

HEFT 31 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK

DM 3

SFR 3.50

ÖS 25

# WIE GEHT DAS

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



---

scan: **IGDL**

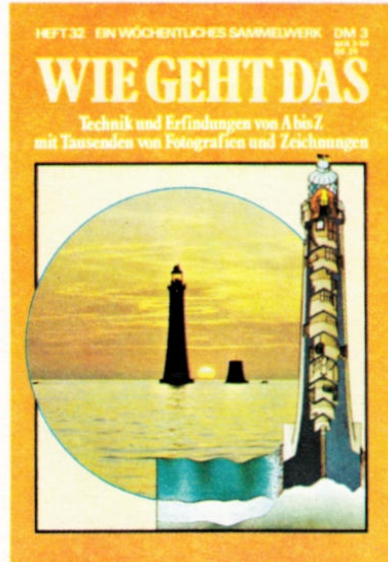


# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Kunststoffherstellung	841
Kupfer	846
Kupplung	849
Lager	851
Landkarten	853
Lärmmessung	859
Laser und Maser	861
Lautsprecher	866

## In Heft 32 von Wie Geht Das



Trotz großer Fortschritte in der Navigationstechnik spielt der Leuchtturm auch weiterhin eine wichtige Rolle für die Schifffahrt, besonders in Küstennähe. Der Artikel über Leuchttürme im Heft 32 von Wie Geht Das geht auf die Entwicklung der Leuchttürme in 2 200 Jahren ein, auf die wichtigsten Konstruktionsmerkmale moderner Leuchttürme und auf Feuerschiffe.

Die Brechung des Lichtes, wenn es von der Luft in Glas eintritt oder von Glas in die Luft, ist ein Phänomen, das man sich bei der Linse zunutze macht. Mehr darüber, weshalb eine Linse vergrößern und verkleinern kann, und über die Natur des Lichtes können Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das nachlesen.

### 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.

### 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 Überweisungskopie Ihre vollständige Anschrift gut leserlich enthalten.





## KUNSTSTOFFHERSTELLUNG

**Es ist möglich, für spezielle Verwendungszwecke passende synthetische Materialien herzustellen. Oft haben diese Kunststoffe Eigenschaften, die denen der natürlichen Substanzen, die durch die Kunststoffe ersetzt werden sollen, weit überlegen sind.**

Die Herstellung von Kunststoffen beruht normalerweise auf einem der drei Polymerisationsprozesse: direkte Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition. Kunststoffe sind aus Polymermolekülen zusammengesetzt, die aus Ketten oder Vernetzungen von chemisch miteinander verbundenen Einheiten oder Monomeren bestehen. Eine Reaktion, die die Vereinigung von Monomeren zu einem Polymer umfaßt, nennt man Polymerisationsreaktion. Wenn mehr als eine Monomer-Art verwendet wird, nennt man den Prozeß Mischpolymerisation und das Produkt ist ein Mischpolymer.

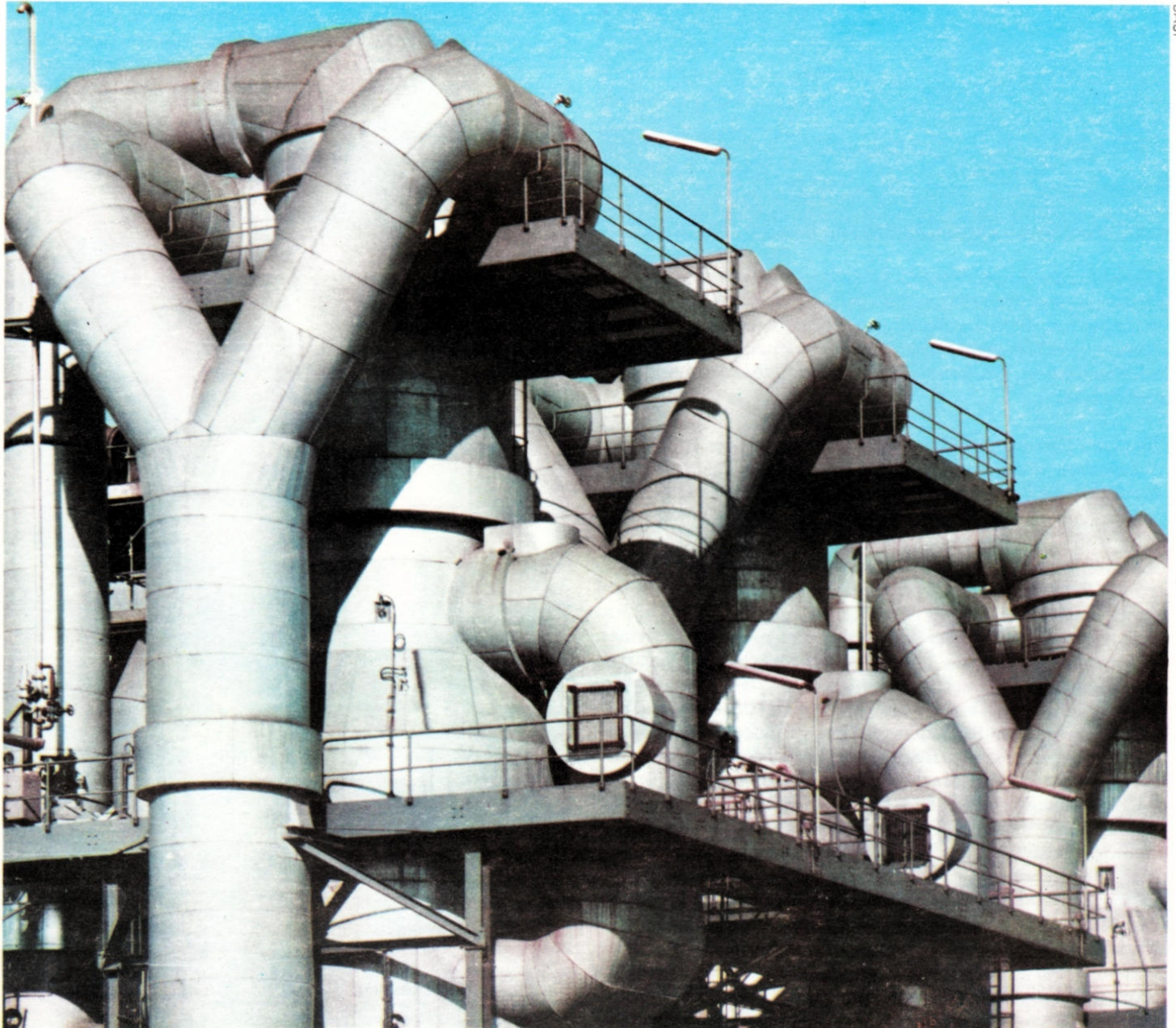
Bei einer direkten Polymerisationsreaktion wird eine geringe Anzahl von Monomeren in dem Reaktionsmedium mit Hilfe von Wärmeenergie, Druck oder einem zusätzlichen Initiator (Katalysator) aktiviert. Die aktivierten Monomere weisen gewöhnlich reaktive Endgruppen auf, die entweder ionisch sind (positiv oder negativ geladen, siehe IONEN) oder ein freies

Elektron haben ein Außenelektron, das nicht in die chemische Bindung einbezogen ist (siehe ATOME UND MOLEKÜLE). Diese reagieren leicht mit den nichtaktivierten Monomeren. Das Ergebnis der Reaktion zwischen einem aktivierten und einem nichtaktivierten Monomer ist ein aktiviertes Molekül, das aus zwei Monomereinheiten besteht, die dann mit einem weiteren Monomermolekül reagieren können. Die Monomere bilden auf diese Weise Ketten, bis sie deaktiviert werden, zum Beispiel durch die Reaktion mit einem weiteren aktivierten Monomer. Die entstandenen Polymermoleküle können Hunderte von Monomereinheiten enthalten. Ein Polyethylenmolekül wird zum Beispiel typischerweise aus einer Kette von mehr als 1000 Ethyleneinheiten bestehen.

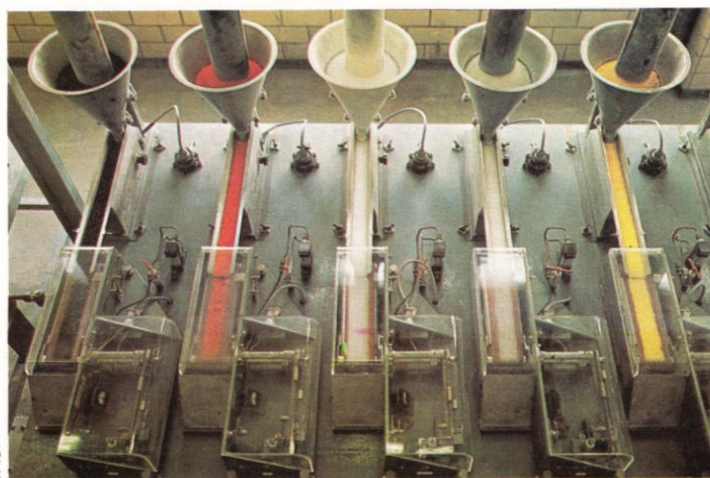
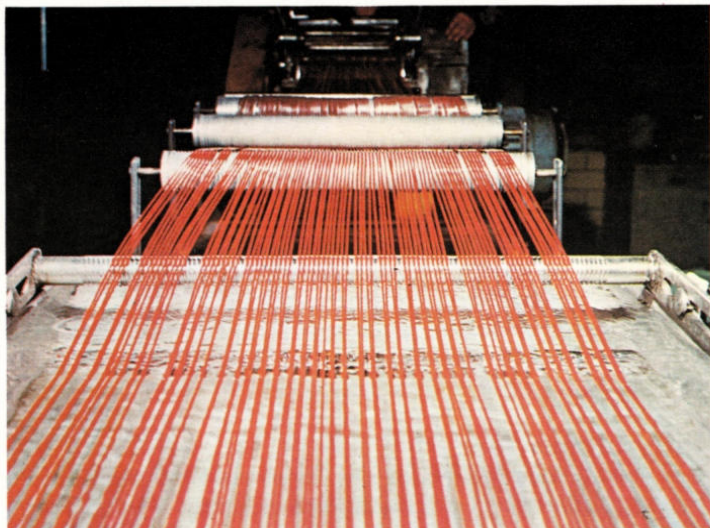
### Polymerisation

Im wesentlichen gibt es in der Industrie fünf verschiedene Polymerisationsprozesse: Blockpolymerisation, Niederschlagspolymerisation, Lösungspolymerisation, Perlpolymerisation und Emulsionspolymerisation. Die Blockpolymerisation wird

*Auf dieser Abbildung ist eine Anlage zu sehen, die für die Großproduktion von Styrol aus Ethylen und Benzol bestimmt ist. Es werden jährlich riesige Mengen Styrol für die Polymerisation zu Polystyrol hergestellt.*







**Oben:** Bei der thermischen Blockpolymerisation von Polystyrol wird die polymerisierte Masse aus dem Reaktor in eine Strangpresse gegeben, die sie zur Bildung von Fäden durch eine mit Löchern versehene Form preßt. Darunter eine automatische Verteilervorrichtung, die Farbstoffmengen zum Färben von Polystyrol genau abgibt.

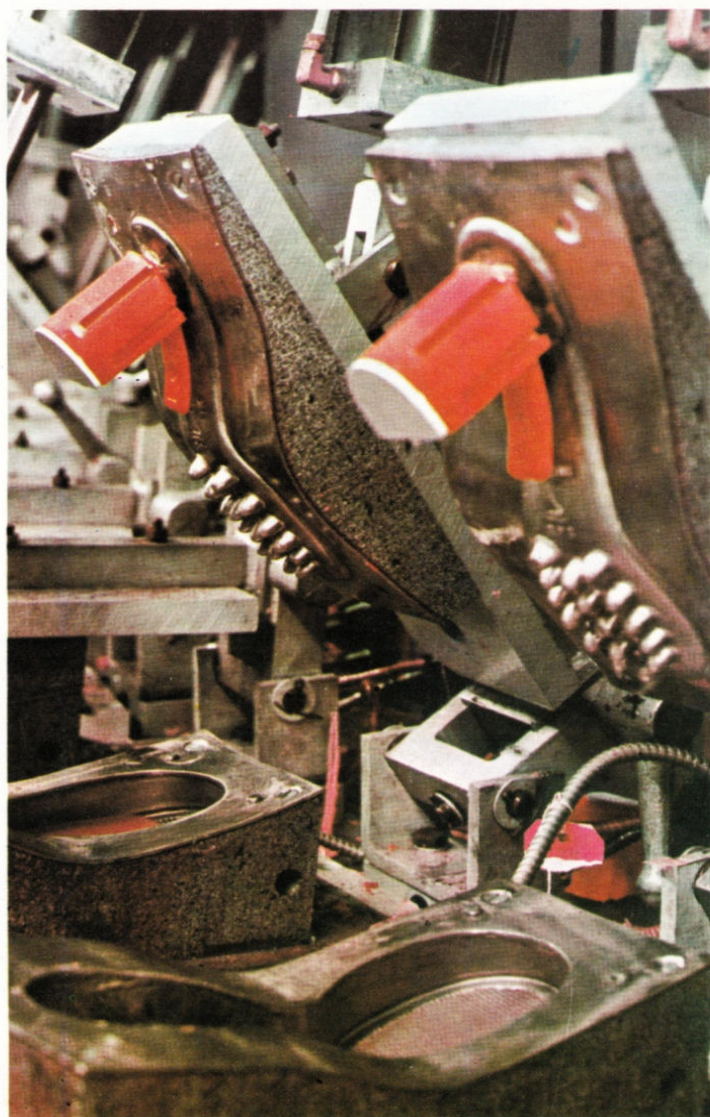
**Rechts:** Formen zur Herstellung von Polyurethan-Schuhsohlen. Wenn die Vorrichtung in Betrieb ist, werden die zwei Formhälften mit Hilfe von Druckkolben zusammengedrückt.

ohne ein Verdünnungsmittel durchgeführt, mit anderen Worten das Reaktionsgemisch besteht nur aus dem Monomer und einem Katalysator. Wenn das Polymer in dem Monomer unlöslich ist oder wenn das Monomer, und nicht das Polymer, in dem hinzugegebenen Lösungsmittel löslich ist, nennt man den Vorgang Niederschlagspolymerisation, weil das Polymer — gewöhnlich in Form von kleinen Teilen — ausfällt, sobald es in dem Reaktionsmedium gebildet wird. Bei der Lösungspolymerisation sind sowohl das Monomer als auch das Polymer in dem Reaktionslösungsmittel löslich, so daß Polymerlösungen gewonnen werden. Wenn die Polymerisation in einer wäßrigen Phase (Wasser) stattfindet, bezeichnet man den Prozeß als Perlpolymerisation. In diesem Falle sind die Monomere zu Beginn der Polymerisation kugelförmige Tröpfchen, und die aktivierten Monomere werden innerhalb dieser Tröpfchen gebildet. Wenn die aktivierten Monomere eher in der wäßrigen Phase als in den Monomertröpfchen gebildet und dem Reaktionsmedium Emulgatoren zugesetzt werden, nennt man den Prozeß Emulsionspolymerisation. Der Emulgator bewirkt, daß die Monomere

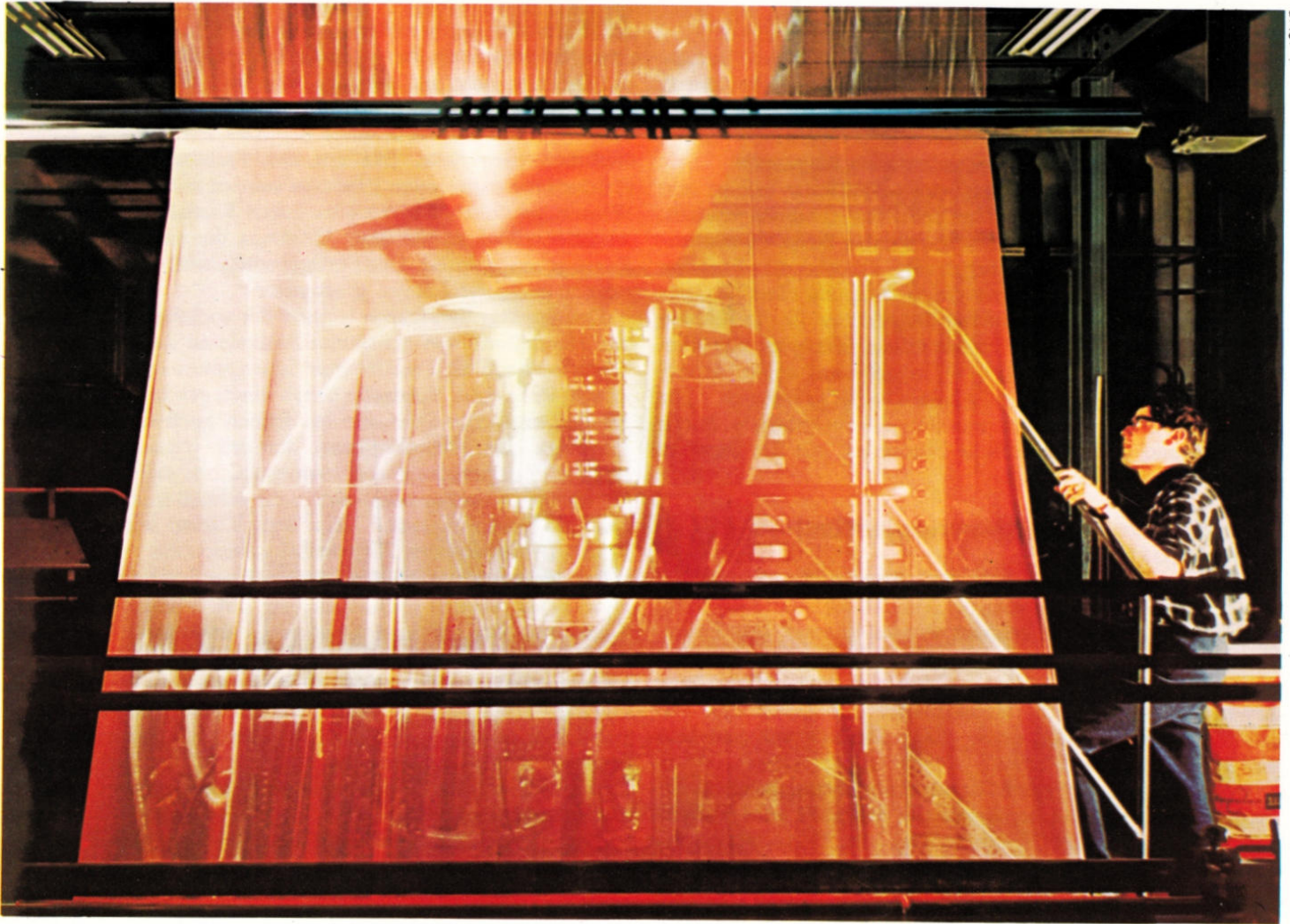
in dem Reaktionsmedium fein verteilt sind, so daß die gebildeten Monomer- und Polymerteilchen viel kleiner sind als bei der Perlpolymerisation.

Die wichtigsten, durch direkte Polymerisation gewonnenen Kunststoffe gehören auch zu den wichtigsten Kunststoffen bezüglich des Produktionsvolumens. Es sind die Polyolefine, die Vinylchloridpolymere und die Styrolpolymere. Diese drei Polymere machen 67% (Polyolefine 33%, Vinylchloridpolymere 20% und Styrolpolymere 14%) der gesamten jährlichen Kunststoffherstellung in der westlichen Welt aus. Die bedeutendsten Polyolefine sind die polyethylene und Polypropylene.

Der monomere Baustein für Polyethylen ist Ethylen,  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ , ein Gas mit einem Siedepunkt von etwa  $-100^\circ\text{C}$ , das eines der wichtigsten Erzeugnisse der Petrochemie ist (siehe BENZIN). Wenn die Polymerisation bei hohem Druck stattfindet (100 bis 300 mal höher als Luftdruck), wird Polyethylen mit niedriger Dichte (LDPE — low density polyethylene) erzeugt. Polymerisation bei einem Druck etwa in Höhe des Luftdruckes (bis zu 40 bar) führt zu Polyethylen mit hoher Dichte (HDPE — high density polyethylene). LDPE wird durch Blockpolymerisation hergestellt, während HDPE in einem Niederschlagspolymerisationsprozeß erzeugt wird. Der Initiator ist im Falle von LDPE gewöhnlich Sauerstoff und bei HDPE ein Ziegler-Natta-Katalysator (nach den Erfindern benannt). Bei beiden Verfahren ist der letzte Schritt die Granulation. Weithin bekannte Markenbezeichnungen für Polyethylen sind Lupolen und Alkathen. Die Polymerisation von Propylen,  $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ , findet unter ähnlichen Bedin-







Plastikfolien entstehen, indem man geschmolzenen Kunststoff durch eine Strangpresse laufen läßt. Die Presse kann entweder ringförmig oder flach sein.

ungen statt wie bei dem Verfahren zur Herstellung von HDPE.

Die Vinylchloridpolymere werden durch Polymerisation von Vinylchlorid,  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ , hergestellt, und zwar gewöhnlich durch eine Perl- oder Emulsionspolymerisation. Monomerisches Vinylchlorid ist gasförmig und siedet bei  $-14^\circ\text{C}$ . Das Verfahren wird bei einem Druck, der etwa zehnmal höher ist als der Luftdruck, in großen Reaktoren aus Edelstahl oder glasiertem Stahl durchgeführt. Das Polyvinylchlorid(PVC)-Erzeugnis kann nach einem der vielen herkömmlichen Trocknungsverfahren aus der Suspension oder Emulsion gewonnen werden. Während das Suspensions-PVC aus Teilchen von etwa 0,1 mm Durchmesser besteht, sind die Primärteilchen des Emulsions-PVC viel kleiner, sie bilden aber durch Agglomeration größere Teilchen.

Zur Herstellung von Styrolpolymeren können fast alle herkömmlichen, hier beschriebenen Polymerisationsmethoden angewendet werden.

Die Ausgangsmaterialien für die Acrylkunststoffe sind die Ester der Acrylsäure,  $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$ , und der Methacrylsäure,  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ , sowie von Acrylnitril,  $\text{CH}_2=\text{CHCN}$ . Methacrylsäuremethylester,  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$ , der einer Blockpolymerisation unterzogen wird, führt zu Acrylglas ('Perspex' oder 'Plexiglas'). Reines oder leicht modifiziertes Polyacrylnitril ist ein Ausgangsmaterial für synthetische Fasern wie Orlon und Courtele. Acrylester können durch Emulsionspolymerisation mit einer

Reihe von anderen Monomeren gemischt werden und ergeben latexartige Erzeugnisse, die hauptsächlich zur Veredlung von Geweben, Papier und Leder verwendet werden.

### Polykondensation und Polyaddition

Bei der Polykondensation werden die Polymermoleküle durch die Reaktion zwischen Monomeren, die jeweils zwei oder mehr reaktive Gruppen aufweisen, gebildet. Den Reaktionsvorgang versteht man am besten, wenn man sich zuerst eine einfache Kondensationsreaktion zwischen Molekülen mit jeweils nur einer einzigen reaktiven Gruppe vorstellt. Essigsäure ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) reagiert zum Beispiel mit Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) und ergibt den Essigsäureethylester ( $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ ), wobei das Wasser ausgeschieden wird. Die Reaktion findet zwischen der Säuregruppe ( $-\text{COOH}$ ) des Essigsäuremoleküls und der Alkohol- oder Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) des Äthanolmoleküls statt. Wenn das Säuremolekül zwei Säuregruppen und der Alkohol- oder Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) des Ethanolmoleküls, langkettige Moleküle aufzubauen. Und genau dies geschieht bei der Polykondensation. Der Polyester Terylen (Dacron) wird durch eine Reaktion zwischen Ethylenglykol,  $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$ , und Terephthalsäure,  $\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$ , hergestellt. Er besteht aus einer Kette mit der folgenden Struktur:  $-\text{OOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$ . Wenn die Ausgangsmaterialien nur zwei reaktive Gruppen aufweisen, gewinnt man lineare Polykondensate. Wenn sie aber mehr als zwei solcher Gruppen haben, werden verzweigte Ketten oder vernetzte Kunststoffe gebildet. Die Struktur eines vernetzten Kunststoffes kann man sich als dreidimensionale Vernetzung vorstellen. Es ist ein spezielles Merkmal der Polykondensationsreaktionen, daß Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht (Wasser im Fall von Polyestern)



während der Polymerisation ausgeschieden werden.

