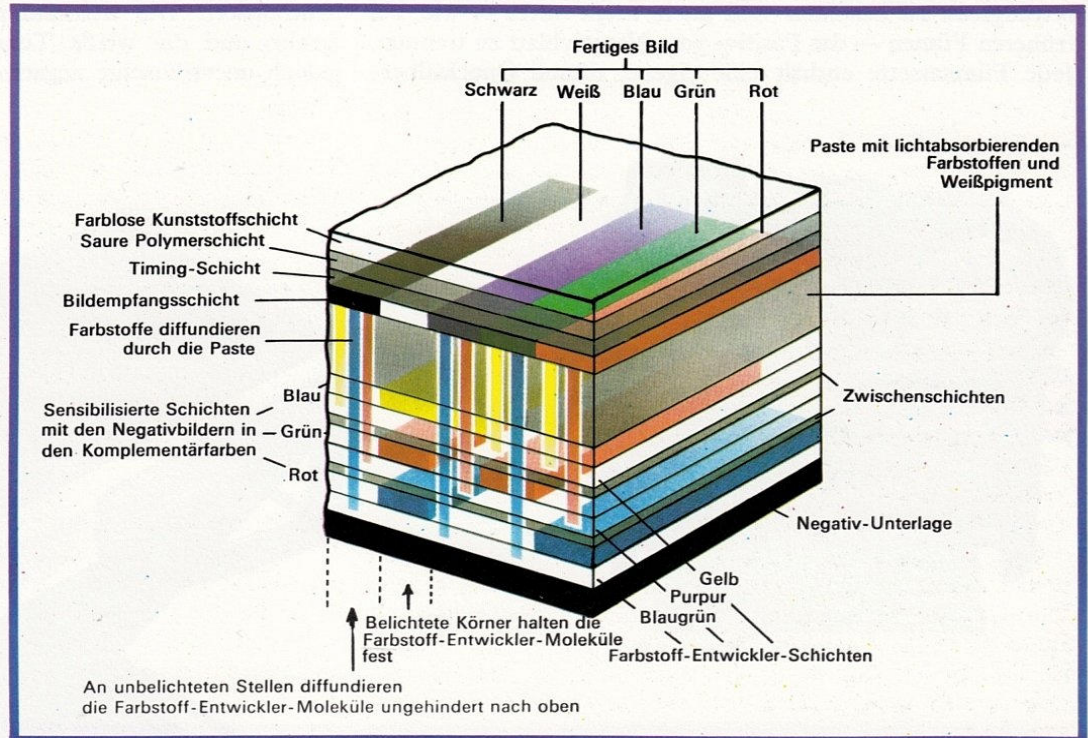
Der Aktivator wird zwischen Negativ- und Positivschicht verteilt und macht die Entwickler-Farbstoff-Moleküle diffusionsfähig. Während sie an den belichteten und entwickelten Körnern festgehalten werden, diffundieren sie an den unbelichteten Stellen weiter. Da die Schichten sehr dünn sind, erreichen die Farbstoffe die Empfangsschicht, ohne merklich in die Breite zu diffundieren. Der Aktivator durchdringt auch die 'Timing'-Schicht, und erst in der sauren Polymerschicht wird die Reaktion gestoppt.

**Unten:** Ein SX-70-Farbbild entsteht.

während der Verarbeitung entsteht.

Diese drei Komponenten werden nach der Belichtung des Negativs in Kontakt gebracht. Dazu werden die Negativ- und die Positivschicht gemeinsam zwischen zwei Stahlwalzen aus der Kamera gezogen, wobei der dazwischenliegende kleine Pastenbeutel aufplatzt und die Paste gleichmäßig zwischen den Schichten verteilt wird. Das Negativ- und Positivblatt sind jeweils mit einer lichtundurchlässigen Rückseite versehen, wodurch eine Dunkelkammer in Miniatur gebildet wird.

Wie in der herkömmlichen 'fotografischen Verarbeitung' reduziert der Entwickler die belichteten Körner zu metallischem Silber. Im Sofortbild beginnt aber noch während der Entwicklung die Fixage. Die Paste enthält nämlich eine Mischung aus einem aktiven Entwickler und einem



JOHN BISHOP

schwächeren Fixermittel. Letzteres löst die unbelichteten Körner unter Bildung löslicher Silberkomplexe, die bis in die Empfangsschicht diffundieren. Dort treffen sie auf speziell hergestellte winzige Keime, an denen sie zu feinkörnigem Silber reduziert werden. Der Abstand zwischen Negativ- und Positivschicht ist genügend klein, so daß die Silbersalzdifffusion sehr schnell in etwa 10 s bis 15 s und ohne nennenswerte Verwaschung der Bildstrukturen abläuft. Die verbleibenden Chemikalien können mit einem chemisch präparierten Wischer entfernt oder neutralisiert werden. In neueren Sofortbildfilmen geschieht dies automatisch.

### Farbfilm

Auch der Polacolorfilm beruht auf einem Diffusionsprozeß, dem allerdings eine sehr sinnreiche Kombination von Emulsionen und Farbstoffen zugrunde liegt. Alle derzeitigen Farbfilme haben eine rot-, eine grün- und eine blauempfindliche Schicht. Abgesehen von einigen Sonderfällen werden die Farbkuppler den Emulsionsschichten zugeführt, und zwar in möglichst diffusionsfester Form. Dagegen müssen beim 'Diffusionsübertragungs-Verfahren' die Farbstoffe aus der Negativschicht durch andere Schichten in die Bildempfangsschicht wandern. Geeignet sind hierfür Verbindungen von Farbstoffen und Entwickler, die in alkalischem Medium diffusionsfähig sind. Diese Verbindungen werden in separaten Schichten unmittelbar unter die jeweils zugehörigen, komplementär sensibilisierten Emulsionsschichten angetragen.



Der Pastenbeutel enthält in diesem System eine Aktivierungspaste, die den Entwickler in den einzelnen Schichten aktiviert und die Entwickler-Farbstoffmoleküle freisetzt. Diese diffundieren nun in alle Richtungen und erreichen an den unbelichteten Stellen ungehindert die Bildempfangsschicht, wo sie mit Hilfe einer Beize festgehalten und unlöslich gemacht werden. Diejenigen Moleküle aber, die in der benachbarten Emulsionsschicht belichtet werden und zu Silber reduzierte Körner antreffen, werden dort chemisch gebunden und können nicht in die Positivschicht wandern.

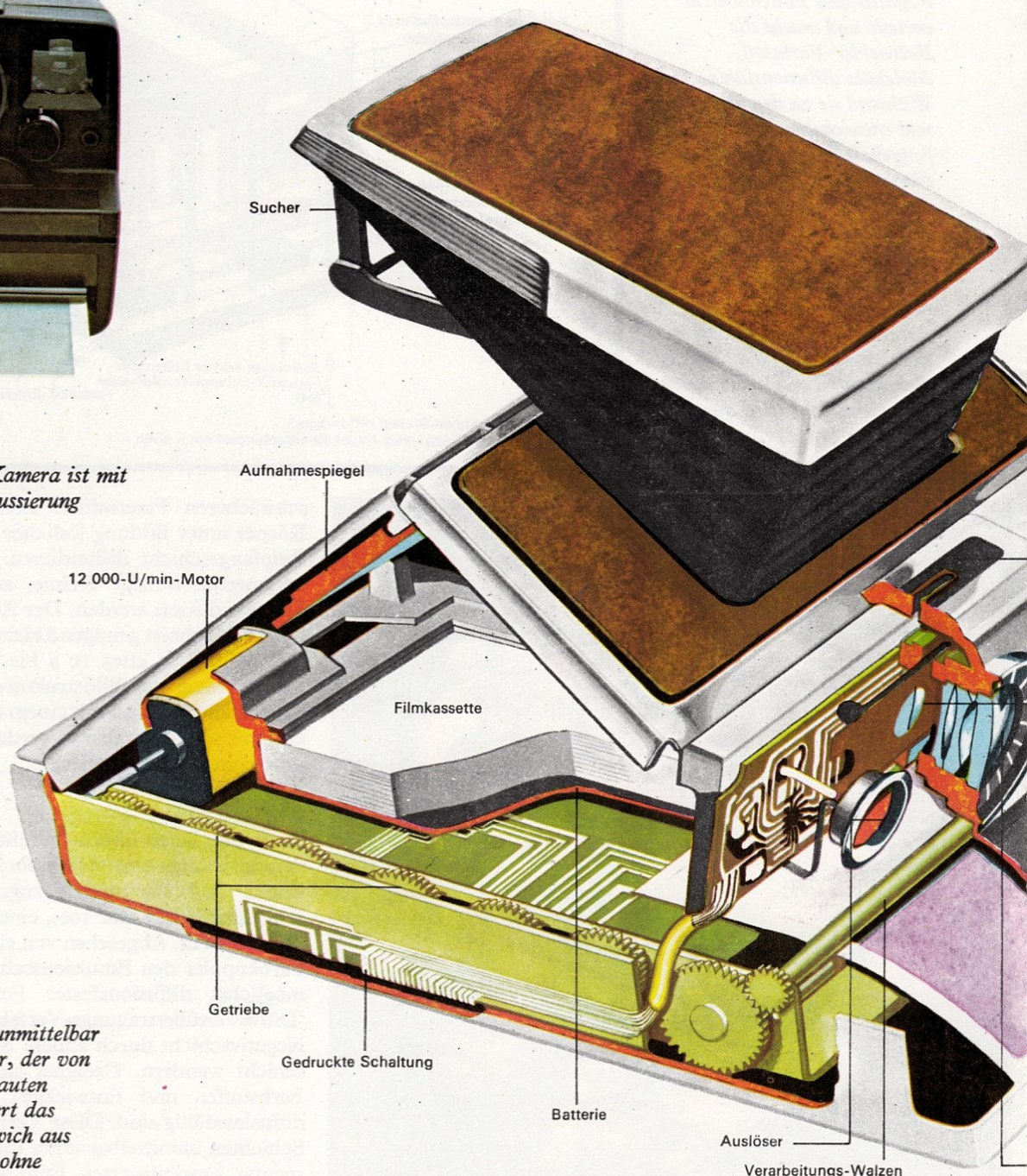
In dem neuesten Polaroid-Film SX-70 läuft der gesamte Verarbeitungsprozeß völlig selbständig ab. Nach der Belichtung befördert ein Motor das Bild aus der Kamera, das sich dann langsam entwickelt. Man braucht keine Verarbeitungszeit zu beachten und auch nicht mehr — wie bei früheren Filmen — das Positiv- vom Negativblatt zu trennen. Jede Filmkassette enthält eine eigene, dünne Quecksilber-

batterie, die den Motor mit 12 000 U/min, den Belichtungsmesser, die Blendenautomatik und gegebenenfalls das Blitzgerät mit Strom versorgt.

Ungewöhnlich ist der Aufbau eines solchen 'Monoblatt-Filmes'. Die Positiv- oder Bildempfangsschicht ist transparent und liegt von Anfang an über dem Negativ. Eine lichtundurchlässige, Titandioxid enthaltende Paste wird während der Filmausgabe zwischen Negativ- und Positivschicht verteilt und schützt die Emulsionen vor Licht, während die Farbstoffe ungehindert nach oben diffundieren können. Das Titandioxid bildet zugleich eine weiße Unterlage, gegen die sich die Farben nach der Verarbeitung leuchtend abheben. Nach der Entwicklung, die in weniger als fünf Minuten beendet ist, wird das Alkali, das die Entwicklung in Gang gesetzt hat, automatisch neutralisiert. Die lichtundurchlässige Schicht wird dabei farblos und das weiße Titandioxid deckt das entwickelte, jedoch unerwünschte negative Silberbild ab.

