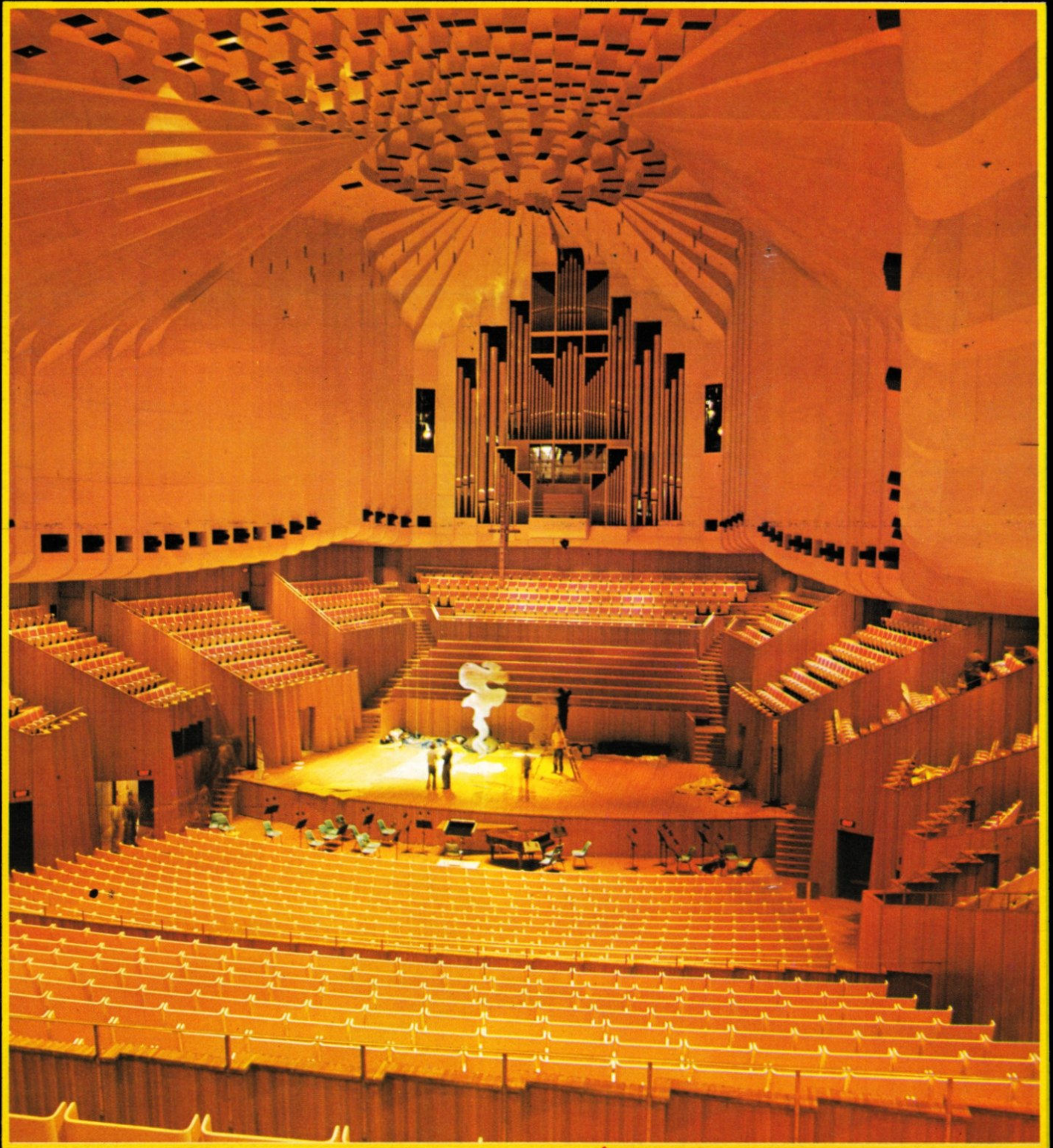


HEFT 28 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25  
SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



---

scan: **IGDL**

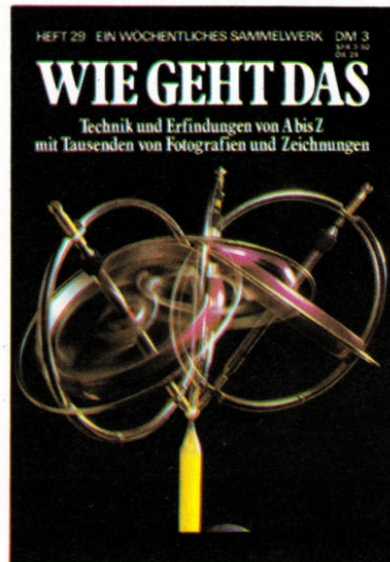


# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Klebstoffe	757
Klimaanlage	761
Klingel, elektrische	764
Kohlenstoff	765
Kohlenstofffaser	769
Kolorimetrie (Fotometrie)	774
Kompass	777
Kompressor	781
Kondensator	783

## In Heft 29 von Wie Geht Das



Der wissenschaftliche Kreisel (Gyroskop) ist im Prinzip ein sehr einfaches Instrument — ein Rad, das in einem Ringpaar angebracht ist. Dieser Kreisel hat aber einige überraschende Eigenschaften. Lesen Sie mehr darüber und über die Anwendung eines solchen Kreisels in Heft 29 von Wie Geht Das.

Viele Leute ziehen es heute vor, Kontaktlinsen statt einer Brille zu tragen. Der Artikel über Kontaktlinsen im nächsten Heft von Wie Geht Das erläutert wie Kontaktlinsen passend gemacht und hergestellt werden.

### WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

### ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

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

### INHALTSVERZEICHNIS

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

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

### SAMMELORDNER

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

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

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

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

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

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

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





## KLEBSTOFFE

**Ursprünglich konnte man nur poröse Materialien, wie zum Beispiel Holz und Papier, miteinander verkleben. Heute ermöglichen neue synthetische Klebstoffe das Zusammenfügen von Metallen, Glas und Plastikmaterialien.**

Klebstoffe werden zwar in der einen oder anderen Form schon seit Tausenden von Jahren verwendet, aber über die exakte physikalische und chemische Natur der Klebeverbindung ist man sich noch nicht ganz einig. Es sind verschiedene Theorien zur Erklärung der Adhäsion aufgestellt worden. Man versuchte, sie mittels mechanischer, chemischer und elektrischer Erscheinungen zu beschreiben. Eine völlig zufriedenstellende Erklärung konnte jedoch bis heute noch nicht gefunden werden.

### Theorien der Klebfähigkeit

Früher glaubte man, daß die Klebfähigkeit ein mechanisches Verbinden sei: Flüssiger Klebstoff fließt in die Poren oder Hohlräume der Klebflächen der zu verklebenden Körper, härtet zu einem Feststoff aus und hält sie somit fest zusammen. Heute glaubt man, daß dies zur Festigkeit der Verbindung beiträgt, jedoch nicht die wesentliche Ursache dafür ist.

Eine der neueren Theorien betrifft die van-der-Waals-Kräfte. Dies sind schwache Anziehungskräfte, die zwischen Molekülen bestehen und auf die Verteilung von positiven und negativen elektrischen Ladungen innerhalb der Moleküle zurückzuführen sind (siehe ATOME UND MOLEKÜLE). Durch diese Kräfte haben die Moleküle eine natürliche Tendenz, fest aneinander zu haften, wobei die Stärke der Kräfte von der Form und Struktur der betreffenden Moleküle und von den Entfernungen zwischen den Molekülen abhängt.

Die van-der-Waals-Kräfte haben einen viel kleineren Wirkungsbereich als die elektrostatischen Kräfte. Die Verdopplung der Entfernung zwischen zwei Molekülen reduziert die Kraft zwischen ihnen auf  $1/128$  ihres vorherigen Wertes. Daher ist ein sehr enger Kontakt zwischen zwei Molekülen erforderlich,

um sie zusammenzuhalten. Der kurze Wirkungsbereich dieser intermolekularen Kräfte gibt eine Erklärung dafür, daß zwei Gegenstände normalerweise nicht aneinander haften. Auch wenn ihre Oberflächen noch so stark poliert sind, sind sie unter einem Mikroskop betrachtet noch so rauh, daß die Moleküle des einen Gegenstandes mit denen des anderen nur an einer relativ geringen Anzahl von Stellen in Berührung kommen können. Die daraus resultierende Anziehungskraft zwischen den beiden reicht nicht aus, um eine Klebfähigkeit herbeizuführen.

Ein Klebstoff muß daher in der Lage sein, mit der größtmöglichen Anzahl von Molekülen auf jeder der zu verbindenden Oberflächen in Berührung zu kommen. Außerdem müssen die Oberflächen frei von Schmutz und Fett sein, andernfalls würde der Klebstoff am Schmutz und nicht an der Oberfläche kleben. Ein optimaler Kontakt zwischen den Klebstoffen und den Oberflächen der zu verklebenden Körper wird gewöhnlich dadurch erreicht, daß der Klebstoff in einer flüssigen Form aufgetragen wird, der dann aushärtet und fest wird.

### Aufbau der Klebeverbindungen

Eine normale Klebeverbindung umfaßt fünf Teile, die als fünf Glieder einer Kette betrachtet werden können — wobei die Verbindung so stark ist wie das schwächste Glied. Die

**Unten:** Epoxydharze werden als Klebemittel für Flugzeugteile aus Aluminiumwaben und glasfaserverstärktem Kunststoff verwendet. Hier ein Segment nach einem Härtetest.

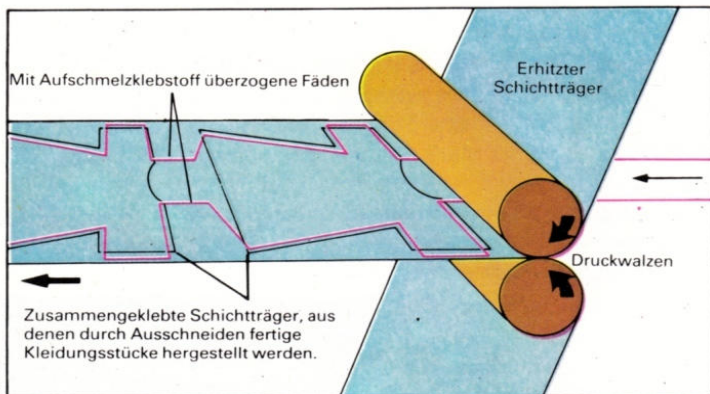




fünf Teile sind: die innere Festigkeit (oder Kohäsion) eines Materials, die Festigkeit der Verbindung des Klebstoffs mit dem Material, die innere Festigkeit des Klebstoffes selbst, die Festigkeit seiner Bindung an das andere Material und die Festigkeit des anderen Materials.

Bei den meisten Klebstoffarten ist die Festigkeit der Verbindung zwischen Klebstoff und Klebfläche größer als die Kohäsion des Klebstoffes selbst. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Klebstoffschicht so dünn wie möglich zu halten, damit die Wahrscheinlichkeit geringer ist, daß die Klebeverbindung an dieser Stelle auseinandergeht.

Die sich berührenden Oberflächen der zu verklebenden Körper müssen daher genau zusammenpassen. Die Fläche muß auch groß genug sein und die richtige Form haben, damit die Klebeverbindung nicht überbeansprucht wird. Klebeverbindungen sind widerstandsfähig gegenüber Scherbeanspruchung (seitliche Kräfte) und Zug, aber sie vertragen keine Schäl- und Abhebekräfte. Hier tritt eine Spannung an



einem Rand der Klebefuge auf, die dazu führen kann, daß sich ein Riß bildet, der dann größer wird.

### Klebstoffarten

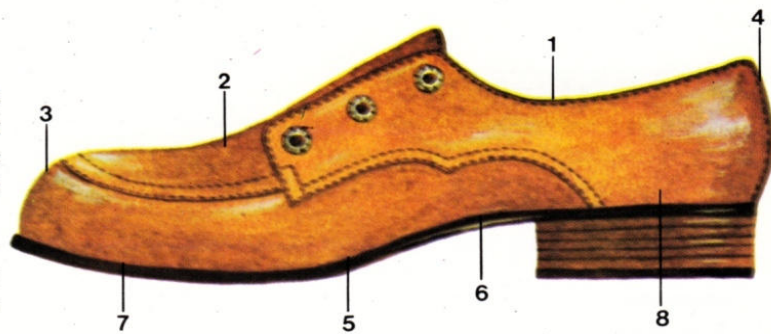
Die Verklebung erfordert das Anfeuchten der zu verklebenden Körper mit dem Klebstoff, so daß kleine Unregelmäßigkeiten in den Oberflächen aufgefüllt werden. Die Flüssigkeit muß dann aushärten, um eine starke Klebefuge zu bilden.

Die naheliegendste Methode, eine Flüssigkeit in einen Festkörper umzuwandeln, besteht darin, sie zu erhitzen. Genau dies geschieht bei thermoplastischen oder Schmelzstreichklebstoffen. Diese Klebstoffe sind, wie schon ihr Name andeutet, bei normalen Temperaturen fest. Durch Erhitzen schmelzen sie und verflüssigen sich. Die warme Flüssigkeit wird dann auf die Verbindungsstelle aufgetragen, wo man sie kühlen und hart werden läßt.

Einige Klebstoffmaterialien können jedoch nicht in eine genügend dünne Flüssigkeit geschmolzen werden, ohne daß sie in chemisch abweichende Substanzen zerfallen, die bei Abkühlung nicht wieder in ihre ursprüngliche Form zurückgehen. Dieses Problem kann überwunden werden, indem der Klebstoff in einem geeigneten Lösungsmittel aufgelöst wird und diese Lösung auf den zu verklebenden Oberflächen verteilt wird. Das Lösungsmittel verdampft dann, und der Klebstoff wird fest.

Manchmal ist das Lösungsmittel ganz einfach Wasser. Die an Briefmarken verwendeten Klebstoffe sind zum Beispiel wasserlöslich und können dadurch aktiviert werden, daß man den Briefmarkenklebstoff anfeuchtet. Andere Klebstoffe müssen in komplizierteren Flüssigkeiten aufgelöst werden, wie zum Beispiel in Benzol oder Toluol. Gelöste Klebstoffe sind nicht für alle Zwecke ganz zufriedenstellend, da der Klebstoff bei Verdampfen des Lösungsmittels dazu neigt, von den Oberflächen der Verbindungsstelle wegzuschrumpfen.

Bei den hitzehärtbaren Harzklebstoffen kommt eine dritte



**Oben:** Die in der Schuhindustrie verwendeten Klebstoffe basieren zumeist auf Naturgummi oder synthetischen Polymeren. Die Verwendung von Klebstoffen verbilligt die Schuhherstellung gegenüber der traditionellen Produktion mit Steppmethoden. Die in der Abbildung gezeigten Klebstellen und die dabei verwendeten Klebstoffe sind: 1 Obere Falz — Schmelzstreich-Polyamid, 2 Ausfütterungen — Acrylat-Ethylen/Vinylacetat (EVA)-Naturgummi, 3 Zehenverstärkung — Wärmeaktiviertes EVA-Material, 4 Versteifung — Wärmeaktiviertes EVA-Material, 5 Leisten — Neopren-Urethan-Lösungsmittel oder Polyester-Polyamid-Schmelzstreichmaterialien, 6 Gelenkstück — Schmelzstreichpolyamide, 7 Sohlenbefestigungen — Polyurethan-Lösungsmittel, 8 Brandsohle — Acrylat oder Naturgummilatex.

**Links:** Eine Neuerung auf dem Gebiet der Klebstoffe ist der mit Schmelzstreichklebstoff überzogene Faden, der mit einer Schicht aus Aufschmelzklebstoff umhüllt ist. Der Klebstoff wird entweder durch Erhitzen des Fadens oder des zu verklebenden Materials aktiviert.

**Unten:** Die bogenförmigen Betonträger des Olympischen Stadions und der Radrennbahn in Montreal wurden aus Segmenten zusammengebaut, die jeweils bis zu 65 t wiegen. Sie wurden mit speziell entwickelten winterfesten Epoxydlebstoffen verklebt, die besonders schnell härten und Temperaturen bis zu 18°C unter Null schadlos überstehen.





*Die sechsspurige Autobahnbrücke über den River Trent in England wurde mit Betonfertigbauteilen konstruiert, die mit Epoxydharzklebstoffen verklebt worden sind. Zusammen mit den Vorspannkabeln widersteht dieser Klebstoff den auftretenden Scher- und Druckkräften.*



**Rechts:** Das Glätten der Verbindungsstelle aus Epoxydharzklebstoff zwischen der oberen und unteren Hälfte einer Glasfaserkarosserie. Epoxydharze schrumpfen beim Härten nicht und sind wasserbeständig.

Methode der Bildung eines Festkörpers aus einer Flüssigkeit zur Anwendung. Diese Klebstoffe entstehen durch Vermischen von zwei getrennten Flüssigkeiten, deren Moleküle chemisch miteinander reagieren und irreversible physikalische und chemische Umwandlungen durchmachen. Die ersten hitzehärtbaren Harze wurden aus Phenol und Formaldehyd gebildet. Wenn diese beiden Flüssigkeiten vermischt und Wärme und Druck angewendet werden, können sich die Moleküle in mehreren verschiedenen Arten miteinander verbinden. Es gibt zwei Stellen auf dem Formaldehydmolekül, an denen das Phenolmolekül eine starke kovalente chemische Bindung herstellen kann, und es gibt drei Stellen auf dem Phenolmolekül, an denen eine solche Bindung möglich ist.

Wenn das Gemisch 'aushärtet', werden immer mehr solcher Bindungen hergestellt. Das Endergebnis ist eine komplexe, ineinandergreifende Vernetzung, in der jedes Phenolmolekül mit zwei oder drei Formaldehydmolekülen verbunden ist, von denen jedes wiederum mit anderen Phenolen verkettet ist. Die einzelnen Moleküle der entstandenen Struktur haben sehr wenig Bewegungsfreiheit. Das vollständig ausgehärtete Harz ist somit ein starker Festkörper. Diese Methode der Bildung eines Festkörpers ist als chemische Brückenbindung bekannt.

### Naturklebstoffe

Natürliche Stärke, Zellulose und Gummiharze aus verschiedenen Pflanzen werden zur Herstellung von leichten, billigen, wasserlöslichen Klebstoffen verwendet. Diese werden viel in der Papierindustrie und auch im Haushalt als Tapetenleim sowie als 'Büro'-Leim und -Klebstoff verwendet. Der ein-



fache Mehl-und-Wasser-Kleister, der zu Hause hergestellt werden kann, gehört in diese Gruppe. Der Klebstoff auf Briefmarken und Briefumschlägen ist ein Pflanzengummi (Gummiarabikum).

Naturkautschuk, der im allgemeinen in lufttrocknenden chemischen Lösungsmitteln gelöst wird, ergibt Klebstoffe, die in der Industrie verwendet werden, z.B. zum Verkleben von Gummi und Leder, beim Bau zum Befestigen von Wand- und Fußbodenbelägen und in Zeichenbüros zum Kleben von Papier (es kann leicht wieder entfernt werden, ohne eine Spur zu hinterlassen).

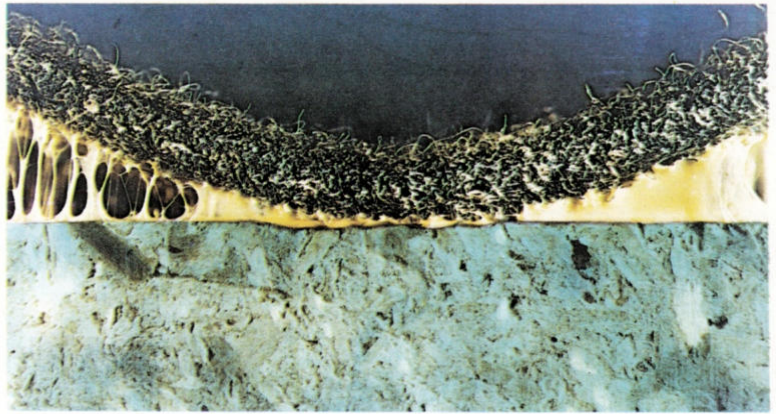
Der Name 'Leim' wird häufig auf alle Klebstoffarten angewendet, aber genau genommen gilt er nur für Protein-derivate, d.h. aus Tier- oder Pflanzenprotein hergestellte,



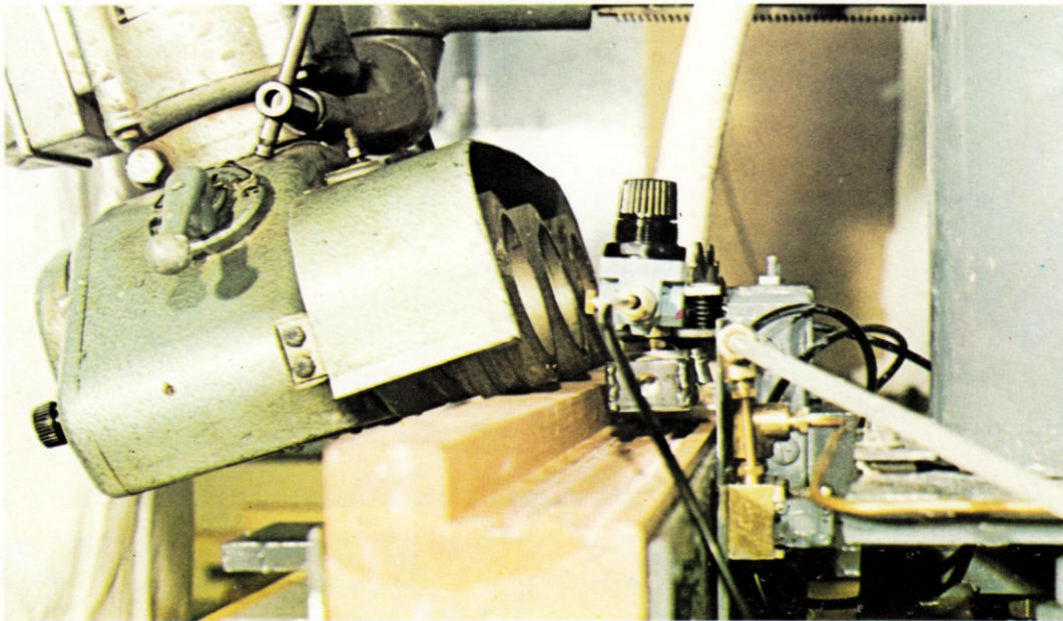
gelatineartige Klebstoffe. Holzbearbeitungsleime werden nach dem traditionellen Verfahren des Auskochens von Knochen hergestellt. Es sind Schmelzstreichklebstoffe. Eine neuere Art von Leim, Sojabohnenleim, wird aus Pflanzenprotein hergestellt. Kaseinleim ist ein wasserlöslicher, aus Milch hergestellter Holzbearbeitungs-Klebstoff.