Typische Polykondensations-Kunststoffe sind die Formaldehydharze, wie z.B. die Bakelit-Kunststoffe, die durch Kondensieren von Formaldehyd mit einem Phenol hergestellt werden. Nylon 6 und Nylon 6,6, die beide Polyamide sind, werden auch durch Polykondensation hergestellt.

Polyaddition ist ein Vorgang, der schrittweise erfolgt und Monomere mit mindestens zwei reaktiven Gruppen umfaßt. Im Gegensatz zur Polykondensation werden keine Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht während der Reaktion ausgeschieden, sie umfaßt nur die Wanderung eines Wasserstoffatoms. Ein gutes Beispiel für Polyaddition ist die Bildung von Polyurethan-Kunststoffen aus einem Monomer mit mindestens zwei Isocyanat( $\text{—NCO}$ )-Gruppen und einem Monomer mit mindestens zwei Alkohol( $\text{—OH}$ )-Gruppen. Die Isocyanatgruppen reagieren mit den Alkoholgruppen durch Addition und bilden chemische Bindungen mit der Struktur  $\text{—NH—CO—O—}$ .

### Verarbeitung von thermoplastischen Kunststoffen

Thermoplastische Kunststoffe sind Kunststoffe, die bei Erwärmung weich werden, aber bei Abkühlung wieder erhärten, wodurch sie sehr leicht geformt werden können. Das Erweichen und erneute Hartwerden verändert die Eigenschaften eines thermoplastischen Kunststoffes nicht wesentlich. Beim Erwärmen wird ein thermoplastischer Kunststoff erst elastisch wie Gummi und dann völlig plastisch wie eine sehr viskose Flüssigkeit.

Das Strangpreßverfahren, das in einer Strangpresse durchgeführt wird, ist eine herkömmliche Methode zum Formen von thermoplastischen Kunststoffen. Eine Strangpresse besteht aus einem erwärmten, druckbeständigen Zylinder, in dem sich eine schneckenförmige Schraube befindet, ähnlich wie in einem Haushaltsfleischwolf. Die Schraube befördert Körnchen des Kunststoffes bei einer Temperatur von etwa  $200^{\circ}\text{C}$  und einem Druck von 100 bar bis 300 bar durch eine erwärmte Gußform. Nach dieser Methode kann abhängig von

der Form der Gußformöffnung eine große Anzahl von verschieden geformten Erzeugnissen hergestellt werden. Wenn die Öffnung rund ist, werden Stäbe oder Fäden hergestellt, wenn sie ringförmig ist, werden Rohre und Leitungen gebildet und wenn sie die Form eines Schlitzes hat, werden Kunststoffolien hergestellt. Die aus der Preßform kommenden, gleichmäßig anfallenden Produkte werden mit Hilfe von Luft, Wasser, gekühlten Walzen oder durch Kontakt mit gekühlten Metalloberflächen, die dem Abschnitt die endgültige exakte Form geben, gekühlt. Das Fertigprodukt wird dann aufgerollt oder in geeignete Längen geschnitten.

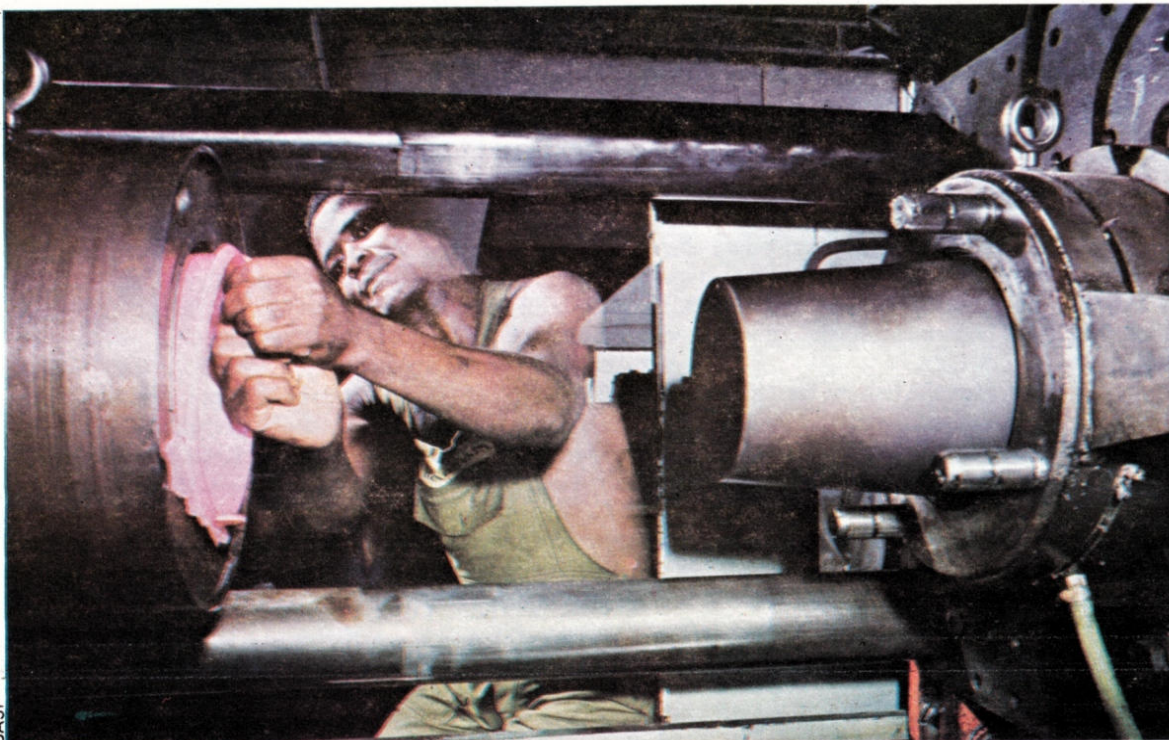
Das Spritzgußverfahren ist eine der wichtigsten Methoden zur Herstellung von geformten Artikeln in großen Mengen. Der Kunststoff wird wie in einer Strangpresse erweicht, indem er mit Hilfe einer Schraube durch einen erwärmten Zylinder geleitet wird. Die Schraube hat jedoch noch die zusätzliche Funktion eines Druckkolbens, der den erweichten Kunststoff bei Temperaturen von etwa  $180^{\circ}\text{C}$  bis  $300^{\circ}\text{C}$  und einem Druck von 1000 bar oder mehr sehr schnell in eine gekühlte Stahlgußform einspritzt. Nach dem Kühlen wird die Gußform geöffnet und der Formartikel entnommen.

Das Blasverfahren wird zur Herstellung von hohlen Gegenständen mit kleinen Öffnungen, wie z.B. Flaschen, Krügen, Kanistern, Kesseln und Spielzeug, verwendet. Ein Stück erweichtes Kunststoffrohr (häufig Polyethylen) wird stranggepreßt und in eine zweiteilige Blasform eingeführt. Wenn sich die Form schließt, preßt sie ein Ende des Rohrabschnittes zusammen und verschließt es. Druckluft wird in das andere Ende des Rohres geblasen, bis es an der gekühlten Form anliegt und fest wird. Dann wird die Form geöffnet und der Gegenstand entnommen.

Thermoverformung ist ein Verfahren zur Herstellung von geformten Gegenständen wie Schüsseln oder Becher aus Kunststoffolienmaterial. Die mehr oder weniger dicke Folie wird mit Infrarotstrahlung auf eine Temperatur von  $120^{\circ}\text{C}$  bis  $180^{\circ}\text{C}$  erwärmt, bis sie weich ist. Sie wird dann durch Anwendung eines Vakuums von einer einteiligen Form angesaugt. Nach dem Abkühlen (Festwerden) wird der geformte Gegenstand von dem Rest der Folie getrennt.

Beim Schleuderverfahren wird Kunststoffpulver in eine erwärmte hohle Metallform gegeben, die dann langsam über zwei im rechten Winkel zueinander stehende Achsen rotiert.

*Unten: Herstellung von Lupolen-Eimern in Kamerun. Lupolen ist ein thermoplastischer Kunststoff.*

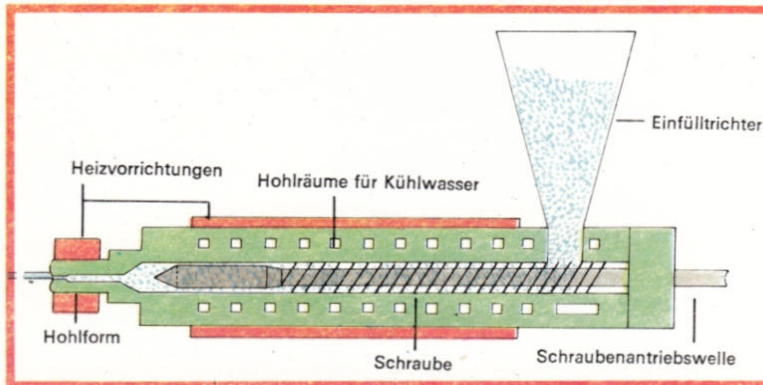


BASF

FORMICA







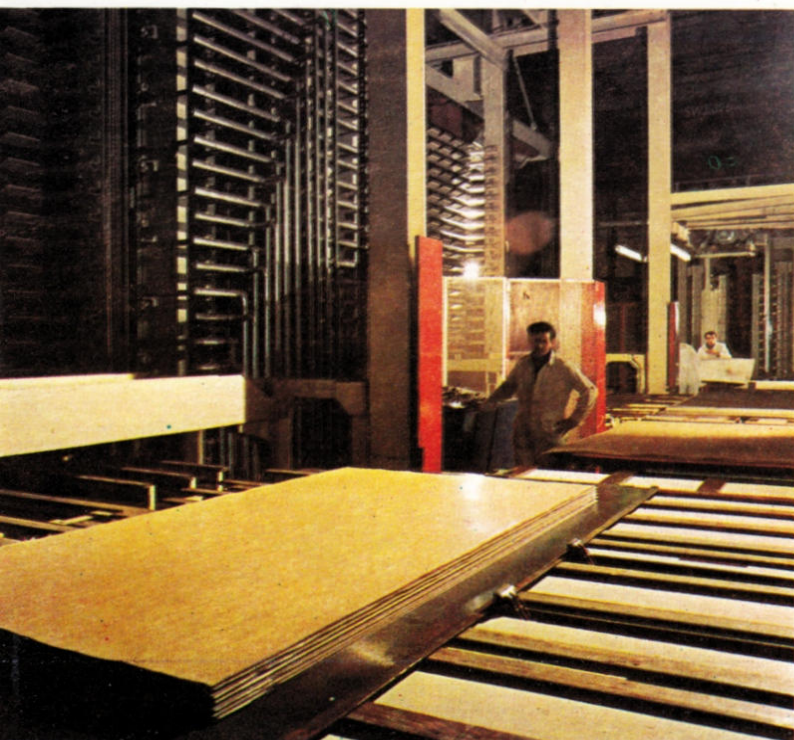
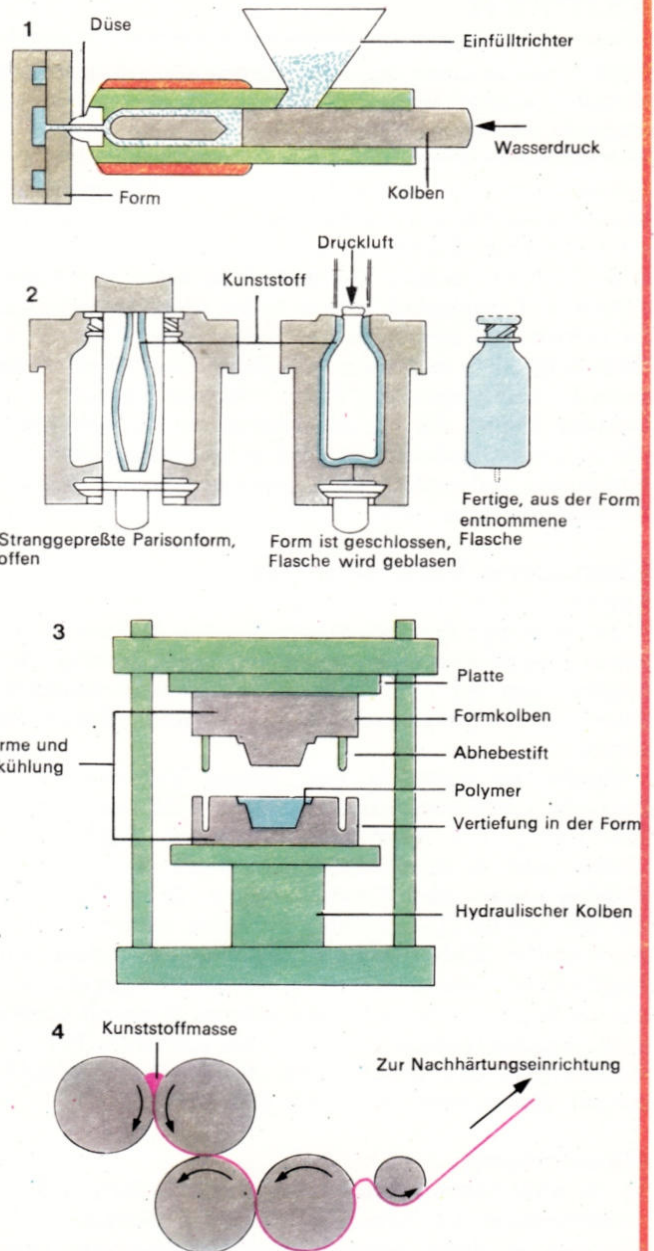
**Oben:** Strangpressen. Körniges Polymer wird mit Hilfe der rotierenden Schraube durch den erwärmten Zylinder der Strangpresse und dann durch eine Hohlform gedrückt.

**Rechts:** Vier herkömmliche Verfahren der Kunststoffherstellung: Spritzgußverfahren (1), Blasverfahren (2), Formpressen — eine Art davon wird zur Herstellung von Schallplatten verwendet (3), und das sogenannte Kalandern (4).

Auf diese Weise schmilzt das Pulver und wird gleichmäßig über die gesamte Innenfläche der Form verteilt. Nach dem Abkühlen wird die Form geöffnet und der geformte hohle Gegenstand entnommen.

### Verarbeitung von hitzehärtbaren Harzen

Während ihrer Herstellung machen hitzehärtbare Kunststoffe eine chemische Umwandlung durch, die Aushärten genannt wird. Dieses Aushärten wird durch die Wirkung von Wärme oder durch den Zusatz von Chemikalien herbeigeführt. Vor dem Aushärten sind hitzehärtbare Materialien flüssig, teigartig oder fest, aber sie können unter dem Einfluß von Druck und Wärme geformt werden. Nach dem Aushärten sind sie unlöslich und können selbst bei hohen Temperaturen nicht mehr verformt werden. Die Reaktionszeit (die zum Aushärten erforderliche Zeit) beträgt gewöhnlich mehrere Stunden im Fall von Kalthärten und einige Minuten bei Warmhärten. Die herkömmlichsten hitzehärtbaren Kunststoffe sind die Formal-



dehydharze wie z.B. Bakelit.

Beim Formpressen wird eine bestimmte Menge von körnigem, teigartigem oder sogar flüssigem Harz, oft zusammen mit einem Aushärtungskatalysator, einem Füllmittel und einem Verstärkungsmaterial (wie z.B. Glasfaserstoff oder eine Glas-seidenmatte), in eine Preßform gegeben, die im allgemeinen aus Stahl besteht. Die Form wird geschlossen und das Harz in die gewünschte Form gepreßt. Der geformte Gegenstand bleibt in der Preßform, bis die Aushärtung beendet ist. Wenn das Harz mit Hilfe von Wärme ausgehärtet wird, ist die Form mit einer Heizanlage ausgerüstet. Die geformten Gegenstände können noch im heißen Zustand aus der Form entnommen werden.

Hitzehärtbare Harze können auch in einer Spritzgußmaschine verarbeitet werden. Sie werden in dem Zylinder erhitzt und bei hohem Druck in eine heiße Form, in der das Aushärten stattfindet, eingespritzt.

**Links:** Schichtstoffe aus Plastik werden aus harzimprägnierten Papierschichten hergestellt, die hohen Temperaturen und Belastungen ausgesetzt werden.



## KUPFER

**Kupfer, heute eines der wichtigsten nichtmagnetischen Metalle, wurde während der ausgehenden Steinzeit entdeckt und verwendet.**

Neben Aluminium ist Kupfer eines der wichtigsten nichtmagnetischen Metalle. Es hat eine hellrote Färbung und ist gut verformbar. Kupfer ist wenig anfällig gegen Korrosion. Seine hervorstechendste Eigenschaft ist seine hervorragende elektrische Leitfähigkeit. Neben Silber ist es der beste Leiter für elektrischen Strom. In der Industrie wird Kupfer vielfältig eingesetzt, und zwar angefangen von Oberleitungen, durch die viele Megawatt ( $1 \text{ MW} = 1 \text{ Million Watt}$ ) elektrischer Leistung fließen, bis hin zu elektrischen Verdrahtungen im Hause. (Für Oberleitungen wird in steigendem Maße auch Aluminium verwendet.) In Legierungen kommt Kupfer in Messing und Bronze vor.

### Chemische Eigenschaften

Kupfer ist eines der Übergangselemente. Es kommt in der 1. Nebengruppe des Periodensystems vor. Weitere Elemente dieser Gruppe sind Silber und Gold. Der Schmelzpunkt des Kupfers liegt bei  $1083^\circ\text{C}$ . Es ist nur in stark oxidierenden Säuren wie Salpetersäure oder konzentrierter Schwefelsäure löslich.

Kupfer ist einwertig (mit einem Valenzelektron; als Ion:  $\text{Cu}^+$ ) und zweiwertig (mit zwei Valenzelektronen; als Ion:  $\text{Cu}^{++}$ ). Die Salze des einwertigen Kupfers heißen Cupro- oder Kupfer(I)-Salze, diejenigen des zweiwertigen Kupfers Cupri- oder Kupfer(II)-Salze. In einer Lösung ist nur das Kupfer(II)-Ion stabil. Bekannte Verbindungen sind Kupfersulfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), das auch unter dem Namen Kupfervitriol bekannt ist. Es ist ein blaues, kristallines Salz, das als Beizmittel beim Färben oder als Fungizid verwendet wird. Kupfer(II)-oxid ( $\text{CuO}$ ) ist ein schwarzes Pulver und verleiht Glas eine grüne Farbe. Kupfer(I)-oxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) ist ein unlösliches, rotes Pulver, das Glas rot färbt.

### Gewinnung

Es ist wohl kaum überraschend, daß das Metall, das dem Bronzezeitalter den Namen gab, gediegen (Vorkommen eines Elements in einem Mineral in nichtgebundenem Zustand) vorkommt. Kommerziell wird Kupfer aus sulfidischen (Kupferglanz ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) oder Kupferkies ( $\text{CuFeS}_2$ )) oder oxidischen (Kupfer(I)-oxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )) Kupfererzen gewonnen. Umfangreiche Kupfervorkommen sind in den Vereinigten Staaten von Amerika, in der Sowjetunion, in Kanada, in Chile und in Sambia gefunden worden. Viele der Kupfererze kommen in Verbindung mit Porphyr-Ablagerungen vor.

Schwefelhaltige Kupferkiese als wichtigstes Ausgangsmaterial für die Gewinnung werden im Schmelzverfahren reduziert und gereinigt. Bei Erzen aus Kupferoxid wird das Kupfer nach naßmetallurgischen Verfahren gewonnen.

Die erste Stufe bei der Kupfergewinnung aus sulfidischen Kupfererzen ist die Entfernung von soviel Gestein wie möglich. Hierzu verwendet man ein Schaumaufbereitungsverfahren. Das abgebaute Material wird zusammen mit oberflächenaktiven Mitteln in ein Wasserbad gebracht. Anschließend wird Luft durchgeblasen. Durch das oberflächenaktive Mittel lagern sich die kleinen, kupferhaltigen Erzteilchen an die Luftblasen an und werden zur Oberfläche geschwemmt, wo sie abgeschöpft werden.

Kupfersulfid wird immer in Verbindung mit Eisensulfid gefunden. Der anfängliche Gewinnungsprozeß ist so ausgelegt, daß möglichst viel Eisen entfernt wird. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, daß Kupfer bei hohen Temperaturen eine geringere Affinität (Neigung, sich mit einem anderen



**Oben:** Kupfergewinnung in Bougainville, Papua Neu Guinea. Kupfererz wird mit einem Eimerbagger in einen Lastwagen verladen.

**Unten:** Kupfer wird oft im Tagebau gewonnen. Hier eine Mine in Lornex, Britisch-Kolumbien.







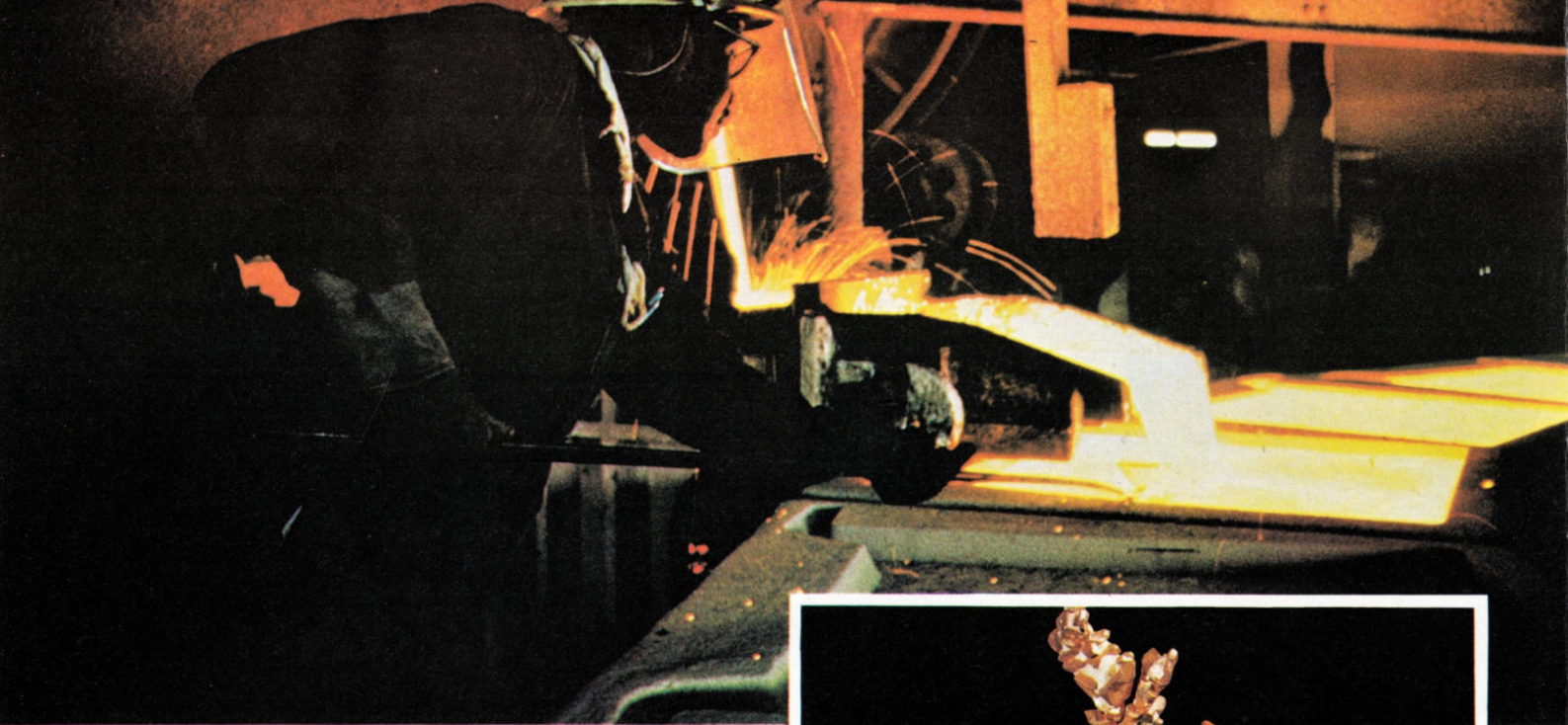
**Oben:** Kupferbarren, die zu Draht verarbeitet werden, in einer Raffinerie in Südafrika.