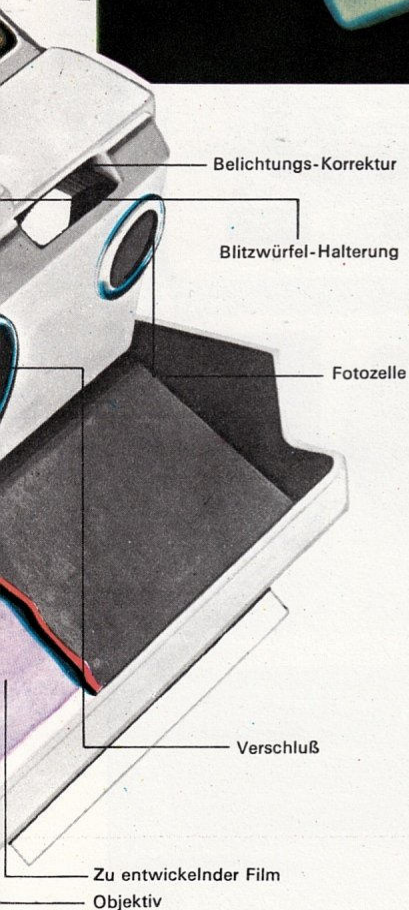
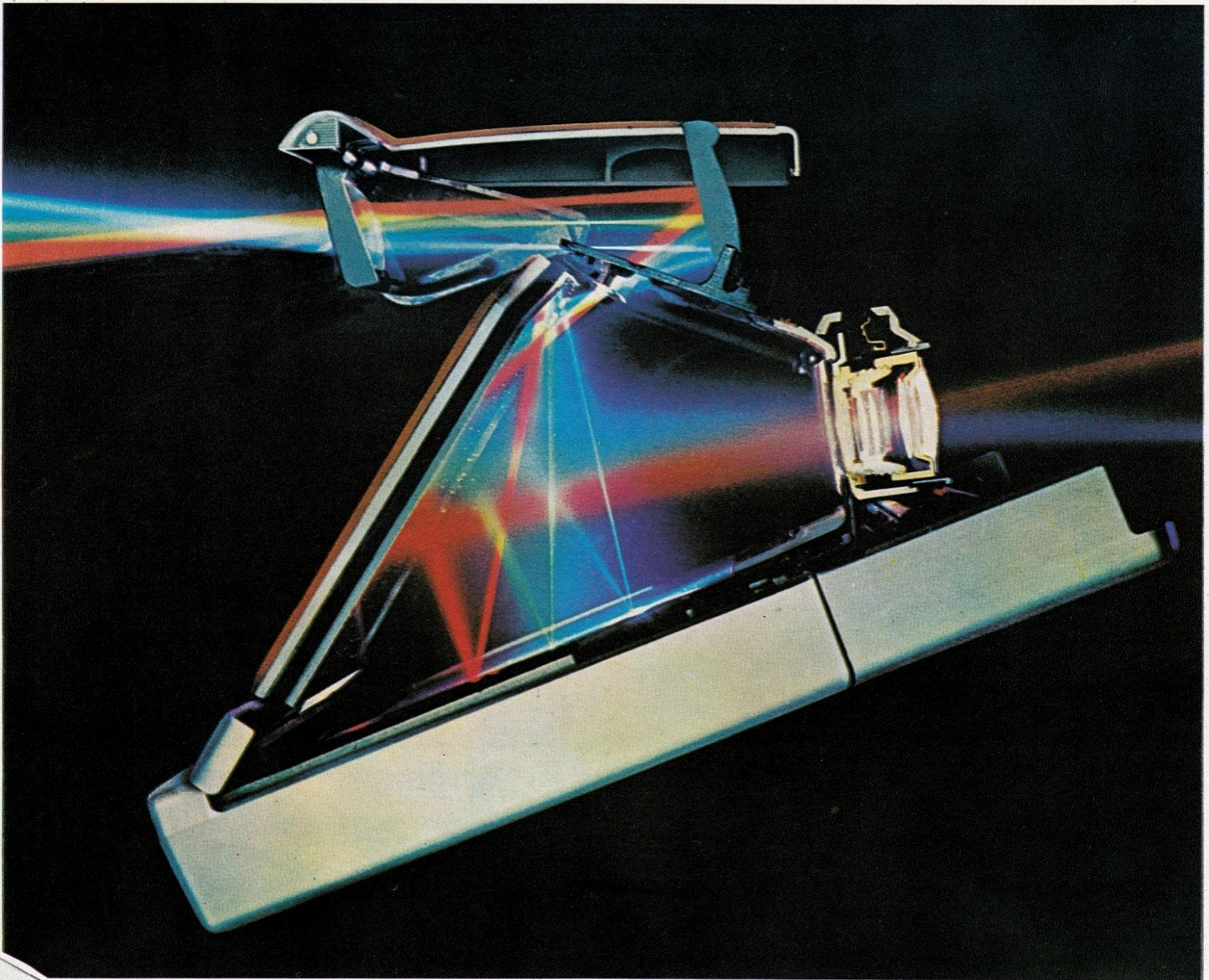


**Oben:** Diese Polaroid-5000-Kamera ist mit automatischer Ultraschall-Fokussierung ausgestattet.

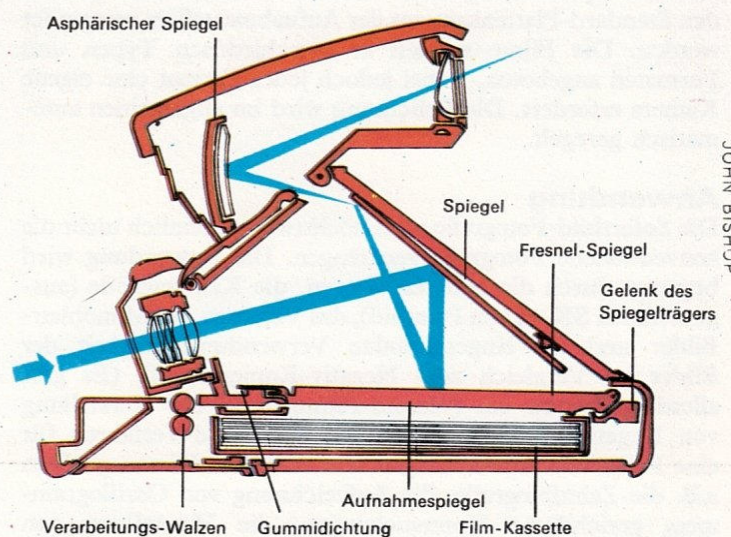


Die SX-70-Polaroid-Kamera unmittelbar nach der Aufnahme. Der Motor, der von einer in die Filmkassette eingebauten Batterie betrieben wird, befördert das noch unentwickelte Film-Sandwich aus der Kamera heraus, wo es sich ohne weiteres Zutun selbst entwickelt.





**Oben und rechts:** Das optische System der Polaroid-Kamera. Da ein SX-70-Bild genauso betrachtet wird, wie es von der Kamera aufgenommen wird, muß es vor Erreichen des Filmes gespiegelt werden. Zur Aufnahme klappt der untere Spiegel, der während der Bildeinstellung den Film abdeckt, nach oben.







**Oben:** Ein Polaroid-Filmpacket und eine Fotografie, von der das Negativ teilweise abgezogen ist.

**Rechts:** Eine Polaroid-1000-Kamera mit dem Polatronic-1 Blitzlichtgerät. Die Blitzlichtzeiten dieses Gerätes liegen zwischen  $1/1000$  und  $1/5000$  Sekunden.

## Kameras

Die relativ hohe Empfindlichkeit der Schwarz/Weiß-Sofortbildfilme macht es möglich, Kameraobjektive mit niedrigem Öffnungsverhältnis zu verwenden. Bei dem Modell 'Swinger' von Polaroid kann z.B. bei einer Brennweite von 95 mm so stark abgeblendet werden, daß eine große Schärfentiefe erreicht wird. Da das endgültige Bild von gleicher Größe wie das Negativ ist, müssen die Kameras natürlich größer sein als die üblichen 35-mm-Kleinbildkameras, für großformatige Bilder entsprechend größer. Polaroid-Filme können auch in den Standard-Plattenkameras der Aufnahmeateliers verwendet werden. Die Filme werden in verschiedenen Typen und Formaten angeboten, wobei jedoch jedes Format eine eigene Kamera erfordert. Die Belichtung wird im allgemeinen automatisch geregelt.

## Anwendung

Die Sofortbild-Fotografie wird höchstwahrscheinlich nicht die konventionelle Fotografie verdrängen. Die Anwendung wird begrenzt durch die höheren Kosten, die Kameragröße (ausgenommen SX-70 von Polaroid), das Volumen der Monoblatt-Bilder und die eingeschränkte Verwendungsfähigkeit der Bilder im Vergleich zum Negativ-Kopierprozeß. (Es gibt allerdings bereits ein Polaroid-Filmmateriel zur Herstellung von Negativen.) Dennoch ist das Sofortbild-Verfahren für eine Reihe von Anwendungen sehr nützlich. Hierzu gehören z.B. die Zahn fotografie, die Aufzeichnung von Oszillogrammen, gerichtliche Untersuchungen, die Herstellung von Paßbildern und die Mikrofotografie.







*Eine der neuesten Polaroid-Kameras, die mit einem Ultraschall-Entfernungsmesser ausgerüstet ist. Es sendet ein Ultraschall-Signal aus, das von dem Objekt, das fotografiert werden soll, zurückgeworfen wird. Dieses zurückgeworfene Signal informiert die Kamera über die genaue Entfernung des Objektes; ein elektronisch-kontrollierter Motor stellt dann automatisch die Linse ein.*



## POLYGRAPH

**Zu den Polygraphen, die neben dem Einsatz in der Medizin (Elektrokardiographie und Elektroenzephalographie) auch in der Psychophysiologie Verwendung finden, gehören ebenfalls die in der Kriminologie benutzten Lügendetektoren, die die physischen Reaktionen des Menschen messen können. Diese Reaktionen sind beim Lügen oder Täuschen in der Regel Schwankungen unterworfen.**

Lügendetektoren sind Geräte zur Aufzeichnung von Schwankungen der physischen Reaktionen von Menschen, denen eine Reihe von spannungserzeugenden und allgemeinen Fragen (zur Prüfung des Wahrheitsgehaltes ihrer Aussagen) vorgelegt wird. Es soll hierbei die relativ einfach meßbare, durch diese Fragen hervorgerufene innere Anspannung festgestellt werden, wobei von der Annahme ausgegangen wird, daß Lügen innere Belastungen erzeugen, die zu physiologischen Veränderungen führen. Obgleich es verschiedene Arten von Lügendetektoren gibt, einschließlich einer Vorrichtung zur Überwachung der Atmung über kurze Entfernungen durch Aussenden eines Mikrowellen-Impulses auf den Magenbereich des Befragten, arbeiten Lügendetektoren im allgemeinen auf der Grundlage von Messungen der Atmungsfrequenz, des elektrischen Hautwiderstandes sowie von Blutdruck und Pulsschlag.

### Pneumograph

Ein Pneumograph ist in seiner einfachsten Form ein um die Brust des Befragten gegürteter Schlauch, der mit einem durch die Atembewegungen, die eine Veränderung des Brustraumvolumens bewirken, aktivierten Aufzeichnungsgerät in Verbindung steht. Dieses Gerät zeichnet entsprechend den Schwankungen der im Schlauch enthaltenen Luftmenge die Atmungsfrequenz über ein System auf, das aus einem Gummiballon und einer durch Schreibhebel geführten Schreibvorrichtung besteht. Unregelmäßigkeiten, die sich in dem auf diese Weise hergestellten Diagramm zeigen, kennzeichnen Änderungen der Atmungsfrequenz und Tiefe der Atemzüge, die wiederum zur Feststellung des Wahrheitsgehaltes der Aussagen des Befragten mit anderen Daten koordiniert werden können.

