

HEFT 25 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK OS 25 SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



---

scan: **IGDL**

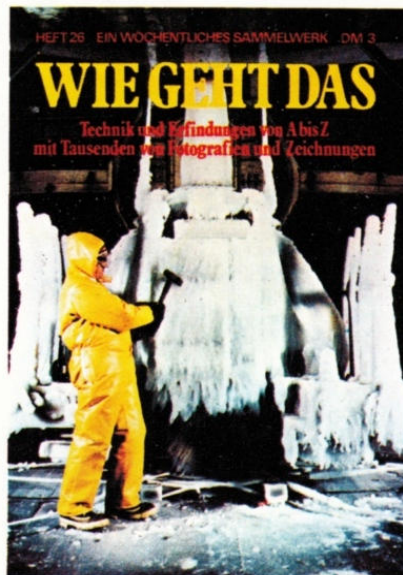


# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Hydraulikanlagen	673
Hydro-und Aerodynamik	678
Hydrologie	683
Hydrophon	688
Hygrometer	690
Induktion	691
Induktionsspule	693
Infrarotstrahlung	695
Integrierte Schaltungen	697

## In Heft 26 von Wie Geht Das



Die Erfindung von Kühlsystemen Ende des 19. Jahrhunderts war für die Lebensmittelindustrie von besonderer Bedeutung. Erstmals konnten Lebensmittel über einen längeren Zeitraum gelagert werden, ohne daß sie verderben oder spürbare Geschmacksveränderungen zeigten. In Heft 26 von Wie Geht Das können Sie lesen wie ein Kühlsystem funktioniert.

Unter den zahlreichen Alternativen zur konventionellen chemischen Rakete ist die elektrische Rakete eine der vielversprechendsten Entwicklungen für lange Weltraumfahrten. Unter dem Stichwort 'Ionenantrieb' werden im nächsten Heft von Wie Geht Das die Funktionsweise und die Vorzüge der elektrischen Rakete erklärt.

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE WOCHEN IHR HEFT BEKOMMEN

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

### ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

Österreich: Das einzelne Heft kostet öS 25. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto: Wien 2363.130. Oder legen Sie bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei. Kennwort: HEFTE.

Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

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

### INHALTSVERZEICHNIS

Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen. Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis dadurch, daß Sie die Umschläge der Hefte abtrennen und in der dafür vorgesehenen Tasche Ihres Sammelordners verwahren. Außerdem können Sie alle 'Erfindungen' dort hineinlegen.

### SAMMELORDNER

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

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

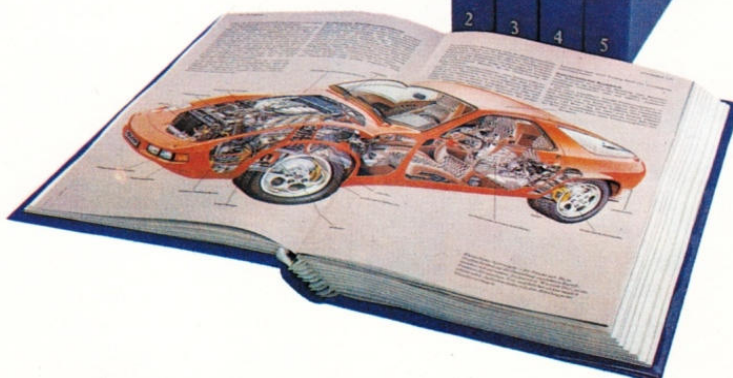
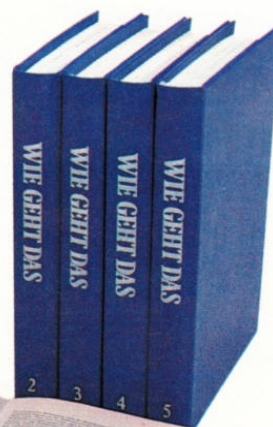
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202. Kennwort: SAMMELORDNER.

Österreich: Der Sammelordner kostet öS 80. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto Wien 2363.130. Oder legen Sie Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

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

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

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



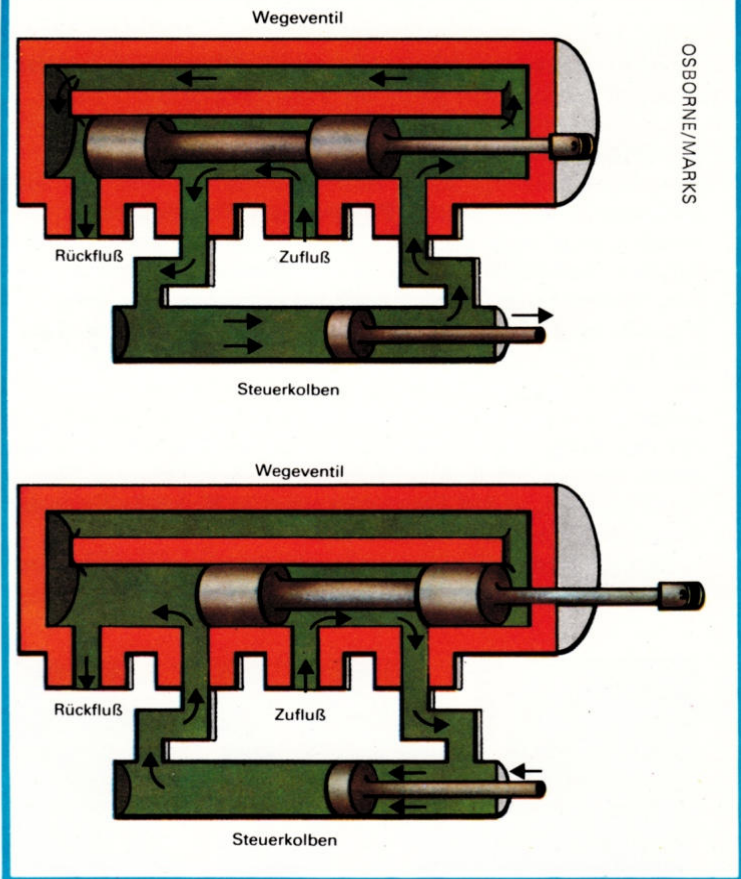


# HYDRAULIKANLAGEN

**Hydraulikanlagen (Einrichtungen, die von unter Druck stehenden Flüssigkeiten betätigt werden) spielen eine wichtige Rolle beim Betrieb moderner Maschinen, wie zum Beispiel in Flugzeugen, Lokomotiven und Erdbewegungsmaschinen.**

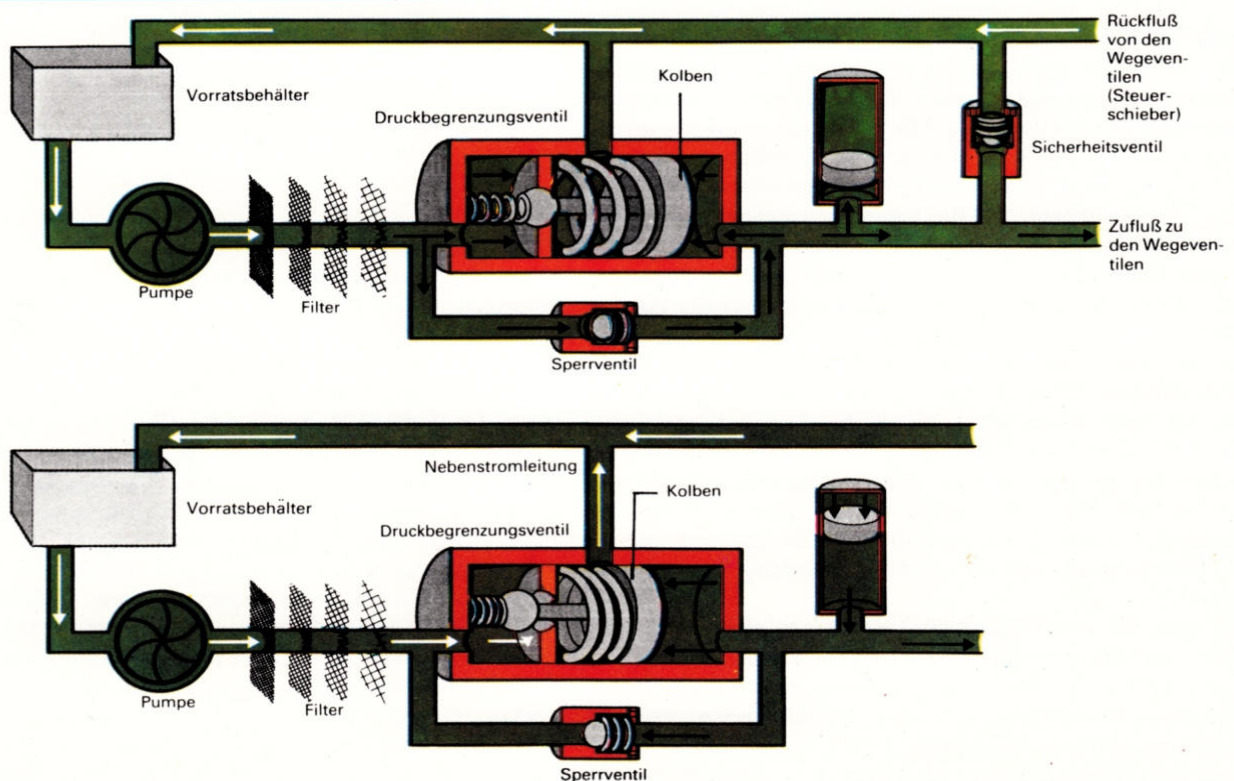
Um das Arbeitsprinzip von Hydraulikanlagen zu verstehen, muß man zwei Grundvoraussetzungen kennen. Die eine ist, daß Flüssigkeiten, auch unter hohem Druck, praktisch nicht komprimierbar sind; die andere, die Pascal im 17. Jahrhundert entdeckt hat, ist die, daß eine fest umschlossene Flüssigkeit Druck mit unverminderter Kraft in alle Richtungen gleichförmig weiterleitet. Wird beispielsweise ein Zylinder, in dem ein Kolben mit einer Oberfläche von  $10 \text{ cm}^2$  sitzt, über eine Leitung mit einem Kolben verbunden, dessen Fläche  $100 \text{ cm}^2$  mißt, und wird der kleinere Kolben mit einer Masse von  $5 \text{ kg}$  belastet, muß zum Ausgleich eine Masse von  $50 \text{ kg}$  auf den größeren Kolben gestellt werden. Daraus ergibt sich, daß mit zunehmender Kolbengröße eine Masse, die die  $5 \text{ kg}$  ausgleichen will, proportional zunehmen muß. Allerdings ist dazu zu sagen, daß der kleinere Kolben um  $250 \text{ cm}$  niedergedrückt werden muß, um so viel Flüssigkeit zu verdrängen, daß die Masse von  $50 \text{ kg}$  um  $25 \text{ cm}$  gehoben werden kann.

Zwar hat bereits Archimedes (285 v. Chr. bis 212 v. Chr.) um das Jahr 250 v. Chr. die Grundlagen der Hydraulik erforscht, doch konstruierte erst Joseph Bramah (1748 bis 1814) Ende des 18. Jahrhunderts die erste bekanntgewordene Hydraulikanlage, und zwar eine Hydraulikpresse. Sie bestand aus einem großen Zylinder, der einen Kolben mit einer Kolbenstange enthielt, die auf das zu pressende Material einwirkte. Der Druck wurde mittels einer Handpumpe auf einen kleinen Kolben erzeugt. Als Übertragungsmedium diente Wasser. Inzwischen haben sich Hydraulikanlagen in vielen Zweigen der Technik durchgesetzt. Der Grund liegt darin, daß die Struktur der erforderlichen Bauteile einfach ist und daß Flüssigkeiten auch durch Leitungen mit engem Querschnitt an Stellen gebracht werden können, wo sie, weit vom Ort der Druckerzeugung entfernt, Arbeit zu leisten vermögen. Solche



**Oben:** Wegeventil und Steuerkolben einer Hydraulikanlage. Die Stellung des Kolbens im Wegeventil bestimmt, ob sich der Steuerkolben nach rechts oder links bewegt.

**Unten:** Hauptteile einer hydraulischen Antriebseinheit. Die Flüssigkeit wird vom Vorratsbehälter durch ein Sperrventil in die Zuflußleitung gepumpt. Übersteigt der Druck einen bestimmten Wert, geht der Kolben nach links (untere Abbildung) und gibt das Ventil und damit die Nebenstromleitung zum Vorratsbehälter frei. Ein Sicherheitsventil (obere Abbildung) verhindert zu hohen Druck, wenn das Druckbegrenzungsventil ausfällt.





Anlagen findet man daher nicht nur in Flugzeugen, sondern auch auf Schiffen (vor allem auf Tankern) besonders häufig.

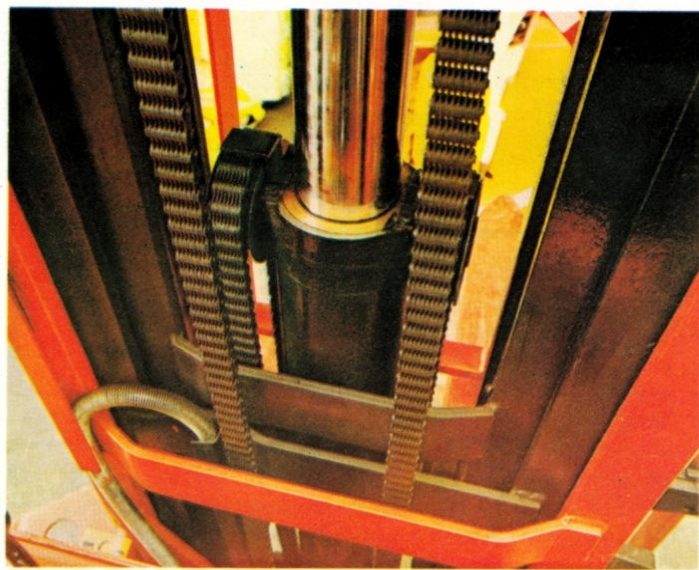
### Antriebseinheiten

Anstelle von Handpumpen werden inzwischen elektrisch oder mechanisch angetriebene Pumpen als Druckerzeuger verwendet, wenn auch Handpumpen in Flugzeugen nach wie vor für den Notbetrieb und für Wartungszwecke eingesetzt werden. Ebenso finden sie sich noch bei einfachen Mechanismen, wie z.B. bei hydraulisch betriebenen Wagenhebern, bei denen sie Teil des Gerätes sind. Der Zylinder über dem Heberfuß dient als Flüssigkeitsbehälter, während die Pumpe gewöhnlich neben ihm liegt. Sie fördert die Flüssigkeit in den Hubzylinder, der den Kolben nach oben treibt. Soll der Wagenheber abgelassen werden, wird über einen Gewindestopfen ein Nadelventil geöffnet, so daß Flüssigkeit aus dem Hubzylinder in den Vorratsbehälter zurückfließen kann.

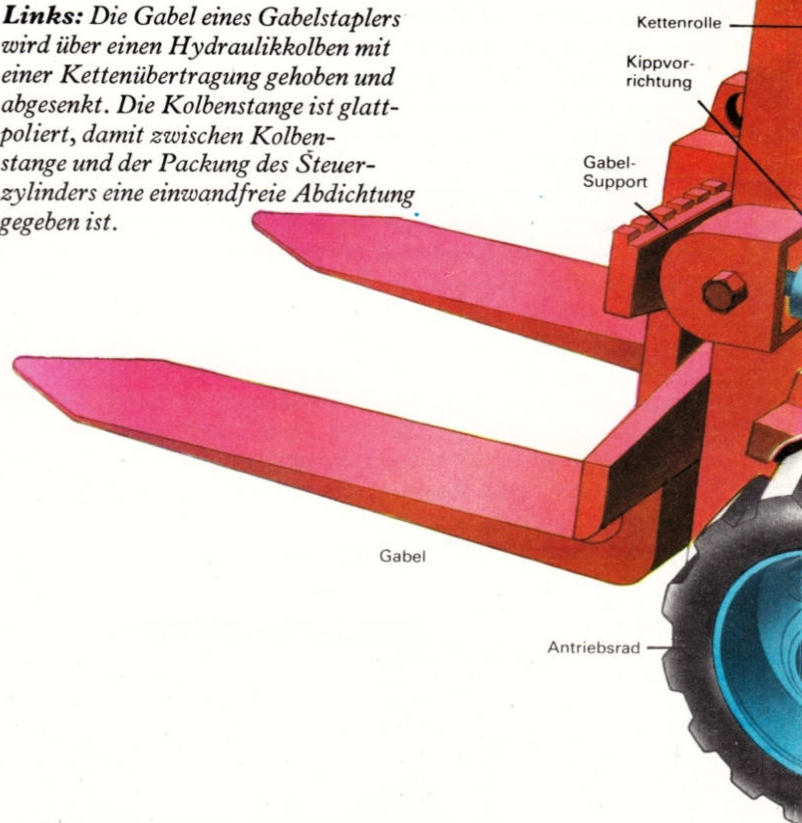
Heutige Hydraulikanlagen arbeiten vorwiegend mit leichten Mineralölen, weil diese ein gutes Kälteverhalten haben und

der Anlage zurückfließende Flüssigkeit auf. Die Pumpen bauen den Druck auf, die Filter halten Fremdkörper aus der Anlage, während der Hydrospeicher Druckschwankungen ausgleicht und für Notfälle oder Lastspitzen Flüssigkeitsreserven bereithält. Das Druckbegrenzungsventil leitet automatisch bei Erreichen des für die Anlage vorgesehenen Höchstdruckes die Flüssigkeit von den Pumpen über eine Nebenstromleitung in den Vorratsbehälter zurück, während das Sperrventil verhindert, daß unter Druck stehende Flüssigkeit nach Öffnen des Druckbegrenzungsventils zurückläuft. Das Sicherheitsventil schließlich ist eine zusätzliche Sicherung für den Fall, daß das Druckbegrenzungsventil versagen sollte.

Von der Antriebseinheit geht die Flüssigkeit an ein Wegeventil (oder mehrere Wegeventile, auch Steuerschieber genannt), das gewöhnlich von Hand betätigt wird; anschließend geht sie an eine Hubvorrichtung, einen Steuerzylinder oder einen Hydromotor, der den jeweiligen Mechanismus antreibt. Vom Wegeventil führt eine Rücklaufleitung zum Vorratsbehälter.



**Links:** Die Gabel eines Gabelstaplers wird über einen Hydraulikkolben mit einer Kettenübertragung gehoben und abgesenkt. Die Kolbenstange ist glattpoliert, damit zwischen Kolbenstange und der Packung des Steuerzylinders eine einwandfreie Abdichtung gegeben ist.



zugleich die Schmierung übernehmen können. Für Sonderzwecke (im Flugzeugbau, in der Raumfahrt, im Bergbau und im Reaktorbau) werden spezielle, diesen Einsätzen angepaßte Flüssigkeiten verwendet. Der Höchstdruck in einer Anlage liegt zwischen 65 bar und 350 bar. Er ist abhängig von der Art der verwendeten Pumpen. Der Teil der Hydraulikanlage, der den Druck aufbaut und die Flüssigkeit liefert, ist die Antriebseinheit. Sie wird bisweilen von den Herstellern gesondert, auf jeden Fall aber in verschiedenen Größen entsprechend dem Leistungs- und Flüssigkeitsbedarf der Anlage geliefert.

Von der Antriebseinheit wird nicht nur erwartet, daß sie eine ausreichende Flüssigkeitsmenge mit dem richtigen Druck liefert, sie muß auch ohne plötzliche Druckspitzen oder Druckschwankungen arbeiten (z.B. wenn der Kolben eines Zylinders bis in die Endlage fährt). Außerdem muß die Förderung von Flüssigkeit unterbrochen werden, wenn der Mechanismus keine Leistungszufuhr mehr braucht, damit keine Überhitzung eintritt (Nullhubregelung, Leistungsregelung).

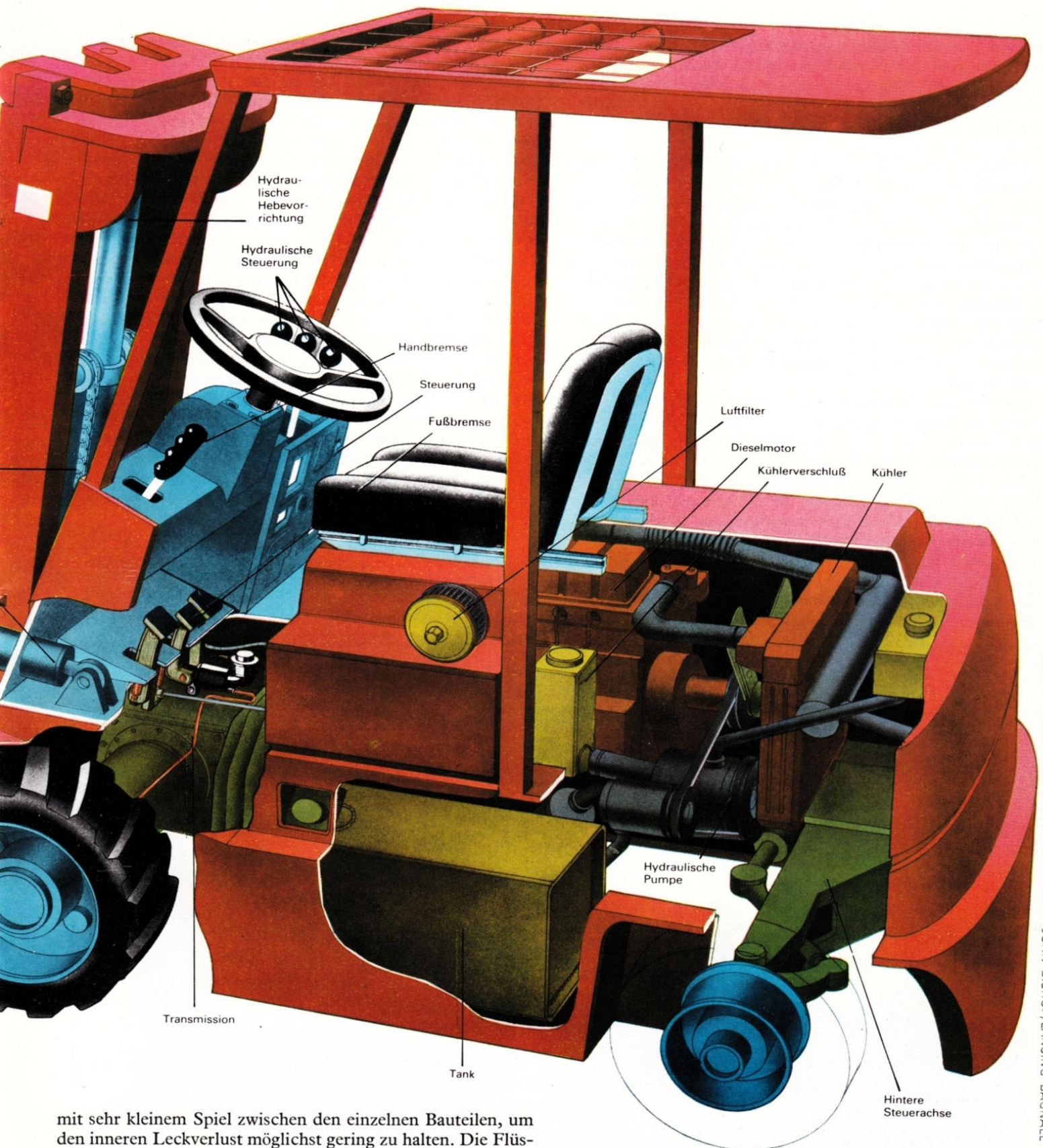
Eine typische Antriebseinheit besteht aus einem Vorratsbehälter, einer Hydropumpe (bisweilen auch mehreren Hydropumpen) mit Fremdantrieb, einem Filter, einem Sicherheitsventil, einem Hydrospeicher, einem Druckbegrenzungsventil oder Druckschalter sowie einem Sperrventil. Der Vorratsbehälter liefert Flüssigkeit für die Pumpen und nimmt die aus

### Bestandteile der Anlage

Vorratsbehälter sind Metalltanks, von deren Boden die Zuleitungen zu den Pumpen ausgehen und bei denen die Rücklaufleitung oben durch einen Filter wieder eintritt. Außerdem befindet sich oben ein Einfülldeckel. Zur Anzeige des Flüssigkeitsstandes ist seitlich vom Vorratsbehälter ein senkrecht verlaufendes Schauglas angebracht. Bei Militärflugzeugen, die Rollen und andere Kunstflugfiguren fliegen, ist dieses Schauglas mit einem unter leichtem Druck stehenden Kolben abgedichtet, damit unabhängig von der jeweiligen Fluglage eine Flüssigkeitszufuhr zur Pumpe gewährleistet ist.

