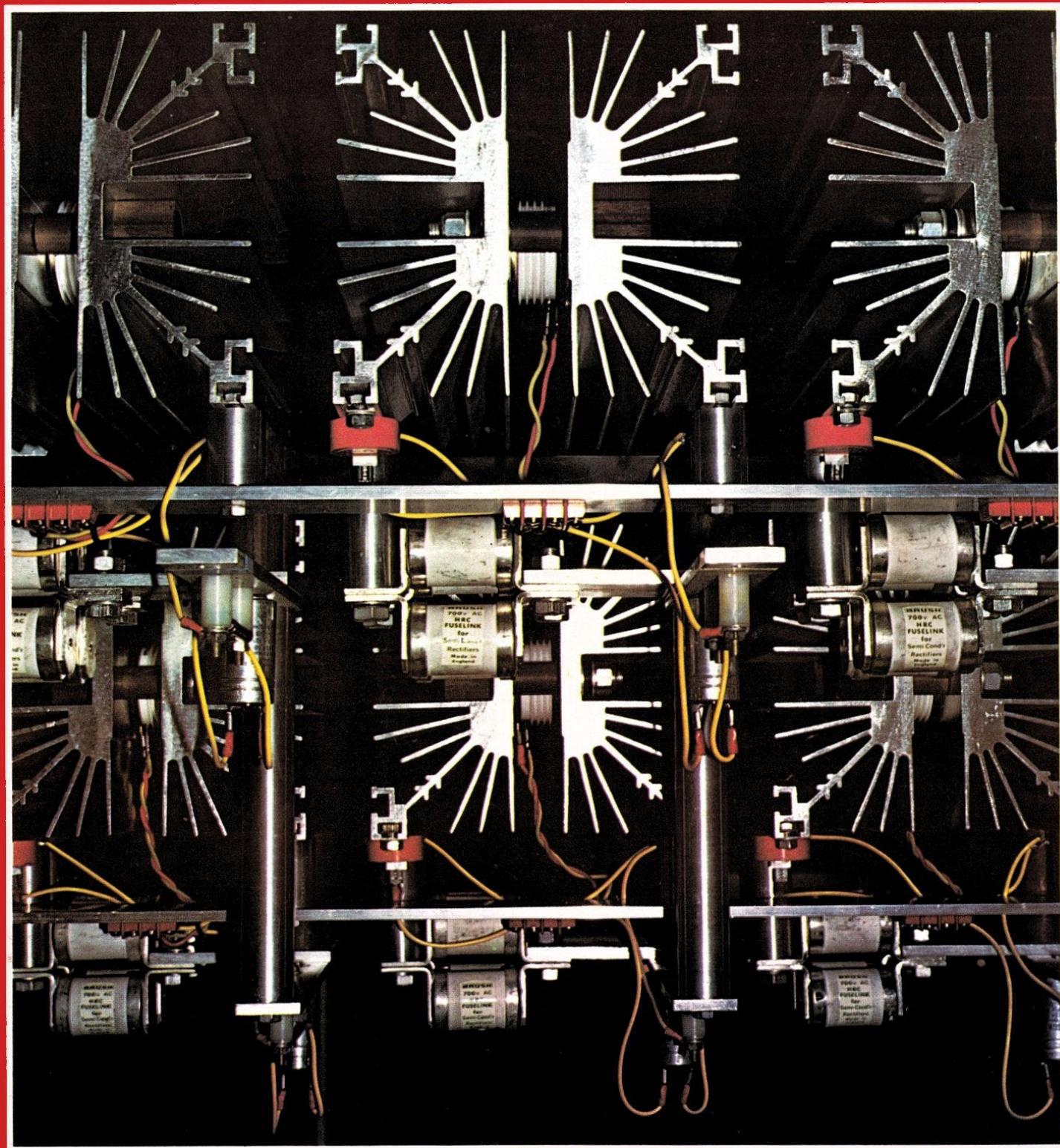


# WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Thermoelektrische Geräte	1625
Thermometer	1629
Thermosflasche	1632
Thermostat	1633
Thyristor	1635
Tiefdruck	1637
Tiefsttemperaturen	1640
Tinte	1642
Tonbandgerät	1645
Tonskalen	1649

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDO WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

### ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

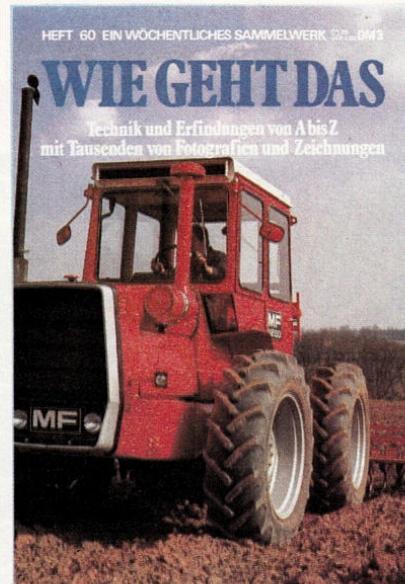
**Wichtig:** Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

### INHALTSVERZEICHNIS

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

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

## In Heft 60 von Wie Geht Das



Die hohe Produktivität moderner landwirtschaftlicher Betriebe wäre ohne intensiven Maschineneinsatz nicht möglich. Die bekannteste und wichtigste landwirtschaftliche Maschine ist der Traktor. In Heft 60 von Wie Geht Das können Sie mehr darüber lesen.

Raumfahrzeuge und Düsenflugzeuge sind auf äußerst präzise Navigation angewiesen. Diese wird durch Trägheitsführungssysteme erreicht. Einen Artikel über Trägheitsführung finden Sie in der nächsten Ausgabe von Wie Geht Das.

### SAMMELORDNER

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

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

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

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

Schweiz: Der Sammelordner kostet sfr. 15. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879 und notieren Sie Ihre Bestellung auf der Rückseite des Giroabschnittes.

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

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



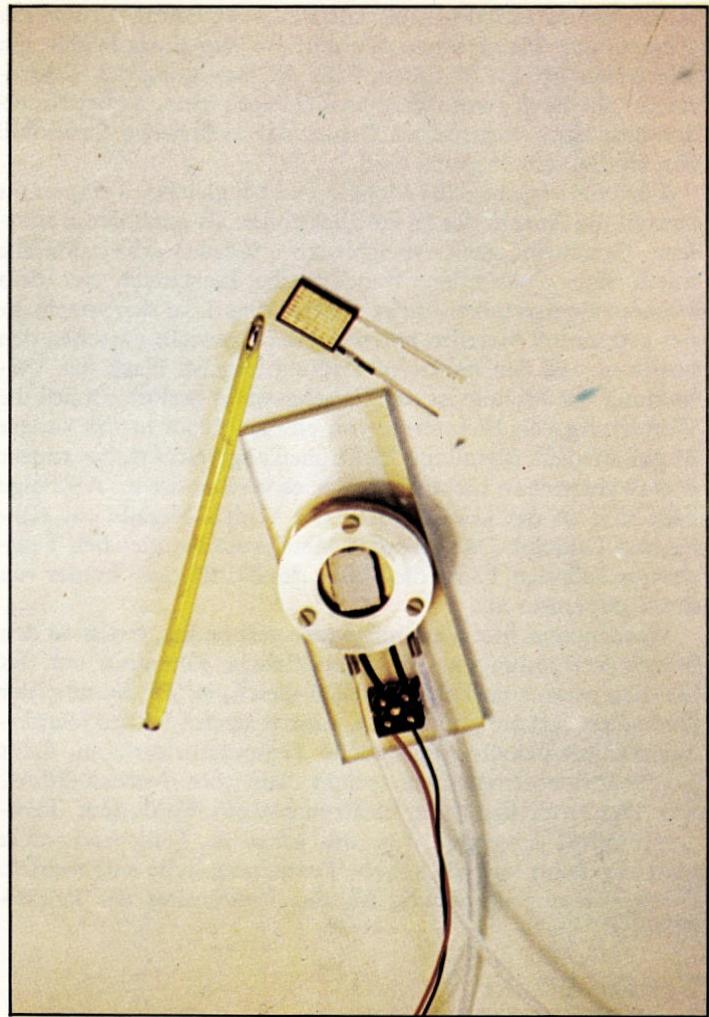
# THERMOELEKTRISCHE GERÄTE

Je schneller die Kohle- und Erdölvorräte der Erde abnehmen, desto eher könnte die thermoelektrische Zelle als kleiner Elektrizitätsversorger in einzelnen Bereichen angewendet werden. Sie benötigt keine teuren Generatoren oder große Dampfmaschinen, und sie ist tragbar.

Der Begriff Thermoelektrizität bezieht sich auf drei sehr eng miteinander verwandte Effekte, die auf der Umwandlung von Wärme in Elektrizität und umgekehrt von Elektrizität in Wärme beruhen, und zwar den Seebeck-, den Peltier- und den Thomson-Effekt. Auf dem Seebeck- und Peltier-Effekt basieren eine Anzahl thermoelektrischer Geräte wie gewisse Arten von Thermometern, Kühlschränke und Kleinleistungsgeneratoren. Der Thomson-Effekt hat kaum praktische Bedeutung erlangt.

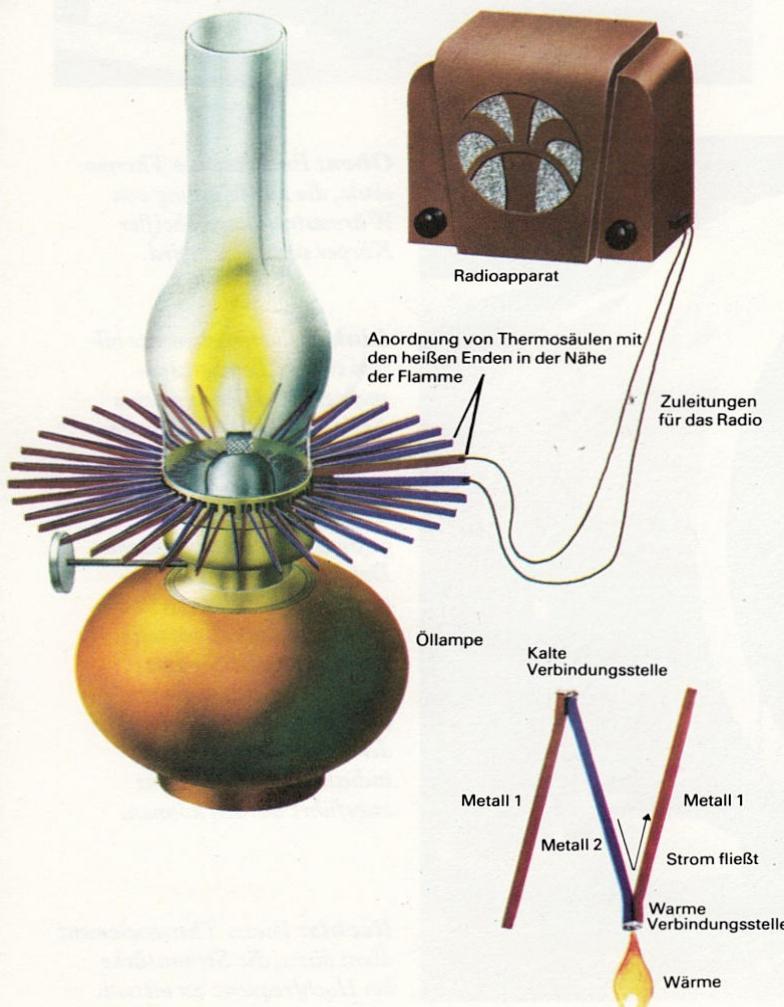
Man kennt auch andere Effekte, die Wärme und Elektrizität zueinander in Beziehung setzen. Es wird z.B. immer dann Wärme erzeugt, wenn ein elektrischer Strom durch einen elektrischen Leiter fließt. Man spricht in diesem Falle von Joulescher Wärme, die man nicht der Thermoelektrizität zuordnet.

Vom Seebeck-Effekt spricht man, wenn zwei verschiedene, zu einem Ring zusammengeschaltete Metalle einander berühren. Befinden sich die beiden Berührungsstellen auf unterschiedlichen Temperaturwerten, fließt ein sogenannter Thermostrom. Die Umkehrung dieses Effektes tritt ein, wenn durch den Metallring ein elektrischer Strom geleitet wird (Peltier-Effekt). Man stellt fest, daß sich eine Kontaktstelle abkühlt und die andere erwärmt. Der Thomson-Effekt tritt in einem homo-



**Oben:** Dieses thermoelektrische Gerät, das unterhalb des Rings angebracht ist, wird auf der einen Seite warm und auf der anderen Seite kalt, wenn es von einem elektrischen Strom durchflossen wird. Die Kunststoffröhren werden von Wasser durchflossen, um die warme Seite zu kühlen. Trotz einer Raumtemperatur von 26°C überzieht sich die obere Seite mit Eis. Diese Erscheinung ist als Peltier-Effekt bekannt.

**Links:** Ein einfaches thermoelektrisches Gerät wurde in den dreißiger und vierziger Jahren dazu benutzt, Radioempfänger mit elektrischem Strom zu versorgen. Zur Erzielung der hierzu erforderlichen Spannung wurde eine Thermosäule verwendet. Ein Ende der Thermosäule wird einfach von einer Öllampe aufgeheizt.



genen Leiter auf, in dem ein Temperaturgefälle besteht. Durchfließt diesen Leiter ein elektrischer Strom, wird Wärme erzeugt oder vernichtet.

## Der Seebeck-Effekt

Seebeck (1770 bis 1831) entdeckte im Jahre 1821 den nach ihm benannten Seebeck-Effekt an Wismut und Kupfer, konnte ihn jedoch noch nicht in allen Einzelheiten deuten.

Um die angesprochenen Effekte zu verstehen, muß man die Natur der elektrischen Leitung in Metallen verstanden haben. Metallische Leitung kommt dadurch zustande, daß Kristallgitterbausteine von Elektronen — einem sogenannten Elektroneengas — umgeben sind. Beim Auftreten eines elektrischen Feldes werden die Elektronen in dem Metall in Bewegung versetzt, d.h. ein elektrischer Strom fließt.

Die Anzahl der in einem Metall frei beweglichen Elektronen

hängt von dem Metall selbst und der Temperatur ab. Von der Temperatur hängt auch die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen ab. Da in diesem Falle die Bewegung der Elektronen in alle Bewegungsrichtungen erfolgen kann, ist bei Nicht-anliegen eines elektrischen Feldes der elektrische Stromfluß für den Betrachter gleich Null.

Für zwei verschiedene Metalle sind bei gleicher Temperatur sowohl die Anzahl der freien Elektronen als auch deren mittlere Geschwindigkeit verschieden. Werden zwei Metalle miteinander verbunden, wandern die Elektronen mit dem höheren Energieinhalt in das andere Metall. In den voneinander getrennten Metallen herrscht Gleichgewicht zwischen den positiven und den negativen Ladungsträgern. Nach der Verbindung der Metalle ist das Gleichgewicht gestört. Durch die Wanderung von Elektronen von einem Metall in das andere Metall wird ein Metall mit Elektronen angereichert, das andere Metall verarmt an Elektronen, d.h. es wird positiver. Als Folge baut sich an der Grenzschicht der beiden Metalle ein elektrisches Feld auf. Da sich beide Metalle auf der gleichen Temperatur befinden, hängt die Stärke des elektrischen Feldes von der Temperatur ab.

Werden zwei Metalle miteinander verbunden, treten an den beiden Verbindungsstellen gegensätzliche Potentiale auf. Ist die Temperatur an beiden Stellen gleich, ist die Summe der fließenden Ströme gleich Null. Liegen an den beiden Verbindungsstellen jedoch verschiedene Temperaturwerte an, fließt ein Elektronenstrom; man spricht dann vom Seebeck-Effekt. Der hierdurch fließende Elektronenstrom wirkt dem Temperatureffekt entgegen, d.h. die wärmere Temperaturstelle wird abgekühlt und die kältere Temperaturstelle aufgewärmt. Diese Tatsache ist wichtig für das Verständnis des Peltier-Effektes.

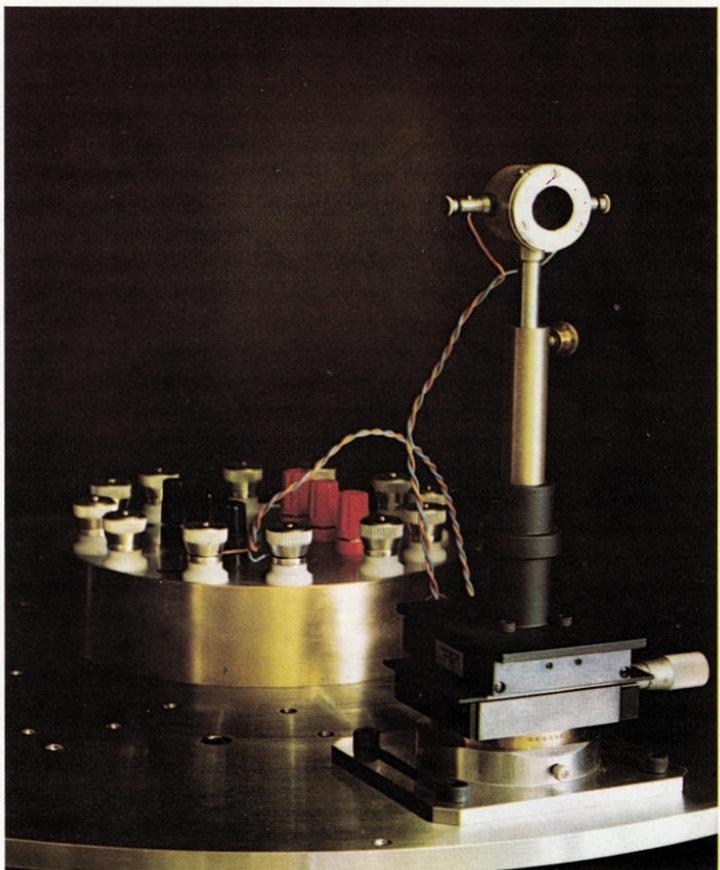
### Peltier-Effekt

Der Peltier-Effekt ist die Umkehrung des Seebeck-Effektes. Läßt man einen elektrischen Strom durch zwei Metalle, die miteinander verbunden sind, fließen, so wird die eine Ver-

bindungsstelle wärmer, die andere kälter. Welche Verbindungsstelle wärmer wird, hängt von der Richtung des Stromflusses ab.

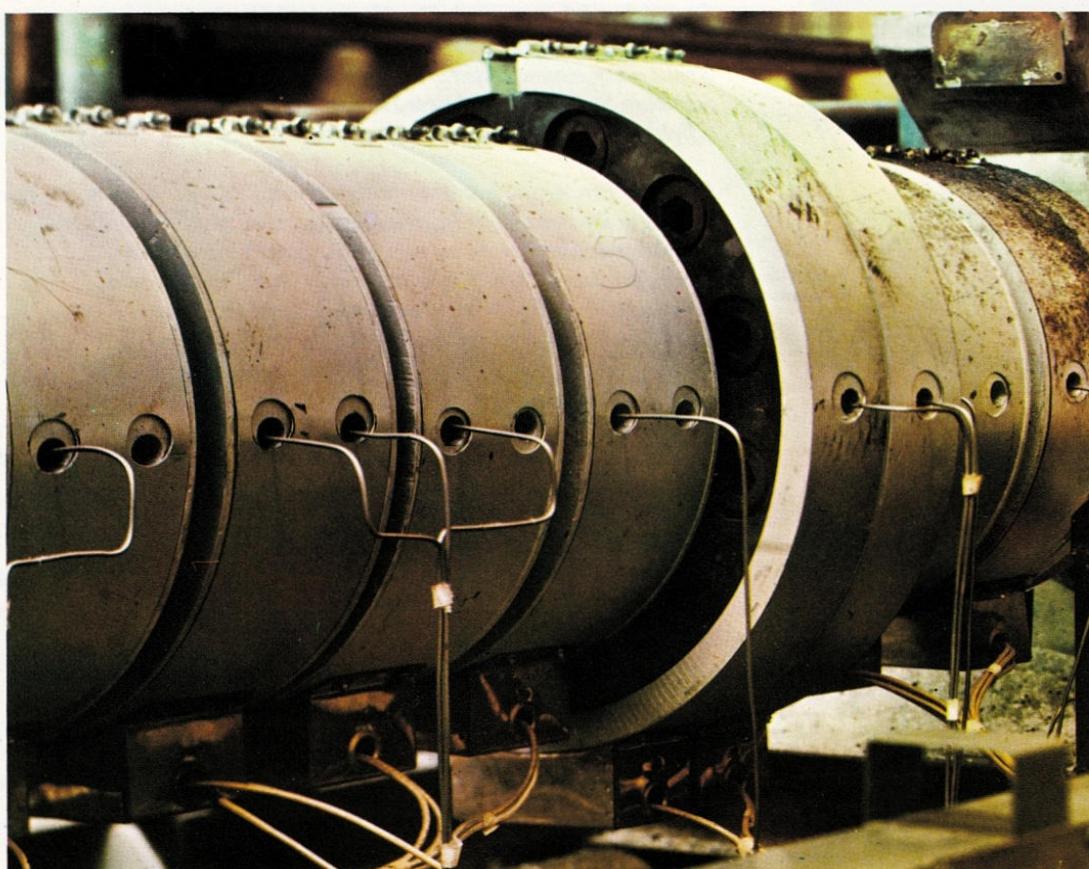
Wird der elektrische Strom durch den Seebeck-Effekt erzeugt, so wird ein Peltier-Effekt induziert, d.h. die kältere Verbindungsstelle wird erwärmt und die wärmere Verbin-

HART ASSOCIATES



*Oben: Eine geeichte Thermo-säule, die zur Messung von Wärmestrahlungen heißer Körper verwendet wird.*

PYROTEKNIK/STEWART BALE

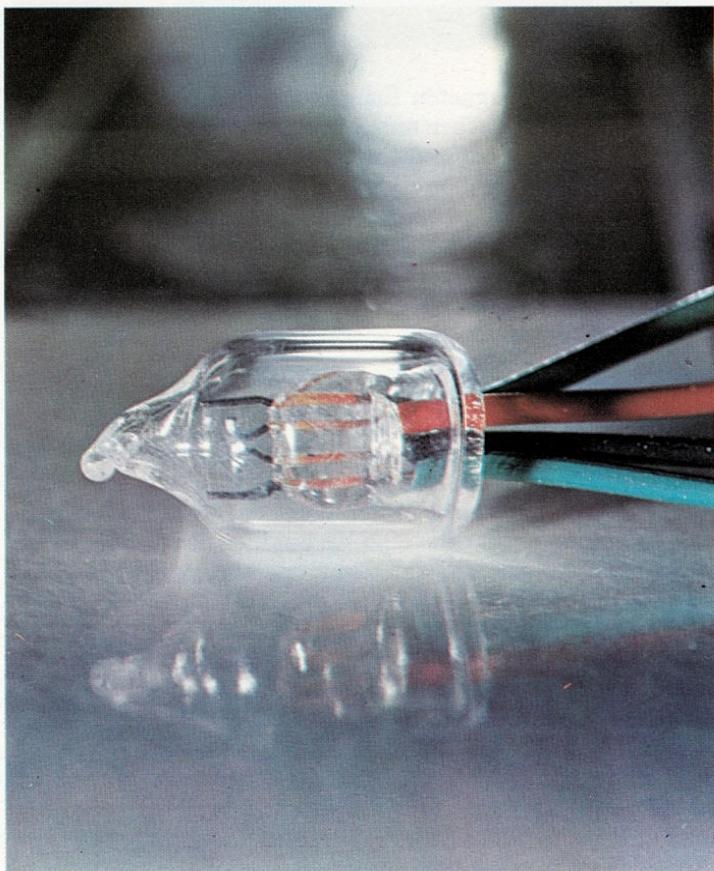


*Links: Thermoelemente bilden stabile Temperatur-messgeräte. Hier wird eine Serie von Thermoelementen dazu verwendet, die Temperaturänderungen an den Trommeln einer Spritz-gussmaschine zu überwachen. Der Einsatz von Thermoelementen für diese Art von Arbeit ist deshalb vorteilhaft, weil elektrische Signale abgegeben werden, die nach der Verstärkung unmittelbar der Steuerschaltung des industriellen Verfahrens zugeführt werden können.*

*Rechts: Dieses Thermoelement dient dazu, die Stromstärke bei Hochfrequenz zu messen.*



**Oben:** Diese Energiequelle dient als Navigationshilfe für Schiffe, z.B. zur Erzeugung eines Leuchtfeuers. Sie enthält ein Isotop, dessen Wärme durch ein Thermoelement in elektrische Energie umgewandelt wird. Die Energiequelle arbeitet ohne Wartung über längere Zeiträume.



dungsstelle abgekühlt. Diese Aussage ist richtig, so lange die Verbindungsstellen nicht von außen geheizt werden, um ihre Temperatur aufrecht zu erhalten. Wird der elektrische Strom künstlich erhöht, indem man von außen eine Spannungsquelle anlegt, wird der Effekt beschleunigt. Beim Umpolen der Spannungsquelle wird der umgekehrte Effekt hervorgerufen.

### Ströme und elektrische Felder

Betrachtet man die Situation aus dem Blickwinkel des fließenden elektrischen Stromes, so tritt diesem Strom an einer Verbindungsstelle ein elektrisches Feld (Spannungsgradient) entgegen, d.h. der elektrische Strom muß diesen Spannungsgradienten überwinden. An der anderen Verbindungsstelle ist die Situation umgekehrt, d.h. der Strom 'fällt' an dem Spannungsgradienten 'hinunter'.

Diese Betrachtungsweise erlaubt es, den Peltier-Effekt auch so zu sehen, daß an einer Verbindungsstelle Wärme abgegeben und an der anderen Verbindungsstelle Wärme absorbiert wird, wenn ein elektrischer Strom ein elektrisches Feld durchquert.