Zu den Naturharzen und Bitumen gehört Asphalt, der verwendet wird, um beim Straßenbau und in anderen Verwendungsbereichen Zuschlagstoffe (Kies) zu binden. 'Marineleim' ist ein Naturharz in einem chemischen Lösungsmittel. Er ist kein echter Leim, denn er wäre für die Verwendung im Schiffsbau z.B. nicht wasserbeständig genug. Siegelack ist ein Schmelzstreich-Naturharzkleber.

Alle oben erwähnten Klebstoffe sind organischer Herkunft.



BASF



EVODE

**Oben:** Klebstoffe werden zum Befestigen von Fußbodenbelägen verwendet. Dieses Bild zeigt eine polymere Dispersion — hergestellt aus einem feinzerteiltem Polymer, das in einer flüssigen Trägersubstanz verteilt ist —, die zum Verkleben eines Filz-Fußbodenbelags auf einem Betonfußboden verwendet wird.

**Links:** In den Rahmen einer feuerbeständigen Tür geschnittene Rillen werden mit einem Abdichtungsmittel gefüllt, das aufquillt, wenn es Wärme ausgesetzt wird. Es verhindert auf diese Weise, daß Flammen und heiße Gase an den Türkanten durchdringen können.

Es gibt einen anorganischen Naturklebstoff: Wasserglas (Natriumsilikat), das in der Papierindustrie verwendet wird.

### Synthetische Klebstoffe

Synthetische Klebstoffe werden im allgemeinen Kunstharzklebstoffe genannt, da die natürlichen Klebstoffe, denen sie am meisten ähneln, die Harzklebstoffe sind. Es gibt viele Sorten, u.a. eine, die es bei den natürlichen Klebstoffen nicht gibt: der zweiteilige Klebstoff, bei dem der Klebstoff mit einem getrennten Härtemittel oder Katalysator gemischt wird, um ihn fest werden zu lassen. Kunstharzklebstoffe werden normalerweise als thermoplastisch (Schmelzen beim Erhitzen) und hitzhärtbar (Wärme beschleunigt das Aushärten) eingestuft.

Zu den thermoplastischen Klebstoffen gehören die Vinylharze, eine Gruppe vielseitig einsetzbarer Klebstoffe, die gut an Glas und Metall haften, die aber auch in vielen anderen Bereichen verwendet werden. Polyvinylacetat(PVA)-Klebstoff ist wasserlöslich und wird für die Holzbearbeitung verwendet. Andere Arten werden in Verbindung mit chemischen Lösungsmitteln verwendet; oder es sind Schmelzstreichklebstoffe, wie zum Beispiel das Harz, das als Schichtelement zwischen zwei dünne Glasschichten gegeben wird, um Sicherheitsverbundglas für Auto-Windschutzscheiben herzustellen.

Es gibt verschiedene Arten von Acrylharz, wobei die meisten von ihnen zweiteilige Klebstoffe sind, die durch Zusatz von Chemikalien ausgehärtet werden. Sie sind gewöhnlich nicht sehr stark, aber sie sind transparenter als andere Klebstoffarten. Gegenstände werden oft für Schutz- oder Ausstellungszwecke in klarem Acrylharz eingebettet. Eine ungewöhnliche Klebstoffart ist Zyanoacrylat-Klebstoff, ein zweiteiliger Kleb-

stoff, der in wenigen Sekunden 'aushärtet' und eine große Festigkeit erreicht. Diese Qualität ist bei der Fließbandfertigung von Nutzen.

Zellulose-Klebstoffe bestehen aus Chemikalien, die aus Zellulose gewonnen werden (wie zum Beispiel Zelluloseazetat) und sich in einem lufttrocknenden chemischen Lösungsmittel befinden. Sie sind nicht mit den oben erwähnten natürlichen Zellulose-Klebstoffen auf Wasserbasis zu verwechseln. Sie sind schnelltrocknend und wasserbeständig. Die meisten klaren Haushaltsklebstoffe gehören zu dieser Art.

Zu den hitzhärtbaren Klebstoffen (Schmelzklebstoffe) gehören Epoxydharze, die stärksten aller Klebstoffe. Einige Arten können in genau bemessenen Klebefugen eine Scherbeanspruchung von bis zu 500 kg/cm<sup>2</sup> aushalten. Wie die meisten hitzhärtbaren Harzklebstoffe werden sie im allgemeinen in zweiteiliger Form geliefert. Da der Klebstoff nicht in Verbindung mit einem Lösungsmittel, das verdampft, verwendet wird, schrumpft er beim Trocknen nicht. Dadurch ist er zum Auffüllen von Hohlräumen in schlecht zueinander passenden Klebeflächen geeignet.

Synthetischer Kautschuk wird zusammen mit chemischen Lösungsmitteln zur Herstellung von vielen Klebstoffarten verwendet. Zu diesen gehören 'Haftkleber' oder 'Druckkleber'. Die selbstklebenden Klebstoffe, die auf Klebeband verwendet werden, gehören auch zu dieser Art. Klebstoffe aus synthetischem Kautschuk werden häufig zum Befestigen von Teilen im Inneren von Autos verwendet.

Polyesterharze sind billiger als Epoxydharze, sie sind daher für die Verwendung in großen Mengen geeignet. Am häufigsten werden sie in Verbindung mit Glasfaser zur Herstellung von glasverstärkten Plastikmaterialien verwendet.

PHOTRI



## KLIMAANLAGE

**Unter Klimatisierung versteht man die Schaffung eines künstlichen Klimas und damit gleichmäßiger, behaglicher Aufenthaltsbedingungen. Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden in geschlossenen Räumen bei ständiger Zufuhr hygienisch einwandfreier Luft reguliert.**

Klimaanlagen sind in unterirdischen Räumen, Kinos und Theatern, vielbesuchten Geschäften, Krankenhäusern, großen Bürogebäuden und bei vielen industriellen Prozessen, wo die Qualität der Erzeugnisse von einem gleichbleibenden Raumluftzustand abhängt, unentbehrlich. Bei der Lösung von Beleuchtungs- und Belüftungsproblemen sind die Architekten heute nicht mehr ausschließlich auf Fenster angewiesen. Große, zusammenhängende Innenflächen lassen sich, mit Pflanzen und Springbrunnen aufgelockert und attraktiv ausgeleuchtet, so viel besser nutzen. In der zentralen Klimaanlage wird die Luft je nach Bedarf gereinigt, abgekühlt oder aufgewärmt, be- oder entfeuchtet. Sie zirkuliert, in dieser Weise aufbereitet, in Schächten durch das Gebäude.

Das Spektrum reicht von großen, mehrstufigen Anlagen bis hin zu kleinsten Anlagen, bei denen alle wesentlichen Elemente in einem Gehäuse von der Größe eines Fernsehapparates untergebracht sind.

### Filter und Temperaturregelung

Zunächst gelangt die Luft in eine Kammer, wo sie mit der Abluft aus dem Gebäude vermischt wird. Der erforderliche Anteil an Frischluft schwankt je nach den örtlichen Gegeben-

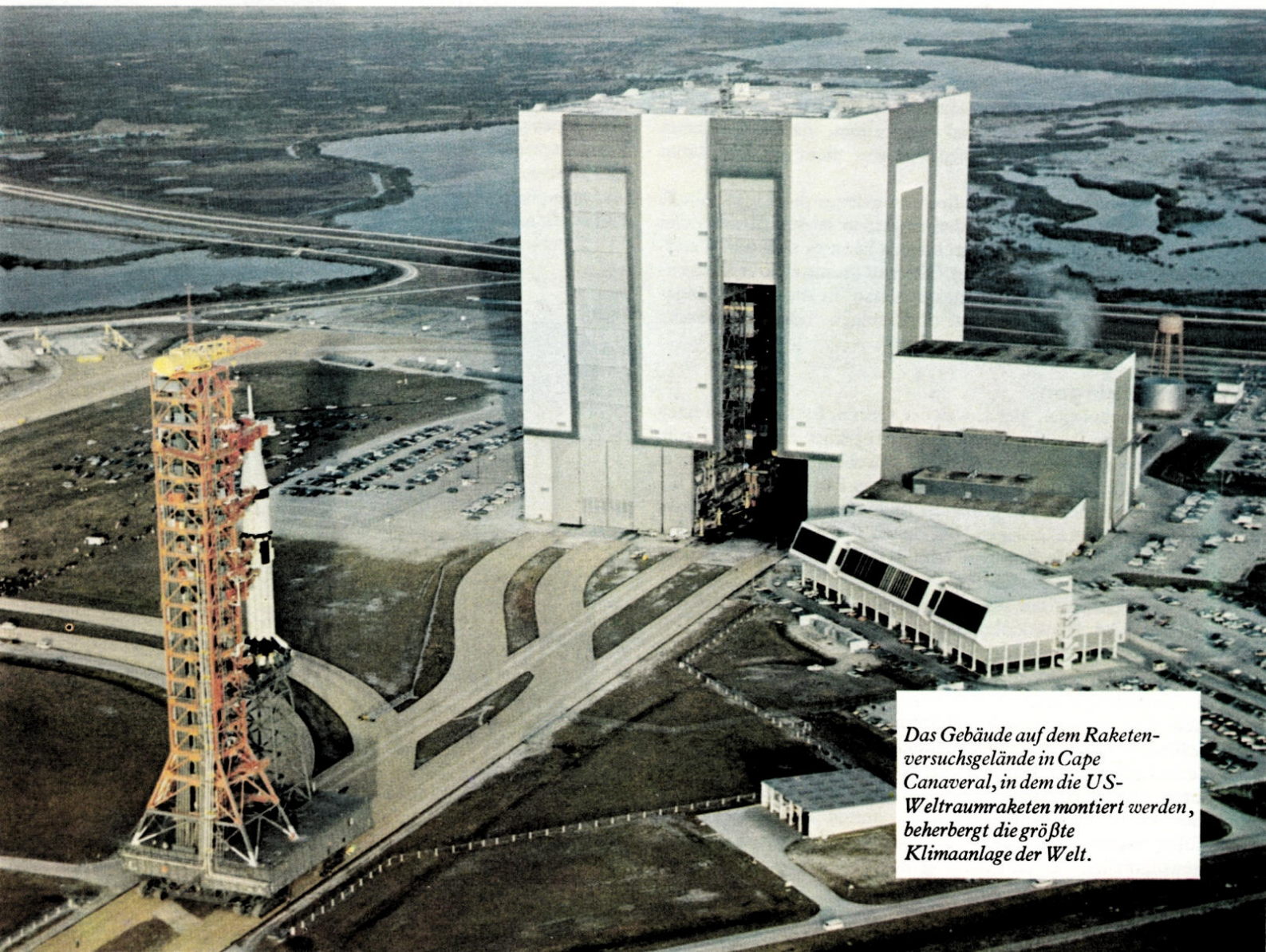
heiten. Daran anschließend wird das Luftgemisch durch eine zweistufige Filteranlage geleitet. In der ersten Filterstufe werden mit Hilfe eines Siebfilters oder auch eines elektrisch angetriebenen Umlauffilters grobe Staubpartikel entfernt, in der darauf folgenden zweiten Stufe die feinen Schwebeteilchen, wie etwa Zigarettenrauch, über einen Elektrofilter abgeschieden.

Zur Temperaturregelung leitet man die Luft durch zwei Rohrsysteme, von denen das eine Heißwasser oder Dampf, das andere Kaltwasser oder eine Kühlflüssigkeit enthält. In dem zu klimatisierenden Raum ist ein Temperaturfühler, in der Regel ein Widerstandsthermometer, angebracht und auf den gewünschten Wert eingestellt. Bei Abweichung vom gewünschten Zustand greift automatisch die Regelung ein und bestimmt, ob das Heiz- oder Kühlrohrsystem in Gang gesetzt wird.

Die nächste Stufe besteht in einem GeruchsfILTER aus Aktivkohle, mit dessen Hilfe sich in der Luft befindliche Geruchsstoffe unmittelbar absorbieren lassen. Die Filtermasse muß nach einer bestimmten Benutzungszeit regeneriert werden.

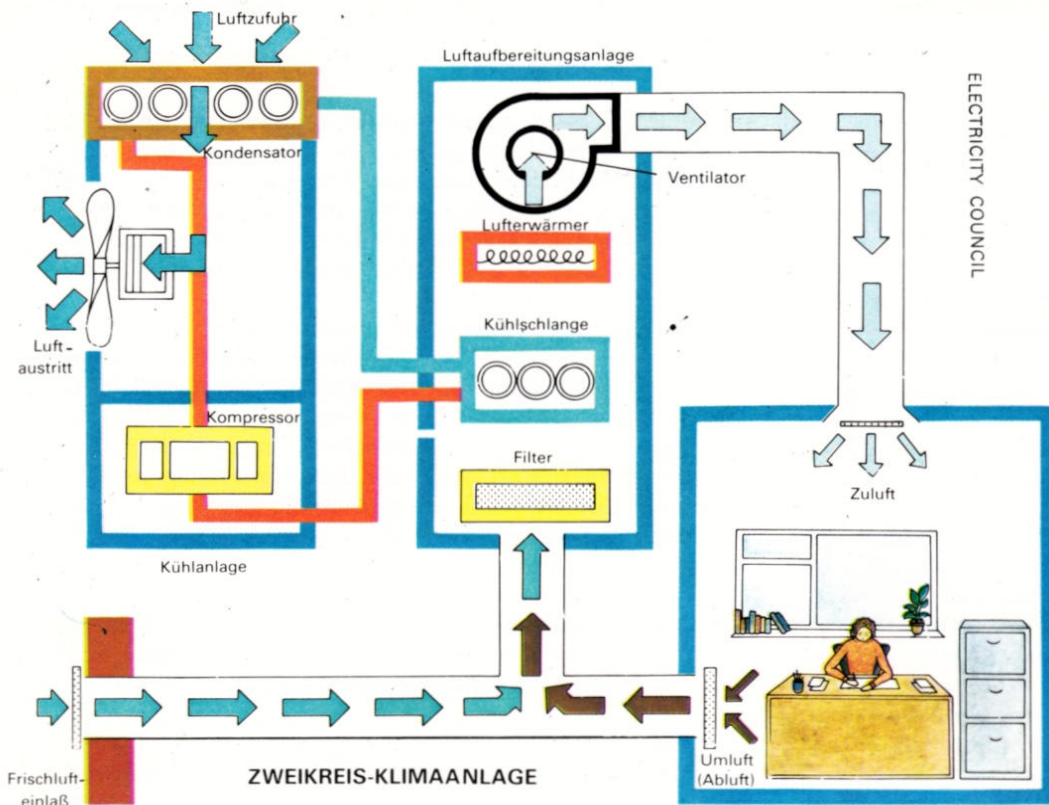
### Regelung der Luftfeuchtigkeit

Schließlich wird die so aufbereitete Luft auf die gewünschte Feuchtigkeit gebracht, und zwar entweder durch Einblasen von Dampf oder dadurch, daß man sie durch einen fein zerstäubten Wasserschleier strömen läßt. Die Regelung erfolgt auch hier mittels eines im Raum angebrachten Meßfühlers, dessen elektrischer Widerstand feuchtigkeitsabhängig reagiert. Muß der Luft Feuchtigkeit entzogen werden, geschieht dies üblicherweise durch Abkühlung mit — falls erforderlich



*Das Gebäude auf dem Raketenversuchsgelände in Cape Canaveral, in dem die US-Weltraumraketen montiert werden, beherbergt die größte Klimaanlage der Welt.*





— darauf folgender Wiedererwärmung in der Temperaturregelstufe. Die ausgeschiedene Flüssigkeit schlägt sich auf den Kühlrohren nieder.

Als Erzeuger der Luftbewegung dient in der Regel ein Zentrifugalgebläse, dessen Flügel einem Schaufelrad ähnelt. Die Luft tritt im Zentrum des Gebläserades ein und an seiner Peripherie wieder aus. Dieser Gebläsetyp kann trotz des durch die Anlage und das Rohrsystem gegebenen nicht unbeträchtlichen Strömungswiderstandes große Luftmengen in Umlauf bringen.

Hinter dem Ventilator sind stets Geräuschdämpfer aus schallschluckendem Material angeordnet, damit der beim Betrieb der Anlage entstehende Lärm nicht in den Raum übertragen wird.

Durch ein Netz aus Metallrohren gelangt die Luft schließlich zu den 'Verteilern' in den einzelnen zu klimatisierenden Räumen. Bei diesen Luftdurchlässen kann es sich um Wanddurchlässe, d.h. Schlitze oder Gitter in unmittelbarer Deckennähe, oder auch um Deckendurchlässe, in die Decke eingelassene flügelartige Austrittsöffnungen oder sogenannte Loch- oder Schlitzdecken handeln.

## Klimaanlagen

Alle Klimaanlage, gleich welcher Größe, funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Kleine Geräte für einen einzelnen Raum bestehen aus einem einfachen, waschbaren Filter, einem Kälteverdichter und einem elektrischen Lufterhitzer.

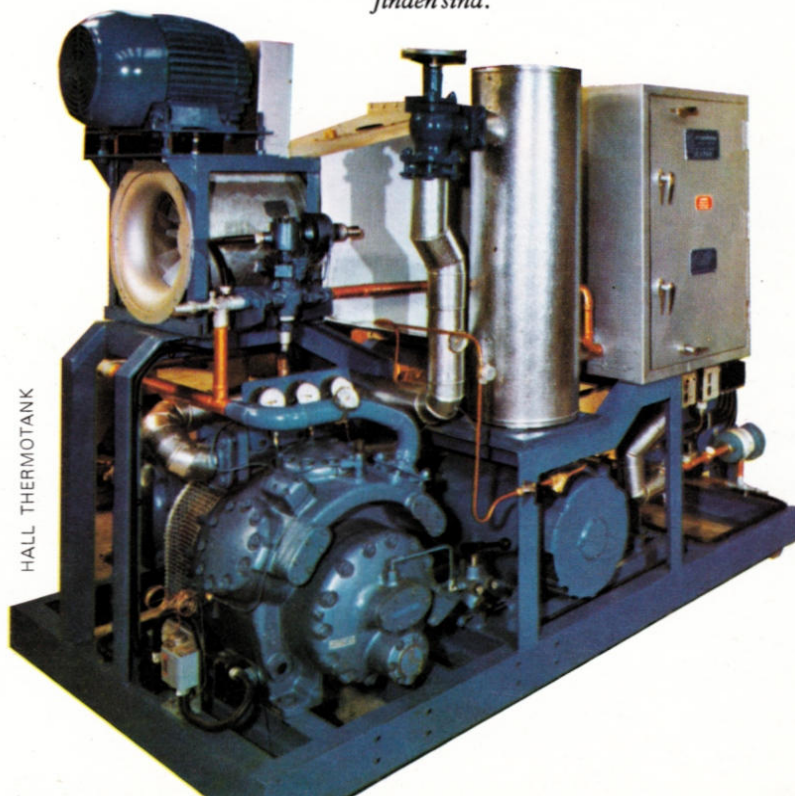
Zur Verwendung in größeren Raumeinheiten benötigt man leistungsfähigere Anlagen, bei denen die Kühlanlage (Kompressor und Kondensator) häufig außerhalb des Gebäudes liegt.

Bei der Klimatisierung von großen Gebäuden sind, je nachdem welche Funktionen das zentrale Klimaaggregat übernimmt, drei verschiedene Versorgungssysteme denkbar. Im ersten Falle liefert die Klimazentrale die gesamte benötigte Luftmenge mit einer bestimmten Temperatur und Feuchtigkeit. Zur endgültigen Temperaturregelung sind in den verschiedenen Räumen oder Gebäudezonen gegebenenfalls zusätzliche Lufterhitzer zur örtlichen Nacherwärmung erforderlich. Eine Alternativlösung besteht in einer Zweikanalanlage, bei der warme und kalte Luft in getrennten Rohrleitungen geführt werden. Die beiden Luftströme werden wie in einer gewöhnlichen Mischbatterie gemischt und so auf die ge-

**Oben:** Aufbauschema einer 'Zweikreis'-Klimaanlage, die aus der Kühlanlage und der Luftaufbereitungsanlage bestehen. Die Kühlanlage ist mit der Luftschlange der Luftaufbereitungsanlage durch ein Rohrpaar verbunden, durch das das Kühlmittel fließt. Der Kompressor drückt das flüssige Kühlmittel durch die Kühlturbine, wo es verdampft und Wärme aufnimmt, bevor es in den Kondensator zurückfließt. Die Luftaufbereitungsanlage erneuert die zirkulierende Luft.