**Rechts:** Der sogenannte Kupferstein, eine Mischung von Kupfersulfid und Eisensulfid, wird in einen 'Konverter' gegossen, um das Eisensulfid zu beseitigen.







INST. OF GEOL. SCI.

Element zu verbinden) zu Sauerstoff als zu Eisen oder Schwefel hat. Im ersten Ablauf — man nennt ihn Schmelzarbeit — wird das Erz in einem Ofen geschmolzen, wobei Eisensulfid oxidiert. Das entstandene Eisenoxid reagiert mit den kiesel säurehaltigen Zuschlägen, die zugesetzt wurden. Das flüssige Gemisch von Eisensilikatschlacke schwimmt an der Oberfläche. Zurück bleibt eine Anreicherung von Kupfersulfid und Eisensulfid, das man 'Kupferstein' nennt. Der Kupferstein wird von Zeit zu Zeit am Boden abgestochen.

Der geschmolzene Kupferstein wird zur Beseitigung des Eisensulfids und zur Entschwefelung des Kupfers in einen 'Konverter' gebracht, in den man von der Seite Luft einbläst. Hierbei wird das Eisensulfid des Kupfersteins in Eisenoxid umgewandelt, das mit zugeschlagenem Quarz verschlackt. Nach Beendigung der Verschlackung gießt man die Schlacke ab. Die durch den Oxidationsprozeß entstehende Wärmeenergie reicht aus, um den im Konverter enthaltenen Rest geschmolzen zu halten. Im nächsten Ablauf wird der Verblasungsprozeß fortgesetzt, wobei Kupfersulfid zu metallischem Kupfer reduziert wird. Als Nebenprodukt fällt Schwefeldioxid an.

Nach Abschluß der Reaktion wird das Kupfer abgegossen. Während der Verfestigungsphase wird viel Schwefeldioxid freigesetzt. Einige der Blasen bleiben jedoch in dem Kupfer eingebaut, wodurch das Kupfer ein mit Blasen bedecktes Aussehen erhält. Man spricht deshalb auch von Blaskupfer (auch Roh- oder Schwarzkupfer).

Die Gewinnung des Kupfers aus oxidischen Erzen beginnt mit dem Lösen dieser Erze in Schwefelsäure. Der Eisengehalt der Lösung wird durch Zusetzen anderer chemischer Stoffe herabgesetzt. Das Kupfer wird durch Elektrolyse gewonnen. Im Falle sehr verdünnter Lösungen von kupferarmen Erzen wird das Kupfer durch Zufügen von Eisenschrott ausgefällt. Im Vergleich zu dem Schmelzen von sulfidischen Erzen wird dieses Verfahren der Kupfergewinnung selten angewendet.

## Raffination

Die Reinigung des Rohkupfers, das zu 94% bis 97% aus Kupfer mit Beimengungen von z.B. Zink, Blei, Arsen, Eisen, Nickel, Schwefel besteht, wird zuerst in der Raffinationsschmelze und anschließend in der elektrolytischen Raffination durchgeführt.

Beim Raffinationsschmelzen wird das Rohkupfer wieder geschmolzen. Durch Luftzufuhr werden Verunreinigungen durch Oxidation beseitigt. Die Oxide werden so lange von der Oberfläche der Schmelze abgeschöpft, bis der gesamte Schwefel aus der Schmelze entfernt ist. Das noch vorhandene Kupfer-

**Ganz oben:** Prozeß der Kupferschmelzung. Flüssiges Kupfer wird in Formen gegossen.

**Oben:** Ein Gebilde, in dem Kupfer in Form von Kupferkristallen natürlich vorkommt. Dieser Ablagerungstyp wird gediegenes Kupfer genannt. Hier ist es in Marmor eingebettet.

oxid wird durch Zusatz von Holzkohle oder Anthrazit reduziert. Das so erhaltene 'Garkupfer' hat einen Reinheitsgrad von 99% und mehr.

Rohkupfer ist zur elektrolytischen Raffination wenig geeignet. Deshalb wird bevorzugt Garkupfer einem elektrolytischen Prozeß unterzogen. Das Garkupfer wird in Form 3 cm dicker, großer Platten gegossen, die als Anode dienen. Als Katode verwendet man Feinkupferblech und als Elektrolyten schwefelsaure Kupfersulfatlösung. Das durch Elektrolyse gewonnene Kupfer ist reiner als 99,98%. Als Nebenprodukte dieses Verfahrens erhält man Edelmetalle, die in dem Garkupfer enthalten sind.

## Elektrische Eigenschaften

Völlig reines Kupfer ist ein außergewöhnlich guter elektrischer Leiter. Bei nur geringfügigen Verunreinigungen kann die Leitfähigkeit erheblich zurückgehen. Bei einem Gehalt von beispielsweise 0,15% Phosphor halbiert sich die Leitfähigkeit. Verunreinigungen mit einigen anderen Elementen haben weniger großen Einfluß auf die Leitfähigkeit. Es kann z.B. 1% Cadmium zugefügt werden, bevor die Leitfähigkeit um 10% reduziert wird. Diese Elemente können — etwa in Oberleitungen — dazu verwendet werden, die Festigkeit des Kupfers zu erhöhen, ohne die Leitfähigkeit zu sehr herabzusetzen.



## KUPPLUNG

Die bekannteste Art der Kupplung ist die, die in Personen- und Lastkraftwagen beim Schalten der Gänge zum Trennen der Kraftübertragung zwischen Motor und Getriebe benutzt wird. Es gibt jedoch zahlreiche andere Kupplungsarten, die in vielerlei Maschinen Verwendung finden — angefangen bei elektrischen Schreibmaschinen bis hin zu Werkzeugmaschinen.

Eine Kupplung ist eine Vorrichtung, mit deren Hilfe zwei Bauteile, gewöhnlich Antriebswellen, verbunden oder getrennt werden können. Obgleich man sie im allgemeinen in Kraftfahrzeugen findet, gibt es eine Vielzahl von Kupplungen für industrielle Anwendungsbereiche. Elektromagnetische Kupplungen, Einscheiben-Trockenkupplungen, Mehrscheiben-Trockenkupplungen, im Ölbad laufende Mehrscheibenkupplungen, Fliehkraft-Kupplungen und Flüssigkeitskupplungen sind nur einige der vielen bekannten Kupplungsarten.

Im Kraftfahrzeug hat die Kupplung die Aufgabe, während des Schaltvorganges den Kraftfluß vom Motor zu den angetriebenen Rädern zu unterbrechen und es dem Motor anschließend zu ermöglichen, seine Drehzahl ruckfrei zu erhöhen, was besonders wichtig beim Anfahren ist. Man verwendet verschiedene Konstruktionsarten: die Einscheiben-Trockenkupplung für Fahrzeuge mit handgeschaltetem Wechselgetriebe und die Flüssigkeitskupplung (Drehmomentwandler, Fliehkraft-Kupplung) für AUTOMATIKGETRIEBE.

### Einscheiben-Kupplung

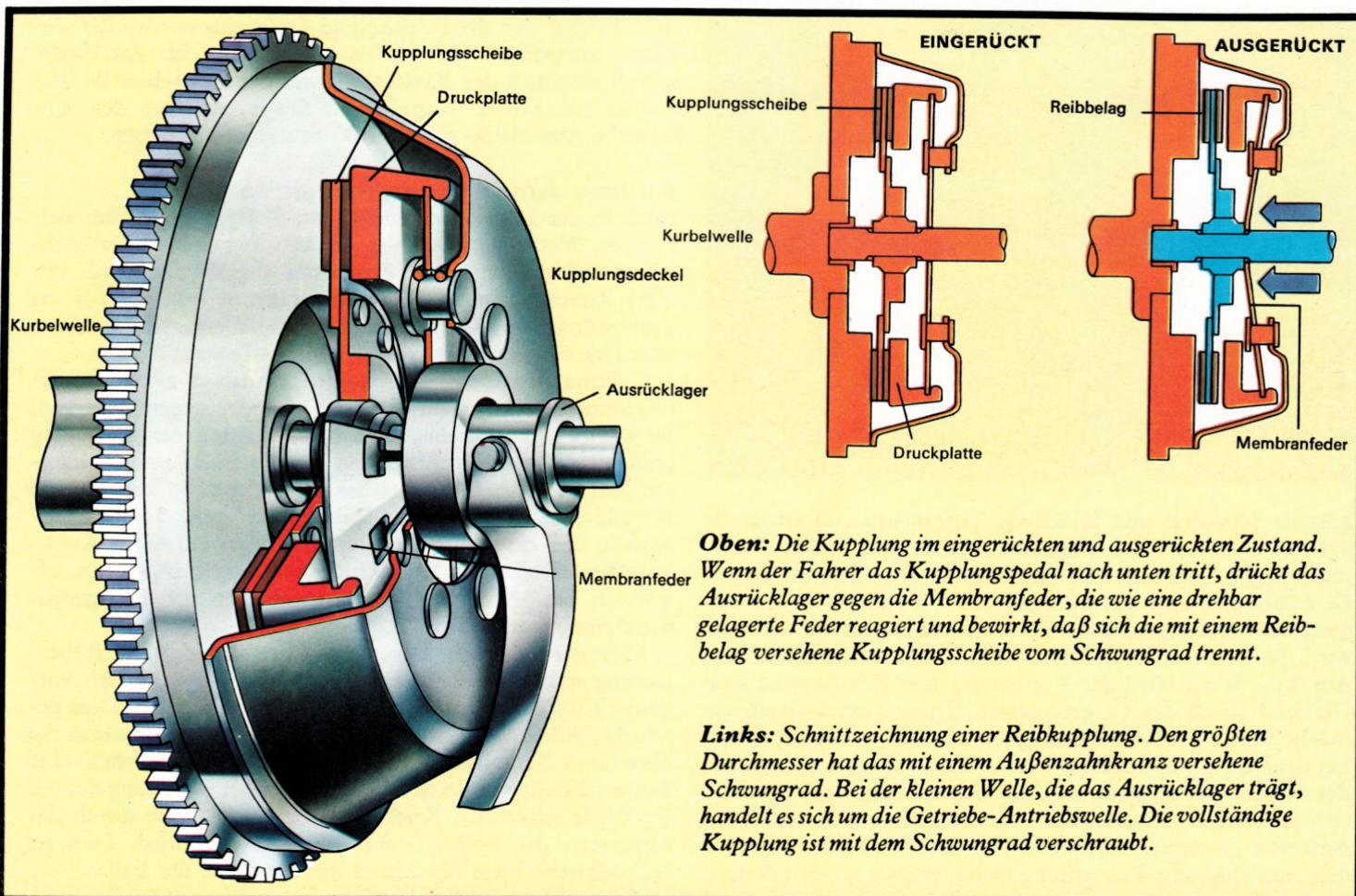
Bei einer Einscheiben-Kupplung wird ein gußeisernes Schwungrad mit dem hinteren Ende der Kurbelwelle (der Abtriebsseite) verschraubt. Die die Kupplungsscheibe berührende Auflagefläche des Schwungrades ist geglättet, um den Reibbelagverschleiß gering zu halten. Die zweiteilige

Kupplungsscheibe hat einen Durchmesser von etwa 20 cm. In ihrer Mitte liegt eine Bohrung, deren Keilnuten (ähnlich der Verzahnung eines Zahnrads) denen auf der Getriebe-Antriebswelle entsprechen. Diese Keilnutbohrung der Kupplungsscheibe ist über 'Dämpferfedern', die den zu Beginn des Kraftschlusses auftretenden Ruck aufnehmen, mit dem äußeren Reibbelagteil verbunden. Auf dem äußeren Umfang beider Seiten der Kupplungsscheibe liegt ein 4 cm breiter Reibbelag (Kupplungsbelag) aus hochreibfestem, hitzebeständigem Material, der mit der Kupplungsscheibe vernietet und verklebt ist. Der Kupplungsdeckel aus gepreßtem Stahlblech enthält eine über mehrere Schraubenfedern oder eine Membranfeder wirkende Druckplatte. Diese Federn liefern die zum festen Andrücken der Kupplungsscheibe gegen das Schwungrad erforderliche Kraft.

Wird das Kupplungspedal nach unten getreten, drückt ein hydraulisch oder mechanisch (über Seilzug) betätigtes Ausrücklager auf die Mitte des Kupplungsdeckels und bewegt die Druckplatte von der Kupplungsscheibe fort. Dies führt dazu, daß die Kupplungsscheibe zwischen dem sich drehenden Schwungrad und dem Kupplungsdeckel stillsteht. Jetzt kann ein anderer Gang eingelegt werden. Durch das langsame Zurücknehmen des Kupplungspedals wird die Kupplungsscheibe allmählich wieder mit dem Schwungrad kraftschlüssig und gestattet eine direkte Kraftübertragung von der Kurbelwelle zum Getriebe.

### Flüssigkeits- und Fliehkraftkupplung

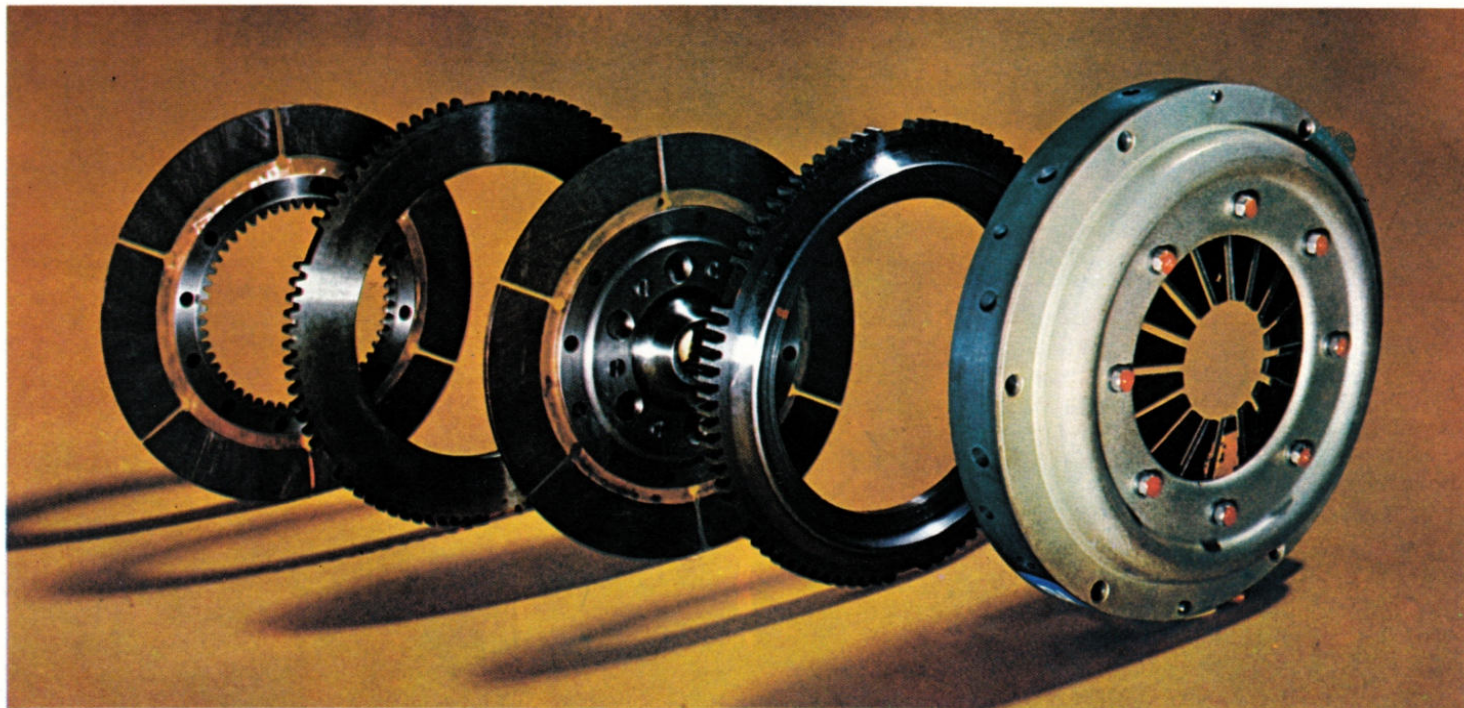
Bei Automatikgetrieben findet eine Flüssigkeitskupplung Verwendung. Wie bei der Trockenkupplung ist ein großes Gehäuse, das alle Teile enthält, mit dem Motorschwungrad verschraubt. Die vordere Gehäusenhälfte ist aus Guß hergestellt, trägt auf der Innenseite eingegossene Schaufeln und dient als Pumpenrad. Das andere große Rad, das an der Getriebe-Antriebswelle angeflanscht ist, trägt ebenfalls ange-



**Oben:** Die Kupplung im eingerückten und ausgerückten Zustand. Wenn der Fahrer das Kupplungspedal nach unten tritt, drückt das Ausrücklager gegen die Membranfeder, die wie eine drehbar gelagerte Feder reagiert und bewirkt, daß sich die mit einem Reibbelag versehene Kupplungsscheibe vom Schwungrad trennt.

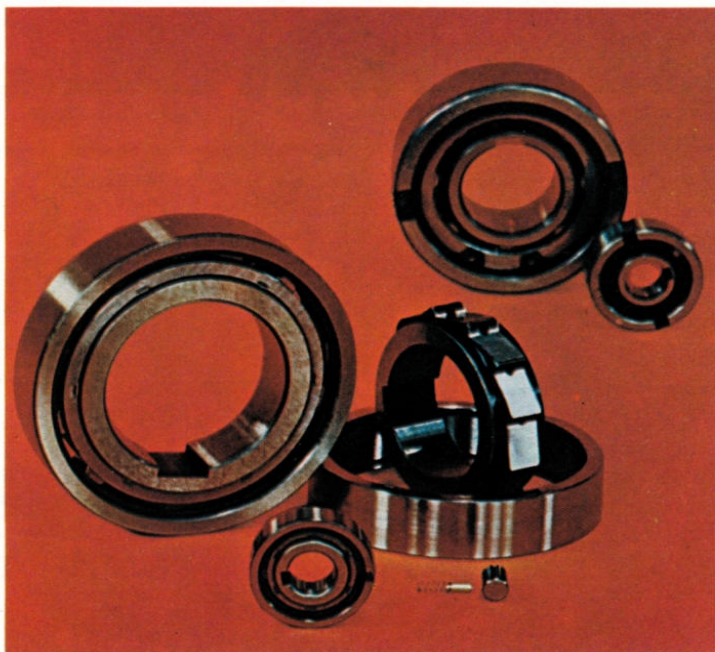
**Links:** Schnittzeichnung einer Reibkupplung. Den größten Durchmesser hat das mit einem Außenzahnkranz versehene Schwungrad. Bei der kleinen Welle, die das Ausrücklager trägt, handelt es sich um die Getriebe-Antriebswelle. Die vollständige Kupplung ist mit dem Schwungrad verschraubt.





**Unten:** Das Bild zeigt eine Richtungskupplung für Industriezwecke. Zwischen dem inneren und dem äußeren Kupplungsteil liegen Bremskeile und schwere Rollenlager. Diese Kupplung sperrt sofort und selbsttätig.

**Oben:** Eine für Formel-1-Rennwagen vorgesehene Zweischeiben-Rennkupplung. Man zieht diese einer normalen Einscheiben-Kupplung vor, um das hohe Drehmoment des Hochleistungsmotors ruckfrei und ohne mechanische Schäden zu übertragen.



gossene Schaufeln und bildet das Turbinenrad. Es ist in die äußere Gehäushälfte eingesetzt, damit sich beide Räder unabhängig voneinander drehen können. Das Gehäuse ist mit Öl gefüllt und nach außen abgedichtet. Wenn die Drehbewegung des Schwungrades um das Turbinenrad herum schneller wird, bildet das Öl Wirbel, die das Turbinenrad mitreißen. Auf diese Weise wird der Kraftstrang vom Schwungrad zum Getriebe durch das Öl geschlossen. Diese Konstruktion ermöglicht, daß das Kraftfahrzeug stehenbleibt, wenn der Motor Leerlauf-Drehzahl betrieben wird. Wird jedoch die Drehzahl des Motors erhöht, gerät das Öl in Umdrehung, was wegen des sich allmählich verstärkenden Kraftschlusses ein ruckfreies Anfahren gestattet. Abgesehen von der Bequemlichkeit, die diese automatische Einrichtung bietet, erspart sie eine Anzahl

beweglicher Teile. Die einzige erforderliche Wartung besteht in regelmäßiger Ölstandskontrolle und regelmäßigem Ölwechsel.

Fliehkraftkupplungen enthalten eine Anzahl von Fliehkraftpendeln (Fliehkörper), die am Schwungrad angebracht sind. Erhöht sich die Schwungrad-Drehzahl, werden die Gewichte zentrifugal nach außen geschleudert, bis der Kraftschluß zwischen der Kraftquelle und der Antriebswelle hergestellt ist. Solche Kupplungen findet man bei den einfacheren Automatik- oder bei Halbautomatikgetrieben.

### Andere Anwendungsbereiche

Auch in der Industrie braucht man Kupplungen: Zum Beispiel bei Werkzeugmaschinen, die anhalten und wieder hochfahren müssen, ohne daß der Motor abgeschaltet wird. Für diese Zwecke kann in abgeänderter Form jede der für die Verwendung im Kraftfahrzeug beschriebenen Kupplungen oder eine elektromagnetische Kupplung benutzt werden.

Elektromagnetische Kupplungen enthalten zwei Elektromagneten, die in einem Gehäuse einander gegenüberliegen. Ist die Anlage stromlos, sind beide Hälften der Kupplung getrennt. Werden die Magneten von einem Strom durchflossen, wird zwischen ihnen über eine selbsttätig einrückende Kupplung oder über Reibscheiben eine Verbindung so hergestellt, daß ein starrer Durchtrieb erfolgt. Bei dieser Kupplungsbauart tritt der Kraftschluß schlagartig und nicht allmählich ein. Allerdings ist dieser Faktor für Fertigungsmaschinen unerheblich.

Aber gerade wegen der plötzlich erfolgenden Kraftübertragung müssen aus Sicherheitsgründen Möglichkeiten vorgesehen werden, den Kraftschluß zu unterbrechen. Dies geschieht, indem in die Kupplung (oder an anderer Stelle in die Maschine) Scherbolzen eingesetzt werden. Sie sehen eine Sollbruchstelle vor, so daß bei schlagartiger Erhöhung des auf die Welle wirkenden Kraftmomentes der Antrieb durch das Abscheren der Bolzen sofort unterbrochen wird. Dies ist beispielsweise beim Blockieren der Maschine der Fall.



## LAGER

Lager verringern die Reibung zwischen beweglichen Teilen. Sie führen nicht nur zu einer Leistungssteigerung der zugehörigen Bauteile, sondern sie verlängern auch die Nutzungsdauer (Standzeit) der beweglichen Teile.



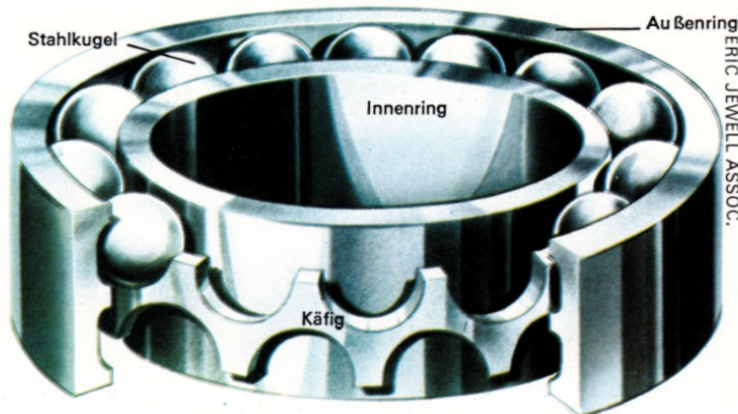
Ein Lager ist eine Vorrichtung, die Reibung verringert und zugleich eine Last trägt. Das bewegliche Teil kann sich entweder drehen, wie z.B. das Rad eines Fahrrades, oder es kann eine hin- und hergehende glatte Fläche sein, wie ein Werkzeugschlitten einer Drehbank gleitet.