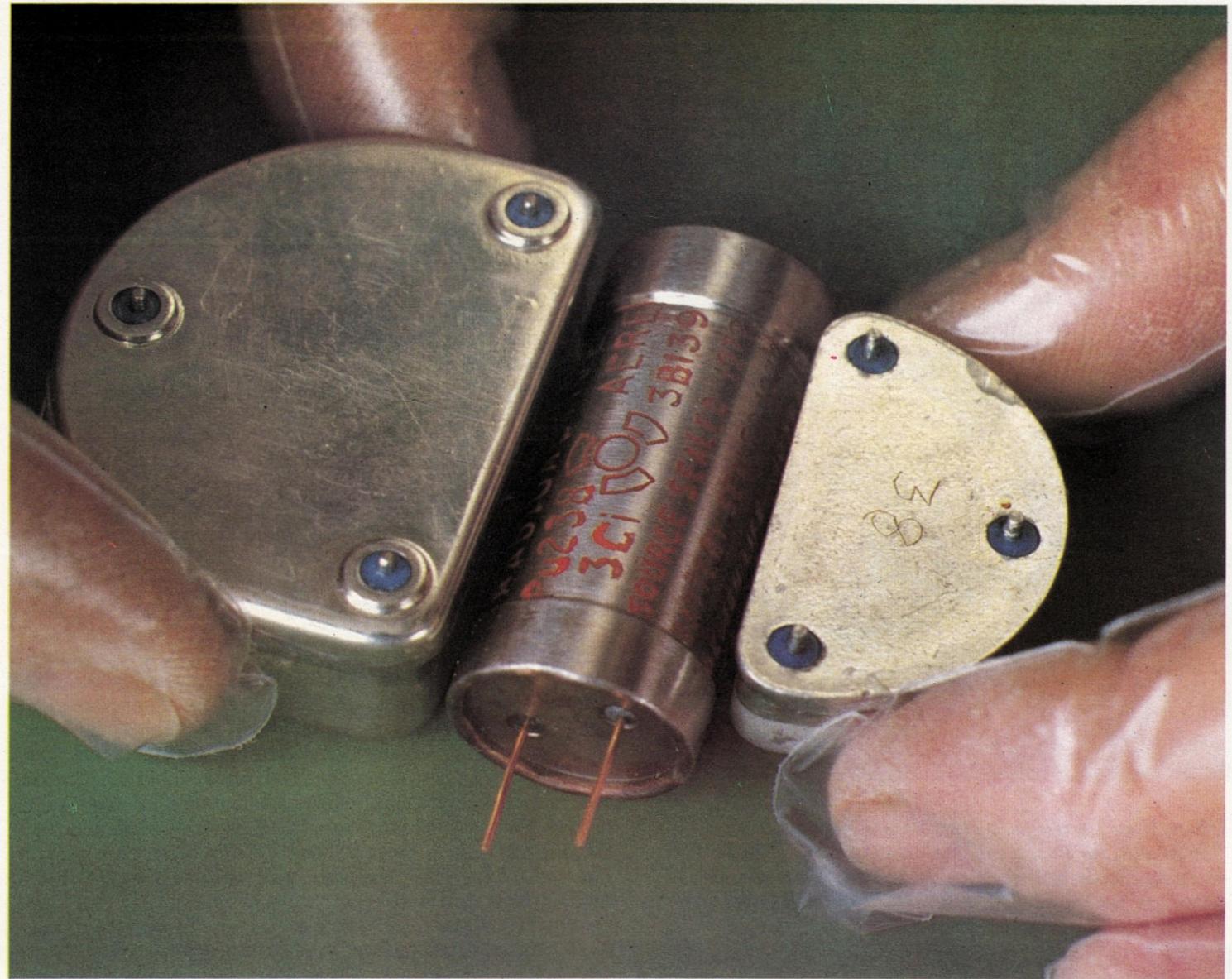
Der physikalische Hintergrund dieser thermoelektrischen Effekte ist sehr kompliziert. Die Effekte hängen einmal von den verwendeten Metallen ab, zum anderen von der Art der Ladungsträger, die hier als Elektronen angenommen wurden. Bei Halbleitern z.B. kennt man in einem P-dotierten Material auch eine Defektelektronenleitung.

### Thermoelement

Das Thermoelement ist eine spezielle Anwendung des Seebeck-Effektes. Es eignet sich vorzüglich zur Temperaturmessung. Lötet man zwei Drähte aus verschiedenen Metalldrähten (z.B. Kupfer und Wismut) zusammen und schaltet in den einen Draht ein Voltmeter, so zeigt dieses, wenn sich die Lötstellen auf verschiedenen Temperaturstellen befinden, eine sogenannte Thermospannung an. Zur Temperaturmessung wird die eine Lötstelle auf eine konstante Referenztemperatur (z.B. Eintauchen in schmelzendes Eis), die andere Lötstelle an die Stelle gebracht, deren Temperatur zu messen ist. Das Voltmeter zeigt dann in Abhängigkeit der Temperatur einen Ausschlag an, d.h. man kann aus dem angegebenen Spannungswert auf die Temperatur der zu messenden Probe schließen. Thermoelemente zeichnen sich durch große Empfindlichkeit und geringe Trägheit aus. Die Temperaturverteilung entlang der Drähte ruft keinen Meßfehler der Spannung hervor. Da aber an den Anschlüssen des Voltmeters ebenfalls ein Seebeck-Effekt auftritt, muß man beide Anschlüsse auf der gleichen Temperatur halten, um eventuelle Meßfehler zu vermeiden.

Bei einem Thermoelement aus Kupfer-Wismut, bei dem sich die eine Lötstelle auf  $0^{\circ}\text{C}$  und die andere auf  $1^{\circ}\text{C}$  befindet, beträgt die Thermospannung ungefähr  $70 \mu\text{V}$  ( $1 \text{ Mikrovolt} = 1 \text{ Millionstel Volt}$ ). Der Verlauf der Thermospannung in Abhängigkeit der Temperatur kann in einem gewissen Temperaturbereich linear verlaufen. Bis  $300^{\circ}\text{C}$  beträgt z.B. die Thermospannung bei einem Eisen-Konstantan-Thermoelement pro Grad Temperaturdifferenz  $53 \mu\text{V}$ . Andere Thermoelemente haben einen nichtlinearen Temperaturverlauf, d.h. man muß die Thermoelemente erst eichen, bevor man Messungen mit ihnen durchführen kann. Thermoelemente können in Serie geschaltet werden. Bei dieser sogenannten Thermosäule liest man in Abhängigkeit der hintereinandergeschalteten Thermoelemente einen höheren Spannungswert an Voltmeter ab.

Welche Metalle zu einem Thermoelement kombiniert werden können, hängt von der Lötbarkeit der Reproduzierbarkeit der Metalle und ihrer Beständigkeit gegen chemische Einflüsse oder gegen Korrosion ab. Außerdem müssen die Thermoelemente relativ große Thermospannungen über einen großen Temperaturbereich liefern. Typische Drahtkombinationen bestehen aus Eisen-Konstantan, Chrom-Aluminium oder Platin-Platinrhodium.



**Oben:** Eine mit Kernenergie angetriebene Batterie, die in einen Herzschrittmacher eingesetzt wird. Die Batterie ist etwa 35 mm lang und hat einen Durchmesser von 15 mm. Sie wird von einer kleinen Menge Plutonium erwärmt und erzeugt damit Elektrizität in einer winzigen Halbleiter-Thermosäule.

Im Thermoelement wird aus Wärme unmittelbar elektrische Energie erzeugt. Wird das Thermoelement als Energieerzeuger eingesetzt, so spricht man von einem Thermogenerator. Als Wärmequellen können dienen: Holzfeuer, Heizöfen, Sonnenenergie oder auch radioaktive Materialien. Während des Zweiten Weltkrieges setzte die sowjetische Armee Thermogeneratoren ein, um ihre Radiosender mit elektrischem Strom zu versorgen. Thermogeneratoren für Radionuklide werden in der Raumfahrt, in der Meerestechnik und in der Medizin eingesetzt. Der erste Einsatz einer Radionuklidbatterie fand im Jahre 1961 statt, als ein militärischer Navigationssatellit mit einem 2 kg schweren SNAP-A3-Generator mit etwa 3 W Leistung als zusätzliche Stromquelle ausgestattet wurde. In den Missionen von Apollo 14, 15 and 16 wurden Anfang der siebziger Jahre SNAP-27-Generatoren — sie werden mit Plutonium 238 beheizt — auf dem Mond installiert. Sie haben eine Leistungsabgabe von etwa 70 W.

Für die Meeresforschung wurde das SNAP-21-System mit 10 W elektrischer Leistung entwickelt, um die Forderung der Meerestechniker und -wissenschaftler nach einem für den

Langzeitbetrieb geeigneten Energieversorgungssystem zu erfüllen. Herzschrittmacher mit einem Durchmesser von 7 cm, einer Dicke von 2,3 cm und einem Gewicht von 170 g wurden Anfang der siebziger Jahre klinisch erprobt. Sie werden mit dem Radionuklid Plutonium 238 als Primärenergiequelle betrieben. Dieser Thermogenerator leistet 0,06 W und hat eine Lebensdauer von einigen Jahren. Der Wirkungsgrad von Thermogeneratoren ist sehr schlecht. Bei den Silicium/Germanium-Generatoren als wirksamste Elemente erzielt man einen Wirkungsgrad von 8%.

### Anwendung des Peltier-Effektes

Beim Peltier-Effekt können durch elektrische Energie Temperaturdifferenzen erzeugt werden. Die technische Realisierung dieses Effektes findet man in der Wärmepumpe. Bei entsprechender Polung nimmt die eine Verbindungsstelle eine tiefere Temperatur an als die auf Zimmertemperatur befindliche andere Verbindungsstelle. Nach diesem Prinzip ließe sich z.B. ein Kühlschrank bauen.

Der Wirkungsgrad hängt vom Verhältnis der elektrischen Leitfähigkeit zur Wärmeleitfähigkeit ab, Halbleiter zeigen hier günstigere Eigenschaften als Metalle. Sie werden daher in Zukunft beim Bau von Wärmepumpen an Bedeutung gewinnen. Eine praktische Bedeutung hat die Wärmepumpe in einem Gerät erlangt, das heiße Babyflaschen auf Trinktemperaturen abkühlt. Wird in dem Gerät die Stromrichtung umgekehrt, so wird die Flasche erwärmt.

# THERMOMETER

Die Temperatur eines Körpers ist eine seiner wichtigsten Eigenschaften. Ihre Bestimmung ist deshalb in allen naturwissenschaftlichen Fachgebieten — von der Medizin über die Meteorologie bis hin zur Chemie — bedeutend.

Die Sinnesorgane der menschlichen Haut wirken wie ein grobes Thermometer (ein Instrument zur Temperaturnmessung); sie haben jedoch den Nachteil eines sehr beschränkten Wahrnehmungsbereiches, der durch die Kältestarre und das Verbrennen der Haut begrenzt ist. Weiterhin ist die Haut besser zur Bestimmung von Temperaturunterschieden als zur Messung der tatsächlichen Temperatur geeignet. So fühlt sich das Wasser einer natürlichen Quelle im Winter wärmer an als im Sommer, obgleich in Wirklichkeit das Gegenteil richtig ist.

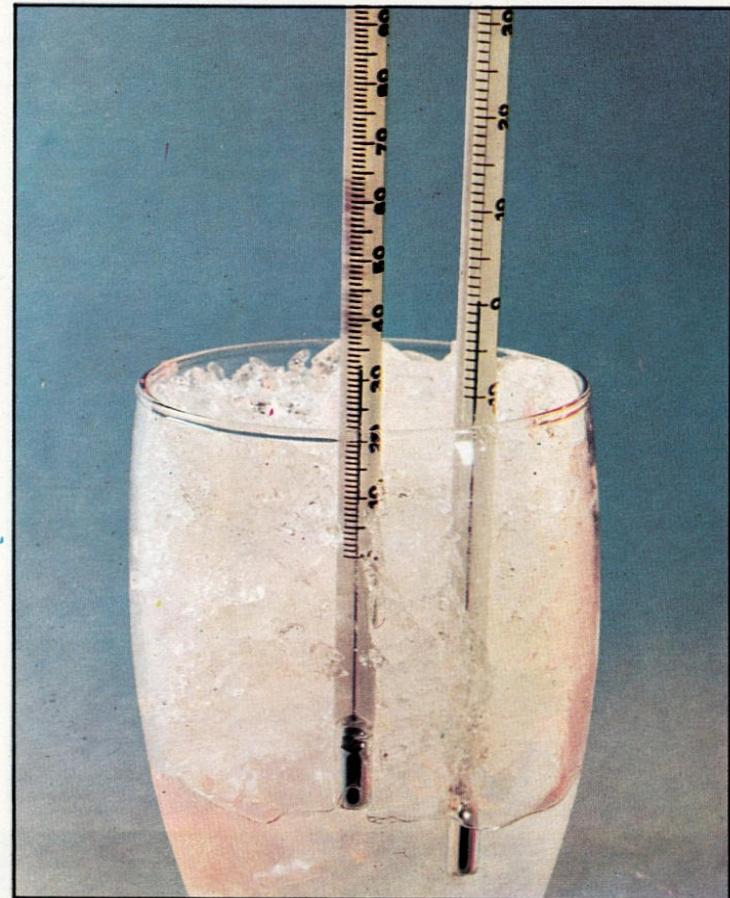
## Moderne Thermometer

Alle Flüssigkeitsthermometer bestehen aus einem mit einer Flüssigkeit, meist Alkohol oder Quecksilber, gefüllten Vorratsgefäß und einem daran anschließenden Steigrohr von möglichst konstantem Innendurchmesser, Kapillare genannt. Vorratsgefäß und Kapillare sind im allgemeinen aus Glas. Ihre Arbeitsweise beruht auf der Volumenausdehnung bei Erwärmung. Diese Volumenänderung ist zwar klein (etwa ein Tausendstel des Ausgangsvolumens pro Grad Celsius), doch sofern das Vorratsgefäß groß und die Kapillare hinreichend eng ist, kann die Veränderung an dem Steigrohr gut abgelesen werden. Um Meßfehler durch die gleichzeitige Ausdehnung der Luft im Steigrohr auszuschließen, wird das Rohr evakuiert (das heißt die Luft über der Flüssigkeit wird abgepumpt). Ein weiterer Fehler entsteht durch die Wärmedehnung des Glases; da Glas sich aber weit weniger ausdehnt als Flüssigkeiten, kann dies im allgemeinen vernachlässigt werden.

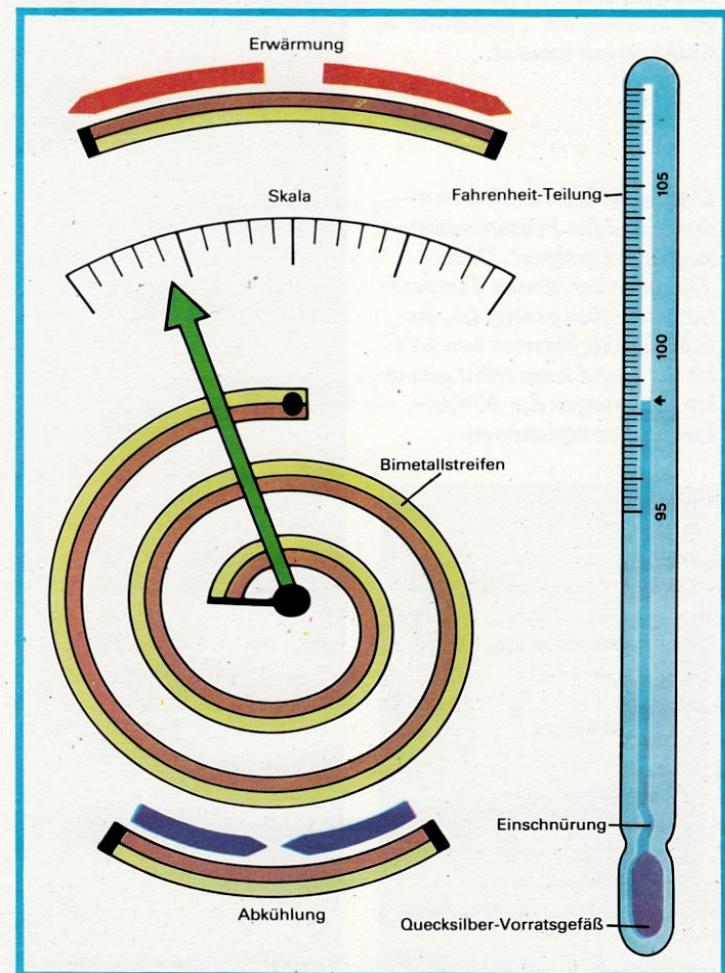
Für Präzisionsmessungen sind Flüssigkeitsthermometer wegen ihrer Nachteile nur bedingt verwendbar. So ist es nicht möglich, den Querschnitt der Kapillare überall exakt gleich auszuführen, so daß die Temperaturskala leicht ungleichmäßig geteilt werden muß, um dies auszugleichen. Will man mit diesen Thermometern die Temperatur von Flüssigkeiten messen, so wird durch deren Druck mehr Quecksilber in die Kapillare gedrückt, d.h. es ergibt sich ein zu großer Wert. Deshalb ist an Präzisionsinstrumenten stets die Eintauchtiefe gekennzeichnet, so daß die korrekten Ergebnisse von der Skala abgelesen werden können. Flüssigkeitsthermometer sind ohne Zweifel die bequemsten Temperatur-Meßgeräte, und es gibt hiervom viele spezielle Ausführungen.

Am bekanntesten ist das Fieberthermometer, mit dem die Temperatur des menschlichen Körpers gemessen wird. Hier ist die Kapillare am Ansatz des Vorratsgefäßes so stark eingeschnürt, daß der Quecksilberfaden dort abreißt, sobald das Thermometer vom Mund entfernt wird und sich das Quecksilber im Vorratsgefäß kontrahiert. Dadurch bleibt die Anzeige der erreichten Temperatur erhalten und kann in Ruhe abge-

**Rechts:** Thermometer mit Bimetallstreifen sind als kleine Geschenke beliebt und bei guter Ausführung recht genau. Ober- und unterhalb des Thermometers ist das Verhalten eines Bimetallstreifens bei Erwärmung bzw. Abkühlung dargestellt; das braune Metall dehnt sich bei Erwärmung stärker aus, was zur Krümmung führt (die hier übertrieben gezeigt ist). Das Fieberthermometer rechts hat zur Erhöhung der Meßgenauigkeit nur einen geringen Meßbereich; die Einschnürung an der Anschlußstelle der Kapillare unterbricht den Rückfluß des Quecksilbers, so daß die Temperaturinstellung erhalten bleibt.



Oben: Dieser Vergleich zweier Quecksilberthermometer zeigt deutlich die feinere Teilung der Fahrenheit-Skala.





**Oben:** Ein mit konstantem Volumen arbeitendes Gas-thermometer.

**Rechts:** Ein Pyrometer wird zur Messung der Temperatur in Stahlwerken benutzt.

**Unten:** Widerstandsthermo-meter sind für Präzisionsmes-sungen gut geeignet. Dieses Thermometer, dessen Temperaturfühler oben gezeigt ist, um-faßt den Meßbereich von 30°C bis 40°C und kann selbst geringste Änderungen der Kör-per-temperatur registrieren.

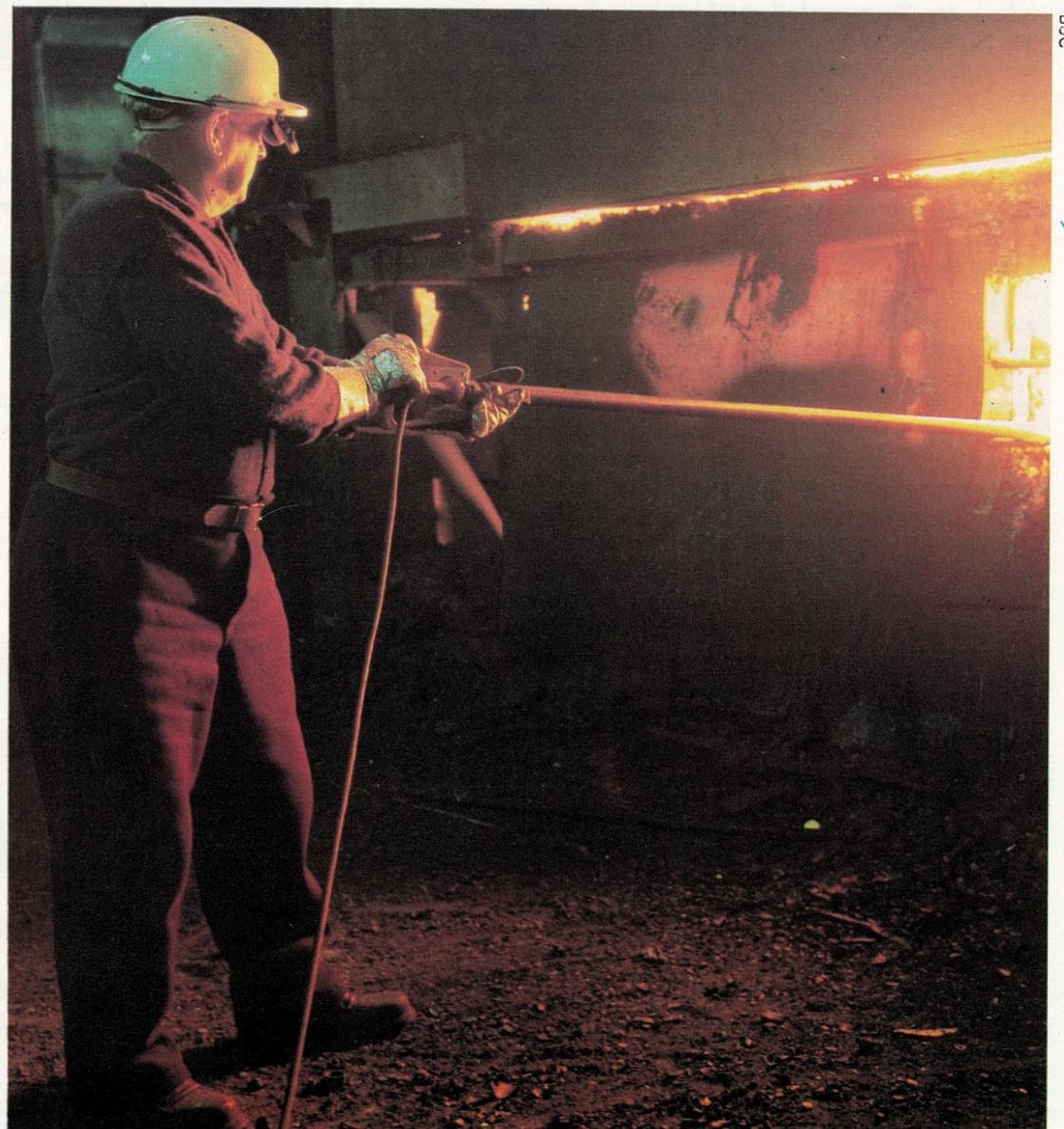


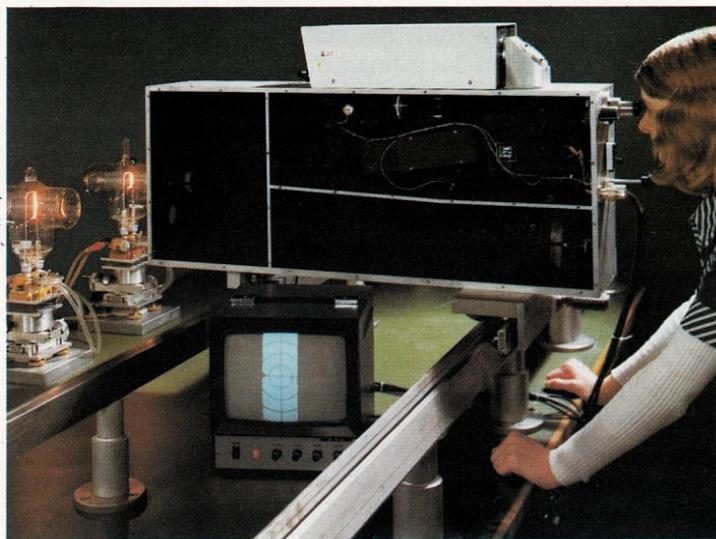
lesen werden. Damit bei der Messung das Quecksilber möglichst schnell die Körpertemperatur annimmt, ist das Vorratsgefäß besonders dünn geformt. Die Kapillare hat hier Dreiecksform und vergrößert dadurch den Quecksilberfaden; sie wird mit einer weißen Emailleplatte unterlegt, die das Quecksilber besser sichtbar macht.

### Meteorologische Thermometer

Obgleich die Mehrzahl der modernen Flüssigkeitsthermometer Quecksilber enthalten, wird für meteorologische Zwecke häufig reiner Alkohol benutzt, da Temperaturen bis  $-100^{\circ}\text{C}$  zu messen sind und Quecksilber bereits bei  $-37^{\circ}\text{C}$  erstarrt. Flüssigkeiten wie Pentan, deren Erstarrungstemperaturen noch tiefer liegen, können bis  $-200^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden; bei dieser Temperatur wird Luft flüssig.

Meteorologen benötigen daneben auch Thermometer, welche die höchsten und tiefsten Tagestemperaturen anzeigen. Das bekannteste Gerät dieses Typs, das Sixsche Thermometer, enthält in der u-förmigen Kapillare neben Alkohol ein Stück Quecksilberfaden, dessen Enden von zwei Eisenstücken markiert werden. Steigt (oder fällt) die Temperatur, so dehnt sich der Alkohol aus (beziehungsweise zieht sich zusammen) und der Quecksilberfaden mit den Eisenstücken wird verschoben. Kleine Federn halten die Eisenteile in den Maximallagen als Markierung der Extremwerte der Temperatur fest und ermöglichen deren Ablesung an einer gegenläufigen Skala. Die Rückstellung zum Quecksilberfaden erfolgt durch einen Ma-





**Oben:** Ein fotoelektrischer Strahlungskomparator. Die Lampen werden zur Gradeinteilung von industriellen Strahlungs-Pyrometern verwendet. Der Fernseh-Monitor zeigt eine Vergrößerung des Hitzdrahtes.

### INTERNATIONALE PRAKTISCHE TEMPERATURSKALA

	K	°C
Trielpunkt von Wasserstoff	13,81	-259,34
Siedepunkt von Wasserstoff bei einem Druck von 33 330,6 Pa	17,042	-256,108
Siedepunkt von Wasserstoff	20,28	-252,87
Siedepunkt von Neon	27,102	-246,048
Trielpunkt von Sauerstoff	54,361	-218,789
Trielpunkt von Argon	83,798	-189,352
Verflüssigung von Sauerstoff	90,188	-182,962
Trielpunkt von Wasser	273,16	0,01
Siedepunkt von Wasser	373,15	100
Gefrierpunkt von Zinn	505,1181	231,9681
Gefrierpunkt von Zink	692,73	419,58
Gefrierpunkt von Silber	1 235,08	961,93
Gefrierpunkt von Gold	1 337,58	1 064,43

**Oben:** Die Internationale Praktische Temperaturskala ist die international vereinbarte Skala, auf der alle nationalen Standardlaboratorien ihre Temperaturmessungen basieren. Der 'Trielpunkt' ist die Temperatur, bei der eine Substanz in allen 3 Phasen — fest, flüssig und gasförmig — koexistieren kann.

gneten. Will man die meteorologische Temperatur kontinuierlich aufzeichnen, so benutzt man einen Bimetallstreifen, der aus zwei aneinander gelöteten Metallstreifen besteht und meist die

Form einer Spirale hat. Ändert sich die Temperatur, so verlängern oder verkürzen sich die beiden Metalle unterschiedlich stark, was der Spirale eine andere Krümmung verleiht. Bringt man am freien Ende der Spirale einen Stift an, so zeichnet dieser die Temperaturveränderung auf einer langsam rotierenden Papierrolle auf. Einfache Ausführungen dieses Thermometrypes haben an der Stelle des Stiftes einen Zeiger. Zur Ablesung dient eine Skalenscheibe.