### Ballistokardiograph

Der Ballistokardiograph zeichnet die dem Körper durch die Herzaktion mechanisch mitgeteilten Impulse von Blutdruck und Pulsschlag auf. Diese Impulse werden durch Aufblasen einer um den Oberarm über die Arterterie geführten Manschette mit Hilfe eines Gummiballes (wie beim Sphygmomanometer = Blutdruckmeßgerät) erhalten. Die Manschette und der Gummiball stehen über einen einfachen Schlauch mit einem Registriergerät in Verbindung, das Änderungen von Blutdruck und Pulsschlag über einen der Übertragungsvorrichtung des Pneumographen entsprechenden Direktschreiber überträgt und in Form eines Diagrammes aufzeichnet.

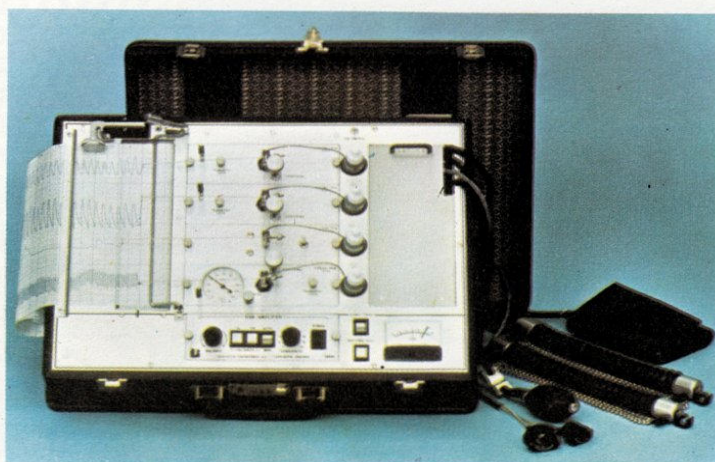
### Galvanograph

Der Galvanograph (Elektrodermatograph) zeichnet den Hautwiderstand gegen den Durchgang eines elektrischen Stromes auf. Die menschliche Haut besitzt eine bestimmte Fähigkeit (galvanische Hautreaktion) zur Leitung von Gleichstrom, wobei diese Leitfähigkeit je nach Hautfeuchtigkeit schwankt. (Galvanisch ist ein von 'Gleichstrom' abgeleiteter, veralteter Ausdruck; in der Medizin bedeutet Galvanismus soviel wie Gleichstrombehandlung.) Demzufolge widerspiegeln Veränderungen der durch die Haut abgegebenen Feuchtigkeitsmenge (Schweiß) z.B. einen emotionalen

Spannungszustand. Erfasst wird die Feuchtigkeitsänderung der Haut durch den Elektrodermatographen. An einem Finger oder an einer Hand des Befragten wird einfach eine Elektrode angesetzt und mit dem Direktschreiber der Anzeigetafel, auf der das Diagramm hergestellt wird, verbunden. Es können sehr geringfügige Widerstandsänderungen aufgezeichnet werden, da sie vor dem Eintritt in den Galvanometer, der die Schreibspitze in Bewegung setzt, verstärkt werden.

### Geschichte

Die Entwicklungsgeschichte des Polygraphen begann bereits im 4. Jahrhundert v. Chr., als ein griechischer Arzt zu der Annahme gelangte, daß eine Beschleunigung des Pulsschlages ein Anzeichen einer durch eine Lüge hervorgerufenen emotionalen Belastung wäre. Weitere Untersuchungen wurden im 19. Jahrhundert von einem Wissenschaftler namens Lombroso durchgeführt, der den Versuch unternahm, Änderungen des Blutdruckes mit Belastungen in Verbindung zu bringen. In den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts entwickelten zwei Amerikaner, Larson und Keeler, Techniken zur Aufzeichnung des Blutdruckes und der Atmungsfrequenz. Trotz der Genauigkeit mechanischer Vorrichtungen zur Aufzeichnung verschiedener physiologischer Reaktionen auf Belastungen, ist auf den Polygraphen jedoch kein absoluter Verlaß. Einige Menschen können beträchtliche Selbstbe-

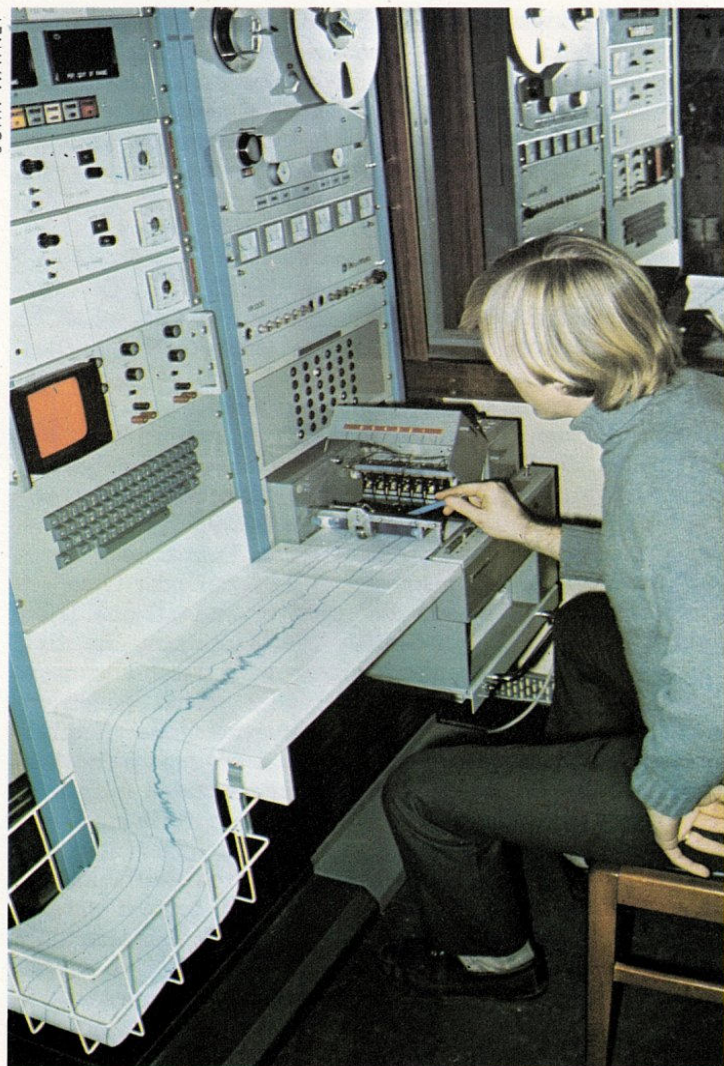


PHOTRI



JOHN WATNEY

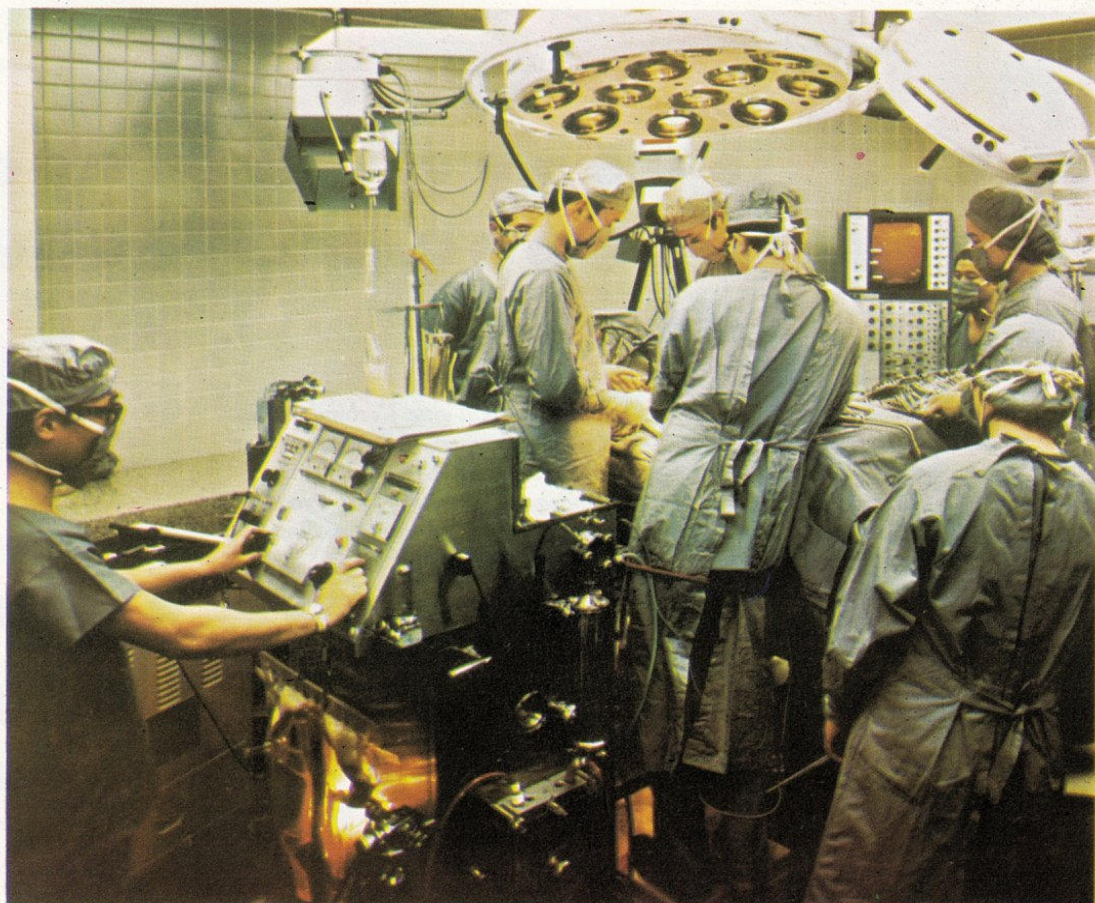




**Oben:** Ein Polygraph zur Überwachung von Gehirnströmungen. Dem Patienten werden Elektroden am Kopf angesetzt (siehe Bild unten links); der Polygraph registriert die Gehirnströmungen auf ein Schaubild.

**Oben links:** Ein kompakter, tragbarer Polygraph. Der Pneumograph (Gummischlauch), der Ballistokardiograph (Gummiball und Manschette) und die Elektroden sind rechts neben dem Gerät zu sehen. **Rechts:** Polygraphen werden zur Überwachung des Zustandes von Patienten im Operationsaal eingesetzt. Außerdem kann er vom Psychiater zur Lokalisierung von Ängsten im Unterbewußtsein seines Patienten benutzt werden.

**Links:** Diese am Polygraphen angeschlossene Person trägt an den Fingern die Elektroden des Elektrodermatographen zur Auswertung ihrer nervlich bedingten Transpiration durch elektrische Leitung.



herrschaft aufbringen, während andere wegen natürlich auftretenden Unregelmäßigkeiten der Atmung und des Pulsschlages ungeeignete Medien für den Lügendetektor sind. Wenn Untersuchungen mit dem Lügendetektor jedoch durch erfahrenes Personal durchgeführt werden, denen ein unparteiischer, nicht am 'Gespräch' beteiligter Auswerter zur Seite steht, können Kontrollfragen mehrmals wiederholt werden, so daß die Ergebnisse z. B. für polizeiliche Untersuchungen oder auch für Psychologen, die über die Hintergründe der Ängste eines Patienten Auskünfte benötigen, eine unschätzbare Hilfe sein können.