**Oben:** Das Opernhaus in Sydney ist wie so viele andere Gebäude dieser Art mit einer Klimaanlage ausgestattet.

**Unten:** Eine Klimaanlage, wie sie auf Schiffen für vielfältige Verwendungszwecke zu finden sind.







wünschte Temperatur gebracht. Nach einer anderen Methode erfolgt die Temperaturregelung über die zugeführte Luftmenge anstatt über die Lufttemperatur.

Im zweiten Falle liefert das zentrale Klimaaggregat lediglich die zur Belüftung erforderliche Mindestmenge an Frischluft. Jeder Raum verfügt zusätzlich über eine separate Aufwärm- bzw. Kühleinheit, die mit Heiß- oder Kaltwasser arbeitet.

Bei der dritten Möglichkeit schließlich wird nur das Aufwärm- oder Abkühlwasser von der Zentralanlage geliefert. Für Frischluft sorgen in jedem Raum installierte Ventilatoren.

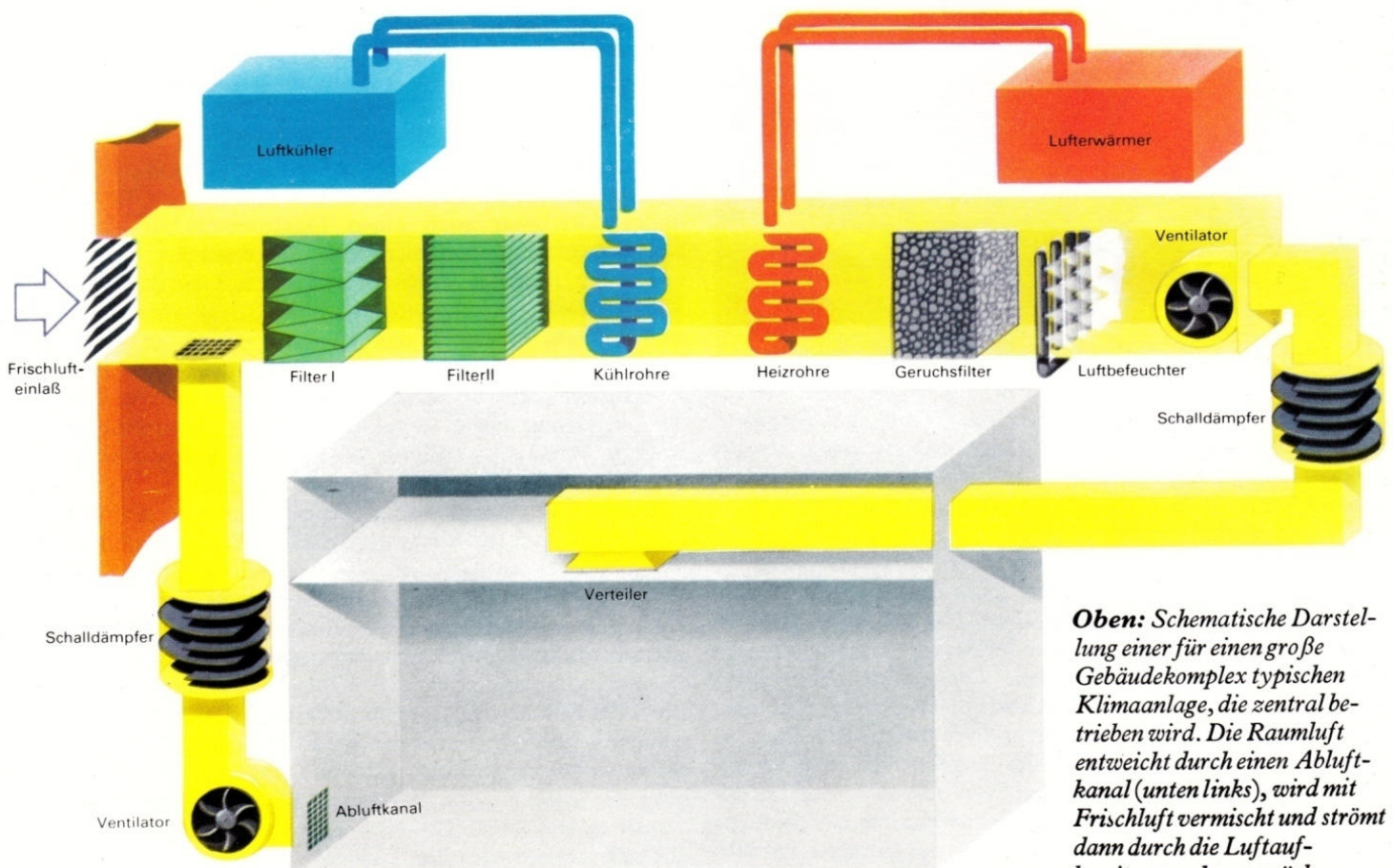
Die beiden letztgenannten Systeme kommen mit kleineren Kanälen aus, sind wirtschaftlicher und laufen ruhiger, sind jedoch weniger wirksam als die erste Methode, bei der die gesamte Luft ständig konditioniert wird.

### Anwendungsbereiche

Klimaanlagen werden in Bürogebäuden, Geschäften, Supermärkten, Restaurants und Vergnügungsbetrieben verwendet, wo es in erster Linie darum geht, die Räume im Sommer kühl zu halten. Die von den Beleuchtungskörpern ausgehende Wärme, Menschenmassen sowie intensive Sonneneinstrahlung durch große Fensterflächen können die Temperaturen in solchen Gebäuden unangenehm ansteigen lassen.

Im medizinischen Bereich ist eine Klimatisierung der Operationssäle von größter Bedeutung. Zusätzlich muß die Raumluft steril sein und die unmittelbare Umgebung des Operationstisches frei von Verunreinigungen jeder Art gehalten werden. In der Industrie werden Klimaanlagen überall dort installiert, wo Produkte oder Herstellverfahren einen gleichbleibenden Raumluftzustand erfordern. In den sogenannten 'Weißer Räumen', z.B. bei der Transistorherstellung, ist die Luft sauberer, als es in freier Natur je möglich ist.

Wissenschaftler befassen sich bereits mit der Beheizung und Belüftung überdachter Städte und der Gestaltung einer naturgetreuen Umgebung für unterirdische Wohnbereiche.



**Oben:** Schematische Darstellung einer für einen großen Gebäudekomplex typischen Klimaanlage, die zentral betrieben wird. Die Raumluft entweicht durch einen Abluftkanal (unten links), wird mit Frischluft vermischt und strömt dann durch die Luftaufbereitungsanlage zurück.



## KLINGEL, ELEKTRISCHE

In fast allen Häusern ist heute eine elektrische Klingel angebracht. Ohne diese Einrichtung wäre eine schnelle Benachrichtigung der Bewohner eines mehrstöckigen Gebäudes von der Eingangstür her gar nicht möglich.

Das Klingelgeräusch einer elektrischen Klingel entsteht durch einen beweglichen Klöppel, der gegen eine Metallglocke oder einen Gong schlägt. Der Klöppel, der auf einem Eisenbügel befestigt ist, wird von einem Elektromagneten angezogen oder von einer Feder zurückgedrückt. In der Stromzuführung zum Elektromagneten befindet sich am Ende der Rückstellfeder ein einfacher einstellbarer Kontakt.

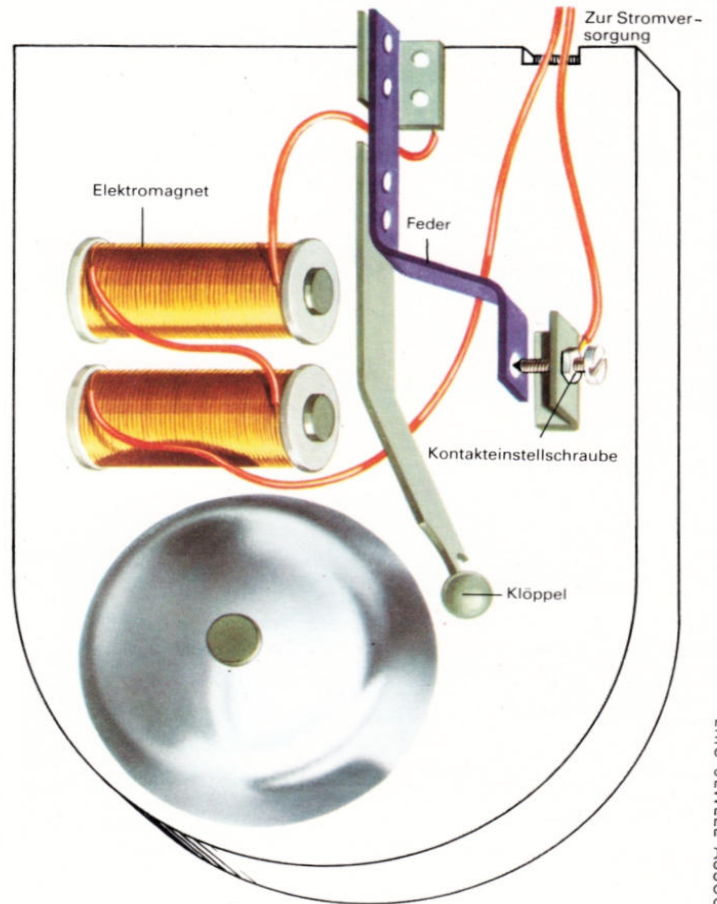
Drückt man den Klingelknopf, fließt elektrischer Strom durch den Elektromagneten, der bei den meisten Klingeln aus zwei Spulen besteht. Der Eisenbügel mit dem Klöppel wird



GENT

**Oben:** Eine Serie von Spulen, die in Industrieklingeln eingebaut werden. Diese Bauart besitzt eine Einzelspule mit einem Tauchkern, an dessen Ende ein Unterbrecherkontakt sitzt. Der Tauchkern schlägt gegen die Unterseite des Gongs.

angezogen und schlägt gegen die Glocke. Dabei wird die Kontaktstelle zur Feder hin unterbrochen, d.h. durch den Elektromagneten kann kein Strom mehr fließen. Es sind keine magnetischen Anzugskräfte wirksam. Die Feder drückt den Eisenbügel wieder in seine Ruhelage. Wird der Kontakt geschlossen, wird ein neuer Stromfluß durch den Elektromagneten möglich, so daß sich der Bügel erneut in Richtung Glocke bewegt und sie anschlägt. Die Geschwindigkeit der Bewegung und auch die Höhe der Lautstärke lassen sich durch Verkleinern der Strecke einstellen, die der Klöppel zurücklegen muß.



ERIC JEWELL ASSOC.

**Oben:** Einfache elektrische Klingel. Die Arbeitsspannung der Klingel ist abhängig von der Dicke des Drahtes, mit dem die Spulen gewickelt sind. Sie geht mit Gleich- und Wechselstrom.

Elektrische Summer arbeiten nach dem gleichen Prinzip, nur schlägt der Klöppel gegen das Außengehäuse des Summers statt gegen eine Glocke, wodurch ein Summton entsteht.

### Der Gong

Der Gong mit zwei Tönen, der statt der Klingel in manchen Häusern zu finden ist, arbeitet auf eine andere Weise. Man findet dort zwar auch einen Elektromagneten, der einen Klöppel anzieht, es fehlen aber die Kontakte. Stattdessen endet der Bügel in einem beweglichen Gelenk. Wenn der Klingelknopf gedrückt wird, fließt der Strom durch den Elektromagneten, wodurch das biegsame Ende zu schwingen beginnt und dabei gegen den ersten Gong schlägt. Wird der Klingelknopf losgelassen und fällt der Bügel zurück, schwingt das bewegliche Ende weiter nach hinten als der Bügel und schlägt gegen den anderen Gong. Die Ruhestellung liegt ungefähr in der Mitte zwischen beiden Gongs.

Einige Ausführungen sind für einen zweiten Klingelknopf ausgelegt, der über einen elektrischen Widerstand mit dem Stromkreis verbunden ist. Der zweite Klingelknopf kann beispielsweise an der Hintertür angebracht sein. Wegen des zusätzlichen Widerstandes wird der vom zweiten Klingelknopf ausgelöste Strom durch den Elektromagneten schwächer sein. Das magnetische Feld zieht den Bügel mit geringerer Kraft an. Liegt die Ruhelage des Bügels außerhalb der Mitte der beiden Gongs, kann er nur einen Gong anschlagen. Daran läßt sich erkennen, ob jemand vom Haupteingang oder vom Nebeneingang her schellt. Kompliziertere Gongs mit drei oder mehr Tönen werden von Elektromotoren angetrieben, die einen Schlegel drehen, der die Töne in einer festgelegten Reihenfolge anschlägt.



# KOHLENSTOFF

**Kohlenstoff kommt in über einer Million chemischer Verbindungen vor. Kohlenstoff ist das zentrale Element und die Grundvoraussetzung aller organischen Verbindungen. Durch die ungeheure Anzahl möglicher Kohlenwasserstoffverbindungen hat sich in der Chemie ein eigener Zweig, die organische Chemie, gebildet.**

Den Kohlenstoff (chemisches Zeichen: C) findet man in der Gruppe IVa des periodischen Systems. Silicium, Germanium, Zinn und Blei sind weitere Elemente dieser Gruppe.

## Vorkommen

Obwohl Kohlenstoff ein lebenswichtiges Element ist, kommt er nur zu 0,1% in der Erdkruste vor. In reiner Form tritt Kohlenstoff als Diamant und Graphit auf. Jeder lebende Organismus — vom Menschen bis zur einzelligen Amöbe — enthält eine Vielzahl von organischen Molekülen, die als zentrales chemisches Element Kohlenstoff haben. Kohlenstoff kommt auch in einigen Mineralen als Carbonat vor. Beispiele sind Kalk und Kalkstein, die beide Calciumcarbonate sind, und Dolomit, ein Gemisch aus Magnesium- und Calciumcarbonat. Sedimentäre Ablagerungen von Pflanzenrückständen können Torf und verschiedene Arten von Kohle sowie Erdöl und -gas enthalten. Die Zusammensetzung hängt von den

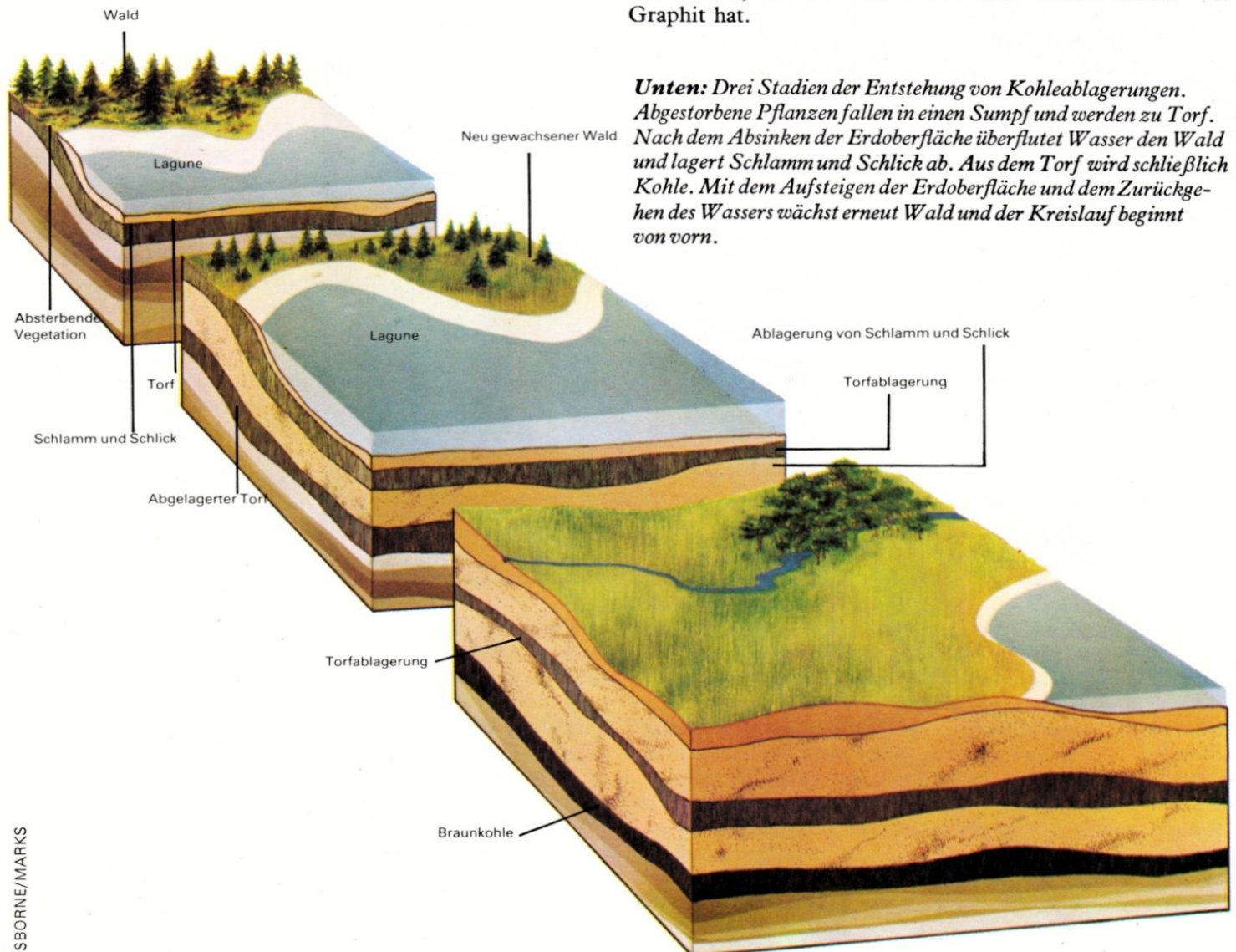
unterschiedlichen Wärme- und Druckbedingungen bei der Bildung der Sedimentgesteine ab.

Kohlenstoff ist in Form von Öl und Kohle sowie als einfaches Kohlehydrat (z.B. als Glukose) allgemein oder im menschlichen Körper ein wesentlicher Träger der Energieversorgung. Pflanzen nehmen Kohlenstoffdioxid aus der Luft auf und lagern Wasser unter Lichteinwirkung (sogenannte PHOTOSYNTHESE) an, um Glukose (Traubenzucker) zu bilden. Tiere fressen und verdauen die Pflanzen und geben bei der Atmung das durch OXIDATION entstandene Kohlenstoffdioxid wieder ab. Diesen Zyklus nennt man den Kohlenstoffzyklus.

## Physikalische Eigenschaften

Von dem natürlich vorkommenden Kohlenstoff kennt man drei Isotope (Elemente gleicher Protonen-, aber verschiedener Neutronenzahl):  $^{12}\text{C}$  (98,89%);  $^{13}\text{C}$  (1,11%) und  $^{14}\text{C}$  (in Spuren). Die beiden Isotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$  sind stabile Elemente.  $^{14}\text{C}$  hingegen ist radioaktiv und hat eine Halbwertszeit von 5570 Jahren. Dieses Radioisotop dient zur Altersbestimmung von Gegenständen nach der  $^{14}\text{C}$  Methode.

Kohlenstoff hat keinen definierten Schmelzpunkt, da es sublimiert, d.h. unmittelbar vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht. Der theoretische Schmelzpunkt liegt bei  $3500^\circ\text{C}$ , der theoretische Siedepunkt bei  $4200^\circ\text{C}$ . Ursprünglich glaubte man, Kohlenstoff käme in drei verschiedenen Modifikationen (Allotropie) vor: DIAMANT, Graphit und Ruß (amorpher Kohlenstoff). Nach neueren Untersuchungen dürfte Kohlenstoff nur in zwei Modifikationen vorkommen, da Ruß einen ähnlichen Strukturaufbau wie Graphit hat.



**Unten:** Drei Stadien der Entstehung von Kohleablagerungen. Abgestorbene Pflanzen fallen in einen Sumpf und werden zu Torf. Nach dem Absinken der Erdoberfläche überflutet Wasser den Wald und lagert Schlamm und Schlick ab. Aus dem Torf wird schließlich Kohle. Mit dem Aufsteigen der Erdoberfläche und dem Zurückgehen des Wassers wächst erneut Wald und der Kreislauf beginnt von vorn.



## Diamant

Diamant ist eine durchsichtige, kristalline Form von Kohlenstoff. Er ist der härteste in der Natur vorkommende Stoff. (Im Jahre 1957 wurde synthetisch Borazon hergestellt, das ähnlich hart wie Diamant ist und Diamant einritzen kann.) Diamant ist ein schlechter Wärme- und Elektrizitätsleiter. Seine Dichte beträgt das 3,5fache von Wasser. Diamant ist einer der ersten Stoffe, die durch Röntgenstrahlbeugung untersucht wurden. Jedes Kohlenstoffatom ist tetraedrisch (ein von vier gleichseitigen Dreiecken umschlossener, regelmäßiger Körper) von vier weiteren Kohlenstoffatomen umgeben. Diese Anordnung

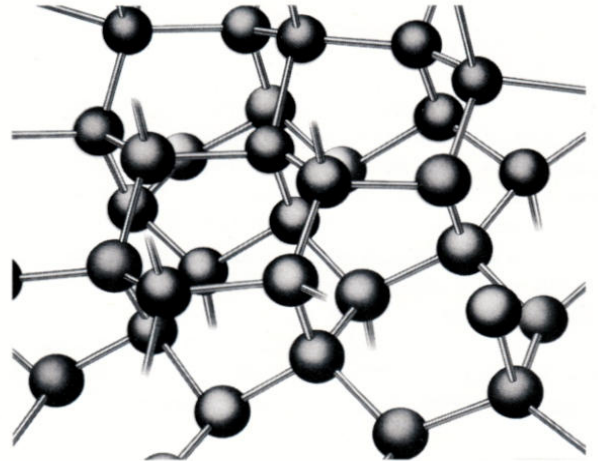
Diamant die stabilere Modifikation ist. Diamant verbrennt in Luft bei Temperaturen zwischen 600°C und 800°C.