Meist wird mit Lagern das Gewicht sich drehender Teile aufgenommen. Lager lassen sich in Wälzlager, Flüssigkeitslager und Gleitlager einteilen.

### Wälzlager

Bereits in der Antike benutzten die Ägypter eine Art Wälzlager, als sie die für den Bau ihrer Pyramiden benötigten gewaltigen Steinquader mit Hilfe untergelegter Rundhölzer transportierten. Sie stellten dabei fest, daß sich auf diese Weise eine beträchtliche Arbeitersparnis erzielen ließ. Unsere heutigen präzisionsgefertigten Wälzlager arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie die Rundhölzer. Bei ihnen liegen zwischen zwei gleitenden Flächen Kugeln oder zylindrische Rollen. Wie bei den Rundhölzern der damaligen Zeit ist der nötige Kraftaufwand zum Abwälzen des einen Teils auf dem anderen im Verhältnis zu dem Kraftaufwand, der erforderlich wäre, das eine Teil über das andere zu schieben, sehr klein.

Rollenlager finden sich heute in den Radnaben und Getrie-



*Oben: Ein als Kugellager ausgeführtes Achslager. Um den Innenring liegt ein verstärkter Gußmetall-Käfig.*

*Links: Ein Rollenlager. Die Rollen können zylindrisch, tonnenförmig, kegelförmig oder doppelkegelförmig sein.*

ben von Kraftfahrzeugen, Elektromotoren, Waschmaschinen, Ventilatoren, Textilmaschinen und in allen Arten von Fertigungsmaschinen. Diese Lager arbeiten mit sehr geringer Reibung (die bei der Abwälzbewegung zwischen Metallteilen auftretende Rollreibung beträgt ungefähr ein Hundertstel der 'Gleitreibung'). Energieverluste, die sich dennoch ergeben, sind auf die Bewegung des benutzten Schmiermittels und auf den Druck zurückzuführen, der an den Berührungsstellen der Metalle auftritt.

Die am häufigsten verwendete Art von Wälzlager für sich drehende Bauteile besteht aus vier Grund-Konstruktions-teilen: dem Innenring, einer Anzahl von Wälzkörpern (Kugeln oder Rollen), einem Käfig, der die Wälzkörper zugleich hält und voneinander trennt, sowie einem Außenring.

### Flüssigkeitslager

In Flüssigkeitslagern vermindert anstelle der Kugeln oder Rollen ein Ölfilm die Reibung zwischen zwei Flächen. Dazu wird, wie z.B. in den ölgeschmierten Gleitlagern von Kraftfahrzeugmotoren, normalerweise Öl verwendet. Allerdings kann auch Wasser (bei Wasserpumpenlagern) oder, je nach Anwendungszweck, sogar Luft oder Gas als Schmiermittel benutzt werden.

Die beiden Hauptarten des Flüssigkeitslagers sind das hydrodynamische Lager, in dem eine Drehbewegung den Flüssigkeitsdruck erzeugt, und das hydrostatische Lager. Ihm wird die Flüssigkeit unter Druck von außen zugeführt.

### Hydrodynamischer Lager

In ihrer Mehrzahl sind Flüssigkeitslager hydrodynamische Lager. In ihnen wird der zur Trennung der belasteten Flächen benötigte Ölfilmdruck durch die Bewegung bzw. Umdrehungen des einen Teils gegenüber dem anderen erzeugt. Kurbelwellenlager in Kraftfahrzeugen arbeiten nach



diesem Prinzip. Die Ölpumpe hat lediglich die Aufgabe, Öl an die Lager heranzuführen. Ihr Druck reicht aber zur Aufnahme der Last nicht aus. Wird der Motor abgestellt, läuft das Öl wieder aus den Lagern heraus, und die Metallteile kommen miteinander in Berührung. Hydrodynamische Lager werden deshalb dort eingesetzt, wo die Drehzahl hoch genug ist, um einen tragfähigen Flüssigkeitsfilm zu erzeugen. Dies ist der Fall in Kraftfahrzeugmotoren, Dampfturbinen, Wechselstrommaschinen, Walzwerken (allerdings arbeiten einige moderne Walzwerke mit Walzlagern) und bei Maschinen zur Papierherstellung.

*Ein Kugellager bei einer Festgeprüfung. Die Standzeit eines Wälzlagers steht im umgekehrten Verhältnis zur 4. Potenz der auf das Lager einwirkenden Belastung.*

metall ist, das mit Weichmetallen beschichtet wird (Mehrstofflager). Dennoch ist dieses Bauprinzip kostenintensiv. Man greift immer dann auf hydrostatische Lager zurück, wenn schwere Lasten bei geringer Drehzahl oder sogar im Stillstand aufgenommen werden müssen, ohne daß es zu größerer Reibung kommen darf. Gewisse Präzisions-Werkzeugmaschinen werden so gelagert, und zwar auf flachen 'Kissen' zur Abstützung des schweren Werkzeugschlittens.

### Gleitlager

In jüngster Zeit ist eine Vielzahl von Kunststoffen entwickelt worden, die sich für Lagerzwecke gut bewährt haben. Zu ihnen gehören Phenol-, Epoxyd- und Kresolharze, die normalerweise mit Naturgewebe, Nylon, Azetal und Polytetrafluorethylen (PTFE) armiert sind.



### Hydrostatische Lager

Hydrostatische Lager sind nicht weit verbreitet, da ihnen unter Pumpendruck eine Flüssigkeit zur Trennung der zwei Lagerflächen zugeführt werden muß. Der Druck muß so hoch sein, daß er die Last aufnehmen kann. Das Lager selbst unterscheidet sich nicht sehr von einem hydrodynamischen Lager, sieht man von den Vertiefungen in der Lagerfläche ab, in die die Flüssigkeit hineingepumpt wird. Da grundsätzlich keine Berührung zwischen Metallen vorkommt, kann man für alle Teile Stahl oder ähnliche Werkstoffe verwenden, während bei hydrodynamischen Lagern Stahl nur das Träger-

Diese Werkstoffe bieten gegenüber Metall-Lagern den Vorteil, daß sie trocken, d.h. ohne Schmierung, arbeiten können — eine wertvolle Eigenschaft in einigen Anwendungsbereichen, wie z.B. in der Nahrungs- und Arzneimittelindustrie, wo eine Berührung des Erzeugnisses mit Fremdstoffen vermieden werden muß.

Einige Gleitlager, gewöhnlich aus Sintermetall, sind selbstschmierend. In gewissem Sinne kann man sie sich als Metallschwämme denken, denn sie können Öl bis zu 30% ihres Volumens aufnehmen. Ein typischer Anwendungsbereich sind Kupplungs-Ausrücklager.



## LANDKARTEN

Landkarten werden seit mindestens 4 500 Jahren hergestellt. Da den Kartographen aber während des größten Teils dieser Zeit die Vorstellung im Wege stand, die Erde sei eine Scheibe mit Jerusalem als Mittelpunkt, hat man erst in den letzten 400 Jahren Landkarten mit einer der Wirklichkeit entsprechenden Genauigkeit hergestellt.

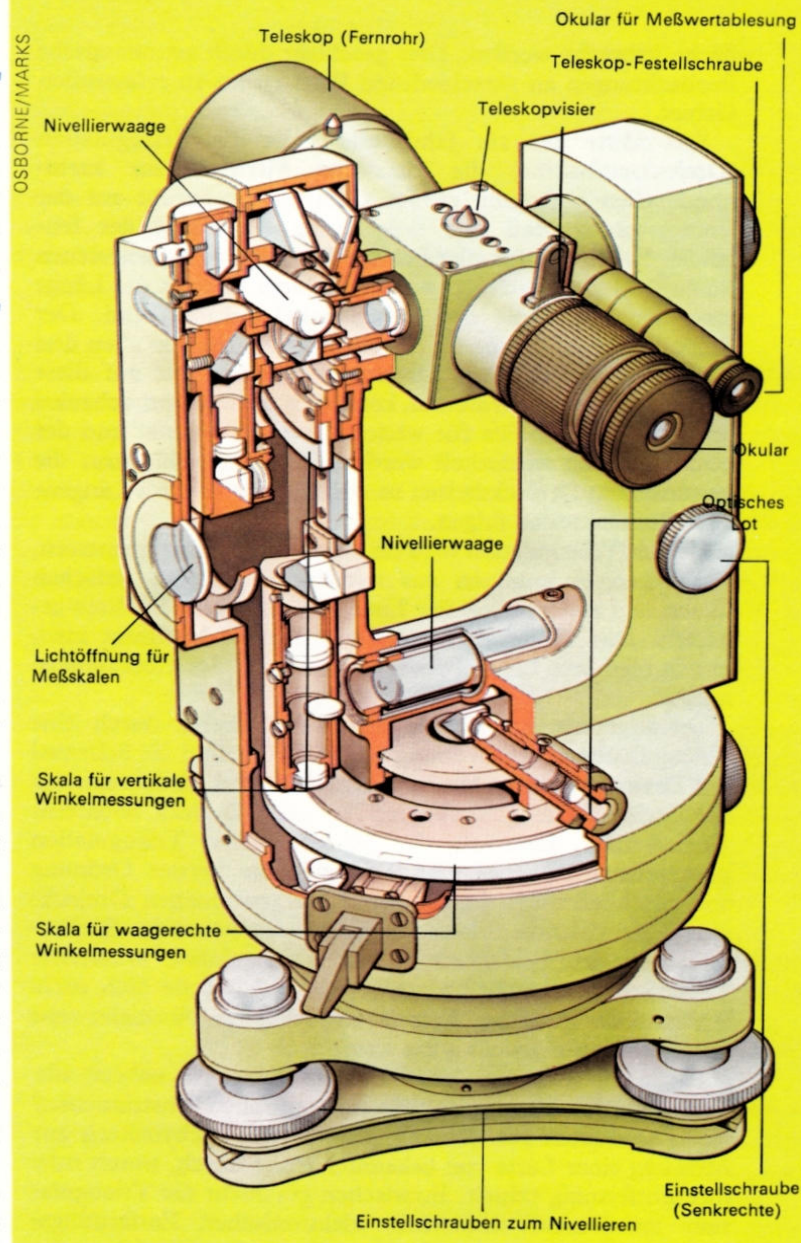
Der Kartenzeichner oder Kartograph muß die (natürlichen und künstlichen) topographischen Gegebenheiten der Erdoberfläche mit stark verringertem Maßstab in geeigneter Weise, normalerweise zweidimensional auf einem Bogen Papier, darstellen. Die erste grundlegende Schwierigkeit ergibt sich aus der Krümmung und Unregelmäßigkeit der Erdoberfläche. Die Erdkrümmung kann zwar bei Karten kleiner Gebiete unberücksichtigt bleiben, doch machen es die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche wie Erhebungen und Täler erforderlich, die Geländeform auf einer ebenen (zweidimensionalen) Fläche darzustellen. Daher stimmen, sofern das Gelände nicht eben ist, die auf der Karte angegebenen Entfernungen nicht genau mit den wirklichen überein. Bei der Abbildung größerer Gebiete, wie zum Beispiel der Bundesrepublik Deutschland, muß die Erdkrümmung berücksichtigt werden. Also wird die ebene Projektion auf einer regelmäßig gekrümmten Fläche hergestellt, die der Erdform möglichst genau entspricht. Diese Nachbildung der Erde ist das Bezugs-Ellipsoid.

Karten auf gekrümmten Oberflächen sind jedoch unbequem für den Benutzer. Daher muß das Kartenbild von der gekrümmten auf eine ebene Fläche projiziert werden. Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten für diese Übertragung in die Kartenebene. Auf die eine oder andere Weise führen sie alle zu Verzerrungen der Geländedarstellung auf der gekrümmten Fläche. Diese Verzerrung ist sehr stark auf Weltkarten in Atlanten, beispielsweise bei der Mercator- oder Mollweide-Projektion, doch kann man mit Hilfe bestimmter Projektionen einen gewissen Grad an Wirklichkeitstreue erreichen.

Winkeltreue Abbildungen werden häufig für großmaßstäbliche Flächenkarten benutzt. Bei einer winkeltreuen Abbildung bleibt der Maßstab nicht über den ganzen abgebildeten Bereich der gleiche. Der Maßstab ist jedoch für kurze Entfernungen an jedem Punkt in alle Richtungen der gleiche. Dadurch bleibt in kleinen Gebieten die Flächentreue erhalten. Die winkeltreue zylindrische Abbildung nach Mercator wird für die amtlichen Karten vieler Länder verwendet. Die durch die Abbildung verursachte Maßstab-Abweichung übersteigt 1/2500 nicht. Dieser Wert ist für die meisten Zwecke unerheblich.



FAIREY SURVEYS



**Oben:** Querschnitt eines typischen bei Vermessungsarbeiten benutzten Theodoliten. Die Messungen werden mit dem kleinen Okular abgelesen, das sich neben dem Hauptokular befindet. Die aus Glas gefertigten Meßskalen für die horizontalen und vertikalen Winkel übertragen die Meßwerte.

**Unten links:** Vermessungsarbeiten in Bahrain.

### Die Erstellung von Grundkarten

Man muß zwischen zwei Arten gezeichneter Karten unterscheiden: den Grundkarten und den Folgekarten. Erstere basieren unmittelbar auf einer Geländevermessung (auch Geländeaufnahme genannt). Folgekarten hingegen entstehen durch eine Maßstabsverkleinerung und durch Vereinfachung der Originalkarten oder durch Zusammenfassen solchen Kartenmaterials.

Bei der Erstellung von Grundkarten kann man nicht einfach die Ergebnisse von Einzelvermessungen kleiner Gebiete aneinanderstücken, um so ein großes Gebiet kartographisch zu erfassen. Die in solchen unabhängig voneinander entstandenen örtlichen Einzelvermessungen enthaltenen Fehler würden sich addieren und zu unlösbaren Unstimmigkeiten führen. Zuerst muß ein zusammenhängender Rahmen für das ganze kartographisch aufzunehmende Gebiet geschaffen und genau in Übereinstimmung mit seiner Lage auf der Erdober-



fläche gebracht werden. Dies geschieht durch astronomische Beobachtungen an verschiedenen Punkten im zu erfassenden Gebiet.

Seit Mitte des 18. Jahrhunderts ist die Triangulation (Dreiecksaufnahme) die klassische Methode zur kartographischen Erfassung großer Gebiete. Sie beruht auf der Voraussetzung, daß eine Berechnung der Länge der fehlenden Schenkel und aller bei der Vermessung aufgetretenen Schlußfehler möglich ist, wenn bei einem Dreieck die Länge einer Seite und die drei Innenwinkel bekannt sind. Der Schlußfehler ist die innere Abweichung bei der von allen drei Punkten durchgeführten Dreiecksvermessung. Ist auf diese Weise ein Dreieck vermessen, können die ermittelten Schenkel jeweils als Standlinien für weitere Dreiecke benutzt und der ganze Vorgang wiederholt werden. Mitunter wählt man die gewünschten Dreiecksketten so aus, daß sie in etwa Längen- oder Breitenkreisen folgen.

Bei der Triangulation wird eine Standlinie (Basis) gemessen. Von ihren Endpunkten aus werden die Winkel zwischen diesen und anderen von der Linie aus sichtbaren Punkten ermittelt. Die 'Höhe' dieser anderen Punkte bestimmt man, indem man ihre Lage ober- oder unterhalb der Horizontalen notiert.

Im allgemeinen wird ein Land erst einmal durch eine Triangulation erster Ordnung erfaßt. Dabei sind die Schenkel der Dreiecke etwa 50 km lang. Anschließend wird, wenn der durchschnittliche Schlußfehler für jedes Dreieck höchstens 3 cm beträgt, innerhalb der bei der ersten Triangulation gewonnenen Dreiecke eine Triangulation zweiter Ordnung und anschließend in jedem der dabei gewonnenen Dreiecke eine Triangulation dritter Ordnung vorgenommen. Schlußfehler in den bei dieser letzten Triangulation erhaltenen Dreiecken sind nicht so schwerwiegend, da sie sich nicht während der gesamten Vermessung addieren. Normalerweise betragen sie auf jeweils 4 km weniger als 30 cm.

Bis in die sechziger Jahre hinein führte man nahezu alle Triangulations-Vermessungen mit optischen Instrumenten wie Theodoliten zur Winkelmessung und Tachymetern zur Messung einer Latte von bekannter Höhe durch, womit man ihre Entfernung erhielt. Inzwischen geschieht die Triangulation zunehmend mit Hilfe elektronischer Entfernungsmesseinrichtungen. Diese Instrumente messen die Länge der Dreiecksseiten unmittelbar und haben unter günstigen Bedingungen auf 2 km eine Abweichung von 1 cm oder weniger.

### Die Luftbildvermessung

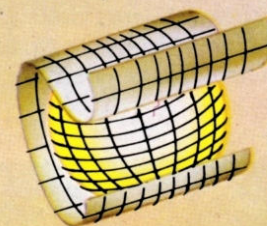
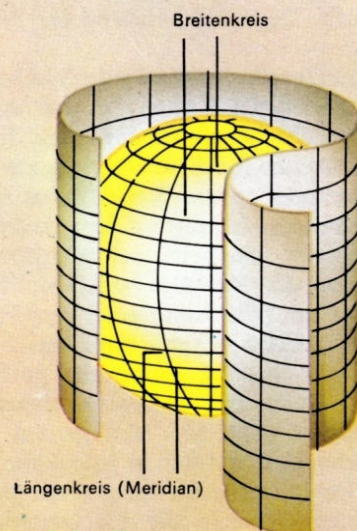
Nachdem das Gelände durch Triangulation aufgenommen worden ist, werden die meisten groß- und mittelmaßstäblichen Karten (1:50 000 oder größer) durch Fotogrammetrie erstellt. Der Maßstab einer Karte gibt ihre Größe im Verhältnis zu dem Gebiet an, das sie darstellt. So ist auf einer Karte im Maßstab 1:50 000 eine Entfernung 50 000mal kürzer als in der Natur, so daß 2 cm auf der Karte 1 km in der Natur entsprechen.

Zur Fotogrammetrie gehört die Herstellung von zwei einander überlappenden Luftaufnahmen, die es ermöglichen, jeden Punkt im Gelände von zwei verschiedenen Standpunkten aus zu betrachten. Mittels dieser Fotos können stereoskopische Bilder hergestellt werden. Auf diese Weise lassen sich Geländeerhebungen sowie Einzelheiten im Gelände messen.

Bei einer anderen Methode wird der Höhenunterschied zwischen zwei Punkten an der Oberfläche gemessen (geometrische Höhenmessung oder Nivellement). Dieses Vermessungsverfahren liefert mit Hilfe eines Nivelliergerätes, das mittels einer Libelle sehr genau auf die Waagerechte eingestellt werden kann, exakte Höhenwerte auf kurze Entfernun-



GERHARD MERCATOR



Waagrecht angeordneter Zylinder

### ZYLINDERPROJ



Verzerrungsfreie Linie

Unten:  
Projekti  
figsten ge  
Wird du  
Licht ges  
die Scha  
Breitenk  
Zylinder

Unten L  
entsteht e  
zerrungs  
nach Wes

Oben re  
von Pol  
kreise ent  
Mittelpu

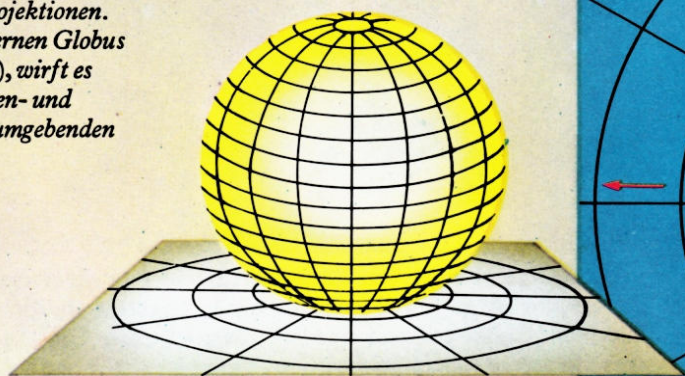
gen. Dabei wird eine lotrecht stehende Nivellierlatte (eine Meßlatte, auf der Höhenangaben farbig aufgetragen sind) durch ein Zielfernrohr anvisiert. Auf diese Weise läßt sich der Höhenunterschied zwischen zwei Punkten unmittelbar messen. Zielfernrohr und Meßlatte ändern ihren Standort; anschließend wird das Verfahren so oft wiederholt, bis das Gelände aufgenommen ist.

### Darstellung der Abbildungsflächen

Nachdem die Grundvermessung der Lage der Punkte zueinander durchgeführt und überprüft worden ist, müssen die gefundenen Daten in sinnvoller Form dargestellt werden. Die



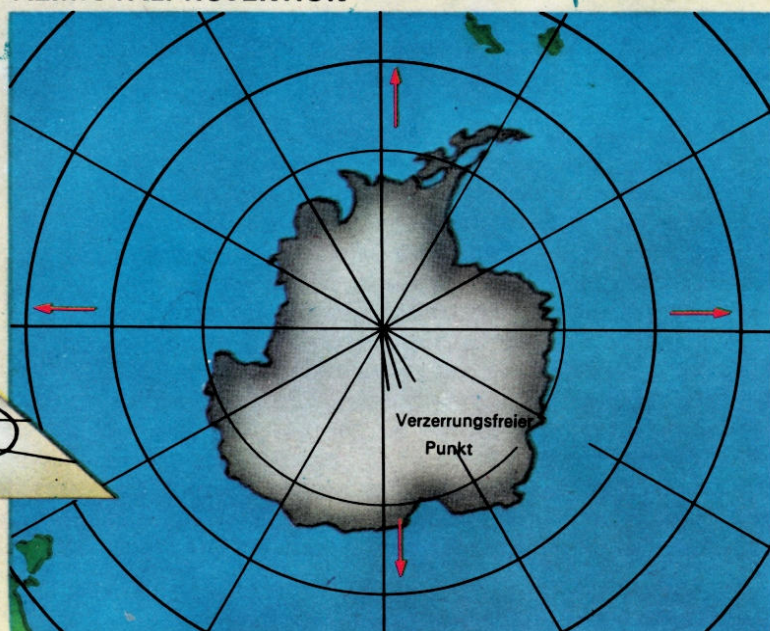
Mercators zylindrische  
n gehört zu den am häu-  
brauchten Projektionen.  
ch einen gläsernen Globus  
schickt (rechts), wirft es  
tten der Längen- und  
reise auf den umgebenden



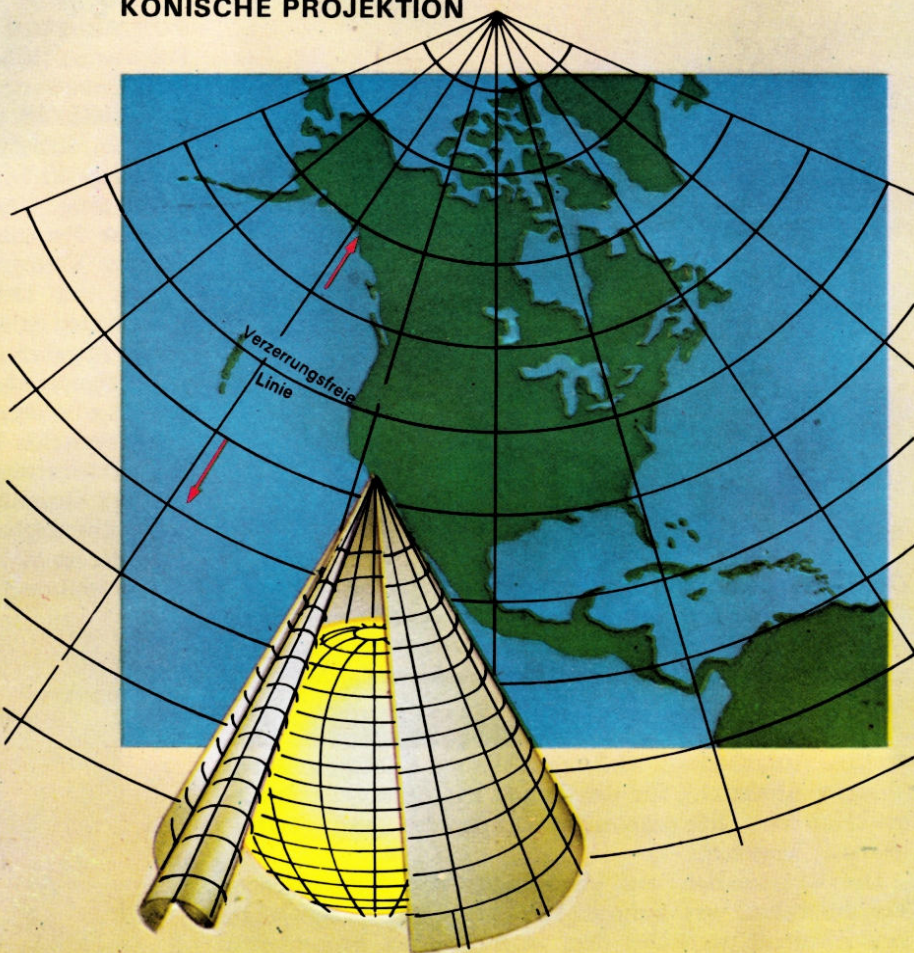
inks: Wird der Zylinder waagerecht angeordnet,  
eine transversale Mercatorprojektion, bei der die ver-  
reie Linie von Norden nach Süden und nicht von Osten  
tern verläuft.

chts: Die Azimutprojektion wird oft zur Abbildung  
gebieten benutzt. Bei ihr verzerren sich alle Breiten-  
sprechend ihrer zunehmenden Entfernung vom  
kt.