In Flugzeugen und Fahrzeugen erfolgt der Antrieb der Pumpen durch die Verbrennungsmotoren, während stationäre Hydraulikanlagen gewöhnlich mit Elektromotoren betrieben werden. Am häufigsten findet man die Zahnradpumpe und die Radialkolbenpumpe. Die Zahnradpumpe ist in ihrem Aufbau überaus einfach. Sie enthält zwei im ständigen Eingriff stehende (miteinander 'kämmende') Zahnräder, von denen eines angetrieben ist. Sie befinden sich in einem Pumpengehäuse





mit sehr kleinem Spiel zwischen den einzelnen Bauteilen, um den inneren Leckverlust möglichst gering zu halten. Die Flüssigkeit tritt an der Stelle in das Gehäuse ein, an der sich die Zahnräder trennen; der Ablauf befindet sich an der gegenüberliegenden Seite, wo sie beginnen, miteinander zu kämmen. Die Flüssigkeit wird vom Einlaß (Saugseite) durch das Gehäuse zum Auslaß (Druckseite) transportiert.

Bei der Radialkolbenpumpe ist eine ungerade Anzahl von Kolben (gewöhnlich 5 bis 11) in einem exzentrischen Rotor um die Bohrung der Antriebswelle herum angeordnet. Sie führen, bedingt durch den Exzenter, eine hin- und hergehende Bewegung aus. Bei jedem Zylinder liegt in einer Bohrung zwischen dem oberen Rand und einem zur Auslaßöffnung führenden Kanal ein kleines Einlaßventil. Die Einlaßöffnung

**Oben:** Gabelstapler mit Dieselantrieb. Der Antrieb erfolgt über die Vorderräder, wodurch das Durchdrehen der Antriebsräder verhindert wird, da das Ladegewicht auf den Vorderrädern ruht. Die Hinterräder werden zur Steuerung benutzt. Der hydraulische Druck, der zur Betätigung der Kolbenstange notwendig ist, wird durch eine Pumpe am hinteren Teil des Gabelstaplers erzeugt. Die Pumpe wird durch den Dieselmotor angetrieben. Der Vorratsbehälter für die hydraulische Flüssigkeit befindet sich ebenfalls am hinteren Ende des Fahrzeuges.



gen sind so in die Zylinderwandungen gebohrt, daß sie durch die Kolben beim Vorwärtshub freigegeben werden, so daß die Flüssigkeit in die Zylinder eintreten kann. Beim Rückkehrhub bedecken die Kolben die Einlaßöffnungen. Die im Zylinder befindliche Flüssigkeit wird an den Einlaßventilen vorbei zu den Auslaßbohrungen gedrückt.

Hydrospeicher verfügen oft über einen Zylinder mit 'schwimmendem' Kolben. Man spricht von 'hydropneumatischen Speichern mit Trennwand', wobei der Kolben die Trennwand bildet. Für die Energiespeicherung wird ein Gas (z.B. Stickstoff) verwendet. Die dem Hydrauliksystem gegenüberliegende Kolbenseite ist mit dem Druck des Gases ( $1/3$  bis  $1/2$  des Anlagen-Höchstdruckes), die zur Hydraulikanlage hin liegende Seite mit dem Druck der Anlage beaufschlagt. Steigt der Hydraulikdruck an, wirkt er gegen den Kolben, wodurch dieser in den Zylinder hineingetrieben wird. Der Gasdruck steigt dabei in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsdruck in der Anlage.

Erreicht der Hydraulikdruck seinen Höchstwert und schalten die Pumpen auf Nullhub, wird der Druck in der Anlage durch das Gas im Speicher aufrechterhalten. Mit dieser Flüssigkeitsreserve kann die Anlage betrieben werden, bis der Hydraulikdruck auf einen Wert absinkt, bei dem die Pumpen wieder auf Förderung schalten. Bei Flugzeugen halten zusätzliche Hydrospeicher einen hinreichenden Betriebsdruck für die Landung bereit, damit Bremsen, Fahrwerk und Landeklappen auch dann bedient werden können, wenn die Haupthydraulik ausfällt.

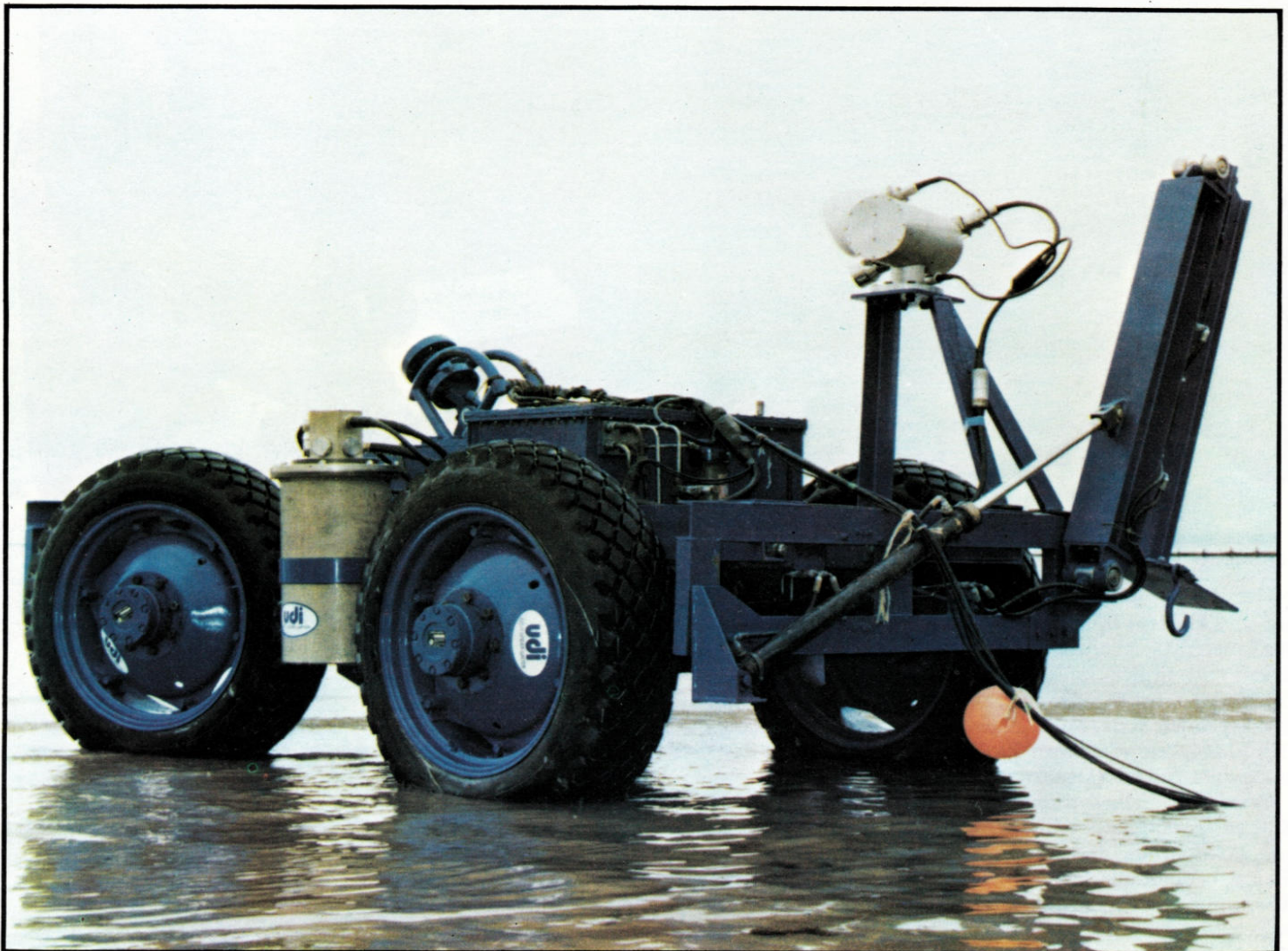
Druckbegrenzungsventile gibt es in unterschiedlicher Ausführung; sie arbeiten jedoch alle nach einem weitgehend

gleichen Prinzip. Sie bestehen aus einem Zylinder mit einem federbelasteten Kolben auf der einen Seite und einem in einer Kammer sitzenden Sperrventil auf der gegenüberliegenden Seite. Sperrventile lassen in Leitungen Flüssigkeiten nur in eine Richtung durch, da sie in der Gegenrichtung unter Druck stehen. Von den Pumpen geht Flüssigkeit in das Ventilgehäuse, durch ein außenliegendes Sperrventil zur Kolbenseite des Zylinders, in den Hydrospeicher und in die Druckleitungen. Eine zusätzliche Öffnung zwischen dem Kolben und dem inneren Ventil steht mit der Rücklaufleitung zum Vorratsbehälter in Verbindung.

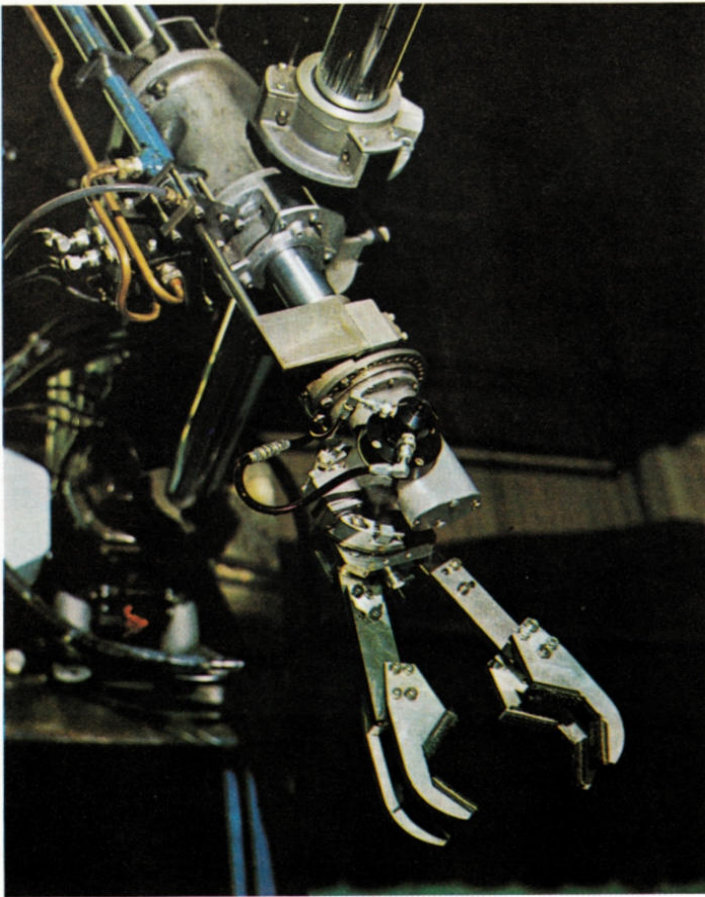
Der sich aufbauende Druck wirkt gegen den Kolben, der im Zylinder so lange gegen die Feder drückt, bis eine Verlängerung an ihm das Sperrventil berührt und öffnet. Jetzt fließt die Flüssigkeit von den Pumpen am Ventil vorbei und tritt an der Bohrung zur Rücklaufleitung aus dem Zylinder aus, womit der Nebenstrom geschlossen ist. Zugleich wird der Flüssigkeitsdruck in der Anlage durch das jetzt geschlossene, außenliegende Sperrventil gehalten. Fällt der Anlagendruck unter einen bestimmten Wert ab, schiebt die Feder den Kolben zurück, das Ventil schließt sich; die Flüssigkeit von der Pumpe gelangt erneut in die Anlage.

Werden Pumpen von Elektromotoren angetrieben, kann ein Druckschalter bei Erreichen des Höchstdruckes die Mo-

**Unten:** Ein Unterwasserfahrzeug ungewöhnlicher Bauart — ein Traktor zur Inspektion und zum Ausbessern von Pipelines. Dieses vom 'National Engineering Laboratory' in Großbritannien entwickelte Fahrzeug wird von einem Hydraulikmotor angetrieben.







Steuerzylinder an einen Hydromotor angeschlossen. Hydromotoren (Hydraulikmotoren) kehren im Grunde das Prinzip der Hydropumpen um. Zwei verbreitete Ausführungen sind der Axialkolbenmotor und der Flügelzellenmotor. Der Axialkolbenmotor ist vielseitig einsetzbar, weil er sowohl schnelle Bewegungen mit niedrigem Moment als auch langsame Bewegungen mit hohem Moment ausführen kann. Sein Arbeitsprinzip sieht so aus, daß über eine Schräg- oder Taumelscheibe die Axialbewegung der (parallel zur Abtriebswelle liegenden) Arbeitskolben in eine Drehbewegung umgesetzt wird. Ein Flügelzellenmotor erzeugt das Drehmoment durch die unterschiedlichen, radial abstehenden 'Flügel' am exzentrischen Rotor. Die Flügel müssen zur Abdichtung kräftig an die Gehäusewand (unter Federkraft) angedrückt werden. Hydraulikflüssigkeit tritt unter Druck auf der Einlaßseite des Rotors ein, geht zwischen Rotor und Gehäuse hindurch (was den Rotor in Umdrehung versetzt) und tritt auf der anderen Seite des Rotors aus dem Gehäuse aus.

Um einen Eindruck von dem Ausmaß zu vermitteln, in dem hydraulische Einrichtungen verwendet werden, sei gesagt, daß ein moderner 'Tankerriesen' von 250 000 t über etwa 35 km

**Links:** Hydraulisch betätigte Kolbenstangen lenken einen ferngesteuerten mechanischen Greifarm.

**Unten:** Eine hydraulisch betätigte Plattform zur Wartung von Straßenleuchten. Am Drehgelenk zwischen den beiden Hubarmen ist eine Kolbenstange erkennbar. Die Hydraulikanlage wird über Hebel auf der Arbeitsplattform gesteuert.

toren abstellen, so daß sie nicht kontinuierlich laufen und die Flüssigkeit durch den Nebenstrom fördern müssen. Fällt der Druck wieder auf einen bestimmten, vorher eingestellten Wert, schaltet der Druckschalter die Motoren wieder ein.

Sicherheitsventile haben härtere Federn als Sperrventile. Sie liegen zwischen der Druckleitung und der Rücklaufleitung und werden gewöhnlich mit Hilfe einer Einstellschraube so eingestellt, daß sie bei einem Druck öffnen, der geringfügig höher liegt als der für das Sperrventil. Sie schützen die Anlage in Fällen, in denen das Sperrventil oder der Druckschalter versagt.

Über Wegeventile wird die Hubvorrichtung oder der Steuerzylinder der Anlage angesteuert. Sie sollen den Druck auf die jeweils benötigte Seite des Steuerzylinders leiten und die gegenüberliegende Seite zur Rücklaufleitung nebenschließen. Dazu werden oft Längsschieber — beispielsweise mit einer Zuflußleitung, einer Abflußleitung und zwei Zylinderleitungen — verwendet. In einer bestimmten Stellung des Schiebers kann die Flüssigkeit zwischen Zuflußleitung und einer Zylinderleitung fließen. Wird der Schieber in eine andere Stellung geschoben, liegen andere Öffnungen frei, und die Bewegung des Steuerkolbens wird umgekehrt. In Fällen, in denen sich der hydraulisch betätigte Mechanismus in einer gewissen Entfernung von der Steuereinrichtung befindet, können die Wegeventile über einen Magneten elektrisch geschaltet werden, was lange Hydraulikleitungen einspart.

Steuerzylinder (Hubzylinder) bestehen aus einem Zylinder mit Kolben und Kolbenstange. Der Zylinder ist starr mit den betreffenden Bauteilen verbunden, so daß die Bewegung der Kolbenstange (gewöhnlich eine Hin- und Herbewegung) den Mechanismus betätigt. Nach diesem Arbeitsprinzip können auch halbkreisförmige Bewegungen, wie sie häufig bei Öltankern vorkommen, ausgeführt werden.

## Hydromotoren

Muß die Druckenergie eines flüssigen Mediums in Drehenergie umgesetzt werden, wird die Anlage statt an einen



Hydraulikleitungen und mehr als 100 Steuerzylinder verfügt. Die Wegeventile sind auf einer riesigen Steuerkonsole zusammengefaßt. An jedem Ventil wird angezeigt, ob es offen oder geschlossen ist. Auf diese Weise kann die Ladung eines solchen Schiffes mit einer sehr kleinen Besatzung aufgenommen und gelöscht werden.

Bei Großflugzeugen dient die Hydraulikanlage zum Ausfahren und Einziehen des Fahrwerks, zur Lenkung des Bugfahrwerks, zur Betätigung der Landeklappen, Luftbremsen, Bremsklappen, Radbremsen sowie der gesamten Steuereinrichtungen: Höhen-, Seiten- und Querruder sowie Heckleitwerk.

Große Pressen werden — ebenso wie ein Großteil der Ausrüstung von Bulldozern und Grabenbaggern und die meisten Kraftfahrzeugbremsen — fast ausschließlich mit hydraulischer Kraft betrieben.



## HYDRO- UND AERODYNAMIK

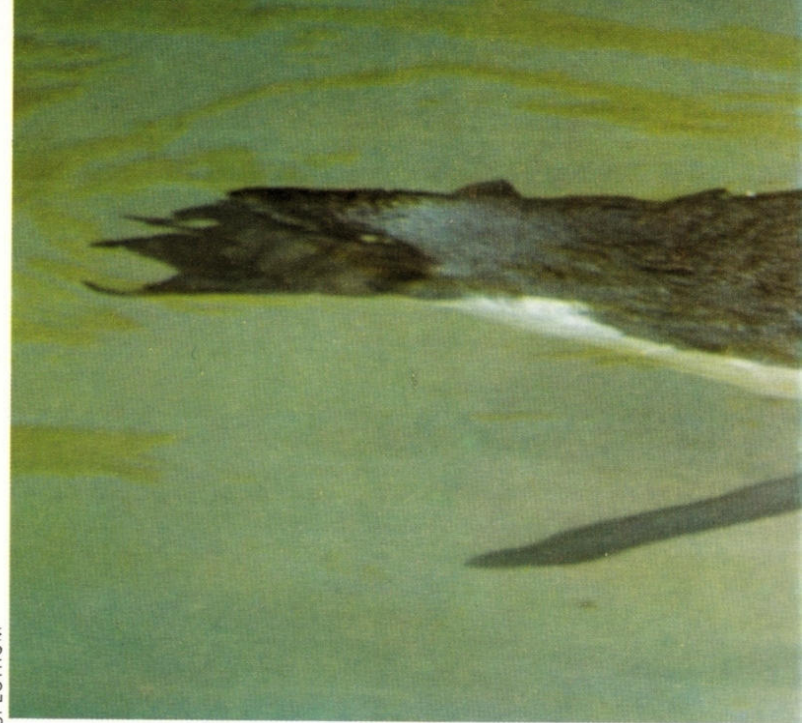
**Hydro- und Aerodynamik sind Teilgebiete der Strömungslehre, die sich mit den Eigenschaften bewegter Flüssigkeiten und Gase befaßt.**

Die Bewegung von Gasen (z.B. Luft) und von Flüssigkeiten (z.B. Wasser) wird von den gleichen grundlegenden Gesetzmäßigkeiten beherrscht. Mathematische Beziehungen, die diese 'Naturgesetze' beschreiben, sind zwar schon vor über hundert Jahren formuliert worden, bleiben aber zu kompliziert, um eine allgemeine, für alle Situationen und Bedingungen brauchbare Lösung zu finden.

Die allgemeinen Grundgleichungen für die Bewegung von Flüssigkeiten und Gasen wurden zunächst von L. M. Navier (1785 bis 1836) im Jahre 1820 angegeben und anschließend von G. G. Stokes (1819 bis 1903) bis zum Jahre 1845 weiterentwickelt. Diese heute Navier-Stokes-Gleichungen genannten Beziehungen verknüpfen Geschwindigkeit, Dichte, Kompressibilität, Viskosität und räumliche Ausdehnung einer Flüssigkeit oder eines Gases miteinander. Wegen der großen Zahl von Veränderlichen (Variablen) ist das Gebiet der Strömungslehre in Teilbereiche zerfallen, in denen einige wenige Variable wichtig sind und andere vernachlässigt werden dürfen. Daraus ergibt sich eine ganze Reihe von Lösungen der allgemeinen Gleichungen — jeweils eine für ganz bestimmte, begrenzte Umstände.

Historisch gesehen spielte die Hydrodynamik zunächst eine größere Rolle und entwickelte sich für eine große Zahl spezieller Fälle. Eine besondere Vereinfachung ergibt sich aus der Tatsache, daß z.B. Wasser nahezu inkompressibel ist, seine Dichte also mit dem angewandten Druck kaum veränderlich ist. Die Annahme der Inkompressibilität führt zu

***Unten:** Demonstration von Wirbeln an Flugzeugflügeln im Windkanal. Turbulenzen treten auf, wenn die Trägheitskräfte (die Druckkräfte, die durch Bewegungsvorgänge entstehen) gegenüber den viskosen Kräften (Zähigkeit des strömenden Mediums) an Bedeutung zunehmen.*



SPECTRUM

erheblich einfacheren Lösungen der sonst sehr komplizierten Navier-Stokes-Gleichungen.

### Laminare und turbulente Strömung

Man unterscheidet zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Strömungen — die laminare und die turbulente Strömung. Bei der laminaren Strömung bewegen sich die Schichten (Lamellen) der Flüssigkeit oder des Gases — auch wenn sie verschiedene Geschwindigkeiten haben, also ein Geschwindigkeitsgradient vorliegt — ungestört und ohne Wirbelbildung aneinander vorbei. Bei der turbulenten Strömung können sich Teile des strömenden Mediums ungeordnet in jede Richtung bewegen; nur die mittlere Geschwindigkeit und die mittlere Richtung bleiben definiert. O. Reynolds (1842 bis 1912) erläuterte den Unterschied zwischen den beiden Strömungsarten und zeigte, daß die Viskosität (Zähigkeit) der strömenden Substanz eine wichtige Rolle bei der Ausprägung der Strömungsart spielt.