## Graphit

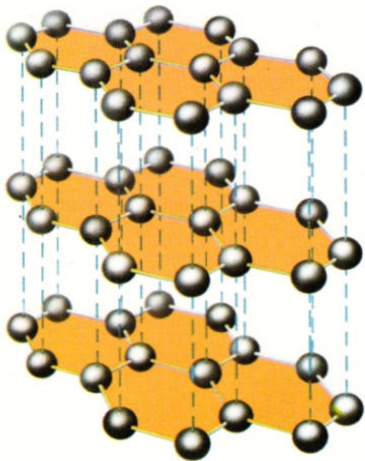
Die Kohlenstoffmodifikation Graphit ist ein weicher, grauer Stoff. Er ist in der Natur weit verbreitet. Seine Dichte ist mit der 2,2fachen Dichte des Wassers geringer als die Dichte von Diamant. Graphit leitet Wärme und elektrischen Strom. Er kristallisiert in einem sogenannten Schichtengitter. In jeder einzelnen Schicht sind die Kohlenstoffatome in den Rechtecken regelmäßiger Sechsecke angeordnet. Der Zusammen-



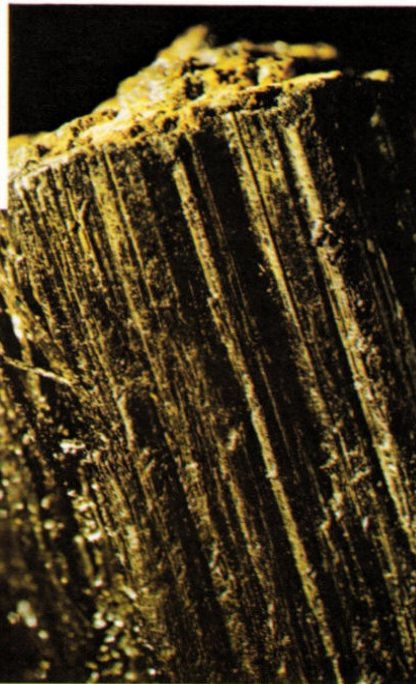
DIAMOND TRADING ASSOC.



ERIC JEWELL ASSOC.



ERIC JEWELL ASSOC.



PAUL BRIERLEY

**Links oben:** Oktaedrischer Rohdiamant (schwach gefärbt), das härteste in der Natur vorkommende Material. Reiner Kohlenstoff hat zwei Modifikationen: Diamant und Graphit (im Bild links). Beide unterscheiden sich in ihrer Kristallstruktur (ganz links und oben). Graphit hat eine Schichtstruktur. Die Schichten können sich gegeneinander verschieben. Dies ist der Grund dafür, daß Graphit als Schmiermittel eingesetzt werden kann.

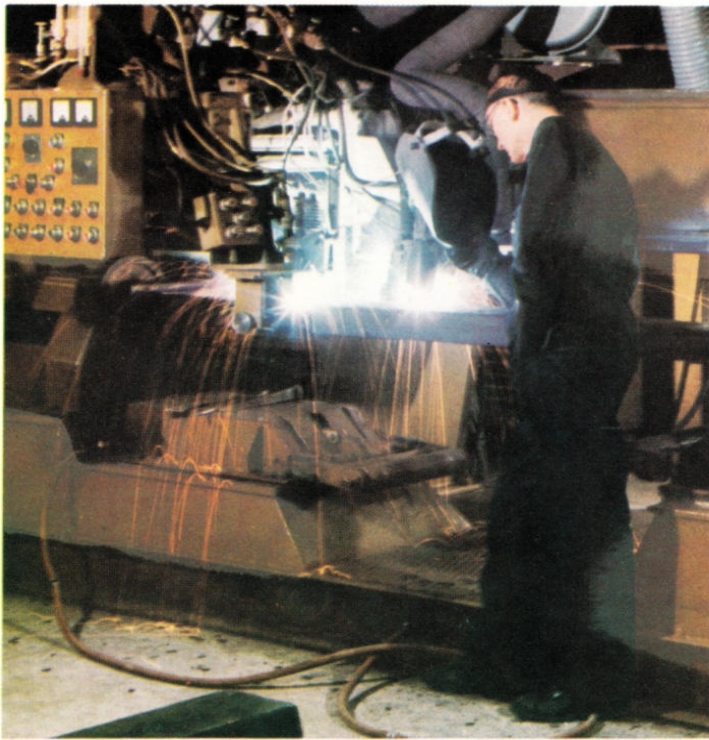
zieht sich durch den ganzen KRISTALL hindurch, d.h. jeder Kristall ist ein riesiges Molekül. Diamanten, die in der Schmuckindustrie verarbeitet werden, können durch Verunreinigungen auch bunt gefärbt sein. Viele Diamanten haben keine gleichmäßige Struktur. Sie werden dann industriell verwertet. Durch ihre extreme Härte sind Diamanten hervorragend zum Bohren, Schneiden und Schleifen geeignet. Ihr Hauptvorkommen ist in Südafrika und Brasilien. Da der Diamant in seiner Struktur dichter als Graphit ist, wäre es denkbar, aus Graphit Diamanten herzustellen. Dies ist in den 50er Jahren auch tatsächlich durch Einwirkung hoher Temperaturen und hoher Drücke gelungen. Allerdings können nur sehr kleine Diamanten (0,1 Karat) hergestellt werden. Es ist auch interessant, daß bei Normaltemperatur und Normaldruck

halt zwischen den einzelnen Schichten ist schwach. Wegen seiner physikalischen Eigenschaften wird Graphit zur Herstellung von Elektroden (siehe ELEKTROLYSE) und zur Schmierung verwendet. Diese Anwendungen sind von größerer Bedeutung als der bekanntere Einsatz in Form von Bleistifminen. Außerdem wird Graphit in Kernreaktoren als Moderator (zum Abbremsen von Neutronen) verwendet. Von der amorphen Kohlenstoffform kennt man beispielsweise Holzkohle, Ruß oder Lampenruß. Kristalluntersuchungen haben ergeben, daß die Kohlenstoffform mikrokristalliner Graphit ist. Amorpher Kohlenstoff zeichnet sich durch eine große Oberfläche aus. (1 g Holzkohle kann eine Oberfläche von mehreren Hundert Quadratmetern haben.) Holzkohle ist ein bedeutender Bestandteil von Schießpulver, andererseits ist sie aufgrund der









DISTILLERS CO.

**Oben:** Kohlenstoffdioxid wird als Schutz beim Schweißen eingesetzt. Es wird um die Schweißstelle geblasen, um sie vor Sauerstoff und anderen Gasen der Atmosphäre zu schützen.

großen Oberfläche ein gutes Adsorptionsmittel für gasförmige und gelöste Stoffe. Lampenruß wird vielfach bei schwarzer Tinte, Durchschlagpapier und als Zusatz bei Kraftfahrzeugreifen verwendet.

### Kohlenstoffchemie

Die große Bedeutung der Kohlenstoffchemie (ORGANISCHE CHEMIE) rührt daher, daß sich Kohlenstoffatome zu sehr langen, stabilen Kohlenstoffketten zusammenschließen können. Dies beruht darauf, daß die Bindungsenergie — sie läßt Rückschlüsse auf die Festigkeit einer Bindung zu — zwischen Kohlenstoffatomen ebenso groß ist wie zwischen Kohlenstoff- und Sauerstoffatomen. Mit Schwefel verbindet sich Kohlenstoff zu Schwefelkohlenstoff, das ein vorzügliches Lösungsmittel für viele organische Verbindungen ist. Mit STICKSTOFF bilden sich Zyanide und mit CHLOR bildet Kohlenstoff Tetrachlorkohlenstoff, ein bekanntes Lösungs- und Reinigungsmittel. Fluorkohlenstoffe werden als Treibmittel für Sprühgas und als Überzug für nicht haftende Kochtöpfe benutzt. Manche Metalle verbinden sich bei sehr hohen Temperaturen (vielfach über  $2000^{\circ}\text{C}$ ) mit Kohlenstoff zu Carbiden. Calciumcarbid ( $\text{CaC}_2$ ) wird manchmal zur Herstellung von Azetylen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) verwendet, das als Schweißgas benutzt wird. Carbide sind häufig extrem harte Stoffe. Wolframcarbid (WC) beispielsweise wird in vielen Werkzeugen als Schneidwerkstoff verwendet. Die speziellen Eigenschaften von Stahl beruhen darauf, daß sorgfältig kontrollierte Mengen an Eisencarbid zugemischt werden. Kohlenstoff verbindet sich mit Sauerstoff zu verschiedenen Oxiden, von denen Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) am bekanntesten sind.

### Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid ist ein hochgiftiges, farbloses und geruchloses Gas, das beim Verbrennen von Kohlenstoff mit einer begrenzten Sauerstoffmenge entsteht. Es ist deshalb so giftig, weil es mit dem aktiven Eisen im Hämoglobin (roter Blut-

farbstoff) eine feste Bindung eingeht. Hierdurch verhindern die katalytischen Eigenschaften des Hämoglobins die Aufnahme von Sauerstoff in den Lungen beim Atmungsvorgang. Die unvollständige Verbrennung in Kraftfahrzeugmotoren führt zu einem gewissen Kohlenstoffmonoxidanteil in den Abgasen, die bei hohem Verkehrsaufkommen eine vergiftende Wirkung haben können. (Ein Kohlenstoffmonoxidgehalt von 0,5 Volumenprozent ruft in einem Zeitraum von etwa 10 Minuten lebensgefährliche Vergiftungen hervor.) Mit einigen Übergangselementen geht Kohlenstoffmonoxid Verbindungen ein. Es bilden sich Metallcarbonyle wie Nickelcarbonyl ( $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ) oder Eisencarbonyl ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ).

### Kohlenstoffdioxid

Der Kohlenstoffdioxidanteil der Luft beträgt 0,03%. Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses Gas mit einem leicht säuerlichen Geruch und Geschmack. Es entsteht durch Verbrennen von Kohlenstoff bei Sauerstoffüberschuß. Kohlenstoffdioxid ist nicht giftig. Da es aber schwerer als Luft ist, lagert es sich am Boden ab. Dies kann in Minen oder auch in Weinkellern zum Erstickungstod führen. Aus diesem Grunde geht man häufig mit einer Kerzenflamme in große Weinkeller. Unter Einwirkung von Überdruck verflüssigt sich Kohlenstoffdioxid und wird bei  $-56,6^{\circ}\text{C}$  fest. Unter Atmosphärendruck geht gasförmiges Kohlenstoffdioxid bei  $-78,5^{\circ}\text{C}$  in den festen Zustand über. Das feste Kohlenstoffdioxid ist im Handel als Trockeneis bekannt. Kohlenstoffdioxid wird als Feuerlöschmittel, bei Getränken wie Sprudel und Sekt sowie in Syphons zur Herstellung von Sprudel aus Wasser verwendet.

Wird Kohlenstoffdioxid in Wasser gelöst, entsteht die schwache und unbeständige Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Aus ihr werden Bicarbonate und Carbonate hergestellt. Natriumbicarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) oder Hirschhornsalz ist ein bekanntes Treibmittel bei der Herstellung von Backwaren. Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ist das handelsübliche Soda.

**Unten:** Graphit ist ein guter Leiter elektrischen Stroms. Die großen Blöcke im Bild werden zum elektrolytischen Schmelzen von Aluminium benutzt.



RIO TINTO ZINC



## KOHLENSTOFFFASER

Überall dort, wo Festigkeit und geringes Gewicht gefordert werden — vom Golfschläger bis hin zu Erdsatelliten — gewinnen kohlenstoffaserverstärkte Werkstoffe zunehmend an Bedeutung.

Verschiedene faserartige Formen von Kohlenstoff und Graphit hatten bereits im vergangenen Jahrhundert eine gewisse technologische Bedeutung erlangt. Man denke nur an die Verwendung von carbonisierten Leinen- oder Baumwollfäden als Glühfäden für die elektrische Glühlampe durch Thomas Alva Edison (1847 bis 1931). Die hervorragende Hitzebeständigkeit des Kohlenstoffs (Verdampfungstemperatur 4200°C) wurde vielseitig genutzt: zur Herstellung von Geweben, Filzen, Wolle und Papier für Filtrationszwecke, zur Hochtemperaturisolierung sowie für katalytische Zwecke in der industriellen Produktion. Diese ersten Fasern waren jedoch spröde und ihre mechanischen Eigenschaften wie Festigkeit und Steifheit wenig zufriedenstellend. Sie kamen daher als Verstärkungsmaterial für Verbundwerkstoffe nicht in Frage.

### Ausgangsmaterialien

In den 50er Jahren führte das wachsende Interesse an Kohlenstofffasern als Verstärkungsmaterial für Phenoplaste (Kunststoffe) zur Entwicklung von Fasern mit deutlich verbesserten mechanischen Eigenschaften. Dieser neue Fasertyp wurde aus Viskoseendlosfasern gewonnen. Nach der Entdeckung von Techniken zur Herstellung von Fasern mit hoher Reiß- und Zugfestigkeit machte die Kohlenstoffasertechnologie in den 60er Jahren rasche Fortschritte. Die Bedeutung dieser Fasern liegt in ihrer Verwendung als Verstärkungsmaterial in Verbundwerkstoffen, die von ihrer strukturbedingten Leistungsfähigkeit her allen konventionellen Materialien überlegen sind.

Grundlage der Herstellung von Kohlenstofffasern jeder Art ist die kontrollierte Pyrolyse (thermische Zersetzung) eines kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterials, das während der carbonisierenden Wärmebehandlung seine Faserform beibehält und eine hohe Kohlenstoffausbeute ergibt. Als Ausgangsmaterial eignen sich eine ganze Reihe natürlicher und synthetischer Fasern. Naturzellulosefasern wie Baumwolle, Hanf und Flachs sind aufgrund des geringen Kohlenstoffgehalts und der mangelhaften Qualität der produzierten Fasern weniger geeignet. Zu den ersten synthetischen Ausgangsmaterialien, die mit gutem Erfolg verwendet wurden, zählte Viskosereyon (Regeneratzellulose). Die größten Fortschritte wurden mit Polyacrylnitrilfasern (PAN-Fasern), die den in kommerziellen Acrylgeweben verwendeten Fasern ähneln, erzielt. Zu weiteren vielversprechenden synthetischen Polymeren als Ausgangsfasern gehören Polyvinylalkohol, Polyimide und Polyamide. Verschiedene Pech- und bituminöse Fasern sowie besonders vorbehandelte Wollfasern könnten in der Praxis ebenfalls als Ausgangsmaterial dienen.

### Herstellungsverfahren

Die Umwandlung des Ausgangsmaterials in Kohlenstofffasern von gleichbleibend hoher Qualität erfordert eine längere Wärmebehandlung unter kontrollierten Bedingungen hinsichtlich Zeit, Temperatur, Atmosphäre und Druck. Aus etwa 10 000 Endlosfasern bestehende Faserbündel können entweder schubweise in Kammeröfen oder aber kontinuierlich in Durchlauföfen verarbeitet werden.

Am Anfang eines solchen Verfahrens steht gewöhnlich eine Vorbehandlung, z.B. Verstrecken unter Dampf. Anschließend werden die Fasern auf 200°C bis 300°C erhitzt und durch eine daraus resultierende Brückenbildung zwischen ihren



GERRY EMBLETON

**Oben:** Moderne Ausrüstung für die Bereitschaftspolizei und die Armee, die bei gewalttätigen Demonstrationen eingesetzt werden. Der Schild und die Sichtblende des Helmes sind aus fast unzerbrechbarem Plastikmaterial hergestellt. Die kugelsichere Kleidung besteht aus verstärktem Plastik. Der Helm ist aus glasfaserverstärktem Material. Selbst der Schlagstock besteht aus Kohlenstoffasermaterial.



Molekülketten stabilisiert. Die Carbonisierung (Behandlung einer Faser mit z.B. starken Säuren) erfolgt in einer Atmosphäre aus Edelgas, z.B. Argon, bei Temperaturen von bis zu  $1000^{\circ}\text{C}$ . Während der Pyrolyse werden gasförmige Zerfallprodukte frei, und die Faser schrumpft. Bei der Carbonisierung von PAN werden z.B. Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf, Zyanwasserstoff und gasförmiger Stickstoff abgegeben. Die Endstufe besteht schließlich in der Graphitierung durch Wärmebehandlung bei  $2000^{\circ}\text{C}$  bis  $3000^{\circ}\text{C}$ , was zu einem geordneten Wachstum von Graphitkristallen in den Fasern führt.

### Faserstruktur

Der elementare Kohlenstoff kann amorphe oder kristalline Formen aufweisen, die mit jeweils unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften einhergehen. Die spezifischen Eigenschaften von Kohlenstofffasern sind deshalb von ihrem Atombau und ihrer Mikrostruktur abhängig. Für diese wiederum sind die Temperatur, bei der die Wärmebehandlung vorgenommen wird, die Struktur des Ausgangsmaterials sowie Prozeßvariable wie Druck und Atmosphäre maßgebend. Der kristallinen Graphitform ist wegen ihrer hohen mechanischen Festigkeit der Vorzug zu geben. Sie verfügt über eine sehr dicht gepackte hexagonale Schichtstruktur mit einem Abstand von  $0,335\text{ nm}$  ( $1\text{ nm} = \text{Ein}$

FOTHERGILL & HARVEY





**Links:** Die Bremsklappen am französisch-deutschen Alpha-Jet bestehen aus widerstandsfähiger, vorimprägnierter Kohlenstofffaser. Dieses leistungsfähige und sehr leichte Material ist ideal für die Herstellung von Bremsklappen, da es die hohen Druckbelastungen aushalten kann und das Gesamtgewicht nur wenig erhöht.



*Die Kohlenstofffaser verbindet als charakteristische Eigenschaften ein leichtes Gewicht und große Widerstandsfähigkeit. Beides macht sie zu einem unentbehrlichen Baumaterial moderner Flugzeuge.*

Millionstel Millimeter) zwischen den einzelnen Schichten, und die charakteristische Anisotropie, d.h. ihre Kristalle zeigen nach verschiedenen Richtungen verschiedene physikalische Eigenschaften. Das stabilste bisher gefundene Material sind Graphit-‘Whisker’, perfekte Haarkristalle. Feste, steife Kohlenstofffasern erhält man überall dort, wo sich während der Wärmebehandlung eine fadenähnliche Graphitstruktur aufbauen läßt.

Bei Verwendung eines gesponnenen organischen Ausgangsmaterials mit geordnetem Molekülaufbau verlaufen die Kristallschichten parallel zur Faserachse. Nach der Graphitierung

erhält man ein Netzgefüge aus winzigen Graphitfasern. Da diese sogenannten Fibrillen fehlerhaft gepackt sind, sind längere Hohlräume und Lücken die Regel. Ein ähnlicher Effekt läßt sich mit preiswerteren, fehlgeordneten Ausgangsmaterialien, wie z.B. Pech, durch ein anderes Verfahren, die sogenannte Graphitierung unter Streckung, bei Temperaturen zwischen 2000°C und 2900°C erzielen.

Der Faserquerschnitt kann rund oder unregelmäßig sein; der mittlere Durchmesser liegt zwischen 0,006 mm und 0,015 mm. Die Oberflächenbeschaffenheit hängt von der Art des verwendeten Ausgangsmaterials ab. Bei einer Faser auf





**Oben:** Verbundstoffe auf Kohlenstofffaserbasis sind haltbarer als glasfaserverstärkter Kunststoff. Ford experimentierte mit derartigen Material für Karosserieteile des GT 40.

PAN-Basis ist sie glatt, bei Reyon-Ausgangsmaterial ist sie mit Längsrillen versehen. Häufig wird die Oberfläche zur Erzielung eines besseren Haftvermögens noch nachbehandelt. Als Möglichkeiten bieten sich hier flüssige oder gasförmige Oxidation sowie die Anregung des Wachstums von Stickstoffsilicid-Haarkristallen auf der Oberfläche an.