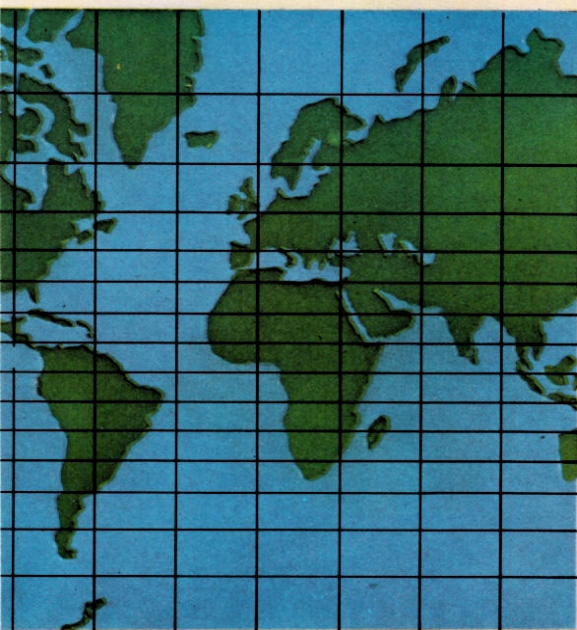
## AZIMUTALPROJEKTION



## KONISCHE PROJEKTION



## PROJEKTION



verzerrung

einfachste Methode ist die, sie auf einen Globus, ein kugelförmiges Modell der Erde, aufzutragen. Hierbei vermeidet man die Probleme, die sich aus der Übertragung von Daten, die von einer nahezu kugelförmigen Erde gesammelt wurden, auf ein zweidimensionales Blatt Papier ergeben. Globen sind jedoch meist nicht sehr praktisch, weshalb man zahlreiche Projektionen (Kartennetzentwürfe) erdacht hat, um entweder die ganze Kugelgestalt der Erde oder einen Teil davon auf einer Papierfläche darstellen zu können.

Die einfachste Projektionstechnik ist das 'Abschälen' der Globusfläche. Dabei erhält man eine Reihe von Papierstreifen, die am Äquator miteinander zusammenhängen und sich zu

den Polen hin konisch zu Punkten verjüngen. Dies ergibt eine Art zerlappter Projektion, doch diese sehr bruchstückhafte Art der Abbildung erschwert die Benutzung ungeheuer: Ozeane und Kontinente werden häufig in zwei oder mehr Teile zerschnitten.

Nach Ansicht der Geographen muß eine Karte vier wesentliche und unabdingbare Eigenschaften haben: Sie muß richtige Gebiete in der richtigen Form, mit den richtigen Winkelverhältnissen und den richtigen Abständen zwischen einzelnen Punkten wiedergeben. Unglücklicherweise ist es gänzlich unmöglich, alle diese Forderungen bei einer Abbildung auf einer Papierfläche zu erfüllen. Dies bedeutet, daß ein Kartograph

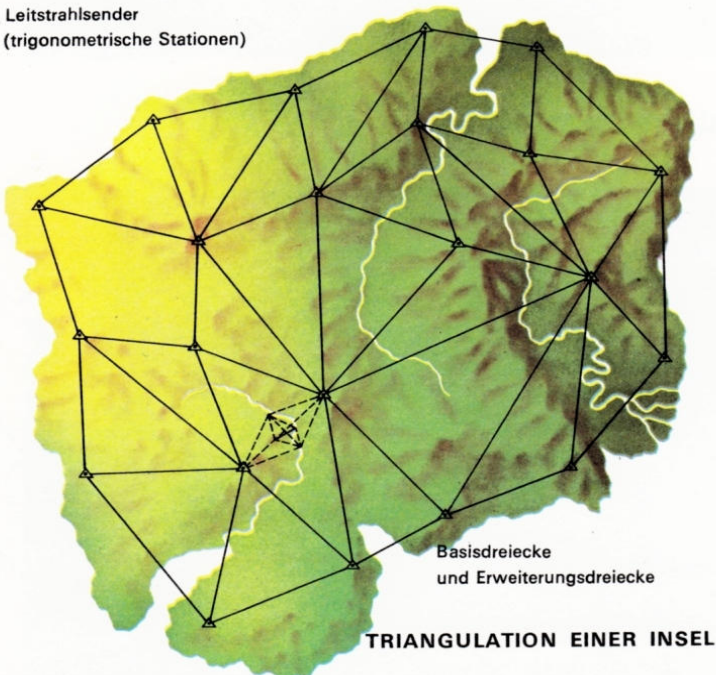


sich für die Abbildungsart entscheiden muß, die für den Verwendungszweck der Karte am wichtigsten ist.

### Herstellungs- und Druckverfahren

Eine Methode nach der gewöhnlich in Zeichenbüros einfarbige Grundkarten hergestellt werden, besteht darin, die Einzelheiten auf Kunststofffolien zu zeichnen. Eine transparente Folie wird mit einer halbtransparenten wachsartigen Schicht überzogen, auf die das durch die Arbeit des Vermessers gewonnene Bild fotografisch aufgedruckt wird. Der Zeichner schneidet die wachsartige Beschichtung entlang den Linien der Vermesserzeichnung ab. Dabei bleiben stark ausgeprägte Linien aus durchsichtigem Kunststoff zurück. Aus diesem Arbeitsgang entsteht ein Negativ, von dem auf einer anderen Kunststoffolie ein Positiv mittels Kontaktabszug hergestellt werden kann. In diesem Stadium werden normalerweise Namen und Zeichen eingetragen. Sie sind auf sehr dünne Folienstreifen aufgedruckt und werden auf das Positiv

Leitstrahlender  
(trigonometrische Stationen)



**Oben:** Triangulation eines Vermessungsgebietes. **Oben rechts:** Höhen werden auf Landkarten durch Höhenschichtlinien dargestellt. Wenn sie zu dicht werden, wird mit der Hand ein steiler Fels eingezeichnet. **Rechts:** Zeichnung einer Karte nach zwei Luftaufnahmen.

geklebt. Anschließend wird, ebenfalls im Kontaktverfahren (direkter Abklatsch), für den Druck mit einer Offsetdruckmaschine eine lithographische Druckplatte (siehe LITHOGRAPHIE) hergestellt.

Die Kombination von Vorzeichnen und fotografischem Verfahren hat, was Schnelligkeit und Qualität anbelangt, große Vorteile gegenüber dem zu Anfang des neunzehnten Jahrhunderts bei der Kartenherstellung üblichen Kupferstich-Verfahren. Hierbei wurde die vom Vermesser hergestellte Karte mit der Hand in den Umrissen durchgezeichnet und auf eine mit Firnis und Ruß überzogene Kupferplatte übertragen. Anschließend schnitt der Graveur die übertragenen Linien in das Kupfer ein. Auf die gleiche Weise wurden die Umrisse, Namen, Zeichen und Zierlinien, einschließlich der Erhebungen darstellenden Schraffur (zur Schattierung dienende Linien), eingraviert. Sodann wurde in die vertieften Linien Farbe gerieben und, nach Reinigung der Plattenoberfläche, der Druck auf Papier übertragen. Bei nötigen Änderungen wurde der zu ändernde Teil der Platte mit einem Hammer geglättet und dann die Änderung eingraviert.



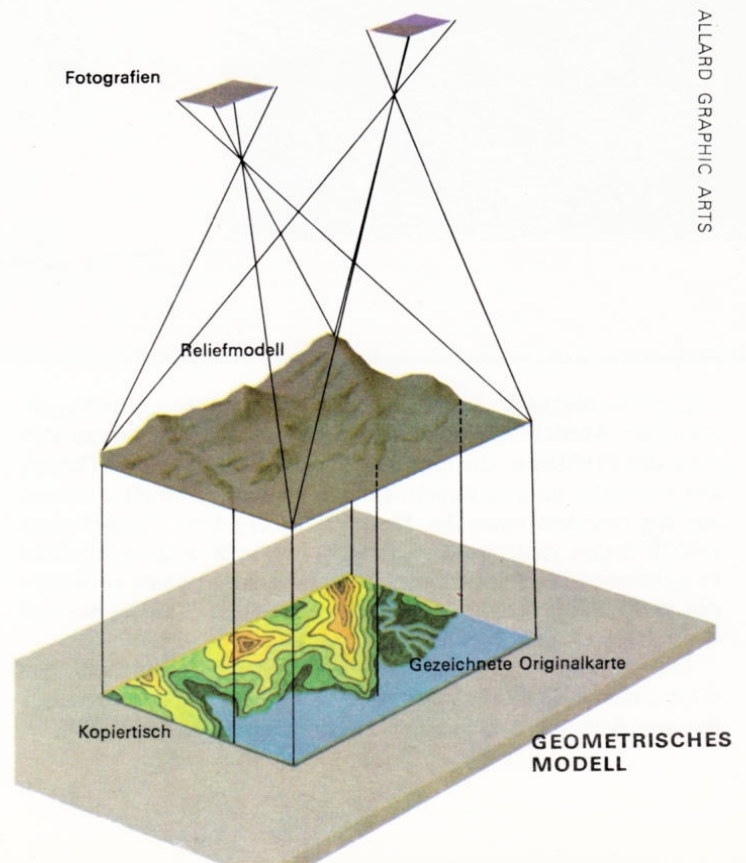
ORDINANCE SURVEY

Die Überarbeitung von Grundkarten eines hochentwickelten Landes hängt von einer Fülle neuer Angaben ab, die von Landvermessern geliefert werden. Sie sind unter Umständen ausschließlich damit beschäftigt, Veränderungen aufzunehmen, sobald sie eintreten. Für das Zeichenbüro ist es wichtig, die neuen Angaben in die Karte aufnehmen zu können, ohne daß die ganze Karte neu gezeichnet werden muß, denn sonst würde die Genauigkeit immer geringer. Die Verbindung der neuen und alten Daten erfolgt deshalb durch fotografische Verfahren.

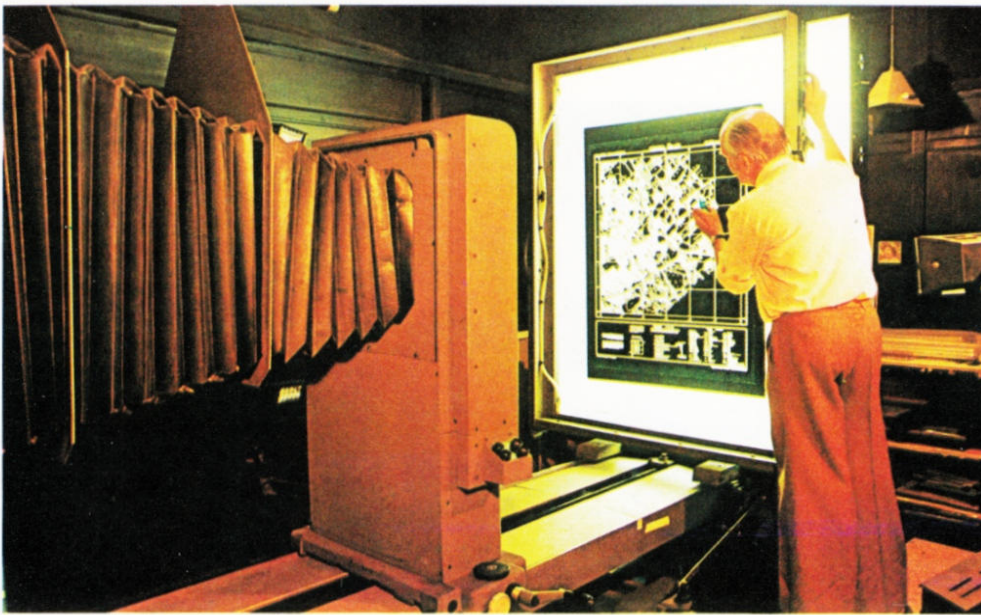
### Folgekarten

Folgekarten kleineren Maßstabs werden entweder unmittelbar nach Grundkarten oder nach anderen Folgekarten hergestellt. Hier findet der Kartenzeichner ein reiches Betätigungsfeld, denn im allgemeinen ist es erforderlich, Einzelheiten auszuwählen, die beim kleineren Maßstab mit abgebildet werden sollen, einige Umrisse zu vereinfachen und die Größe anderer Umrisse überzubetonen, damit sie das Gewicht bekommen, das der Kartograph ihnen zugedacht hat. Wegen der auf Karten mit kleinem Maßstab dicht beisammenliegenden Einzelheiten ist es heute üblich, zur Unterscheidung der einzelnen Angaben mit Farben zu arbeiten. So werden beispielsweise Hauptverkehrsstraßen rot, Gewässer blau und Waldgebiete grün dargestellt.

Ein typisches Vorgehen bei der Erstellung einer Folgekarte mit verkleinertem Maßstab aus einer Grundkarte sieht so aus: Von der Grundkarte wird in einer auf fotografischem Wege nicht übertragbaren blauen Farbe ein Abzug hergestellt, entweder im Maßstab der Grundkarte oder in einem zwischen diesem und dem der Folgekarte liegenden Maßstab. Die für







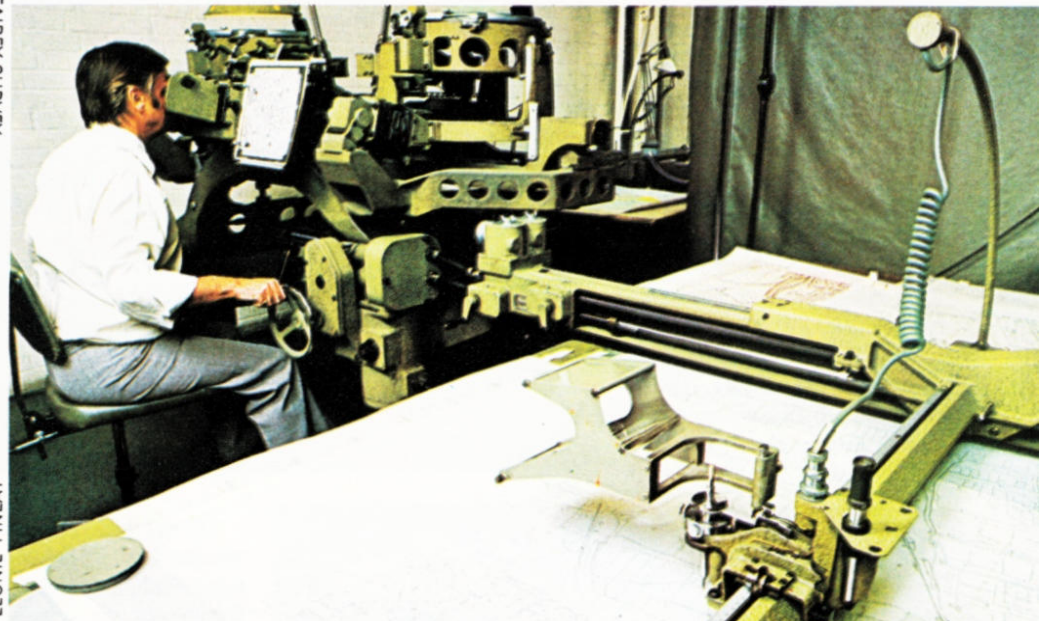
**Links:** Diese Kamera wurde konstruiert, um Striche und andere kartographische Einzelheiten in gleichbleibender Breite und Helligkeit auf einer Fläche von mehr als einem Quadratmeter wiedergeben zu können. Die Vorlage kann maßstabgerecht verkleinert oder vergrößert werden. **Links unten:** Namen und andere Angaben dürfen einander nur wenig überlagern. Gegenwärtig werden Namen im Fotosatz hergestellt und dann mit selbstklebendem Film auf die Karte geklebt. **Unten:** Mit Stereokomparatoren werden korrigierte dreidimensionale Abbildungen aus Luftaufnahmen hergestellt. Der Kartograph zeichnet bei diesem Gerät die Linien nach, die der Stereokomparator zieht.

LEONIE FINLAY



FAIRY SURVEY

LEONIE FINLAY



die Folgekarte benötigten Angaben werden ausgewählt, vereinfacht und mit Schwarz auf die Blaukopie gezeichnet, die anschließend fotografiert und dann auf den endgültigen Maßstab verkleinert wird. Von der verkleinerten Zeichnung werden (je nach Zahl der Farben) mehrere Blaukopien hergestellt und für jede Farbe mit schwarzer Tusche getrennte Zeichnungen angefertigt.

Anschließend kann von den einzelnen Zeichnungen für jede Farbe eine Druckplatte hergestellt werden. Nach dem Druck erscheinen alle Farben an der richtigen Stelle. Obgleich jede Farbe getrennt aufgedruckt wird, können durch Linieren oder Tüpfeln verschiedene Schattierungen derselben Farbe erzielt werden. Die Höhen des Geländes, die im neunzehnten Jahrhundert im allgemeinen schraffiert wiedergegeben wurden, stellt man jetzt normalerweise durch Umrisslinien dar, die sich durch Schattieren oder Farbschichtungen hervorheben lassen. Beim letztgenannten Verfahren werden die Abstände zwischen den Umrissen mit zunehmend dunkleren Farbtönen zwischen Grün und Braun ausgefüllt. Dabei wird meist den niedrigsten Erhebungen Hellgrün und den höchsten Höhen Dunkelbraun zugeordnet.

Damit Seeleute sich auf den Meeren und angrenzenden Gewässern zurechtfinden können, gibt es Seekarten. Sie zeigen den Ufer- und Küstenverlauf und Besonderheiten, wie Signalisierungseinrichtungen (Leuchtfeuer, -türme, -schiffe, -baken), Fahrrinnen-Markierungen, Wassertiefen und die Konturen des Meeresbodens. Wegen der ständigen Veränderung der Gegebenheiten am Meeresboden in Küstennähe

ist es wichtig, diese Karten jeweils auf dem neuesten Stand zu halten. Außerdem muß dafür gesorgt werden, daß die Veränderungen an den Karten den Interessenten zugänglich gemacht werden.

### Computerkarten

Man hat seit Ende der sechziger Jahre die Verwendung von Computern und Zeichenautomaten für die Kartenherstellung eingehend untersucht. Ein mit einem Computer in Verbindung stehender topographischer Datenspeicher, der nach bestimmten Gesichtspunkten geordnete und verschlüsselte Angaben enthält, die in beliebiger Zusammenstellung und in beliebigen Maßstäben abgerufen werden können, wären von großem Interesse für die Hersteller von Karten in Atlanten sowie für die Herausgeber größerer topographischer Kartenwerke. Die den Eigenschaften einer Karte zugeordneten Linien können digital (also als Ziffernfolgen) auf Magnetband gespeichert werden. Dabei ließe sich eine Gerade durch die Karten-Koordinaten ihrer Endpunkte und eine gekrümmte Linie durch eine Vielzahl solcher Koordinaten darstellen.

Versuche haben gezeigt, daß die Angaben zu Karten mit großem Maßstab digital gespeichert und danach automatisch von mit hoher Geschwindigkeit arbeitenden Zeichenmaschinen abgerufen werden können. Dieselben Angaben oder aus ihnen ausgewählte Teilgruppen lassen sich automatisch auch für kleinere Maßstäbe abrufen. Es ist eine für Kartenhersteller reizvolle Vorstellung, auf diese Weise eine ganze Serie von Folgemaßstäben herzustellen. Die erforder-

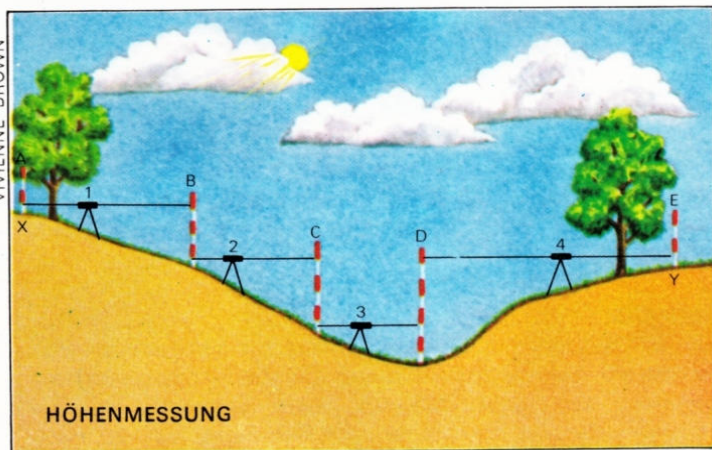


**Rechts:** Infrarotaufnahme der Blackwater-Mündung in Essex/England. Seit dem Zweiten Weltkrieg werden Infrarotfarbaufnahmen (Falschfarbaufnahmen) gemacht, um zwischen Gebieten zu unterscheiden, in denen sich lebende (rot) und abgestorbene (blau) Vegetation befindet. Auch kann mit einer solchen Aufnahme die Wassertiefe annähernd bestimmt werden. Im hier gezeigten Bild sind die flachen Stellen hellblau, die tiefen Stellen dunkelblau wiedergegeben.

**Unten:** Eine einfache und genaue Art, Höhenunterschiede zwischen zwei Punkten zu messen (X und Y), wird durch das Nivellement ermöglicht. Der Vermesser richtet sein Zielfernrohr in Stellung I genau waagrecht aus. Danach sieht er auf eine Meßplatte zurück (A), liest die auf ihr erkennbare Höhe ab und wiederholt diesen Vorgang mit der Meßplatte an den Punkten B, C, D und E.



ORDNANCE SURVEY



liche Vereinfachung bei Karten mit kleinem Maßstab, die beispielsweise darin liegen kann, die Straßen schmaler zu zeichnen, Umrisse zu vereinfachen und zur Übereinstimmung mit diesen Änderungen Einzelheiten anstoßender Gebiete anzupassen, bietet noch Schwierigkeiten bei der Erstellung der Computerprogramme.

### Kartenerstellung auf fotogrammetrischem Wege

Vor allem in Schweden und in den USA wird gegenwärtig bei Karten mit kleinen Maßstäben anstelle des üblichen Verfahrens der Topographie, bei dem man von der Umrisszeichnung zur Karte gelangte, eine Vielzahl von Karten auf fotografischer Grundlage angefertigt. Dies erweist sich als besonders nützlich für Gebiete, für die bisher keine genauen Karten verfügbar waren oder in denen die Gegebenheiten sich rasch ändern, wie dies z.B. bei Großstädten der Fall ist.