### Andere Thermometer

Das grundlegendste physikalische Thermometer ist das Gasthermometer mit konstantem Volumen, da seine Anzeige der absoluten Temperaturskala, der Kelvin-Skala, folgt. Hier wird in eine Platin-Kugel eine Gasmenge, meist Helium, eingeschlossen; bei der gesuchten Temperatur wird dann der Gasdruck gemessen. Nach den Gesetzen der kinetischen Gastheorie ist der Druck eines 'idealens Gases' der Temperatur direkt proportional. Da sich aber kein real existierendes Gas 'ideal' verhält, ist eine Meßreihe mit unterschiedlichen Gasmengen in der Kugel nötig. Aus ihr wird extrapoliert, welche Temperatur ein ideales Gas, das durch eine vernachlässigbare Gasmenge angenähert wird, ergeben würde. Zur genauen Temperaturbestimmung sind noch einige andere kleine Korrekturen anzubringen. Deshalb wird das Gasthermometer, obgleich es von 0,5 K (-272,7°C) bis etwa 1300 K (etwa 1000°C) eingesetzt werden könnte, in der Praxis nur zur Messung bestimmter Fixpunkte benutzt, an denen andere Thermometer geeicht werden. Diese Fixpunkte sind üblicherweise die Schmelz- und Siedepunkte verschiedener reiner Substanzen.

Temperaturen von -260°C (13,2 K) bis über 600°C (873,2 K) können durch Platin-Widerstandsthermometer genau bestimmt werden, denn der elektrische Widerstand aller Metalle steigt mit der Temperatur an; bei Platin ist dieser Anstieg am gleichmäßigsten. Platin hat auch den Vorteil, einen hohen Schmelzpunkt zu besitzen und extrem korrosionsfest zu sein. Das Widerstandsthermometer besteht aus einem dünnen Platin-Draht, der um ein Gitter aus Glimmer gewickelt ist; über die Stromstärke, die sich beim Anlegen einer Spannung ergibt, wird sein Widerstand gemessen und daraus nach einer Standardformel die Temperatur berechnet.

Bei tieferen Temperaturen wird an Stelle des Platin-Drahtes ein gewöhnlicher Kohlefaden eingesetzt. Zur Messung höherer Temperaturen benutzt man ein 'Thermoelement', das aus einem Platin-Draht besteht, dessen Enden mit einem zweiten Draht aus einer Platin-Rhodium-Legierung verlötet sind (siehe THERMOELEKTRISCHE GERÄTE). Berühren sich zwei verschiedene Metalle, so besteht zwischen ihnen von Natur aus eine Kontaktspannung von einigen Tausendstel Volt, die sich mit der Temperatur ändert. Hält man ein Ende des Thermoelementes auf einer bekannten Temperatur (zum Beispiel dem Schmelzpunkt von Eis), so kann die Temperatur des anderen Endes aus der 'Thermospannung' berechnet werden. Der große Vorteil des Thermoelementes liegt in den kleinen Abmessungen des Temperaturfühlers, der die Temperaturmessung an einem vorgegebenen Punkt eines Objektes ermöglicht. Für diese Zwecke werden auch bei normalen Temperaturen gerne Thermoelemente eingesetzt.

Zur Bestimmung von Temperaturen oberhalb 1300°C werden Pyrometer eingesetzt. Optische Pyrometer bestehen aus einem Teleskop, in dessen Brennpunkt ein Hitzdraht eingebaut ist, der dem Bild des zu beobachtenden heißen Objektes, das meist in einem Ofen ist, überlagert erscheint. Nun wird der elektrische Strom im Draht so lange erhöht, bis der Hitzdraht weder heller (d.h. heißer) noch dunkler (d.h. kälter) ist als das Objekt. Pyrometer sind meist so geeicht, daß am Strommeßgerät direkt die Temperatur abgelesen werden kann und jede Umrechnung entfällt.

## THERMOSFLASCHE

Bei richtigem Gebrauch kann eine Flüssigkeit in einer Thermosflasche über lange Zeit nahezu auf der Ausgangstemperatur gehalten werden, selbst wenn die Umgebungstemperatur stark von ihr abweicht.

Die Thermosflasche, auch Vakuumflasche oder Dewar-Gefäß genannt, wurde um 1890 von dem schottischen Chemiker und Physiker Sir James Dewar (1842 bis 1923) entwickelt, um bei sehr tiefen Temperaturen verflüssigte Gase aufzubewahren. Die Bezeichnung 'Thermosflasche' ist der Oberbegriff für alle durch eine Ummantelung geschützten Formen der Vakuumflasche. Aufgabe dieser Thermosflasche ist es, den Inhalt thermisch so zu isolieren, daß ein Wärmetransport in die Flasche bzw. aus ihr heraus verhindert wird.

Thermosflaschen sind doppelwandige Glasgefäße mit einem evakuierten Raum zwischen den beiden Wänden. Dieses Vakuum wird hergestellt, indem über ein während der Herstellung fest mit der Außenwand des Dewar-Gefäßes verbundenes Rohr die Luft aus dem Zwischenraum abgepumpt wird. Ist genügend Luft abgepumpt und damit die Güte des Vakuums ausreichend, so wird die Öffnung durch Abschmelzen des Rohres verschlossen. Vor allem dieses Vakuum zwischen der Innen- und Außenwand des Gefäßes verhindert den Wärmetransport.

In der Physik kennt man drei Arten von Wärmetransport: Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. Wärmeleitung und Konvektion werden durch ein Vakuum völlig verhindert; die Wärmestrahlung kann durch Versilbern der Gefäßwände auf ein Minimum reduziert werden, da diese Schicht die Wärmestrahlung weitgehend reflektiert. Der Weg, auf dem dann die meiste Wärme zwischen dem Gefäßinnenraum und dem Außenraum ausgetauscht wird, ist der Hals der Vakuumflasche, wo Außen- und Innenwand miteinander verbunden sind; aus diesem Grunde führt man den Flaschenhals so eng wie möglich aus. Der abschließende Deckel wird aus einem gut isolierenden Material, etwa Kork oder Plastikmaterial mit Hohlräumen, hergestellt.

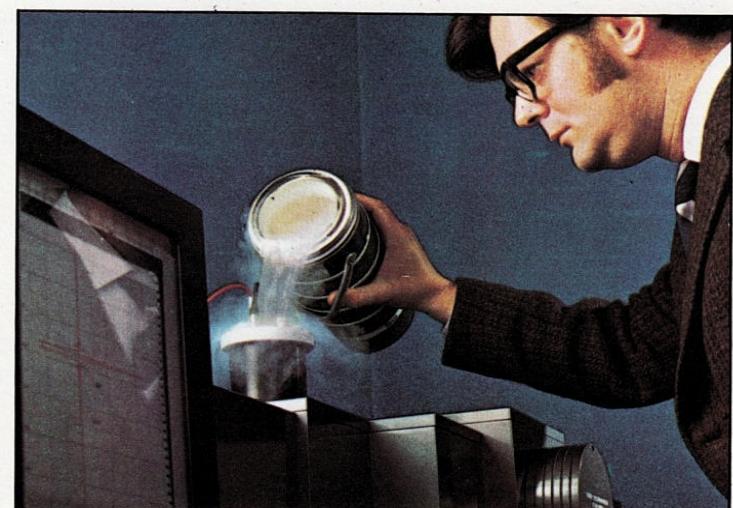
Das größte Problem dieser Glasgefäße besteht in der Zerbrechlichkeit des Glases; ein Ersetzen von Glas durch Metall erhöht zwar die Festigkeit, aber auch den Wärmetransport. Deshalb werden Dewar-Gefäß im allgemeinen aus

einem Glasgefäß aufgebaut, das auf einem Polster aus Kork oder Gummi in einem Metallmantel gelagert ist.

### Anwendungen

Vakuumflaschen sind vielseitig verwendbar; ihre Anwendungen reichen vom alltäglichen Warmhalten von Getränken bis zum Gebrauch in der Tiefenphysik, wo in ihnen verflüssigte Gase bei sehr tiefen Temperaturen aufbewahrt werden. Diese verflüssigten Gase (etwa flüssiger Stickstoff) benutzt man, um die Eigenschaften von Materialien bei tiefen Temperaturen zu untersuchen; als Beispiel sei die Supraleitung von Metallen genannt.

Im alltäglichen Gebrauch werden in der Vakuumflasche warme (oder kalte) Getränke aufbewahrt; bei richtiger Verwendung bleibt die Temperatur über lange Zeit konstant. Hierfür muß die Flasche aufrecht stehen, damit die Flüssigkeit nicht den Verschluß berührt, sonst wird nämlich die Wärmeübertragung verstärkt, da dann die dazwischenliegende, wärmedämmende Luftschicht fehlt.



Oben: Aus einem Dewar-Gefäß wird flüssiger Stickstoff in einen Kryostaten gefüllt, in dem Substanzen bei tiefen Temperaturen untersucht werden können. Unten: Rechts eine vollständige Vakuumflasche und links daneben eine teilweise entmantelte Flasche, an der man den doppelwandigen Aufbau erkennen kann.



UKAEA

HART ASSOCIATES

## THERMOSTAT

Thermostate ermöglichen eine automatische Temperaturregelung, die für Kühlschränke, Zentralheizungen und Klimaanlagen ebenso gebraucht wird wie in den Kühlsystemen von Automobilen und in vielen anderen industriellen Fertigungsprozessen.

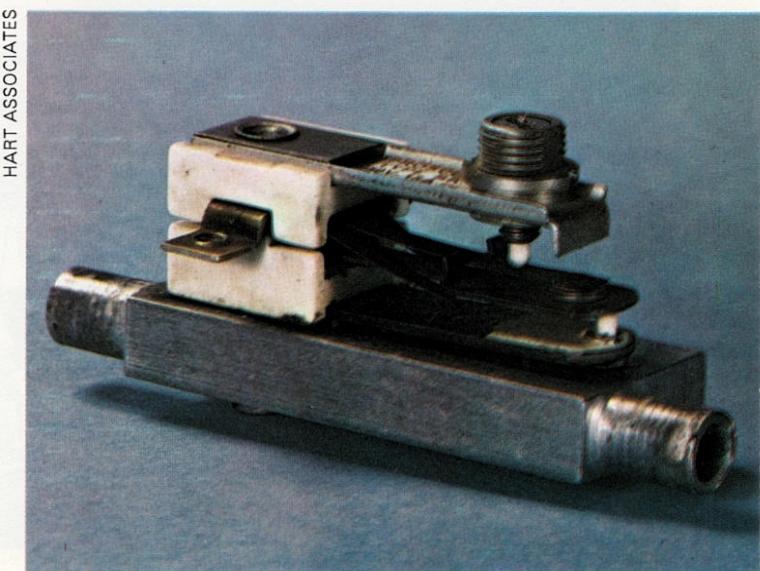
Ein Gerät, das die Temperatur zirkulierender Flüssigkeiten oder eines abgeschlossenen Raumes überwacht, wird Thermostat genannt; es besteht aus einem Temperaturfühler und einem Regelteil, das den Heiz- oder Kühlvorgang so steuert, daß die gewünschte Temperatur erhalten bleibt.

Cornelius Drebbel, ein in London lebender Niederländer, konstruierte um 1660 einen der ersten bekanntgewordenen Thermostaten. An diesem kann man alle für Thermostaten wichtigen Eigenschaften gut erkennen. Das von ihm gebaute Gerät steuerte den Heizofen eines Brutapparates; die heißen Abgase des Ofens erhitzten hier ein Wasserbad, das den Brutraum umgibt. Der Temperaturfühler befindet sich in diesem Brutraum und ist ein mit Alkohol gefülltes Gefäß, das an ein U-Rohr voll Quecksilber angeschlossen ist. Steigt die Temperatur des Wasserbades und damit des Brutraumes, so dehnt sich der Alkohol aus und drückt auf die Quecksilbersäule. Auf der anderen Seite des U-Rohres steigt dann das Quecksilber und hebt einen Stift, der über einen Hebel eine Klappe schließt, die den Abzug der Verbrennungsgase reguliert. Bei verringertem Zug sinkt die Verbrennungsgeschwindigkeit und als Folge auch die Temperatur im Brutraum. Fällt die Temperatur, so zieht sich der Alkohol zusammen. Über den geschilderten Mechanismus wird die Dämpfungsplatte gehoben, was zu stärkerem Zug und einer schnelleren Verbrennung führt. Als Ergebnis werden die Rauchgase heißer und das Wasserbad — und somit auch der Brutraum — erwärmt.

Diese Anlage wird zwischen den Zuständen zu großer und zu geringer Wärmezufuhr durch das Rauchgas gesteuert; das Wasserbad gleicht durch die allmäßliche Wärmeübertragung auf den Innenraum diese Extreme leidlich aus.



**Oben:** Ein Thermostat im Auto unterbindet den Kühlwasserfluß, bis der Motor warm ist und das das Ventil verschließende Wachs schmilzt. Dann öffnet durch Federdruck entstehender Wasserdruk das Ventil und hält es offen, solange der Motor läuft.

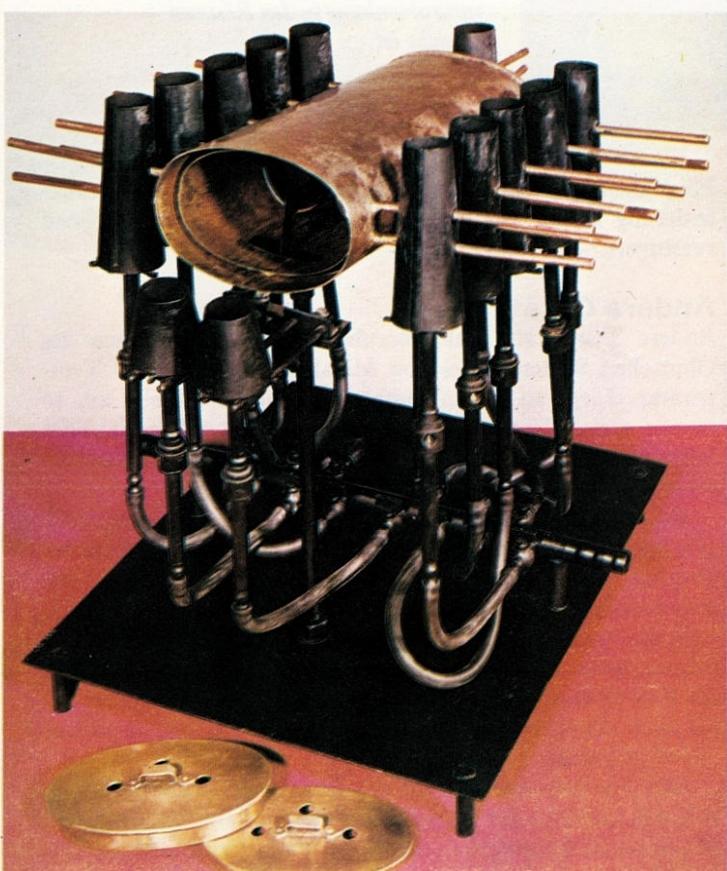


**Oben:** Ein Bimetallstreifen als Thermostat einer Warmwasserzentralheizung. Federnde Metallbleche verringern die Schaltzeiten und vermeiden Funkenbildung.

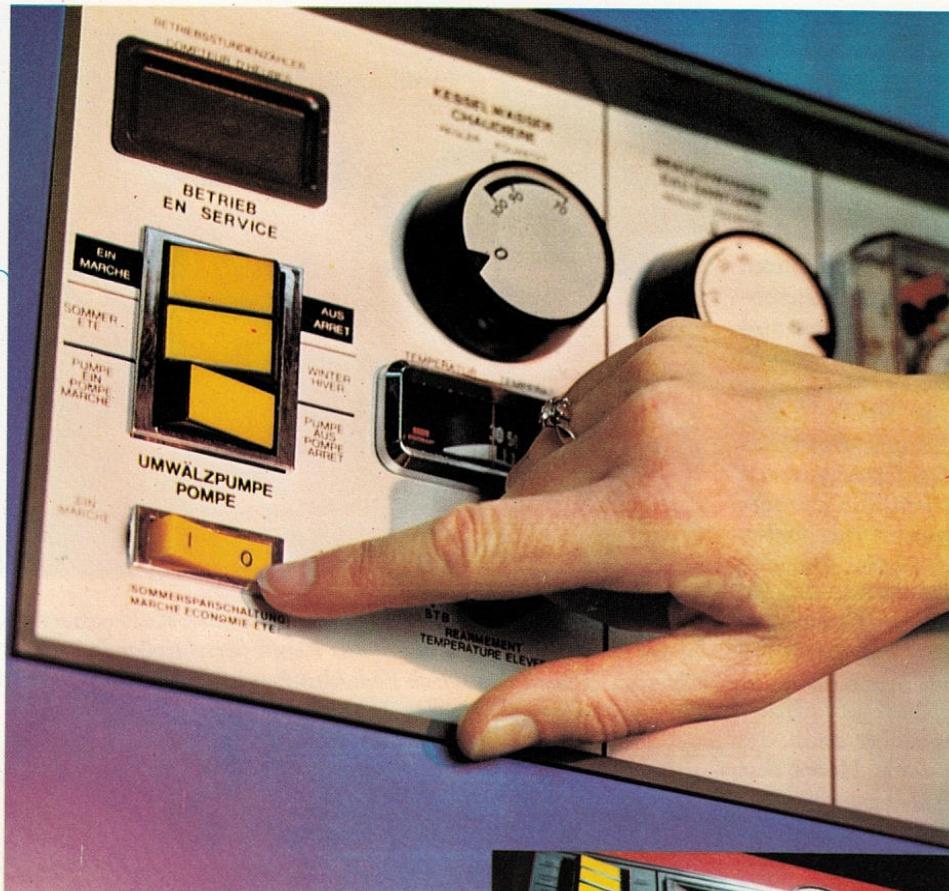
**Links:** Jede Haube dieses Bunsen-Heizgerätes enthält einen Brenner. Die durch den heißesten Teil der Flamme führenden Kupferstäbe leiten dem zentralen Heizraum eine konstante Wärmemenge zu.

### Bimetallstreifen

Viele Temperaturfühler nutzen die Ausdehnung der meisten Stoffe bei Wärmezufuhr; in Drebels Apparat war es die Ausdehnung des Alkohols. Verschiedene Metalle haben unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten, das heißt sie vergrößern ihr Volumen bei Erwärmung unterschiedlich stark. Messing dehnt sich zum Beispiel bei einer Erwärmung von  $1^{\circ}\text{C}$  um ein Fünftausendstel seiner Länge aus, während diese Verlängerung bei Kupfer nur 90% dieses Wertes beträgt. Lötet man zwei Streifen verschiedener Metallbleche zusammen, so spricht man von einem Bimetallstreifen. Wird diese Anordnung erwärmt, so verlängern sich die zwei Teile unterschiedlich stark und bewirken eine Krümmung zum kürzeren Blech hin. Diese Krümmung kann entweder direkt zur Rege-



HART ASSOCIATES



**Oben:** Heizungsanlage mit Thermostaten zur vorteilhafteren Energie Nutzung. Die Temperatur des Kesselwassers kann dadurch nach der Außentemperatur gesteuert werden. An dem abgebildeten Modell kann zusätzlich eine Sommersparschaltung betätigt werden. Die Thermostaten regeln außerdem die Brauchwassertemperatur. Diese kann z.B. nach oben begrenzt sein, um höchstens 60°C zu erreichen.



lung eines Ventils oder zum Ein- bzw. Ausschalten eines elektrischen Stromkreises benutzt werden. Dabei wird ein Stromkreis geschlossen, wenn der Bimetallstreifen einen elektrischen Kontakt berührt; es fließt Strom. Haben der Streifen und die Elektrode keine Verbindung, so fließt kein Strom, das heißt der Stromkreis ist unterbrochen.

In Thermostaten zur Regelung von Zentralheizungen sind Bimetallstreifen weit verbreitet. Diese werden in U-Form ausgeführt und sind an einem Ende fest montiert; das andere Ende schließt einen elektrischen Stromkreis, sobald die Temperatur unter einen vorgegebenen Wert abfällt. Der Abstand zwischen dem Bimetallstreifen und der Elektrode wird durch Verdrehen einer Skalenscheibe eingestellt; je kleiner der Abstand, desto schneller wird der Stromkreis bei Temperaturabfall geschlossen und schaltet die Umwälzpumpe für das Heizwasser ein.

Ein anderer Typ von Temperaturfühlern ist aus einer flüssigkeits- oder gasgefüllten Leichtmetalldose mit gewellten Seitenwänden aufgebaut. Steigt darin die Temperatur, so dehnt sich der Inhalt aus, und die Dose wird gestreckt. Diese Dose lässt sich auch über eine größere Entfernung durch ein dünnes Rohr mit einem Probekörper verbinden, der die Temperatur erfährt. Ändert sich die Temperatur des Probekörpers, so verändert sich der Druck der im Probekörper enthaltenen

Flüssigkeit (oder des Gases). Über das Rohr wird diese Druckänderung an die Dose weitergegeben, die sich entsprechend verlängert oder verkürzt.

### Andere Geräte

Andere Temperaturfühler beruhen auf dem Ansteigen des Ohmschen Widerstandes von Metallen bei steigender Temperatur. Liegt an einem Draht konstante Spannung an, so nimmt mit steigender Temperatur der Stromfluß ab. Dies lässt sich in einem Thermostat zu einer bequemen Temperaturkontrolle benutzen.

Heizungen in Haushalten enthalten mehrere Thermostate. Ein im Kessel angebrachter Thermostat, Begrenzungsschalter genannt, überwacht den Öl- oder Gasbrenner und die Umwälzpumpe. Erreicht das Wasser im Kessel die obere Grenztemperatur, so wird der Brenner aus- und die Umwälzpumpe eingeschaltet, sofern sie nicht schon läuft. Da im Normalfall die Kesseltemperatur niedriger ist, werden sowohl der Brenner als auch die Umwälzpumpe meist durch den Raumthermostaten gesteuert.

Alle Thermostaten nutzen das Prinzip der Rückkopplung, d.h. das Ergebnis der Regelung, in diesem Falle die Temperatur, wird als Steuergröße dem Überwachungsgerät des Heiz- oder Kühlaggregates wieder eingegeben.



**Oben:** Im Bild oben ein Außenfühler zur gleitenden Regelung des Heizkesselwassers. Eine weitere Energieeinsparung bietet die Nachtabenkung, die über eine vollautomatische Zeitschaltuhr (darunter) betätigt wird. Der Kesselbetrieb ruht so lange, bis die gewünschte Temperaturabsenkung in den Räumen erreicht ist.

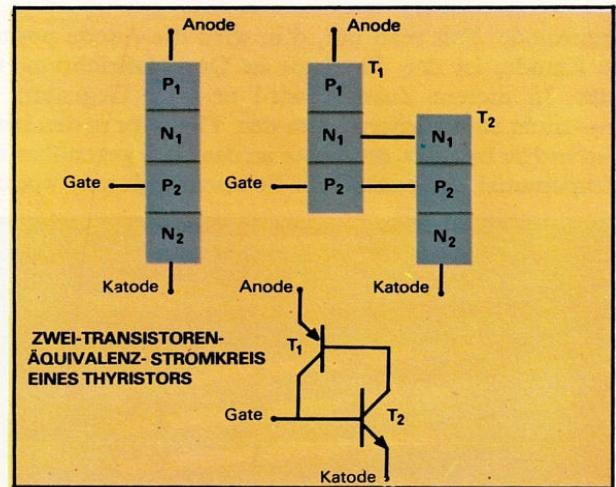
# THYRISTOR

Thyristoren können in elektrischen Geräten als Schalter eingesetzt werden. Gegenüber mechanischen Schaltern haben sie den Vorteil, sehr schnell und relativ billig zu sein. Thyristoren brauchen nicht gewartet zu werden und haben eine sehr lange Lebensdauer.

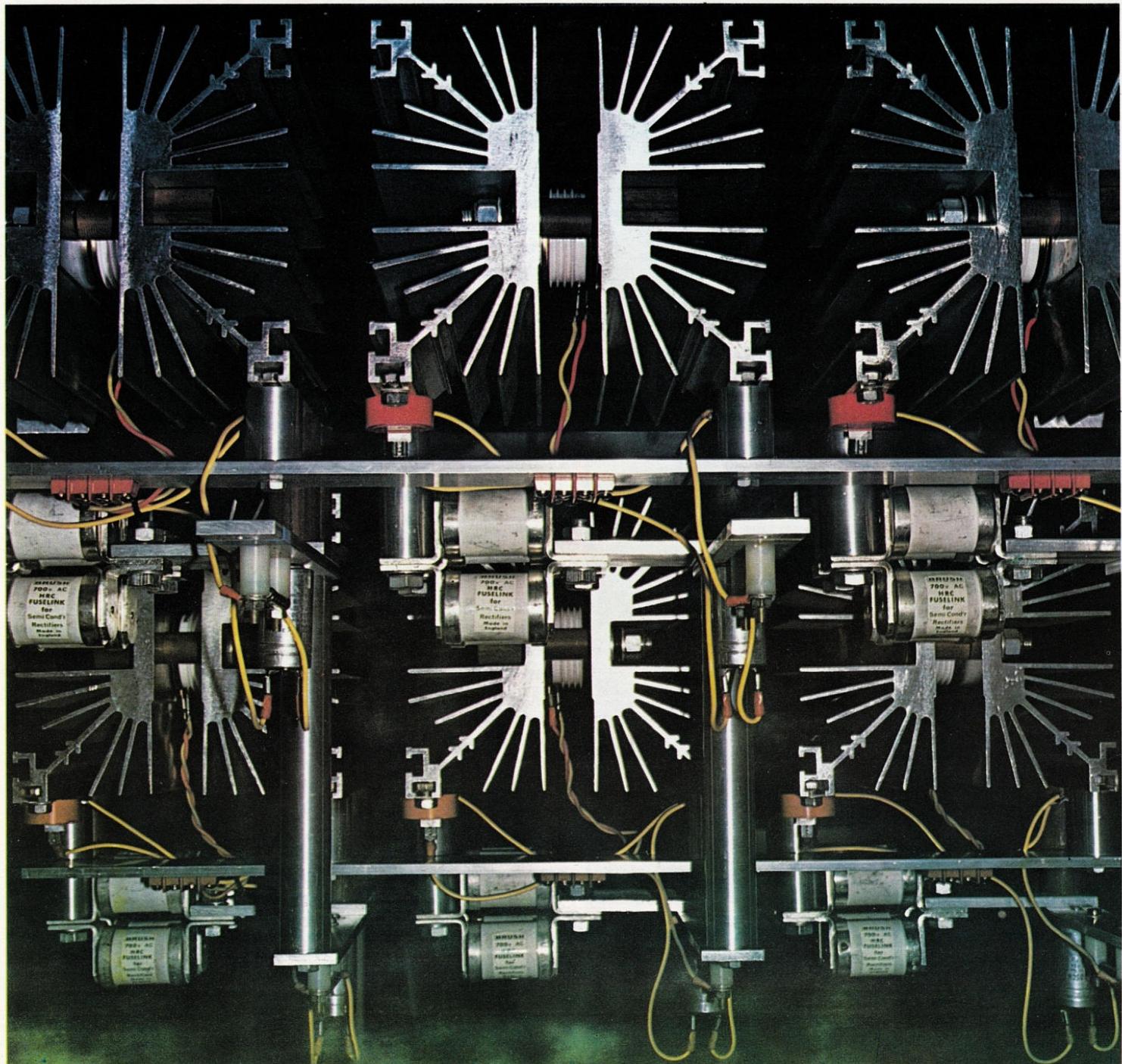
Der Thyristor ist eine Art DIODE, d.h. ein Bauelement, das den elektrischen Strom in einer Richtung leitet und in der anderen Richtung sperrt. Er besteht aus vier Schichten von N- und P-dotiertem Halbleitermaterial, das in einer NPNP-Sandwichform aufgebaut ist. Das elektronische Bauelement verfügt über drei Anschlüsse. Die äußere P-dotierte Schicht ist mit dem Anodenanschluß, die äußere N-dotierte Schicht mit dem Katodenanschluß und die innere P-dotierte Schicht mit dem Gateanschluß verbunden.