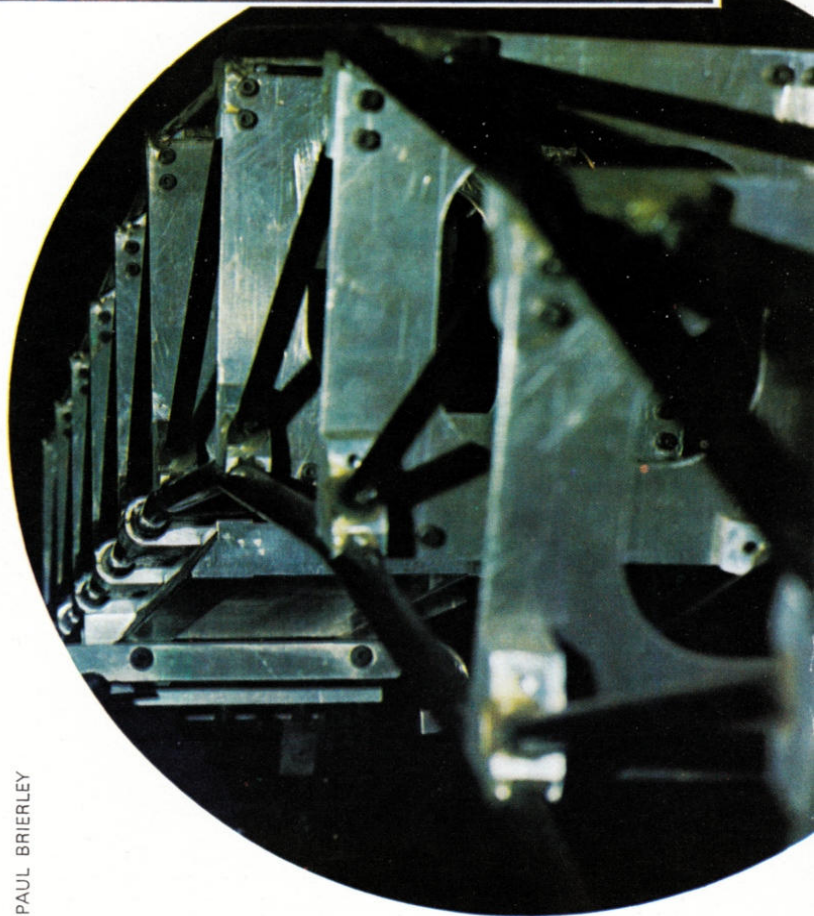
### Eigenschaften

Graphitierte oder teilweise graphitierte Kohlenstofffasern sind viel steifer und fester als andere Fasertypen und besitzen von diesen abweichende physikalische Eigenschaften. Auch sind sie anisotrop, d.h. ihre Festigkeit hängt davon ab, ob die Kräfte längs oder quer zu den Kristallschichten angreifen. Ihre Elastizität und Festigkeit sowie der Grad der Anisotropie stehen in engem Zusammenhang mit der Kristallgröße und -orientierung. Bei der Wärmebehandlung im Bereich zwischen 1200°C und 3000°C nimmt die Reißfestigkeit allmählich zu.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient für die Längsdehnung ist geringfügig negativ, d.h. mit ansteigender Temperatur tritt ein geringfügiges Schrumpfen auf. In Querrichtung ist der Koeffizient jedoch positiv. Ein Ansteigen der Temperatur hat hier eine unwesentliche Zunahme in der Breite zur Folge. Die Dichte steigt bei der Graphitierung von 1,5 g/cm<sup>3</sup> auf 2,0 g/cm<sup>3</sup>, der Ohmsche Widerstand ist etwa 500mal so groß wie bei Aluminium.

### Einsatzmöglichkeiten

Um die hervorragenden mechanischen Eigenschaften von Kohlenstofffasern richtig nutzen zu können, müssen diese mit einem polymeren metallischen oder keramischen Grundmaterial kombiniert werden. Solche Verbundstoffe werden in Press-, Form- oder Wickeltechnik unter Zugabe von Poly-

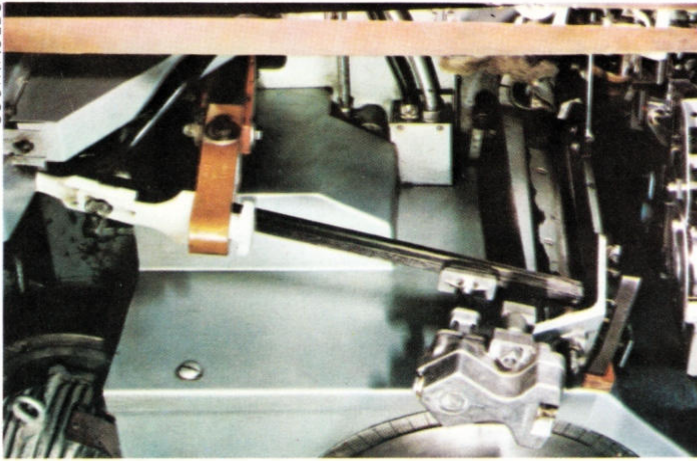


PAUL BRIERLEY

**Oben:** Teil einer Präzisionslehre zur Überprüfung der Abmessungen der Walzen in Walzwerken. Der schwarz gezeichnete Rahmen besteht aus Kohlenstoffasermaterial. Dadurch wird eine beträchtliche Gewichtsparnis erreicht, ohne daß dadurch die Haltbarkeit des Instrumentes wesentlich beeinflusst wird.



COURTAULDS



**Links:** Teil eines modernen Webstuhls, der sogenannte 'Schlagstock', aus kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff. Sie wurden ursprünglich aus Holz gefertigt. Die Kohlenstoffaserversionen haben jedoch nur das halbe Gewicht und sind zudem widerstandskräftiger. Dadurch konnte die Arbeitsgeschwindigkeit des Webstuhls und die Lebensdauer des Schlagstocks erhöht werden. Seit ihrem ersten Einsatz im Jahre 1972 arbeiten diese Schlagstöcke ohne Ausfallzeiten.

**Links unten:** Ein Menschenhaar und ein Bündel Kohlenstofffasern im Vergleich.

SHELL RESEARCH/PAUL BRIERLEY



**Unten:** Das Innere eines Oxidationsofens, wie er in der Kohlenstofffaserproduktion zur Oxidation des Ausgangsmaterials, hier Acrylfasern, verwendet wird. Das Acrylgarn läuft im Ofen von rechts nach links und wird langsam oxidiert, wobei sich seine Farbe von Weiß in Schwarz verändert.

ester-, Epoxyd- und Polyimidharzen hergestellt und sind im Verhältnis zu ihrem Gewicht von ausgezeichneter Festigkeit und Steifigkeit. Diese Eigenschaften hat man sich in der Luft- und Raumfahrttechnik (Satelliten, Raumschiffe, Flugzeugbau), bei Drehwerken (Zentrifugen, Helikoptern und Kompressoren), im Textilmaschinenbau und bei Sportartikeln (Golfschläger, Tennisschläger, Rennwagen) zunutze gemacht. Derartige Verbundwerkstoffe sind außerdem aufgrund ihrer guten chemischen Resistenz und Korrosionsbeständigkeit sowie ihrer Reibungs- und Verschleißigenschaften (insbesondere in Kombination mit thermoplastischen Grundmaterialien) für Lager und Getriebe besonders geeignet. Kohlenstoffasergewebe in Verbindung mit Phenolharzen finden außerdem als wärmeabsorbierende Werkstoffe für Hitzeschilder, Raketendüsen sowie Raketenspitzen in ballistischen Flugkörpern Verwendung. Kohlenstofffasern und Kohlenstoff-Verbundwerkstoffe, die in ihren mechanischen Eigenschaften dem normalen Graphit überlegen sind, werden daneben auch in Raketengruppen, Lagern und nuklearen Einsatzgebieten, wo hohe Temperaturen auftreten, benutzt.



COURTAULDS



## KOLORIMETRIE (PHOTOMETRIE)

**Fotometrische Methoden haben die Farbwiedergabe so verbessert, daß wir uns heute daran gewöhnt haben, im Fernsehen und im Farbfilm naturgetreue Farben zu sehen.**

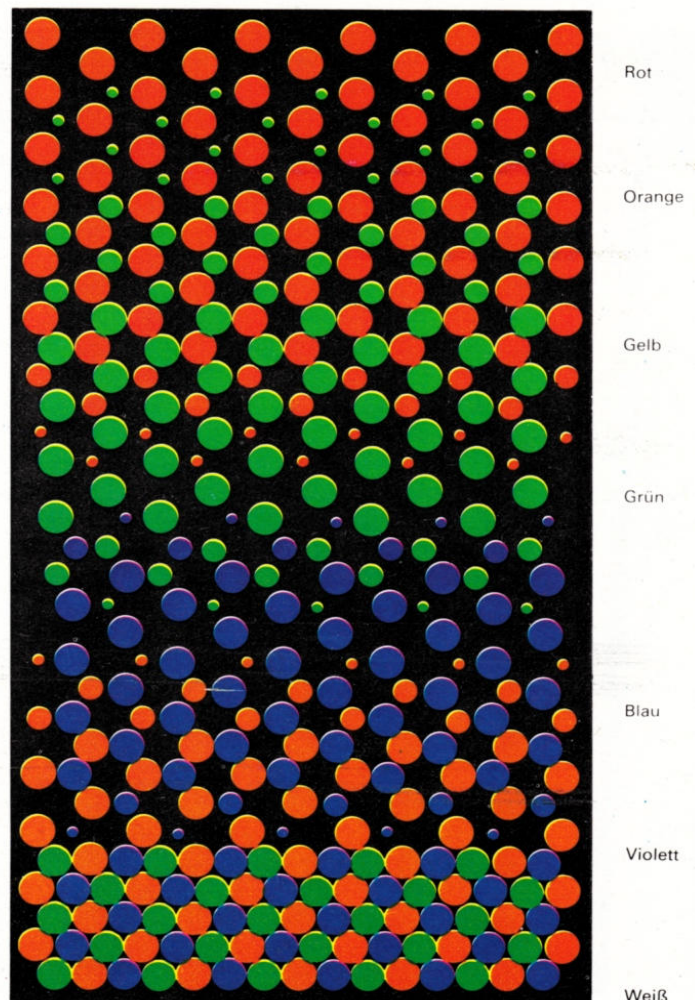
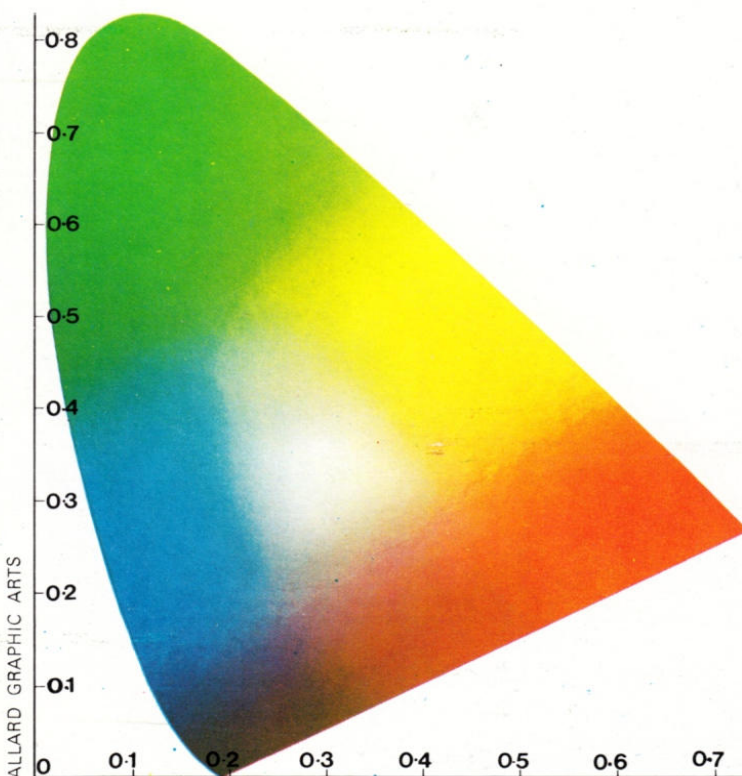
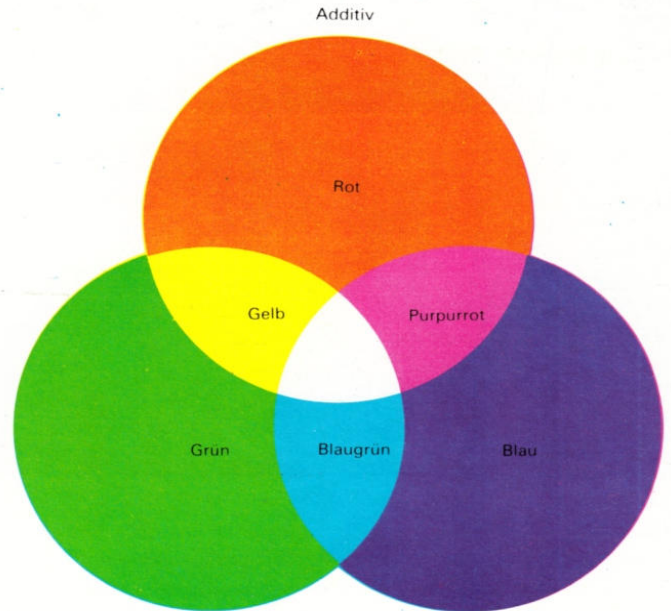
Die Fotometrie befaßt sich mit der Untersuchung und Messung fotometrischer Größen (Helligkeit, Farbe) unter Berücksichtigung der physiologischen Besonderheiten des menschlichen Auges, die für das Farbsehen von entscheidendem Einfluß sind. Man unterscheidet mehr Farben als die Spektralfarben des Regenbogens, z.B. Rosa oder Braun, und es ist daher nicht möglich, 'Farbe' einfach durch die Angabe einer Wellenlänge zu charakterisieren. Da das menschliche Farbsehen durch die kombinierte Aktion von Auge und Gehirn zustandekommt, muß die fotometrische Bestimmung der Farbe auf ihre Art den Weg der menschlichen Farbwahrnehmung nachvollziehen.

Ehe man erkennen kann, wie man dieses Ziel erreicht, ist ein Verständnis der Funktionsweise des Auges als Strahleneempfänger notwendig. Die lichtempfindliche Schicht im Inneren des Augapfels, die Retina (Netzhaut), enthält zwei Arten von 'Zellen', die 'Stäbchen', die als Detektoren geringer Lichtmengen dienen, und die 'Zapfen', die nur bei hoher Beleuchtungsstärke arbeiten. Die Zapfen können, im Gegensatz zu den Stäbchen, Farben unterscheiden. Deshalb werden nachts alle Farben nur noch als Grautöne wahrgenommen, denn die Zapfen arbeiten nicht mehr ('Nachtsehen'). Sobald die Beleuchtungsstärke groß genug wird, daß auch die Zapfen ansprechen, beginnt das 'Tagessen', bei dem auch Farben wahrgenommen werden.

### Die Grundfarben (Primärfarben)

Man hat gefunden, daß die Zapfen sich so verhalten, als ob sie drei verschiedene Detektoren enthielten, die jeweils auf verschiedene Teile des Spektrums des sichtbaren Lichtes mit Wellenlängen von 380 nm (Violett) bis 780 nm (Rot) (siehe

ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN) ansprechen. (1 nm = Ein Millionstel Millimeter.) Es ist möglich, fast alle Farben durch Mischung passender Anteile aus nur drei verschiedenen Farbbereichen herzustellen. Voraussetzung ist, daß diese Bereiche gut voneinander getrennt sind. Gewöhnlich wählt man dazu einen roten, einen grünen und einen blauen Farbbereich — die drei 'Grundfarben'. Die Grundfarben (Primärfarben) brauchen nicht monochromatisch zu sein, können also statt einer wohldefinierten Wellenlänge ein 'Band' von Wellenlängen enthalten. Weißes Licht kann nun aus einer Mischung gleicher Anteile der Grundfarben erzeugt werden. Entfernt

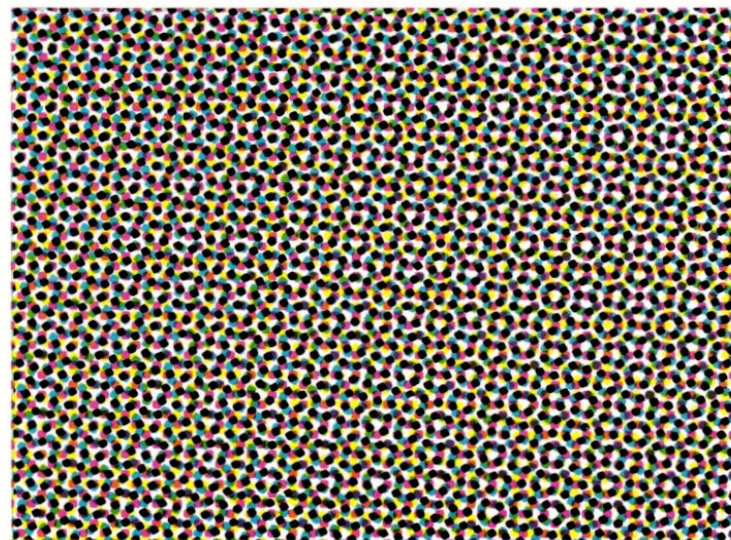
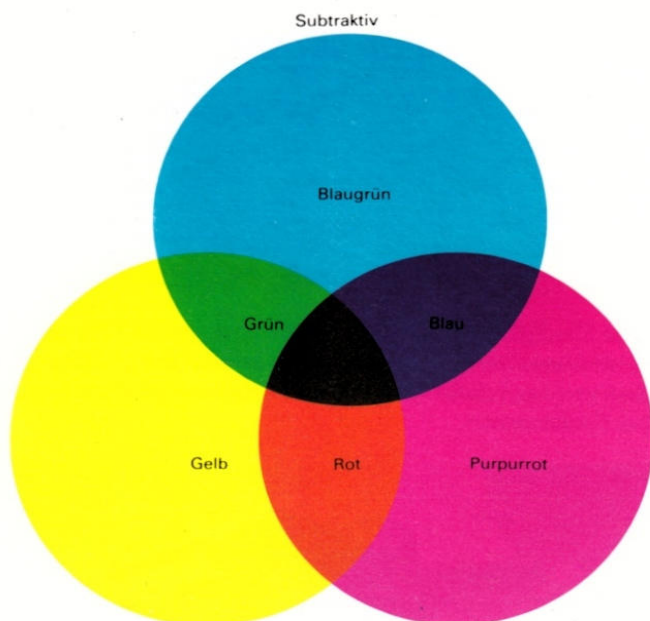




man eine der Grundfarben aus dem weißen LICHT, erhält man die 'Komplementärfarbe' (Sekundärfarbe). Die drei Sekundärfarben sind Gelb (Weiß minus Grundfarbe Blau), Purpurrot (Weiß minus Grundfarbe Grün) und Cyanin, eine blaugrüne Farbe (Weiß minus Primärfarbe Rot).

### Addition und Subtraktion

Werden Lichtbündel verschiedener Farbe gleichzeitig wahrgenommen, entsteht ein neuer Farbeindruck durch einen additiven Vorgang. Anders verhält es sich mit Farbstoffen wie Wasserfarben oder Druckerfarben, die bestimmte Farbanteile



**Links und oben:** Wo sich rotes, grünes und blaues Licht mischen (links oben), entsteht weißes Licht. Wo sich nur zwei dieser drei Grundfarben mischen, entstehen Gelb, Cyanin und Purpurrot. Die Darstellung von Punkten auf dem Fernsehschirm (links) zeigt, wie dieser Prozeß angewendet wird. Es ist jedoch sehr schwierig, in einem gedruckten Bild den richtigen Eindruck wiederzugeben. Die Komplementärfarben Purpurrot, Gelb und Cyanin sind (ganz oben) als Kreise gedruckt. Sie überlagern sich und ergeben Rot, Grün, Blau und Schwarz. Eine Farbillustration auf einer bedruckten Seite (oben) besteht aus Pünktchen dieser Komplementärfarben, wie in dem vergrößerten Ausschnitt sichtbar.

**Ganz links:** ist das CIE-Farbendiagramm (Farbtafel) mit reinen Spektralfarben an den Rändern und verweißlichten Farben in der Mitte abgebildet.

des weißen Papiers herausfiltern. Die Farbwahrnehmung entsteht dann durch einen subtraktiven Prozeß.

Aus diesen Gründen werden beim Farbfernsehen alle Farben aus einer Mischung roter, grüner und blauer Punkte gewonnen, während beim Farbdruck Punkte mit blaugrüner, purpurroter und gelber Farbe (und Schwarz) benutzt werden. Beim Fernsehen ergeben gleiche Anteile der Grundfarben 'Weiß' durch Addition, auf einer weißen Druckunterlage ergeben gleiche Anteile der Komplementärfarben 'Schwarz' durch Subtraktion. Gewöhnlich wird zusätzlich Drucker-schwarze benutzt, um die Kontraste besser hervorzuheben.

Beim Mischen von Anstrichfarben gelten die gleichen Prinzipien wie beim Drucken. Die Farbe wird nicht Punkt für Punkt aufgebracht, sondern die Farbkörper (Pigmente) werden physikalisch durchmischt. Mischt man also Rot und Grün, erhält man ein Gemenge, das das meiste einfallende Licht absorbiert. Es bleibt ein stumpfer brauner Farbton übrig. Die Grundfarben des Kunstmalers sind Rot, Cyanin und Gelb, die zusammen mit Schwarz und Weiß für die Erzeugung fast aller Farbeindrücke genügen.

### Die Farbtafel

Ein Instrument, mit dem ein Beobachter aus drei Grundfarben eine Farbe einstellen kann, die mit einem zu untersuchenden Farbfleck übereinstimmt, heißt Dreifarbenkolorimeter. Damit kann jeder Farbeindruck durch die Anteile der drei Grundfarben, die zu seiner Erzeugung notwendig sind, genau beschrieben werden. Die drei Werte für Rot, Grün und Blau heißen 'Farbwerte' X, Y, Z. Die 'Commission Internationale de l'Eclairage' (CIE) konnte im Jahre 1931 die Ergebnisse solcher Farbwertmessungen für eine 'Normalperson', einen 'mittleren' Beobachter, bekanntgeben. Diese Daten sind die Grundlage für das CIE-Maßsystem für Farbmessungen.

Eine graphische Darstellung mit drei Variablen sollte dreidimensional (räumlich) erfolgen. Um eine Darstellung der Farben in zwei Dimensionen (z.B. auf einem Blatt Papier) zu ermöglichen, werden zwei Farbwertanteile, X und Y, aus den Farbwerten herausgegriffen. X und Y sind die Anteile von Rot und Grün. Indem man X bei verschiedenem Z gegen Y aufträgt, können alle Farben durch einen Satz von Kurven dargestellt werden. Reine Farben werden auf einem solchen Diagramm, der Farbtafel, als Punkt in der Nähe der Spektralfarben dargestellt. Sie heißen 'satte' Farben. Farben können durch Zusatz einer weißen Lichtkomponente 'verweißlicht' werden, ebenso wie Anstrichfarben und Färbemittel durch weiße oder schwarze Farbkörper 'verhüllt' werden können. Solche Farbwerte findet man in der Nähe des 'weißen Punktes' in der Mitte der Farbtafel. Der 'Farbton' kann durch die benachbarte dominierende Wellenlänge angegeben werden.