ALPHABET &amp; IMAGE/BAE





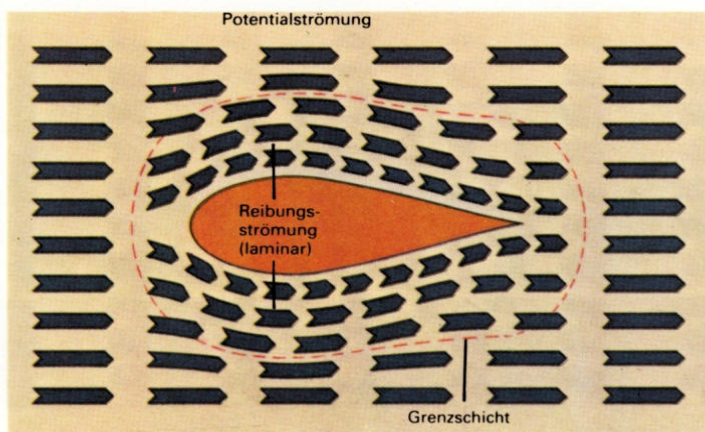
**Links:** Pinguine bieten anschauliche Beispiele für aerodynamische Vorgänge, obwohl sie nicht fliegen, sondern schwimmen. Die dabei ausgeführten Bewegungen ähneln denen von Vögeln in der Luft.

**Unten:** Bewegungen in Flüssigkeiten und Gasen lassen sich wegen der großen Zahl von Variablen (Dichte, Geschwindigkeit, Druck, Kompressibilität, Viskosität usw.) nur schwer vorhersagen. Deshalb sind eine Reihe von Lösungen für spezielle Fälle entwickelt worden. Laminare Strömung tritt in einem glatten Rohr auf, wenn die Reibungskräfte größer als die Trägheitskräfte sind. Ein Hindernis im Strömungsverlauf ändert die Bewegungsrichtung (oben rechts).

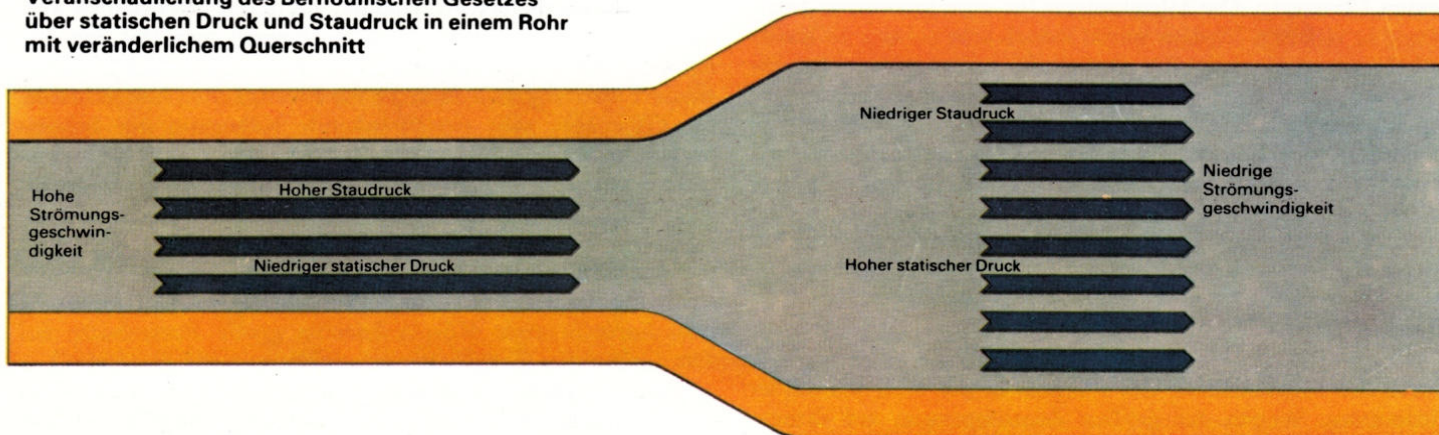
#### Laminare Strömung in einem glatten Rohr



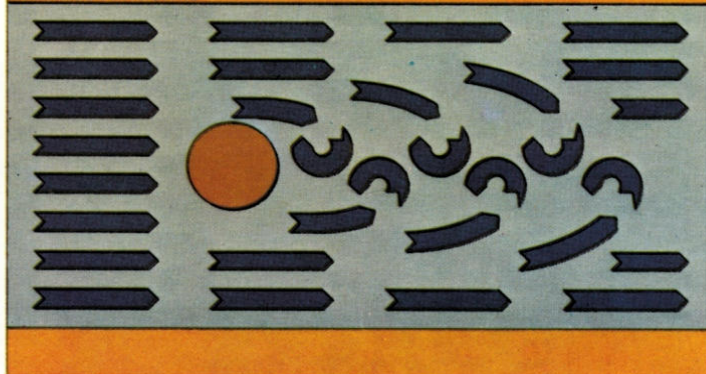
#### Grenzschicht um einen stromlinienförmigen Körper



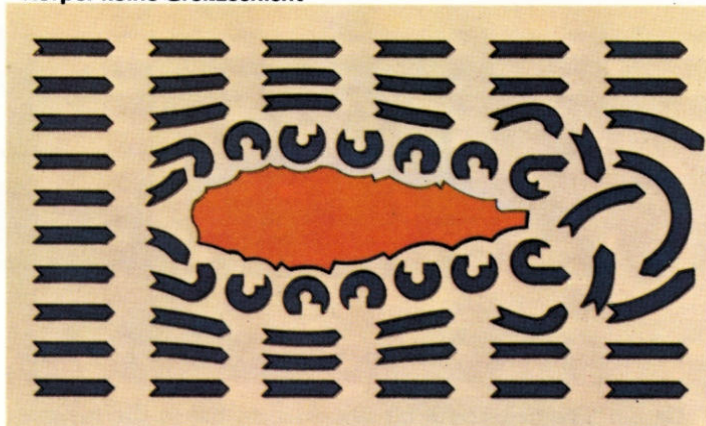
#### Veranschaulichung des Bernoullischen Gesetzes über statischen Druck und Staudruck in einem Rohr mit veränderlichem Querschnitt



#### Turbulente Strömung, verursacht durch ein rundes Hindernis



#### Strömungsaufspaltung durch einen zerklüfteten Körper keine Grenzschicht

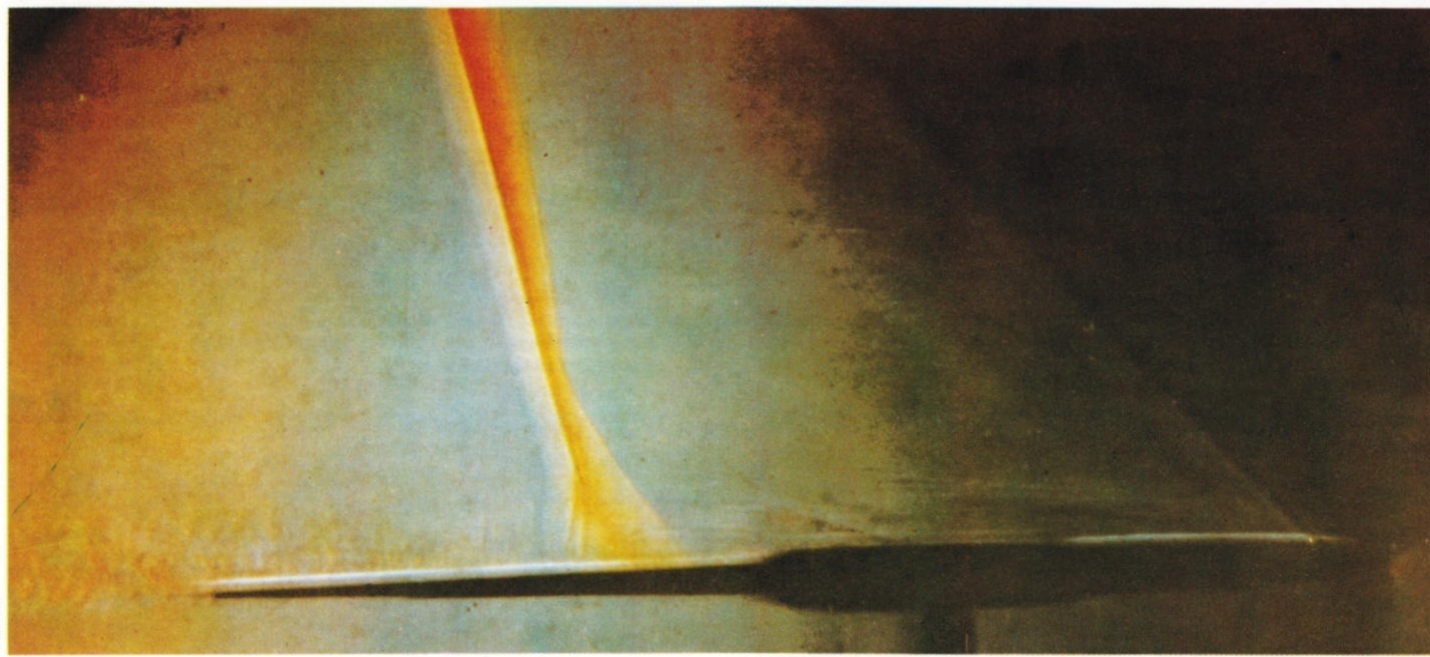




Die Viskosität ist ein Maß für den inneren Widerstand, die 'innere Reibung' einer Substanz, die angibt, wie leicht sich verschiedene Bereiche in einer Flüssigkeit oder einem Gas gegeneinander verschieben lassen, ähnlich dem in der Elastizitätslehre behandelten Schermodul. Eine hohe Viskosität zeichnet eine zähe, 'dicke' Flüssigkeit aus (wie z.B. Motorenöl) und begünstigt normalerweise die laminare Strömung. Eine niedrige Viskosität führt schneller zur Turbulenz. Im konkreten Fall aber entscheidet das Verhältnis der viskosen Kräfte (Reibungskräfte) zu anderen Kräften (z.B. Druck und Trägheitskräfte) über die Art der Strömung. Die 'Reynoldszahl' ist eine dimensionslose Zahl, die das Verhältnis von Trägheitskräften zu Reibungskräften angibt und die Viskosität mit anderen wichtigen Eigenschaften einer Substanz und

**Rechts:** Das komplizierte Muster der Luftströmungen an den Flügeln und am Flugzeugkörper der 'Concorde'. Die Aufnahme wurde bei Versuchen im Windkanal gemacht.

**Unten:** Dieses Foto, aufgenommen mit einer Belichtungszeit von weniger als einer Millionstel Sekunde, zeigt eine Schockwelle, die beim Test eines Tragflügelmodells im Windkanal entstanden ist.



mit den umgebenden oder umströmten Körpern in Zusammenhang bringt.

Da die Trägheitskräfte oft überwiegen, haben die meisten natürlich vorkommenden Strömungserscheinungen turbulenten Charakter. Die Gleichungen für eine turbulente Strömung in viskosen Medien waren jedoch sehr schwer zu handhaben, so daß man die Annahme reibungsloser (nicht-viskoser) Substanzen machte. Spezielle Lösungen dieser vereinfachten Gleichungen erhält man für den Fall der 'Potentialströmung', bei der man die äußeren Kräfte aus einem Potential ableiten kann (z.B. Schwerkraft) und Reibungskräfte vernachlässigt. Dieser vereinfachten Situation entspricht eine unendlich große Reynoldszahl, der Extremfall der turbulenten Strömung.

## Aerodynamik

Zu Beginn dieses Jahrhunderts gewann die Aerodynamik durch die Möglichkeiten des Fliegens in der Luft schnell an Bedeutung. Wegen der großen Anstrengungen auf diesem

Gebiet hat sie die Hydrodynamik, auf deren Theorien sie aufbaute, längst überflügelt. Zunächst begann man mit den Annahmen der Hydrodynamik (z.B. Reibungsfreiheit); insbesondere übertrug man auch die für Flüssigkeiten hinreichende, für Gase aber sehr einschränkende Näherung der Inkompressibilität. L. Prandtl (1875 bis 1953) zeigte, daß Reibungseffekte für die Umströmung stromlinienförmiger (glatter) Körper auf eine dünne Schicht in Wandnähe — die Grenzschicht — beschränkt sind. Außerhalb der Grenzschicht sind Reibungskräfte vernachlässigbar; die Theorien der Potentialströmung lassen sich also anwenden. (Die Untersuchung stromlinienförmiger Körper brachte große Fortschritte auf dem Gebiet der Tragflächenentwicklung; siehe FLUGZEUG.)

Während glatte, stromlinienförmige Körper sich mit einer ununterbrochenen, stabilen Grenzschicht umgeben, ist dies





BAE

bei zerklüfteten, weniger 'windschlüpfrigen' Körpern nicht der Fall. Die Strömung beginnt zu zerfallen, da die Grenzschicht sich unkontrollierbar verhält. Außerdem werden Lösungen der Potentialtheorie auch bei großen Abständen vom Objekt ungenau. Auch heute gibt es noch keine vollständige Theorie für die langsame Umströmung zerklüfteter Körper, obwohl sich im Verlaufe der Jahre das physikalische Verständnis dieser Vorgänge vertieft hat.

### Das Gesetz von Bernoulli

Mit der Steigerung der Geschwindigkeiten in der Luftfahrt erreichte man bald die Grenzen der Annahme der Inkompressibilität. Die auftretenden Abweichungen lassen sich anhand des Gesetzes von Bernoulli deuten.

Das Gesetz von Bernoulli ist eine Formulierung des Satzes

von der Erhaltung der Energie für eine bewegte Flüssigkeit. Eine strömende Flüssigkeit hat, wie jeder bewegte Körper, eine kinetische Energie aufgrund ihrer Geschwindigkeit und eine potentielle Energie aus dem Gravitationsfeld der Erde.

An jeder Stelle einer Flüssigkeit oder eines Gases herrscht ein statischer (ruhender) Druck, der vom Gewicht der Substanz abhängig ist, die sich über diesem Punkt befindet. Dieser statische Druck ist ein Maß für die potentielle Energie der Substanz an dieser Stelle. Die kinetische Energie der strömenden Substanz ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit und erzeugt einen dynamischen Druck, den man 'Staudruck' nennt. Wenn dem strömenden System keine Energie zugeführt oder entzogen wird, bleibt die Gesamtenergie erhalten, auch wenn es einen Austausch zwischen kinetischer Energie (gemessen durch den Staudruck) und potentieller



Energie (gemessen durch den statischen Druck) geben kann. Dies ist der Hintergrund des Gesetzes von Bernoulli.

Da der Staudruck proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit anwächst, hängt die Änderungsrate des Drucks nicht nur von der Änderung der Geschwindigkeit, sondern auch von ihrem Absolutwert ab. Je höher die Geschwindigkeit, desto größer die Steigerung des Drucks und damit die Änderung der Dichte eines kompressiblen Mediums. Bis etwa 200 km/s kann man in Luft Dichteänderungen vernachlässigen, die Luft also als inkompressibel ansehen. Bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten führt diese Annahme jedoch zu immer stärker werdenden Abweichungen.

**Rechts:** Die nach oben gerichteten Flügelspitzen des 'Learjet 28/29' verringern den Strömungswiderstand, indem sie die Wirbelenergie an den Flügelenden zerstreuen.

**Unten:** Zur Erforschung von Luftturbulenzen fliegt ein Flugzeug durch eine Säule stehenden Rauchs.



GATES LEARJET



PHOTRI

## Die Machsche Zahl

Unter Schall versteht man Druckwellen geringer Intensität; seine Ausbreitungsgeschwindigkeit in einem Medium heißt 'Schallgeschwindigkeit'. Die Luftströmung um einen Körper erzeugt in seiner Umgebung eine Druckerhöhung. Eine Druckwelle läuft der Strömungsrichtung entgegen und zeigt der strömenden Luft das Vorhandensein eines Gegenstandes im voraus an. Aufgrund dieser Druckwelle weicht die Strömung bereits vor Erreichen des Körpers seitlich aus und umströmt ihn mit geringen Störungen.

Wird die Strömungsgeschwindigkeit nun größer als die Schallgeschwindigkeit, können die 'Warnsignale' der Druckwelle der Strömung nicht mehr entgegenlaufen. Das Bild der Überschallströmung stellt sich ein. Unter diesen Bedingungen muß die Strömungsrichtung bei Auftreffen auf den Körper abrupt geändert werden. Wenn die notwendige Ablenkung klein ist, wird sie unter Erzeugung einer kleinen Schockwelle erreicht, die am Körper entlangläuft. Wird jedoch eine größere Ablenkung erforderlich, so kann sich eine Schockwelle (Verdichtungsstoß) großer Amplitude von der Vorderseite des

Körpers ablösen und auf ihrer Rückseite die Strömungsgeschwindigkeit auf Werte unterhalb der Schallgeschwindigkeit verringern. Die bei einem Verdichtungsstoß freigesetzte Schallenergie wird als Doppelknall wahrgenommen; man spricht vom Durchbrechen der Schallmauer.

Wegen dieser großen Unterschiede der Strömungsverhältnisse ist es wichtig zu wissen, ob man sich oberhalb oder unterhalb der Schallgeschwindigkeit befindet. Leider hat die

Schallgeschwindigkeit, z.B. in Luft, keinen einheitlichen Wert, sondern sie ändert sich mit der Temperatur. Deshalb ist es nützlich, die Strömungsgeschwindigkeit durch die Schallgeschwindigkeit zu teilen. Das Ergebnis heißt 'Machsche Zahl' (nach Ernst Mach, einem österreichischen Forscher, der den Flug von Geschossen studierte).

## Hyperschall

Wenn die Luftgeschwindigkeit weiter ansteigt, werden die Temperatur- und Drucksteigerungen hinter den Schockwellen so groß, daß die Luft dissoziiert und ionisiert wird: Einige der Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle der Luft werden in Atome aufgespalten. Hinter dem Körper fallen Temperatur und Druck wieder ab, wodurch sich die Atome vereinigen.

Durch die beträchtlichen Energiemengen, die in diesen Prozessen umgesetzt werden, treten auch wieder andere Strömungsverhältnisse auf, mit denen sich das Gebiet der Hyperschallströmungen beschäftigt.

## Gleitströmung

Der atmosphärische Druck auf Meereshöhe entsteht durch das Gewicht der Luftsäule über dem Meßpunkt.

Dementsprechend nehmen Druck und Dichte mit zunehmender Höhe ab. In einer gewissen Höhe (etwa 80 km) wird die Dichte so gering, daß die 'mittlere freie Weglänge' (der mittlere Weg, den Moleküle zwischen zwei Zusammenstößen zurücklegen) mit den Abmessungen der betrachteten Körper vergleichbar wird. Die Luft verhält sich nun nicht mehr wie ein einheitlicher Stoff (ein 'Kontinuum'), sondern Druck und Kräfte können nur noch als Resultat einzelner Molekülstöße auf die Außenwände des Körpers verstanden werden. Dieser Unterbereich der Strömungslehre heißt Molekularströmung oder Newtonsche Strömung. Der Übergangsbereich zwischen Kontinuumsströmung und Molekularströmung wird mit 'Gleitströmung' bezeichnet.



## HYDROLOGIE

Wasser ist der wertvollste natürliche Rohstoff, über den wir verfügen. Wir könnten ohne Erdöl und Diamanten, nicht aber ohne Wasser leben. Die Wissenschaft vom Wasser (Hydrologie) beschäftigt sich mit den physikalischen Gesetzen und Erscheinungen, von denen die Verteilung des Wassers abhängt.

Obwohl Wasser von allen Stoffen der Erde am häufigsten vorkommt, enthalten die Meere und Ozeane lediglich drei Prozent des gesamten Wassers. Wegen seines Salzgehaltes ist Meerwasser ohnehin erst nach einer kostspieligen Entsalzung trinkbar.

Auch das auf den Kontinenten und Inseln verfügbare Süßwasser ist weithin unzugänglich. Der größte Teil liegt in Form von Eis auf den Polkappen. Die Hälfte des verbleibenden Wassers befindet sich so tief unter der Erdoberfläche, daß man es nur unter größten Schwierigkeiten nutzen könnte. Mithin sind lediglich 0,34% der gesamten Wasservorräte auf der Erde nutzbar, und zwar das Wasser, das sich in Flüssen und Seen befindet oder das in den obersten 750 m der Erdkruste liegt.

### Der hydrologische Kreislauf

Die natürliche Versorgung mit Frischwasser unterliegt physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die die Menge der Verdunstung, der Niederschläge (Regen, Hagel, Schnee), der Entwässerung durch den Boden und des Abflusses in Bäche und Flüsse bestimmen. Dieser endlose hydrologische Kreislauf, in dem



dings tritt nicht das gesamte Wasser, das über dem Festland niedergeht, in den Wasserkreislauf ein, da mehr als die Hälfte davon verdunstet, bevor es in den Boden einsickern kann. Diesem Vorrat im Boden entnehmen die Pflanzen das notwendige Wasser, alles übrige fließt durch Flüsse, Seen und unterirdische Wasseradern zurück ins Meer. Diese Quellen zapft der Mensch an, um Wasser zu gewinnen.

Frühe Kulturen siedelten und gediehen an den Ufern von Flüssen und Seen, weil diese reichlich Wasser lieferten. Der



**Oben:** Moderne Regenmacher: Wolken werden mit Silberiodkristallen geimpft. Der Wasserdampf wird von den Kristallen angezogen, umhüllt sie und ein Regentropfen formt sich.

**Links:** Kinder fahren Rad im betonierten Bett eines Hochwasserkanals in Los Angeles in Kalifornien. Den größten Teil des Jahres hindurch ist der Los Angeles River ein müdes Rinn-sal. Das Betonbett sorgt für einen schnellen Abfluß des sporadisch auftretenden Hochwassers.

Frischwasser zirkuliert, kann vom Menschen beeinflusst werden und bildet daher die Grundlage der Hydrologie.

Der Kreislauf beginnt und endet im Meer. Durch Sonnenwärme verdunstet Wasser von der Meeresoberfläche. An die Stelle der aufsteigenden feuchten Warmluft tritt trockene Kaltluft. Die Warmluft kühlt sich beim Aufsteigen ab und dehnt sich in größeren Höhen mit sinkendem Luftdruck aus. Dabei kondensiert die Feuchtigkeit entweder zu Tropfen oder gefriert zu Eiskristallen. Sie bilden Wolken, aus denen das Kondensat oder die Kristalle später in Form von Regen, Hagel, Graupeln oder Schnee zur Erde fallen.

Der größte Teil dieses Niederschlags geht über den Meeren herunter, einiges davon fällt auch auf das Festland. Aller-

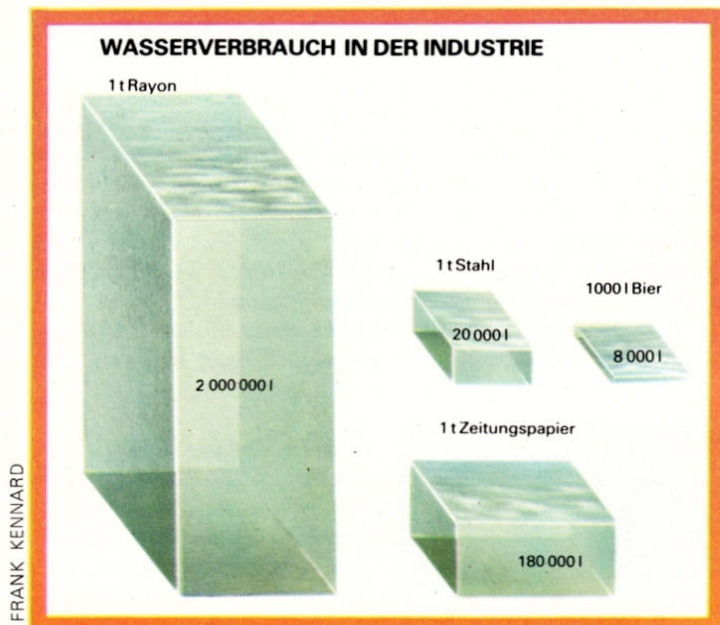
Mensch nimmt zwar durchschnittlich nur etwas mehr als einen Liter Wasser täglich in verschiedener Form zu sich, aber da seit etwa 3000 v. Chr. Wasser in zunehmendem Maße für viele andere Zwecke, einschließlich Bäder, Toiletten, Bewässerung, Schwimmbäder und Wäschereien verwendet wurde, beträgt in Industrieländern inzwischen der tägliche Durchschnittsverbrauch pro Kopf etwa 227 l Wasser.