Was in der Hauptsache gegen den Polygraphen als Lügendetektor vorgebracht werden kann, ist, daß er bei unüberlegter Anwendung zur Verletzung der Menschenwürde führen kann. Überdies ist er als unzuverlässig kritisiert worden, da nicht alle Menschen bei einer bestimmten Belastung auf die gleiche Weise reagieren. Außerdem sind vielerlei mißbräuchliche Benutzungen nicht ausgeschlossen. Lügendetektoren wurden sogar schon von der Industrie zur Auswahl geeigneter Stellenbewerber benutzt. Als Werkzeug zur kriminalistischen Untersuchung liegt der hauptsächliche Vorteil eines Lügendetektors darin, der Polizei bei der Aussonderung unter begründetem Verdacht stehender Personen zu helfen, die bei einem Verhör keine körperliche Reaktion zeigen. Bei überlegtem Einsatz kann der Lügendetektor die Rechte Einzelner schützen, indem er dazu beiträgt, ihre Unschuld bereits zu Beginn polizeilicher Verhöre zu beweisen.

Die bei der Konstruktion von Polygraphen erzielten Fortschritte sind in der Hauptsache auf die Herstellung bequemer zu handhabender Modelle beschränkt, da die vorhandene Ausrüstung zur Auswertung durchaus angemessen ist und Änderungen wahrscheinlich nur bei der die Fragestellung und Auswertung betreffenden Technik auftreten werden. Demzufolge geht die Entwicklung zur Herstellung leichterer und gleichzeitig haltbarer Modelle mit Batteriebetrieb über.



# POLYMERE UND POLYMERISATION

**Die verschiedenen Eigenschaften von Polymeren, wie z.B. die Elastizität des Gummis und die Faserstruktur von Seide und Nylon, sind die direkte Folge der enormen Größe der Polymermoleküle, die Hunderttausende von Kohlenstoffatomen enthalten können.**

Das Wort 'Polymer' wurde aus den griechischen Wörtern *polys*, d.h. 'viel', und *meros*, d.h. 'ein Teil', gebildet. Es wird zur Beschreibung großer Moleküle (siehe ATOME UND MOLEKÜLE) verwendet, die aus einer Kette oder einem Netzwerk sich wiederholender Einheiten bestehen. Ein Polymermolekül kann z.B. 100 000 dieser sogenannten Monomereinheiten enthalten. Polymere können natürlich oder künstlich entstanden und organischer oder anorganischer Natur sein. Wichtige natürliche Polymere sind GUMMI, Zellulose, Seide, Protein und Stärke (organische Stoffe) sowie Silikate wie ASBEST und Polyphosphate (anorganische Stoffe). Beispiele für synthetische anorganische Polymere sind die Silikonöle und der Silikonkautschuk, die aus einer Kette sich abwechselnder Silicium- und Sauerstoffatome bestehen. Die wichtigsten Polymere sind die synthetischen organischen Polymere, zu denen die meisten KUNSTSTOFFE wie z.B. Polystyrol, Polyvinylchlorid (PVC), Polyolefine, Polyester und Polyurethane gehören.

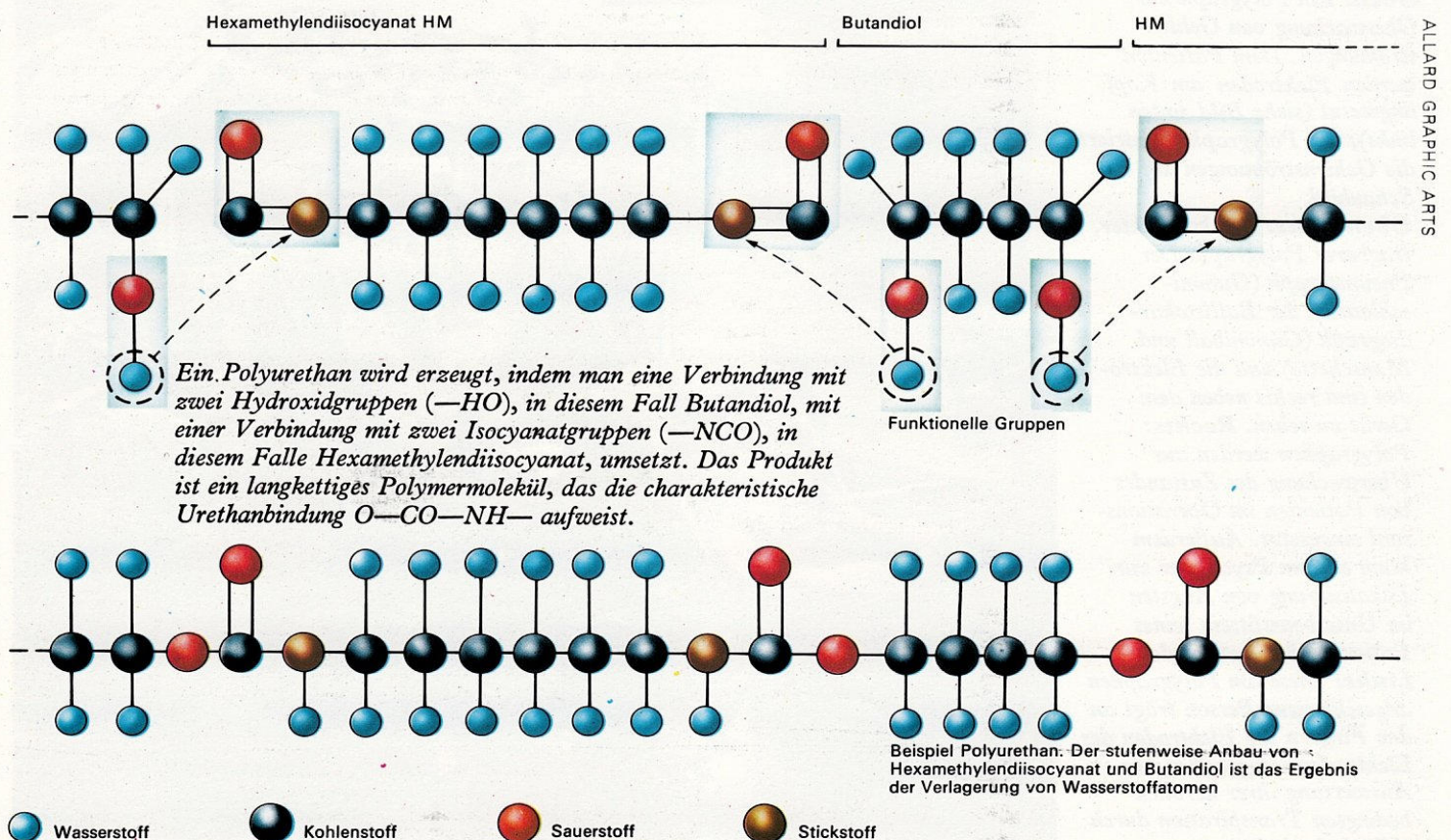
Eine Reaktion, die aus den betreffenden Monomeren ein Polymer erzeugt, nennt man eine Polymerisationsreaktion. Es gibt drei Grundtypen der Polymerisation: die direkte Polymerisation, die Polykondensation und die Polyaddition. Bei der direkten Polymerisation werden die Moleküle einer chemischen Verbindung oder zweier nah verwandter chemischer Verbindungen miteinander umgesetzt, während bei der Polykondensation und bei der Polyaddition zwei verschiedene Verbindungstypen miteinander reagieren (siehe

KUNSTSTOFFHERSTELLUNG). Damit eine direkte Polymerisation stattfinden kann, muß im Monomer eine Mehrfachbindung vorhanden sein, wie z.B. die Doppelbindung im Ethylen  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ . Viele der bekanntesten Polymere werden aus Ethylen oder dessen Derivaten, d.h. Verbindungen, in denen mindestens ein Wasserstoffatom des Ethylenmoleküls durch ein anderes Atom oder eine Gruppe ersetzt ist, gebildet. Wichtige Ethylderivate sind das Styrol  $\text{CH}_2=\text{CHC}_6\text{H}_5$ , aus dem man Polystyrol macht, das Vinylchlorid  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  zur Herstellung von PVC, Propylen  $\text{CH}_2\text{CHCH}_3$ , das Ausgangsmaterial für Polypropylen, und Acrylnitril  $\text{CH}_2=\text{CHCN}$ , aus dem bestimmte Synthesekautschuksorten erzeugt werden.

## Mechanismus der Polymerisation

Bei der direkten Polymerisation gibt es drei Phasen: den Kettenstart, die Kettenverlängerung und den Kettenabbruch. Zum Kettenstart gehört die Bildung aktivierter Monomermoleküle im Reaktionsmedium. Die Aktivierung kann entweder mechanisch durch Anlegen von Druck oder durch kräftiges Rühren, thermisch durch Erhitzen oder chemisch durch Zusatz von Polymerisationskatalysatoren erfolgen. Diese Katalysatoren sind gewöhnlich Verbindungen, die freie Radikale (Gruppen mit überzähligen, nicht durch chemische Bindung festgelegten Elektronen) oder IONEN (elektrisch geladene chemische Gruppen) erzeugen. Freie Radikale bildende Polymerisationsinitiatoren sind oft organische Peroxide, während es sich bei den Ionen erzeugenden Initiatoren meist um anorganische Verbindungen, wie z.B. Bortrifluorid  $\text{BF}_3$  oder Titantrichlorid  $\text{TiCl}_4$ , handelt. Der Start der Polymerisation kann gelegentlich auch durch Bestrahlen des Reaktionsmediums mit ultravioletttem Licht bewirkt werden.

Sobald aktivierte Monomermoleküle im Reaktionsmedium vorliegen, beginnt das Kettenwachstum. Ein aktiviertes Molekül reagiert mit einem nicht aktivierten Monomermolekül unter Bildung eines neuen aktivierten Moleküls, das um eine Einheit länger als das Ausgangsmolekül ist. Der Vorgang wiederholt sich unter Verlängerung der Polymerkette, bis







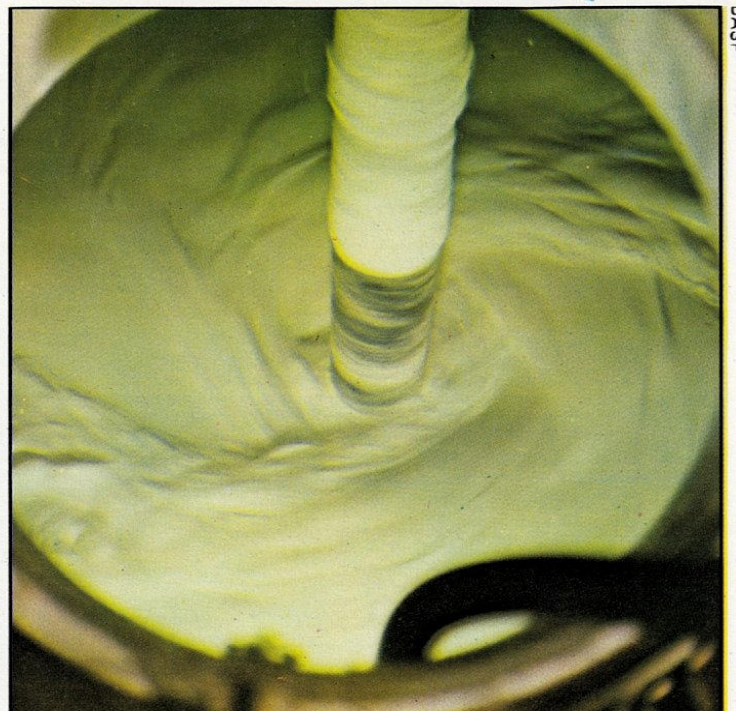
**Oben:** Die Seide, die von einer Spinne für ihr Netz gesponnen wird, ist nur eines von vielen, in der Natur vorkommenden Polymeren.