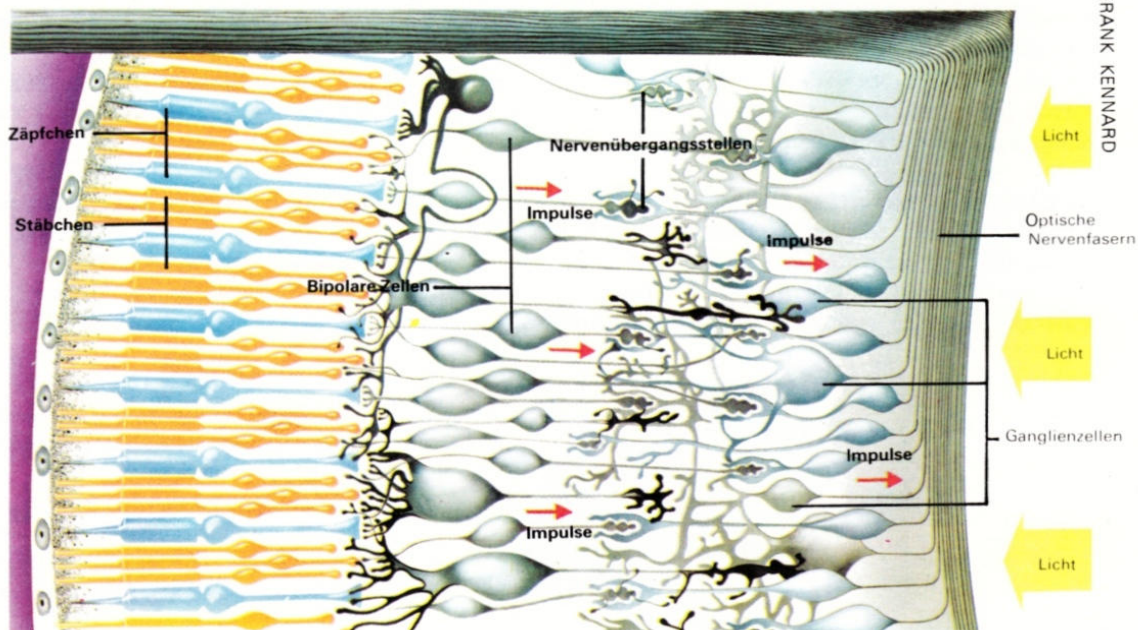
### Fotometrie

Die CIE-Normalperson ist durch die Verteilungskurven definiert, die die Reaktionen der drei verschiedenen 'Detektoren' der Zapfen und die maximale Empfindlichkeit für jeden Grundfarbenbereich angeben. Zur Messung der Farbwerte einer Probe gibt es zwei Hauptmethoden. Das einfachste Gerät ist eine Art BELICHTUNGSMESSE, in dem geeignet gefärbte FILTER nacheinander die Reaktion des Instrumentes den drei Verteilungskurven anpassen. Dieses Meßgerät heißt Dreifarbenkolorimeter und erlaubt die direkte Bestimmung der Farbwerte einer reflektierenden Probe. (Ein Kolorimeter, wie es zu Dichtemessungen von Lösungen üblich ist, kann für solche Zwecke benutzt werden.)

Die andere Methode benutzt ein Spektralfotometer zur Ausmessung des von einer Probe reflektierten oder durchgelassenen Lichtes oder des Lichtes einer Lichtquelle. In diesem Falle wird die Intensität des Lichtes bei jeder Wellen-



**Rechts:** Wenn ein Teil der Retina vergrößert wird, sieht man, daß das Licht durch ein komplexes Netz optischer Fasern und Nerven geht, bevor es die Zapfen und Stäbchen erreicht. Jede optische Faser die zum Gehirn führt, kommt von einer Ganglionzelle, die über bipolare Zellen mit zahlreichen Stäbchen und Zapfen verbunden ist. Dieses Netz, das man sich als Teil des Gehirns vorstellen kann, der ins Auge ausgelagert ist, übersetzt das Lichtmuster in einen Nervencode und regelt die Aufnahme-fähigkeit des Auges entsprechend dem Helligkeitsgrad des einfallenden Lichtes.



FRANK KENNARD

**Unten:** Ein Ausschnitt aus dem Gemälde 'Die Brücke von Courbevoie' von Seurat (1859 bis 1891). Die impressionistische Schule der 'Pointillisten' ging von der additiven Farberzeugung aus, bei der mit Punkten gearbeitet wurde.



COURTAULD INSTITUTE OF ART

**Unten:** Ein Spektrometer, das benutzt wird, um die Tönung von Sonnenbrillengläsern zu überprüfen. Es arbeitet mit 16 Filterbändern und kann daher eine größere Farbgenauigkeit erzielen als andere Spektrometer.



POLAROID

länge gemessen und automatisch in einer Kurve festgehalten. Diese Ergebnisse können dann mit den Verteilungskurven kombiniert werden, womit man die Farbwerte erhält — eine genauere, aber auch langsamere und aufwendigere Methode.

Obwohl das Auge ausgleichend oder anpassend reagieren kann, um Änderungen in der Intensität und der Farbe der Beleuchtung zu kompensieren, variiert grundsätzlich die Farbe eines Objekts mit der Art des Lichtes, das zur Beobachtung dient. Die CIE hat für die Fotometrie mehrere Standardlichtquellen festgelegt. Messungen der Farbwerte müssen den Verhältnissen bei einer dieser Lichtarten angepaßt werden. Die am meisten benutzten Lichtarten sind  $S_A$  (Wolframdampf-lampe),  $S_B$  (Sonnenlicht) und  $S_D$  (Tageslicht).

### Metamerie

Mit Metamerie bezeichnet man die gleiche Farberscheinung zweier oder mehrerer Proben mit verschiedener Spektralverteilung. Metamerie kommt bei gefärbten oder angestrichenen Materialien häufig vor, gilt aber nur bei speziellen Lichtarten (z.B. Tageslicht) und verschwindet bei anderen (z.B. Wolfram-dampflicht). Metamere Farben können mit dem Spektral-fotometer unterschieden werden, mit dem Kolorimeter jedoch häufig nicht.

Eine praktische Konsequenz der Metamerie kennen wir aus dem täglichen Leben, wenn man versucht, gefärbte Textilien

farblich aufeinander abzustimmen: Bei künstlicher Beleuchtung in einem Raum mögen zwei Materialien gut übereinstimmen. Nach dem Kauf der Ware können sie trotzdem bei Tageslicht ziemlich verschieden aussehen. Die Färbereien versuchen solche Probleme zu vermeiden, indem sie durch sorgfältige Farbmessung für Übereinstimmung sorgen. Nur Materialien von verschiedenen Fabrikanten zeigen normalerweise Metamerieerscheinungen.

### Anwendungen

Die Messung der Farbwerte und besonders der Farbunterschiede ist wichtig für viele Industriezweige. Die Färberei- und Farbenindustrie benutzt fotometrische Methoden zur präzisen Mischung der verschiedenen Farbstoffe, zur Untersuchung des Verbleichens und der Metamerie und bei der Entwicklung besserer Farbstoffe und Pigmente. In der Papier- und Textilindustrie werden fotometrische Methoden häufig zur Qualitätskontrolle eingesetzt. Die Farbwiedergabe in der Fotografie, dem Fernsehen und im Druck wird mit fotometrischen Methoden untersucht und weiterentwickelt. Die Beleuchtungsindustrie hat die Fotometrie bei der Entwicklung von Fluoreszenzlampen mit zufriedenstellenden Farbwiedergabeeigenschaften eingesetzt. In vielen anderen Zweigen der Forschung, Entwicklung und Produktion ist die Möglichkeit einer quantitativen Beschreibung der Farbe von großem Wert.



## KOMPASS

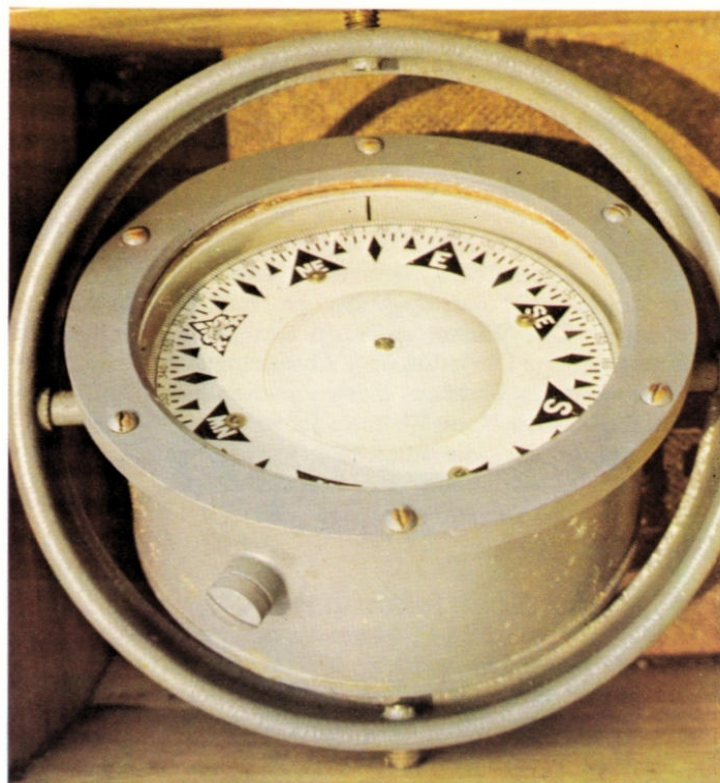
Mit der Einführung des Kompasses wurden Seereisen über größere Entfernungen und bei jedem Wetter möglich. Ohne den Kompaß hätte Kolumbus vielleicht die Neue Welt nicht entdeckt.

Ein geeignet geschnittener Stab aus dem magnetischen Eisenmineral Magnetit (Magnetisenstein) richtet sich wegen des Magnetfeldes der Erde in Nord/Süd-Richtung aus. Ein Eisenfeilsan oder eine Eisennadel, die — mit einem Stück Magnetit bestrichen — 'magnetisiert' wurden (siehe MAGNETISMUS), verhalten sich ebenso.

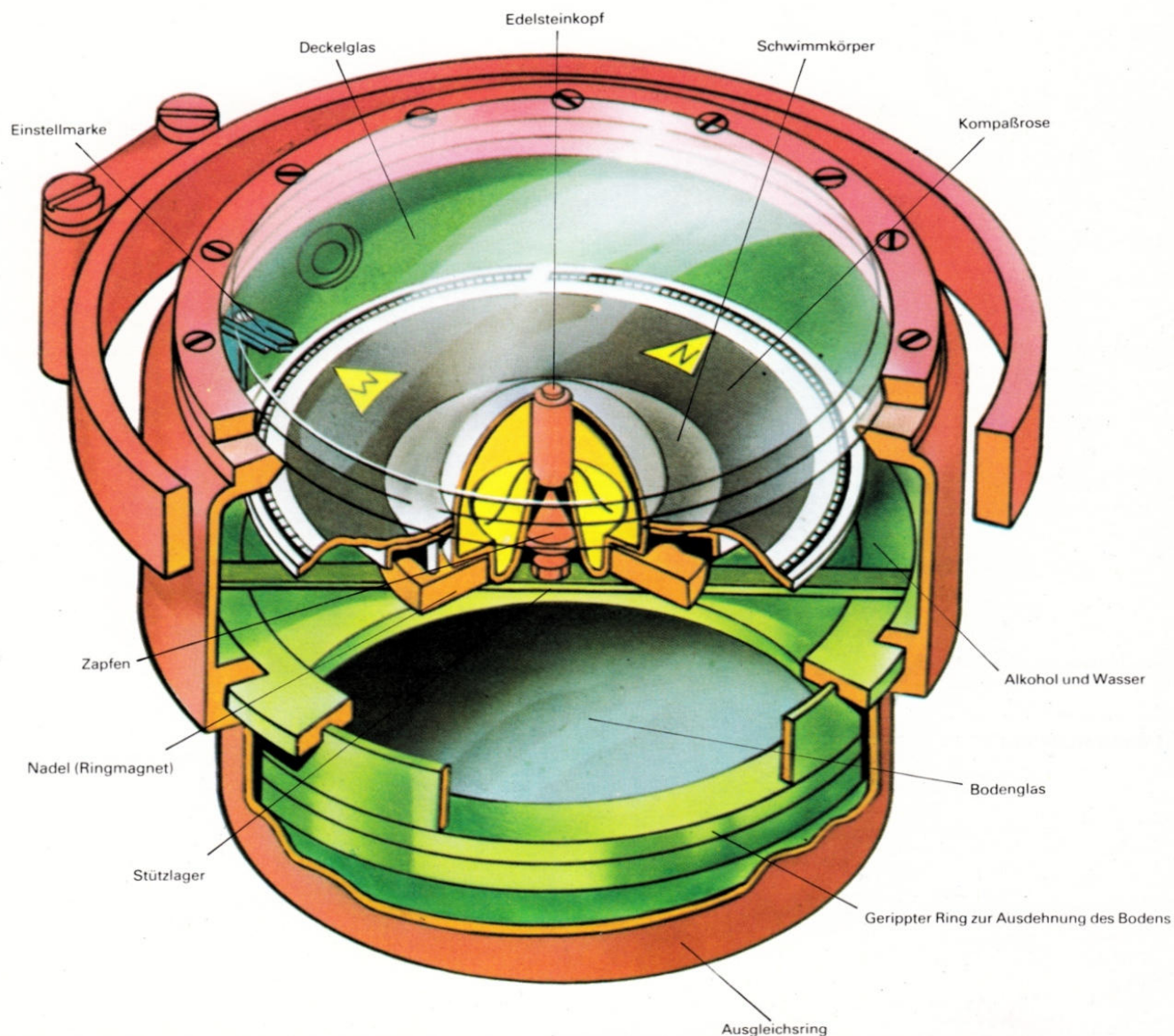
Im dreizehnten Jahrhundert wurden magnetisierte Eisennadeln, in einem Gehäuse schwimmend oder auf einem Zapfen (Pinne) gelagert, zusammen mit einer Skalenscheibe (der

**Rechts:** Ein Kompaß mit Kompaßhäuschen. Ein solcher Kompaß könnte in Segelbooten verwendet werden.

**Unten:** Schiffskompaß. Es handelt sich um einen magnetischen Schwimmkompaß, bei dem ein Schwimmkörper in einem Alkohol-Wasser-Bad drehbar gelagert ist. Der Schwimmkörper trägt eine unterteilte Glimmer-Kompaßrose, an der ein oder mehrere Magnete hängen — hier ein Ringmagnet.



JOHN WATNEY



OSBORNE/MARKS



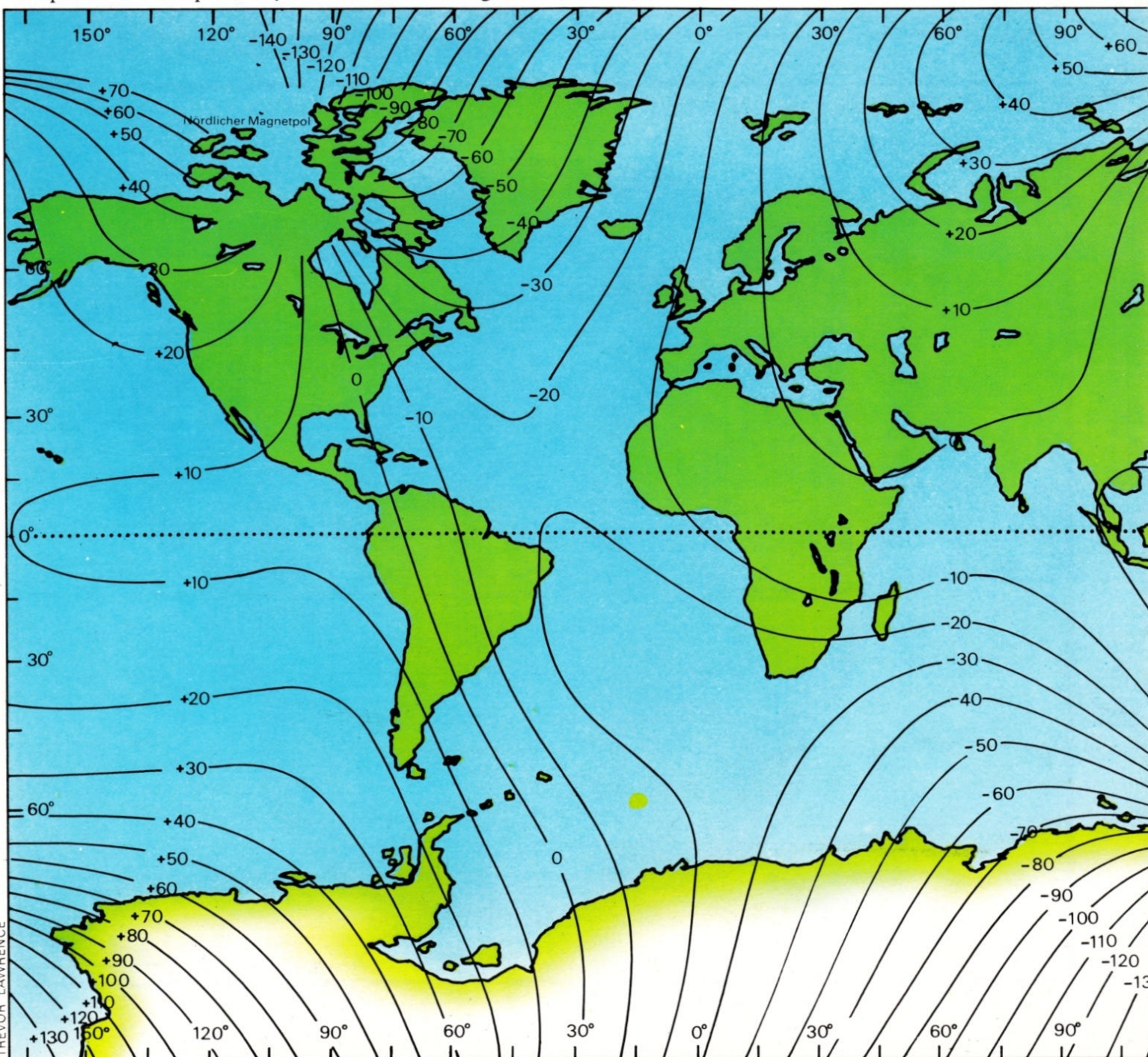
Windrose oder Kompaßrose) benutzt, auf der die vorherrschenden Richtungen der Winde des Mittelmeeres angezeigt waren.

Später wurden die Skalenscheiben mit den vier Himmelsrichtungen (Nord, Süd, Ost und West) markiert und später durch Striche in 32 gleiche Teile geteilt. Danach wurde eine Winkelskala mit einer Unterteilung in  $360^\circ$  eingeführt, mit den Positionen  $0^\circ$  für N und S und  $90^\circ$  bei O und W.

Im 15. Jahrhundert bemerkte man zwischen dem geographischen und dem magnetischen Nordpol einen kleinen Unterschied. Der Winkel zwischen den beiden Richtungen heißt magnetische Deviation oder Abweichung, die man heute für alle Punkte der Erde aus Karten ablesen kann. Auf seiner zweiten Reise in die Neue Welt, im Jahre 1493, führte Kolumbus Kompass mit, die umgebaut worden waren, um die magnetische Abweichung zu berücksichtigen. Weltweite Karten über die Deviation wurden aber erst im Jahre 1701 veröffentlicht.

### Boots- und Schiffskompassse

Anfänglich mußten die in Kompassen benutzten Eisennadeln häufig aufmagnetisiert werden. Im Jahre 1766 wurde eine Kompaßkonstruktion patentiert, die einen besseren Magnet-





stahl für die Nadel benutzte, ein Edelsteinlager für die Nadel vorsah, um Reibung und Abnutzung zu verringern, und die den ganzen Kompaß kardanisch aufhängte, um ihn von den Bewegungen des Schiffes abzuschirmen.

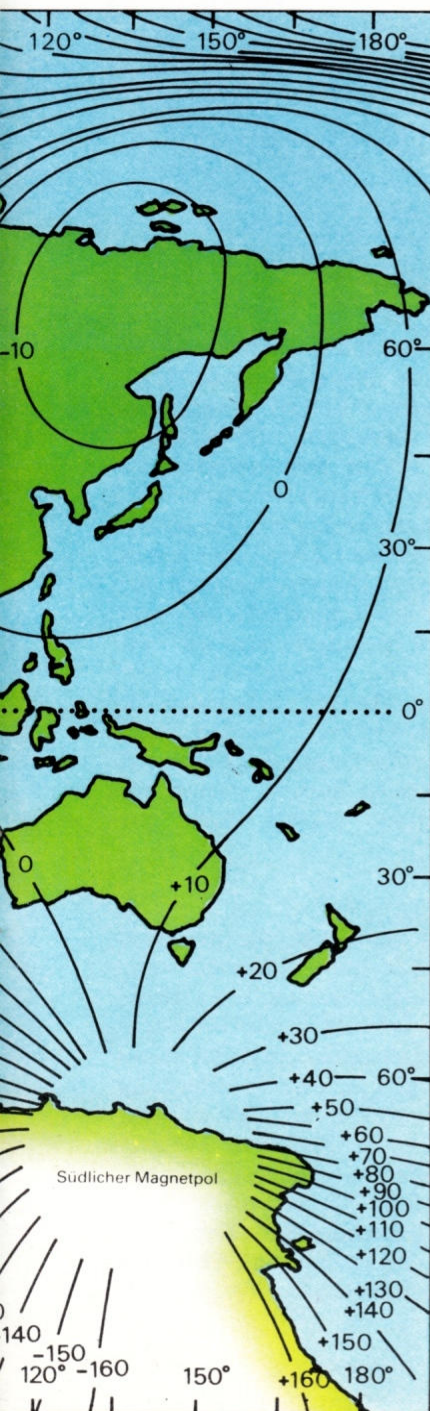
Weitere Verbesserungen zur Dämpfung mechanischer Schwingungen wurden durch die Unterbringung des Kompasses als Schwimmkörper in einem mit Flüssigkeit gefüllten 'Kompaßkessel' erzielt ('Schwimmkompaß').