Zusätzlich werden etwa 40% der von Wasseraufbereitungsanlagen gelieferten Wassermenge für Industriezwecke genutzt. Nahezu zwei Drittel dieses Brauchwassers dienen zur Kühlung und Kondensierung. Beispielsweise sind für die Herstellung einer Tonne Stahl zwischen 45 000 l und 225 000 l Wasser erforderlich.



## Mengenmessung

Eine der Schwierigkeiten bei der Wasserversorgung liegt darin, daß die Wasserführung der meisten Flüsse und die Menge der Niederschläge über einem bestimmten Bereich jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, während der Bedarf während des ganzen Jahres mehr oder minder unverändert bleibt. Ingenieure bemühen sich, diese Schwierigkeit dadurch zu lösen, daß sie nach Möglichkeiten suchen, Überschuße aus feuchten Jahreszeiten für Trockenperioden zu speichern. Hydrologen fällt dabei die Aufgabe zu, die Beziehung zwischen Regenfällen und den in Flüssen und an anderen Stellen verfügbaren Wassermengen zu erkennen und daraus Formeln zu entwickeln, mit deren Hilfe der Wasserhaushalt unter verschiedenen Wetterbedingungen und in Abhängigkeit von verschiedenen Verbrauchsmengen vorhergesagt werden kann.



**Oben:** Beispiele für die Wassermengen, die in der Industrie zur Herstellung einiger alltäglicher Erzeugnisse nötig sind. Wasser wird auf verschiedene Weise genutzt: als Rohstoff, als Reinigungsmittel, als Chemikalie, als Kühlmittel, als Transportmittel für gelöste Stoffe.

Sorgfältige Messungen der Regenfälle und der Wasserführung in Flüssen über viele Jahre hin liefern dem Wissenschaftler die Werte, die er braucht, um die Grundgleichung  $\text{Abfluß} = (\text{Niederschläge} - \text{Verdunstung} - \text{Änderungen in der Wasserhaushaltung des Bodens})$  zu lösen.

Die Messung der Niederschlagsmenge erfolgt mit Hilfe von Niederschlagsmessern (auch: Pluviometer, Hyetometer oder Regenmesser genannt). Dies sind einfache Zylinder mit trichterförmigem Boden, die im Prinzip seit dem frühen 17. Jahrhundert verwendet werden (siehe METEOROLOGIE). Schwankungen in der Wasserführung von Flüssen lassen sich nach der Aufzeichnung der Wasserstände schätzen. Das älteste Beispiel hierfür sind die mit Meßstrichen versehenen Pfähle entlang des Nils, mit deren Hilfe die Wasserstände seit dem Jahre 622 n. Chr. aufgezeichnet wurden.

Genauere Messungen müssen den Schwankungen in der Strömungsgeschwindigkeit zwischen den Ufern sowie zwischen Flußbett und Wasseroberfläche Rechnung tragen. So wird oft der gesamte Durchfluß durch einen Überlauf mit einheitlichem Querschnitt geleitet, wo genaue Mengenmessungen möglich sind. Dieses Verfahren ist für Forschungszwecke

durchführbar, doch muß in der Mehrzahl der Praxisfälle das Gewässer willkürlich in Querschnittszonen eingeteilt werden, in denen Durchflußmesser die Strömung messen. Unglücklicherweise gibt es bisher kein Verfahren zur unmittelbaren Messung der Verdunstung, doch läßt sich aus Messungen der für sie bestimmenden Klimafaktoren (Temperatur, Windgeschwindigkeit, Feuchtigkeit und Sonnenstrahlung) der Wert recht zuverlässig errechnen.

## Anwendungen

Eine der vielen wichtigen Aufgaben der Hydrologie besteht darin, daß sie bei der Festlegung der günstigsten Stellen für Speicherbecken in Flußläufen herangezogen wird. In dicht besiedelten Gebieten steht oft kein Gelände für Speicherranlagen zur Verfügung, obwohl sie dort am nötigsten wären. Daher müssen viele Talsperren weit entfernt von den Verbrauchszentren angelegt werden. Das Volumen des Abflusses der die Talsperren füllt, kann von vielen Faktoren beeinflusst werden. Zu ihnen gehört die Art der Vegetation in der Umgebung, die Baumaßnahmen im Zusammenhang mit Straßen und Städten. All dies verändert jeweils die Oberfläche des Gebietes und beeinflusst die Menge an Wasser, die durch Verdunstung verlorengeht oder nicht in den Boden einsickern kann.

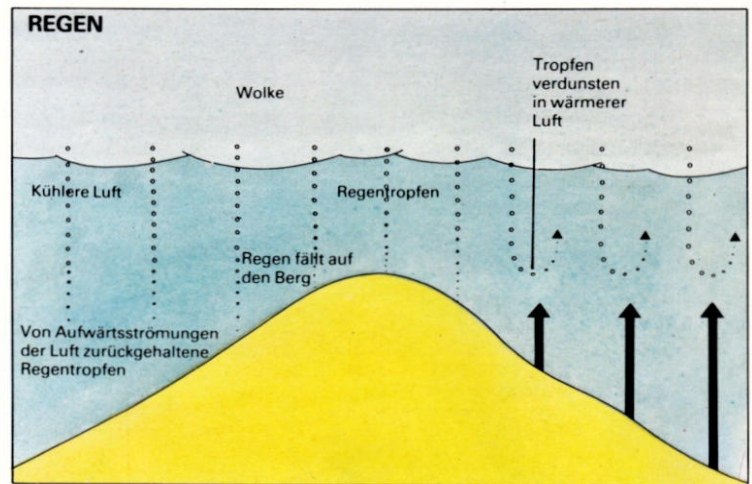
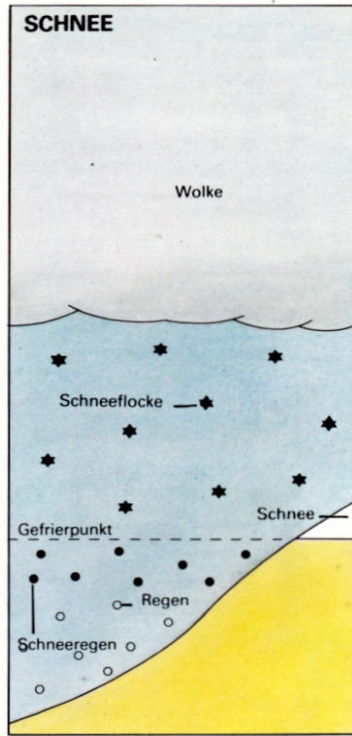
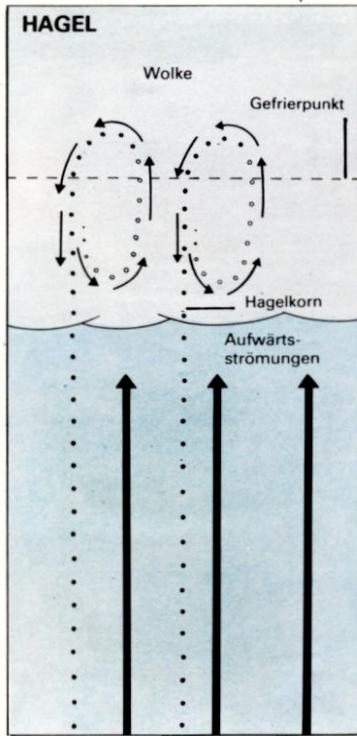
Doch beschäftigt sich die Hydrologie neben der Wasserversorgung auch mit Hochwasserschutz und Erosionskontrolle. Auch bei diesen beiden Aufgaben ist es sehr wichtig, daß man die Menge des Abflusses und der Wasserspeicherung im Boden unter verschiedenen Bedingungen voraussagen kann.

## Wasserhaushaltspflege

Die Bewahrung, Überwachung und Erschließung von Wasservorkommen zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage nennt man zusammenfassend 'Wasserhaushaltspflege'. Wasser kann man auf unterschiedliche Weise durch Eingriffe in den hydrologischen Zyklus bewahren. Am verbreitetsten ist das Verfahren, bei dem ein fließendes Gewässer abgesperrt und sein Wasser gespeichert wird, das sonst wieder ins Meer zurückfließen würde. Talsperren, große Stauseen, werden dadurch geschaffen, daß man quer über das Flußtal eine







**Oben:** Niederschläge fallen in Form von Regen, Schnee, Schneeregen oder Hagel. Wenn Wassertropfen, die sich beim Kondensieren von Wasserdampf um Staubteilchen herum gebildet haben, niederfallen, regnet es. Tropfen, die hinreichend groß sind, fallen, doch möglicherweise erreichen sie die Erde nicht. Sie können in wärmeren Luftschichten verdunsten, oder starke Aufwärtsströmungen der Luft können sie in Schwebelage halten.

Sperrmauer errichtet. Der größte auf diese Weise geschaffene künstliche See ist der Volta-See in Ghana. Staubecken, von denen aus Rohrleitungen unmittelbar zu Verbrauchsstellen führen, sind Talsperren mit direkter Wasserversorgung.

Talsperren mit dem Ziel der Flußregulierung arbeiten nach anderen Grundsätzen und erfüllen mehrere Aufgaben zugleich. Dadurch, daß in Trockenperioden aus ihnen Wasser in die Flüsse abgelassen und in Regenperioden zurückgehalten wird, kann mittels solcher Stauanlagen die Versorgung der Verbraucher gewährleistet werden. Außerdem kann auf diese Weise der Wasserstand auf einer Höhe gehalten werden, der zur biologischen Selbstreinigung des Gewässers ausreicht oder es in schiffbarem Zustand erhält. Darüber hinaus

**Rechts:** Eine Regensonde in Baumwipfelhöhe. Diese Sonden werden in Waldgebieten benutzt, in denen keine Lichtungen zur Verfügung stehen, um Sonden zur ebenen Erde anzuwenden. Sonden sind nur eine Möglichkeit, die Regenmenge zu messen. Man verwendet ausserdem Pluviometer und Heytometer sowie Lysimeter (s. unten).



INST OF HYDROLOGY



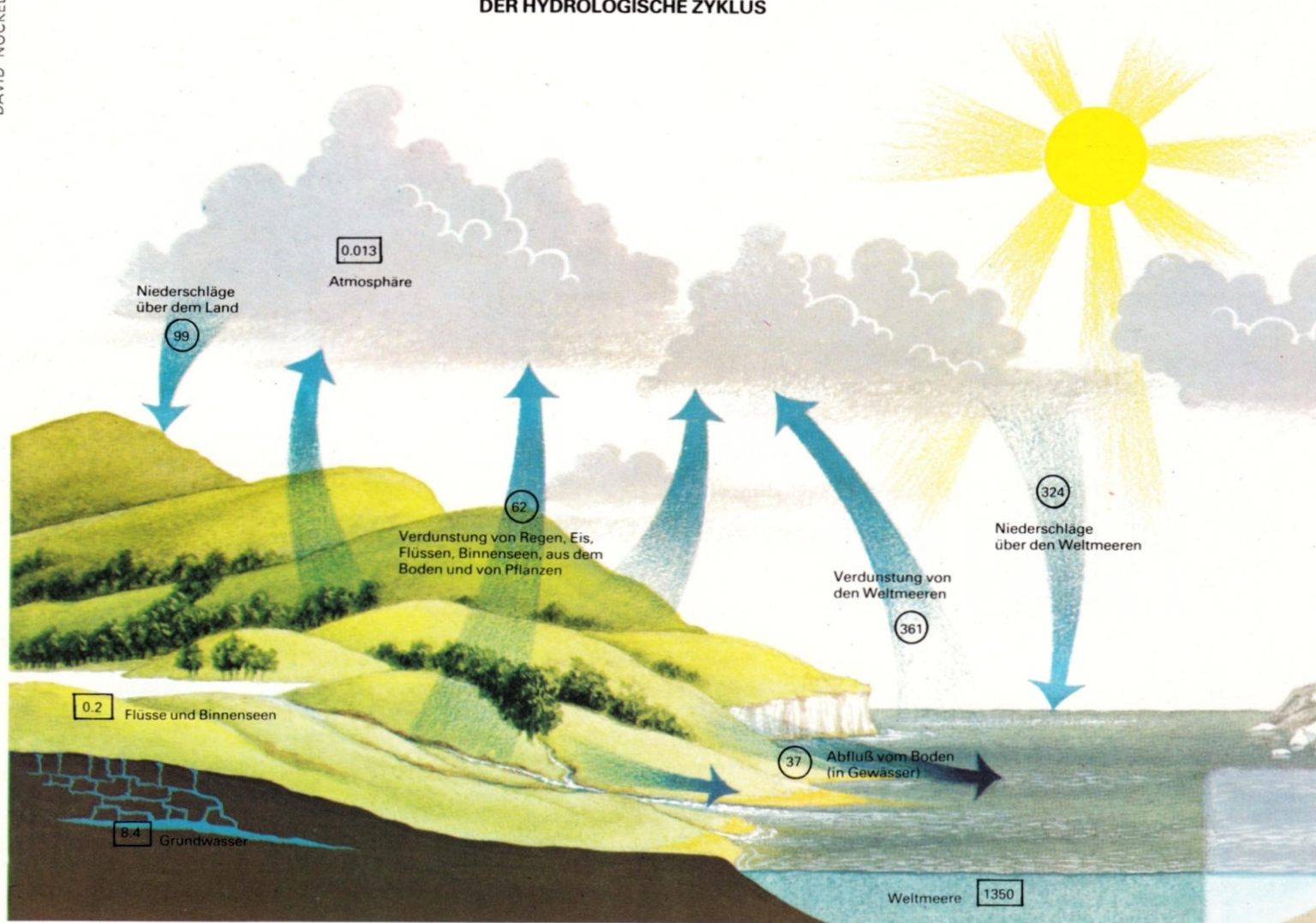
**Links:** Ein Lysimeter. Der Grundwasserfluß wird im Vordergrund mit einem Meßbehälter registriert. Niederschlagsmengen werden in Höhe der Baumwipfel und auf dem Boden gemessen. Veränderungen der Bodenfeuchtigkeit werden mit einem Tensiometer gemessen. Gelegentlich werden zur Niederschlagsmengenmessung auch Neutronensonden benutzt.

können mittels solcher Mehrzweck-Sperrbecken Überschwemmungen entschärft werden, indem in ihnen während der Schneeschmelze und bei starken Regenfällen Wasser zurückgehalten wird. Außerdem entstehen durch den Bau solcher Talsperren oft Wasserflächen, die der Naherholung von Großstadtbewohnern zugute kommen.

Grundwasser in wasserführenden Schichten wird erschöpft, wenn man mehr Wasser entnimmt, als durch natürlichen Zufluß nachfließt. Dies ist in den Kalk- und Sandschichten unterhalb Londons geschehen, wo sich der Grundwasserspiegel gesenkt hat, so daß weniger Grundwasser für die



## DER HYDROLOGISCHE ZYKLUS



Versorgung zur Verfügung steht. Die Vorräte an Grundwasser lassen sich durch künstliches 'Nachfüllen' bewahren, indem man beispielsweise überschüssiges Flußwasser in die wasserführende Schicht leitet. Dieses Verfahren wird in einigen europäischen Ländern sowie in den USA in größerem Umfang angewendet.

### Wasseraufbereitung

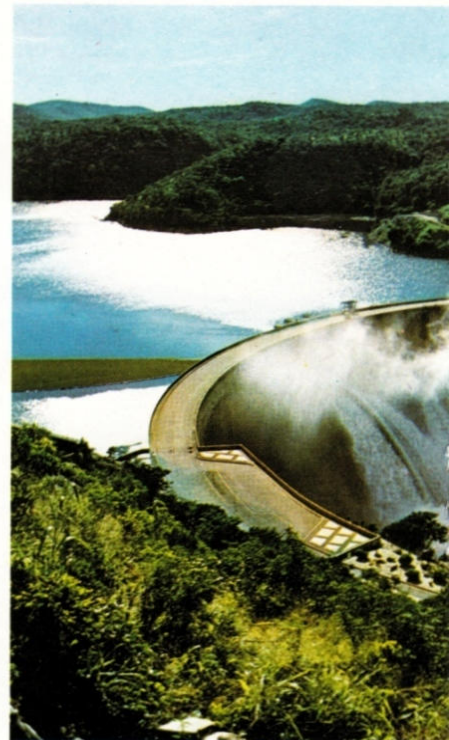
Wasser, das beispielsweise durch industrielle Prozesse verunreinigt wurde, kann aufbereitet und anschließend immer wieder verwendet werden. In der Praxis unterbleibt die Aufbereitung oft aus Kostengründen, da es häufig billiger ist, 'neues' Wasser zu verwenden, als das 'alte' aufzubereiten. Die Wiederverwendung von Kühlwasser bei Wärmekraftwerken bietet reichlich Gelegenheit zur Bewahrung von Wasser und zur Verringerung der Gewässerverschmutzung.

Ein besonders schlagkräftiges Beispiel für Wasserverschwendung ist die Wasserspülung in Toiletten. Würde die hierfür aufgewendete Wassermenge nur um einen Bruchteil verringert, ließen sich große Einsparungen erzielen, ohne daß wir Abstriche an unserer Hygiene hinnehmen müßten. Auch in Stauanlagen gespeichertes Wasser kann, vor allem in Dürregebieten, durch Verdunstungsverluste in großen Mengen 'verschwendet' werden. Es sind Verfahren zur Verringerung der Verdunstung entwickelt worden, die sich allerdings noch im Versuchsstadium befinden. Hierbei wird vornehmlich die Oberfläche von Staubecken mit Chemikalien besprüht, die das Wasser gleichsam 'einsiegeln' sollen.

Jahrhunderte hindurch gab es Menschen, die sich ihrer Fähigkeiten als Regenmacher rühmten. Auch heute noch

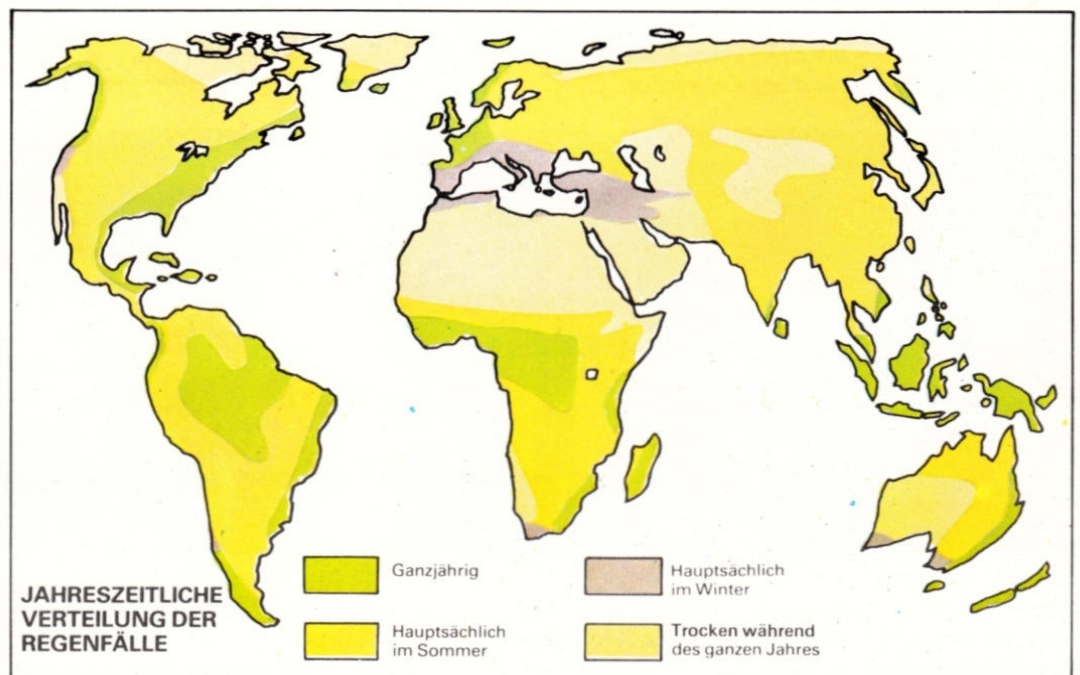
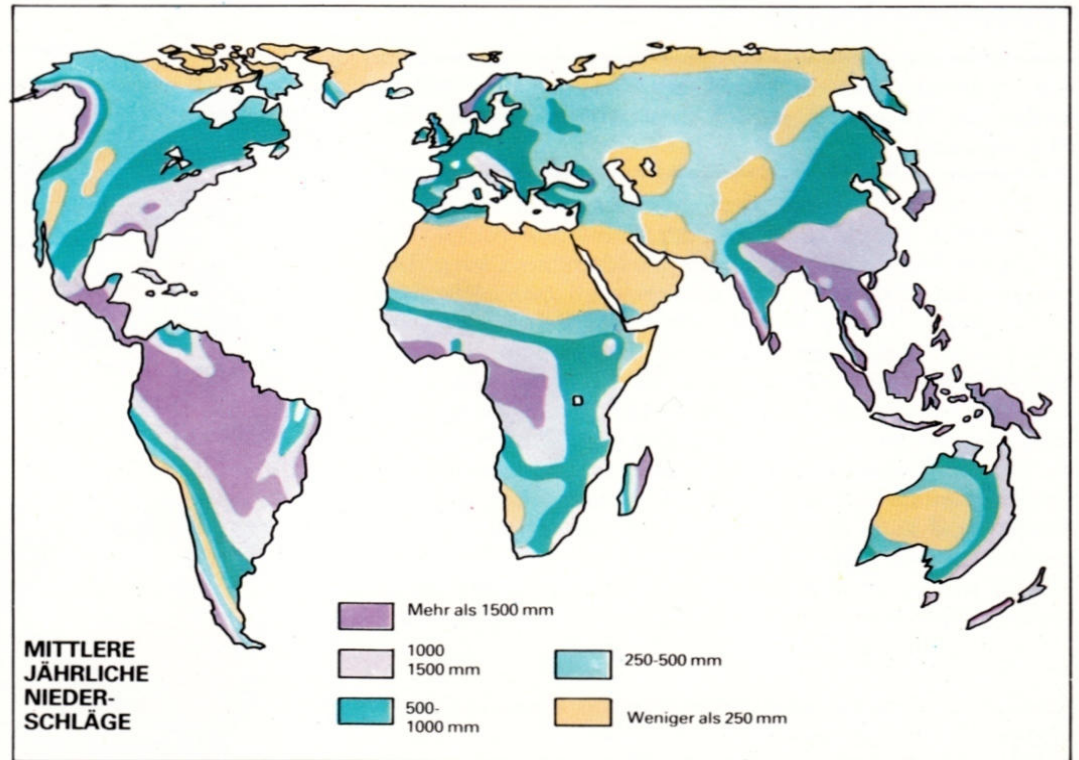
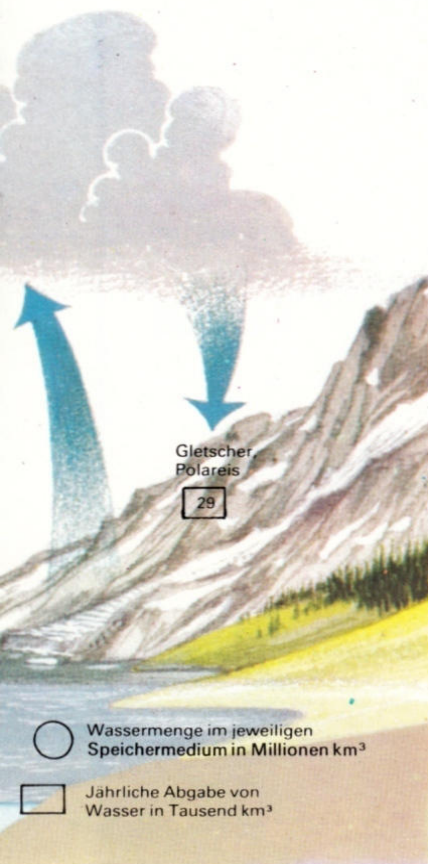
**Oben:** Der natürliche Wasserkreislauf vom Land zum Meer, in die Atmosphäre und wieder zum Land zurück ist als hydrologischer Kreislauf bekannt. Die Sonnenwärme ist die Energie, mit deren Hilfe Wasser verdunstet. Niederschläge werden vom Boden und von Pflanzen aufgenommen. Ein Teil bleibt als Eis an der Oberfläche, ein Teil wird zu Grundwasser in der Erde.