## Arbeitsweise

Wird an der Katode positives und an der Anode negatives Potential angelegt, ist der Thyristor in Sperrichtung geschaltet. In diesem Falle kann er keinen elektrischen Strom leiten, d.h. er verhält sich ähnlich einer in Sperrichtung geschalteten



**Oben:** Diese schematische Darstellung verdeutlicht, daß ein Thyristor ähnlich funktioniert wie zwei miteinander verbundene Transistoren. **Unten:** Gerät zur Leistungssteuerung mit Dioden und Thyristoren. Die Kühlkörper (gerippte Metallgebilde) leiten Joulsche Wärme von den Halbleiterbauelementen ab.



Halbleiterdiode. Polt man um, d.h. wird die Anode positiver als die Katode, ist der Thyristor in Durchlaßrichtung vorgespannt. In diesem Zustand wird er — im Gegensatz zur Diode — nicht sofort leitend. Um den Thyristor in den leitenden Zustand zu bringen, muß man an das Gate gegenüber dem Katodenpotential ein positiveres Potential anlegen, wodurch

ein kleiner elektrischer Strom in das Gate hineinfließt. Hierdurch wird der Thyristor durchgeschaltet. Das Verhalten des Thyristors ist nun ähnlich wie eine in Durchlaßrichtung geschaltete Halbleiterdiode.

Hat der Thyristor durchgeschaltet, kann die Spannung am Gate entfernt werden, ohne das Verhalten des Bauelementes zu beeinflussen. Es fließt ein kontinuierlicher Strom von der Anode zur Katode. Thyristoren können innerhalb etwa  $1 \mu\text{s}$  (1 Millionstel Sekunde) eingeschaltet werden, d.h. man braucht nur einen kurzen Spannungs- oder Triggerimpuls dem Gate zuzuführen, um den Thyristor durchzuschalten.

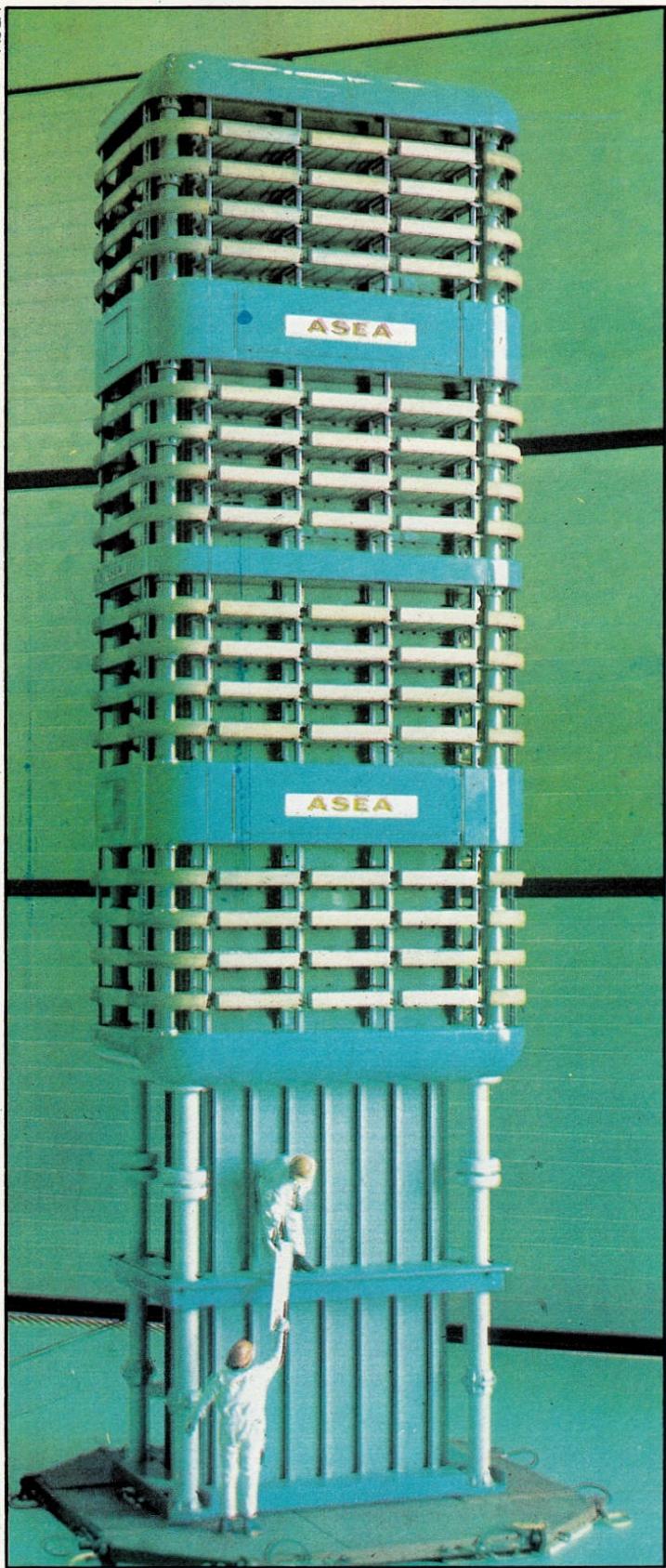
Ein Thyristor kann auf zwei Weisen wieder ausgeschaltet werden: Entweder indem man die Versorgungsspannung umpolst oder aber den das Bauelement durchfließenden Strom sehr klein macht (etwa 10 mA). Den Stromwert, bei dem der Thyristor noch gerade leitend ist, nennt man Haltestrom. Unterhalb des Haltestromes wird der Thyristor ausgeschaltet. Gleichgültig nach welcher Methode der Thyristor ausgeschaltet wurde, zum 'Zünden' benötigt man wieder eine Gatespannung.

### Anwendungen

Zwischen der Anode und Katode eines Thyristors können sehr große Ströme fließen. Im Vergleich zu diesen Stromwerten ist der Strom, der zum Zünden des Thyristors benötigt wird, sehr klein. Daraus folgt, daß ein Thyristor als Halbleiterschalter eingesetzt werden kann, wobei ein sehr großer Stromwert von einem sehr kleinen Stromwert gesteuert wird. Diese Eigenschaft sowie die Tatsache, daß der Thyristor automatisch ausgeschaltet wird, wenn er in Sperrichtung betrieben wird, macht ihn zum idealen Leistungssteuerelement für Wechselströme. Bei Lichtdimmersteuerungen oder Geschwindigkeitsreglern werden heute vorwiegend Thyristoren verwendet. Bei einer Stromversorgung mit Wechselstrom fließt der elektrische Strom einmal in die eine und das andere Mal in die andere Richtung. Jede Periode erfolgt viele Male pro Sekunde (in Deutschland beträgt die Netzfrequenz z.B. 50 Hz). Wird der Thyristor zwischen ein Netzgerät und den Verbraucher (z.B. Elektromotor oder Licht) geschaltet, kann die an den Verbraucher abgegebene Leistung gesteuert werden. Dies geschieht durch die Festlegung des Punktes, an dem ein Thyristor zünden soll.

In jeder Periode des Wechselstromes wird der Thyristor zuerst in Sperrichtung und anschließend in Durchlaßrichtung betrieben. Ist er in Sperrichtung betrieben, fließt kein Strom zu dem Verbraucher, also wird auch keine Leistung abgegeben. Wird der Thyristor in Durchlaßrichtung betrieben, so kann der Zeitpunkt, wann der Triggerimpuls am Gate erfolgen soll, verändert werden. Hierdurch kann die Zeitspanne, während der der Thyristor leitend ist, verändert werden. Je früher der in Durchlaßrichtung betriebene Thyristor gezündet wird, um so größer ist die an den Verbraucher abgegebene Leistung. Dies bedeutet, daß ein Licht heller oder dunkler geschaltet werden oder ein Motor schneller oder langsamer laufen kann.

Thyristoren haben gegenüber mechanischen Schaltern einige Vorteile: Sie können sehr schnell schalten, brauchen keine Wartung, sind relativ preiswert und haben bei Normalbetrieb eine sehr lange Lebensdauer. Sie finden in der Industrie vielfältige Anwendung bei der Leistungssteuerung (z.B. in Elektroloks). Man trifft den Thyristor aber auch in Fernsehgeräten, bei Waschmaschinen, Lichtdimmern oder elektrischen Zündsystemen bei Autos an. Häufig werden sie dann angewendet, wenn hohe Ströme zu schalten sind. Beim Thyristor tritt im Gegensatz zum mechanischen Schalter kein Zündfunke auf. Zündfunken können die Kontakte eines mechanischen Schalters so stark beeinflussen, daß sie u.U. schon nach zwei oder drei Zündvorgängen ausgetauscht werden müssen.



Ein riesiger Thyristor der Bauart, wie er im 500-kV-Stromversorgungsnetz von Zaire eingesetzt wird. Dieser Typ nimmt Umformungen von Gleich- zu Wechselstrom vor.

## TIEFDRUCK

**Der Tiefdruck zählt zu den wichtigsten kommerziellen Druckverfahren und eignet sich für eine breite Palette von Papierqualitäten, vom Zeitungsdruck bis hin zum Kunstdruck.**

Tiefdruckverfahren werden im wesentlichen zum DRUCKEN von Zeitschriften und Verpackungen verwendet, doch lassen sich auf diese Weise auch dekorative Schichtpreßstoffe (z.B. in Holzmaserung), Bodenfliesen, Tapeten, Brief- und Rabattmarken sowie Reproduktionen von Kunstwerken herstellen.

Beim Hochdruck wird die Druckfarbe von einem erhabenen Druckbild auf das Papier übertragen. Beim Steindruck (Lithographie) werden bei ebener Druckform die Bildflächen von einer fetten und damit wasserabweisenden Druckfarbe bedeckt. Die bildfreien Flächen saugen nach entsprechender Vorbearbeitung Wasser auf und nehmen deshalb beim Einfärben keine Farbe an. Beim Tiefdruck hingegen handelt es sich um ein Intaglio-Verfahren, d.h. die Druckfarbe wird aus sehr kleinen, in den Druckzylinder eingelassenen Druckelementen ('Farbnäpfchen') auf das Papier übertragen. Ebenfalls zu den Intaglio-Verfahren zählen Gravieren und Ätzen.

Da die Näpfchentiefe (bei manchen Verfahren auch der Querschnitt) variabel ist, lassen sich auf dem fertigen Bild durch verschiedene starke Einfärbung der Druckform feine Farbabstufungen, wie sie z.B. auf einer einfarbigen Briefmarke deutlich werden, erzielen. Die Tiefe der Farbnäpfchen kann

zwischen 0,001 mm an den hellsten Stellen und 0,4 mm bei den Schattierungen liegen.

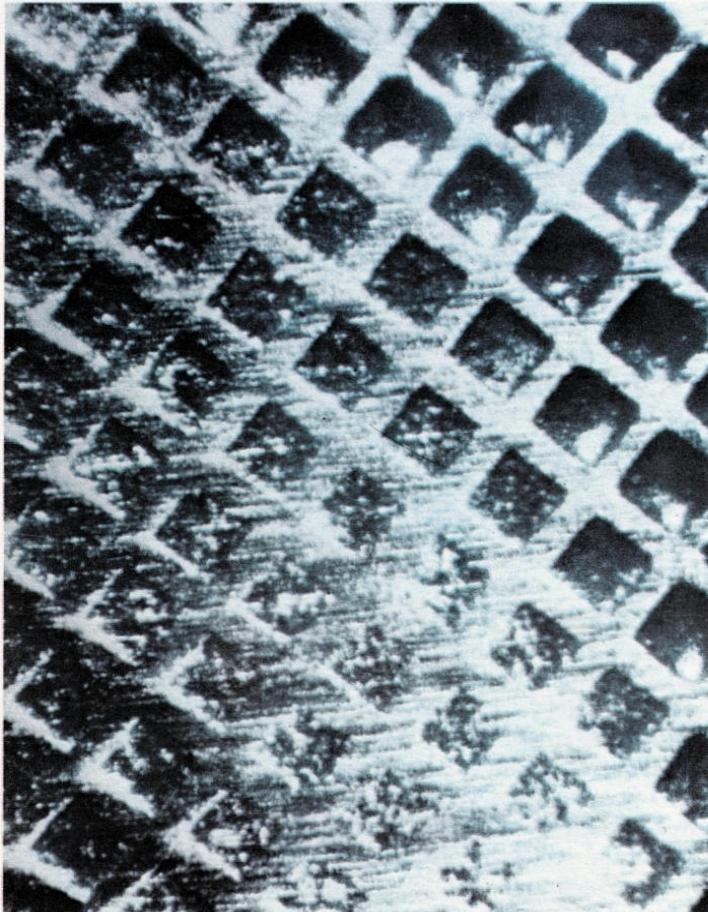
### Struktur der Druckelemente

Die Struktur der Farbnäpfchen ist abhängig von der Art, in der die Oberfläche der Druckform präpariert wurde. Beim konventionellen 'tiefenvariablen Rakeldruck' (benannt nach dem Streichmesser, mit dem die überschüssige Farbe entfernt wird, der 'Rakel') ist das Druckbild in winzige gleichgroße Rasternäpfchen unterschiedlicher Ätztiefe unterteilt, während es sich bei den Halbtonverfahren um 'flächenvariable' Rakeldruckverfahren mit Näpfchen tonwertmäßig abgestufter Flächenausdehnung und in der Regel gleicher Ätztiefe handelt. Letztere Methode eignet sich besonders für Farbreproduktionen. Bei der elektromechanischen Gravur schließlich steuern von einem systematisch über das zu reproduzierende fotografische Objekt geführten Tastkopf ausgehende Signale die Bewegungen eines Gravierstichels mit Diamantspitze. Dieser schneidet Vertiefungen in Form umgekehrter Pyramiden unterschiedlicher Tiefe und Ausdehnung in die Druckform ein.

### Vorbereitung des Druckzylinders

Tiefdruckzylinder haben gewöhnlich eine hochglanzpolierte Kupferoberfläche, die häufig durch Galvanisieren auf Stahlzylinder aufgebracht wird. Für hohe Beanspruchung und besonders lange Lebensdauer ist auch eine verchromte Oberfläche möglich. Die zum Druck vorgesehenen Vorlagen müssen zunächst fotografiert werden, wobei Schriftvorlagen auf be-

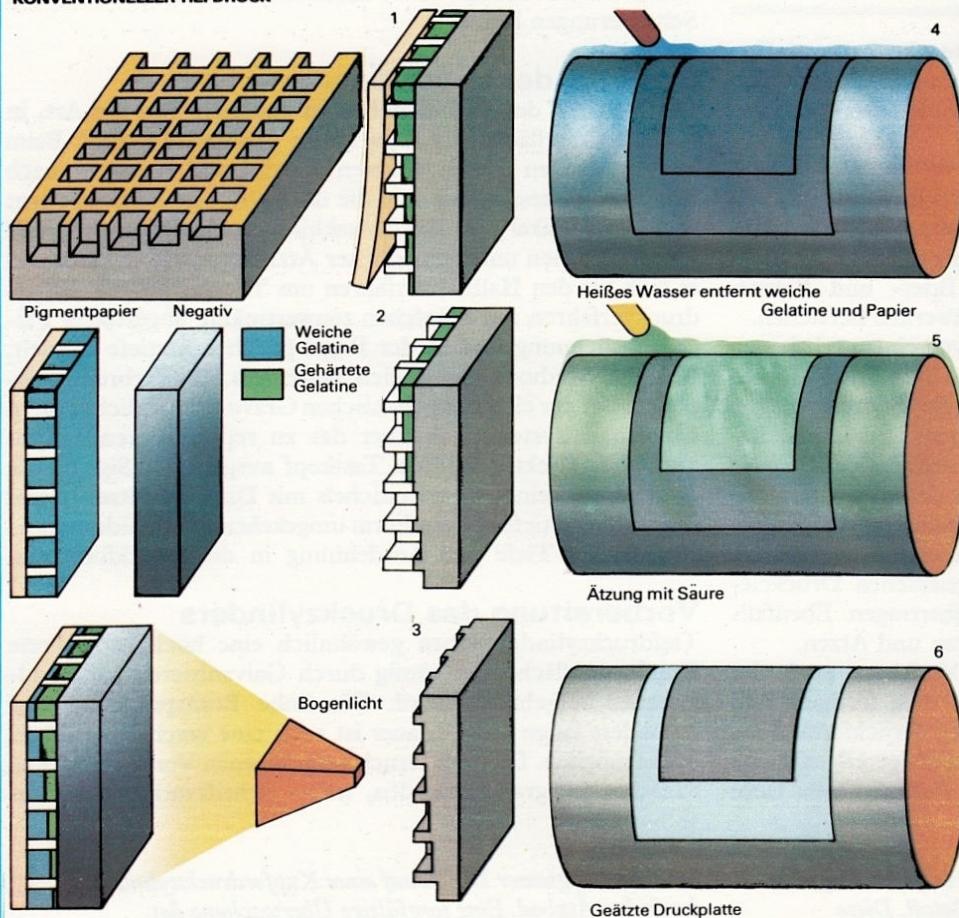
**Unten:** Diese mikrofotografische Aufnahme zeigt die eingeschlossenen Druckelemente (Farbnäpfchen) im Detail. Diese werden unterschiedlich tief geätzt, je nach Licht- und Schatteneffekten auf dem zu reproduzierenden Original des Fotomaterials.



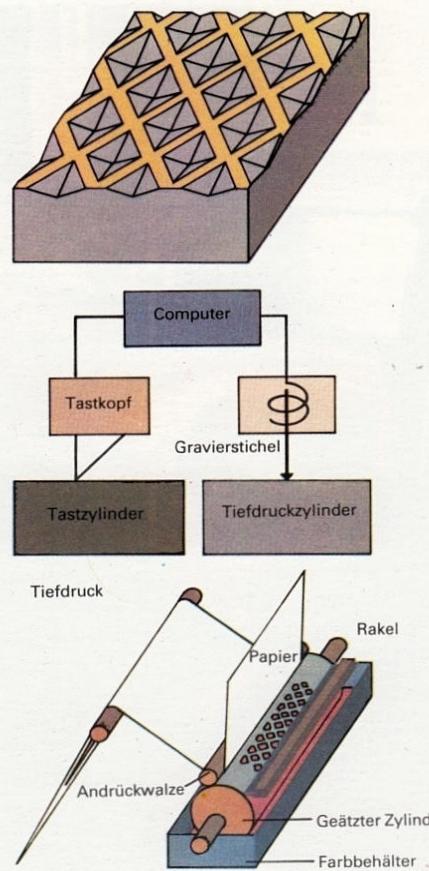
**Unten:** Langsamer Durchlauf eines Kupferdruckzylinders durch das Ätzbad. Eine sorgfältige Überwachung des Prozesses ist erforderlich, um die richtige Ätztiefe der Rasternäpfchen zu erhalten und damit die volle Farbtonskala zu gewährleisten.



## KONVENTIONELLER TIEFDRUCK



## ELEKTROMECHANISCHER TIEFDRUCK



**Oben links:** Schematische Darstellung des konventionellen Tiefdruckverfahrens. Ein Positiv wird auf ein sensibilisiertes Gelatine-Pigmentpapier fotografiert bzw. kopiert. Unter Lichteinwirkung entsteht ein dem Farbtonwert entsprechendes Gelatinerelief. Durch die Poren in der Gelatine wird das Bild in das Kupfer geätzt.

**Links:** Vereinfachte Darstellung des elektromechanischen Tiefdruckverfahrens. Ein computergesteuerter Tastkopf wird über das zu reproduzierende Bild geführt. Von diesem Tastkopf gehen Signale aus, die eine Synchronsteuerung des Gravierstichels auslösen. Letzterer schneidet die entsprechenden Farbnäpfchen in die Druckplatte ein.

sonders kontrastreiche Negative zu achten ist; bei durchgestuften Farbtönen, wie etwa bei Landschaftsbildern, ist dies nicht im gleichen Maße erforderlich. Zur Verbesserung des Endergebnisses muß das Negativ gegebenenfalls retuschiert werden. Wie bei allen Farben- bzw. Buntdrucken wird auch hier auf fotografischem Wege für jede der drei Grundfarben (Gelb, Rot, Blau) eine separate Druckplatte angefertigt und nacheinander auf den Druckträger gedruckt.

Zur Herstellung des Druckbildes auf den Kupferzylin dern oder -platten werden die Positive, nicht die Negative des Bild-

RENSCHE  
PRICE SERVICE  
ORGANISATION

**Links:** Überprüfung eines fertigen Probeandrucks, d.h. eines Probeexemplars der zu druckenden Seite, auf Fehler in der Korrekturabteilung. Finden sich solche fehlerhaften Stellen (z.B. ein weißlicher Fleck) dort, wo nicht tief genug geätzt wurde, werden diese Näpfchen auf dem Kupferzylinder markiert und mit einem Gravierstichel nachgearbeitet.

Form von Rasternäpfchen, während der Raster als gleichmäßig feines Netz über dem Ganzen liegt. Die Einwirkungszeit des Ätzmittels liegt zwischen 10 and 20 Minuten und erfordert ebenso wie die Konzentration der Eisenchloridlösung und die Temperatur des Ätzbades eine sorgfältige Überwachung. Nach dem Ätzen werden der Bitumenlack und eventuelle Gelatinerückstände entfernt und der Kupferzylinder bzw. die Kupferplatte abgewaschen und getrocknet. Nun ist es Zeit für den Probeandruck, um vor dem eigentlichen Druckvorgang gegebenenfalls noch geringfügige Korrekturen, etwa an der Tiefe der Farbnäpfchen, von Hand vornehmen zu können.

### Drucken und Druckmaschinen

Der fertige Druckzylinder wird in die Druckmaschine eingesetzt. Bogenmaschinen, die von rundgebogenen Kupferplatten drucken, verarbeiten einzelne Papierbogen und werden hauptsächlich für qualitativ hochwertige Farbreproduktionen, insbesondere von Kunstwerken, eingesetzt. Bei Rollen-Rotations-Tiefdruckmaschinen wird der Bedruckstoff von Rollen zugeführt und als Bahn bedruckt; die Qualität entspricht auch hier strengen Maßstäben. Letztere finden vorwiegend beim Druck von Zeitschriften und Farbkatalogen, von Briefmarken und nicht saugfähigen Verpackungsmaterialien wie z.B. Aluminiumfolien Verwendung.

Bei Bogenpressen wird die Druckfarbe aus dem Farbbehälter mit einer Walze, die die gesamte Oberfläche der Druckform mit Farbe überschwemmt, aufgetragen, während bei einer Rollen-Rotations-Tiefdruckmaschine der Druckzylinder in einem Farbtrog umlaufen kann. In beiden Fällen wird die überschüssige Druckfarbe von der Oberfläche der Druckform durch ein breites, dünnes Stahlband, die Rakel, entfernt. Da die Farbe die winzigen Näpfchen füllen und aus diesen auch wieder abfließen muß, sind Tiefdruckfarben dünnflüssiger als beim Hoch- oder Steindruck verwendete Farben und bestehen aus einem fein dispergierten Gemisch aus Pigmenten, Harz und Lösungsmittel. Nach der Übertragung der Farbe auf das Papier verdampft das Lösungsmittel und hinterläßt einen dauerhaften Farbfilm. Bei den neuesten Tiefdruckmaschinen sorgt ein zusätzliches Trockensystem für eine beschleunigte Verdampfung des Lösungsmittels. Dies ist besonders bei Hochgeschwindigkeitsmaschinen von Bedeutung. Um eine Hautbildung zu vermeiden und den Ausfällungstendenzen bestimmter Pigmente entgegenzuwirken, wird die Druckfarbe durch Pumpen ständig in Bewegung gehalten. Damit die Viskosität nicht in kurzen Abständen durch Zugabe von Lösungsmittel immer wieder neu eingestellt werden muß, hält man eine relativ große Farbmenge im Umlauf.

Bei Rollenrotationspressen läuft das Druckpapier mit hoher Geschwindigkeit zwischen dem Kupferzylinder und einer Gummiwalze, die von einem Druckzylinder angedrückt wird, hindurch. Eine große Rotations-Tiefdruckpresse besteht aus mehreren benachbarten Einheiten, die jeweils eine Farbe drucken, so daß für den üblichen Vierfarbendruck (Blau, Rot, Gelb und Schwarz) auf jeder Seite der Rolle acht Einheiten erforderlich wären. Am Maschinenende wird die ablaufende, nun bedruckte Papierrolle geschnitten, gefaltet, kollationiert und zur fertigen Zeitschrift zusammengeheftet. Moderne Rotationstiefdruckpressen produzieren pro Stunde 55 000 Exemplare eines 48-seitigen Vierfarben-Magazins.

und Schriftgutes verwendet. Dazu benutzt man ein lichtsensibilisiertes Gelatine-Pigmentpapier, das zunächst mit einem Raster versehen wird, um die Druckfläche in kleine Farbnäpfchen zu unterteilen, indem man sie auf fotomechanischem Wege mit einem Netz von Rasterstegen überzieht. Die Rastergröße beträgt gewöhnlich 60 Linien/cm, d.h. 3 600 Rasternäpfchen/cm<sup>2</sup>, doch sind bis zu 160 Linien/cm möglich. Diese Rasterstegs bilden die dünnen Wände der Farbnäpfchen. Anschließend werden die auf einer Glasplatte in Kontakt mit dem Pigmentpapier aufgebrachten Positive diffusen Licht ausgesetzt. An den Stellen, wo die Farbtönung heller ist, wirkt das Licht ungehindert auf das Positiv ein, und die Gelatine auf dem Pigmentpapier wird härter als dort, wo das Licht in den dunkleren Bereichen nur schwach durchdringt; die Rasterstegs bleiben am härtesten.