**Unten:** Die Bestandteile für ein vinyl-basiertes plastisches Material werden gemischt. Die Herstellung von Polymeren ist in den letzten 50 Jahren zu einem bedeutenden Industriezweig herangewachsen.

eine Desaktivierung der Kette eintritt, z.B. durch Reaktion mit einem zweiten aktivierten Molekül. Die Reaktionsfolge kann wie folgt dargestellt werden (M bedeutet eine nicht aktivierte Monomereinheit,  $M^*$  eine aktivierte):

Aktivierung	$M$	$M^*$
Wachstum	$M^* + M$	$M-M^*$
Wachstum	$M-M^* + M$	$M-M-M^*$
Kettenabbruch	$M-M-M^* + M^*$	$M-M-M-M$

Nehmen nur Moleküle einer einzigen chemischen Verbindung (z.B. Ethylen) an der Polymerisation teil, bezeichnet man das Produkt als Homopolymer, während bei der Verwendung von zwei Monomeren ein sogenanntes Copolymer entsteht, dessen Molekülketten Einheiten beider Monomere enthalten. Man kann ferner mehrere Polymere nach der Polymerisation mechanisch mischen und erhält dabei ein Polymergemisch. Die Polymerisationsbedingungen, d.h. Temperatur, Druck und Monomerkonzentration, können beträchtlich variiert werden und beeinflussen die Produkteigenschaften; daher kann man durch entsprechende Wahl der Verfahrensbedingungen auf bestimmte Anwendungen 'maßgeschneiderte' Kunststoffe erzeugen.





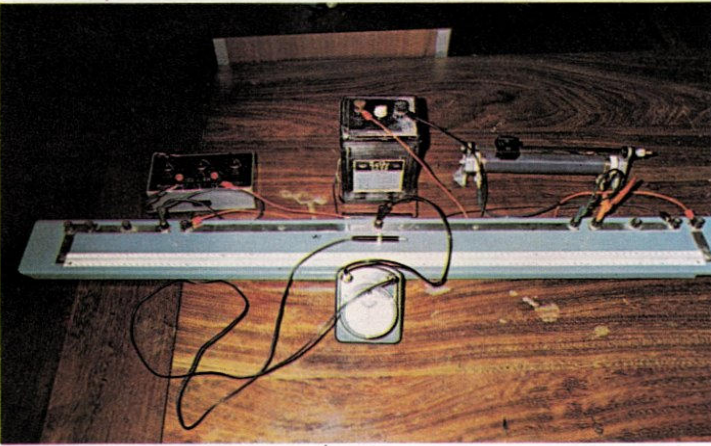
## POTENTIOMETER

**Das Potentiometer ist das empfindlichste Gerät zur Messung von Gleichströmen oder Gleichspannungen.**

Potentiometer sind in erster Linie sehr genaue Geräte zur Messung von elektrischen Spannungen und elektrischen Strömen. Man bezeichnet im heutigen Sprachgebrauch mit Potentiometer (vielfach auch zu dem Begriff Poti vereinfacht) Geräte, die drei Anschlüsse haben und sogenannte Spannungsteiler sind.

### Elektrische Messungen

Potentiometer als elektrische Präzisionsmeßgeräte arbeiten nach dem Prinzip, einen Spannungswert gegen einen anderen Spannungswert abzugleichen. Wenn z.B. zwei Batterien parallel geschaltet werden, ist die Ursprungsspannung in der Schaltung die Differenz der beiden Batteriespannungen. Wird in die Schaltung ein Galvanometer gelegt, schlägt es aus, wenn beide Spannungen unterschiedlich sind. Es fließt kein Strom, d.h. das Galvanometer schlägt nicht aus, wenn beide Batterien genau gleiche elektrische Spannung abgeben.

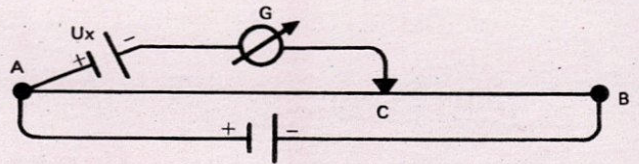


### Schiebewiderstand

Beim Schiebewiderstand wird ein Draht von gleichem Durchmesser eng auf einen Keramikkörper gewickelt. An die beiden Anschlüsse des Schiebewiderstandes ist eine Batterie angeschlossen, zu der ein veränderlicher Ohmscher Widerstand in Reihe geschaltet ist. Der gewickelte Widerstand hat einen gleichförmigen Ohmschen Widerstand wodurch der Spannungsabfall an irgendeinem Punkt des Widerstandes proportional dem Abstand dieses Punktes von einem Anschluß ist. Die Batteriespannung und der Widerstandswert des zur Batterie in Reihe liegenden Widerstandes sind von sekundärer Bedeutung; sie müssen nur während der Messung konstant sein.

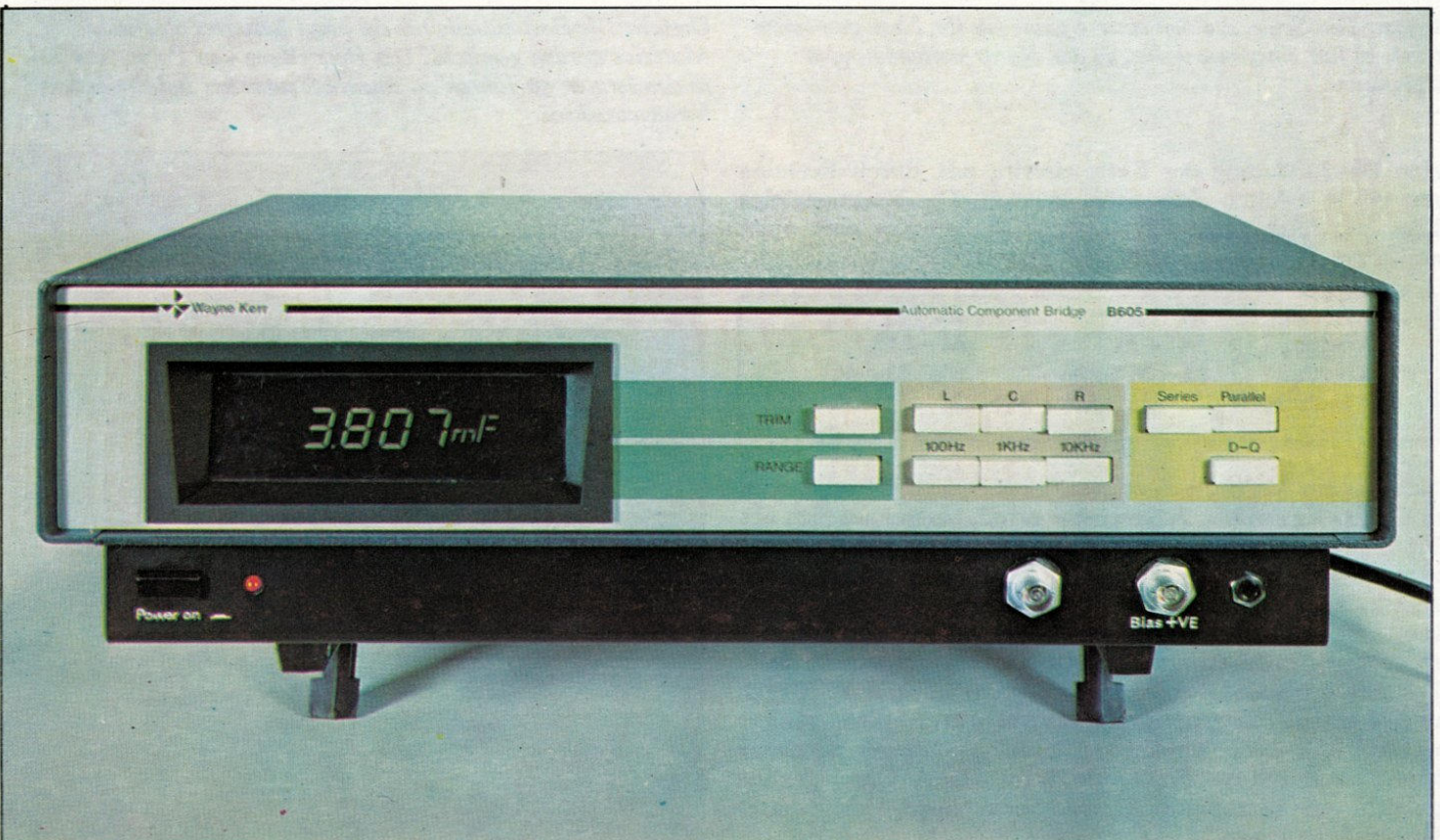
Die zu messende Spannung kann entweder die unbekannte Spannung einer Batterie oder die Spannung sein, die an einem Ohmschen Widerstand abfällt. Soll beispielsweise die unbekannte Spannung einer Batterie ermittelt werden, verbindet man einen Anschluß der Batterie mit einem Ende eines in Material und Querschnitt gleichmäßigen Drahtes. (Die Anschlüsse des Widerstandsdrahtes sind mit einer Hilfs-

Poggendorfsche Kompensationsmethode



**Links:** Eine Wheatstone-Brücke, die zur genauen Messung von Widerständen dient. Der Gleitdraht ist auf einer Meßskala untergebracht.

**Unten:** Diese moderne elektronische Version der Wheatstone-Brücke wird von einem Mikroprozessor überwacht; es kann Induktivität und Kapazität messen.





spannungsquelle verbunden.) Der zweite Anschluß wird über ein Galvanometer an einen Schleifkontakt gelegt. Berührt der Schleifkontakt den Widerstandsdraht, schlägt das Galvanometer aus, wenn zwischen der unbekannten Spannung und dem Spannungsabfall am Widerstandsdraht eine Potentialdifferenz herrscht. Der Schleifkontakt wird dann an dem Draht so lange entlangbewegt, bis das Galvanometer Nullausschlag zeigt. Man mißt nun die Entfernung von diesem Punkt zu dem Anschluß.

Diese Methode wird wiederholt, indem man die Batterie, deren Spannung unbekannt ist, gegen ein Normalelement austauscht. Ein Normalelement hat eine fest vorgegebene Spannung (z.B. 1,01830 V). Es wird ein neuer Abgleichpunkt gefunden, dessen Entfernung ebenfalls gemessen wird. Kennt man den Spannungswert des Normalelementes und die beiden Abstände, kann die unbekannte Spannung sehr genau bestimmt werden. Das Verhältnis der beiden Abstände ist gleich dem Verhältnis der unbekannten Spannung zur Spannung des Normalelementes. Dieses Verfahren wurde im Jahre 1841 von J. C. Poggendorf (1796 bis 1877) eingeführt und ist unter dem Namen Poggendorfsche Kompensationsmethode bekannt geworden. Nach dem gleichen Prinzip lassen sich mit Hilfe der Wheatstone-Brücke Widerstandswerte sehr genau bestimmen.

### Messen großer Spannungen

Das Drahtpotentiometer ist in etwa auf die gleichen Spannungen beschränkt wie die Spannung des Normalelementes. Einige Einstellungen sind bei Verwendung eines Rheostaten möglich. Reduziert man den Widerstand, fließt durch den Draht ein höherer Strom, d.h. es fällt pro Längeneinheit eine höhere Spannung ab. Dies wiederum bedeutet, daß höhere Spannungswerte abgeglichen werden können. Es schleichen sich jedoch Fehler ein, wenn die Spannungswerte von der Spannung des Normalelementes stark abweichen.