**Rechts:** Der Kariba-Damm am Sambesi zwischen Sambia und Simbabwe-Rhodesien. Die Staumauer von 128 m Höhe wurde im Jahre 1959 fertiggestellt. Sie dient zur Stromerzeugung und zur Regulierung des Wasserstandes des Sambesi.



glauben bestimmte Stämme und Gruppen daran, daß ihre Zauberer oder geistlichen Oberhäupter durch Anrufung der Götter oder Beschwörung von Naturkräften Regenfluten hervorzurufen vermögen. Seit Beginn der 40er Jahre geht man in den USA und Australien mit kühlerem Kopf an die Sache





**Oben:** Die mittlere Verteilung von Niederschlägen auf der Erde. Die größten Mengen fallen in den Tropen, der Monsunzone und in den mittleren Breiten, in denen häufig Tiefdruck herrscht. Ortsabhängige Faktoren sind Lufttemperatur und Höhe des jeweiligen Gebietes.

Es werden umfangreiche Versuche durchgeführt, um aus Seewasser, wie auch aus bestimmten Grundwasservorkommen, durch Entsalzung Süßwasser zu gewinnen. Dabei wird der natürliche Gehalt an gelösten Salzen vermindert. Leider ist Entsalzung zur Gewinnung von Süßwasser ein vergleichsweise teures Verfahren, so daß es wohl erst dann eine größere Rolle spielen wird, wenn es billiger ist als die Versorgung aus herkömmlichen Quellen.

Wasserbewahrung kann auch durch eine Drosselung der Nachfrage sowie durch Erziehung der Öffentlichkeit zu bewußterem Umgang mit Wasser als einem knappen Rohstoff erfolgen. Das überall preiswert verfügbare Leitungswasser — ein Merkmal der modernen Gesellschaft — verleitet oft zu der fälschlichen Annahme, Wasser stehe in beliebiger Menge zur Verfügung. Doch muß bei steigenden Preisen für die Wasserbewahrung die Nachfrage, möglicherweise über einen höheren Wasserpreis, beschränkt werden.

heran. Dort haben Versuche zur Entwicklung des Wolkenimpfens geführt. Doch steckt auch dieses Verfahren zur Regenerzeugung noch im Experimentierstadium. Sicherlich wird es noch eine Weile dauern, bis auf diese Weise bedeutende Mengen von Wasser bewahrt werden können.

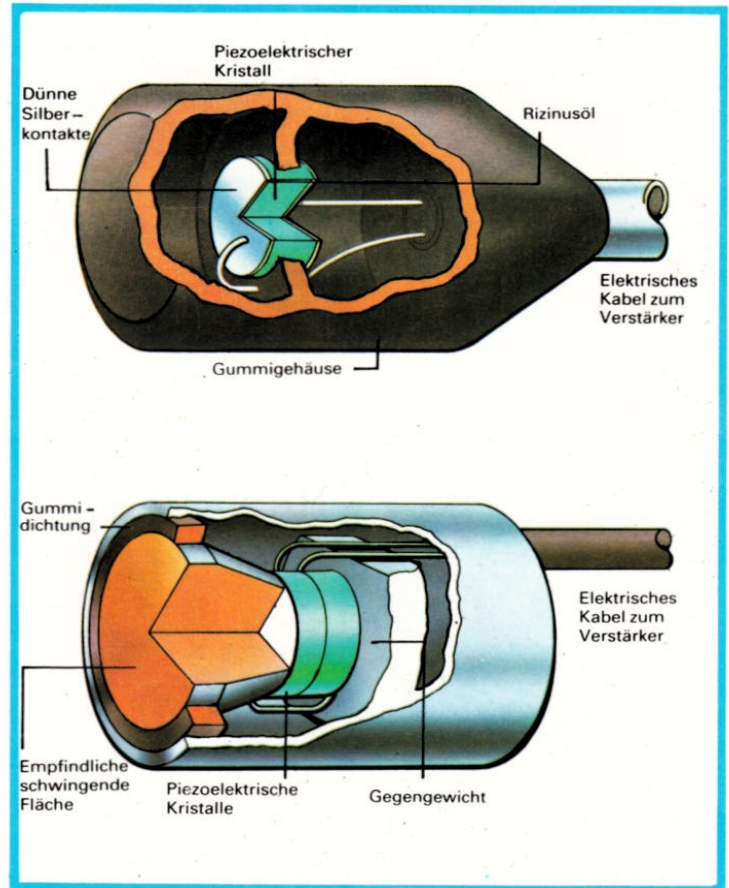


## HYDROPHON

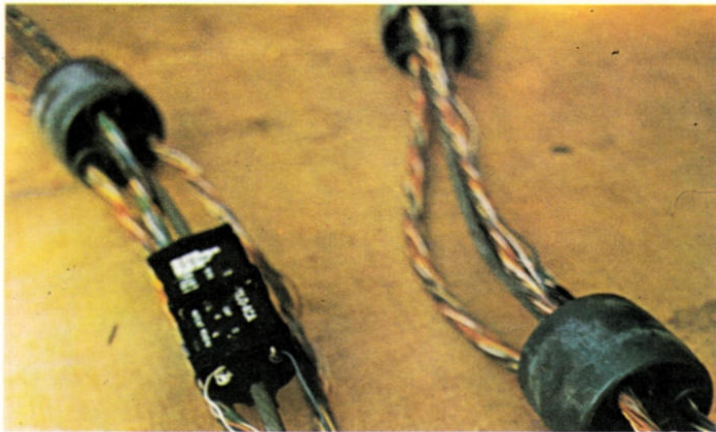
**Ein Hydrophon ist ein Gerät zur Messung von Schallwellen im Wasser; es ist die Unterwasserversion eines Mikrophons.**

In den Meeren stammt der Unterwasserschall von den Bewegungen der Wellen auf der Wasseroberfläche, von Schiffsmaschinen und von im Wasser lebenden Tieren. Das 'Singen' der Wale und der Tümmler kann man meilenweit hören. Einige Fische können Töne von sich geben; eine Garnelenart kann sogar ein lautes, klapperndes Geräusch machen. Diese Töne reichen auf der Frequenzskala (Tonhöhe) von einem niederfrequenten Bereich, der für die menschliche Wahrnehmung zu tief liegt, über den hörbaren Bereich bis in das Gebiet des Ultraschalls, wo das menschliche Gehör ebenfalls versagt. Wichtige Schallquellen auf den Meeren sind auch die Sonargeräte, mit denen viele Schiffe ausgerüstet sind. Diese Geräte senden einen Schallimpuls aus, der sich vom Schiff ausbreitet und von irgendwelchen im Wasser befindlichen Objekten reflektiert und gestreut wird.

**Rechts:** Ein piezoelektrisches Hydrophon. Der Kristall ist durch das Rizinusöl im Gummigehäuse elektrisch isoliert. Eine Änderung des Druckes im umgebenden Wasser wird in eine elektrische Spannungsänderung umgewandelt, die vom Verstärker aufgenommen wird. Der Kristall ändert auch seine Gestalt bei Änderung der elektrischen Spannung und kann auch zum Aussenden von Schall benutzt werden.



OSBORNE/MARKS



**Oben:** Ein für seismische Untersuchungen benutztes Kabel mit Hydrophonen. Das Kabel wird von einem Schiff durch das Gewässer gezogen.



SEISMOGRAPH

**Oben:** Ein Teil des Kabels im rechten Bild. Die Umhüllung wurde entfernt, um eines der Hydrophone freizulegen. Daneben ein Hydrophon in der Schutzhülle.

Die reflektierten Pulse werden auf dem Schiff empfangen. Dieses Echo macht es möglich, die Entfernung und Größe der reflektierenden Objekte zu bestimmen.

### Aufbau eines Hydrophons

Die zur Erzeugung und zum Empfang akustischer Signale benutzten elektrischen Geräte heißen elektroakustische Wandler. Wandler, die elektrische Energie in Schallenergie umwandeln, werden beim Senden von Schallsignalen eingesetzt. Hydrophone sind Wandler, die Schallenergie in elektrische Energie umsetzen und mit elektronischen Verstärkern zum Empfang von Schallsignalen dienen. Zur Umwandlung von Schall in Elektrizität (und auch für die umgekehrte Richtung) benutzt man piezoelektrische Materialien oder magnetostruktive Metalle und Legierungen.

Piezoelektrische Kristalle sind natürlich vorkommende Sub-

stanzen (z.B. Quarz), die eine elektrische Spannung erzeugen, wenn man sie verformt. In dieser Funktionsweise kann man sie in einem Hydrophon benutzen, da Schallwellen die Gestalt der von ihnen getroffenen Körper verändern. Dieselben Kristalle ändern auch ihre Form, wenn man eine elektrische Spannung anlegt; bei veränderlicher Spannung können sie also Schall abstrahlen. In dieser Art werden sie auch bei Schallsendern benutzt. Die natürlichen piezoelektrischen Kristalle sind heute weitgehend von ferroelektrischen keramischen Werkstoffen verdrängt worden (z.B. Bariumtitanat), die normalerweise keine piezoelektrischen Eigenschaften besitzen, diese aber durch Erhitzen auf Temperaturen oberhalb des ferroelektrischen Curiepunktes und anschließendes Abkühlen in einem starken elektrischen Feld erhalten können.

In einem üblichen Hydrophon ist ein piezoelektrischer Kristall in einem wasserdichten Gehäuse, z.B. einer mit Rizi-



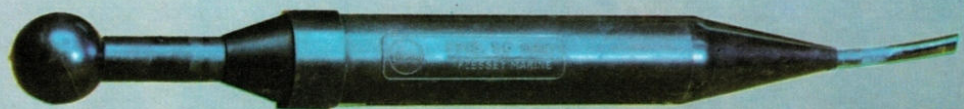


nusöl gefüllten kleinen Gummihülle, untergebracht. Das Öl überträgt nicht nur den Schall auf den Kristall, sondern isoliert ihn auch elektrisch. Auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Kristalls sind zwei dünne Silberkontakte angebracht, von denen jeweils ein Drähtchen aus dem Gehäuse herausgeführt wird. Wird das Hydrophon in einem Sonargerät eingesetzt, werden die Drähte mit einer elektronischen Verstärker- und Bildschirmanlage auf dem Schiff verbunden. Hydrophone haben eine hohe Resonanzfrequenz und reagieren in einem großen Frequenzbereich ohne Verzerrung auf Schall. Schallsendeköpfe besitzen oft metallische Teile, die an der Keramik angebracht sind und die akustischen Eigenschaften des Systems verändern. Damit lassen sich bei bestimmten Frequenzen sehr laute Signale abgeben.

**Links:** Ein Hydrophon wird von einem Hubschrauber ins Wasser gesenkt. Auf diese Weise ist es möglich, Unterseeboote auszumachen.

**Rechts:** Eine Sonarboje. Ein Hydrophon und ein Sender werden in eine Schutzhülle verpackt.

**Unten:** Das PMS-96A Hydrophon besteht aus einem unzerlegbaren Energieumwandler, einem Verstärker und 2m Kabel. Die Außenteile sind aus Polyurethan, um Verlässlichkeit im Salzwasser zu garantieren.



Die andere übliche Funktionsweise eines Wandler beruht auf dem magnetostriktiven Effekt. Einige Metalle, z.B. Nickel und seine Legierungen, verändern ein sie umgebendes Magnetfeld, wenn sie ihre Gestalt ändern. Die Änderungen des Magnetfeldes lassen sich in elektrische Signale umsetzen, so daß man auch magnetostriktive Materialien zum Bau von Hydrophonen benutzen kann. Auch in Schallsendern können diese Substanzen Verwendung finden, indem man durch Änderungen des umgebenden Magnetfeldes Formänderungen hervorruft, die zur Schallabstrahlung führen. In der Praxis haben diese Wandler oft die Form von Röhrchen oder Schichtpaketen des magnetostriktiven Materials, um die die Spulen zur Erzeugung des Magnetfeldes gewickelt sind. Das Ganze ist in einem wasserfesten Gehäuse untergebracht.



## HYGROMETER

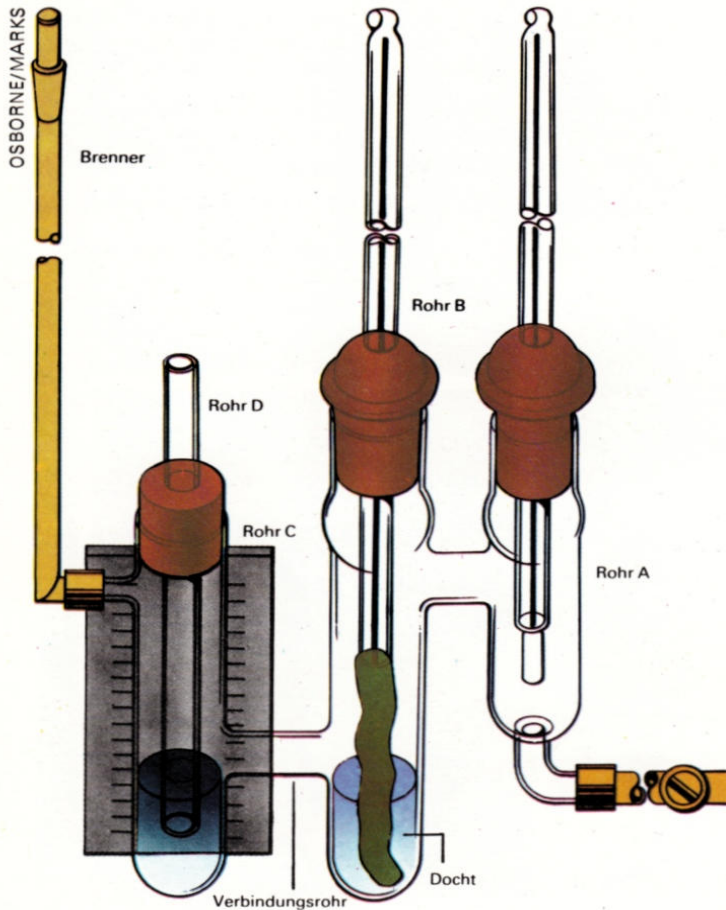
**Das Hygrometer ist ein Meßgerät, mit dem die Luftfeuchtigkeit, d.h. der Betrag des Wasserdampfgehaltes in der Luft, bestimmt wird. Das Wort kommt aus dem Griechischen und bedeutet Feuchtemesser.**

Das erste Hygrometer hat Leonardo da Vinci gebaut. Bei diesem Gerät wird das Gewicht eines Wolleballes gemessen, der soviel Feuchtigkeit aufnimmt, wie in der Luft enthalten ist. Seither entwickelte man mehrere Gerätetypen. Beim Ver-

Genauer arbeitende Hygrometer dienen speziellen Anwendungen. Ein Instrument, das zur Beobachtung der oberen Atmosphärenschichten dient, mißt Änderungen des elektrischen Widerstandes bestimmter Materialien. Die Widerstandsänderung erfolgt zum Beispiel beim Lithiumchlorid durch Feuchtigkeitsaufnahme.

Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes, wo Kondensations- oder Verdunstungsprinzipien nicht angewendet werden können, setzt man Spektographen ein, die die Strahlungsabsorption von Wasserdampf messen.

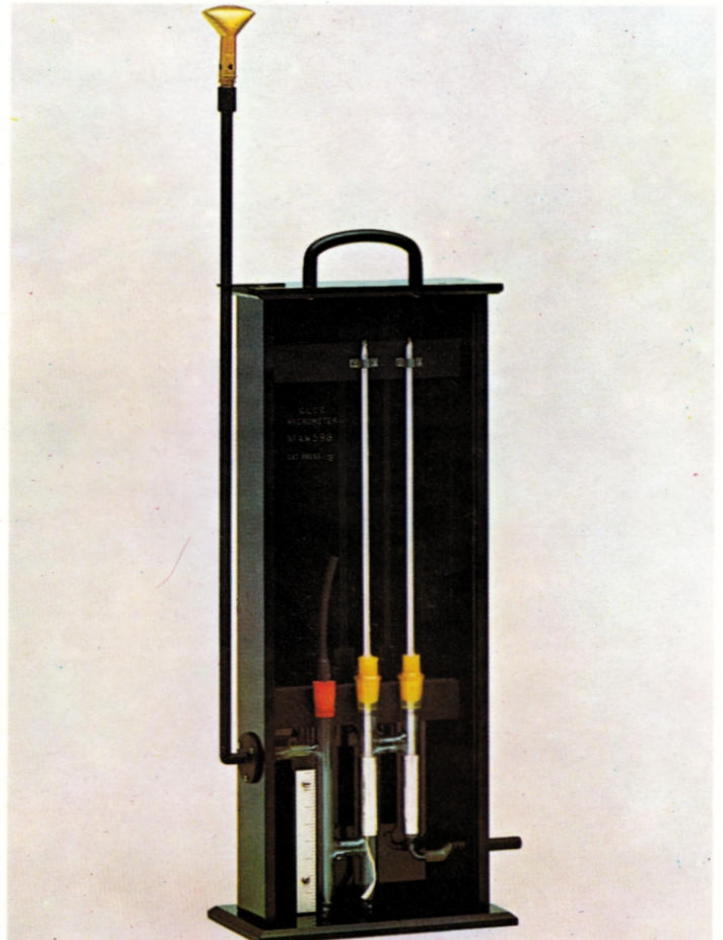
Der Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft wird gewöhn-



**Oben:** Ein Hygrometer, das zur Erlangung des Taupunktes von Kohlendioxid benutzt wird. Das Gas tritt durch die Abzweigung und durchläuft die feuchten und trockenen Kugeln der Thermometer in den Röhren A und B.

dunstungsprinzip berechnet man die Luftfeuchtigkeit aus der Differenz der Skalenwerte zweier Thermometer; die Kugel des einen wird von einem Docht, der in Wasser getaucht ist, feucht gehalten. Das Kondensations- oder Taupunkthygrometer benutzt ebenfalls zwei Thermometer; die Kugel des einen liegt im Ätherbad. Man bläst Luft durch den Äther, die sich während des Verdunstungsvorganges abkühlt. Die Temperatur, die sich an der Außenseite des Behälters einstellt, wird mit der Temperatur des Thermometers verglichen.

Die meisten Konstruktionen sind vom Hygrometer Leonardo da Vincis abgeleitet: Bestimmte organische Substanzen nehmen leicht Feuchtigkeit auf. Solche Substanzen werden hygroskopisch genannt. Das menschliche Haar besitzt diese Eigenschaft und wird deswegen in einfachen Hygrometern benutzt. Mit der aufgenommenen Feuchtigkeit ändert sich die Länge des Haares; die Änderung läßt sich leicht mechanisch verstärken und auf einer Skala ablesen.



ALEXANDER WRIGHT/MICHAEL NEWTON

**Oben:** Ein Feuchtigkeitsmesser, der den Wasserdampfgehalt von Stadtgas messen soll. Der Taupunkt des Gases wird mittels Durchlaufen des Gases durch eine Röhre bestimmt.

lich durch Angabe der relativen Luftfeuchtigkeit bestimmt. Dies ist das prozentuale Verhältnis des tatsächlichen Wasserdampfdruckes in der Luft zum gesättigten und damit maximal möglichen Wasserdampfdruck bei gleicher Temperatur. Alternativ kann für den Feuchtigkeitsgehalt das Gewicht des Wasserdampfes gesättigter Luft in der Volumeneinheit bei gleicher Temperatur zugrundegelegt werden. Der Taupunkt, dies ist der Temperaturpunkt, auf den die Luft abgekühlt werden müßte, um bei gleichbleibendem Druck mit dem zur Zeit enthaltenen Wasserdampf die Sättigung zu erreichen, kann ebenfalls zur Berechnung der relativen Luftfeuchtigkeit herangezogen werden, weil der gesättigte Dampfdruck im Taupunkt gleich dem wässrigen Dampfdruck bei der Temperatur der Messung ist. Der Sättigungsdampfdruck bei verschiedenen Temperaturen kann aus Tabellen entnommen werden. Aus den ermittelten Werten können Rückschlüsse auf die relative Luftfeuchtigkeit gezogen werden.



## INDUKTION

**Die Arbeitsweise vieler elektrischer Maschinen, wie Transformatoren, Generatoren und elektrische Motoren, beruht auf dem Phänomen der Induktion.**

Das Wort Induktion kommt aus dem Lateinischen und wird im Sprachgebrauch innerhalb der Elektrotechnik im Sinne von 'ansteigen lassen' verwendet. Hierbei ist die Fähigkeit des elektrischen Stromes gemeint, bei elektromagnetischen Erscheinungen die Spannung ansteigen zu lassen.

### Das Grundprinzip

Im normalen Sprachgebrauch versteht man unter Elektrizität das Fließen elektrischer Ladungen (Elektronen). Der Stromfluß kommt durch eine Spannungsdifferenz zustande, die als elektrischer Druckunterschied verstanden werden kann. Dies ist jedoch ein rein elektrisches Phänomen, bei dem die Kraft

als Spannungsdifferenz oder als Spannungsgefälle erscheint und elektrische Ladungen in Bewegung setzt.

Bewegte elektrische Ladungen erzeugen ein magnetisches Feld. Durchfließt der Strom einen Leiterdraht, entsteht ein Magnetfeld, das den Draht umschließt. Die Stärke dieses Feldes verhält sich proportional zur Größe des Stromes. Wird umgekehrt ein Draht innerhalb eines Magnetfeldes bewegt oder ein ruhender Draht einem sich ändernden Magnetfeld ausgesetzt, wird in ihm eine Spannung induziert. Die Größe der induzierten Spannung ist von der Geschwindigkeitsänderung des Magnetfeldes abhängig. Dies sind elektromagnetische Erscheinungen, die die Grundlagen der Induktion im Sinne der Elektrotechnik bilden.