Nun kann das Pigmentpapier auf den Kupferzylinder aufgebracht werden. Danach wird die Rückseite abgezogen, und bei der Entwicklung mit heißem Wasser entsteht durch Auswaschen der löslichen (nicht gehärteten) Gelatinereste ein Gelatinerelief. Dem folgen die Trocknung und darauf das Überziehen der Bereiche, die nicht der Ätzflüssigkeit ausgesetzt werden sollen, wie z.B. der Kanten, mit einem Bitumenlack. In der nachfolgenden Ätzung mit Eisenchlorid dringt die Ätze, bedingt durch das Gelatinerelief, unterschiedlich in das Kupfer ein, und zwar zuerst in die dünneren und im späteren Druck dunkler erscheinenden Zonen und zuletzt in die hellsten, wo die Gelatineschicht am dicksten ist. So ergeben sich entsprechend mehr oder weniger tief geätzte Stellen in

## TIEFSTTEMPERATUREN

Die tiefste theoretisch mögliche Temperatur heißt 'absoluter Nullpunkt'. Obwohl man den absoluten Nullpunkt in der Praxis nie ganz erreichen kann, haben die Tieftemperaturphysiker sich ihm bis auf ein Millionstel Grad genähert.

Der absolute Nullpunkt wird mit 0 Kelvin (0K =  $-273,16^{\circ}\text{C}$ ) bezeichnet. Bei dieser Temperatur wird es unmöglich, einer Substanz weitere Wärme zu entziehen, so daß sie sich nicht weiter abkühlen kann. Nähert man sich dem absoluten Nullpunkt, so wird ein weiteres Abkühlen immer schwieriger. Praktisch erreicht man die Temperatur 0K nie, aber Temperaturen um 0,00001 K sind durch die 'adiabatische Entmagnetisierung' magnetisch ausgerichteter Kerne möglich, wie man sie in gewissen chemischen Verbindungen findet.

Die Eigenschaften von Substanzen und Materialien bei sehr tiefen Temperaturen werden in der Tieftemperaturphysik und der 'Kryotechnik' untersucht. In diesem Temperaturbereich findet man teilweise ganz überraschende neue Effekte.

Bei der Abkühlung ändern viele Substanzen deutlich ihre Eigenschaften, weil ihr Energieinhalt, der für die Bewegung der Elektronen und der Atome verantwortlich ist, mit fallender Temperatur abnimmt. So zeigt die Wärmekapazität (oder 'spezifische Wärme', die Wärmemenge, die man braucht, um ein Gramm einer Substanz zu erwärmen) eine starke Abnahme, wenn man sich dem absoluten Nullpunkt nähert. Mit der Abkühlung nimmt die 'Entropie', das Maß für die Unordnung in einer Substanz, ab. Deshalb gehen beispielsweise Stoffe, die bei Raumtemperaturen im gasförmigen Zustand vorliegen, bei der Abkühlung in den 'geordneteren' flüssigen Zustand und schließlich in den festen Zustand über. Nur Helium bleibt bei normalem Druck auch bei tiefsten Temperaturen noch flüssig. Einige Materialien, darunter auch Eisen, Stahl und Kunststoffe, werden bei tiefen Temperaturen spröde, andere — z.B. Edelstahl und Aluminiumlegierungen — bleiben bis zu sehr tiefen Temperaturen 'duktil' (plastisch verformbar). Die meisten Stoffe ziehen sich außerdem beim Abkühlen zusammen (Kontraktion), weil die Amplituden der Atomschwingungen abnimmt. Halbleiter zeigen eine Zunahme des elektrischen Widerstandes, weil die Anregung der zur elektrischen Leitfähigkeit nötigen Ladungsträger abnimmt. Reine Metalle werden jedoch immer bessere Leiter, weil die Streuung der reichlich vorhandenen Ladungsträger durch Gitterschwingungen (gekoppelte Atomschwingungen) abnimmt.

### Gasverflüssigung

Die Verflüssigung von Gasen, ihre Aufbewahrung und ihr Transport in flüssiger Form beschäftigen viele Zweige der Industrie in großem Ausmaß. Flüssiges Ethylen, mit einem Siedepunkt von 169 K, ist das Ausgangsmaterial für die gesamte Kunststoffchemie. Flüssiger Sauerstoff (Siedepunkt 90 K) wird bei der Stahlherstellung gebraucht. Besondere Bedeutung hat in den letzten Jahren die Vorratshaltung von flüssigem Erdgas (Methan) gewonnen. Bei weit tieferen Temperaturen finden wir flüssigen Wasserstoff als Raketen-treibstoff und flüssiges Helium zur Kühlung supraleitender Spulen. Neben ihren speziellen Aufgaben bei verschiedenen Prozessen bieten flüssige Gase generell den Vorteil eines etwa auf ein Tausendstel verringerten Volumens, womit Aufbewahrung und Transport erheblich vereinfacht werden.

Zur Verflüssigung von Gasen braucht man zunächst einen Kompressor, in dem ein Kühlmittel dem komprimierten Gas Wärme entzieht. Darauf folgt eine Reinigungsstufe, um Verunreinigungen zu entfernen, die die Verflüssigerstufe

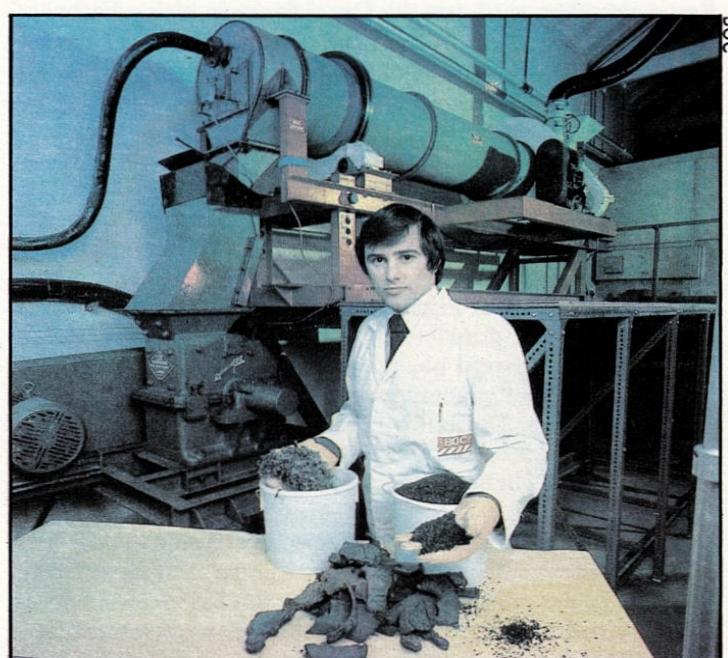
verstopfen würden. Schließlich gibt es eine Entspannungsphase, in der das Gas äußere Arbeit leistet, Energie verliert und sich dabei abkühlt. Gewöhnlich wird diese letzte Aufgabe von einer Entspannungsmaschine oder Turbine übernommen. In Heliumverflüssigern wird auch der Joule-Thomson-Effekt genutzt. Dabei verrichtet das Gas bei Ausdehnung Arbeit gegen seine eigenen intermolekularen Kräfte und verflüssigt sich nach Abkühlung. Dazu muß jedoch zunächst eine kritische Temperatur, die 'Inversionstemperatur', unterschritten werden.

### Supraflüssiges Helium

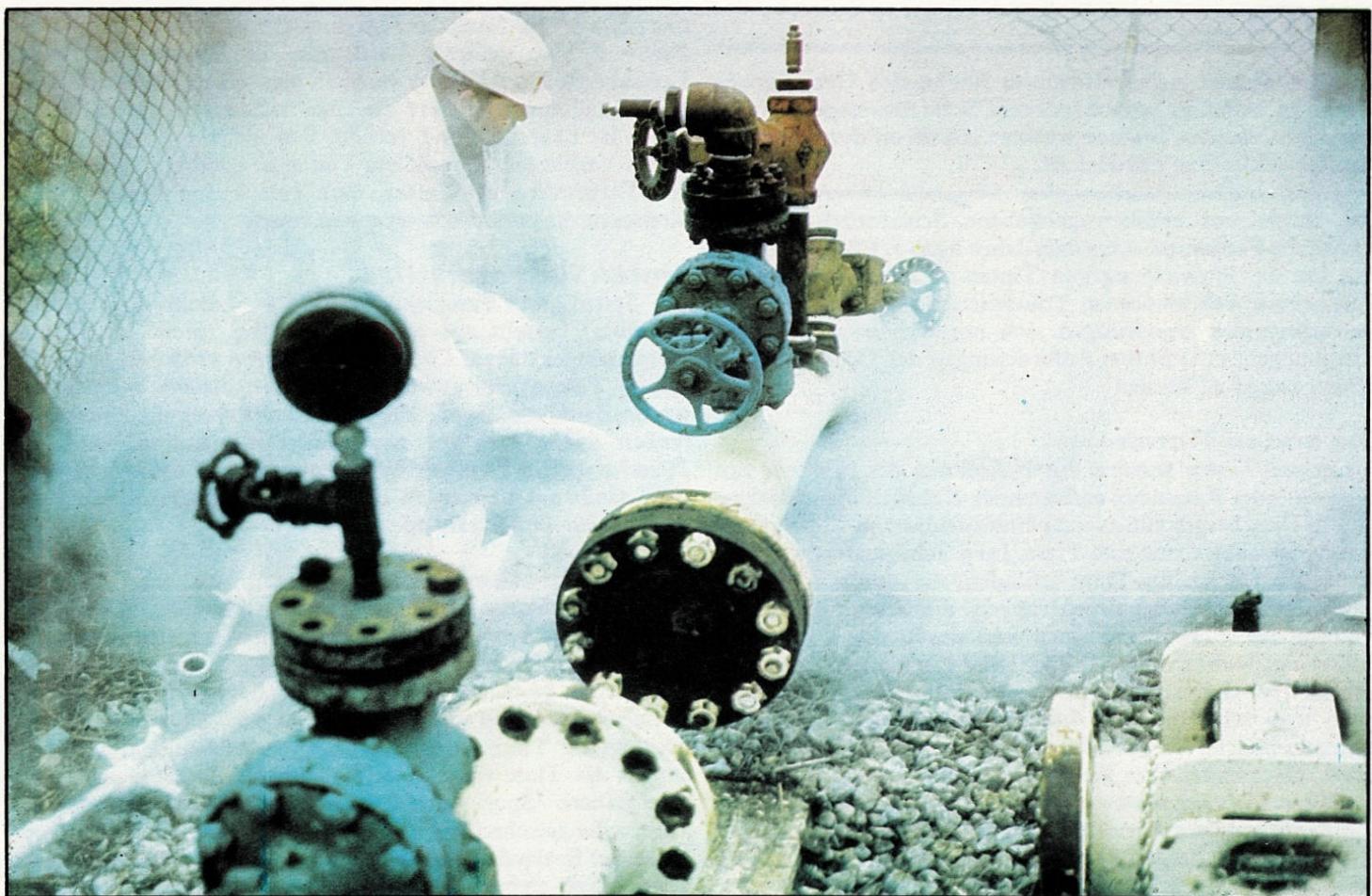
Flüssiges Helium (Siedepunkt 4,2 K) besitzt einige außergewöhnliche Eigenschaften. Seine Dichte beträgt etwa ein Achtel der Dichte von Wasser; es ist die einzige bekannte Substanz, die bei normalem Druck nicht erstarrt. Nur unter einem Druck von etwa 25 bar geht es (bei etwa 1,1 K) in den festen Zustand über. Pumpt man das Gas über der Flüssigkeitsoberfläche ab, so kühlst sich die Flüssigkeit unter heftigem Sieden weiter ab. Unterhalb von 2,2 K entwickeln sich jedoch keine Gasblasen mehr, und die Oberfläche beruhigt sich. Unterhalb dieses 'Lambdapunktes' befindet sich Helium im 'supraflüssigen' Zustand ('Helium II'). Helium II fließt noch reibungloser als ein Gas. Es bildet dünne Filme auf Oberflächen und kann sich mit großer Geschwindigkeit an Wänden entlangbewegen. Setzt man einen leeren Becher in supraflüssiges Helium, so 'kriecht' der Heliumfilm über den Rand hinweg und füllt den Becher, bis die Niveaus ausgeglichen sind. Hebt man den Becher höher, so läuft das supraflüssige Helium ins Reservoir zurück.

Zur Vorführung des 'Fontäneneffektes' verstopft man ein dünnes Röhrchen mit einem dicht gepackten feinen Pulver, das für normales flüssiges Helium, nicht aber für supraflüssiges Helium undurchlässig ist. Ein Ende des Röhrchens wird in Helium II getaucht; im herausragenden Ende wird das Pulver durch Einstrahlen von Licht erwärmt. Bei geeigneter Anordnung kann man damit Helium II bis zu 30 cm hoch aus dem Röhrchen spritzen sehen.

Diese außergewöhnlichen Effekte beruhen alle auf der äußerst geringen Viskosität (Zähigkeit) von Helium II. Aus demselben Grunde ist supraflüssiges Helium auch ein nahezu perfekter Wärmeleiter (über hundertmal besser als Kupfer).

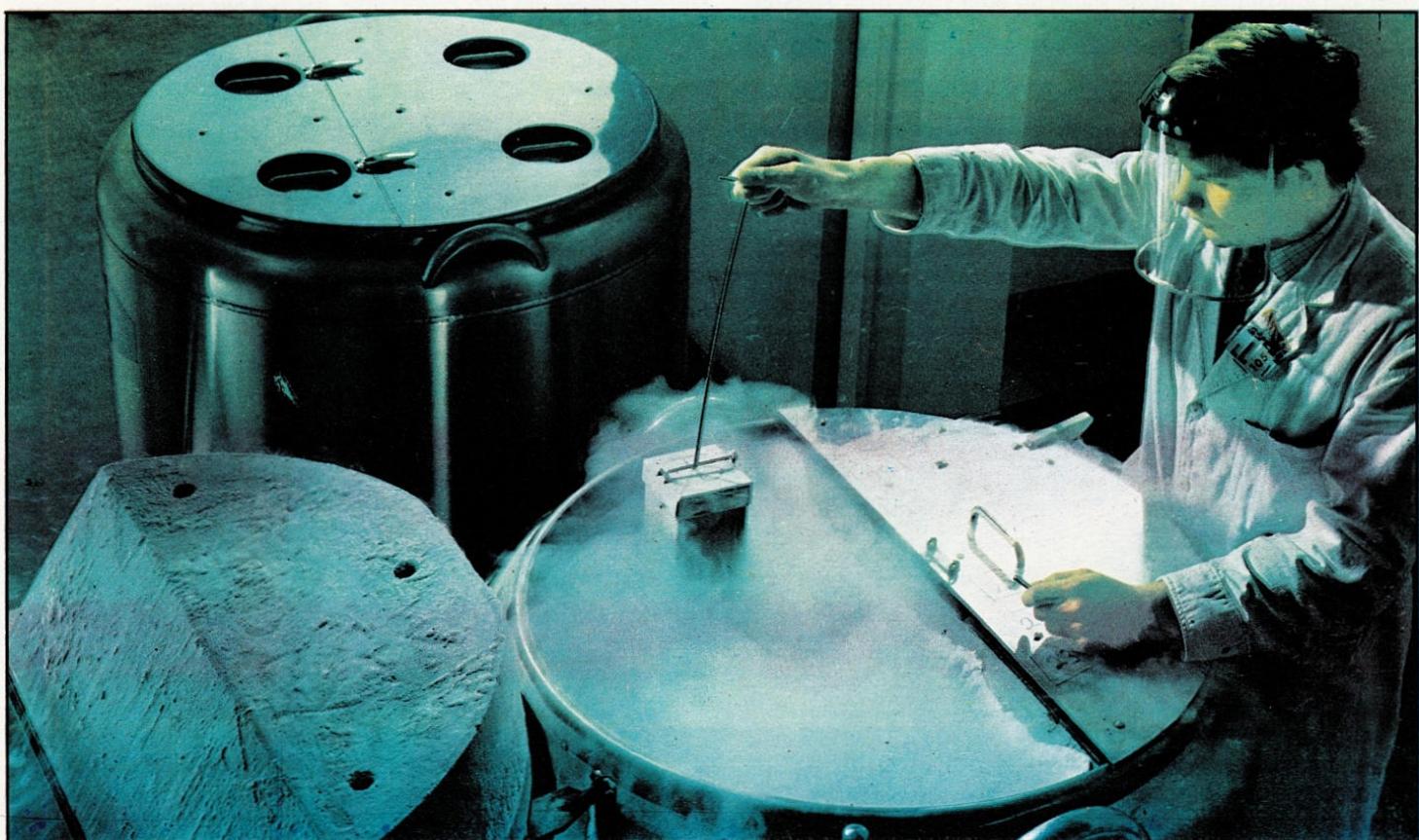


Zum Versprühen der verschiedenen Komponenten von Abfallmaterial wird flüssiger Stickstoff ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) verwendet.



**Oben:** Reparaturen an Pipelines, in denen sich Flüssigkeiten oder Gas befinden, können wesentlich vereinfacht werden, indem flüssiger Stickstoff zu einem Verschlußstopfen gefroren wird. Dadurch wird die defekte Stelle vorübergehend abgedichtet, und die Reparaturen können durchgeführt werden.

**Unten:** Radioaktive organische Verbindungen werden in flüssigem Stickstoff aufbewahrt. Damit verringert man den Einfluß der radioaktiven Strahlung auf die chemische Zersetzung der Substanz. (Der radioaktive Zerfall ist von der Temperatur unabhängig.)



## TINTE

Es gibt Tinten jeder einzelnen Farbe des Grundspektrums in hundert verschiedenen Schattierungen — und trotzdem werden immer weitere Nuancen der Schreib- und Druckfarben entwickelt.

Das älteste uns erhalten gebliebene Schriftstück ist eine ägyptische Papyrusrolle aus dem Jahre 2500 v. Chr. Seit dieser Zeit hat die Entwicklung von Tinten zu einer bedeutenden Technologie der modernen Druckfarben geführt. Führende Herstellerfirmen beschäftigen sich mit eigenen chemischen Forschungen, um mit den Anforderungen der Druckindustrie Schritt halten zu können.

### Die ersten Tinten

Die ersten Tinten wurden durch Auflösen des in Form von Lampen- oder Kaminruß auftretenden Kohlenstoffs in Wasser oder in Ölen hergestellt. Neben dieser schwarzen Tinte gab es in Ägypten auch schon rote Tinte. Im 3. Jahrhundert vor Chr. wurde die Eisengallus-Tinte erfunden, die durch Abkochen von Galläpfeln (Gewebewucherungen, die besonders an den Blättern der Eiche vorkommen und durch die Maden der Gallwespen hervorgerufen werden) und Eisenvitriol hergestellt wurde. Die Gallusgerbsäure reagierte mit den Salzen und ergab eine schwarze oder braune Lösung. Die Germanen kannten einfache Tinten, die durch das Kochen von Eisen-salzen, Eisenoxiden oder Eisenspänen mit Gerbsäure (Tannin) in wässriger Lösung gewonnen wurden. Dieses Verfahren hielt sich in verbesserter Form bis ins 19. Jahrhundert, als es von aus Kohlenteer hergestellten synthetischen Farben abgelöst wurde.

### Füllhaltertinten

Zum Schreiben benutzte Tinten sind mit löslichen Farbstoffen versetzt und trocknen durch das Eindringen ins Papier und durch Verdunsten des Lösungsmittels. Ihre Herstellung erfolgt durch Hineinröhren der Farbstoffe in das Lösungsmittel, wobei alle unlöslichen Stoffe während oder nach dem Herstellungsverfahren herausgefiltert oder in einer ZENTRIFUGE ausgeschleudert werden.

Bei der modernen blauschwarzen Tinte für FÜLLFEDER-

HALTER wird die durch das Schreiben erzeugte 'Spur' durch den Farbstoff blau gefärbt. Wird nun die Tintenschrift dem Luftsauerstoff ausgesetzt, verblaßt der blaue Farbstoff, und das Metalltannat oxidiert zu einer schwarzen Farbe. Diese Tinte ist dauerhaft und verliert sich nicht von dem Papier durch Verblasen. Waschfeste Tinten sind einfache Lösungen von Farbstoffen in Wasser, dem eine kleine Menge eines Konservierungsmittels beigegeben wurde.

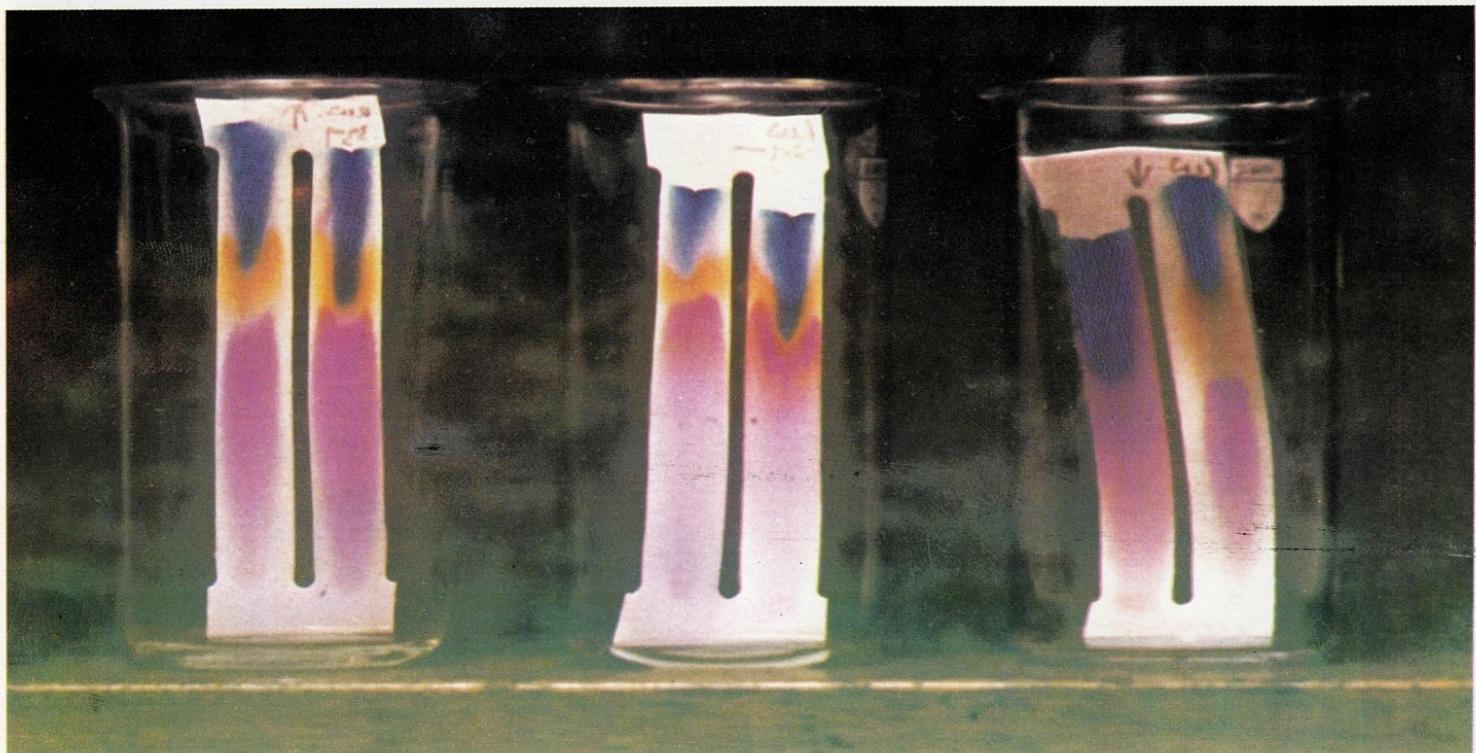
### Tinten für Faserstifte

Die Spitze eines Faserschreibers (Filz-, Leicht- oder Gleitschreiber) besteht aus gebündelten, von einem Kunstharz zusammengehaltenen Chemiefasern, wobei zwischen den einzelnen Fasern ein ausreichender Luftabstand beibehalten wurde, damit die Tinte infolge der Kapillarwirkung hindurchfließen kann. Die der normalen Füllhaltertinte ähnliche Filzschreibtinte enthält einen hohen Anteil eines Anfeuchters, damit ein Verstopfen der feinen Kapillaren durch ausgetrocknete Tinte vermieden wird.

### Kugelschreibtinten

Im KUGELSCHREIBER wird die dickflüssige Tinte durch Abrollen einer kleinen Metall- oder Kunststoffkugel mit einem Durchmesser von 0,7 mm bis 1,0 mm auf das Papier übertragen. Wegen der geringen Größe der Kugel und des Abstandes zwischen der Kugel und ihrem Gehäuse ist die auf das Papier übertragene Tintenmenge nur gering. Aus diesem Grunde enthält die Tinte einen großen Anteil an Farbstoffen, damit eine lesbare 'Spur' entsteht. Die in der Ersatzmine eines kleinen Kugelschreibers enthaltene Tintenmenge reicht dazu aus, einen fortlaufenden Strich mit einer Länge von 1 500 m bis 2 000 m zu ziehen, während man mit der gleichen Menge einer Füllhaltertinte nur einen Strich von 80 m bis 100 m Länge ziehen könnte. Um zu verhindern, daß die Tinte auf

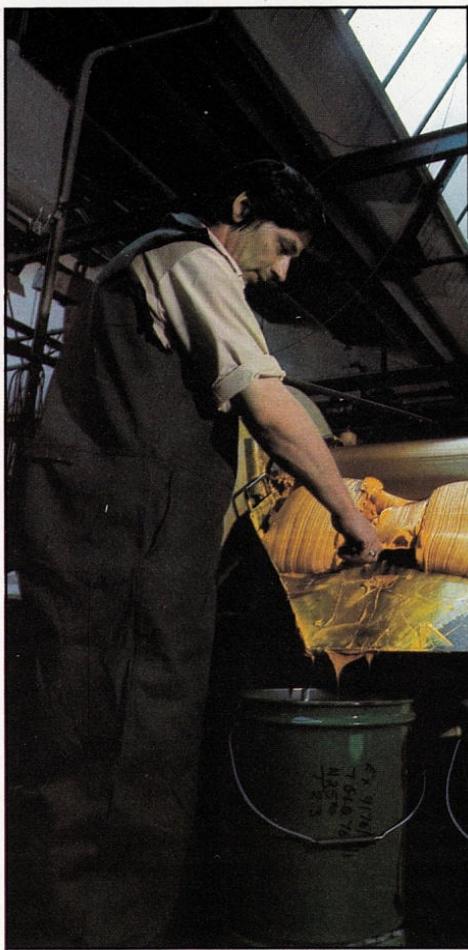
**Unten:** Überprüfung der Farbzusammenstellung schwarzer Tinte mit Hilfe der Papier-Chromatographie. Diese schwarzen Tinten bestehen aus drei Farbstoffen, die sich auf einem löschenpapierähnlichen Papierstreifen absetzen, der in einer in den unteren Teil des Behälters eingebrachten Tintenlösung steht.