Um große Spannungen zu messen, wird ein Spannungsteiler

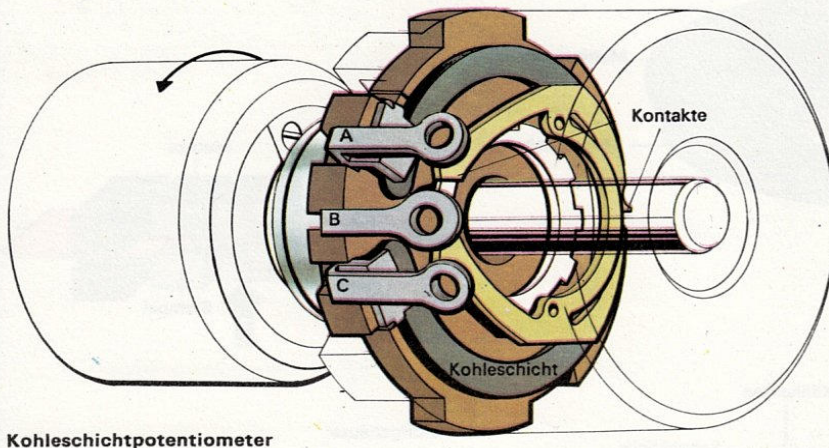
verwendet. Wenn z.B. eine Spannung von 1500 V gemessen werden soll, wird eine Teilung von 1 000:1 verlangt, wodurch eine Meßspannung von 1,5 V entsteht. Ein Spannungsteiler besteht aus einer Reihe von Widerständen, an denen an einem Punkt, bezogen auf die Gesamtlänge, die Spannung abgegriffen wird. Eine 1 000:1-Teilung kann z.B. dadurch erzielt werden, daß man die Gesamtspannung an einem 100 000-Ω-Widerstand abfallen läßt und hinter einem Widerstand von 100 Ω die Spannung abgreift. Der Spannungsabfall an dem 100-Ω-Widerstand ist ein Tausendstel der Gesamtspannung. Dieser Spannungswert kann dann mit Hilfe eines Potentiometers gemessen werden. Wurde z.B. eine Spannung von 1,519 V ermittelt, beträgt die Gesamtspannung 1 519 V.

### Potentiometer

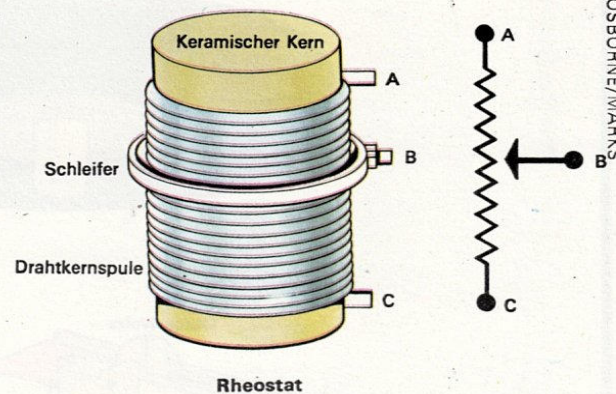
Das Potentiometer ist ein kleiner Rheostat, der bei Gerätetafeln und bei elektronischen Geräten eingesetzt wird, bei denen veränderliche Ströme und Spannungen gefordert werden. Beispiele sind die Steuerung der Lautstärke, der Klangfarbe und des Abgleichs eines Verstärkers.

In einem Potentiometer befindet sich eine drehbare Welle, die einen Kontakt (Abgriff) kreisförmig über ein Widerstandsmaterial gleiten läßt. Die Welle kann im allgemeinen einen Winkelbereich von 270° bis 300° überstreichen. Es existieren drei Anschlüsse. Zwei Anschlüsse liegen am jeweiligen Ende der Widerstandsschicht und ein Anschluß befindet sich am Abgriff. Die Widerstandsschicht kann entweder aus um einen Toriod gewickelten Draht bestehen (Drahtpotentiometer) oder aus einer Kohleschicht (Kohleschichtpotentiometer).

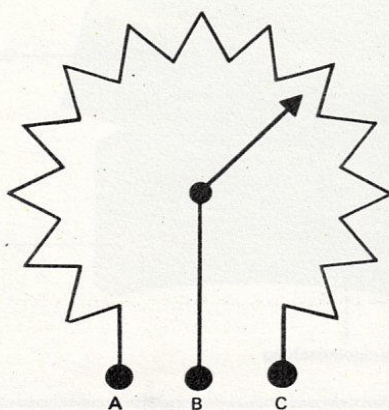
Der Widerstandswert von Potentiometern bezieht sich auf den Endwiderstand der Widerstandsschicht. Bevorzugte Widerstandswerte sind 10 Ω, 1 kΩ, 5 kΩ, 10 kΩ usw. Eine andere Einteilung für Widerstände kann entsprechend ihrem Verhalten vorgenommen werden. Man kennt lineare und logarithmische Widerstände sowie Widerstände, die einer Sinus/Cosinus-Funktion entsprechen.



Kohleschichtpotentiometer

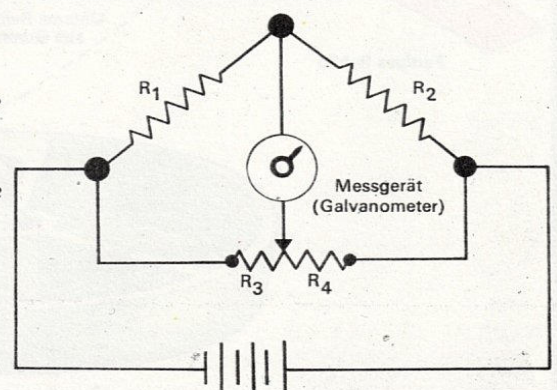


Rheostat



**Links:** Kohleschichtpotentiometer. Die Anschlüsse A und C werden an den Widerstandsenden, der Anschluß B an einen inneren Metallring angeschlossen. **Oben:** Ein Rheostat arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie ein Potentiometer. Die rotierende Welle wird durch den Schleifer B ersetzt. **Rechts:** Schematische Darstellung einer Wheatstone-Brücke. Der unbekannte Widerstand  $R_1$  wird über die bekannten Normwiderstände  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$  ermittelt.

Schema der Wheatstone-Brücke





## PRÄGEMASCHINEN

Eines der ältesten Verfahren zum Verziern von Metall, das Prägen, wird heute zur Herstellung erhabener Muster und Beschriftungen auf Metall, Papier, Leder, Textilien, Kunststoffband und vielen anderen Materialien verwendet.

‘Prägen’ heißt, eine Oberfläche mit einem reliefartigen Muster versehen. Wird ein dünnes Metallblech durch Hämmern von unten bearbeitet, eine bei der Schmuckherstellung weit verbreitete Technik, spricht man von einer ‘getriebenen’ Arbeit. Für die meisten Prägearbeiten werden jedoch Prägstempel und Gegenstempel (Matrizen) verwendet.

Das zu prägende Muster wird auf dem Prägstempel aufgezeichnet und die es umgebende Oberfläche so weit abgetragen, bis das Muster erhaben hervortritt. Der Gegenstempel wird so graviert, daß er genau auf den Prägstempel paßt, so daß das Muster auf den Streifen geprägt wird, wenn ein dünner Metall- oder Kunststoffstreifen zwischen beide gelegt und der Prägstempel gegen die Matrize gepreßt wird. Der Prägedruck wird bereits seit vielen Jahren zur Herstellung von geprägten Metallteilen verwendet; bei leichteren Werkstoffen ist das Prinzip grundsätzlich das gleiche.

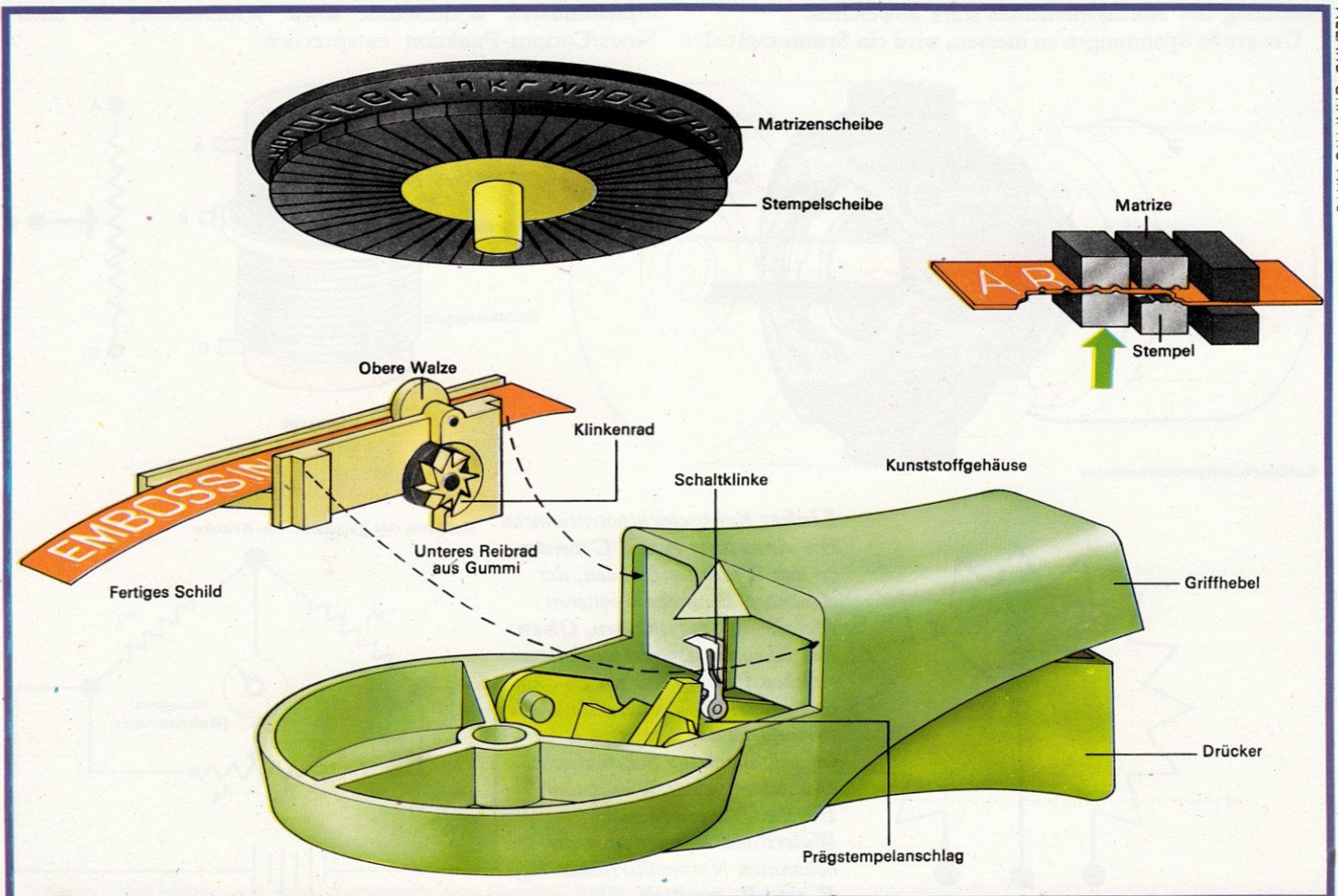
Darüber hinaus lassen sich mit dem Prägedruckverfahren sehr persönlich gehaltene Briefköpfe, Visitenkarten usw. gestalten, wobei das Papier zwischen Prägstempel und Matrize gepreßt und gleichzeitig die Farbe auf seine Oberfläche aufgebracht wird. Diese Methode wird von den Druckereien selten angeboten, da neue, preiswertere Verfahren zur Verfügung stehen.