Oft bestehen diese Karten aus mosaikartig zusammengesetzten Luftaufnahmen. Da jede Aufnahme wegen der unterschiedlichen Flughöhe und Flugrichtung des Vermessungsflugzeuges und aufgrund unterschiedlicher Geländehöhen verzerrt ist, müssen diese Aufnahmen vor dem Zusammenfügen oft entzerrt werden. Dabei können alle Verzerrungen mit Ausnahme jener beseitigt werden, die eine Folge unterschiedlich hoher Geländeerhebungen sind. Um auch sie zu beseitigen, hat man ein spezielles elektronisches oder optisches Verfahren, das Orthofotoverfahren entwickelt. Es erzeugt planimetrisch einwandfreie Fotografien, d.h. solche, die von geometrischen Verzerrungen ebenso frei sind wie die besten Landkarten.

Wie ausgeklügelt aber die Entzerrung auch vorgenommen wird, die stufenlosen Grautöne der Fotografien müssen in Halbtöne umgewandelt werden, ehe sie in Druck gegeben werden können. Dazu muß das Original in Punkte verschiedener Größe aufgelöst (gerastert) werden. Die größeren Punkte stehen dabei für die dunkleren Flächen. Das grobe Rasterkorn bei Zeitungsphotografien ist ein Beispiel dafür, wie das Ergebnis des Verfahrens aussieht. Die Darstellungen von Straßen, Seen usw. werden, oft in abweichender Farbgebung, über das Halbtönenbild gedruckt, um das Aussehen zu verbessern und die Verwendung der Karte zu erleichtern. Je mehr Angaben auf der photogrammetrisch hergestellten Landkarte aufgeführt sind, desto mehr ähnelt sie der herkömmlichen Landkarte. Ein wichtiger Unterschied besteht jedoch: Die fotogrammetrisch hergestellte Landkarte enthält alle Merkmale der Landschaft, und nicht nur jene, die der Kartograph ausgewählt und interpretiert hat. Um solche Karten richtig benutzen zu können, braucht der Benutzer eine gewisse Übung, da er sowohl Luftaufnahmen richtig zu deuten wissen als auch Karten lesen können muß.



## LÄRMMESSUNG

**Lärm wird so definiert, daß in ihm alle unerwünschten Töne enthalten sind. Abgesehen davon, daß Lärm bei der Verständigung von Menschen störend wirkt, kann er negative psychische Effekte hervorrufen. Zu stark anschwellender Lärm kann zu physischen Schäden führen.**

Lärm unterscheidet sich von einem Signal (Sprache zählt zu den Signalen) dadurch, daß das Signal eine gezielte Information darstellt, während der Lärm keine Information enthält. Das Signal ist nach bestimmten Strukturen aufgebaut, im Lärm hingegen ist ein solches Gefüge selten zu erkennen: Man spricht dann von zufälligen Signalen. Es können jedoch zwei wichtige Merkmale des Lärms festgelegt werden: die Gesamtenergie und der Frequenzinhalt.

Die Gesamtenergie gibt einen Überblick über die Stärke des Lärms. Sie ist wichtig, wenn beispielsweise die physikalischen Auswirkungen des Lärms betrachtet werden. Die Frequenzanalyse tritt dann in den Vordergrund, wenn verschiedene Arten des Schalls berücksichtigt werden sollen. Ein schwerer Lastwagen, der sich einen Hügel hochkämpft, erzeugt Schalldrücke im Bereich niedriger Frequenzen. Ein Düsenflugzeug hingegen erzeugt schrille hohe Frequenzspektren.

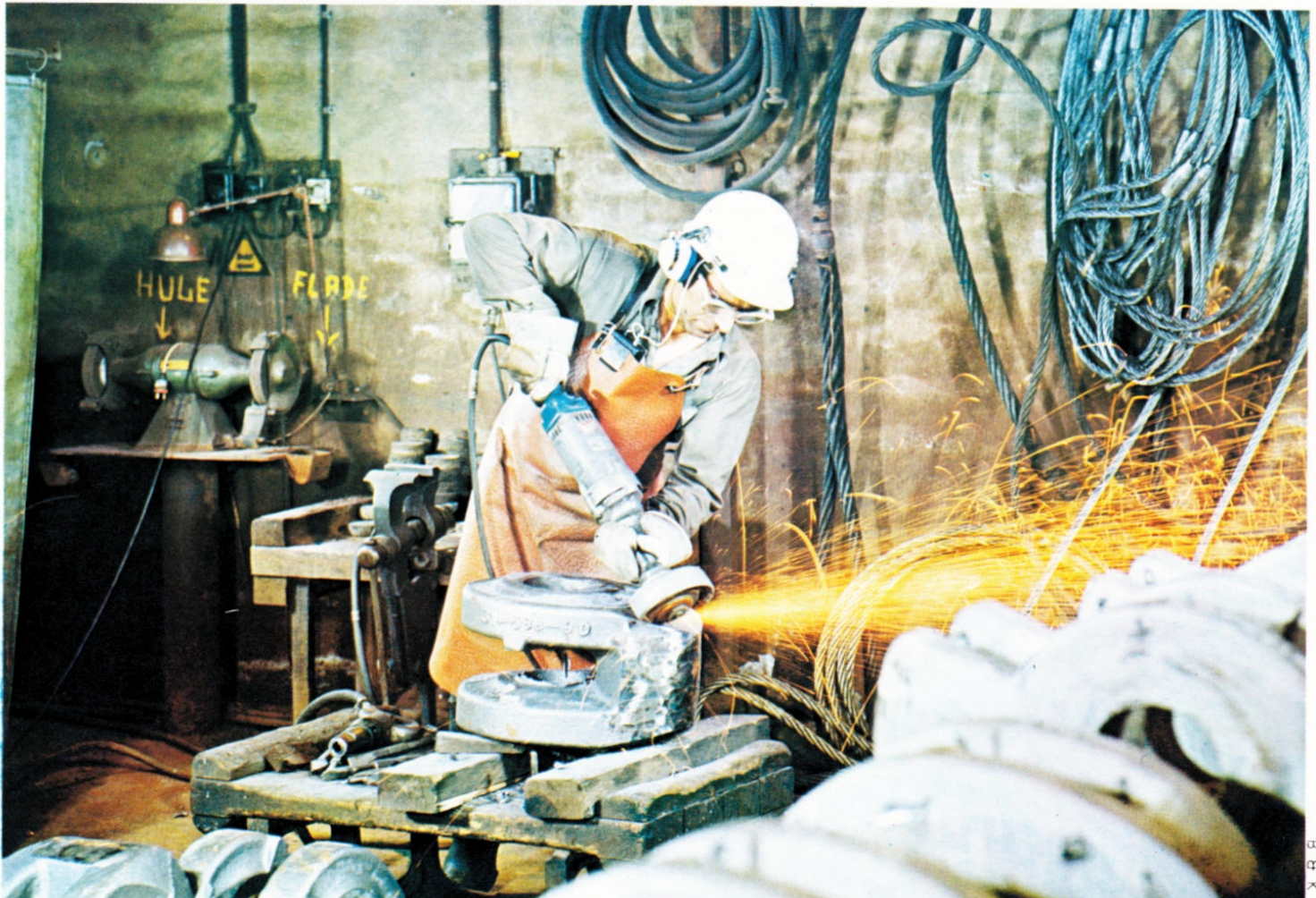
Das menschliche Gehör reagiert bei niedrigen Frequenzen nicht so sehr empfindlich. Die Gesamtenergie eines einzelnen Geräusches darf nicht unmittelbar auf seine physischen oder psychischen Wirkungen hin bezogen werden. Um ein Maß zu erhalten, das die Wirkung des Schalls auf eine Durchschnittsperson wiedergibt, gewichtet man die Stärke der Frequenzkomponenten des Lärms mit einem Faktor, der der Empfindlichkeit des Ohres bei jeder Frequenz entspricht. Ein Maß,

das die Aufnahmefähigkeit des Ohres für den gesamten Lärm wiedergibt, erhält man durch die Addition der angeglichenen Größen.

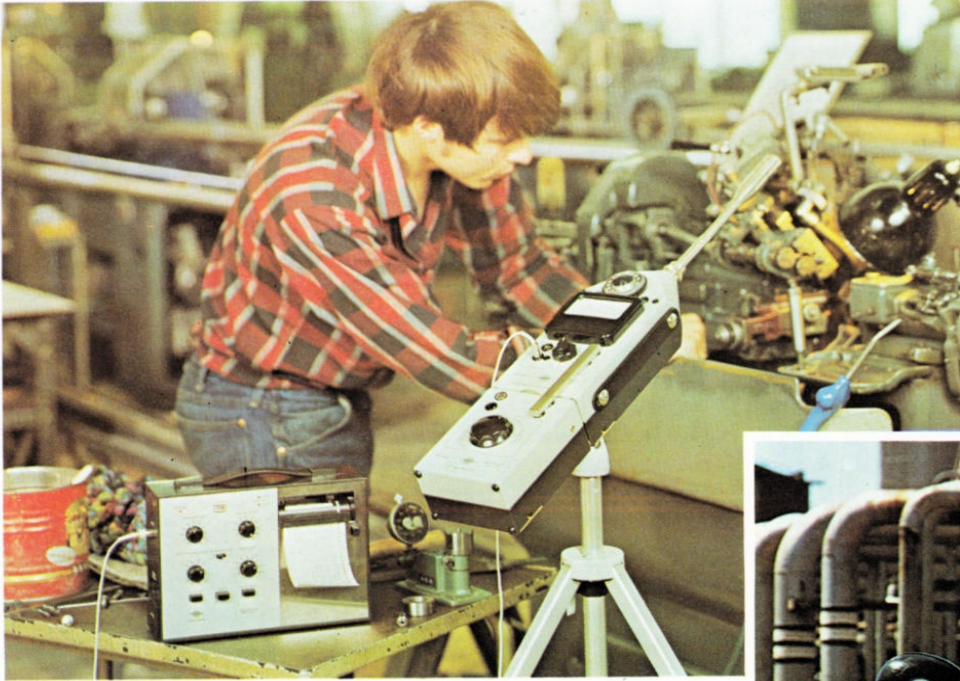
### Messung der Schallenergie

Um die Stärke des Lärms darzustellen, wird ein logarithmischer Maßstab gewählt. Dabei wird die tatsächliche Energie  $E_x$  des vorhandenen Lärms auf eine Referenzschallenergie  $E_R$  bezogen. Als Bezugsgröße wird meistens das kleinste vom menschlichen Gehör noch wahrnehmbare Schallereignis gewählt. Das Geräusch oder den Lärm gibt man dann in Dezibel, abgekürzt dB, an. Es ist durch  $10 \cdot \lg (E_x/E_R)$  festgelegt. Energiepegel lassen sich nur sehr schwierig direkt messen, wohingegen der Druck einer Schallwelle leichter zu messen ist. Die Schallenergie wird auf das Quadrat des Schalldruckes bezogen, so daß der alternative Ausdruck in der dB-Abstufung eines Geräusches durch  $10 \cdot \lg (P_x/P_0)^2$  gegeben ist, was nach den Regeln der Logarithmenrechnung gleichbedeutend mit  $20 \cdot \lg (P_x/P_0)$  ist. Der leiseste Ton, der normalerweise gehört werden kann — er wird auch als Hörschwelle bezeichnet — besitzt einen Schalldruck von  $2 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>. Dies ist der betragsmäßige Wert des Bezugsdruckes  $P_R$ ; d.h. der Druck, durch den die Hörschwelle gekennzeichnet ist, beträgt 20 Milliardstel eines bar. Eine Schallwelle mit diesem Druck besitzt nach dem oben Gesagten 0 dB, denn der Logarithmus von 1 ist immer Null. Zum Vergleich: Der normale Atmosphärendruck beträgt etwa 1 bar, dies sind

*Ein Lärmmeßgerät, das von einem Arbeiter in einer Gießerei benutzt wird. Er trägt das eigentliche Meßgerät in der Tasche, und das Mikrofon ist an seinem Helm befestigt. So kann man den Lärmpegel feststellen.*







**Links:** Ein Impuls-Schallpegelmesser, der mit einem Filter verbunden ist und zusammen mit einem Lärmdiagramm-Recorder benutzt wird. Der hier gemessene Lärm enthält harte Stakkato-Geräusche in einer Maschinenfabrik.

**Unten:** Lärmmessungen müssen in vielen Industriebetrieben und Büros durchgeführt werden, da Einwirkungen von mehr als 120 dB(A) zu bleibenden Gehörschäden führen. Im Bild hier ein Handmeßgerät.



100 000 N/m<sup>2</sup>, oder in Dezibel ausgedrückt, 194 dB. Das gewaltige Verhältnis der Drücke im Hörbereich von einer Million bis zu eins ist ein Grund, der zur Wahl des Dezibel-Maßstabes geführt hat. Mit dieser Umrechnung drückt man den riesigen Bereich auf zahlenmäßige Werte von 0 dB bis 120 dB zusammen. Es ist auch insofern bequem, als über den gesamten Bereich der kleinste nachweisbare Geräuschpegel 1 dB ist; eine Verdopplung der Lautstärke entspricht einer Änderung von 10 dB.

### Meßapparaturen

Zur Grundausstattung für Lärmmessungen gehört ein Schallpegelmesser. Darin befindet sich ein Mikrofon, dessen Membran auf schnelle Luftdruckschwankungen, d.h. auf Schallwellen, reagiert, die empfangene Schallwelle in ein elektrisches Signal umsetzt, das verstärkt werden kann, und je nach Erfordernissen weiter verarbeitet wird. Das vom Mikrofon gelieferte elektrische Signal durchläuft zunächst eine Verstärkerstufe und gelangt zu einem Abschwächer, der in Dezibel kalibriert ist. Die Ausgangsspannung des Abschwächers wird zu einer von vier Bewertungsschaltungen geführt. Als Bewertungsschaltung bezeichnet man ein elektrisches Filternetzwerk. Die Filterschaltungen sind mit A, B, C und D oder früher mit DIN 1, 2 oder 3 gekennzeichnet. Jedes dieser Filter besitzt einen genau festgelegten Frequenzverlauf, durch den das Eingangssignal abgewandelt wird.

Die Bewertung nach A wird am häufigsten angewendet. Mit diesem Filter gemessene Schallpegel müssen mit 'Dezibel A' oder mit 'dB (A)' gekennzeichnet werden. Die mit A eingestellte Bewertungskurve stimmt weitgehend mit subjektiv empfundenen Schalleffekten überein. Sie ist so angelegt, daß die geringe Empfindungsfähigkeit des Menschen gegenüber Schalldrücken niedriger Frequenz berücksichtigt wird. Das B-Bewertungsfilter wird heute kaum noch eingesetzt. Auf die Bewertung nach C wird immer dann zurückgegriffen, wenn ein weitgestreckter Frequenzbereich des Lärms gemessen werden soll. Eine Bewertung nach dem D-Filter ist in Deutschland nicht üblich. Es wurde zur Aufnahme von Fluglärm entworfen, und mißt das Anschwellen des Schalles im Bereich mehrerer Tausend Hertz, um in die Messung das störende Kompressorgeräusch der Düsenmaschinen entsprechend seiner Wirkung auf den Menschen eingehen zu lassen. Die dB(D)-Skala wird auf den 'empfundenen Lärmpegel' bezogen, der bei Fluglärmmessungen angewendet wird.

Nach der Bewertungsschaltung gelangt das elektrische Signal zu einem Gleichrichter mit einer Glättungsschaltung, in der die schnellen Schallschwankungen gemittelt werden. Es wird zu einem Drehspulmeßwerk geführt, dessen Meßskala in Dezibel geeicht ist.

### Typische Lärmpegel

In Dezibel ausgedrückt, bestimmt die Hörschwelle den Nullpegel (0,00002 N/m<sup>2</sup>).

Das Flüstern liegt, bezogen auf den Nullpegel, bei 30 dB(A) (0,00063 N/m<sup>2</sup>), normale Unterhaltung bei 60 dB(A) (0,002 N/m<sup>2</sup>) und der Lärm einer Geschäftsstraße über 80 dB (A) (0,2 N/m<sup>2</sup>). Eine Autohupe besitzt in Fahrzeugnähe einen Lärmpegel von über 100 dB(A) (2 N/m<sup>2</sup>) und ein Donnerschlag hat 120 dB(A) (20 N/m<sup>2</sup>). Lärmpegel, die größer als 120 dB(A) sind, führen zu Schmerzgefühlen, wenn sie längere Zeit auf das menschliche Gehör einwirken. Ein über 5 Arbeitstage 8 Stunden lang täglich aufrechterhaltener Pegel von 90 dB(A) wird allgemein als Grenzwert angesehen, der nicht überschritten werden sollte, um zu vermeiden, daß übermäßige Lärmeinwirkungen zu Gehörschäden führen. Ohne Schutz sollte man sich Spitzenpegeln nicht aussetzen.



## LASER UND MASER

Ein Laser-Lichtstrahl besteht aus kohärenten Wellen, die so parallel zueinander verlaufen, daß sie sich über weite Entfernungen ohne Auseinanderfächern (Divergenz) ausbreiten können. Ein solcher Strahl läßt sich so fein fokussieren, daß man damit eine 1000 km entfernte Kaffeekanne erwärmen kann.

Laser (Abk. für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung) sind Geräte, in denen Atome dazu angeregt werden, sichtbares Licht in sehr regelmäßiger Form auszusenden, im Gegensatz zu der sonst üblichen sporadischen, zufallsbedingten Emission von Licht. Maser (Abk. für Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) arbeiten nach den gleichen Prinzipien, senden aber Mikrowellen statt Licht aus. Die einzigartigen Eigenschaften von Lasern und Masern werden schon in vielen Gebieten, wie z.B. in der Industrie, in der Nachrichtentechnik und in der Medizin, genutzt; neue Anwendungen werden ständig gefunden.

Licht und Mikrowellen sind beides Formen der elektromagnetischen Strahlung. Sie unterscheiden sich nur durch die Frequenz (also auch die Wellenlänge) der Strahlung: Licht hat eine wesentlich höhere Frequenz (kürzere Wellenlänge) als Mikrowellen.

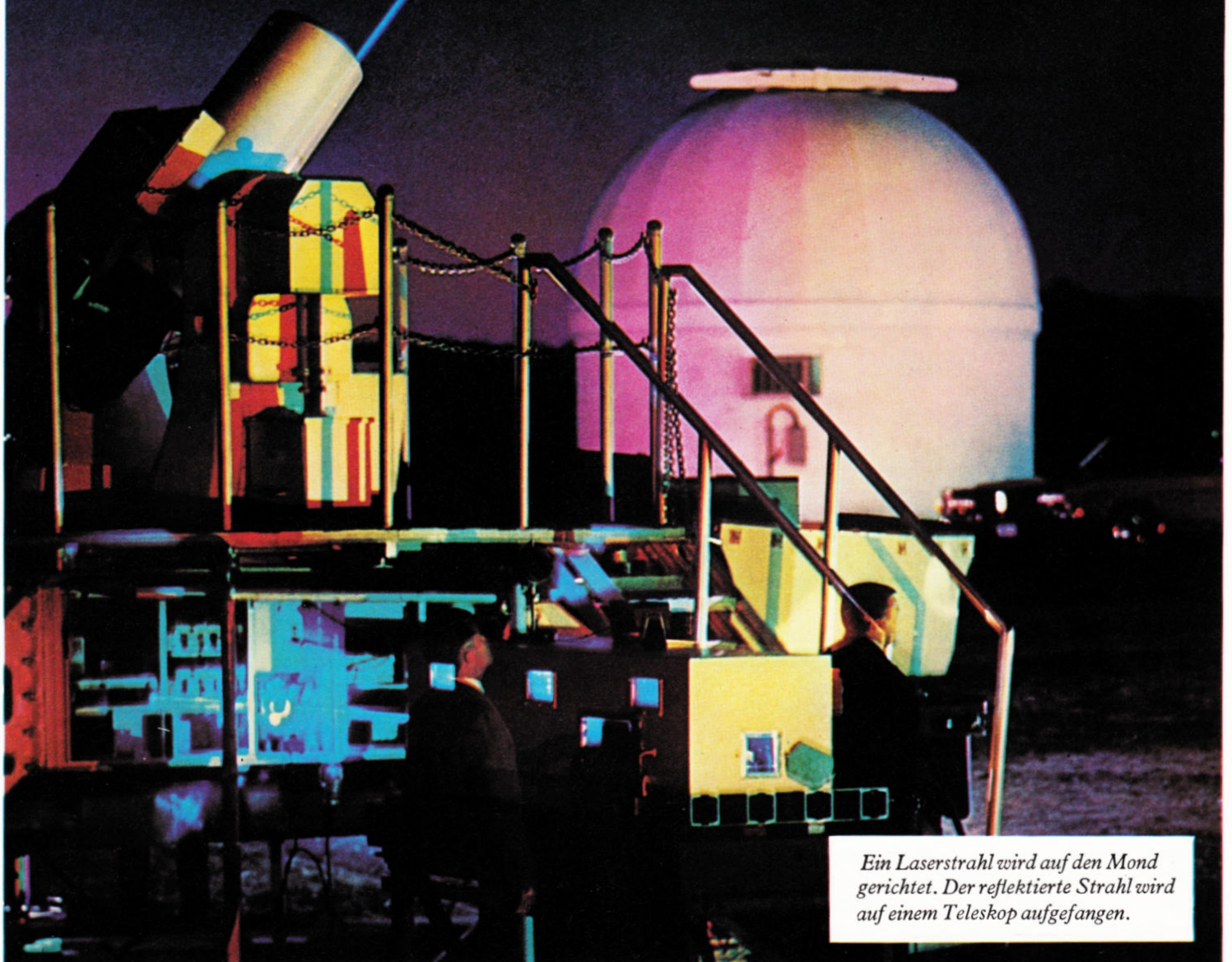
Elektromagnetische Strahlung entsteht, wenn Elektronen,

die sich in Umlaufbahnen oder 'Energieniveaus' um den Kern eines Atoms bewegen, einen Teil ihrer Energie verlieren. Um zu verstehen, wie dies vor sich geht und um zu verstehen, wie Laser diese Energie in eine regelmäßige, geordnete Form bringen, muß man sich mit den Vorgängen in einem Atom beschäftigen.

### Elektronenbahnen

In Molekülen wie in Atomen sind die Elektronen in ihrer Bewegung nicht frei, sondern sind auf relativ wenige, voneinander verschiedene Umlaufbahnen ('Zustände') beschränkt, die für alle Atome eines bestimmten Elementes gleich sind, aber für verschiedene Elemente sehr verschieden ausfallen können. In jeder Bahn haben die Elektronen eine bestimmte, feste Energie, wobei die dem Kern nächsten Elektronen die geringste, die weiter weg befindlichen Elektronen eine höhere Energie besitzen.

Ein Elektron kann aus einem gegebenen Zustand in eine nicht besetzte Bahn übergehen. Dabei darf das Gesetz von der Erhaltung der Energie nicht verletzt werden. So muß also ein Elektron, das in einen weiter außen gelegenen Zustand übergehen soll, auf irgendeine Weise die für diesen Sprung notwendige Energie gewinnen, während bei einem Übergang in ein niedriges Niveau die entsprechende Energie abgegeben werden muß. Diese Energieaufnahme oder -abgabe geschieht durch Absorption (Aufnahme) oder Emission (Abgabe) von Energie- 'Paketen' (Quanten), die man 'Photonen' nennt. Photonen sind die kleinstmöglichen 'Lichtpakete', die



Ein Laserstrahl wird auf den Mond gerichtet. Der reflektierte Strahl wird auf einem Teleskop aufgefangen.



es gibt. Das von uns wahrgenommene Licht besteht einfach aus einer ungeheuren Menge einzelner Photonen, durch deren große Zahl der Eindruck einer kontinuierlichen Lichtstrahlung entsteht.

Jedes Photon hat eine feste Energie und eine zu dieser Energie umgekehrt proportionale Wellenlänge. Wenn ein Elektron von einem äußeren Niveau auf ein niedrigeres Niveau übergeht, wird ein Photon ausgesendet, dessen Energie dem Energieunterschied der beiden Niveaus entspricht. Bei dem umgekehrten Prozeß des Überganges von einem niedrigen zu einem höheren Niveau (von einer inneren Bahn zu einer äußeren) muß das Elektron die entsprechende Energie aufnehmen. Eine Möglichkeit besteht nun darin, daß das Elektron ein Photon mit genau der erforderlichen Energie und Wellenlänge absorbiert.