**Rechts:** Hier werden die farblichen Eigenschaften anhand von Probefräden kontrolliert.

**Unten:** Zur Herstellung von Druckfarben wird noch stark von der dreifachen Walzmaschine Gebrauch gemacht. Nach dieser traditionellen Methode werden die Druckfarben verteilt und zu einer Art Paste vermisch, die anschließend durch Walzen geführt wird. Auf diese Weise können die Pigmentteilchen bis auf eine Größe von 4 Mikrometer ( $1 \mu\text{m} = 1 \text{ Millionstel Meter}$ ) zermahlen werden.

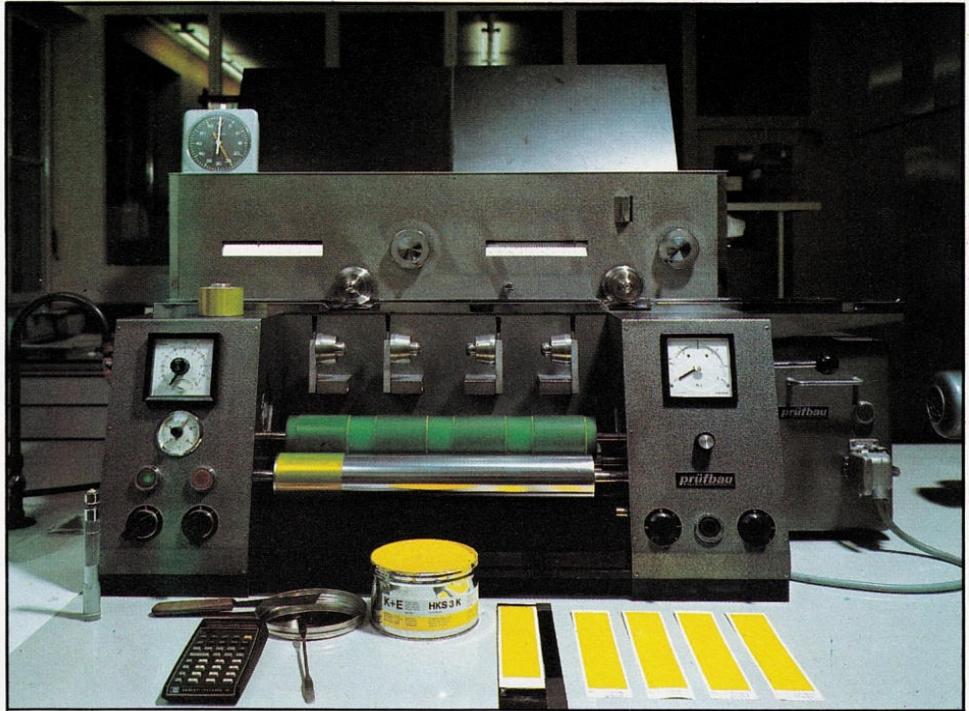
COATES



der Kugelspitze antrocknet und Festkörperchen die Kugel in ihrem Gehäuse festklemmen, wird die Tinte mit sehr langsam trocknenden Lösungsmitteln hergestellt und vor dem Einfüllen sorgfältig gefiltert. Da die Abmessungen der Konstruktionsteile von einem Kugelschreibertyp zum anderen unterschiedlich sind, müssen auch die Kugelschreibertinten auf die zu befüllenden Kugelschreiberminen abgestimmt sein.

### Druckfarben

Druckfarben werden nach den verschiedensten Gesichtspunkten, wie zu bedruckendes Material, anzuwendendes Druckverfahren, Trocknungsverfahren, Art der Druckerpresse, erforderliche Unveränderlichkeit der Farbe, Dauer der allgemeinen Haltbarkeit usw., zusammengestellt. Die zu bedruckenden Stoffe reichen von einer Vielfalt an Papierarten über Zellglas bis hin zu Stahl. Die drei Haupt-Druckverfahren sind der Buchdruck, ein Verfahren, bei dem die Druckfarbe durch erhabene Elemente auf das Papier übertragen wird;



der Tiefdruck, bei dem die druckenden Elemente durch Ätzen und Gravieren tiefgelegt sind, und der Flachdruck, ein Verfahren, bei dem die druckenden und die nichtdruckenden Elemente in derselben Ebene liegen, wobei die druckenden Teile durch chemische Behandlung wasserabstoßend gemacht werden und sich mit Druckfarbe einfärben lassen. Die nichtdruckenden Teile werden fettabstoßend gemacht und nehmen folglich keine Druckfarben an. Die beim Hochdruck angewandten Methoden lassen sich wiederum, ungefähr in fallender Reihenfolge und entsprechend der Arbeitsgeschwindigkeiten der verwendeten Pressen, in Druckverfahren zur Herstellung von Zeitungen, Illustraten, Büchern und Geschäftsdruk-sachen (Akzidenzdruck) einteilen.

Druckfarben gehen bei der Lagerung in den Gelzustand über und müssen durch mechanische Bewegung verflüssigt werden können. Sie dürfen sich nicht verfestigen, während sie in der Presse sind, was mehrere Stunden dauern kann. Zu allen Druckverfahren gehört, daß Teile der Maschine gegen den zu bedruckenden Gegenstand gedrückt werden, weshalb eine zu dünnflüssige Druckfarbe herausquellen und Verschmierungen der gedruckten Schrift bzw. Abbildungen bewirken kann. Solche Erscheinungen werden durch eine Viskositätskontrolle vermieden. Die aufgetragene Druckfarbschicht ist dünn, was wiederum bedeutet, daß die Druckfarbe einen großen Anteil an Pigmenten besitzen muß. Hieraus ergibt sich, daß Druckfarben im allgemeinen viel konzentrierter als Schreibtinten sein müssen — jedoch unterscheiden sich Druckfarben und Schreibtinte noch in mancher Hinsicht voneinander.

Die benutzten Pigmente sind im Grunde die gleichen, jedoch ändert sich der flüssige Teil der Tinte bzw. Farbe (d.h. der Pigmentträger) je nach Art der Verwendung. Es werden diverse Natur- oder Kunsthärze, Trockenöle und häufig auch Lösungsmittel benutzt. So sind z.B. Akzidenzfarben zum Bedrucken von Geschäftspapier, Fahrscheinen usw. dickflüssig und trocknen nur langsam. Der verwendete Pigmentträger ist dann ein Gemisch aus Mineralöl, Kunsthärz und Lithofirnis (besonders behandeltes Leinöl). Andererseits kann für den Zeitungsdruck einfaches Mineralöl benutzt werden, weil das zu bedruckende Papier saugfähiger ist und auf viel schnelleren Druckmaschinen verarbeitet wird.

Für Tiefdruckverfahren benutzte Farben dürfen nicht zu klebrig sein, da die überflüssige Farbe durch ein Stahllineal



*Eine Vorrichtung zur Prüfung der Dichte von Kugelschreiber-tinten. Die Tinte muß in einer einem wirklichen Kugel-schreiber entsprechenden Vorrichtung geprüft und ihre Dichte dabei festgestellt werden, da jeweils nur ein geringer Teil dieser Tinte an der Kugelführung (Kugelge-häuse) vorbeifließt.*

(Rakel, Rakeltiefdruck) oder durch eine Wischvorrichtung (Stichtiefdruck) von den eingefärbten Druckformen abgenommen wird, so daß nur die Farbe in den tiefliegenden Druckelementen (Näpfchen) verbleibt. Auch dürfen Tiefdruckfarben nicht mit Spuren von Säuren, wie sie beim Ätzen (siehe GRAVIEREN UND ÄTZEN) benutzt werden, reagieren, während andererseits die feingemahlenen Pigmente so 'weich' sein müssen, daß der Kupferzylinder (Presseur) nicht zerkratzt wird. Für den Flachdruck (Offsetdruck, Steindruck, Lichtdruck u.a.) benutzte Farben dürfen nicht wasserlöslich sein, da sie sonst in den nicht zu bedruckenden Teil eindringen.

Rauhes Papier saugt mehr Druckfarbe auf als glattes Papier. Eine bestimmte Menge farbiger Druckfarbe ist nicht so ergiebig wie schwarze Druckfarbe (Druckerschwärze), weshalb die Ausbeute je nach Farbe verschieden ist. Es gibt so viele Schattierungen einzelner Druckfarben, daß bisher noch keine zufriedenstellende Methode zu ihrer Einteilung festgelegt werden konnte. Die jeweils 'passende' Farbe findet man durch optischen Vergleich oder mit Hilfe eines Spektroskops.

Die meisten Druckfarben trocknen teilweise durch Eindringen in das bedruckte Material, teilweise durch die Reaktion eines Öles oder eines Harzes mit dem Luftsauerstoff. Jedoch gibt es auch hier viele Abweichungen. Bei mit hohen Geschwindigkeiten arbeitenden Druckmaschinen werden häufig heißtrocknende Farben ('Heat-set-Farben') benutzt. Sie trocknen unter Wärmeeinwirkung aus und werden demzufolge anstatt mit Trockenölen mit Lösungsmitteln, die bei hohen Temperaturen verdampfen, hergestellt. Einige dieser Farben enthalten auch Polyvinylchlorid (PVC). Kaltrock-

nende Farben ('Cold-set-Farben') werden bei verhältnismäßig hohen Temperaturen aufgetragen und trocknen beim Abkühlen aus. Unter Dampfeinwirkung trocknende Farben trocknen durch Niederschlagsbildung. Statt eines Trockenöles enthält der Pigmentträger ein Glycol-Lösungsmittel und ein in Wasser lösliches Kunstharz, so daß sich der Farbstoff und das Harz beim Absorbieren des Wassers niederschlagen und sich einfach dadurch, daß der Druckraum feucht gehalten wird, auf dem Papier absetzen.

In metallisierten Druckfarben, die zum Bedrucken von Metallen und Verpackungen benutzt werden, befinden sich winzige Metallteilchen in Suspension. Manchmal werden Druckfarben, beispielsweise für den Druck von Banknoten, Schecks und Geschäftsformularen, die maschinell sortiert oder 'gelesen' werden sollen, mit Absicht magnetisiert. Leuchtfarben sind zur Erzielung einer besonderen Helligkeit bzw. für einen durchdringenden Glanz von Farben bestimmt und können zur Haltbarmachung des Lichteffektes beschichtet werden. Einige Druckfarben sind zum Auftragen durch ein Sieb (z.B. Metallsieb beim Durchdruck) bestimmt, während andere elektrostatisch aufgetragen werden, d.h. sie werden mit Hilfe einer elektrischen Ladung durch eine Abdeckung hindurchgezogen. Das Angebot an Druckfarben ist also sehr weit gefächert und wird täglich erweitert.

Druckfarben werden mit unlöslichen Pigmenten gefärbt und müssen nach dem Mischen durch eine Walzvorrichtung geführt werden, damit sich die Pigmente gründlich im Pigmentträger verteilen. Die hierzu erforderliche Maschine besteht aus Walzen, die mit unterschiedlichen Drehzahlen in engen Abständen zueinander umlaufen. Die kleinen Farbteilchen werden so lange zerquetscht und zerrieben, bis sie von dem Öl oder dem jeweiligen anderen Farbstoffträger dicht umhüllt und so klein sind, daß sie keinerlei Verschleiß der Druckflächen verursachen können. Die Mischung wird mehrere Male durch die Walzen geleitet. Während dieses Vorganges — oder im Anschluß daran — können Zusätze (Additive) beigegeben werden.

## TONBANDGERÄT

Abgesehen von den vielen Verwendungsmöglichkeiten in Musik und Unterhaltung erleichtern Tonbandgeräte die Arbeit in vielen Berufszweigen. Journalisten nehmen mit ihnen Interviews auf, Geschäftsleute diktieren Briefe auf Band.

Der dänische Wissenschaftler Valdemar Poulsen (1869 bis 1942) führte im Jahre 1898 die erste magnetische Speicherung mit einem 'Telegraphon' vor. Allerdings dauerte es noch 50 Jahre, bis daraus ein brauchbares Tonbandgerät wurde. Poulsen speicherte die Signale auf Stahldraht, spätere Maschinen arbeiteten mit flachem Stahlband. Solche Materialien waren schwierig zu handhaben, da die Speichereigenschaften nicht günstig waren. In Deutschland entwickelte man vor dem Zweiten Weltkrieg ein brauchbares Material zur Magnetspeicherung. Es bestand aus einer dünnen Schicht Eisenoxid, die auf Papierstreifen aufgebracht war. Einige Jahre später ersetzte man den Papierstreifen durch einen Plastikfilm: Damit hatte man das erste MAGNETBAND geschaffen.

Grundsätzlich wird die Abwickelpule des heute 6,25 mm breiten Bandes auf den linken Bandteller gesetzt und das lose Ende an den Magnetköpfen entlang zur leeren rechten Aufwickelpule geführt. Die Geschwindigkeit, mit der sich das Band von der einen zur anderen Spule bewegt, wird nicht von den Umdrehungen der Aufwickelpule bestimmt, sondern von einer Treibrolle, die mit konstanter Geschwindigkeit von einem Elektromotor angetrieben wird. Das Band wird zwischen die Treibrolle und eine Andruckrolle gepreßt und auf diese Weise von der Abwickelpule heruntergezogen.

Alle Tonbandgeräte arbeiten nach dem elektromagnetischen Prinzip, das auf der Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und magnetischen Feldern beruht. Die vom MIKROFON, PLATTENSPIELER oder RADIO zur Aufnahme abgegebenen Signale sind schwache elektrische Ströme, deren Größe abhängig von der Intensität des ursprünglichen Schalls ist. Die

Frequenz des Stromes wird von der Tonhöhe des Schallsignales bestimmt. Das elektrische Signal durchläuft einen Verstärker, der am Ausgang mit einer Spule abgeschlossen ist. Die Spule sitzt auf einem Ringkern aus weichmagnetischem Material; der Ringkern besitzt an der Bandseite einen sehr schmalen Luftspalt. Den Elektromagneten nennt man Sprechkopf. Durchfließt der Sprechwechselstrom die Spule, wird ein elektromagnetisches Feld erzeugt, das in Intensität und Frequenz dem Schallsignal entspricht. Die magnetischen Feldlinien konzentrieren sich im Luftspalt, an dem das Band vorüberläuft. Auf dem Band wird der augenblickliche Zustand des Magnetfeldes durch entsprechende Ausrichtung der Eisenoxid-Teilchen festgehalten—jedes Teilchen verhält sich wie ein winziger Magnet, dessen einmal eingenommener Zustand lange erhalten bleibt.

Zum Abhörvorgang wird das Band an einem Wiedergabekopf vorbeigeführt. Dies ist ein Elektromagnet, der in seinem Aufbau dem Sprechkopf gleicht. Tatsächlich wird in den meisten Heimgeräten derselbe Kopf zur Aufnahme und Wiedergabe benutzt; man nennt ihn Tonkopf.

Das Magnetfeld auf dem Band induziert eine Spannung in der Spule des Wiedergabekopfes, die dann verstärkt und zum LAUTSPRECHER oder zu Kopfhörern geführt wird. Die vom Band gelieferten Signale sind ein getreues Abbild des ursprünglich aufgenommenen Schallsignales.

Eine neu gekaufte Bandspule wird in vollkommen entmagnetisiertem Zustand geliefert, d.h. die Magnetteilchen liegen ungeordnet im Bandmaterial. In diesem Zustand sollte sich auch das Band befinden, wenn es den Aufnahmekopf erreicht. Damit dies gewährleistet ist, besitzen alle Tonbandgeräte einen Löschkopf, an dem das Band vorüberziehen muß, bevor es den Aufnahmekopf erreicht.

Ursprünglich wurde an dieser Stelle ein kleiner Permanentmagnet zur Entmagnetisierung eingesetzt; er verursachte jedoch ein zu starkes Bandrauschen. Moderne Löschköpfe werden von einem Strom gespeist, dessen Frequenz über dem Hörbereich liegt. Aufgrund der negativen und positiven

Ein modernes Tonbandgerät von hoher Qualität ist der Grundig TS 1000. Es hat ein 3-Motoren-Deck, und für Trickaufnahmen und Spezialeffekte kann die Bandgeschwindigkeit beliebig variiert werden.



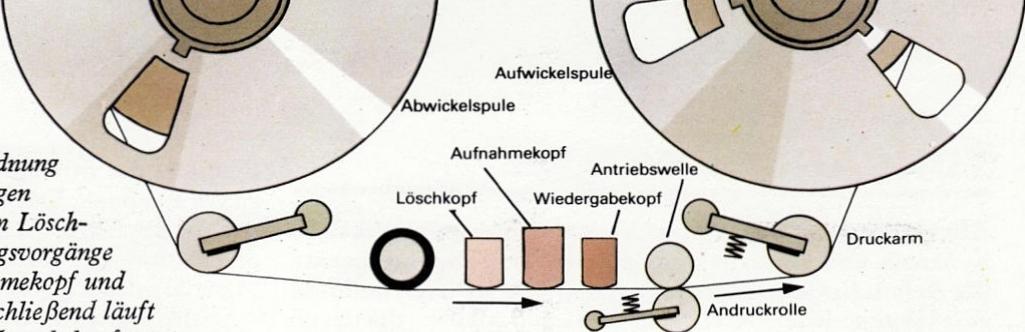
**Rechts:** Der Bandantrieb und die Anordnung der Köpfe bei einem qualitativ hochwertigen Spulenbandgerät. Das Band läuft erst am Löschkopf vorbei, der vorherige Magnetisierungsvorgänge beseitigt. Danach gelangt es zum Aufnahmekopf und wird dort entsprechend magnetisiert. Anschließend läuft es weiter zum Wiedergabekopf. Der Wiedergabekopf setzt beim Spielen das Signal wieder in elektrische Schwingungen um. Über den Druckarm wird das Band dann auf die Spule gewickelt.

Halbschwingungen des hochfrequenten Stromes wird das Band zunächst in einer und dann in der anderen Richtung magnetisiert; auf diese Weise gelangt es wirkungsvoll entmagnetisiert, also gelöscht, zum Aufnahmekopf.

Der OSZILLATOR, der den hochfrequenten Löschstrom erzeugt, hat bei den meisten Tonbandgeräten eine weitere Funktion zu erfüllen. Er muß nämlich den Sprechkopf mit Hochfrequenz vormagnetisieren. Dazu wird ein Teil des hochfrequenten Stromes mit dem Sprechwechselstrom gemischt. Man erzielt damit eine Verringerung der nichtlinearen Verzerrungen, die durch die Hystereseschleife des aufgenommenen Flusses entstehen. Die Löschfrequenz wird gewöhnlich so festgelegt, daß sie wenigstens dreimal so groß wie die höchste auftretende Niederfrequenz, die das Tonbandgerät verarbeiten kann, ist. Gebräuchliche Löschfrequenzen liegen zwischen 50 kHz bis 80 kHz.

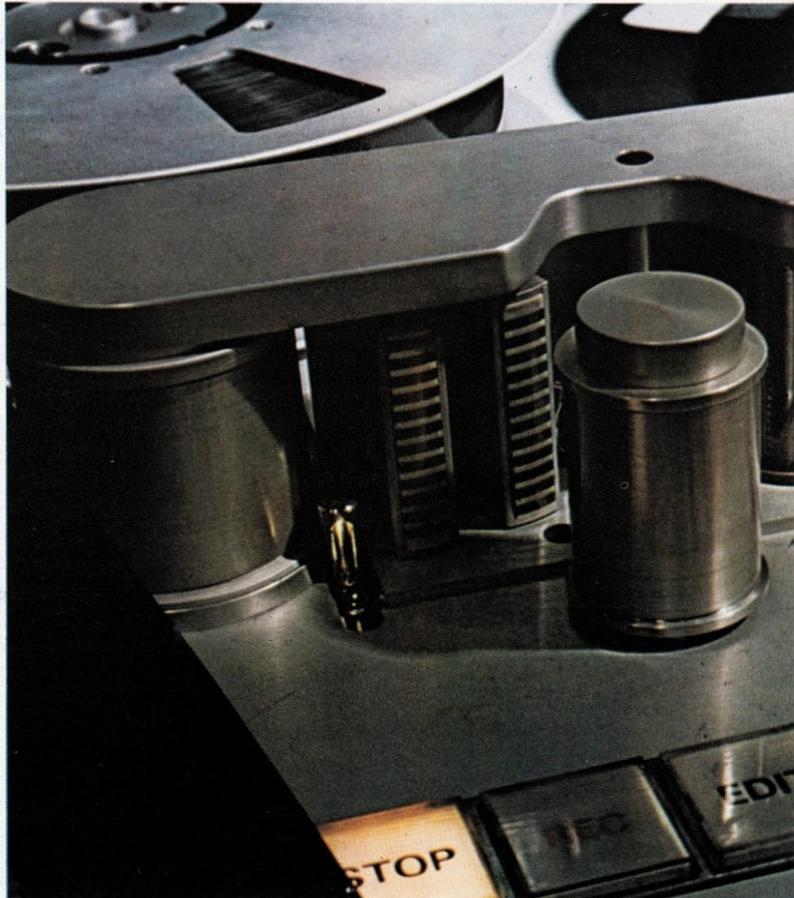
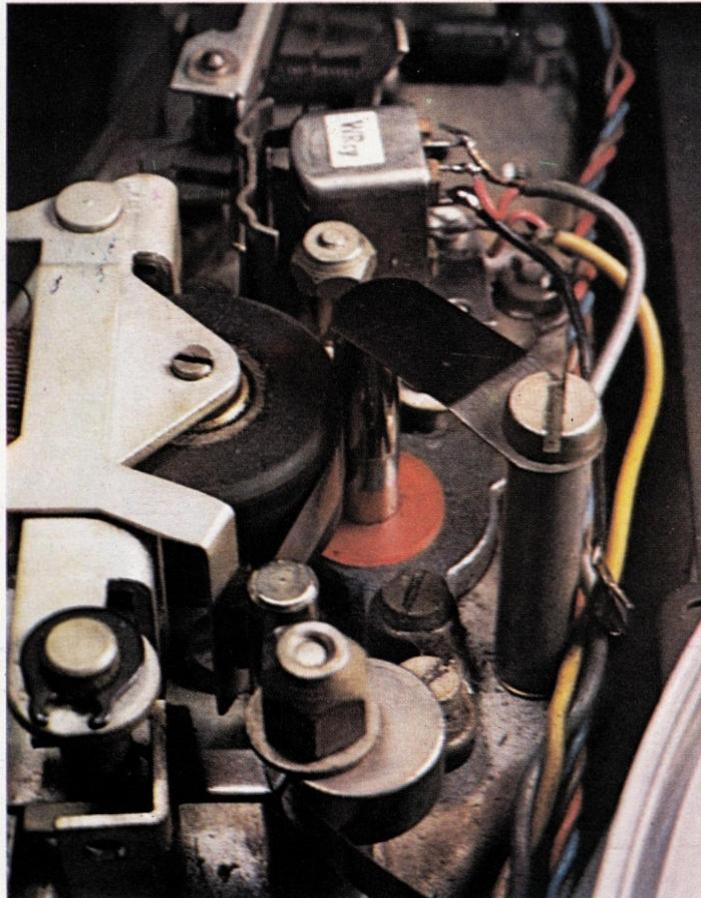
Durch die Einengung des Frequenzbereiches der aufzunehmenden Signale bei niedrigen Bandgeschwindigkeiten wird

**Unten:** Das Foto zeigt den Aufnahmekopf (oben im Bild) mit der Antriebswelle und der Bandandrucksrolle (in der Mitte zu sehen). Beide ziehen das Band am Kopf vorbei. Die mechanische Spannung an der Aufwickelspule ist relativ gering.

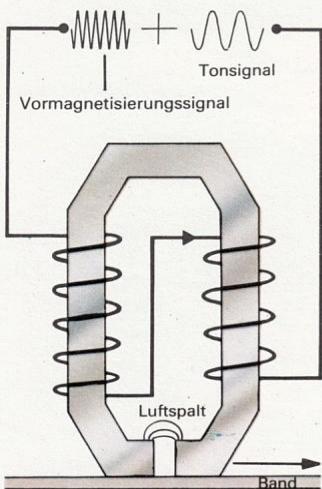


dem Bandgerät eine Grenze in der Wiedergabe hoher Frequenzen gesetzt. Andererseits steigt mit höheren Geschwindigkeiten auch der Bandverbrauch bei gleichbleibender Aufnahmedauer stark an. Zwischen beiden Wirkungen muß ein Kompromiß gesucht werden. Heute gebräuchliche Geschwindigkeiten sind 38 cm/s, 19 cm/s, 9,5 cm/s und 4,75 cm/s. Die höheren Geschwindigkeiten wählt man für qualitativ hochwertige Aufnahmen, die niedrigeren Geschwindigkeiten für einen wirtschaftlichen Bandverbrauch. Die Techniker in Aufnahmestudios arbeiten mit 38 cm/s und sogar 76 cm/s, wohingegen bei Heimgeräten mit weniger hohem technischem Aufwand befriedigende Aufnahmen mit 9,5 cm/s und 4,75 cm/s gemacht werden können. Die Standardgeschwindigkeit eines Kassettenrecorders ist übrigens 4,75 cm/s (siehe unten).

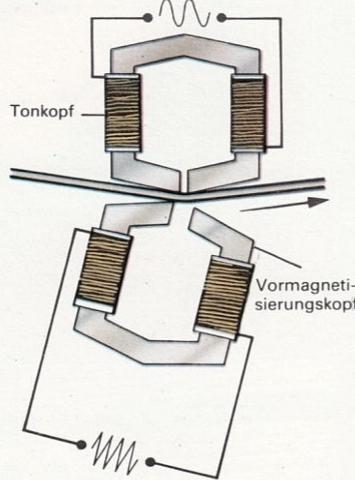
Ein wirtschaftlicher Bandverbrauch wird auch durch Teilung der Breite des Bandes in zwei Aufnahmefelder erreicht. So besitzen beispielsweise die Mono-Halbspurgeräte einen vertikalen Luftspalt, der nur die obere Hälfte des Tonbandmaterials magnetisiert. Der Benutzer kann dann das Band umdrehen und eine zweite Aufnahme auf dem Bandteil speichern, das vorher unten lag. Stereo-Aufnahmen benötigen gleichzeitig zwei Spuren für den rechten und linken Kanal. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sind Stereo-Bandgeräte oft mit Viertelspur-Tonköpfen ausgerüstet. Die Spuren in jeder Richtung sind verschachtelt, so daß die Spuren 1 und 3 für den linken und rechten Kanal in einer Richtung und die Spuren 2 und 4 dann gelten, wenn man das Band wendet.