Als gängigstes Beispiel für das Prägen kann heute die Herstellung von Aufklebern, Namensschildern u.ä. gelten. In Amerika begegnet man auf Busbahnhöfen und in Vergnü-

gungsparks Maschinen, die Buchstaben und Ziffern auf Plaketten in Münzform prägen. Man wirft ein Geldstück ein, wählt die gewünschten Buchstaben und zieht pro Buchstabe einen Hebel.

In den letzten Jahren haben kleine Handprägemaschinen zur Beschriftung von Namensschildern usw. weite Verbreitung gefunden. Die Buchstaben und Ziffern werden auf einen Weichmetall- oder häufiger Kunststoffstreifen (Vinyl) geprägt. Vinyl hat eine spezielle Eigenschaft: Unter Druckeinwirkung verschwindet das Farbmateriale von dem dem Druck ausgesetzten Bereich, und es bleibt eine entsprechend große, weiße Stelle zurück. Diese Eigenschaft macht man sich zur Herstellung leicht lesbarer Prägestreifen zunutze, indem man farbige Vinylbänder verwendet, auf denen sich die weißen Prägestellen deutlich abheben. Die Bänder haben eine selbstklebende Rückseite, die auf nahezu jedem Untergrund haftet. Die handlichen Maschinen lassen sich auch mit verschiedenen Metallstreifen bestücken; in diesem Falle hängt die Lesbarkeit jedoch ausschließlich von der Qualität der Prägung ab, da sich, anders als bei den Vinylstreifen, die geprägten Buchstaben farblich nicht vom Untergrund abheben.

*Unten: Darstellung einer typischen kleinen Prägemaschine für Haushalt und Büro. Zwischen zwei Scheiben wird ein Kunststoffstreifen mit abgedeckter, selbstklebender Rückseite eingelegt. Die Scheiben lassen sich so drehen, daß das Band zwischen den Stempeln des jeweils gewählten Buchstabens zu liegen kommt. Durch Niederdrücken des Griffhebels werden die Scheiben gegeneinander gepreßt und hinterlassen auf dem Kunststoff einen entsprechenden, weißen Abdruck. Ein Klinkenrad schaltet den Streifen bis zum nächsten Buchstaben weiter.*





## PRISMA

**Seit dem Altertum läßt sich der Mensch von klarem Kristallglas und geschliffenem Glas faszinieren. Beide Glasarten können als Prisma wirken. In ihnen wird weißes Licht in Farben zerlegt.**

Die Aufspaltung von weißem Licht in die einzelnen Spektralfarben wurde erstmalig im Jahre 1666 von Isaac Newton (1643 bis 1727) wissenschaftlich untersucht, indem er ein Prisma bei seinen Experimenten einsetzte. Sonnenlicht, das ein Loch in einem Fensterladen durchdrang, wurde einem Prisma zugeführt, das weißes Licht in die Spektralfarben Rot, Orange, Grün, Blau, Indigo und Violett zerlegt (man spricht auch von Dispersion). Wird ein zweites Prisma umgekehrt an das erste Prisma gesetzt, erhält man am Ausgang des zweiten Prismas wiederum weißes Licht. Dies beweist, daß die Aufteilung in Spektralfarben nicht im Prisma erfolgt, sondern daß die Komponenten des sichtbaren Lichtes nur aufgeweitet werden.

Newtons Experiment zeigt, daß die verschiedenen Farben des Lichtes durch ein Prisma verschieden stark gebrochen werden: Violette Licht am stärksten und rotes Licht am schwächsten. Der holländische Mathematiker Willebrord Snellius (1591 bis 1626) konnte zeigen, daß der Betrag der Brechung an einer Grenzfläche von dem sogenannten Brechungsindex des Körpers abhängt. Das Prismaexperiment bewies, daß sich der Brechungsindex von Glas mit der entsprechenden Spektralfarbe ändert. D.h. der Brechungsindex kann zur Bestimmung der Wellenlänge einer Spektralfarbe herangezogen werden. Fällt ein Lichtbündel schräg auf eine planparallele Glasplatte, wird jede Wellenlänge des Lichtes an der ersten Eintrittsfläche mehr oder weniger stark gebrochen. Beim Austreten auf der anderen Seite werden die einzelnen Wellenlängen wieder so gebrochen, daß weißes Licht entsteht. Sind die Seiten der Glasplatte nicht genau parallel, bildet sich ein Spektrum aus. In der Optik bezeichnet man Körper mit zwei ebenen, gegeneinander geneigten Glasflächen als Prisma. Üblicherweise wird ein Prisma verwendet, das im Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck ist.

Newtons Anordnung ist zur Untersuchung von Spektren nicht sehr gut geeignet, da sich die einzelnen Wellenlängen überlappen. Ein modernes Spektroskop (siehe SPEKTROSKOPIE) hat ein Spaltrohr, in dem das Licht, das auf das Prisma fallen soll, zu Parallelstrahlen verwandelt wird. Hinter dem Prisma befindet sich ein Fernrohr, durch das man die Spektrallinien beobachten kann. Gewöhnliches Glas ist für Ultraviolett- und Ultrarotlicht (auch Infrarotlicht) nicht durchlässig. Um auch elektromagnetische Strahlung dieser Wellenlänge untersuchen zu können, wird Quarzglas verwendet. Für die Untersuchung sehr kurzer Ultraviolettwellenlängen eignen sich Calciumfluorid-Prismen, und zur Untersuchung langwelliger Ultrarotstrahlen verwendet man Prismen aus Natriumchlorid.

Die Brechung durch ein Prisma für lange Wellen hat bei spektroskopischen Untersuchungen den Nachteil, daß die Dispersion nichtlinear ist. Zum roten Ende hin liegen die Wellenlängen näher beieinander als die violetten Längen. In vielen Spektroskopen wird ein Beugungsgitter als lichtbrechendes Element verwendet, da es linear ist. Bei Reflexionsgittern ist die Durchlässigkeit des Materials nicht von Bedeutung.

### Regenbogen

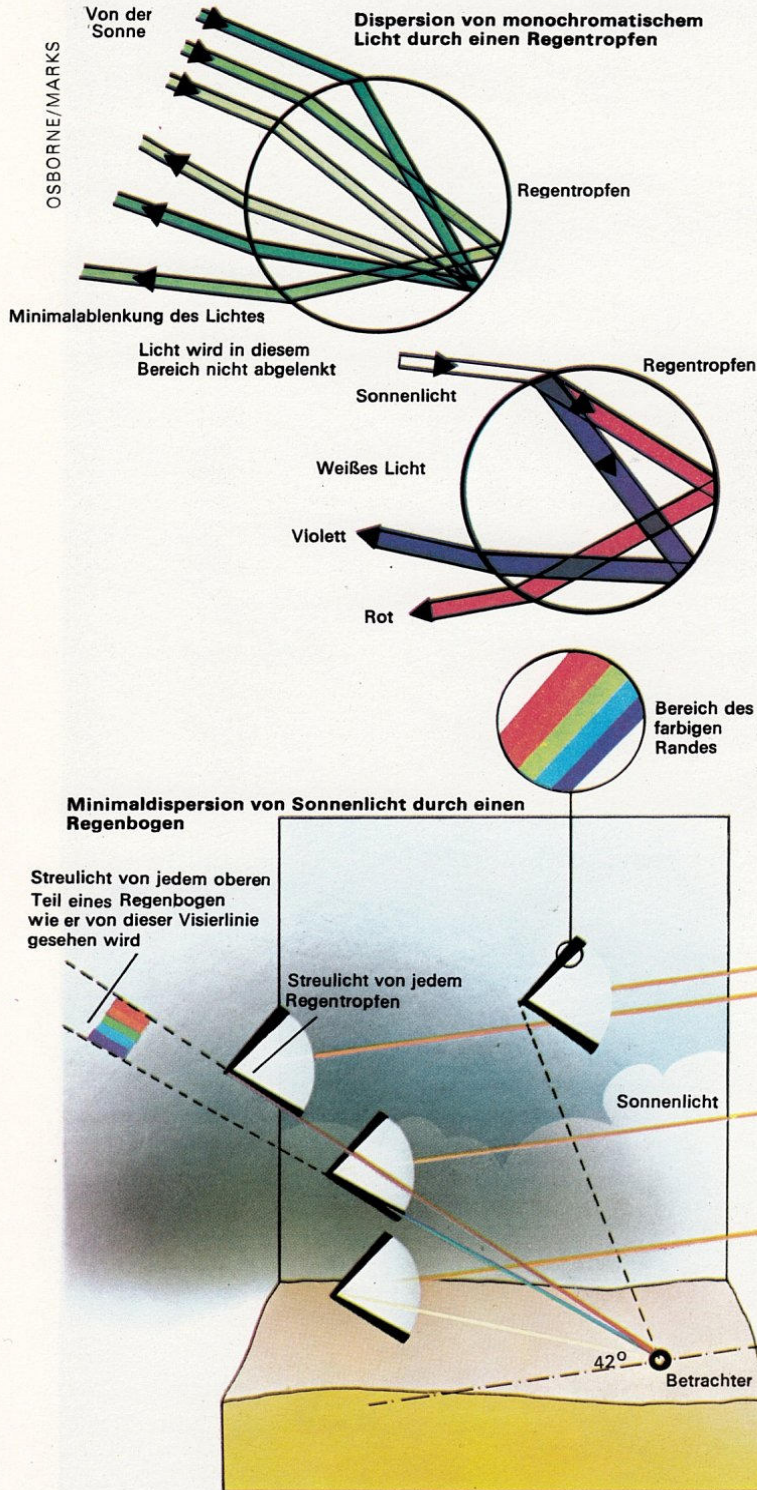
Das auffälligste Beispiel für das Spektrum ist ein Regenbogen. Um sein Zustandekommen zu verstehen, wird ein monochromatischer Lichtstrahl (Lichtstrahl einer Wellenlänge) betrachtet, der in einen Regentropfen eintritt. Der Strahl wird beim Eintritt in den Regentropfen gebrochen, an seinem anderen Ende totalreflektiert und beim Austritt wieder



*Teil eines Regenbogens, der in der entgegengesetzten Richtung von der Sonne gegen die Wolken aufgenommen wurde. Man beachte, daß eine Seite des Regenbogens heller als die andere ist. Der Nebenhogen ist auch zu sehen.*



gebeugt. Strahlen, die in der Nähe des Tropfenzentrums oder am Rande des Tropfens eindringen, werden um etwa  $180^\circ$  abgelenkt. Da Brechung und Reflexion an einer gekrümmten Oberfläche stattfinden, tritt das ursprünglich parallele Licht



**Oben:** Wie ein Regenbogen zustande kommt. Eine Spektralfarbe wird in einem Regentropfen so gebrochen, daß das Licht wieder zur Lichtquelle zurückgeworfen wird. Unterhalb eines gewissen Winkels wird kein Licht gebrochen (oben). Dieser Winkel ist für jede Spektralfarbe ein anderer (Mitte). Im Bild unten einige Regentropfen, von denen jeder das Licht in eine Zone mit farbigem Rand zurückbricht.