Auch der Ständer für den Kompaß, das 'Kompaßhaus', wurde weiterentwickelt. Als im neunzehnten Jahrhundert beim Schiffbau mehr Eisen als Konstruktionsmaterial verwendet wurde, gingen Schiffe verloren, weil es zu magnetischen Störungen des Kompasses kam. Zur Lösung dieses Problems wurde im Kompaßhaus eine Einrichtung aus Magnetspulen und Weicheisenteilen eingebaut, die die Einflüsse von 'hartem' und 'weichem' Eisen kompensieren sollte. Unter 'hartem' Eisen versteht man hier die Stahlteile des Schiffes, während 'weich' die Richtungsänderung des Magnetfelds des Schiffes gegenüber dem Magnetfeld der Erde beschreibt. (Andere magnetische Störungen verringert man dadurch, daß man gefährdende Gegenstände außerhalb eines gewissen Sicherheitsabstandes vom Kompaßhaus aufstellt.) Das Magnetfeld des Schiffes wird durch Probieren herausgefunden.

Nachdem die Kompensation eingestellt wurde, braucht sie nur einmal jährlich nachgeprüft zu werden. Wird ein Schiff jedoch vom Blitz getroffen oder durch sonstige Einwirkungen schwer beschädigt, kann sein Magnetfeld völlig gestört werden. Es kann Monate dauern, bis es sich wieder stabilisiert.

### Der moderne Schiffskompaß

Ein heute üblicher Schiffskompaß hat eine 360°-Rose von 15 cm bis 25 cm Durchmesser, deren Zapfen aus Osmium-Iridium oder aus Wolframkarbid sich in einem Edelsteinlager dreht. Die Rose schwimmt in einem mit Flüssigkeit gefüllten Kessel und trägt entweder zwei Stabmagnete oder einen einzelnen Ringmagnet. Die Einstellmarke zum Peilen oder Steuern ist ein Zeiger, der von der Innenwand des Kompaßkessels zum Rand der Rose verläuft. Die Ausführung der Rose als Schwimmer erlaubt eine Reduzierung des Auflagegewichtes auf der Pinne auf 7 g, wodurch der Verschleiß verringert und die Lebensdauer erhöht wird. Meistens wird ein Wasser-Alkohol-Gemisch oder ein leichtes Öl benutzt. Der Kompaß wird über Kardanringe am Kompaßhaus aufgehängt, in dem sich Beleuchtungsvorrichtungen und die Einrichtungen zur Kompensation unerwünschter Störfelder des Schiffes befinden.



**Links oben:** Flugzeugkompaß. Links oben ist der Entfernungsmesser zu sehen. Derartige Geräte werden in den verschiedensten Flugzeugtypen verwendet, darunter auch in der MRCA Tornado.

**Links:** Die Abweichung des magnetischen vom geographischen Pol ändert sich von Jahr zu Jahr, ohne daß es dafür eine ausreichende Erklärung gibt. Die Abweichungen verlaufen auch keineswegs in regelmäßigen Formen. Die Abbildung links zeigt die für das Jahr 1965 geltenden magnetischen Abweichungen.



**Oben:** Einer der ältesten noch existierenden europäischen Kompass (gebaut um 1570 in Italien). Die Pergamentrose sitzt auf einem Drehzapfen, der kardanisch in einem Gefäß gelagert ist, das wiederum in einem Elfenbeingehäuse sitzt.

**Links:** Ein Peilkompaß zur Ortung von Schiffen (um 1770, London).





Bei einigen Schiffen wird der Kompaß zur Verringerung der magnetischen Einflüsse des Schiffsrumpfes in einer gewissen Höhe angebracht, und die Rose wird von hinten beleuchtet. Seit dem Zweiten Weltkrieg gibt es Kriegsschiffe, die zur Verhinderung der Auslösung magnetischer Minen ein neutralisierendes Magnetfeld um den Schiffsrumpf aufbauen können. In diesem Falle wird im Kompaßhaus ein weiteres elektrisches Kompensationsgerät nötig.

### Andere Kompassse

Für den Gebrauch zu Lande, z.B. bei der Vermessung, ist der Aufbau eines Kompasses einfach, und man erreicht große Genauigkeiten. Meistens ist ein drehbar gelagerter Magnet mit Visier und Fadenkreuz mit einem Theodoliten (einer bei der Vermessung gebräuchlichen Teleskopart) kombiniert, um horizontale und vertikale Winkel zu messen. Die Genauigkeit beträgt  $0,01^\circ$ . Es gibt auch Landkompassse, die als Schwimmkompaß gebaut, auf ein Stativ gesetzt werden können.

Für den privaten Gebrauch zu Lande ist der bekannte Marschkompaß hinreichend, der einen drehbar gelagerten Magnetzeiger mit einem Dämpfungsmechanismus und eine Skala in einem durchsichtigen Gehäuse enthält. Manchmal ist auch ein Winkelmesser vorhanden, der die Bestimmung der Marschrichtung anhand einer Landkarte erleichtert. Ein genaueres Gerät ist der Prismenkompaß, der ein schwenkbares, vergrößerndes Prisma und ein Haarstrich-Visier besitzt, womit es möglich wird, das Bild einer Landkarte und ein entferntes Objekt übereinander zu projizieren, um so die genaue Lage zu ermitteln. Ein drehbarer Ring erlaubt die Einstellung der Marschrichtung, für den Gebrauch bei Nacht sind Leuchtmarken angebracht.

In Landfahrzeugen geben Kompassse unbefriedigende Resultate, weil konstruktive und elektrische Störungen auftreten. Manche Militärfahrzeuge haben abnehmbare teleskopische Kompaßhäuschen, die das Bild der Kompaßrose von einer vorkompensierten äußeren Position optisch reflektieren.

### Fernkompassse

Fernkompassse geben ihre Meßwerte elektrisch an entfernt gelegene Anzeigeskalen weiter. Radareinrichtungen, Raketen- 'Horchposten' und ähnliche Anlagen haben wegen der elektromagnetischen Störungen durch die Magnete dieser Geräte Fernkompassse.

**Links und unten:** Kompassse für die Verwendung auf kleineren Booten (Segelboote oder Motorboote). Links der F-110-Kompaß, der in einem nichtkorrodierenden schwarzen Aluminiumgehäuse untergebracht ist. Der K-161-Kompaß ist ein speziell für olympische Segelwettbewerbe ausgelegtes Gerät. Der K-161 hat Sondereinrichtungen für Wendemannöver, die es ermöglichen, den Wendewinkel genau einzustellen.



Ein Fernkompaß kann die Form eines MAGNETOMETERS annehmen, das die Komponenten des Magnetfeldes der Erde gegenüber den Achsen eines Körpers mißt und die geeignet behandelten Daten an bequem zugängliche Ablesestellen überträgt. In Flugzeugen sitzt ein solches Magnetometer, die 'Detektoreinheit', an einer magnetisch 'sauberen', also möglichst störungsfreien Stelle, etwa in der Spitze der Tragfläche oder im Schwanzende. Das Magnetometer besteht aus einem Eisenkern, der mit einem isolierten Draht umwickelt ist. Durch diese Windungen wird ein Strom geschickt, der dem Magnetfeld der Erde entgegenwirkt. Manchmal wird auch ein konventioneller Magnetkompaß so umgebaut, daß die Orientierung durch Brückenschaltungen, die mit Elektroden an Zeiger und Rose verbunden sind, bestimmt werden kann. Auch FOTOZELLEN, die das Licht aufnehmen, das durch ein Loch in der Rose fällt, können benutzt werden, ebenso wie Hilfsmagnetometer, deren elektrische Signale direkt zur Übertragung dienen können.

### Der Kreiselkompaß

Der gyromagnetische Kompaß ist ein Gerät, das auf einer stabilen Grundplatte ruht, die durch einen elektrisch angetriebenen KREISEL unabhängig von der Stellung eines Fahrzeuges horizontal gehalten wird. Diese Form wurde für Unterseeboote, Flugzeuge und kleine Schiffe entwickelt, bei denen wegen der auftretenden Beschleunigungen eine Beeinflussung der Kompaßnadel durch vertikale Felder möglich ist. Der gyromagnetische Kompaß sollte nicht mit dem KREISELKOMPASS verwechselt werden, der keinerlei magnetische Phänomene ausnutzt. Der Kreiselkompaß ist ein kardanisch aufgehängtes, elektrisch angetriebenes rotierendes Rad. Die Drehachse des Kreisels ist so gedämpft, daß sie direkt als Orientierungsreferenz und zur Steuerung einer Nachstellvorrichtung benutzt werden kann.



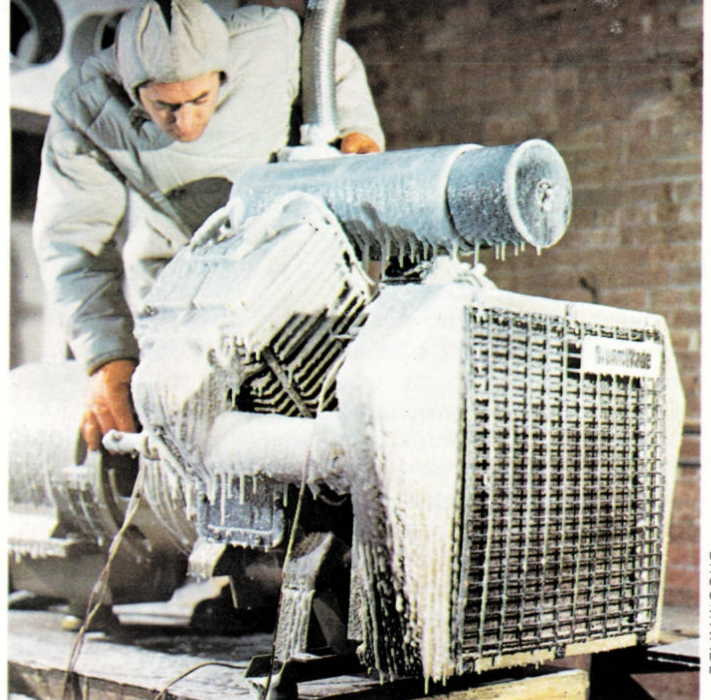
## KOMPRESSOR

**Druckluft (oder Preßluft) wird vielseitiger als jede andere Energieform, ausgenommen vielleicht die elektrische Energie, eingesetzt.**

Für die Verdichtung (d.h. das Zusammenpressen) von Luft zur Erzeugung von Energie gibt es sehr einfache Beispiele. Man bläst stoßartig aus der Lunge herausgepreßte Luft in die Asche eines Feuers, um es wieder anzufachen. Die gesunde Lunge eines Erwachsenen kann 100 l Luft/min mit einem Druck von 0,02 bar bis 0,08 bar liefern.

Die Ägypter verwendeten um 1500 v. Chr. aus Tiermägen gefertigte Säcke, die sie mit den Füßen traten und auf diese Weise die Temperatur des Feuers bei der Eisenschmelze steigerten. Daraus entwickelten sich spätere Formen des Blasebalgs. Bis ins 17. und 18. Jahrhundert hinein blieb er die einzige Anwendung von Preßluft. Seither entstand eine Vielzahl weiterentwickelter Einrichtungen, die den industriellen Anforderungen entsprechen und zahlreichen Zwecken dienen können. Dies fängt bei Tunnelbohrmaschinen an und geht über pneumatische Förderanlagen und druckluftbetriebene Fahrstühle zur Personenbeförderung bis hin zum Antrieb von Maschinen für die Massenproduktion von Gütern. Schon der früheste Kompressor (oder Verdichter, in der Technik oft auch Luftpresser genannt) brauchte Energie zu seinem Antrieb. Dies war die Muskelkraft des Menschen. Ist Preßluft erst einmal erzeugt und gespeichert, kann sie als Kraftquelle dienen. Zu ihrer Erzeugung aber, d.h. zum Betrieb des Kompressors, bedarf es einer 'Primärenergie'. Dies kann die Wasserkraft, ein Gasmotor, ein Elektromotor, eine Verbrennungsmaschine nach dem Otto- oder Dieselvefahren oder auch eine Gasturbine sein.

Von den verschiedenen Grundformen des Verdichters ist der oszillierende Kolbenverdichter die einfachste Form. Ein Beispiel hierfür ist die Fahrradpumpe. In ihr bewegt die Muskelkraft des Menschen einen ledernen 'Kolben' (als Verdrängerkörper) in einem langen Zylinder, dem Pumpenrohr, hin und her (d.h. er oszilliert). Beim Herausziehen des

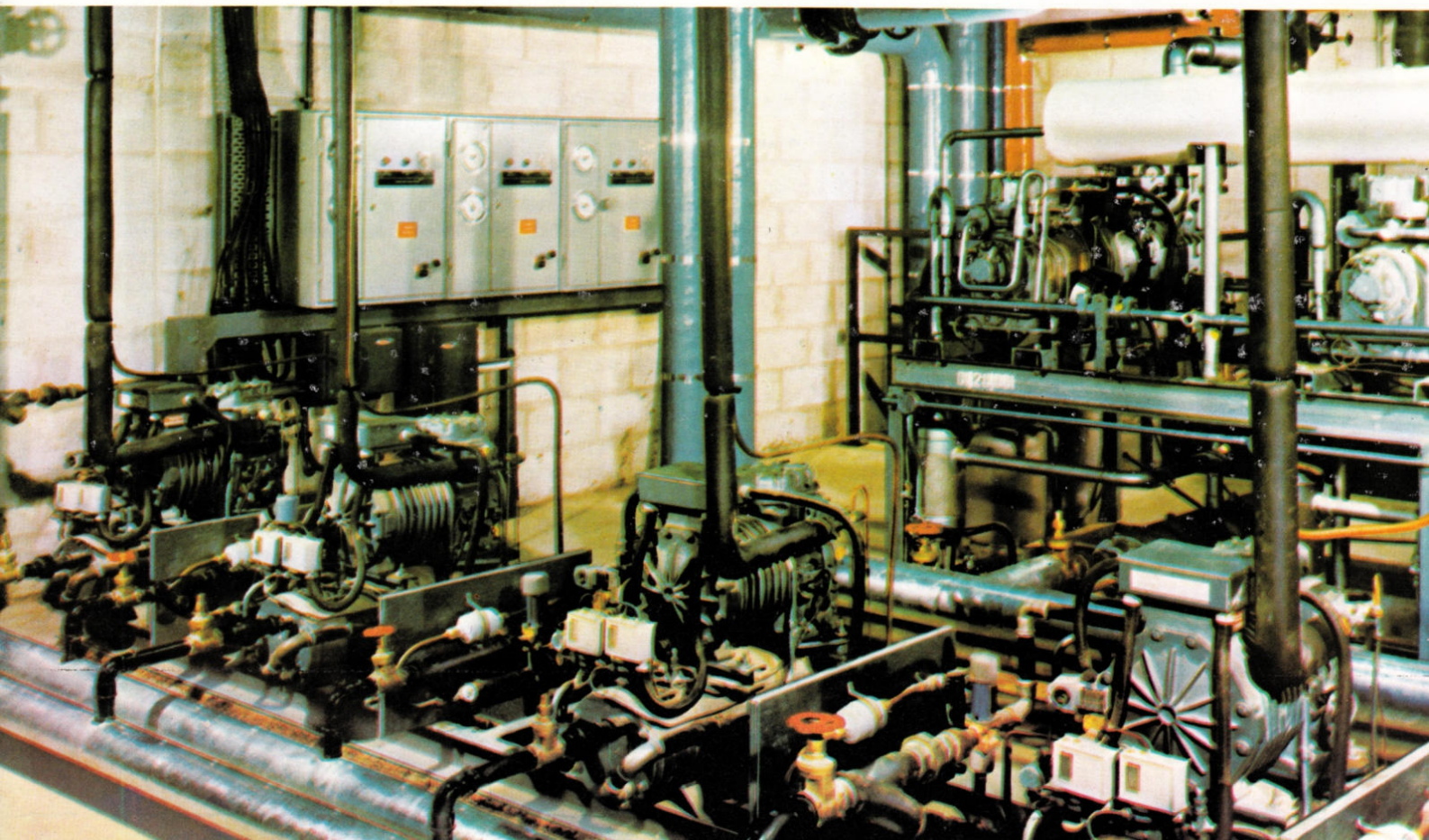


BROOMWADE

**Oben:** Ein V-förmiger BroomWade-Verdichter wird bei Temperaturen unter dem Nullpunkt geprüft. Diese Bauart ist zur Verwendung in einem Bereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+55^{\circ}\text{C}$  ausgelegt.

Pumpenhandgriffes strömt so lange Luft bei annähernd Normaldruck am 'Kolben' vorbei in den Zylinder, bis er damit angefüllt ist. Beim Hereindrücken des Griffes spreizt der Luftdruck im Zylinder die Ledermembran und dichtet gegen die Wandung ab. Die Luft in dem Zylinder verdichtet so lange, bis die Gegenkraft des Rückschlagventiles in dem Fahrradschlauch überwunden wird. Es ist sicher fast allen Radfahrern aufgefallen, daß sich verdichtete Luft erwärmt: Das Pumpenelement wird manchmal so heiß, daß man es nicht mehr anfassen kann.

**Unten:** Eine Kompressionsanlage in einem Krankenhaus der nordostenglischen Stadt Newcastle.





**Rechts:** Doppelschraubenkompressor der schwedischen Firma Atlas Copco.

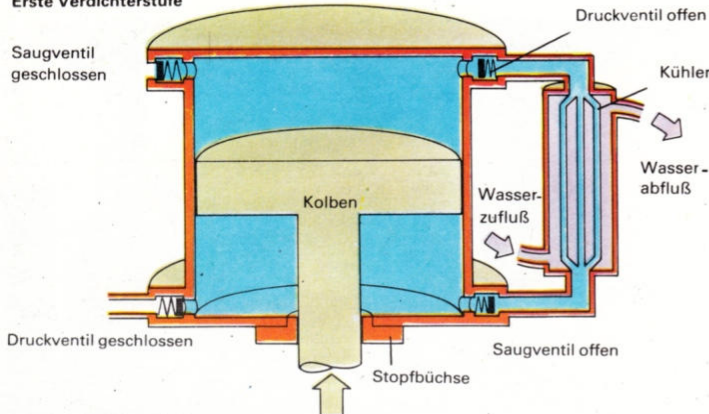
## Kolbenverdichter

Die oben beschriebene Art von Kolbenverdichter tritt als Hub-Kolbenverdichter oder als Membranverdichter auf. In der Industrie wird er, meist fest installiert, mit elektrischem Motorantrieb zur Erzeugung von Druckluft verwendet. Zum Einsatz auf Baustellen oder im Straßenbau wird ein zwei- oder vierrädriger fahrbarer Verdichter benutzt, den ein Otto- oder Dieselmotor antreibt. Seine Hauptbestandteile sind Kurbelgehäuse, Kurbelwelle, Kolbenstange, Kolben und Zylinder. Im Zylinder liegt das Saug- oder Druckventil. Zur Erzeugung von Drücken bis 5 bar oder 6 bar genügen einstufige Verdichter, darüber sind zwei Stufen erforderlich: eine Nieder- und eine Hochdruckstufe. Im Niederdruckzylinder wird die Luft von annähernd Normaldruck auf einen Druck verdichtet, dessen Wert der Quadratwurzel des Enddruckes entspricht. In der Hochdruckstufe erfolgt die Verdichtung auf den Enddruck. Für diese Verdichtungsverhältnisse ist der geringste Energieeinsatz erforderlich. Wie schon früher erwähnt, erzeugt Verdichtung Wärme. Aus diesem Grunde liegt zwischen der Nieder- und der Hochdruckstufe oft eine Kühlstufe in Form eines luft- oder ölgekühlten Wärmeaustauschers. Andernfalls könnte zu große Hitzeentwicklung die Schmierung beeinträchtigen.

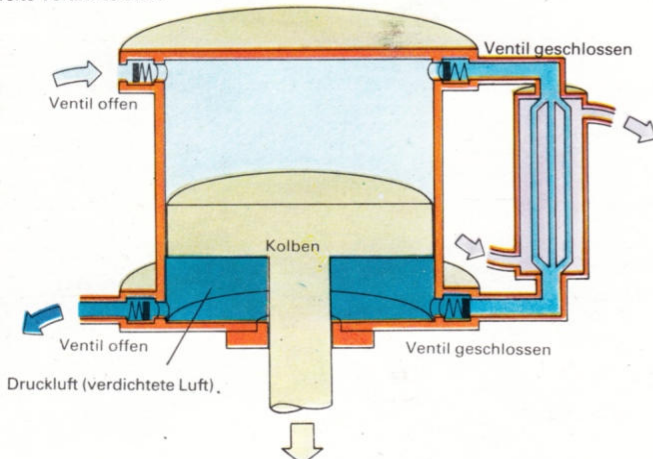
## Drehkolbenverdichter

Es haben sich noch zwei weitere Verdichter durchgesetzt, und zwar Umlaufkompressoren (z.B. als Schraubenverdichter) und Rotationsverdichter. Der Schraubenverdichter besteht aus zwei berührungsfrei rotierenden Spindeln mit schraubenförmig verwundenen Profilen, von denen die eine angetrieben und die andere über Koppelzahnräder mitgenommen wird. Der Verdichtungsraum wird von zwei Gängen einer Spindel, einem Gang der Gegenspindel und dem Gehäuse der Stirnseite gebildet; er verkleinert sich während der Förderung.