HERKÖMMLICHER AUFNAHMEKOPF



AKAI-CROSSFIELD-KOPF



**Oben:** Zwei unterschiedliche Verfahren zur hochfrequenten Vormagnetisierung des Tonbandes. Beim bisherigen Verfahren werden Hochfrequenz- und Tonsignal gemeinsam dem Aufnahmekopf zugeführt. Im Gegensatz dazu besitzt das Akai-Crossfield-System zur Vormagnetisierung einen getrennten Kopf. Auf diese Weise ist es möglich, eventuell auftretende Tonverzerrungen zu verringern.

**Unten links:** Die Köpfe dieser Bandmaschine in einem Studio besitzen zwölf Spuren. Nach vollendeter Aufnahme werden die zwölf Spuren auf zwei für Stereo und auf vier für Quadraphonie heruntergemischt.

**Unten rechts:** Ein abgedeckter 2-Spur-Stereo-Tonkopf von der Bandseite her gesehen. Die Bänder und der Luftspalt sind bei professionellen Bandmaschinen breiter als bei Heimtonbandgeräten.

und in umgekehrter Richtung laufen läßt.

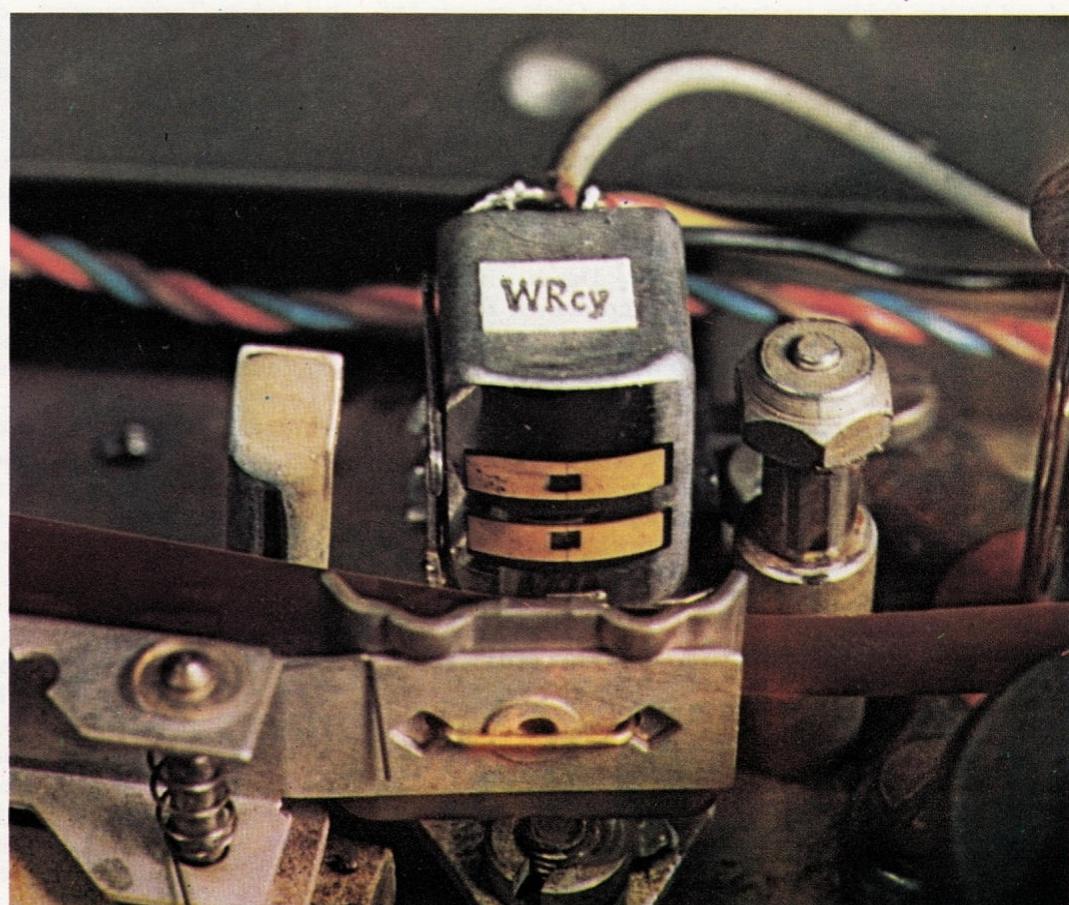
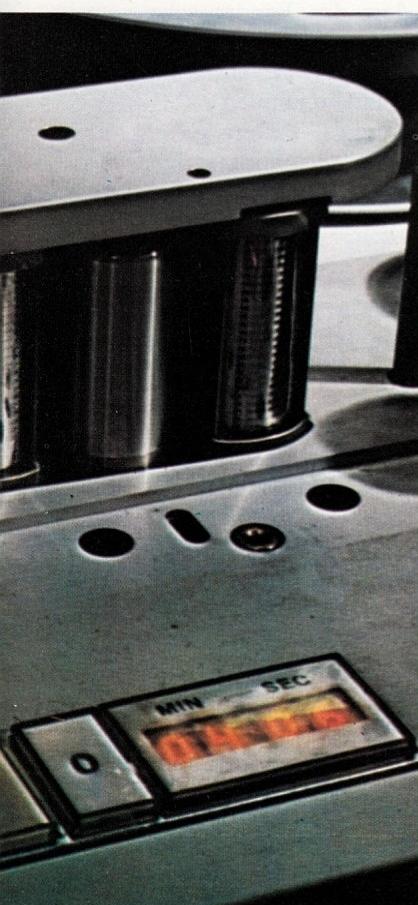
Ein Vorzug der Bandaufnahmen gegenüber anderen Schallspeichern ist die Leichtigkeit, mit der Bänder geschnitten und damit Aufnahmen geändert werden können.

Bei der im allgemeinen angewandten Schneidetechnik wird jedes der beiden Enden, die zusammengefügt werden sollen, mit einem Rasierblatt oder einer Schere durchschnitten. Man muß dazu Messingscheren benutzen, denn Stahlscheren beeinflussen unter Umständen die Magnetisierung des Bandes. Den Schnitt mit einer magnetisierten Schere erkennt man später am hörbaren Klickgeräusch während des Abhörvorganges. In der Regel bevorzugt man einen Schnitt mit einer Schräge von 45°. Dadurch erhält man anstelle eines hörbaren Störgeräusches an der Schnittstelle gleichmäßig weiterlaufende Hintergrundgeräusche. Hat man praktische Übung, so lassen sich Musikdarbietungen bis auf einzelne Noten genau schneiden; Sprache kann bis zur Silbengenauigkeit geschnitten werden. Bei Konzertaufnahmen schneiden routinierte Tontechniker Fehler aus der Erstaufnahme und fügen Verbesserungen ein, so daß die endgültige Aufnahme sich perfekter anhört als die tatsächliche Konzertaufführung — eine Praxis, die viele Musikliebhaber mißbilligen. Trotz der beschriebenen Maßnahmen läßt sich der Schnitt feststellen, wenn die Bandaufnahme über Kopfhörer sorgfältig abgehört wird; oftmals läßt sich auch ein Unterschied im Dynamikpegel der Aufnahme erkennen.

### Kassettenrecorder

Viele Leute störte das Einfädeln des losen Bandendes. Man versuchte daher auf verschiedenste Weise, Bandkassetten herzustellen. Inzwischen haben sich zwei Formate durchgesetzt: das Kassettenformat und das Cartridge-System.

Im Jahre 1963 brachte die Firma Philips ein neuartiges, batteriebetriebenes Tonbandgerät heraus, mit dem nur Kompakt-Kassetten abgespielt werden konnten. Das Band war statt 6,25 mm nur 3,81 mm breit und vollständig in einem





Mit diesem Tonbandgerät werden Fledermäuse aufgespielt. Die Einheit links fängt die unhörbaren Ultraschall-Geräusche auf, die von Fledermäusen ausgehen. Sie werden dann hörbar gemacht und aufs Tonbandgerät übertragen.

100 × 64 × 9 mm<sup>3</sup> großen Gehäuse eingeschlossen. Der Benutzer brauchte nur noch die Kassette in einen entsprechend breiten Schlitz zu stecken, und das Gerät war zur Aufnahme oder Wiedergabe bereit. Die langsame Bandgeschwindigkeit von 4,75 cm/s wurde ausgewählt, um für eine gegebene Aufnahmedauer den Bandverbrauch und damit auch die Abmessungen der Kassette gering zu halten.

Die Tonqualität überraschte auch die Kritiker. Dieses System wurde bald eine ernsthafte Alternative zur Schallplatte. Die ersten Kassettenrecorder waren zwar monophone Halbspurgeräte, das System war aber von Anfang an für Viertelsspuren-Stereoaufnahmen gedacht. Durch Umordnung der Spuren erreichte man sogar Kompatibilität für Mono/Stereo-Aufnahmen. Statt der verschachtelten Spuren 1, 3 und 4, 2, wie es bei normalen, offenen Bandmaschinen für das linke und rechte Stereo-Signal üblich ist, wurden beim Kompakt-Kassetten-System die benachbarten Spuren 1, 2 und 4, 3 benutzt. Man zählt bei der Kassette die Spuren von unten nach oben. Auf diese Weise kann ein Mono-Tonkopf in Halbspurtechnik gleichzeitig die beiden Spuren abtasten und ein annehmbares Summensignal in Mono wiedergeben.

Wegen der langsamen Geschwindigkeit und der sehr knappen Spurbreite der Bandkassette ist die Tonqualität begrenzt. Man hat eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um diese Einschränkungen aufzuheben, und tatsächlich eine sehr gute Qualitätssteigerung durch weiterführende Forschungsergebnisse erreicht. Besondere Bandmaterialien wie Chromdioxid sind zur Verbesserung des Hochfrequenzverhaltens entwickelt worden. Neue Techniken wurden gefunden, mit deren Hilfe das Hintergrundrauschen, das von der Körnerstruktur der magnetischen Schicht verursacht wird, stark abgeschwächt werden konnte. Von allen Systemen, die man zur Rauschunterdrückung erdachte, ist das *Dolby-System* das

erwähnenswerteste. Eine komplizierte Schaltung findet leise klingende Komponenten aus der Musikaufnahme heraus und verstärkt sie kräftig auf einen Pegel bis zu 10 dB. Während der Wiedergabe sucht sich die Schaltung die niedrigen Pegel wieder heraus und senkt sie auf die ursprüngliche Lautstärke ab. Die Musik bleibt dadurch unverändert, aber das vom Band erzeugte störende Rauschen wird dem Pegel entsprechend gleichzeitig verringert. Das Dolby-System arbeitet nur bei hohen Tonfrequenzen, da dort das Bandrauschen am störendsten empfunden wird. Viele Musik-Kassettenhersteller liefern nur Kassetten, die nach diesem Verfahren bespielt wurden. Professionell hergestellte Bandaufnahmen auf Mutterbändern werden an Aufnahmestudios weitergegeben, die heute fast immer mit Rauschunterdrückungssystemen arbeiten, um das Signal/Rauschverhältnis der endgültigen Aufnahme zu verbessern.

### 8-Spur-Kassettengeräte

Das andere einfach zu handhabende System besitzt eine achtspurige Kassette. Sie wurde im Jahre 1965 in Amerika eingeführt und war hauptsächlich für den Gebrauch in Autos bestimmt. Das Tonband ist 6,25 mm breit, die Bandgeschwindigkeit beträgt 9,5 cm/s. Das Band wird anstatt von einer Spule zur anderen als Endlos-Band in einer fortlaufenden Schleife geführt. Eine weitere Besonderheit sind die acht Spuren; der Stereo-Kopf läßt sich je nach Wunsch zum Abspielen der Spuren 1, 5; 2, 6; 3, 7 oder 4, 8 umschalten. Wenn man die Schalter nicht betätigt, spielt das Gerät automatisch alle vier Programme nacheinander ab. Das System läßt sich leicht auf 4-Spur-Quadrofonie umstellen, allerdings werden dann die vier Programme auf zwei reduziert, und im Auto müssen vier Lautsprecher installiert werden.

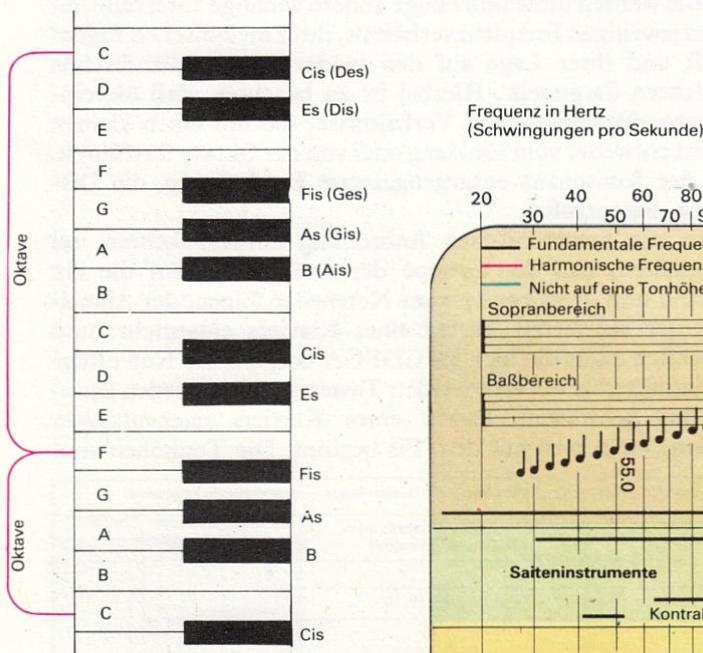
Am Anfang besaßen die 8-Spur-Geräte keine Aufnahmeeinrichtung. Die Kassetten konnte man in Tankstellen und in Musikgeschäften kaufen oder leihen. Inzwischen gibt es Heimgeräte, die aber keinen großen Anklang bei den Käufern gefunden haben. Es sprechen alle Anzeichen dafür, daß dieses System nie eine starke Konkurrenz für das populäre Kompaktkassetten-System werden wird.

## TONSKALEN

Verschiedene Tonskalen (Tonleitern) lassen unterschiedliche Arten von Musik entstehen — so wird z.B. in einem Großteil der orientalischen Musik die pentatonische oder Fünftonleiter (Zigeunertonleiter u.a.) benutzt, während der größte Teil der abendländischen Musik auf der chromatischen Tonleiter beruht, die aus zwölf Halbtönen besteht.

Die von Musikinstrumenten oder der menschlichen Stimme erzeugten Töne besitzen eine bestimmte Höhe (Tonhöhe), eine Eigenschaft, die von der Anzahl der akustischen Schwingungen oder Frequenz abhängt und es uns ermöglicht, Noten

**Unten:** Zwei Oktaven einer Klavier- bzw. Orgeltastenreihe. Die diatonische Durtonleiter kann durch Anschlagen weißer Tasten ab C beginnen, die einfache Molltonleiter kann ebenfalls mit weißen Tasten bei A beginnen und die pentatonische Skala (Fünftonleiter) durch Anschlagen schwarzer Tasten ab Fis einsetzen. Alle Skalen können durch Wählen der geeigneten schwarzen und weißen Tasten mit jeder beliebigen Note beginnen. Die moderne Einstimmung auf den Kammerton legte im Jahre 1939 das A auf 440 Doppelschwingungen fest. Durch Verdoppelung der Spannung einer Klaviersaite wird ein um eine Oktave höherer Ton erzeugt.

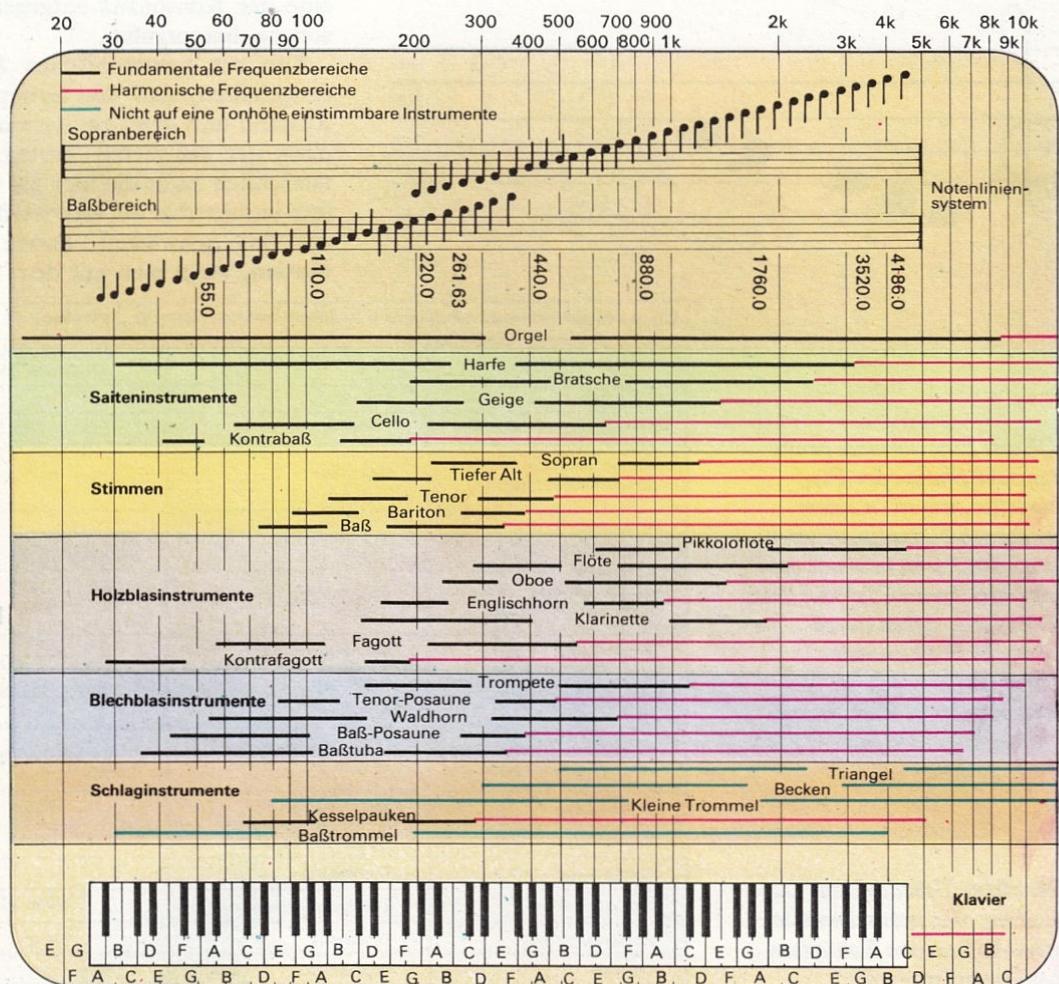


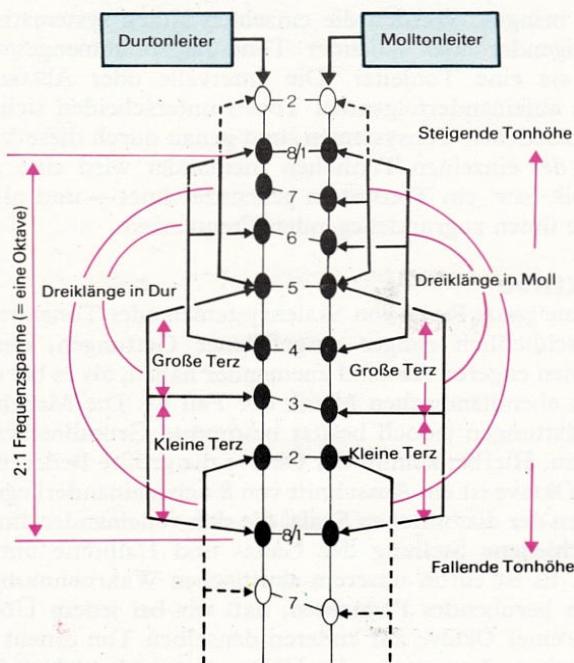
**Rechts:** In dieser Tabelle werden die Frequenzen der die Tonskalen bildenden Noten sowie die Reichweite der von den hauptsächlichen Orchester-Instrumenten und der menschlichen Stimme erzeugten fundamentalen und harmonischen Frequenzbereiche dargestellt. Nicht auf eine bestimmte Tonhöhe einstellbare Instrumente sind solche Instrumente, die in der Regel nur ganz bestimmte Töne hervorbringen.

bzw. Töne entsprechend ihrer Höhe miteinander in Verbindung zu bringen. Werden die einzelnen Noten systematisch nach steigender oder fallender Tonhöhe zusammengesetzt, ergeben sie eine Tonleiter. Die Intervalle oder Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Tönen unterscheiden sich in den verschiedenen Tonsystemen, und genau durch diese Verhältnisse der einzelnen Tonhöhen zueinander wird eine Art von Musik bzw. ein Tonsystem gekennzeichnet — und nicht durch die ihnen zugrundeliegenden Frequenzen.

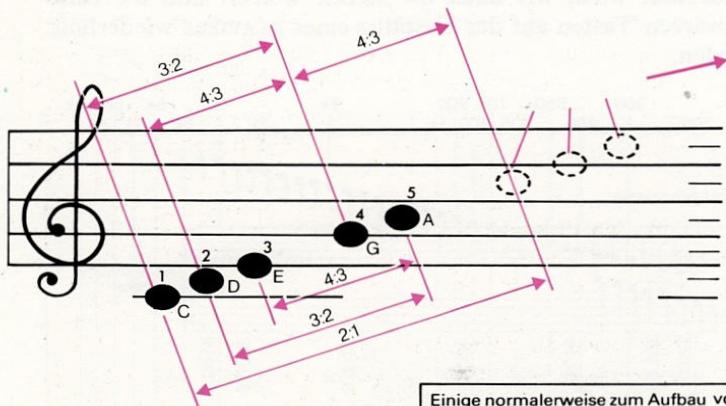
## Die Oktave

Es gibt eine ganze Reihe von Skalensystemen oder Tongattungen, einschließlich einiger ausgefallener Gattungen, deren Noten einen engeren Abstand zueinander haben, als es bei der normalen abendländischen Musik der Fall ist. Die Mehrheit der Tongattungen jedoch besitzt bestimmte Grundintervalle gemeinsam. Hierbei kommt der Oktave die größte Bedeutung zu. Eine Oktave ist ein Ausschnitt von 8 nebeneinanderliegenden Tönen der diatonischen Skala, die sich voneinander durch die verschiedene Stellung der Ganz- und Halbtöne unterscheiden. Es ist ein in unserem akustischen Wahrnehmungsvermögen beruhendes Phänomen, daß wir bei jedem Übergang von einer Oktave zur anderen denselben Ton erneut zu hören glauben, der zwar in der Höhe stärker oder schwächer ausgeprägt ist, aber trotzdem vollkommen in den ursprünglichen, eine Oktave zuvor gehörten Ton übergeht. Diese bei jeder Frequenzverdoppelung auftretende Tonverschmelzung hat bewirkt, daß das eine bestimmte Tongattung umfassende Intervallmuster in sämtlichen Tonsystemen innerhalb einer Oktave untergebracht ist, wobei jedes solche Schema innerhalb der angrenzenden Oktaven auf absolut dieselbe Weise wiederholt wird, wie auch die sieben weißen und die fünf schwarzen Tasten auf der Tastatur eines KLAVIERS wiederholt werden.





**Oben:** Die diatonische Skala kann durch eine ineinander übergreifende Gruppe von Dreiklängen aufgebaut werden, wodurch es zu der im abgebildeten Intervallmuster dargestellten Folge von 8 Noten pro Oktave kommt.



**Oben:** Eine normale pentatonische Skala oder Fünftonleiter, wie sie in einem modernen Notenliniensystem erscheint, wenn man mit dem eingestrichenen C (c') beginnt. Die Noten stehen durch einfache Frequenzverhältnisse (2:1, 3:2, 4:3) miteinander in Verbindung.

**Rechts:** Tabellarische Darstellung der normalerweise zum Aufbau von Tonleitern benutzten Intervalle.

## Pentatonische Skalen

Die Zusammensetzung von Tönen mit Oktavabstand ist ein Beispiel für Konsonanz, ein in weitaus weniger stark ausgeprägter Form wiederholter psychologischer Effekt mit einigen anderen Notenpaarungen. Eine Oktave entspricht einem Frequenzverhältnis von 2:1; jedoch lassen sich auch Noten mit einem Verhältnis von 3:2 oder 4:3 sehr zufriedenstellend zu einfachen Akkorden verbinden. Diese beiden Intervalle bestehen in den meisten Tonleitersystemen gleichzeitig neben der Oktave.

Tatsächlich bilden alle drei zusammen eine vollständige Notenreihe für die allgemeine, nicht nur im Orient gebräuchliche, sondern auch in einem Großteil der uns überlieferten abendländischen Volksmusik nachweisbaren pentatonischen Skala (Fünftonleiter). Sie kann in das moderne Notenliniensystem eingesetzt werden, in dem die verschiedenen Intervalle als Frequenzverhältnisse der höheren Note zur jeweils niedrigeren erscheinen.

Da sich ein mathematisch weniger Begabter nur schwer an solche Verhältnisse erinnern kann, werden die Intervalle von Tönen normalerweise nach ihrem Abstand im Notenliniensystem benannt. Demnach erstreckt sich ein Intervall von 3:2 über einen Tonabstand von fünf möglichen Notenstellen und wird als 'reine Quinte' (oder einfach als 'Quinte') bezeichnet. Das Intervall von 4:3 erstreckt sich über vier Stellungen und ist eine 'reine Quarte' ('Quarte'), während ein Intervallverhältnis von 2:1 acht Notenabstände umfaßt und demzufolge eine 'Oktave' ist. In der am Schluß dieses Artikels angefügten Tabelle werden diese und einige andere wichtige Intervalle mit ihrem jeweiligen Frequenzverhältnis, ihrer melodischen Eigenschaft und ihrer Lage auf den modernen abendländischen Tonleitern dargestellt. Hierbei ist zu beachten, daß die einfachsten mathematischen Verhältnisse, die um einen kleinen Schritt entweder vom Einklang oder von der Oktave fortführen, eine der Konsonanz entgegengesetzte Erscheinung, die Dissonanz, hervorrufen.