**Rechts:** Ein Prisma zerlegt auch weißes Licht in Spektralfarben, jedoch mit kleinerer Abweichung.

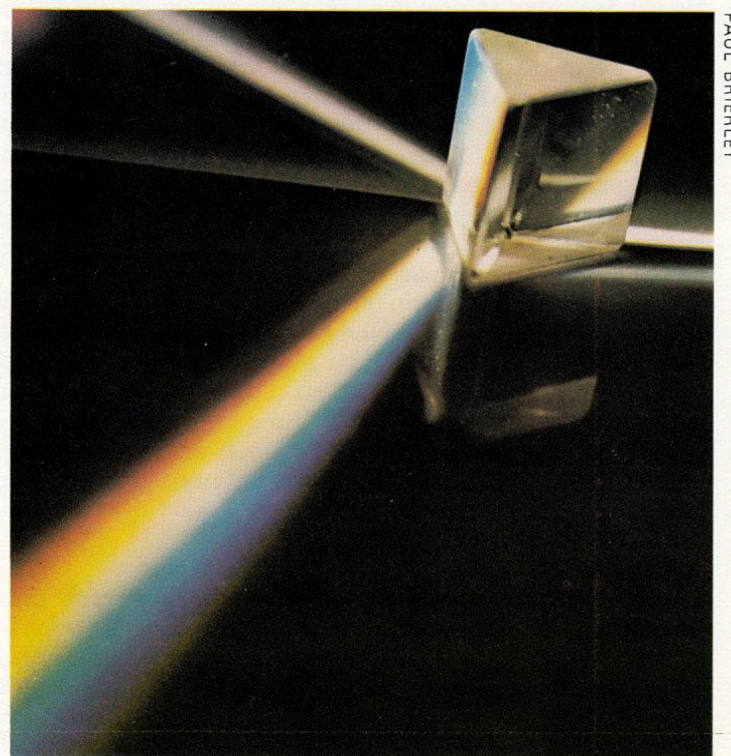
divergierend aus. Zwischen beiden Extremen eintretende Strahlen werden weniger abgelenkt; im Minimum nur um  $138^\circ$ . Dieser Lichtstrahl bleibt parallel. Betrachtet man von der Sonne beleuchtete Regentropfen, erblickt das Auge nur Tropfen, die das Licht mit minimaler Ablenkung dem Auge zuführt. Die Tropfen, die darüber liegen, sind unsichtbar, da kein Licht durch einen Winkel, der klein genug wäre, gebrochen wird. Auch Tropfen unterhalb des Blickwinkels können nicht gesehen werden, da die Strahlen stark divergieren und mit wachsender Entfernung schnell schwächer werden.

Als Ergebnis erhält man einen Lichtkreis mit einer speziellen Farbe, wobei der Winkel, unter dem der Beobachter die von der Sonne kommenden Strahlen sieht, etwa  $42^\circ$  beträgt. Da violettes Licht stärker als rotes Licht gebrochen wird, haben die Kreise für die verschiedenen Spektralfarben etwas voneinander abweichende Radien. Hierdurch entsteht der bekannte Regenbogen mit Rot an der Außenseite. Licht, das innerhalb eines Regentropfens zweimal reflektiert wird, führt zu einem Nebebogen, der  $10^\circ$  außerhalb des ersten liegt und dessen Farbenanordnung umgekehrt zum Hauptbogen ist.

### Totalreflektierendes Prisma

Mit einem gleichschenkligen, rechtwinkligen Prisma kann ein Lichtstrahl ohne Dispersion um  $90^\circ$  oder  $180^\circ$  geknickt werden. Ein Lichtstrahl, der senkrecht auf eine der Kathetenflächen des Prismas auftrifft, wird weder abgelenkt noch in sein Spektrum zerlegt. Der Lichtstrahl trifft auf die Hypothense unter einem Winkel von  $45^\circ$  auf. Da der Winkel der Totalreflexion (siehe OPTIK) für Glas gegen Luft  $42^\circ$  beträgt, wird der Lichtstrahl an der Hypothense des Prismas totalreflektiert und tritt senkrecht aus der anderen Kathetenfläche aus. Der reflektierte Strahl ist gegenüber dem einfallenden Strahl um  $90^\circ$  abgelenkt. Diese Prismen werden häufig in Periskopen eingesetzt, wo Spiegel aus Metall zu hoher Korrosion ausgesetzt wären.

Die Prismen in einem Prismenfernrohr werden in anderer Weise benutzt. Ein Lichtstrahl tritt senkrecht zur Hypothensenfläche ein, wird an jeweils einer Kathetenfläche totalreflektiert und tritt an der Hypothensenfläche wieder aus. Der Lichtstrahl wird um  $180^\circ$  abgelenkt, d.h. das Bild wird umgekehrt. Verwendet man ein vertikales und horizontales Prisma, kann man ein aufrechtes Bild sehen.









# Erfindungen 37: RUDER

Ursprünglich wurden Schiffe durch Riemen gelenkt, die am Heck beidseitig angeordnet waren. Anzahl und Art dieser Steuerriemen sowie ihre Aufhängung waren dabei sehr unterschiedlich. So verwendeten die alten Ägypter gewöhnlich einen, zwei oder sogar drei Riemen auf jeder Schiffseite, während die Wikinger mit einem einzigen, an der rechten ('Steuerbord') hinteren Seite ihrer Langschiffe angeordneten Riemen auskamen. Diese Steuerriemen hatten zahlreiche Nachteile. Da sie über die Schiffseiten hinausragten, mußten sie beim Anlegen hochgezogen werden. Um überhaupt von Nutzen zu sein, mußten diese Ruder häufig viel tiefer gehen als der Kiel. Sie stellten einen erheblichen Strömungswiderstand dar und waren nur dann wirklich wirksam, wenn sie, wie im alten Ägypten, in größerer Zahl eingesetzt wurden.

## Chinesische Ruder

Die ersten Schiffbauer, die ein am Heck in einer Linie mit der Achse des Schiffes aufgehängtes Ruder entwickelten, waren die Chinesen. Bis zum Jahre 200 n. Chr. war die chinesische Schiffbautechnik so weit fortgeschritten, daß das Steuerruder durch eine Bohrung im hinteren Teil des Oberdecks, das über das eigentliche Schiffsheck hinausragte, ins Wasser hinabgelassen wurde. Gleichzeitig konnte durch diese Anbringung das Ruderblatt zwecks Verbesserung der Wirksamkeit vergrößert werden, ohne daß der Strömungswiderstand dadurch spürbar zunahm. Dieses



**Oben:** Dieses byzantinische Mosaik aus dem 6. Jahrh. zeigt Schiffe, die mit Steuerriemen ausgerüstet sind.

**Unten:** Dieses in Stein gemeißelte Bild in der Kathedrale von Winchester, England, zeigt ein frühes europäisches Heckruder.

Ruder wurde von Seilen in seiner Lagerung gehalten, da die Form des Schiffsrumpfes noch keinen Achterstegen aufwies, an dem es drehbar befestigt werden konnte. Bis in unsere Tage hat sich dieser Rudertyp bei den traditionellen chinesischen Segelschiffen, den Dschunken, erhalten.

## Arabische Ruder

Um das Jahr 850 n. Chr. reisten arabische Kaufleute von Südarabien und dem Persischen Golf regelmäßig nach Kanton in China und zurück. Auf diesen Reisen müssen ihnen mit Rudern ausgerüstete chinesische Schiffe begegnet sein. Wahrscheinlich sahen sie die Vorteile, die ein solches Ruder bot. Das Problem für sie bestand jedoch darin, diese Vorrichtung der Bauweise ihrer Schiffe anzupassen. Die Heckform der arabischen Schiffe unterschied sich deutlich von der der chinesischen Schiffe. Der Schiffsrumpf endete mit einem steil ansteigenden Achterstegen, der hoch über die Schanzdecks hinausragte. Die beste Lösung





schien, das Ruder an diesem Achtersteven drehbar zu befestigen. Von der am Ruder angebrachten Ruderpinne, die die Form eines Jochs hatte, liefen Seile zu an beiden Seiten des Schiffsrumpfes befestigten Seilscheiben. Das Ruder wurde vom Rudergänger durch Ziehen an einem dieser Seile betätigt, ein Steuermechanismus, wie man ihn auch heute noch an vielen arabischen Schiffen herkömmlicher Bauart findet.

Leider haben uns islamische Dichter und Künstler nur wenige Berichte oder Darstellungen aus dem Bereich des Schiffbaues hinterlassen. Es gibt jedoch eine Darstellung eines Schiffes aus Persien etwa aus dem Jahre 1000 n. Chr., die beweist, daß das Ruder zu jener Zeit zumindest von einigen islamischen Seeleuten bereits verwendet wurde. Vom 13. Jahrhundert an liegen ausreichend viele Darstellungen von Segelschiffen aus islamischen Ländern vor, die uns auch Einblick in Einzelheiten ihrer Konstruktion gewähren. Dennoch wurden selbst in dieser späteren Epoche noch viele Schiffe mit den alten Steuerriemen gelenkt.

### Westeuropäische Ruder

Seit 1200 n. Chr. wurden westeuropäische Segelschiffe in wachsender Zahl mit Heckrudern ausgerüstet. Eine Darstellung eines

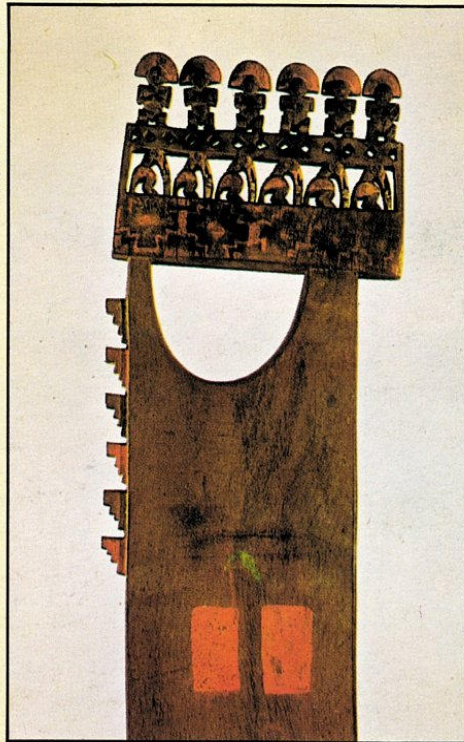
solchen Schiffes findet man im Taufbecken der Kathedrale von Winchester (England), die aus dieser Zeit stammt, eingemeißelt. Anders als bei den islamischen Schiffen war bei

den europäischen das Ruder in der Regel mit einer hebelartigen Pinne versehen, die über ein kurzes Querstück oder direkt mit dem Ruderstock verbunden war. Möglicherweise wurden die europäischen Ruder den im östlichen Mittelmeer verkehrenden Handelsschiffen venezianischer und byzantinischer Kaufleute nachgebaut, die ihrerseits das Ruder von den Arabern übernommen hatten. In diesem Falle würde das Ruder zu den Erfindungen gehören, die von den Kreuzrittern nach Westeuropa zurückgebracht wurden.

### Auswirkungen auf den Schiffbau

Die Einführung des Heckruders hatte ganz beträchtliche Auswirkungen auf den europäischen Schiffbau. Der hohe Achtersteven, charakteristisches Merkmal aller europäischen Schiffe seit den Zeiten der Wikinger, mußte niedriger werden, um Platz für die Pinne zu schaffen. Daraus wiederum ergab sich die Möglichkeit der Umgestaltung von Achterdeck und Achterkajüte und nicht selten eine Heckform, die kurioserweise der chinesischen Schiffe, von denen das Heckruder ursprünglich stammte, sehr ähnlich war. Diese äußerst seetüchtigen und manövrierfähigen Segelschiffe machten die berühmten Entdeckungsfahrten des ausgehenden 15. Jahrhunderts überhaupt erst möglich.

MICHAEL HOLFORD



**Oben:** Die Inkas in Peru verwendeten zum Steuern ihrer Flöße an jeder Ecke ein Brett wie das hier abgebildete.

**Unten:** Dieser Stich aus dem Jahre 1800 zeigt den wirksamen Einsatz eines Heckruders in China.

MARY EVANS



W. Davidson N. Caple