### Induktion durch Stromänderungen

Durch Spannungsunterschiede können Ströme fließen, wodurch wiederum Magnetfelder erzeugt werden. Die Größe der induzierten Spannung hängt von der Geschwindigkeits-

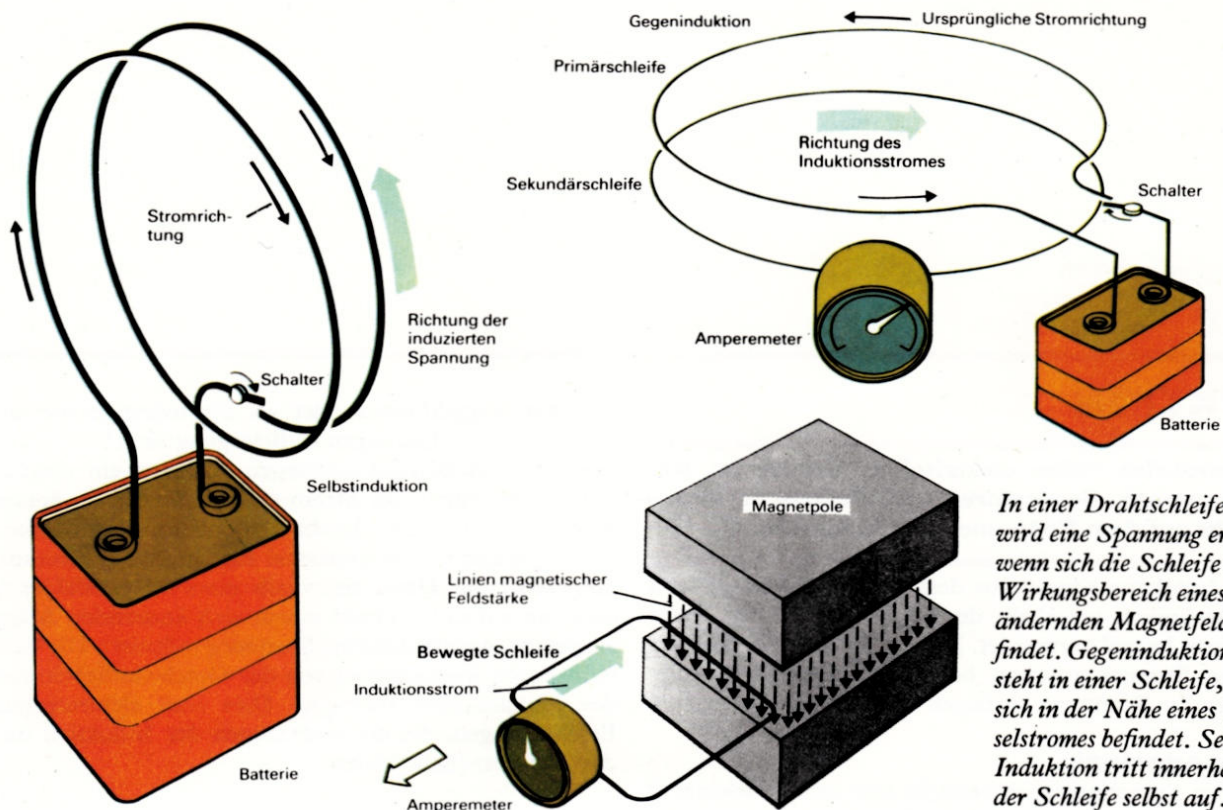


**Oben:** Dieses Bauteil erzeugt im Plasma durch induktive Erhitzung eine hohe Temperatur und wird zur Herstellung von Boraxverbindungen benötigt. Plasma ist ein sehr guter elektrischer Leiter. Die Gasatome sind ionisiert; man kann Ströme induzieren.

**Rechts:** Elektromagnetische Induktion. Ein Zahnrad eines Getriebes erfährt Hitzebehandlung. Der Strom in der Spule induziert Strom in dem Getriebe und erhitzt dadurch das Innere des Getriebes.







änderung des Magnetfeldes oder des magnetischen Flusses — wie er gewöhnlich bezeichnet wird — ab und ist damit auch proportional zur Geschwindigkeitsänderung des elektrischen Stromes.

Ein sich ändernder magnetischer Fluß induziert in jedem Draht der näheren Umgebung eine Spannung (sogenannte Gegeninduktivität). Bei diesem Vorgang sind mindestens zwei vorher unabhängige elektrische Kreise über ein Magnetfeld miteinander verknüpft.

Weiterhin wird das gleiche Feld beständig den Strom im Leiter, in dem er fließt, beeinflussen (sogenannte Selbstinduktivität). Hier besteht also eine Verkopplung des elektrischen Kreises mit dem eigenen magnetischen Kreis. Dabei liegt die induzierte Spannung immer entgegengerichtet zur ursprünglichen stromtreibenden Spannung, die die eigentlichen Stromänderungen hervorruft. Die Selbstinduktion versucht also, jede Stromänderung zu verhindern.

### Die Selbstinduktion

Da sich die Größe der induzierten Spannung proportional zur Geschwindigkeitsänderung des Stromes verhält, werden schnell sich ändernde Ströme — auch als hochfrequente Wechselströme bezeichnet — höhere Spannungen induzieren als niederfrequente Ströme mit langsamen Änderungen. Ebenso wie diese Induktionsspannungen immer versuchen, den Stromfluß zu behindern, der sie erzeugt hat, werden sie Ströme höherer Frequenzen stärker schwächen als die niedrigeren Frequenzen. Gleichströme unterliegen keinerlei Induktionseffekten.

An vielen Stellen wird die Selbstinduktion zum Ärgernis. Soll beispielsweise eine Signalübertragung durch eine Leitung erfolgen, werden infolge der Selbstinduktionswirkung höhere Frequenzen stärker behindert als niedrige. Andererseits sind Drosselspulen Bauelemente, die dafür konstruiert sind, besonders wirksam die Induktion in ihrer Frequenzabhängigkeit zu unterstützen. Drosselspulen lassen Gleichströme ungehindert fließen, hemmen aber in zunehmendem Maße größer werdende Frequenzen.

Elektrische Aufbauten, in denen Spulen mit Kondensa-

toren innerhalb einer Schaltung verknüpft sind, wirken als Schwingkreise, die große Bedeutung in Oszillatorschaltungen haben. Kondensatoren besitzen eine zu Spulen umgekehrte Frequenzcharakteristik; dies bedeutet, daß sie Ströme niedriger Frequenzen in stärkerem Maße als hohe Frequenzen schwächen. In einem Resonanzkreis wird eine bestimmte Frequenz bevorzugt, nämlich die, bei der sich sowohl die induktiven als auch die kapazitiven Wirkungen aufheben: Der Schwingkreis zeigt an dieser Stelle praktisch keinen Widerstand. Auf welche Frequenz dies zutrifft, ist von den Werten der Spule und des Kondensators abhängig. Der Schwingkreis ist ein Beispiel für Frequenzfilter, in denen Spulen allgemein Verwendung finden.

### Gegeninduktion

Die Gegeninduktion verleiht dem Wechselstrom die Fähigkeit, aus einem Leiterdraht eine Spannung in einem zweiten, von diesem getrennten Leiterdraht zu induzieren. Sie bildet die Grundlage für die Arbeitsweise des Transformators.

Beim Transformator sind zwei Drahtspulen auf einem gemeinsamen magnetischen Kreis aufgebracht. Liegt an den Enden der ersten Spule — auch als Primärspule bezeichnet — eine Wechselspannung an, wird sie von einem entsprechenden Strom durchflossen. Der Strom bewirkt ein wechselndes Magnetfeld im Magnetkreis. Der magnetische Wechselfluß durchdringt die Sekundärspule; in ihr wird eine Wechselspannung induziert. Die Größe der Sekundärspannung in Beziehung zur Primärspannung hängt vom Windungsverhältnis der beiden Spulen ab.

### Einheit der Induktivität

Die Einheit der Induktivität ist das Henry (abgekürzt: H). Joseph Henry (1797 bis 1878) entdeckte als erster das Phänomen der Selbstinduktion.

Die Induktivität beträgt 1 H, wenn die Stromstärke sich in 1 s um 1 A ändert und dabei eine Spannung von 1 V induziert. Daher wird die Induktivität auch in Voltsekunden pro Ampere (abgekürzt: Vs/A) ausgedrückt. Ein Henry ist eine außerordentlich große Induktivität.



## INDUKTIONSSPULE

In der Zündanlage eines Autos befindet sich eine der bekanntesten Anwendungen der Induktionsspule. Sie wandelt hier die Batteriespannung von 6 V oder 12 V auf 30 000 V oder höher um; diese Hochspannungen sind zum einwandfreien Arbeiten der Zündkerzen notwendig.

Induktionsspulen dienen zur Umwandlung niedriger Spannungen in hohe. Der englische Physiker Michael Faraday (1719 bis 1867) entdeckte im Jahre 1831 als erster das Prinzip der elektromagnetischen Induktion. Seither erfuhr seine Versuchsanordnung zahlreiche Verbesserungen. Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts erzeugte man elektrische Entladungen in Gasen niedriger Drücke, was zur Entdeckung der Röntgenstrahlen und auch der Katodenstrahlen führte.

**Rechts:** Diese Induktionsspule erzeugt an der Sekundärseite eine Ausgangsspannung von 30 000 V, die sie aus der Batteriespannung von 12 V gewinnt. Der Pfeil zeigt auf die Stelle, an der die Induktionsspule in den Motor eines Motorrades eingebaut ist.



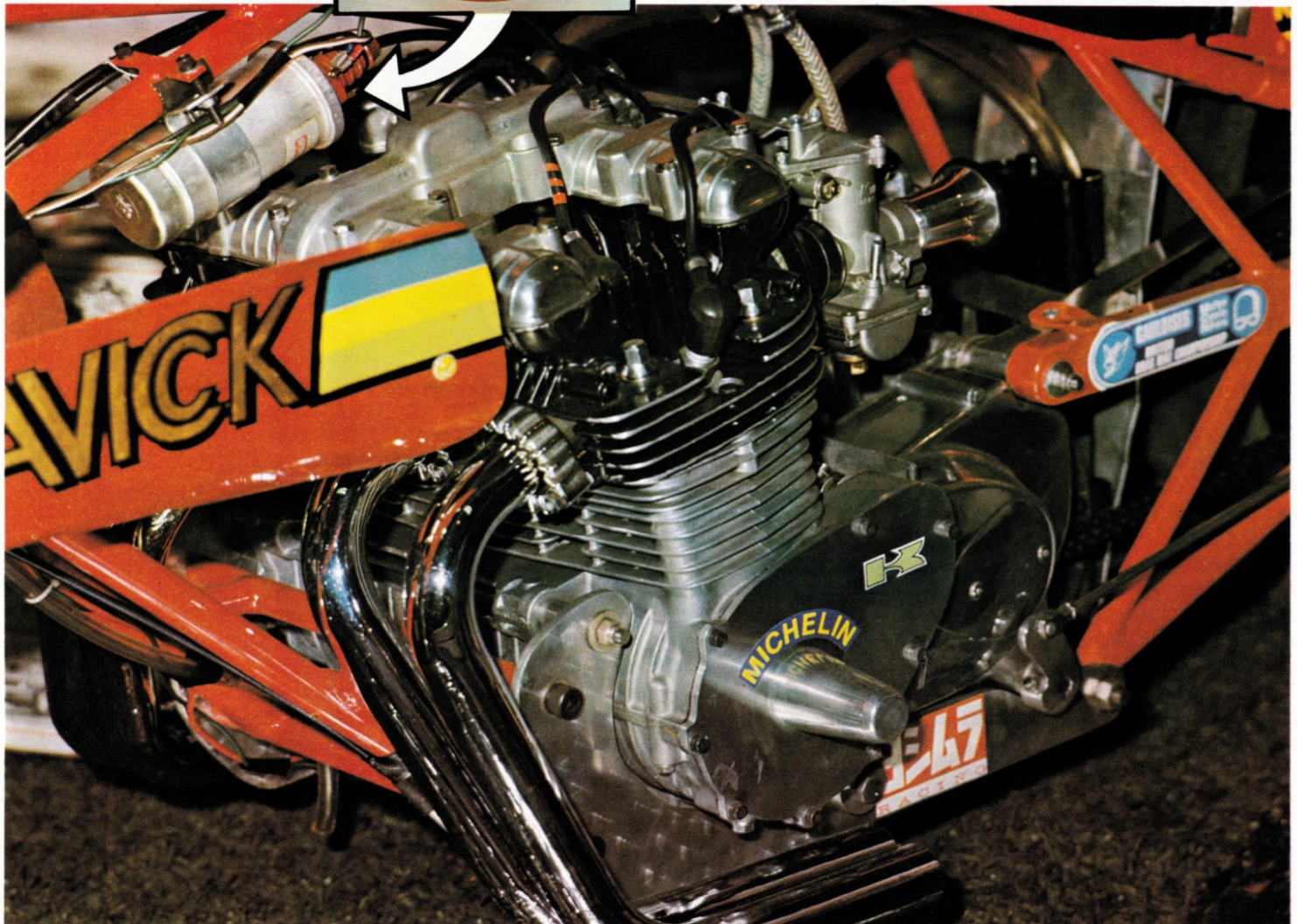
BOSCH

In der einfachen Anordnung enthält dieses Gerät zwei Spulen: eine Primärwicklung, die aus einigen Hundert Windungen dicken isolierten Drahtes besteht, der sich auf einem Weicheisenkern befindet, und eine Sekundärwicklung, die aus mehreren Tausend Windungen dünnen isolierten Drahtes, der auf die Primärwicklung gewickelt ist, besteht.

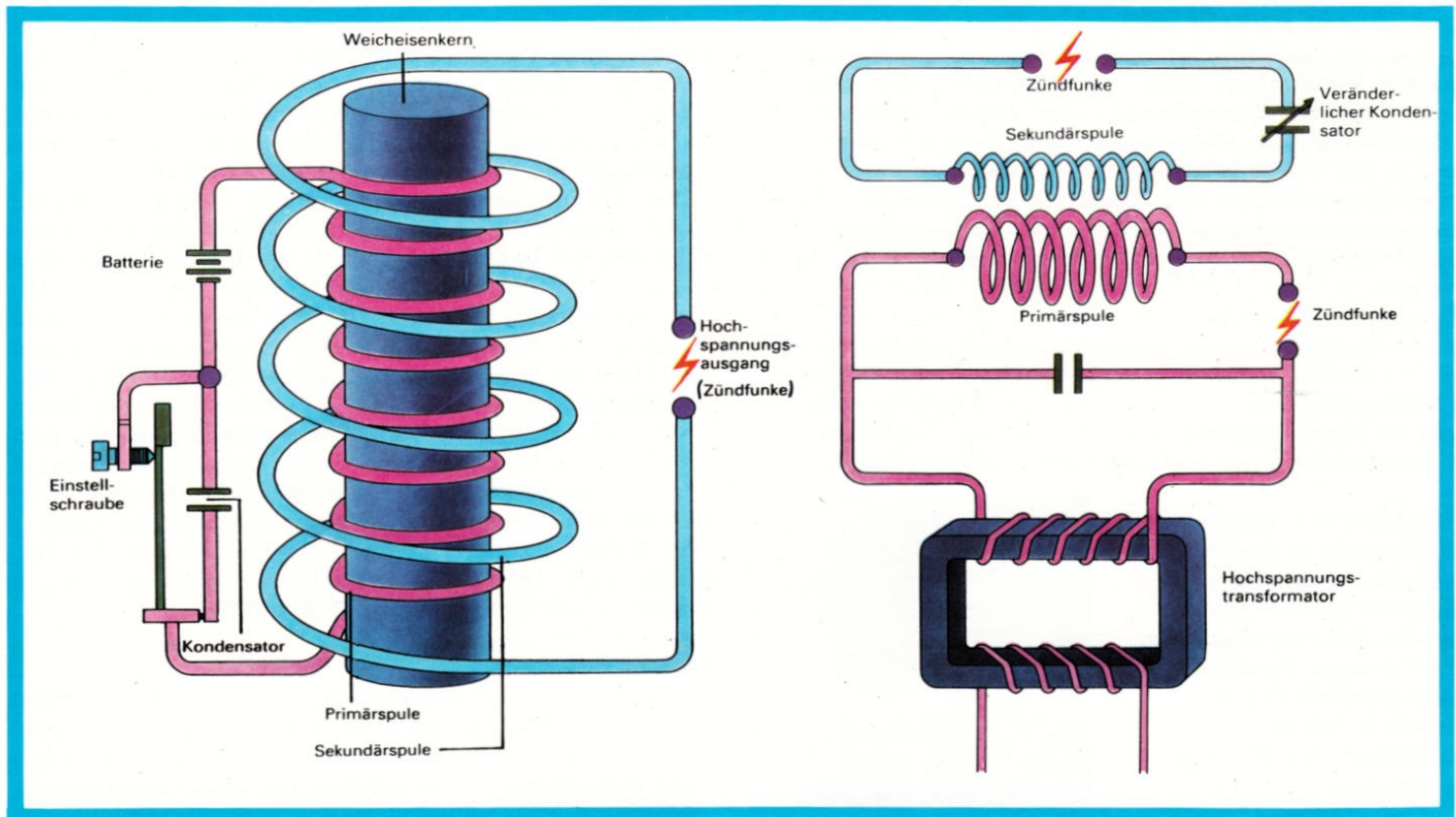
Eine Gleichspannungsquelle legt eine niedrige Spannung an die Primärwicklung. Die Spannung wird über eine Stahlblattfeder, auf der sich — ähnlich wie bei der elektrischen Klingel — ein Eisenanker befindet, zu- oder abgeschaltet. Mit einer einstellbaren Schraube läßt sich der Ankerruhepunkt festlegen. Der elektrische Strom fließt über die Schraube, den Anker und die Stahlfeder zur Primärwicklung. Dadurch wird der Weicheisenkern der Spule magnetisiert, und der Eisenanker wird von ihr angezogen. Mit der Ankerbewegung geht der elektrische Kontakt des Ankers zur Schraube verloren; es kann kein Strom mehr fließen. Der Weicheisenkern der Spule wird entmagnetisiert, und die Stahlfeder drückt den Anker in seine Ruhelage zurück, wodurch der Stromfluß wieder hergestellt wird. Der Arbeitszyklus kann erneut beginnen; er wiederholt sich mehrmals in einer Sekunde.

### Die Induktion

Der Strom, der die Primärwicklung durchfließt, erzeugt einen magnetischen Fluß, der auch die Sekundärwindungen durchdringt. Wird der Stromfluß unterbrochen, bricht das aufgebaute magnetische Feld zusammen. Das zusammenbrechende magnetische Feld induziert in der Sekundärwicklung eine hohe Spannung (Induktionsspannung). Nach der Lenzschen Regel wirkt die Induktionsspannung in Richtung des sich







aufbauenden Magnetfeldes, also entgegen der Änderung des Primärfeldes.

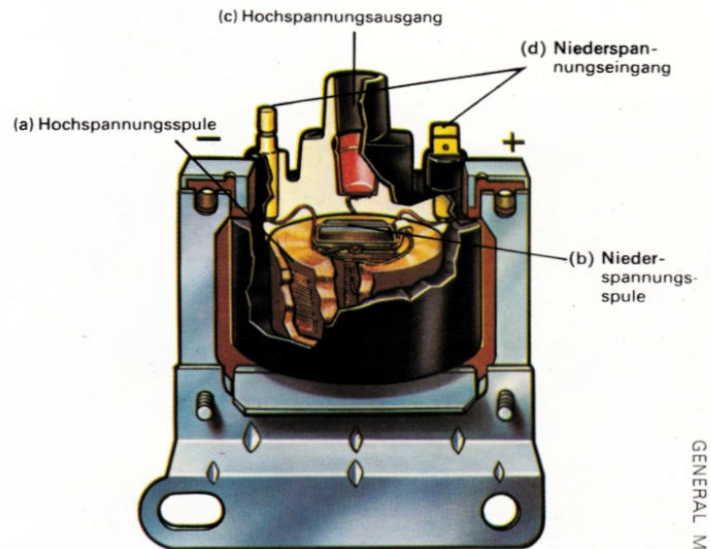
Die Größe der induzierten Spannung ist angenähert gleich dem Verhältnis der Windungszahl der Sekundärspule zur Windungszahl der Primärspule. Besitzt also beispielsweise die Sekundärspule tausendmal mehr Windungen als die Primärspule, wird die auf der Sekundärseite induzierte Spannung ungefähr tausendmal größer als die Spannung auf der Primärseite sein. Die Selbstinduktion, die in der Primärspule entsteht, verzögert den primären Stromfluß und verursacht auch einen Lichtbogen über der Ankerkontaktstelle. Dadurch verlängert sich die Dauer des primären Stromflusses; die sekundäre Induktionsspannung wird kleiner, weil deren Wert auch von der Geschwindigkeit abhängt, mit der sich der Primärfluß ändert.

Überbrückt man die Kontaktstelle mit einem Kondensator von ungefähr einem Mikrofarad (1 Millionstel Farad), läßt sich der Effekt verkleinern. Statt im entstehenden Luftspalt einen Lichtbogen zu erzeugen, lädt nun der Primärstrom den Kondensator auf. Der Kondensator entlädt sich über die Primärspule entgegen der Wirkung ihrer Selbstinduktionsspannung; daraus folgt, daß sich die Induktionsspannung an der Sekundärseite erhöht.

### Die entstehenden Verluste

Die Wirkungsweise der Spule hängt davon ab, wie schnell der Anker den Stromkreis unterbricht; in größeren Geräten ersetzt man den Anker durch einen umlaufenden Quecksilberstrahl. Energieverluste werden durch die Hysterese des Kerns hervorgerufen, deren Ursache in der gegenseitigen Beeinflussung der Felder der Moleküle im Eisenkern und der induzierten Magnetfelder liegt.

Weitere Verluste verursachen die Wirbelströme, die im Kernmaterial dadurch entstehen, daß die Feldlinien des sich ändernden magnetischen Flusses den Eisenkern schneiden. Man kann diese Verluste gering halten, indem man den Eisenkern mit lamellierten Blechen aufbaut und diese gegeneinander isoliert. Hierzu setzt man den Eisenkern der Spule aus dünnen gebündelten Blechen zusammen, die Bleche sind etwas länger



**Ganz oben:** Induktionsspulen arbeiten nach dem Prinzip, daß ein sich möglichst schnell ändernder Strom in der Primärspule eine sehr hohe Spannung in einer eng benachbarten Sekundärspule erzeugt.

**Oben:** Querschnitt einer Induktionsspule für Kfz-Motoren.

als die Spulen. Die gegenseitige Isolation der Blechstreifen kann durch Oxidation oder Papierzwischenlagen erfolgen und mit einer Lackierung geschützt werden. Günstiger ist allerdings, wenn der Kern aus weichmagnetischen Ferriten besteht. Ferrite sind Magnetwerkstoffe, die nach keramischen Verfahren aus Eisenoxid und aus Oxiden zweiwertiger Metalle hergestellt werden. Solche Kerne bestehen oft aus Nickel-Cobalt-Ferriten oder Magnesium-Mangan-Ferriten; ihre Verluste sind — selbst bei Strömen sehr hoher Frequenzen — außerordentlich niedrig.



## INFRAROTSTRAHLUNG

Vor zweihundert Jahren verstand man unter dem elektromagnetischen Spektrum nur die Farben Violett bis Rot des sichtbaren Bereiches. Im Jahre 1800 jedoch entdeckte Friedrich Wilhelm Herschel (1738 bis 1822), daß die Sonne Energie jenseits des roten Endes des sichtbaren Bereiches abstrahlt. Er konnte zum ersten Mal Infrarotstrahlen (auch Ultrarotstrahlen) nachweisen.

Heute versteht man unter dem Infrarotbereich den Teil des elektromagnetischen Spektrums, das zwischen dem sichtbaren und dem Mikrowellenbereich liegt. Erst in den letzten Jahrzehnten erkannte man die Anwendungsmöglichkeiten der Infrarotstrahlung in der Medizin, im Militärwesen, beim Studium von Gasen und beim Kochen.

Das Experiment, bei dem Herschel die Infrarotstrahlen nachwies, läßt sich sehr einfach reproduzieren. Er ließ Sonnenstrahlen durch einen Spalt auf ein Prisma und das entstehende Spektrum auf eine Tischplatte fallen. In die verschiedenen Spektralfarben brachte er die geschwärzten Kugeln von Thermometern. Durch die Schwärzung werden alle Farben gleich absorbiert, so daß der Quecksilberfaden im Thermometer den jeder Farbe entsprechenden Energiebetrag anzeigt. Die Sonne hat ihr Energiemaximum im Gelb/Grün-Bereich. Herschel dagegen las den höchsten Energiebetrag im Rotbereich ab. Der Grund hierfür ist, daß ein Prisma grünes, blaues und gelbes Licht aufweitet, rotes Licht aber bündelt. Durch diese Beobachtung wurde Herschel dazu angeregt, die Temperatur jenseits des Rotbereiches zu messen. Dies führte zur Entdeckung der Infrarotstrahlen.