Um zur pentatonischen Anordnung zurückzukehren, sei festgehalten, daß die Gruppe der drei Noten, auf die ein Abstand und dann ein weiteres Notenpaar folgen, der Anordnung der schwarzen Tasten eines Klaviers entspricht; und tatsächlich kann die hier als CDEGA dargestellte Notenfolge (die unmittelbar auf den weißen Tasten gespielt werden kann) auf den schwarzen Tasten eines Klaviers nachvollzogen werden, wenn man mit dem Fis beginnt. Die Tonhöhen sind

Bezeichnung	Eigenschaft	Frequenzverhältnis zum jeweiligen Grundton	Abendländische Tonleiter		
			Dur	Moll	Chromatisch
Einklang	Konsonanz	1:1	1	1	1
Chromatischer Halbton	Dissonanz	25:24 oder 19:18	—	—	
Kleine Sekunde (Diatonischer Halbton)	Dissonanz	16:15	—	—	2
Verminderter Ganzton (gedämpfter Ton)	Halb-Dissonanz	10:9	—	—	3
Große Sekunde (verstärkter Ganzton)	Milde Dissonanz	9:8	2	2	
Kleine Terz	Leichte Konsonanz	6:5	—	3	4
Große Terz	Konsonanz	5:4	3	—	5
Reine Quarte	Konsonanz	4:3	4	4	6
Übermäßige Quarte (Verminderte Quinte)	Leichte Konsonanz	7:5 oder 10:7	—	—	7
Reine Quinte	Konsonanz	3:2	5	5	8
Kleine Sexte	Leichte Konsonanz	8:5	—	6	9
Große Sexte	Konsonanz	5:3	6	—	10
Kleine Septime	Leichte Konsonanz	7:4 oder 9:5	—	7	11
Große Septime	Dissonanz	15:8	7	—	12
Oktave	Konsonanz	2:1	8	8	13

unterschiedlich, aber weil die Intervallverhältnisse beibehalten werden, ist die 'exotische' Tonwirkung die gleiche. Ein Großteil der orientalischen Musik ist pentatonisch (Fünftonmusik).

Tonfolgen (Skalen) wie diese waren im Altertum gebräuchlich und bildeten die Grundlagen für die abendländische Musik. Die Griechen waren von den mathematischen Möglichkeiten der Musik begeistert und versuchten, Tonskalensysteme aufzustellen, die ihren Vorstellungen über Zahlen entsprachen. Ihnen fehlten unsere heutigen Kenntnisse über den Ton mit den zugehörigen Begriffen der Frequenz und der Wellenbewegung; jedoch kannten sie sehr wohl das Verhältnis zwischen Volumen und Tonhöhe bei gezupften Saiten und einfachen Holzblasinstrumenten. Pythagoras (6. Jahrhundert v. Chr.) stellte eine Skala zusammen, in der er eine besondere Betonung auf Intervalle von Quinten legte und nachwies, daß ein von einer Quinte ausgehender Schritt nach oben mit anschließender Quarte einer Oktave ( $3/2 \times 4/3 = 12/6 = 2$ ) entspricht. Dies läßt sich im Notenliniensystem darstellen, wo die Note Nr. 4 im pentatonischen Bereich (G) von der ersten Note (C) aus gesehen eine Quinte und zurückliegend von der abschließenden Note der Oktave (oberes C) eine Quarte ist. Derselbe Vorgang kann umgekehrt werden, indem man die Tonhöhe durch eine Quinte senkt und dann vom unteren zum mittleren C eine Quarte bildet ( $2/3 \times 3/4 = 1/2$ ), wodurch die bei F 'fehlende' Note eingesetzt wird. Solche Vorgehensweisen führen zu schrittweisen Notenabständen im Abstand zwischen einer Quarte und einer Quinte ( $3/2 : 4/3 = 9/8$ ). Nach diesem Ganzton-Verhältnis von 9:8 ging Pythagoras vor, um die komplizierteren Feinheiten seiner Skalen zusammenzustellen.

### Diatonische Skalen

Die offensichtlich unkomplizierte Fünftonleiter enthält nicht nur diese Gruppe von Quarten, Quinten und Ganztönen, sondern auch eine Anzahl weiterer Notenpaarungen, die anderen Frequenzverhältnissen gleichwertig sind. Hierbei kommt den als große Terz und große Sexte bekannten Konsonanzen sowie den ihnen zugehörigen halben oder leichten Konsonanzen Bedeutung zu. Jedoch liegen diese durchaus als Feinheit einzustufenden Intervalle nur annähernd im Oktavraum ohne Halbtonschritte, dessen Ganzton-Stufungen leicht abgewandelt oder getempert werden müssen, um wirkliche Terzen und Sexten zu erhalten. Infolge solcher Angleichungen und wegen der tatsächlichen Erfordernisse einer sich ent-

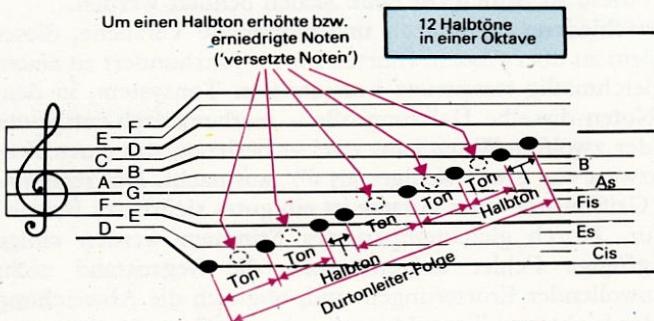
wickelnden Musik ergaben sich allmählich unsere derzeitigen Dur- und Moll-Tonleitern mit acht Stufen als abgeänderte Fassungen der beliebtesten Tonarten des Altertums.

Ebenso wie es für die Zusammensetzung einer Tonskala des Altertums von grundsätzlicher Bedeutung war, daß eine Quarte auf eine Quinte folgen mußte, um drei Noten mit einem einfachen Frequenzverhältnis von 2:3:4 zu erhalten, wurde es bei Skalen der Neuzeit wichtig, daß auf einen aufsteigenden Schritt einer großen Terz eine kleine Terz folgt, um einer Quinte zu entsprechen ( $5/4 \times 6/5 = 3/2$ ). Diese aus drei Noten bestehende Gruppe besitzt ein Frequenzverhältnis von 4:5:6 und wird Dreiklang in Dur genannt (ein Dreiklang ist eine Gruppe von drei Noten bzw. Tönen). Parallel zu diesem Dreiklang liegt der Dreiklang in Moll, bei dem die mittlere Note zur Erzielung des ersten Schrittes in eine kleine Terz (der Anordnung 10:12:15) herabgesetzt (erniedrigt) wird. Ineinander übergreifende Gruppen solcher Dreiklänge bilden einen vollständigen Rahmen für die zwei hauptsächlichen diatonischen (siebenstufigen) Skalen, obgleich es verschiedene alternative Abschlüsse für die Molltonleiter gibt.

Die verschiedenen in der Tabelle aufgeführten konsonanten und leicht konsonanten Intervalle erscheinen in diesen Skalen nicht nur zwischen der jeweils ersten und der bezeichneten Note und innerhalb der Dreiklang-Gruppierungen, sondern auch an anderen Stellen, wo immer verschiedene kleinere Intervalle auf entsprechende Weise zusammenfallen. Wenn also alle Stufen der Durtonleiter genau zusammengefaßt sind, um eine 'richtige Tonführung' zu geben, liegen innerhalb der Oktave 13 Konsonanzen und 4 leichte Konsonanzen. Unser Gefühl für den Schlüssel- oder Grundton in den nach Dur-Tonart geführten Melodien liegt auf gewisse Weise in dieser fortgeschriebenen Anordnung der Konsonanzen begründet. Diese Wirkung tritt bei der Molltonleiter weniger stark in den Vordergrund und geht größtenteils verloren, wenn — wie es bei der atonalen oder Serienmusik der Fall ist — zu viele zusätzliche Stufen hinzugefügt werden. Die Tatsache, daß viele Blechblasinstrumente eine bestimmt Auswahl harmonischer Reihen (einfache Vielfache einer Grundnote) zur Herstellung ihrer Skalen benutzen können, liegt ebenfalls darin begründet, daß viele in der diatonischen Musik benutzten Intervalle diese durch kleine Zahlen ausgedrückten Frequenzverhältnisse besitzen.

### Ganztöne und Halbtöne

Wendet man sich den kleineren Intervallen zu, so stellt man bei den diatonischen Dur- und Moll-Skalen fest, daß die zwei Skalen sieben unterschiedlich zusammengestellte Stufen zweier Größen zwischen aneinander angrenzenden Noten aufweisen. Die größere Stufe ist der bekannte ganze Ton (Ganzton), während die kleinere ungefähr die Hälfte seines Wertes aufweist und als Halbton bezeichnet wird. Wird ein Ganzton mit 'T' und ein Halbton mit 'S' gekennzeichnet, ist die Intervallfolge in einer Durtonleiter TTSTTS, die man durch Anschlagen der weißen Tasten eines Klaviers von der Note C aufwärts erhält. Weil sich die abendländischen Musikinstrumente und die Notenschreibung mit C-Dur als dominierende Tonleiter entwickelten, kann die vorstehende Folge nur durch Hinzufügung weiterer Noten zur Trennung der Ganzton-Intervalle an den erforderlichen Stellen in Halbtöne von anderen Ausgangspunkten her wiederholt werden. Als zuletzt entstandene 'versetzte Noten' (gekennzeichnet durch die Akzidentalen (Akzidentien oder Versetzungszeichen)), die entweder eine etwas nach oben versetzte Abwandlung der tieferen Note oder eine etwas nach unten versetzte Abwandlung der höheren Note bedeuten, haben sie keine wirklich eigene Lage auf der Tastatur oder im Notenliniensystem. Wird das Notenliniensystem neu gezeichnet, um die tatsächlichen Abstände der Noten darzustellen, stellt man fest, daß die acht



**Oben:** Die konventionellen Notenlinien führen zur Verzerrung der wirklichen Intervallverhältnisse zwischen einzelnen Noten. In der Abbildung wurden die Notenlinien zur Darstellung der tatsächlichen Frequenzabstände erweitert, wobei entsprechende Freiräume für die fünf 'versetzten Noten' (denen man normalerweise keine eigenen Stellungen einräumt) gelassen wurden. Auf diese Weise ergab sich die vollständige chromatische Skala von dreizehn Noten.



DAVID REDFERN

von C bis C reichenden und durch einen einfachen Buchstaben gekennzeichneten Noten jetzt in der Reihenfolge TTSTTS angeordnet sind. Nun ist es zufälligerweise so, daß die Grund-Anordnung der Molltonleiter (TSTTSTT) ebenfalls, sofern man bei A beginnt, auf einem mit Tastenfeld ausgerüsteten Instrument gespielt (oder in ein konventionelles Notenliniensystem eingetragen) werden kann, ohne daß Erhöhungen oder Erniedrigungen um einen Halbton erforderlich sind. Jedoch verlangt jede andere als Grundton verwendete Note wiederum die Benutzung von Akzidentalen zur Herstellung der richtigen Skalenfolge.

### Chromatische Skala

Mit der Weiterentwicklung der abendländischen Musik ergab sich die immer stärker hervortretende Notwendigkeit, zwischen Dur- und Moll- Tonarten und von Tonlage zu Tonlage zu wechseln und zur 'Färbung' und 'Dehnung' zusätzliche Noten aufzunehmen, so daß schließlich alle fünf um einen Halbton erhöhten bzw. um einen Halbton erniedrigten Noten allgemein gebraucht wurden und zu insgesamt 12 Halbtönen (13 Noten) innerhalb einer jeden Oktave führten. Bei frei veränderlichen Instrumenten — etwa der menschlichen Stimme oder der Geige — ergeben sich hieraus keine Probleme; jedoch bringt das Festlegen einer Tonlage durch Stimmen — besonders bei mit einer Tastatur ausgestatteten Instrumenten — wegen geringfügiger mathematischer Unregelmäßigkeiten in den 'richtigen' diatonischen Skalen Probleme mit sich. Um ihre richtige Gesamtstruktur zu erreichen, schließt die Hauptskala tatsächlich zwei leicht unterschiedliche Größen ganzer Töne zwischen ihren einzelnen Noten ein: die ursprüngliche Stufung von 9:8 nach Pythagoras und eine kleinere von 10:9. Außerdem werden die diatonischen Halbtöne durch zwei ziemlich kleinere Stufungen verbunden, wenn chromatische (außerhalb des

*Elektronische Synthesizer sind für moderne Rock- und Jazzbands unentbehrlich geworden. Synthesizer können Töne von der höchsten bis zur tiefsten Oktave produzieren und dabei alle Tonskalen benutzen.*

eigentlichen Systems liegende) Noten durch Aufteilung der Ganztöne hinzugefügt werden. Somit eignet sich keine der Ganz- oder Halbtongrößen genau zum Einsetzen der zusätzlichen fünf Noten, während die Hinzunahme solcher Noten andererseits zu Fehlern in den vorhandenen Abständen führt, wenn diese als Stufen für neue Skalen benutzt werden.

Verschiedene schon früh unternommene Versuche, dieses Problem zu überwinden, führten im 18. Jahrhundert zu einem als gleichmäßig temperiert bezeichneten Tonsystem, in dem alle Noten dieselbe Halbtongröße — mathematisch entspricht dies der zwölften Wurzel aus zwei — besitzen, was einen Frequenzwert von etwas weniger als 6% ausmacht. Das regelmäßige Griffmuster einer Gitarre ist ein gutes sichtbares Beispiel hierfür. Durch gleichtemperiertes Stimmen werden einige geringfügige Fehler aufgenommen, die Gegenstand nicht endenwollender Erörterungen sind, obgleich die Abweichung von der 'richtigen' Tonbildung nur knapp über 1% liegt.

Beim Musizieren, das nicht durch eine Tastatur oder starr gestimmte Instrumente in bestimmten Grenzen gehalten wird, tendieren die gewählten Intervalle zu den in den 'richtigen' Skalen enthaltenen Werten. Wie die Noten auch immer temperiert sein mögen: Man kann zum Aufbau jeder aus Halb- oder Ganztönen bestehenden Skala, wie z.B. der diatonischen Dur- und Mollskala, der pentatonischen und der Ganzton-Skala, der 12-Ton-Sefienskalen usw., nach der modernen chromatischen Skala mit 12 Tonstufen pro Oktave vorgehen — und dabei mit jeder beliebigen Tonstufe beginnen.



# Erfindungen 55: LOKOMOTIVE

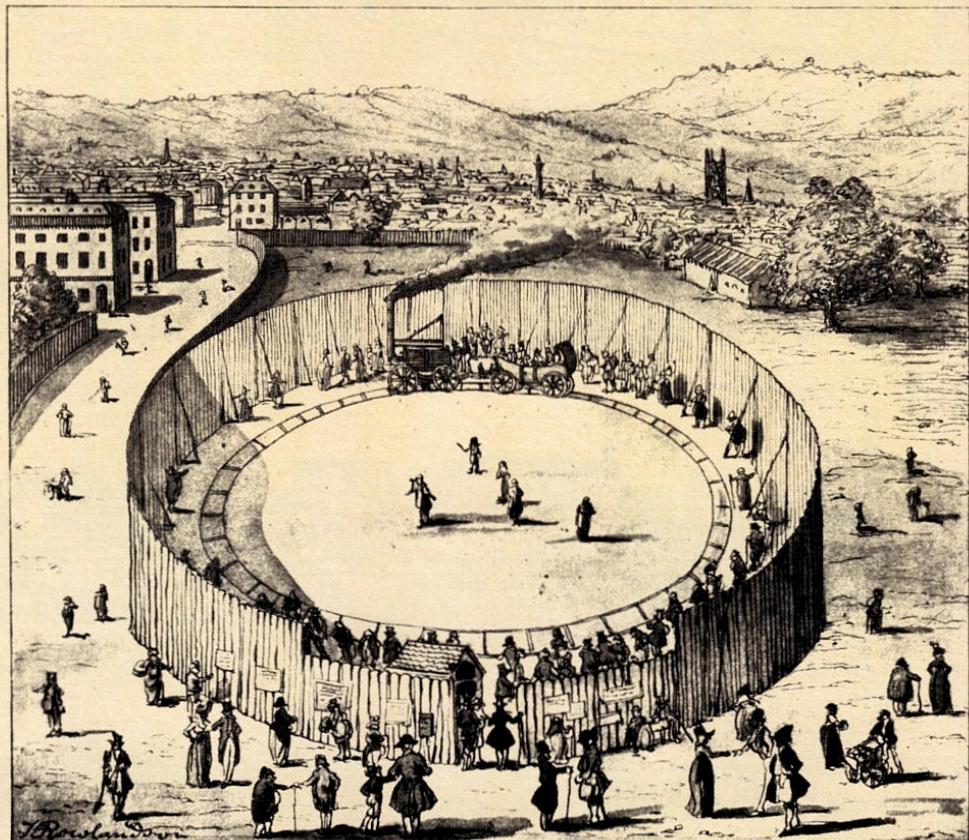
Zu Beginn des 19. Jahrhunderts stand Europa noch immer im Zeichen der Industriellen Revolution. Die erzeugende Industrie mit ihrem Bedarf an Rohstoffen und ihrem Ausstoß an Massengütern änderte unaufhaltsam die Daseinsstruktur. Es mußten nicht nur Waren, sondern auch Menschen im ganzen Land von einem Ort zum anderen befördert werden, um die Maschen des Handelsnetzes zu knüpfen.

## Die ersten Eisenbahnen

Die Straßen, die sich damals in äußerst schlechtem Zustand befanden, waren für eine diesbezügliche Ausweitung des Verkehrs völlig ungeeignet. Den Kanälen waren aufgrund der Notwendigkeit der Benutzung von Schleusen zur Überwindung der unterschiedlichen Höhenlagen bestehender Wasserstraßen Grenzen gesetzt. Abgesehen von den Spurbahnen im alten Griechenland, der Schiffsbahn von Korinth um 600 v.Chr. und der Bernsteinstraße am Fernpaß (Nordtiroler Kalkalpen) gab es in Deutschland bereits um 1535 hölzerne Spurbahnen mit kleinen zweiachsigen Wagen (Hunden) zum Transport der Kohle. Diese Spurbahnen wurden von deutschen Bergleuten in England bekannt gemacht, wo sie neben dem Einsatz im Bergwerk auch zur Beförderung der Kohle mit Pferdegespannen vom Bergwerk zum nächsten Ladeplatz einer Wasserstraße eingesetzt wurden. In England wurden auch im Jahre 1767 zum ersten Male eiserne Platten mit Leitkanten zur besseren Haltbarkeit und Spurführung für die Spur der Förderwagen gegossen, um ein Abrutschen der Räder zu verhindern, die man aus demselben Grunde durch einen Spurkranz verbesserte.

## Trevithicks Schienendampflokomotiven

Die ersten Dampfmaschinen von Newcomen (1663 bis 1729) und Watt (1736 bis 1819) waren ebenfalls Hilfsmaschinen für den Bergbau, jedoch handelte es sich bei ihnen um ortsfeste Maschinen zum Abpumpen von Wasser oder zum Schleppen von Transportwagen. Der Gedanke, eine Dampfmaschine auf Räder zu setzen, erschien dem vorsichtigen Watt als äußerst unverantwortliches Unter-



MANSSELL COLLECTION

nehmen, da er sich den von gußeisernen Druckgefäß möglicherweise ausgehenden Gefahren durchaus bewußt war. Jedoch kannte Richard Trevithick (1771 bis 1833), ein Bergingenieur aus Cornwall, keine solchen Vorbehalte. Die von ihm konstruierte Dampfmaschine war leichter, kompakter, arbeitete mit höheren Dampfdrücken und erwies sich als weitaus zweckdienlicher. Nachdem er zwei Straßen-dampfwagen gebaut hatte, wandte er sich den Schienendampflokomotiven zu. Das öffentliche Interesse wurde von Trevithicks dritter Schienendampflokomotive, der 'Catch-me-who-can' ('Fang' mich doch, wenn du kannst), geweckt, mit der Vorführfahrten in London veranstaltet wurden.

Die kommerzielle Verwendung von Schienendampflokomotiven erfuhr einen unerwarteten Aufschwung durch die Napoleonischen Kriege, in deren Folge die Futterpreise in die Höhe schnellten, wodurch die Dampfkraft schließlich eine wirtschaftlichere Kraftquelle als die von Pferden erbrachte Arbeitsleistung wurde.

## George Stephenson

Wie Trevithick war auch George Stephenson (1781 bis 1848), die

Die berühmte Einzylinder-Dampflokomotive 'Catch-me-who-can' von Trevithick wurde auf dem Euston Square in London zum Preis von 1 Schilling pro Runde betrieben. Diese allererste Eisenbahn war im Jahre 1808 einen Monat lang in Betrieb, allerdings nur für Vergnügungs-fahrten.

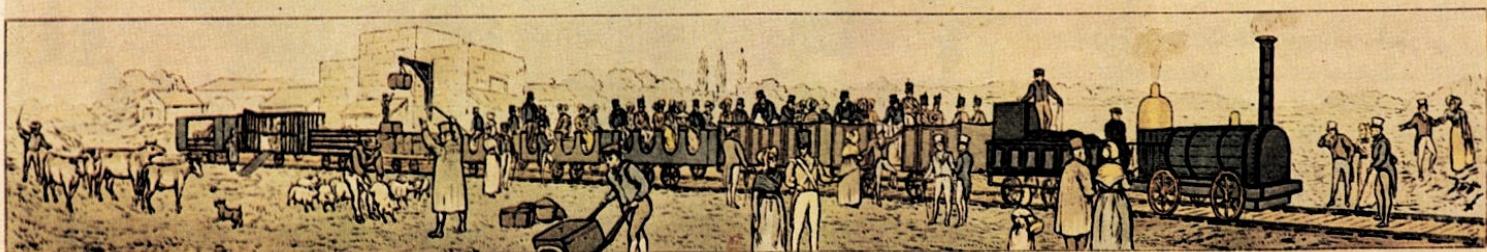
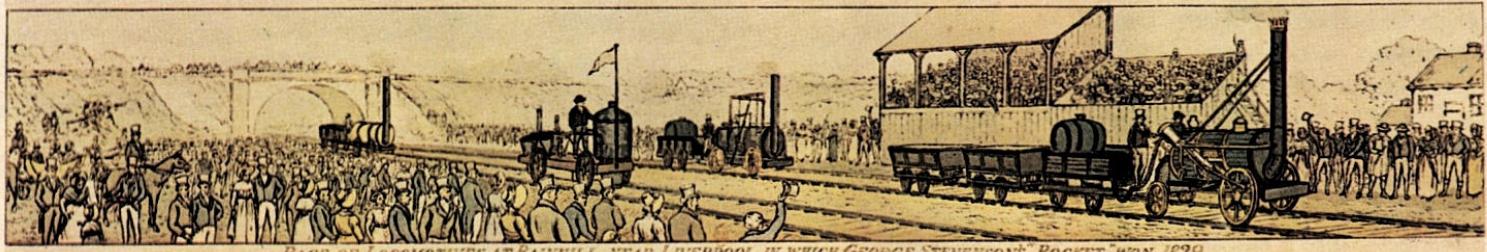
führende Person unter den ersten Erbauern von Dampflokomotiven, ein Bergingenieur. Seine besondere Leistung bestand darin, daß er die besten Kenntnisse und Erkenntnisse in einer funktionsfähigen Konstruktion vereinigte, die zur Grundlage aller in der Folge hergestellten Dampflokomotiven werden sollte. Im Jahre 1825, dem wichtigsten Jahr in der Geschichte des Eisenbahnwesens, war Stephenson die Hauptperson geworden.

## Die erste öffentliche Eisenbahn

Am 27. September 1825 wurde im Nordwesten Englands die erste öffentliche Eisenbahn der Welt, die Linie Stockton–Darlington, in Betrieb genommen. Damals galt die Notwendigkeit, Lokomotiven zum Ziehen von Wagen zu benutzen, noch keinesfalls als erwiesen, und noch bis zum Jahre 1856 wurden auf der Strecke von Stockton nach Darling-



COOPER BRIDGEMAN LIBRARY



ton Zugpferde eingesetzt. Auf dem bergigen westlichen Abschnitt der Linie mußten vier Steigungen durch Vorspann mit Zugseilen überwunden werden, und somit wurden alle drei hauptsächlich zur Fortbewegung benutzten Mittel gleichzeitig miteinander eingesetzt. Jedoch wurde der Lokomotive insofern die erste Stelle eingeräumt, als die bei der Eröffnung an der Spitze fahrende Wagengruppe von George Stephensons 'Locomotion' gezogen wurde, vor der der gesetzlich vorgeschriebene Wagenführer mit einer roten Fahne einherschritt.

#### Die Wettbewerbsfahrten bei Rainhill

Obgleich sich die Lokomotive im Betrieb auf der Strecke von Stockton nach Darlington als verhältnismäßig zuverlässig und wirtschaftlich erwies, hatte sie sich noch keinesfalls durchgesetzt. Als die Direktoren der ersten Haupt-Eisenbahnlinie der Welt — der Strecke zwischen Liverpool und Manchester, im Nordwesten Englands, — die Frage der Antriebskraft erörterten, waren sie nicht davon überzeugt, daß die Dampfkraft geeignet wäre. Man beschloß, Ver-

suchsfahrten auf der Strecke bei Rainhill abzuhalten, wobei die Lokomotiven im Wettbewerb um einen Preis von nur 500 englischen Pfund gegeneinander antreten sollten.

Von den vielen zur Teilnahme gemeldeten Wettbewerbs-Lokomotiven blieben am Tage der Versuchsfahrt nur drei ernstzunehmende Konkurrenten übrig. Die erste gemeldete Lokomotive, die von Timothy Hackworth gebaute 'Sans Pareil', repräsentierte in allen Teilen den Typ der damals konstruierten Schienen-dampflokomotiven. Die Vorschrift, daß alle Räder gefedert sein müßten, führte jedoch zu Schwierigkeiten, da die Zylinder senkrecht über den Antriebsräder angeordnet waren. Während der Wettbewerbsfahrt selbst platzte sogar ein solcher Zylinder.

Die von Braithwaite und Ericsson an den Start gebrachte 'Novelty' war ein vierrädriges Fahrzeug mit einer neuartigen, aus einem stehenden und einem liegenden Kessel bestehenden Konstruktion. Obgleich sie sinnreich konstruiert worden war, entwickelte sie eine ungenügende Leistung.

Demzufolge hatte die von George Stephensons Sohn Robert gemeldete 'Rocket' alle Chancen. Indem er sich

Bilder aus der Geschichte der Eisenbahn. Obgleich Stephenson die Strecke gebaut hatte, hielten die Direktoren der Linie Liverpool-Manchester die Lokomotivenrennen ab, um zu entscheiden, wessen Lokomotiven benutzt werden sollten. Das Rennen gewann Robert Stephensons 'Rocket' (Rakete).

des Vorteils der Vorschrift bediente, daß die zu ziehende Last im Verhältnis zum Gewicht der Zugmaschine stehen müsse, konstruierte Stephenson eine leichtere Ausführung seiner letzten Lokomotive, der im Jahre 1820 gebauten 'Lancashire Witch'. Diese Lokomotive erwies sich als Erfolg. Vergrößerte und verbesserte Ausführungen dieser Konstruktion wurden zur Standard-lokomotive der Linie Liverpool — Manchester, die somit zur ersten mit Dampflokomotiven betriebenen Personenverkehrslinie wurde.

Die Leistungskraft und Geschwindigkeit der Lokomotiven entwickelten sich schnell, und bald begann ein Netz von Eisenbahnlinien die wichtigsten Kreis- und Großstädte miteinander zu verbinden.