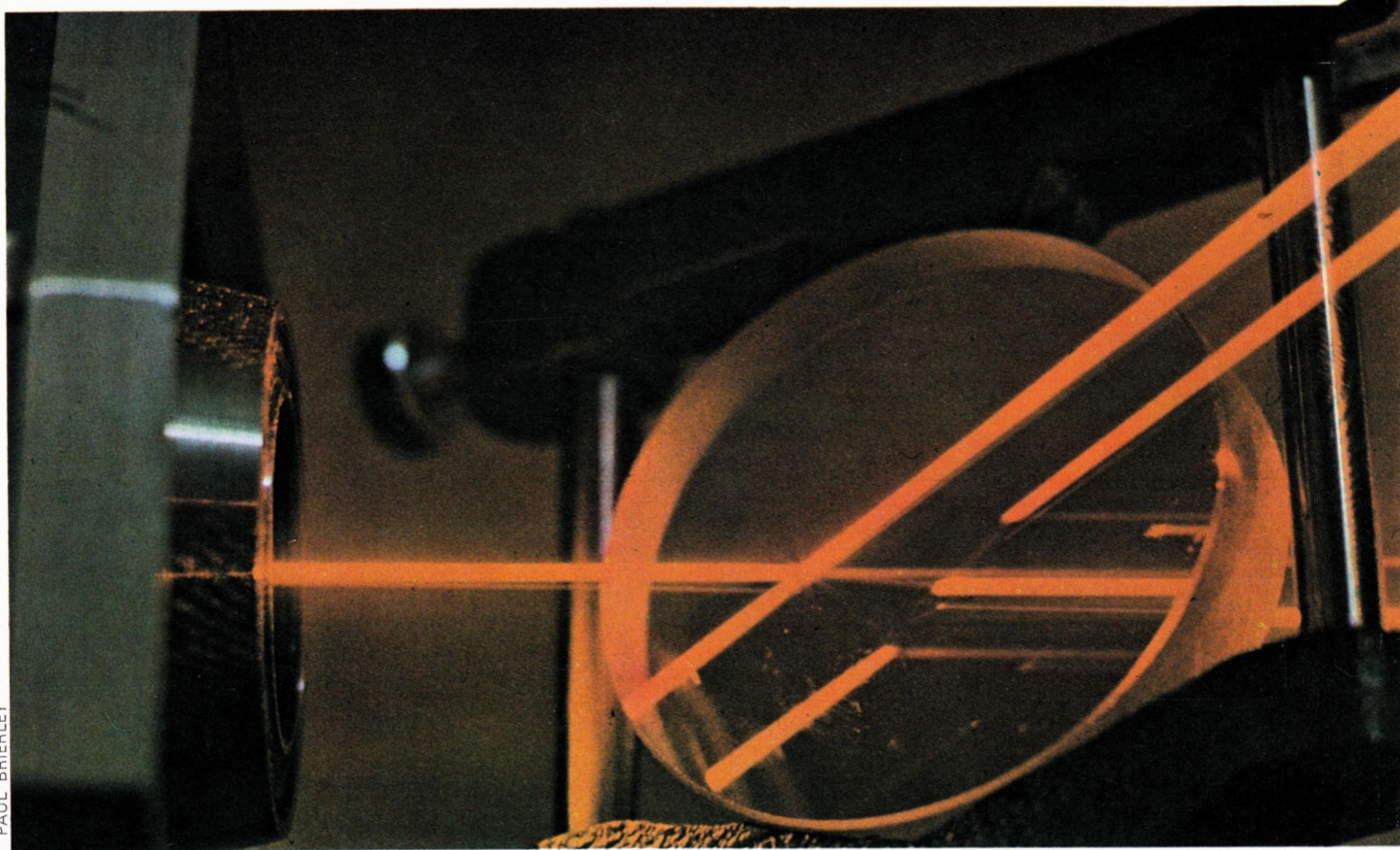
### Spontane Emission

Der niedrigste Zustand eines Elektrons heißt 'Grundzustand', und alle höheren energetischen Niveaus, die es annehmen kann, werden 'angeregte Zustände' genannt. Man kann Elektronen nicht nur durch die erwähnte Absorption von Photonen, sondern durch eine ganze Reihe von Methoden in angeregte

nommene Licht entsteht durch diese spontane Emission von Photonen bei Übergängen angeregter Elektronen. Die verschiedenen Lichtquellen unterscheiden sich nur durch die Anregungsmethode. Beispiele sind: Kernreaktions-Erwärmung (nukleare Wärme) in der Sonne, elektrische Aufheizung in einer Glühlampe oder Elektronenbeschuß in einer Gasentladungslampe (Neonlampe). Wegen der statistischen (zufallsbedingten) Natur der spontanen Emission senden alle diese Lichtquellen Licht nach allen Richtungen aus; die einzelnen Photonen haben keinerlei zeitliche Beziehung zueinander. Diese Art von Licht heißt 'inkohärent', im Gegensatz zu 'kohärentem' Licht (s. unten).

### Stimulierte Emission

Wie wir gesehen haben, kann ein Elektron durch ein Photon geeigneter Energie in einen angeregten Zustand versetzt werden. Was passiert aber, wenn sich das Elektron im Moment des Auftreffens des Photons bereits auf einem höheren Niveau befindet? Der 'gesunde Menschenverstand' läßt erwarten, daß das Elektron nicht beeinflusst wird. In der Atomphysik gibt es jedoch keine einfachen Richtlinien dieser Art. Tatsächlich wird das Elektron zu einem Übergang in den niedrigeren



PAUL BRIERLEY

Zustände bringen. So führt die Erhitzung einer Substanz zu einer Anregung der Elektronen ihrer Atome oder Moleküle. Auch hohe elektrische Felder oder der Beschuß mit freien Elektronen können Anregungen hervorrufen.

Die auf höhere Energieniveaus angeregten Elektronen sind jedoch in keinem stabilen Zustand. Sie begeben sich spontan auf ein verfügbares niedrigeres Niveau zurück und senden dabei ein Photon aus. Diese 'spontane Emission' ist zufallsbedingt. Es gibt keine Möglichkeit, den Zeitpunkt der Emission oder die Richtung der Abstrahlung für den Einzelfall vorherzusagen. Nur für eine große Zahl angeregter Atome läßt sich ziemlich genau angeben, wie viele Photonen zu einem bestimmten Zeitpunkt emittiert werden.

Das gesamte normalerweise von unserem Auge wahrge-

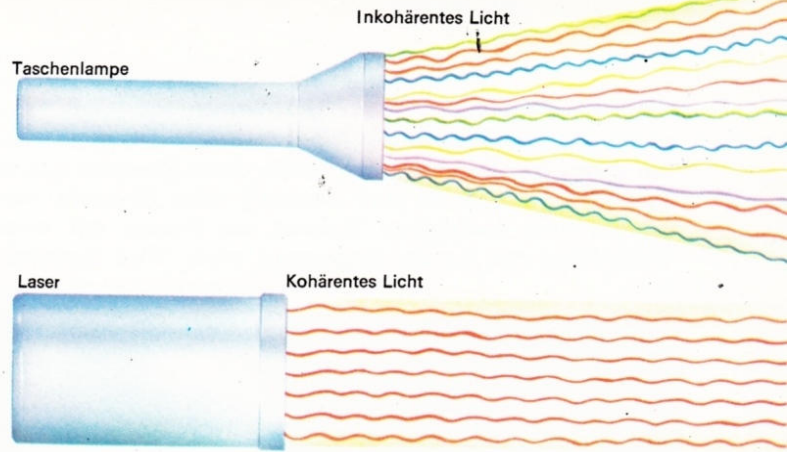
nommene Licht entsteht durch diese spontane Emission von Photonen bei Übergängen angeregter Elektronen. Dieser Vorgang der 'stimulierten Emission' wurde zuerst 1917 von Einstein aufgrund theoretischer Überlegungen vorhergesagt.

Das bei der stimulierten Emission ausgesendete Photon bewegt sich zudem in dieselbe Richtung wie das anregende Photon und ist mit diesem genau im Takt, 'in Phase' (man sagt, sie seien 'kohärent'). Die beiden identischen Photonen können nun die Emissionen weiterer Photonen durch andere angeregte Elektronen, die sie auf ihrem Wege treffen, stimulieren. Diese Photonen werden ebenfalls mit dem ersten Photon übereinstimmen. Unter geeigneten Bedingungen wird also das zuerst eingestrahlte Photon durch aufeinanderfolgende stimulierte Aussendungen weiterer Photonen immer weiter verstärkt. Das

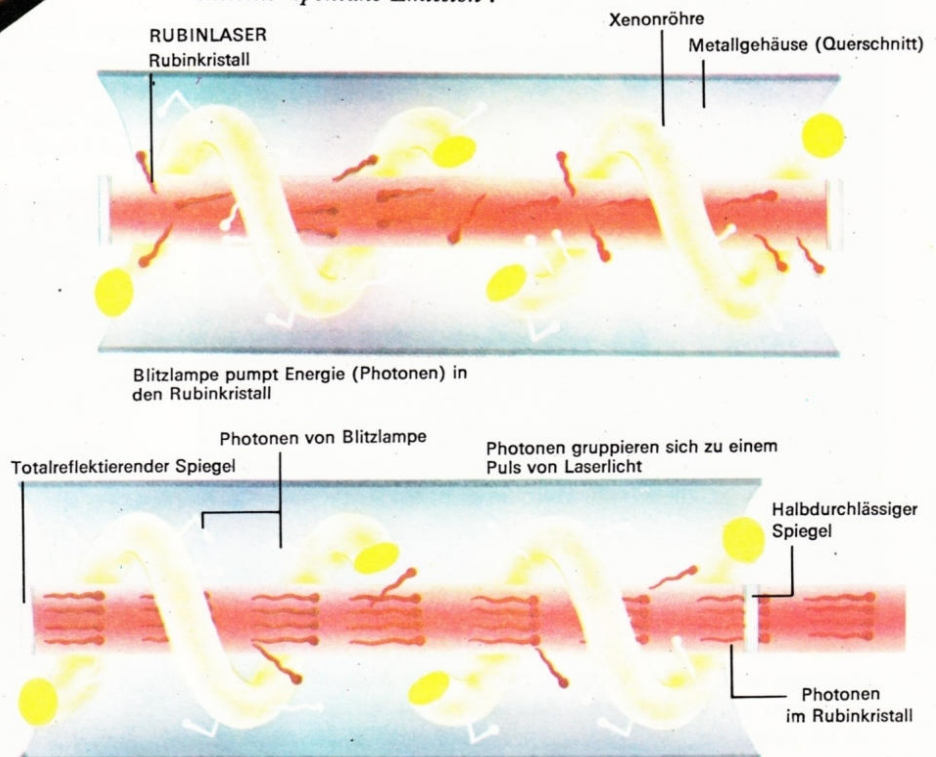


**Rechts:** Ein Laser erzeugt kohärentes Licht, d.h. die Lichtwellen haben genau die gleiche Frequenz und sind 'in Phase' zueinander. 'Normales' Licht, z.B. von einer Taschenlampe, ist inkohärent, d.h. es hat Wellen verschiedener Frequenz.

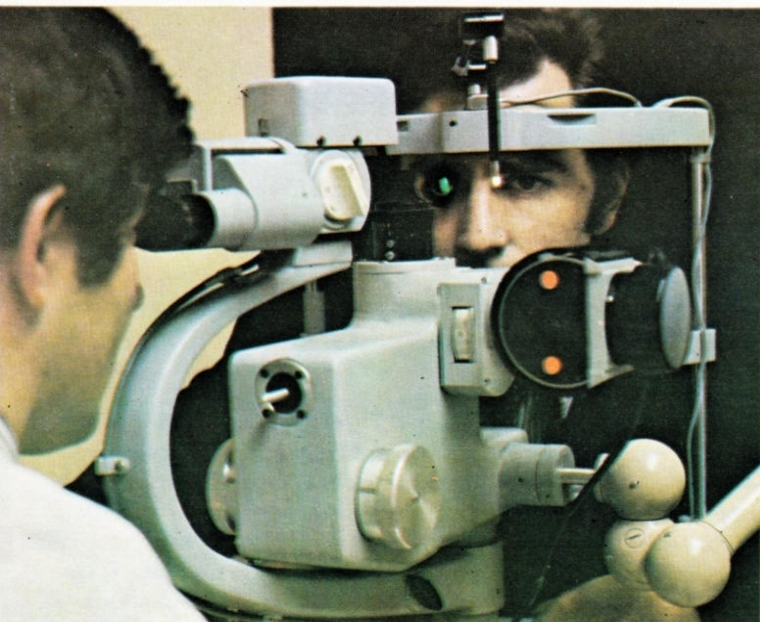
Laserstrahlen sind für holographische Aufnahmen unerlässlich. Der Laserstrahl wird dabei durch eine Linse gebrochen (links unten).



**Unten:** Die Funktionsweise eines Rubinlasers. Die Elektronen der Chromionen werden durch das Licht der spiralförmigen Blitzlampe in Energieniveaus gebracht, die höher liegen. Bei Rückkehr entsteht 'spontane Emission'.



**Links:** Laserstrahlen spielen in der modernen Medizin eine bedeutende Rollen und werden zum Beispiel bei Augenoperationen verwendet, wenn sich etwa die Netzhaut vom Augapfel gelöst hat.



Wort 'Laser' ist ein Akronym aus der Beschreibung dieses Prozesses: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

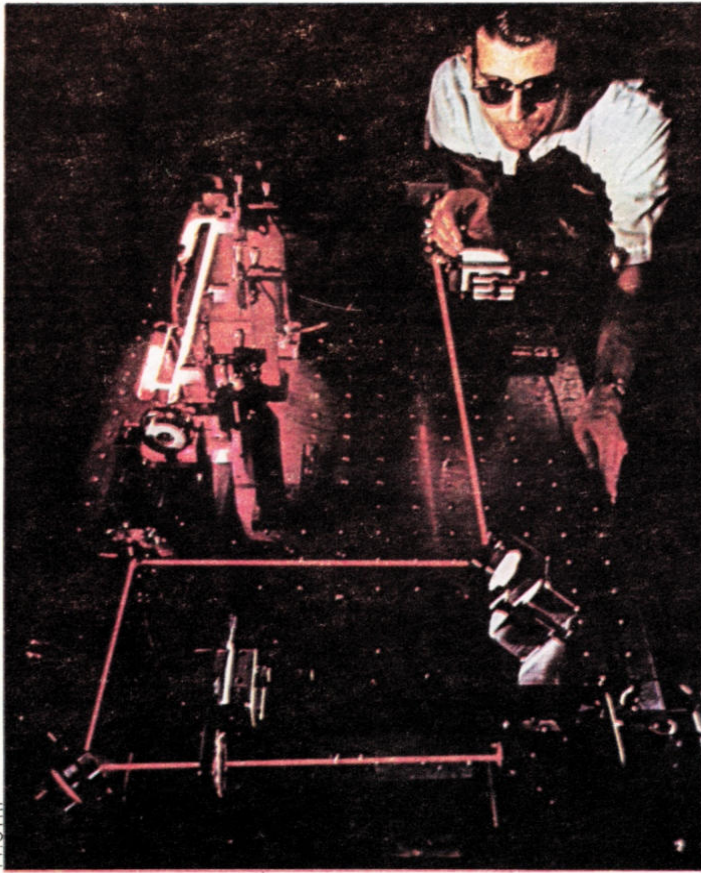
Ein Hindernis bei der Laserwirkung unter normalen Bedingungen besteht darin, daß Photonen — anstatt die Aussendung von Photonen durch angeregte Elektronen zu stimulieren — Elektronen im niedrigeren Zustand treffen und von ihnen absorbiert werden. Da sich normalerweise mehr Elektronen in niedrigeren Zuständen befinden, werden die ausgesendeten Photonen schneller vernichtet, als sie neue stimulieren können. Um eine Verstärkung zu erreichen, muß man künstlich dafür sorgen, daß sich die Mehrheit der Elektronen im angeregten Zustand befinden, womit die Erzeugung von Photonen gegenüber ihrer Vernichtung begünstigt wird. Dieser Zustand heißt 'Inversion'.

### Der Ammoniak-Maser

Im allerersten Maser wurde eine sehr einfache Methode



benutzt, um eine Inversion in den Molekülen von Ammoniakgas zu erzielen. Diese Moleküle besitzen viele Energieniveaus, von denen der Maser nur zwei nutzt, deren Energien sich so unterscheiden, daß bei dem Übergang eines Elektrons vom höheren zum niedrigeren Zustand ein Photon mit einer Wellenlänge von 1,2 cm ausgesendet wird. Wird Ammoni-



PHOTRI

akgas durch ein elektrisches Feld geschickt, ergibt sich für die Moleküle im höheren Zustand eine andere Ablenkung als für diejenigen im niedrigeren Zustand. Man erhält also zwei Molekülstrahlen, von denen einer überwiegend angeregte Zustände enthält. Dieser Strahl ist nun ein geeignetes Medium für die Wirkungsweise des Masers, bis spontane Emission ihn wieder in den Grundzustand überführt.

In den meisten Fällen ist die Erzeugung einer Inversion weitaus schwieriger als beim Ammoniak-Maser. Die interessierenden Energieniveaus können meistens nicht durch elektrische Felder getrennt werden. Außerdem versagt die Methode, wenn die Atome Bestandteile eines festen Körpers sind. Es sind verschiedene andere Methoden zur Einstellung einer Inversion entwickelt worden, die jeweils spezifische Eigenschaften des laseraktiven Materials ausnutzen.

### Die verschiedenen Laserarten

Im ersten Laser, der sichtbares Licht, im Gegensatz zu Mikrowellen, produzierte, wurde ein Rubinkristall als Medium benutzt. Die Methode des 'optischen Pumpens' diente zur Anregung von Elektronen für die Einstellung der Inversion. Rubin ist eine kristalline Form des Aluminiumoxids, in das einige Chromionen eingebaut sind. Obwohl die Chromionen nur Verunreinigungen im Kristall darstellen, sind sie für die charakteristische rote Farbe des Rubins, die durch spontane Emission von Photonen bei Übergängen der Chromelektronen entsteht, verantwortlich. Im Rubinlaser wird Licht der gleichen Farbe in kohärenter Form durch stimulierte Emission erzeugt. Dazu werden drei Energieniveaus des im Kristall eingebauten Chroms benutzt.

Das mittlere und das untere Niveau werden für die Lasertätigkeit benötigt. Das dritte, obere Niveau besteht genau genommen aus einer großen Zahl von Zuständen, die so dicht beieinander liegen, daß sie wie ein breites Band von Energiezuständen wirken, das von vielen Elektronen besetzt werden kann. Das Prinzip des optischen Pumpens besteht nun darin, den Kristall mit einem Lichtblitz (einer Xenonlampe im Falle des Rubins) zu bestrahlen, der Elektronen aus dem unteren Niveau in das obere Band anhebt.

Von diesen angeregten Zuständen geben die Elektronen schnell einen Teil ihrer Energie an den Kristall ab und be-

**Rechts:** Ein Foto des von Lasern beleuchteten Washington Monuments. Laserlicht wird heute als 'Lichtskulptur' auf Theater und Konzertbühnen benutzt.

**Links:** Ein Laserstrahl im Detektor eines Speichersystems eines optischen Fotocomputers.

**Unten:** Ein Blech wird mit dem Lichtstrahl eines Kohlenstoffdioxid-Lasers zerschnitten.



geben sich in den mittleren Zustand.

Wenn mehr als die Hälfte der laseraktiven Elektronen des Chroms auf den höheren Zustand gepumpt werden können, ist die Inversion mit einem Überschuß von Elektronen im mittleren Zustand gegenüber dem Grundzustand erreicht. Die Elektronen im mittleren Zustand werden nun spontan nach allen Richtungen Photonen einer Wellenlänge von  $0,6943 \mu\text{m}$  ( $0,6943$  Millionstel Meter Licht im roten Spektralbereich) abgeben.

Die Form des Kristalls wird so gewählt, daß einige dieser Photonen den Lasereffekt in Gang bringen. Dazu wird der Kristall als langer Stab mit ebenen, parallelen Enden zugeschnitten, die poliert und versilbert werden. Ein in die Längsrichtung des Stabes ausgesendetes spontanes Photon wird von den Enden reflektiert und legt so einen langen Weg im Kristall zurück, der es mit einer höheren Wahrscheinlich-



keit auf ein Elektron im mittleren Zustand treffen läßt. Damit wird die Laserkaskade angeregt. Ein Ende des Stabes wird nur schwach versilbert, so daß ein Teil der Strahlung austreten kann.

Es gibt heute viele ähnliche Laser, die eine Reihe verschiedener Kristalle benutzen. Ein Lasertyp, der die Eigenschaft von Neodym-Verunreinigungen in Yttrium-Aluminium-Granat nutzt, ist deshalb interessant, weil seine Energieniveaus so liegen, daß er mit Sonnenlicht gepumpt werden kann.

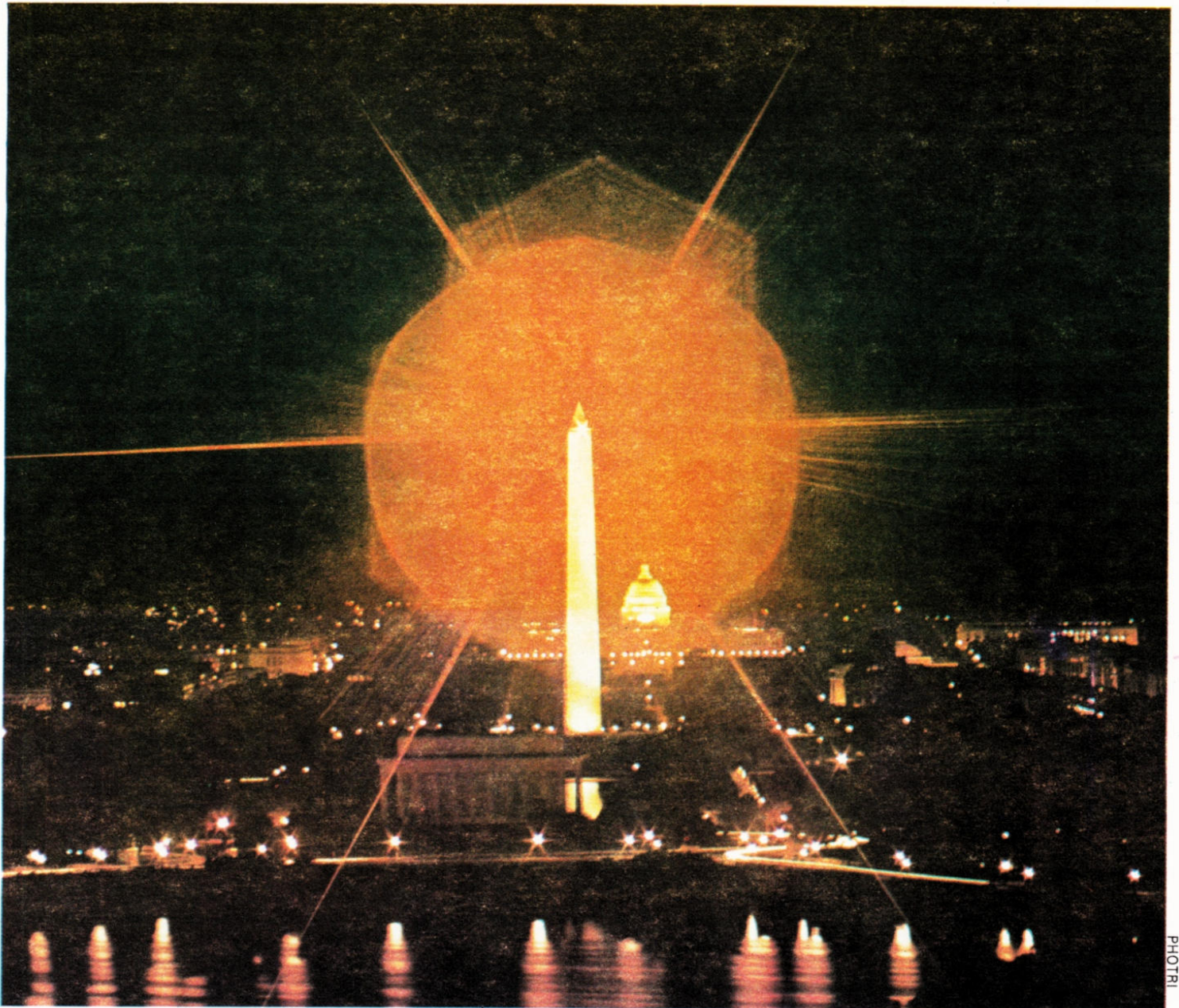
Eine weitere Klasse von Lasern benutzt Gase als Medium. Der bekannteste unter ihnen ist der Helium-Neon-Laser, der kohärentes Neonlicht abgibt.