Die Wellenlänge der von Herschel entdeckten Strahlung

**Unten:** Thermogramm eines Kindes, das auf einem kalten Fußboden sitzt. Die Oberflächentemperatur ist gefallen. Wenn das Kind länger der Kälte ausgesetzt wird, werden die durch die Haut empfangenen Signale zur Hitzebildung anregen.



JOHN HILLELSON



**Links:** Eine Aufnahme der nördlichen Hemisphäre des Planeten Venus. Die Infrarotaufnahme wurde von einem Radiometer gemacht, der sich an Bord des Raumschiffes 'Pioneer Venus' befand.

betrug etwa  $0,8 \mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m}$  = ein Millionstel Meter). Der sichtbare Lichtbereich liegt zwischen  $0,4 \mu\text{m}$  und  $0,7 \mu\text{m}$ . Der Infrarotbereich reicht von  $0,7 \mu\text{m}$  bis  $1 \text{ mm}$ . Für das menschliche Auge ist die Infrarotstrahlung nicht sichtbar, sie kann aber von der menschlichen Haut wahrgenommen werden. Wird z.B. eine elektrische Heizsonne eingeschaltet, spürt man aufgrund der Infrarotstrahlung die abgegebene Wärmeenergie, bevor die Heizfäden rotglühend werden. Je kälter ein Körper wird, desto mehr verschiebt sich im sichtbaren Bereich die Farbe nach Rot. Wenn er noch kälter wird, strahlt er im Infrarotbereich ab. Körper, die kälter als  $900^\circ\text{C}$  sind, geben den Hauptteil ihrer Energie im Infrarotbereich ab. Heizkörper z.B. haben ihr Energiemaximum bei  $10 \mu\text{m}$ .

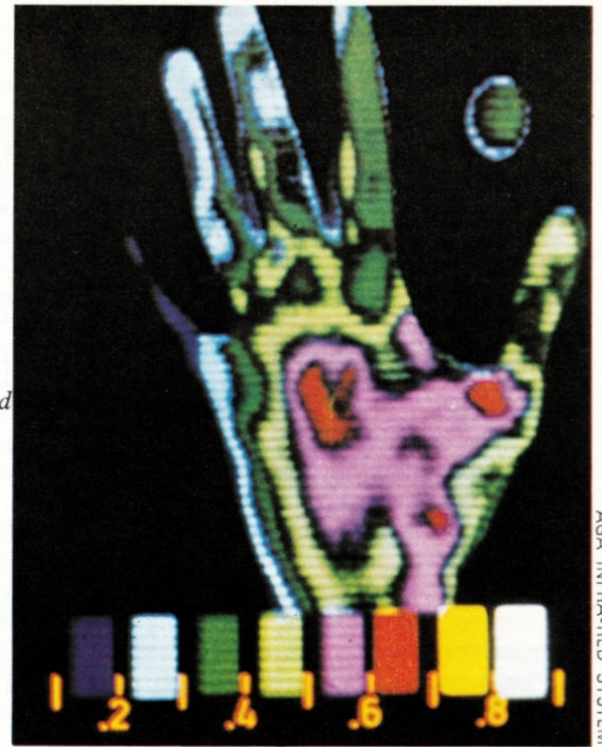
Daß der menschliche Körper trotz des energiereicheren blauen Lichtes Infrarotstrahlung als Wärmestrahlung empfindet, beruht darauf, daß die Moleküle im Körper durch die Infrarotstrahlung zu Schwingungen angeregt werden. Je stärker die Moleküle schwingen, um so größer ist das Wärmeempfinden.





**Links und rechts:** Thermogramme demonstrieren, wie Rauchen die Blutgefäße verengt und so die Wärmeausstrahlung verringert. Schwarz (ganz links in der Farbskala) repräsentiert die niedrigste Temperatur und weiß die höchste. Das Bild links zeigt die Wärmeausstrahlung vor, das Bild rechts die nach dem Rauchen. Rot und Gelb zeigen Wärme, Grün und Lila kalte Partien an.

**Unten:** Friedrich Wilhelm Herschel fand die Infrarotstrahlung durch Zufall, als er nach einem optischen Filter suchte, um das Sonnenlicht zu beobachten. Auf seiner Suche baute er die hier gezeigte Apparatur auf.



AGA INFRA-RED SYSTEM

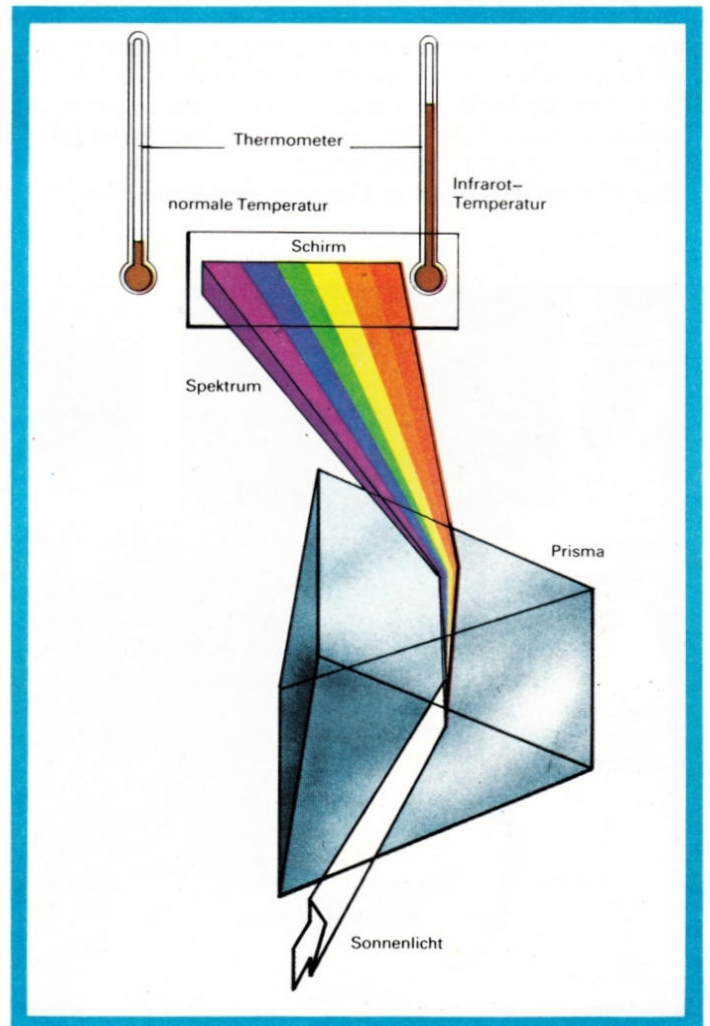
## Erfassen von Infrarotstrahlen

Würde das menschliche Auge für eine Wellenlänge von  $10\text{ }\mu\text{m}$  empfindlich sein, brauchte man kein künstliches Licht, da alle Gegenstände Tag und Nacht gleich hell erscheinen würden. Lebende Wesen würden heller erscheinen, da sie wärmer als ihre Umgebung sind. Kalte Objekte würden dunkel erscheinen. In einem Kühlschrank beispielsweise hätte man Schwierigkeiten, Gegenstände zu unterscheiden. Die Fähigkeit, warme Gegenstände auch im Dunkeln 'sehen' zu können, ist für den Militärbereich von Bedeutung. Dies führte zu einer intensiven Forschung nach Infrarotdetektoren. Die meisten Infrarotdetektoren erzeugen keine zweidimensionalen Bilder einer Szene. Sie messen nur den Gesamtbetrag der auf sie fallenden Strahlung. Der vielseitigste Detektor für Infrarotlicht ist das Bolometer, das auf jede Wellenlänge im Infrarotbereich anspricht.

Infrarotdetektoren werden in Lenkflugkörper eingebaut, um sie in Richtung eines warmen Zieles zu steuern. Bild-erzeugende Bauteile im Infrarotbereich (sogenannte Vidicons) wurden kürzlich entwickelt. Sie empfangen Infrarotstrahlung von  $10\text{ }\mu\text{m}$  und geben eine bei Raumtemperatur aufgenommene Szene auf dem Fernschirms aus. Einige Schlangenarten können im  $10\text{-}\mu\text{m}$ -Bereich 'sehen'. Hierdurch ist es ihnen möglich, nachts ihre Beute zu fangen.

Fotografische Emulsionen können so sensibilisiert werden, daß sie Licht der Wellenlänge  $1,1\text{ }\mu\text{m}$  (näher Infrarotbereich) empfangen. Diese Wellenlänge ist größer als der Durchmesser von Luft- und Staubmolekülen. Deshalb können bei Nebel und Dunst mit infrarotempfindlichen Filmen noch Aufnahmen gemacht werden, die bei blauempfindlichen Filmen nur schwer möglich sind. Denn blaues Licht wird durch die Luft gestreut. Man kennt einen Infrarotfarbfilm, bei dem die Farben eines Gegenstandes im sichtbaren Spektrum verschoben sind. Blau wird herausgefiltert, grüne Gegenstände erscheinen blau, rote Gegenstände grün und infrarote Gegenstände rot. Dieser 'falsche' Farbfilm hat sich bei der Erkundung von Vegetationsflächen mit unterschiedlichem Infrarotreflexionsvermögen aus der Luft als sehr nützlich erwiesen.

Die menschliche Haut ist für rotes Licht etwas, für längerwelliges Licht stärker 'durchlässig'. Infrarotlicht kann deshalb bis in gewisse Hauttiefen eindringen. Psychotherapeuten wenden Infrarotlicht zum Erwärmen von menschlichen Muskeln



OSBORNE/MARKS

und Geweben an. Andererseits können  $10\text{-}\mu\text{m}$ -Vidicons zum Studium der menschlichen Haut (sogenannte Thermographie) herangezogen werden. Thermographen können Bereiche im menschlichen Körper feststellen, in denen die Blutzirkulation nicht richtig funktioniert. Sie sind außerdem bei der medizinischen Diagnose ein wichtiges Hilfsmittel.



## INTEGRIERTE SCHALTUNGEN

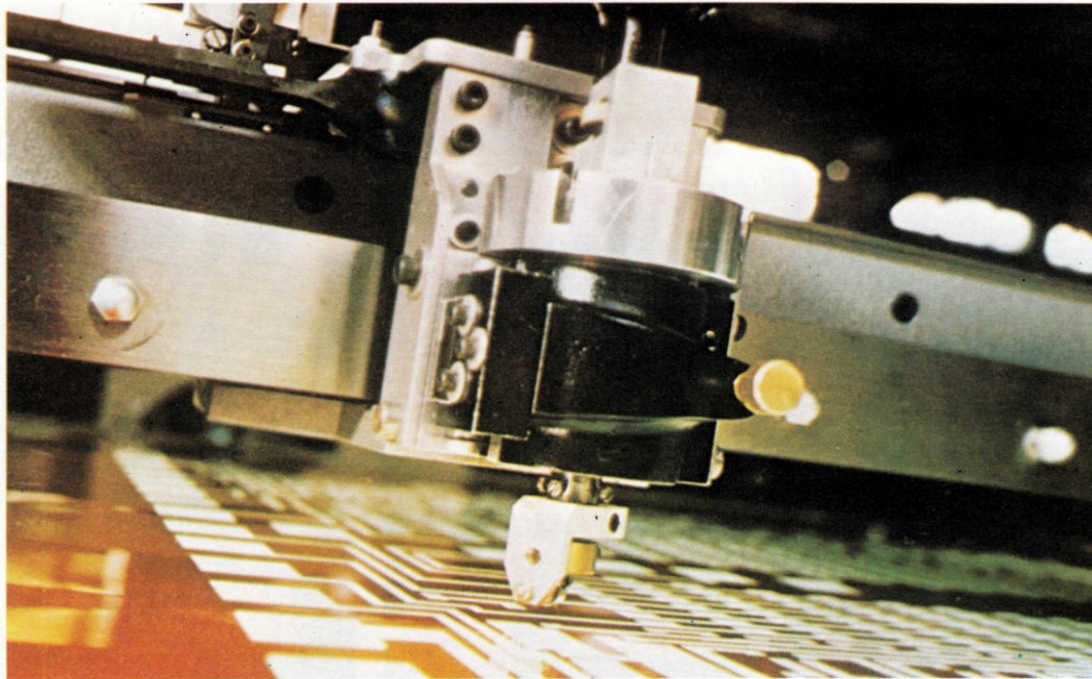
**Die Einführung der integrierten Schaltung revolutionierte Anfang der sechziger Jahre die Elektronikindustrie. Diese Bauteile, die außerordentlich komplexe elektronische Funktionen auszuführen vermögen, bestehen aus kleinen Siliciumplättchen (Chips).**

Die Siliciumchips, die bei der Fertigung integrierter Schaltungen verwendet werden, haben bei einfachen Schaltungen die Abmessungen  $1,27 \text{ mm}^2 \times 0,25 \text{ mm}$  (Dicke). Bei komplexen Schaltungen, sogenannten LSI-Schaltungen (large scale integration = Großintegration), wie MIKROPROZESSOREN, sind die Flächenabmessungen  $6,4 \text{ mm}^2$ . Kleinere integrierte Schaltungen enthalten mehrere Tausend Einzelbauteile (diskrete Bauteile); LSI-Schaltungen kommen derzeit auf etwa 20 000 diskrete Bauteile.

Die Bedeutung der integrierten Schaltungen liegt nicht nur in ihren kleinen Abmessungen. Bei vielen Anwendungen spielen sie keine so große Rolle, da die Abmessungen eines

NENRÖHRE dar, wobei der Transistor durch kleinere Abmessungen und größere Zuverlässigkeit wesentliche Vorteile gegenüber der Elektronenröhre auch heute noch hat. Seit Ende der fünfziger Jahre werden die meisten elektronischen Geräte mit Transistoren als verstärkendem Bauteil bestückt. Die Komplexität der Geräte war durch die Anzahl der unterzubringenden Bauteile (einschließlich Widerstände und Kondensatoren) begrenzt. In einem tragbaren Transistorradio beispielsweise müssen 6 Transistoren, 40 bis 50 Widerstände, 20 Kondensatoren, Spulen, der Lautsprecher, die Antenne und die Batterien untergebracht werden.

Ein Transistor besteht aus einem dünnen Plättchen Silicium höchster Reinheit. Das Silicium wird in flüssigem Aggregatzustand gereinigt. Aus dem geschmolzenen Zustand wird ein nahezu idealer KRISTALL gezogen. Der Kristall wird in kleine Plättchen zerschnitten und poliert, um Verunreinigungen oder Beschädigungen der Oberfläche zu beseitigen. Die elektrischen Eigenschaften des Siliciums werden durch gezielte Verunreinigungen mit anderen Elementen wie Bor oder Phosphor bestimmt. Diese Elemente werden teilweise dem geschmol-



*Diese Maschine zeichnet einen Plan des 'Layouts' von integrierten Schaltungen. Dieser Plan wird dann photographisch verkleinert, um 'Masken' herzustellen, die das Muster für die Eingravierung des eigentlichen Schaltungskreises liefern.*

Gerätes von der Größe anderer Bauteile (im Fernsehgerät z.B. von der Röhre) abhängen. Die Leistungsfähigkeit von elektronischen Taschenrechnern hängt hingegen sehr wesentlich von der Größe und der Packungsdichte der integrierten Schaltung ab. Die Raumfahrtindustrie stellte als erste Anforderungen an die integrierten Schaltungen. Nach ihrer Entwicklung trat die integrierte Schaltung einen Siegeszug sowohl in der professionellen als auch in der kommerziellen Elektronik an. Integrierte Schaltungen findet man heute in Kraftfahrzeugen, Uhren, Waschmaschinen, Fernsehern oder Radios vor. Durch Kostensenkungen wurde ihr Einsatz in elektronischen Taschenrechnern und Kleincomputern möglich. Ihre Leistungsfähigkeit erreicht heute nahezu die Leistungsfähigkeit älterer Computermodelle. In naher Zukunft wird man mit Hilfe integrierter Schaltungen über Telefon Zugriff zu einem Zentralcomputer haben und zu jeder Tageszeit interessierende Informationen (Nachrichten, Kochrezepte) auf dem Fernsehbildschirm erhalten können.

### Der Siliciumtransistor

Die ersten, auch heute noch teilweise eingesetzten integrierten Schaltungen beruhen auf dem Siliciumtransistor. Der TRANSISTOR stellte ursprünglich eine Alternative zur ELEKTRO-

zenen Silicium, teilweise durch Diffusion, dem polierten Plättchen zugeführt. Um einen Transistor herzustellen, muß eine 'Sandwich'-Struktur (Struktur mehrerer Schichten) geschaffen werden, die aus einer Siliciumschicht mit diffundiertem Phosphor, einer Siliciumschicht mit diffundiertem Bor und einer Siliciumschicht mit diffundiertem Phosphor (sogenannter NPN-Transistor) besteht. Die Abmessungen des Plättchens oder Chips eines typischen Transistors beträgt etwa  $0,076 \text{ mm}^2$  mit einer Höhe der Sandwich-Struktur von etwa  $0,0025 \text{ mm}$ .

### Aufbau komplexer Einheiten

Eine integrierte Schaltung besteht aus vielen Transistoren, Widerständen und Kondensatoren. Für den Fertigungsablauf einer integrierten Schaltung ist es wesentlich, daß alle Bauteile gleichzeitig in das Chip 'eingebaut' werden. Hierbei werden gewisse Chipbereiche für Widerstände und andere Bereiche für Kondensatoren vorgesehen. Alle Bauelemente müssen isoliert voneinander 'angebracht' werden. Hierzu bildet man Inseln, wobei ein N-Material (z.B. phosphordotiert) auf ein P-Substrat (z.B. bordotiert) gebracht wird. Jede Insel stellt dann ein elektrisch isoliertes Bauteil dar.

Wurden die verschiedenen Bauteile durch eine Reihe von

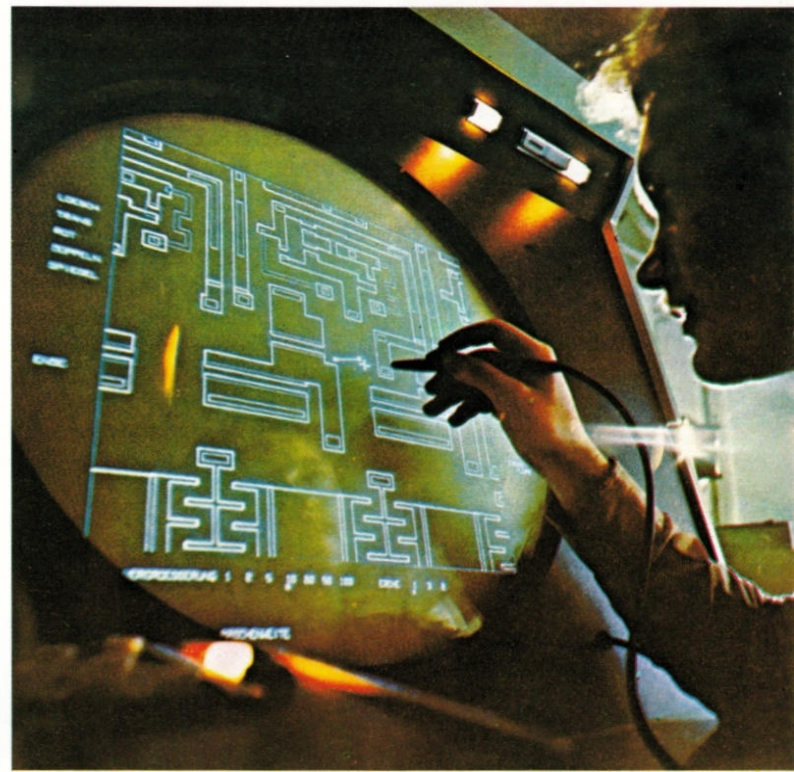


Diffusionsschritten gebildet, werden sie durch einen im allgemeinen aus Aluminium bestehenden Metallfilm, der mit der Oberfläche des Substrates durch eine Siliciumdioxidschicht (Isolator) getrennt ist, überzogen. Diese Metallschicht dient auch zur Verbindung mit äußeren Anschlüssen.

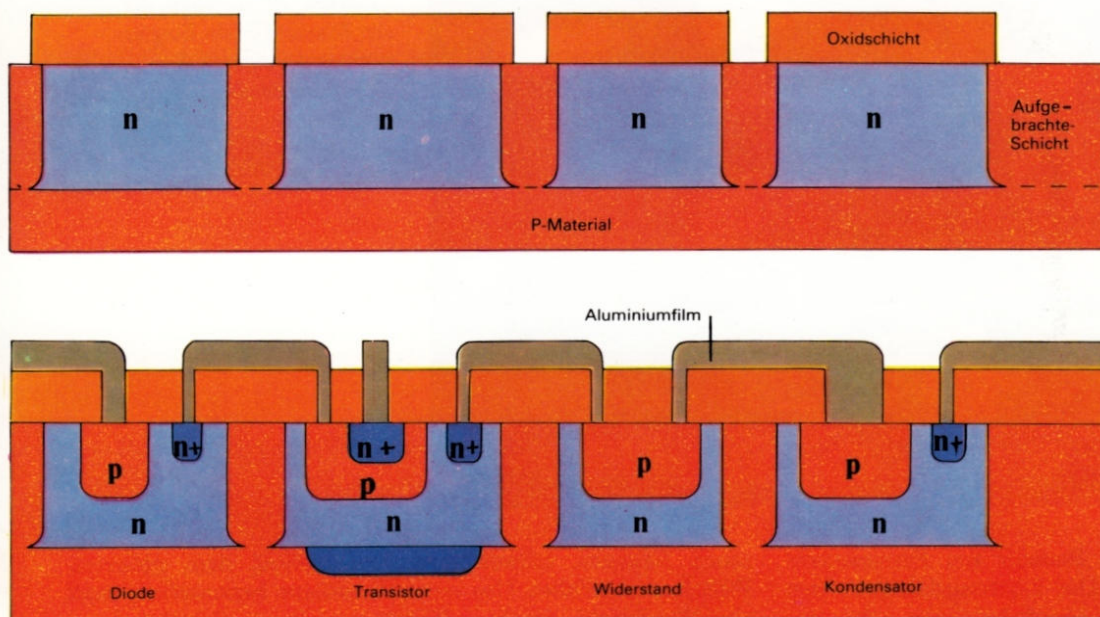
Die Abmessungen der Bauteile sind so klein (bis zu 0,013 mm), daß der ursprüngliche Entwurf einige Hundertmal größer ausgelegt werden muß. Dieser Entwurf wird auf fotografischem Wege verkleinert. Außerdem werden sogenannte Masken hergestellt, wobei jede Maske einem vorgegebenen Prozeßschritt entspricht, und jede Maske eine Abbildung der einzelnen Bauelemente wiedergibt. Im allgemeinen enthält ein Siliciumplättchen von etwa 5 cm Durchmesser einige Hundert komplette Schaltungen.

Während der Diffusionsstufe wird für die eindiffundierenden Verunreinigungen von Siliciumdioxid als Sperrschicht Gebrauch gemacht. Deshalb bringt man auf das Substrat erst eine Siliciumdioxidschicht auf. Anschließend werden im Foto-gravurverfahren in diese Schicht 'Fenster' eingätzt, an denen dann die Diffusion vorgenommen wird. Mit einem ähnlichen

**Rechts:** Planung einer integrierten Schaltung mit Hilfe eines Computers. Der Entwurf erfolgt auf einem Bildschirm mit einem elektronischen Stift. Die Zeichnung ist hundertfach vergrößert.



SIEMENS



VIVIANE DONKIN



Verfahren werden auch später die Leiterbahnen zur elektrischen Verbindung der Bauteile eingätzt.

### Zusammenbau und Testen

Bis zu diesem Zeitpunkt wurden nur Scheibchen gefertigt, die Hunderte von Schaltungen enthalten. Die Möglichkeit der Fertigung vieler solcher Scheibchen verhalf der integrierten Schaltung zum Durchbruch, da sie aufgrund von Massenproduktion billig gefertigt werden konnten. Für den Anwender muß aber jede einzelne Schaltung in einem Gehäuse untergebracht und später in einer weiteren Schaltungsanordnung eingefügt werden. Die 'Verpackung' der gefertigten Schaltungen stellt einen sehr bedeutenden Unkostenfaktor für den Hersteller integrierter Schaltungen dar. Deshalb müssen die integrierten Schaltungen vor dem 'Verpacken' auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet werden.

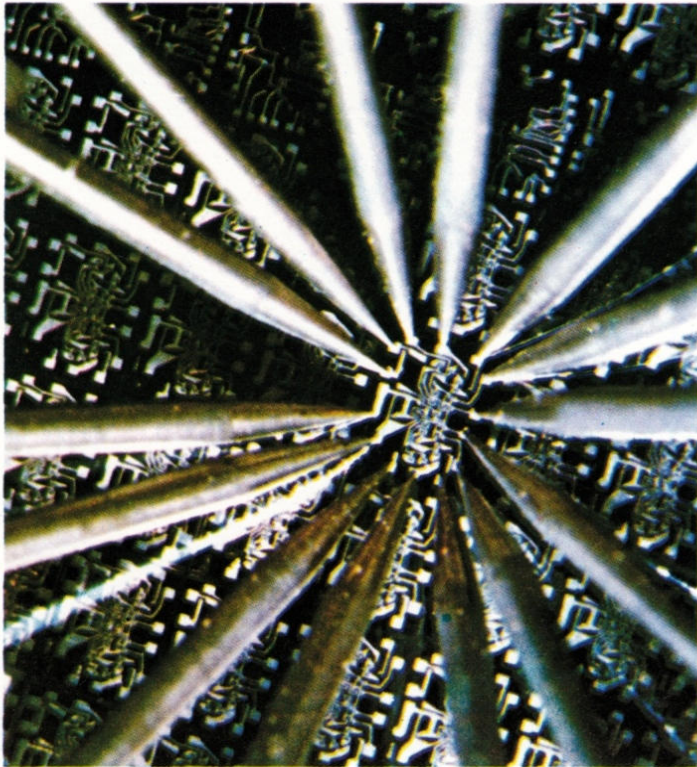
Beim Testen von Halbleiterplättchen wird ein Tastkopf verwendet, der zwischen 6 und 40 Kontaktstellen auf den Anschlüssen des Halbleiterplättchens herstellen kann. Da

**Oben links:** Herstellung einer integrierten Halbleiterschaltung. Die obere Abbildung zeigt ein P-Typ-Substrat, auf das eine Schicht eines N-Materials aufgebracht worden ist. Die Oberfläche des N-Materials ist oxidiert. P-Material wird durch Fenster, die in das N-Material geschnitten wurden, diffundiert. Dieses P-Material isoliert das N-Material in Inseln, die dann jeweils ein elektrisch isoliertes Bauteil darstellen. In der unteren Abbildung werden weitere Diffusionen dargestellt, die verschiedene Halbleiterarten innerhalb der durch das P-Material isolierten N-Inseln bilden. Diese N-Inseln werden durch Aluminiumbeschichtung untereinander verbunden. Diese Technik ist als Diodenisolierung bekannt.

**Oben rechts:** Die aus flüssigem Silicium gezogenen Kristalle haben einen Durchmesser von 7,6 cm. Sie bilden das Grundmaterial der Siliciumchips. Auf jedem der Kristalle werden zwischen 100 und 4000 Schaltungen hergestellt.



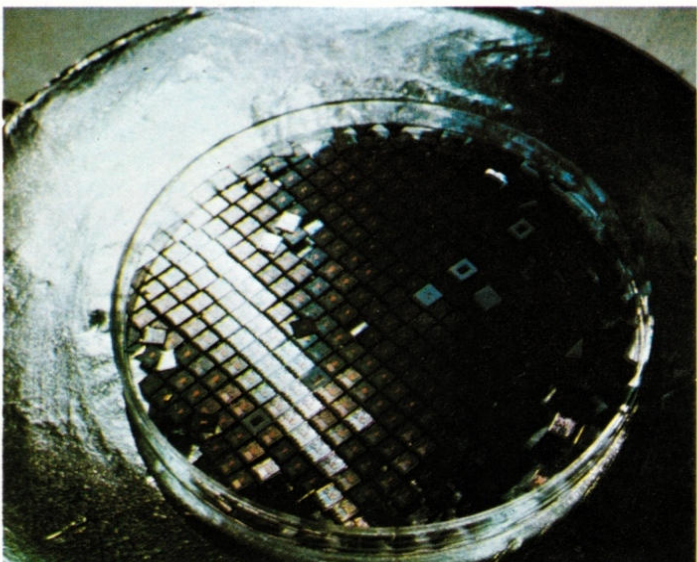
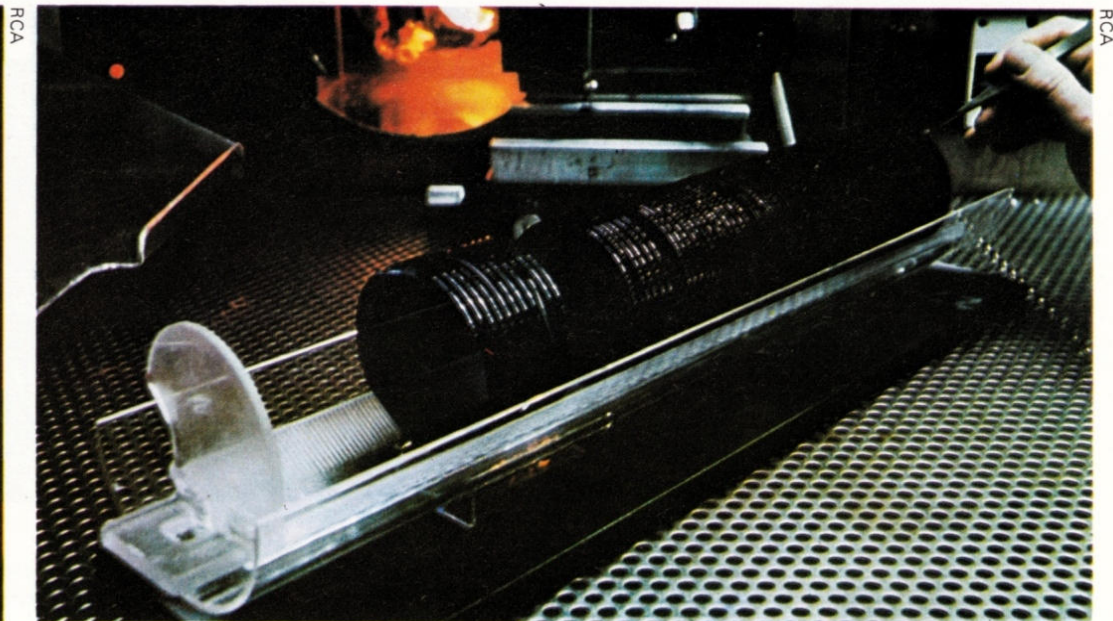
PLESSEY



eine integrierte Schaltung sehr komplex ist, ist auch der Funktionstest entsprechend komplex. Aus diesem Grunde werden heute solche Tests unter der Steuerung eines Computers ausgeführt. Mit Hilfe des Computers können Tausende von Testschritten pro Sekunde durchgeführt werden. Da der Computer nur Einzelschritte, jedoch in zeitlich sehr kurzer Reihenfolge, ausführen kann, werden — für die Testperson scheinbar gleichzeitig — statische Analysen, Fehler und das Aussortieren von integrierten Schaltungen vorgenommen. Das Testgerät vermag heute automatisch den Bereich der einzelnen Chips auf Halbleiterplättchen abzutasten. Es ist sogar in der Lage, nichtfunktionstüchtige Einheiten zu kennzeichnen. Nach dem Test werden die Halbleiterplättchen mechanisch in einzelne Chips aufgeteilt. Hierzu verwendet man entweder automatische Sägen oder Laser.

Die Chips werden anschließend auf einen Sockel aufgebracht. Diese Anordnung wird dann in einem Kunststoff- oder Metallgehäuse 'verpackt'. Man kennt viele Gehäuseformen für integrierte Schaltungen. Welche Abmessungen sie haben,

**Links:** Nachdem die integrierten Schaltungen auf die Siliciumkristalle aufgebracht worden sind, wird jede Schaltung automatisch getestet. Auf der Abbildung ist der Test der elektronischen Funktionen der Schaltungen zu sehen, bei dem die Kontakte überprüft werden.

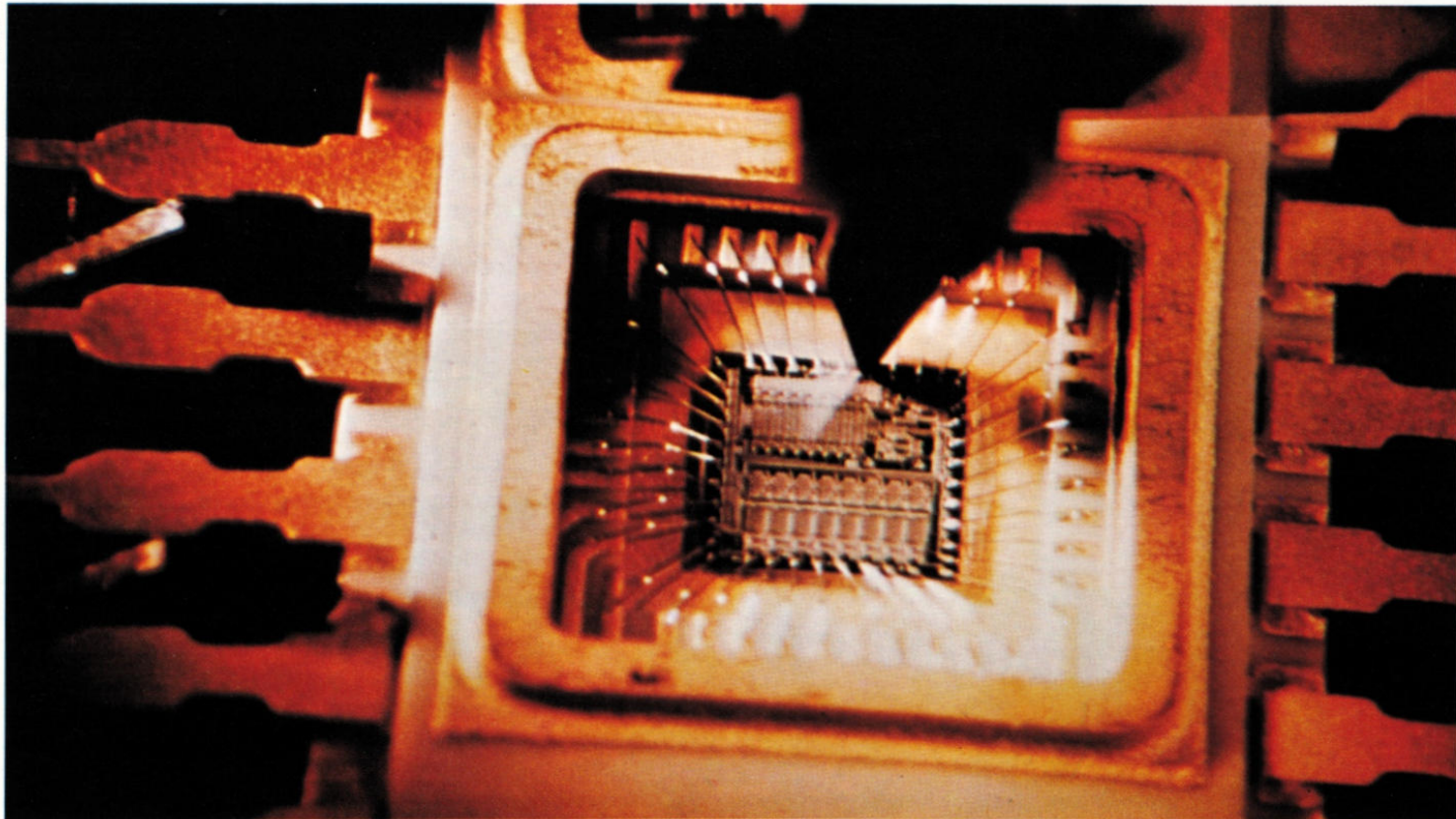


**Oben:** Siliciumkristalle kurz vor dem Einschieben in den Brennofen, wo sie erhitzt werden, um eine Oxidschicht auf ihrer Oberfläche zu bilden. Danach werden sie mit einer lichtempfindlichen Emulsion überzogen und die Entwurfsmasken werden über sie platziert. Durch die Entwurfsmasken wird dann Licht gestrahlt, um das Muster auf die Emulsionsschicht zu projizieren. Die dem Licht ausgesetzten Emulsionsteile werden dann gehärtet und die Kristalle werden mit Säure behandelt, die die von der gehärteten Emulsionsschicht nicht geschützte oxidierte Oberfläche wegschält.

**Links:** Nach dem Testen der Siliciumkristalle werden sie in einzelne Schaltungen zerschnitten. Die Schaltungen, die beim Test versagt haben, werden ausgesondert. Die Schaltungen, die sich als funktionstüchtig erwiesen haben, werden auf Keramiksockel aufgebracht. Über die Keramiksockel erfolgt auch die elektrische Verbindung der Schaltung über Sockelstifte.

RCA





**Oben:** Zwischen Schaltung und Sockelstiften wird eine elektrische Leitung aufgelötet. Danach wird das gesamte Bauteil in schützendem Plastik verkapselt. Vor der Auslieferung erfolgt ein letzter Test.

**Rechts:** Fotos der sehr komplexen Strukturen der integrierten Schaltungen, aufgenommen mit elektronischen Mikroskopen, sichern die Funktionstüchtigkeit der Schaltungen.



hängt einmal von der Verlustleistung des Bausteines, zum anderen von der Anzahl der Funktionen ab, die er ausführen soll. Das Chip wird mit dem Sockel entweder durch einen Legierungsprozeß zwischen dem Silicium und der Goldauflage oder — aus wirtschaftlichen Gründen — mit einem leitfähigen Epoxydharz verbunden.

Nachdem das Chip und der Sockel miteinander verbunden sind, muß eine elektrische Verbindung zu den Sockelstiften geschaffen werden. Dies geschieht vielfach durch Ultraschalllöten von 0,025 mm starken Aluminium- oder Golddrähten. Nach diesem Vorgang wird das Bauteil verkapselt. Die Verkapselung hängt wieder von den Anforderungen des Anwenders ab, denn es können u. U. erhöhte Anforderungen an Umgebungsbedingungen, wie z.B. Feuchtigkeit, gestellt werden. Nachdem die Schaltung erneut getestet wurde, kann sie ausgeliefert werden.

## Die Zukunft

Das oben beschriebene Verfahren zur Herstellung integrierter Schaltungen kann als das Routineverfahren bezeichnet werden. Man kennt heute verschiedene Arten von Fertigungstechniken. Da sie die Fertigungskosten erhöhen, werden sie nur dann herangezogen, wenn die Verbesserungen wirtschaft-

lich vertretbar sind. Andererseits führen alternative Fertigungsmethoden zu neuen integrierten Bauelementen und somit zu neuen Anwendungsgebieten. Man bemüht sich derzeit, immer komplexere integrierte Schaltungen herzustellen. Man schätzt, daß es in einigen Jahren möglich sein wird, im Vergleich zu weniger hoch integrierten Schaltungen, auf der gleichen Flächeneinheit 100 000 Bauelemente unterzubringen. Das sogenannte VLSI-Zeitalter (very large scale integration = Größtintegration) hat schon begonnen. Die hierdurch entstehenden höheren Entwicklungs- und Fertigungskosten sind vertretbar, da das Marktpotential für VLSI-Schaltungen, speziell in der Konsumelektronik, sehr groß ist. Im Augenblick scheinen der Höchstintegration gewisse Grenzen gesetzt zu sein, die hauptsächlich organisatorischer und weniger technischer Natur sind.

Beispielsweise ist es äußerst schwierig, eine hochintegrierte Schaltung mit einer begrenzten Anzahl von Anschlüssen zu bauen. Wie soll man z.B. ein System mit 10 000 Transistoren nur mit 12 Anschlußpunkten versehen? In Zukunft wird man also mehr die Anwendungen der integrierten Schaltungen und deren wirtschaftlichen Einsatz beachten müssen, wobei die Verbesserung der Technologien eine untergeordnete Rolle spielt.







# Erfindungen 21: KALENDER UND WASSERUHR

Die Gründe, die der Mensch der Frühgeschichte zum Messen der Zeit hatte, waren gänzlich anderer Art als die des modernen Menschen. Der jagende und Ackerbau treibende Mensch jener Epoche sah das Jahr als eine sich wiederholende Abfolge von Ereignissen. Es gab eine Zeit, in der gesät, und eine, in der geerntet wurde, sowie eine Zeit, die günstig für die Jagd war. Ohne künstliche Beleuchtung bestand der Tag einfach aus dem Zeitraum zwischen Sonnenauf- und -untergang, der in Zeiten der Arbeit und der Ruhe eingeteilt war.

Vermutlich gehen die Ursprünge der Zeitmessung auf frühe Religionen zurück. Beispielsweise gebot der alt-ägyptische Glaube, die Sonne sterbe allabendlich und werde am folgenden Morgen wiedergeboren. Da die Stunde der Morgendämmerung von der Jahreszeit abhängig ist, mußten die Tage des Jahres und die Stunden des Tages gemessen werden.

Im Zweistromland und in Ägypten maß man Tage und Stunden anfänglich nach dem Schatten eines senkrecht in den Boden getriebenen Stabes (des Gnomons). Der Winkel zwischen den Schatten bei der Morgendämmerung und bei Sonnenuntergang wurde in zwölf gleiche Teile geteilt, was jeweils den zwölf 'Stationen' der Sonne (später: Stunden) entsprach. Die Zahl der Tage zwischen dem längsten Schatten zur Zeit der Winter-Sonnenwende und dem kürzesten Schatten zur Zeit der Sommer-Sonnenwende ergab ein halbes Jahr. Um das Jahr 2000 v. Chr. hatten die Ägypter das Jahr mit 365 Tagen festgelegt. Sie überprüften die Genauigkeit ihrer Berechnung anhand der jährlichen Überflutung des Nils, die mit großer Regelmäßigkeit wiederkehrte. Über lange Zeit hin blieb — zusammen mit der Sonnenuhr — der Gnomon das Haupt-Hilfsmittel zur Berechnung der Zeit.

## Mond und Sterne

Man erkannte in der Antike schon bald, daß die Mondphasen bei der Zeitmessung eine wichtige Rolle spielen konnten. Der Zyklus, den der Mond in etwa 28 Tagen von Neumond bis Neumond durchläuft, wurde gevierteilt. Dies ergab die praktische Einteilung des Jahres in Wochen. Wenn auch die so gefundenen 52 Wochen nur einem Jahr von 364 Tagen entsprachen, sah man darin keinen großen Mangel bei dem Erstellen eines Kalenders.

Die Aufgangszeiten der anderen Gestirne waren während der Dunkelheit ein Hinweis auf die Zeit, zugleich gaben sie die Jahreszeit an. Beispielsweise wies das heliakische (d.h. unmittelbar vor Sonnenaufgang) Aufgehen des Sirius darauf hin, daß die Überschwemmung des Nils bevorstand. Auch in Frankreich und England finden sich zahlreiche Steine, die vermutlich aus ähnlichen Gründen auf die Aufgangsstellen



**Oben:** Abguß einer Wasseruhr aus dem Tempel von Karnak in Ägypten (Bauzeit 1495 bis 1380 v. Chr.). Im Innern des Originals befinden sich zwölf Gruppen von Punkten für verschiedene Wasserstände.

**Links:** Der Turm der Winde in Athen. Jede der acht Flächen weist in eine Windrichtung und ist mit einer Sonnenuhr versehen. Für bedeckte Tage ist eine Wasseruhr angebracht. Auf dem Turm befand sich eine Wetterfahne, die die Windrichtung angab. Die Skulpturen auf dem Fries stellen Windgottheiten dar.



von Gestirnen ausgerichtet waren.

Aus der Beobachtung der Himmelskörper Sonne, Mond und Sterne zu religiösen Zwecken ergab sich schließlich eine wissenschaftlichere Untersuchungsweise, bei der sich ihre Bahnen vorhersagen ließen. Die so gewonnenen Angaben konnten sich Schiffsführer und Kartographen zunutze machen.

### Die Wasseruhr

Ein wesentliches Hindernis für eine wissenschaftlichere Bestimmung der Zeit lag darin, daß die von der Sonnenuhr angezeigten Stunden im Sommer und Winter unterschiedlich lang waren, da sie einfach eine Zwölftelung der Zeit des Tageslichts darstellten. Diese Schwierigkeit wurde durch die Erfindung der Wasseruhr behoben. In ihrer frühesten Form war sie ein einem Eimer ähnliches, wassergefülltes Gefäß mit einem Loch nahe dem Boden. Auf der Innenseite dieses Gefäßes war eine Skala aufgetragen, die man entsprechend dem sinkenden Wasserstand ablesen konnte. Die Wasseruhr wurde im Frühjahr oder im Herbst zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche an einer Sonnenuhr geeicht, da Tage und Nächte zu diesen Zeitpunkten (wie der Name sagt) gleich lang sind. Ihr großer Nachteil lag darin, daß sie recht häufig nachgefüllt werden mußte.

### Automatische Zeitmessung

Erst wenige Jahrhunderte vor der Zeitenwende entwickelten Wissenschaftler am Museion (bedeutende wissenschaftliche Lehrstätte) im ägyptischen Alexandria eine Wasseruhr, die man schon als automatisch bezeichnen kann. Mit Hilfe eines ständigen Wasserzuflusses und einer Überlauföffnung wurde Wasser in einem Behälter auf gleicher Höhe gehalten. Aus diesem Behälter floß durch ein dünnes Rohr Wasser langsam in einen zylindrischen Behälter, in dem ein Schwimmer zusammen mit dem Wasser stieg. Ein oben am Schwimmer angebrachter Zeiger gab die Uhrzeit auf einer Skala an. Eine solche Wasseruhr befand sich auch im Tempel der Winde auf der Agora von Athen, der aus der Zeit um 200 v. Chr. stammt. Im Verlauf des frühen Mittelalters bauten chinesische, arabische und europäische Wissenschaftler vielerlei Wasseruhren. Sie alle arbeiteten nach dem beschriebenen Prinzip: Ein Wasserfluß war Grundlage der Zeitmessung. Erst im 13. Jahrhundert wurde eine mechanische Uhr konstruiert.



**Oben:** Eine römische Sonnenuhr aus dem 2. Jahrhundert n. Chr. in Bulla Regia (Tunesien). Der Schattenstab fehlt.

**Unten:** Eine riesige Sonnenuhr in einem Observatorium aus dem 17. Jahrhundert in Delhi, der indischen Hauptstadt.