## Anwendungen des Lasers

Da die stimulierte Emission Photonen hervorbringt, die sich

lichen Werkzeug beim Schneiden, Bohren und Schweißen, insbesondere bei Miniaturarbeiten, wo hohe Präzision verlangt wird. Die wohl eindrucksvollste Anwendung des Lasers auf diesem Gebiet haben die Chirurgen entwickelt, die eine abgelöste Retina wieder anschweißen können. Der Laserstrahl kann genau auf die gewünschte Stelle der Retina gerichtet werden, der Augapfel selbst dient als Sammellinse.

Die stabile Wellenlänge (und Frequenz) der Laser hat es ermöglicht, daß zum erstenmal auch sichtbares Licht analog zu Radiowellen eingesetzt werden kann. Gegenwärtig werden viele Untersuchungen durchgeführt, um ein Kommunikationssystem auf der Grundlage des Laserlichtes zu entwickeln. Der Hauptvorteil des sichtbaren Lichtes liegt darin, daß es wegen seiner hohen Frequenz in einem Strahl Millionen von Telefon- oder Fernsehkanälen mehr aufnehmen kann als eine Radiowelle. Außerdem wird der Laserstrahl



alle in dieselbe Richtung bewegen, ist der von einem Laser ausgesandte Lichtstrahl fast vollkommen parallel. Dies bedeutet, daß ein Laserstrahl mit einer Linse zu einem äußerst kleinen Durchmesser fokussiert werden kann. In diesem Gebiet (dem Brennpunkt der Linse) ist die Lichtintensität so groß (selbst bei einem schwachen, nicht fokussierten Strahl), daß man leicht Metalle und sogar Diamanten damit verdampfen kann. Hierdurch wurde der Laser zu einem nütz-

wegen der scharfen Bündelung weniger Energie benötigen, um zwischen zwei Punkten Nachrichten zu übertragen, da keine Energie in die anderen Richtungen vergeudet wird. Für die Ausstrahlung von Radio- und Fernsehprogrammen für die Allgemeinheit ist ein Laser nicht geeignet, denn dazu wird eine Antenne mit Abstrahlung nach allen Seiten benötigt. Im übrigen kann Laserlicht Wolken nicht besser durchdringen als normales Licht.



## LAUTSPRECHER

**Der am weitesten verbreitete Lautsprechertyp arbeitet nach dem Tauchspulenprinzip, das gegen Mitte der zwanziger Jahre entwickelt wurde.**

Ein Tauchspulenlautsprecher besteht aus einer leicht beweglichen kreisförmigen Membran, die frei federnd zwischen ihrer äußeren Umrandung und in Nähe ihres Mittelpunktes eingespannt ist. Der äußere Rand ist mit einem Metallrahmen verbunden. An der Membranmitte ist ein zylindrischer Spulenkörper angeklebt, der mit isoliertem Draht umwickelt ist. Man nennt diese Spule Schwingspule. Ihre Längsachse befindet sich zwischen zwei Magnetpolen. Frühere Lautsprecher besaßen Elektromagneten, die mit einer vom Verstärker gelieferten Gleichspannung betrieben wurden. Heute verwendet man Permanentmagnete aus magnetisch weichem Eisen oder aus keramischen Ferriten.

Liegt ein elektrisches Signal an der Spule an, tritt nach den Gesetzen des Elektromagnetismus eine Kraft auf: Die Spule verhält sich wie ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld. Wegen ihrer starren Verbindung zur Membran wird diese in Bewegung versetzt. Die axiale Membranbewegung folgt genau den Änderungen des elektrischen Signals. Auf diese Weise wird die elektrische Schwingung in eine akustische Schwingung, also in eine schnelle Luftdruckänderung, umgesetzt.

Die ersten Lautsprecher dieser Art besaßen gegenüber den vorher bekannten Schalltrichtern große Vorteile, weil eine Vergrößerung der Lautstärke einfach durch eine Vergröße-

rung des an die Schwingspule gelegten elektrischen Signales hervorgerufen werden konnte. Früher ließ sich dies nur durch eine Änderung der Baugröße des Schalltrichters erreichen.

### Gehäusearten

Der durchschnittliche Hörbereich umfaßt das Frequenzspektrum von 30 Hz bis ungefähr 16 000 Hz. Schon lange vor den ersten gebauten Schallwandlern war bekannt, daß bestimmte Probleme überwunden werden müssen, wenn ein Lautsprecher im gesamten Hörbereich alle Frequenzen abstrahlen soll. Ein Problem besteht darin, die Schallwellen, die der Lautsprecher auf der Rückseite der Membran erzeugt, akustisch von den Schallwellen zu trennen, die von der Frontseite abgestrahlt werden. Wird dies nicht beachtet, löschen sich die Schallwellen des unteren Frequenzbereiches gegenseitig aus; man spricht von einem akustischen Kurzschluß. Das zweite zu lösende Problem ist der unterschiedliche Abstrahlwinkel der Schallwellen bei unterschiedlicher Frequenz: Hohe Frequenzen verlassen die Schallquelle eng gebündelt. Dies ist ein Effekt, dessen Wirkung mit größer werdendem Membrandurchmesser zunimmt. Eine Verbesserung der Schallabstrahlung und des Wirkungsgrades bei den unteren Frequenzen (Bassfrequenzen), erzielt man dadurch, daß man den Lautsprecher in einem Gehäuse oder in einer Box befestigt.

Heute wird der Lautsprecher oft in eine abgedichtete Box eingebaut, die mit schallschluckendem Material ausgefüllt ist, so daß ein akustischer Kurzschluß verhindert wird. Allerdings ist damit eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit verbunden, d.h. der Verstärker muß eine größere Leistung zur Ansteuerung des Lautsprechers liefern, wenn die Lautstärke gleichbleiben soll. Man erhält damit jedoch eine gute Basswiedergabe aus einem leicht unterzubringenden, kleinen Gehäuse. In anderen Ausführungen nutzt man die rückwärtige Abstrahlung zur Unterstützung der vorderen Abstrahlung aus, indem man die rückwärtigen Schallwellen innerhalb des Gehäuses geringfügig verzögert. Ein Beispiel hierfür ist die abgestimmte Reflexbox, bei der eine Öffnung oder ein Schlitz

*Hi-Fi-Lautsprechern der 80-90 Watt-Klasse. Das kugelförmige Lautsprechergehäuse hat zwei Bässe und zwei gewölbte Hochleistungslautsprecher. Frequenz: 45-26000 Hz.*







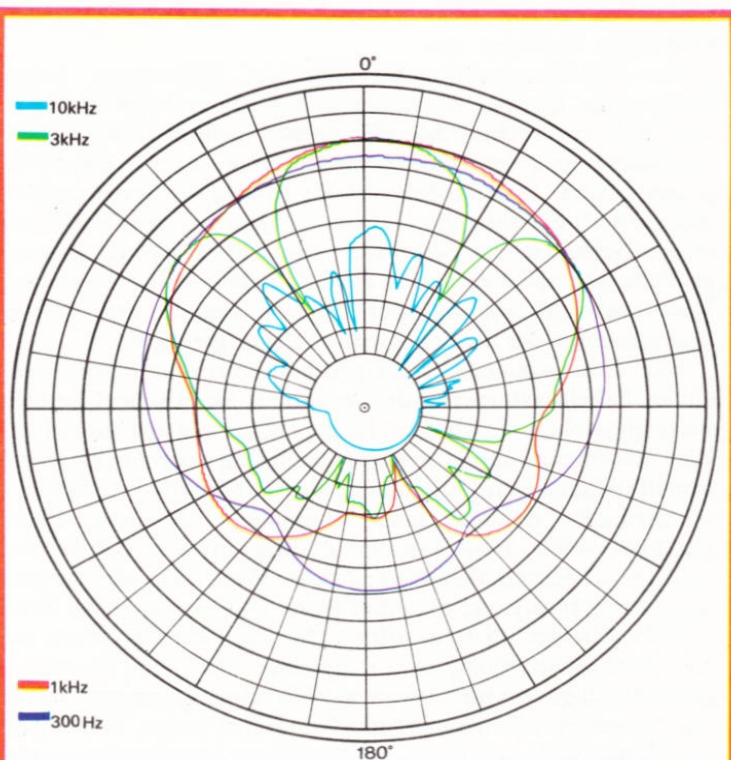
DENIS O'REGAN

an der Frontseite den Schalldruck in einem besonders abgestimmten Baßfrequenzbereich verstärkt. Die Boxen mit Labyrinth- oder Übertragungsleitungen führen die rückwärtige Abstrahlung zur Vorderseite der Box, wo sie eine verstärkte Abstrahlung bewirken. Diese Entwicklungen, die heute weitverbreitet angewendet werden, begannen während der dreißiger Jahre.

Einfache Lautsprecher findet man ebenso in Rundfunk- und Fernsehgeräten wie in tragbaren Plattenspielern und Kassettenrecordern. Für eine hochwertige Wiedergabe ist allerdings mehr als ein Lautsprecher zur Abstrahlung des gesamten Hörbereiches erforderlich. Sehr kleine Lautsprecher mit einem Membrandurchmesser von drei oder fünf Zentimetern setzt man oft zur Abstrahlung hoher Frequenzen ein. Mit diesen kleinen Membrandurchmessern überwindet man das Problem der eng gebündelten Schallabstrahlung. Ihre Bauform ist so optimiert, daß die Wiedergabe hoher Frequenzen genauer verläuft, als es bei einer großflächigen Membran möglich ist. Lautsprecher für hohe Frequenzen benötigen eigentlich keine besonderen Gehäuse, denn die Bewegungen ihrer Membran sind sehr klein. Daher können sie ohne Beeinflussung ihrer Arbeitsweise in Lautsprecherboxen für niedrige Frequenzen miteingebaut werden.

Bei zeitgemäßen Lautsprechersystemen hochwertiger Wiedergabequalität findet man einen Baßlautsprecher mit einem Membrandurchmesser von ungefähr 25 cm, der im Bereich von 30 Hz bis 500 Hz Schallwellen abstrahlt, einen Mitteltonlautsprecher von 15 cm Durchmesser, dessen Arbeitsbereich von 500 Hz bis 4 kHz reicht und einen kleinen Lautsprecher als Hochtöner für den Bereich der darüber liegenden hohen Frequenzen. Die Ansteuerung der Lautsprecher erfolgt über ein elektrisches Filter oder eine Weiche, über die angenähert die Frequenzen des Hörbereiches auf die einzelnen Lautsprecher aufgeteilt werden. Beträchtliche Sorgfalt muß bei der Schaltungsauslegung aufgewendet werden, damit vom Lautsprechersystem her nicht ein zusätzlicher Ton erzeugt wird. Verwendet man stattdessen eine Anordnung jeweils

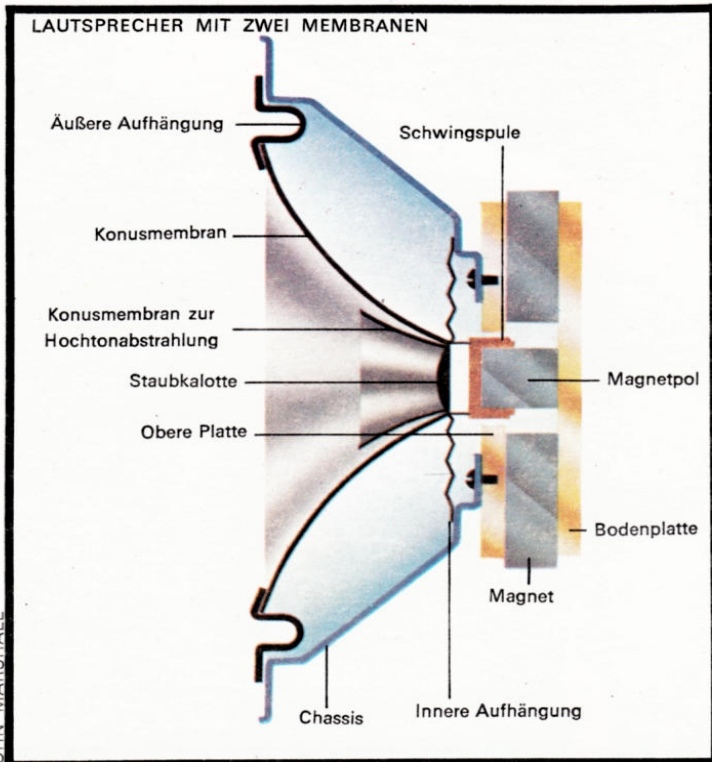
**Oben:** Eine Rock-Gruppe bei einem Konzert. Massive Lautsprecher und riesige Verstärkeranlagen gehören zur Standardausrüstung solcher Gruppen.



ALLARD GRAPHIC ARTS

**Oben:** Eine Polarkoordinatendarstellung weist den gleichförmig abgestrahlten Schalldruck eines Lautsprechers nach. Man sieht Kurvenverläufe verschiedener Frequenzen. Niedrige Frequenzen werden nahezu gleichförmig abgestrahlt, höhere führen zu ungleichmäßiger Abstrahlung.





*Querschnitt durch einen Lautsprecher mit zwei Membranen. Das vom Verstärker zugeführte Signal erreicht die Schwingensule, die bei Wechsellspannung magnetisiert wird.*

beiden polarisierten Platten berühren. Daher werden bei der Abstrahlung die niedrigen Frequenzen unterdrückt. Im allgemeinen zieht man den Schwingensulenlautsprecher zur wirklichkeitsnahen Baßwiedergabe vor, während der elektrostatische Lautsprecher vorteilhaft zur Wiedergabe hoher Frequenzen geeignet ist — obgleich es einige Hochttonlautsprecher mit Schwingensule gibt, die hohen Qualitätsansprüchen genügen.

Derzeitige Weiterentwicklungen von Schwingensulenlautsprechern sollen zur Verbesserung des Frequenzganges, d.h. eine hohe Wiedergabegenauigkeit, führen, sowie zarte Tonwiedergaben für Musik und Sprache ermöglichen. Man kann heute sehr verschiedene Lautsprechersysteme kaufen, und man wird feststellen, daß nur wenige von ihnen ein gleichartiges Klangbild aufweisen. Dies liegt an der komplizierten Art, in der sich die Membran bewegt und wodurch

getrennter Schallquellen, entfallen entsprechende Maßnahmen. Viele moderne Hochttonlautsprecher besitzen eine kuppelartig gekrümmte Membran, die sich starrer verhält als die bisher beschriebene Konusmembran, wodurch man einen genauen Frequenzgang erhält.

### Weitere Lautsprecherbauformen

Andere Bauformen von Lautsprechern wurden um 1950 entwickelt; sie stellen noch heute eine gute Alternative zu den bisherigen Systemen dar.

Der Bändchenlautsprecher, der zur Wiedergabe hoher Frequenzen geeignet ist, arbeitet mit einem Magnetfeld, in dem sich ein leichtes Metallbändchen befindet, das wenige Zentimeter lang ist und einen Durchmesser von ungefähr 9 mm besitzt. Das Bändchen wirkt sowohl als Schwingensule wie auch als Schallstrahler. Da es so klein ist, wird es oft mit einem Schalltrichter verbunden, um die Wirkung zu vergrößern. Die winzige Masse des Bändchens läßt eine genaue Wiedergabe zart anklingender Töne zu, weil die gespeicherte Energiemenge der kleinen Membran sehr gering ist.

Der elektrostatische Lautsprecher wurde erfolgreich zu einem Schallstrahler für den gesamten akustischen Bereich weiterentwickelt. In diesem Lautsprecher besteht die Membran aus einem dünnen steifen Metallblech oder aus einer mit Metall überzogenen Plastikplatte, die in ihrer gesamten Fläche in geringem Abstand einer ähnlichen befestigten Platte gegenübersteht. Eine Gleichspannung in der Größe von mehreren Tausend Volt wird an beide Platten gelegt, wodurch das System polarisiert wird und damit eine mechanische Kraft zwischen beiden Platten auftritt. Sie sind durchlöchert, um eine Schallabstrahlung zu ermöglichen. Das vom Verstärker gelieferte Signal wird über einen Trenntransformator an die Platten gelegt. Mit dem elektrischen Signal ändert sich die auf die Platten wirkende Kraft, wodurch eine Membranbewegung und damit eine Schallabstrahlung erzeugt wird. Die Bewegungen der leichten und straff eingespannten Membran folgen sehr genau dem Signal in fein abgestuften Tönen. Man erhält eine Musikqualität mit nahezu perfekter Wiedergabe. Die Wiedergabe wird nur dadurch begrenzt, daß im Bereich des unteren Frequenzbandes, in dem die Membran sehr große Bewegungen ausführen muß, die Gefahr besteht, daß sich die



*Die ersten Kopfhörer (der Hörer rechts im Querschnitt) mit einem Multi-Membran-System.*

der genaue zeitliche Ablauf einzelner Frequenzkomponenten gestört wird, die zusätzlich zu den Grundschwingungen der Musik- und Sprachdarbietungen als Oberschwingungen auftreten. Es bleibt zu bezweifeln, ob sich ein neuer Lautsprechertyp so gut einführen ließe wie es die gegenwärtigen schon sind. Dieser neue Lautsprechertyp müßte nicht nur billiger, sondern auch besser als die althergebrachten Systeme sein. Allerdings kann man feststellen, daß die Unterschiede zwischen verschiedenen Lautsprechern immer geringer werden und ihre Tonwiedergabe schon genauer ist, als es noch vor einigen Jahren der Fall war.







# Erfindungen 27: SCHRAUBE UND SCHRAUBENPRESSE

Nach der Überlieferung soll der griechische Mathematiker Archytas aus Tarent die Schraube um 400 v. Chr. erfunden haben. Sicherlich waren vor dieser Zeit noch keine Schrauben bekannt. Das erscheint überraschend, da das Prinzip der Schraube in der Natur in vielerlei Gestalt, wie z.B. beim Schneckenhaus, vorkommt. Es leuchtet ein, daß die größte Schwierigkeit bei der Entwicklung der Schraube die Formgebung und das Schneiden des Gewindes und eines Gegengewindes (Muttergewinde) zu seiner Aufnahme war.

## Das Schneiden des Gewindes

Der römische Autor Vitruv, der im 1. Jahrhundert v. Chr. lebte, deutet an, wie die erste Schwierigkeit überwunden wurde. Man legte einen hölzernen Zylinder, aus dem eine Schraube gefertigt werden sollte, auf eine ebene Oberfläche. Dann spannte man ein kräftig mit einem Farbstoff getränktes Stück Schnur schräg von einem Ende des Zylinders aus, und zwar von ihm wegweisend. Anschließend rollte man den Zylinder gleichmäßig über die Fläche. Dabei nahm er von der Schnur Farbe auf. Damit war der Weg für das Stemmeisen vorgezeichnet.

Im ersten Jahrhundert n. Chr. lieferte Heron von Alexandria seine Lösung. Aus einem weichen Blech schnitt er ein rechtwinkliges Dreieck. Die Länge seiner Ankathete entsprach dem Umfang des Zylinders, aus dem die Schraube geschnitten werden sollte. Dieses Dreieck legte er um den Zylinder herum, wobei die Ankathete glatt am Ende des Zylinders anlag. Durch einen kleinen



BRUNO BARBEY/MAGNUM



ST. BRIDES PRINTING LIBRARY

**Oben:** Auf einem Wandteppich aus dem 16. Jahrhundert in Angers (im Loire-Tal, Frankreich) dargestellte Traubenpresse. Der obere Balken ist an einem Scharnier angelenkt; Druck erzeugt man durch Drehen der Winde.

**Rechts:** Das Signet des Jodocus Badius Ascensius, eines berühmten Pariser Druckers, zeigt den Gebrauch einer Buchdruckerpresse um 1500.



Einschnitt an der Hypothenuse (längste Seite eines Dreiecks) entstand eine Ansatzlinie für das Gewinde. Danach wurde der Metallmantel weiter um den Zylinder geschoben und der Vorgang wiederholt.

### Schneiden des Muttergewindes

Zum Schneiden eines Muttergewindes wurde zuerst eine zylindrische Bohrung hergestellt und eine straff sitzende Schraube in das Loch eingeführt. An der Spitze dieser Schraube war eine kleine Schneidkante angesetzt, die so weit herausragte, wie es für das Schneiden der gewünschten Gewindetiefe erforderlich war. Danach wurde in einer schräg verlaufenden Linie mit einer dem Schraubengewinde entsprechenden Steigung (Abstand zwischen den Gewindegängen, parallel zur Achse gemessen) eine Reihe kleiner Bohrungen zu der zylindrischen Boh-

rung geführt. In diese kleinen Bohrungen wurden Stifte eingesetzt. Wenn nun die mit dem Schneidwerkzeug versehene Schraube eingedreht wurde, griffen die Stifte in das Gewinde und ermöglichten dem Schneidwerkzeug die gewünschte korkenzieherartige Bewegung.

### Schraubenpressen (auch Spindelpressen)

Die von Vitruv und Heron beschriebenen Schrauben bestanden gewöhnlich aus Holz, allerdings hat Heron auch Schrauben aus Bronze hergestellt. Sie dienten nicht nur zur Verbindung von Teilen, sondern auch als Bauteile von Maschinen. Schraubenpressen mit einzelnen und paarweise angeordneten Spindeln waren bald im ganzen Römischen Reich in Gebrauch. Sie wurden zum Auspressen des Öls aus Oliven benötigt. Olivenöl war zu jener Zeit das einzige

verfügbare Pflanzenöl und daher von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Man benutzte diese Pressen auch zum Auspressen von Traubensaft (Most) und von Dattelsirup. Sowohl Heron als auch der römische Historiker Plinius beschreiben Bau und Betrieb solcher Pressen, mit denen man sogar Kleidungsstücke glättete. Man hat in den Ruinen von Pompeji Darstellungen und Teile von hölzernen Pressen gefunden. Noch heute sind in der Umgebung von Karthago gigantische Steinfundamente für diese Pressen zu finden.

### Schrauben und Zahnräder

In seinen Schriften schlug Heron eine weitere Verwendung für Schrauben vor. Zu seiner Zeit griff bei allen Vorrichtungen zur Kraftübertragung ein Zahnrad in ein anderes ein. Heron scheint als erster Techniker erkannt zu haben, daß eine Schraube in die Verzahnung eines Zahnrades eingreifen kann. Er übernahm dieses Arbeitsprinzip für einige seiner Maschinen. Dieses System scheint allerdings keine allgemeine Anerkennung gefunden zu haben. So blieb die Schraube bis weit ins Mittelalter eine Vorrichtung, die nahezu ausschließlich in Pressen Verwendung fand.

### Die Schraubenwinde (auch Spindelheber)

In der Mitte des 13. Jahrhunderts zeichnete Villard de Honnecourt, ein Zisterziensermönch, der zugleich Techniker war, eine tragbare Schraubenwinde in sein Notizbuch. Damit scheint er der erste gewesen zu sein, der den ungeheuren mechanischen Vorteil der Schraube zum Heben schwerer Lasten erkannte. Dieses Prinzip erwies sich im 15. Jahrhundert als unschätzbar, als es erforderlich wurde, Kanonenrohre zu heben und abzulassen.

Gegen Ende des Mittelalters traten immer häufiger metallene Schrauben auf; doch wurden sie erst mit der Erfindung der Gewindeschneidmaschine im 16. Jahrhundert wirklich gebräuchlich. Der Entwurf zu einer solchen Maschine findet sich unter den Skizzen Leonardo da Vincis. Bis zum 17. Jahrhundert arbeiteten nur wenige Zimmerleute mit Schrauben.

Eine in englischen 'Buch der Zünfte', das 1823 in London veröffentlicht wurde, abgebildete weitverbreitete Spindelpresse. Bevor man die Bücher band, wurden sie zusammengepreßt.