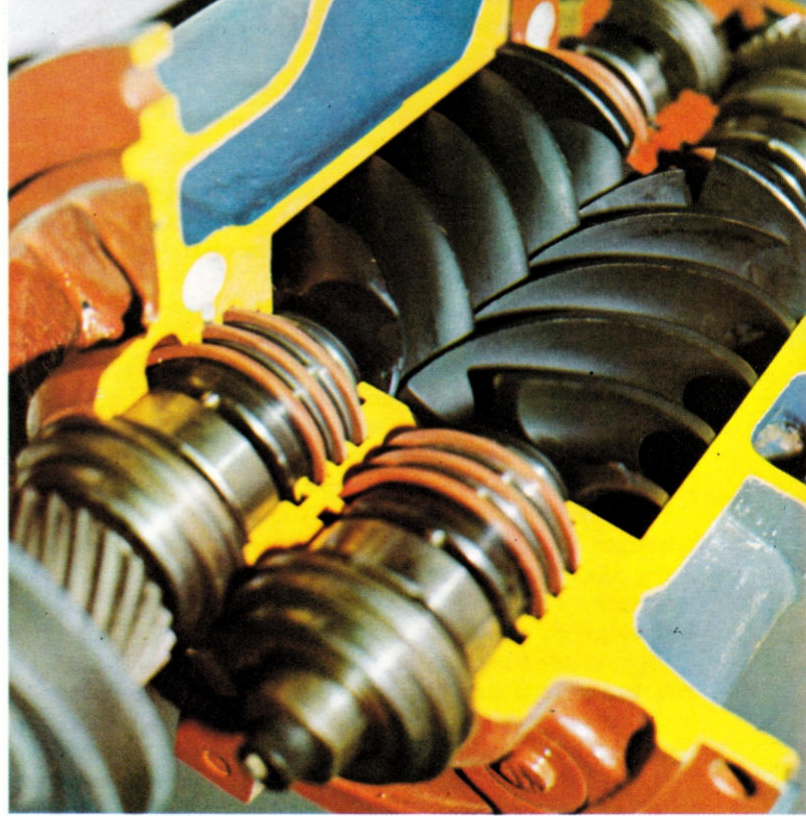
Erste Verdichterstufe



Zweite Verdichterstufe



TOM MACARTHUR



Schraubenverdichter haben eine sehr kompakte Bauweise und arbeiten mit hohen Drehzahlen. Dies macht sie für große Luftfördermengen geeignet.

Rotationsverdichter gibt es in einer Vielzahl von Arten, im Grunde jedoch handelt es sich dabei um eine exzentrisch im Zylinder gelagerte Welle. Sie trägt eine Anzahl radial beweglicher Schieber, die durch die Fliehkraftwirkung der Wellendrehung an die Zylinderwand gepreßt werden. Diese Schieber trennen, von der Schmierung unterstützt, den Saug- vom Druckraum luftdicht ab. Durch die exzentrische Anbringung der Welle im Zylinder tritt Luft zwischen den Schiebern ein und wird während der Umdrehung auf dem Weg zum Druckraum verdichtet, wo die Welle der Zylinderwand am nächsten kommt.

Rotationskompressoren sind gewöhnlich bis zu einer Druckleistung von 5 bar einstufig, darüber müssen sie zwei- oder mehrstufig ausgeführt werden. Diese Art Verdichter hat einen guten Massenausgleich, ist aber eher für niedrige Drücke geeignet, zumal ihr Wirkungsgrad im Vergleich mit oszillierenden Kolbenverdichtern schlechter ist.

## Anwendungen

Kompressoren lassen sich für viele Zwecke einsetzen, aber im Grunde finden ortsfeste Anlagen hauptsächlich für gewerbliche Zwecke aller Art Anwendung: Kleine Typen, wie sie in Kraftfahrzeug-Werkstätten zu finden sind, pumpen Reifen auf und treiben Schlagschrauber und Trennschleifer an. Größere Anlagen in der Industrie liefern die Antriebsenergie für Bohrwerke, Schrauber an Montagebändern, für Lackierstraßen oder Pressen. Sie pumpen Bier und andere Flüssigkeiten und steuern modernste Fertigungsmaschinen pneumatisch. Transportable Kompressoren finden sich auf den meisten Baustellen zum Antrieb von Aufbrechhämmern, Pumpen und Felsbohrhämmern. Druckluft ist eine überaus sichere Energieform. Druckluftwerkzeuge können ohne Gefahr in Räumen mit explosiver Atmosphäre (Abbauhämmer im Bergbau) und sogar unter Wasser verwendet werden.

**Links:** Ein Zweistufenkolbenverdichter. Gas wird beim Ansaughub in einen Zylinder gesaugt, während im anderen eine Verdichtung stattfindet. Die Kühlung erfolgt beim nächsten Hub zwischen den aufeinanderfolgenden Stufen. Dabei wird das Gas durch eine wassergekühlte Leitung zum folgenden Zylinder geführt.



## KONDENSATOR

**Ein Kondensator ist ein elektrisches Gerät zur Speicherung von Energie, ähnlich wie ein Reservoir ein Behälter zum Speichern von Wasser ist.**

Es gibt zwei Hauptgruppen von Kondensatoren, feste und veränderliche, die beide häufig in elektrischen und elektronischen Geräten angewendet werden. Die festen Kondensatoren können weiter unterteilt werden in elektrolytische und nicht-elektrolytische Kondensatoren. Beide zusammen stellen den weitaus größten Teil des Marktes dar.

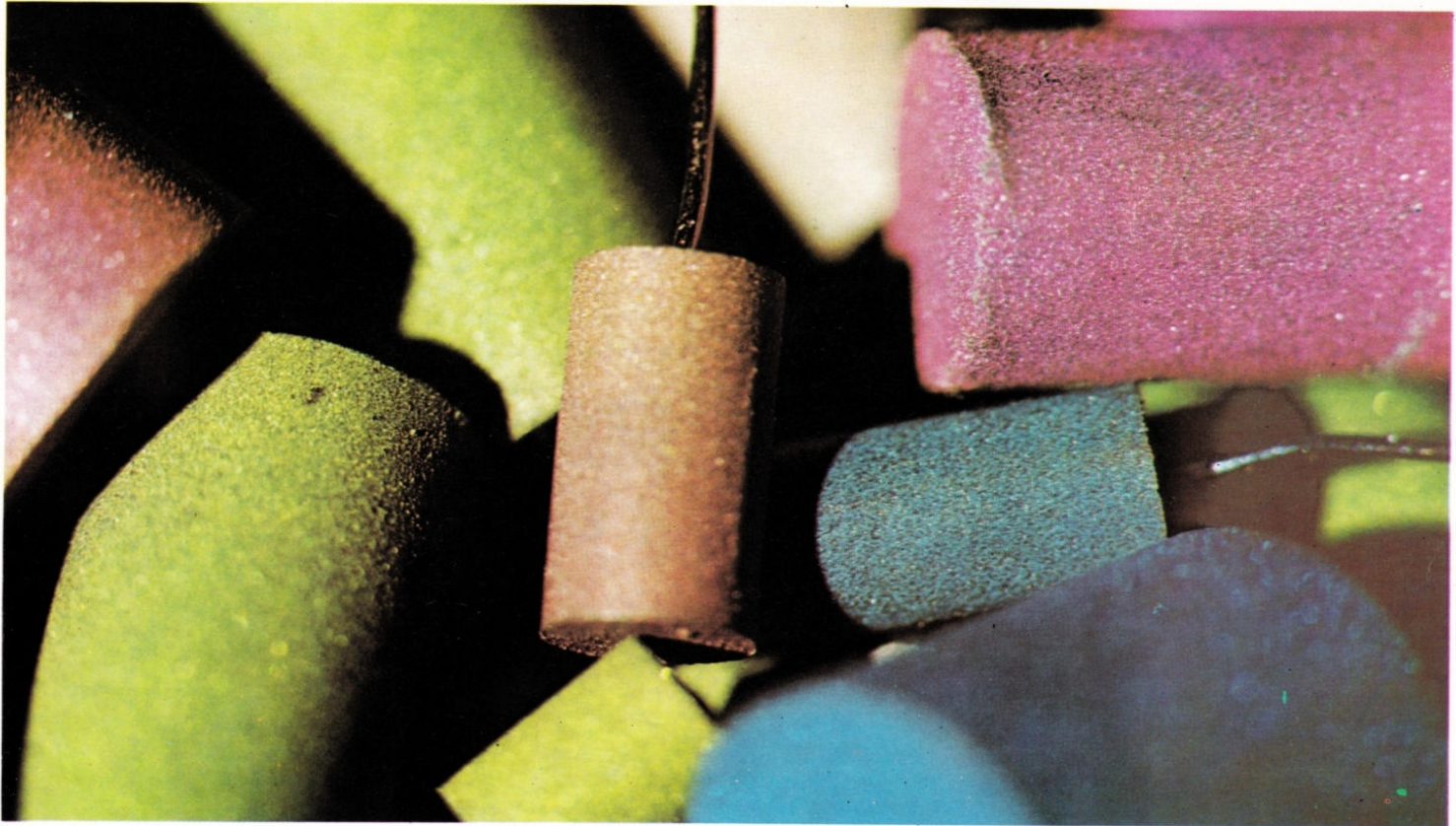
Alle diese Kondensatoren bestehen im wesentlichen aus zwei parallelen Platten, die durch ein isolierendes Material, ein Dielektrikum, getrennt sind.

### Elektrolytkondensatoren

Elektrolytkondensatoren haben eine weit höhere KAPAZITÄT (Fähigkeit, elektrische Energie zu speichern), als alle anderen Typen. Dies wird durch einen extrem kleinen effektiven Plattenabstand erreicht, der durch ein Dielektrikum der

Beide, Aluminium- und Tantalkondensatoren, können aus Folien hergestellt werden. Streifen von Metallfolien (Aluminium oder Tantal für die Anode und Kupfer für die Katode) werden durch ein poröses, in Elektrolyt getränktes Gewebe getrennt und zu einer zylindrischen Walze zusammengerollt.

Tantal wird allerdings weitaus häufiger in Festkörper-Tantalkondensatoren verwendet. Hierbei wird Tantalpulver in einem Schmelzofen zu einem porösen Körper gesintert (geschmolzen), der üblicherweise Zylinder- oder Scheibenform hat. Diese Substanz wird in einem Elektrolyten als Anode benutzt, und durch anodische Oxidation wird eine dielektrische Schicht aus Tantaloxid gebildet. Als Katode kann ein flüssiger oder fester Stromleiter dienen. Ein fester Elektrolyt wird durch Tränken der durchlässig geformten Anode in Mangannitrat hergestellt. Durch Aufheizen in einem Ofen wird das Mangannitrat chemisch in Manganoxid umgewandelt. Ein Kontakt zum Manganoxid wird durch Eintauchen in ein Lötbad hergestellt, wodurch eventuell eine Verbindung zu dem metallischen Kondensatorgehäuse besteht.



ITT COMPONENTS/PAUL BRIERLEY

Dicke  $0,2 \mu\text{m}$  bis  $1 \mu\text{m}$  ausgefüllt ist. Das Dielektrikum ist eine Oxidschicht, die auf einer Tantal- oder Aluminiumplatte durch ELEKTROLYSE — Stromleitung durch eine Flüssigkeit (Elektrolyt genannt) — gebildet wird. Der Kondensator ist mit Flüssigkeit gefüllt, so daß dieser Vorgang stets andauert. Die Tantal- oder Aluminiumplatte wird bei Elektrolytkondensatoren immer als Anode (positive Elektrode) benutzt. Der Vorgang der Oxidation wird daher auch als anodische Oxidation bezeichnet. Die Katode (negative Elektrode) besteht im allgemeinen aus Kupfer. Da der Elektrolyt ein guter Stromleiter ist, besteht der effektive Plattenabstand nur aus der Oxidschicht, die ein sehr gutes Dielektrikum ist. Jeder Fehler in der Oxidschicht heilt von selbst durch die elektrolytische Wirkung des Leckstromes, der an der Oxid-Fehlstelle durch den Elektrolyten fließt. Voraussetzung ist allerdings, daß der Strom in der richtigen Richtung fließt (Stromumkehrung würde den Kondensator schnell zerstören).

**Oben:** Die Rohlinge eines Tantalkondensators aus gesintertem Pulver. Diese sind mit Dielektrikum verschiedener Dicke ummantelt, wodurch die verschiedenen Farben entstehen.

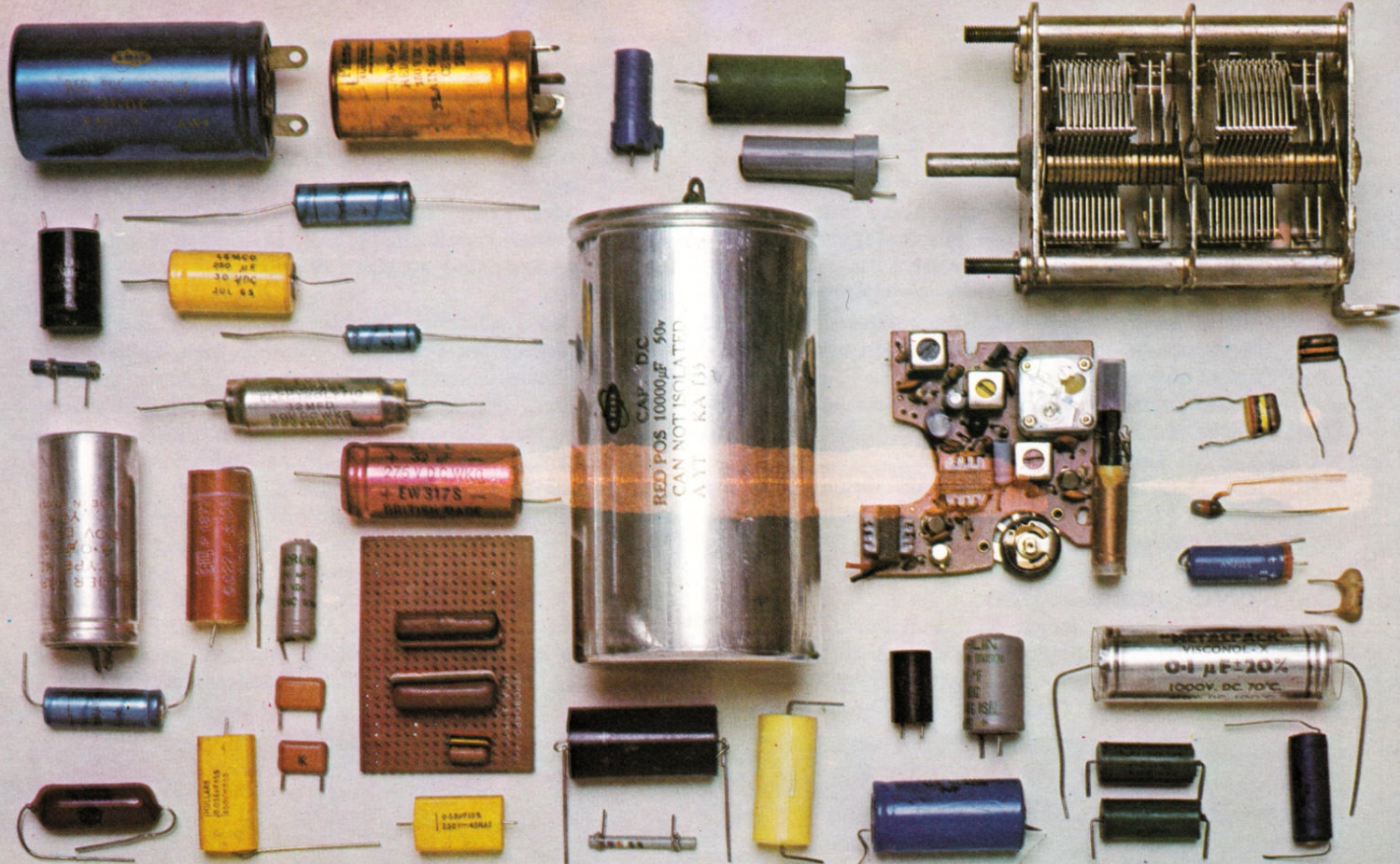
Die Oxidschicht auf Tantalkondensatoren ist sehr stabil und verändert sich selbst nach langen Stillstandszeiten nicht. Dies macht diese Kondensatoren für militärische Anwendungen und die Nachrichtenübertragungstechnik, wo Zuverlässigkeit die Hauptanforderung ist, ideal geeignet.

### Nichtelektrolytische Kondensatoren

Von den nichtelektrolytischen Typen sind nur die Papier-, Film-, Glimmer- und Keramikformen von Bedeutung. Selbst Glimmer- und Papierkondensatoren werden manchmal durch Filmkondensatoren ersetzt.

Glimmer ist ein natürlich vorkommendes Dielektrikum.





**Oben:** Eine Auswahl von Kondensatoren und eine Transistor-radioplatt, die durch den viereckigen plastiküberzogenen Kondensator in der oberen rechten Ecke abgestimmt wird. Die anderen Kondensatoren sind Keramik- (leicht braun) oder Elektrolyt-kondensatoren (grau).

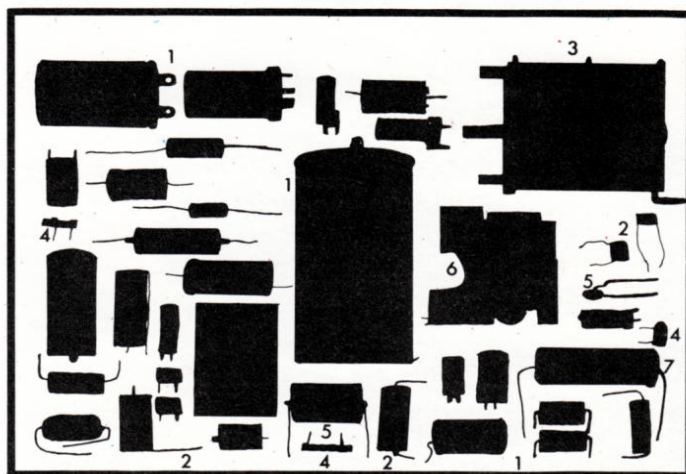
Es hat einen geringen Verlustfaktor, das heißt einen sehr hohen Ohmschen WIDERSTAND. Die Kondensatoren sind entweder aus aufgeschichteten, als Elektroden mit Silber beschichteten Glimmerplättchen oder aus Glimmerschichten mit dazwischenliegenden Zinnfolien aufgebaut. Diese Kondensatoren sind besonders nützlich für Hochspannungs- und Hochfrequenzanwendungen. Sie werden häufig bei Geräten für die Radioübertragung eingesetzt.

Da die chemische Zusammensetzung keramischer Dielektrika gesteuert werden kann, ergibt sich ein weiterer Bereich möglicher Kondensatoreigenschaften. Ein üblicher Aufbau ist ein Keramikrohr mit Metallblechen als Elektroden an der Innen- und Außenseite. Diese Kondensatoren zeichnen sich durch gute Hochfrequenzeigenschaften aus.

Papier- und Filmkondensatoren werden ähnlich wie Elektrolytkondensatoren hergestellt. Man rollt Dielektrikum und Metallelektroden zu einem Zylinder zusammen. Die Metallelektroden können aus Aluminium- oder Zinnfolie bestehen. Es kann aber auch eine Metallschicht aus Aluminium oder Zink im Vakuum auf das Papier oder auf den Film aufgedampft werden.

Alle Kondensatoren, die als Dielektrikum Papier benutzen, sind mit einem Öl imprägniert, das die Luft verdrängt und die Anwendung von Hochspannung ohne elektrische Entladung oder Zerstörung des Dielektrikums erlaubt. Die Anwendungsgebiete von Papier- und Filmkondensatoren sind sehr vielfältig. Es ist zu erwarten, daß in Zukunft Filmkondensatoren alle Papierkondensatoren ersetzen werden. Der meistbenutzte Film besteht aus Polyäthylen in metallisierter Form. Durch den großen möglichen Kapazitätenbereich und den Temperaturbereich von  $-55^{\circ}\text{C}$  bis  $+125^{\circ}\text{C}$  ist dieser Kondensator für viele Anwendungen geeignet.

Identifikationsbild (unten): 1 elektrolytisch, 2 nichtelektrolytischer Plastiktyp, 3 Abstimmkondensator mit veränderlichem Luftspalt für Radios, 4 Keramikkondensator, 5 Tantalkondensator, 6 Transistorradiochassis, 7 Papierfolienkondensator.



### Veränderliche Kondensatoren

Veränderliche Kondensatoren haben allgemein Luft oder Vakuum als Dielektrikum, obgleich manchmal auch Keramik benutzt wird. Man unterteilt sie in Abstimm- und Trimmerkondensatoren. Abstimmkondensatoren werden zur Abstimmung von Hochfrequenzkreisen benutzt. Sie bestehen aus zwei Gruppen paralleler Metallplatten. Eine Platte ist durch Keramik vom tragenden Gehäuse isoliert. Die andere Platte ist über einen Stift drehbar angeordnet, so daß die zweite Plattenreihe in die erste hinein- oder herausgedreht werden kann. Die Plattenreihen sind wie Finger verzahnt, ohne sich zu berühren.

Trimmerkondensatoren sind aus flachen Metallblättchen, getrennt durch einen Plastikfilm, konstruiert. Sie haben als Abstimmkondensatoren einen kleineren Variationsbereich und werden nur benutzt, wenn kleine Kapazitätsänderungen benötigt werden.

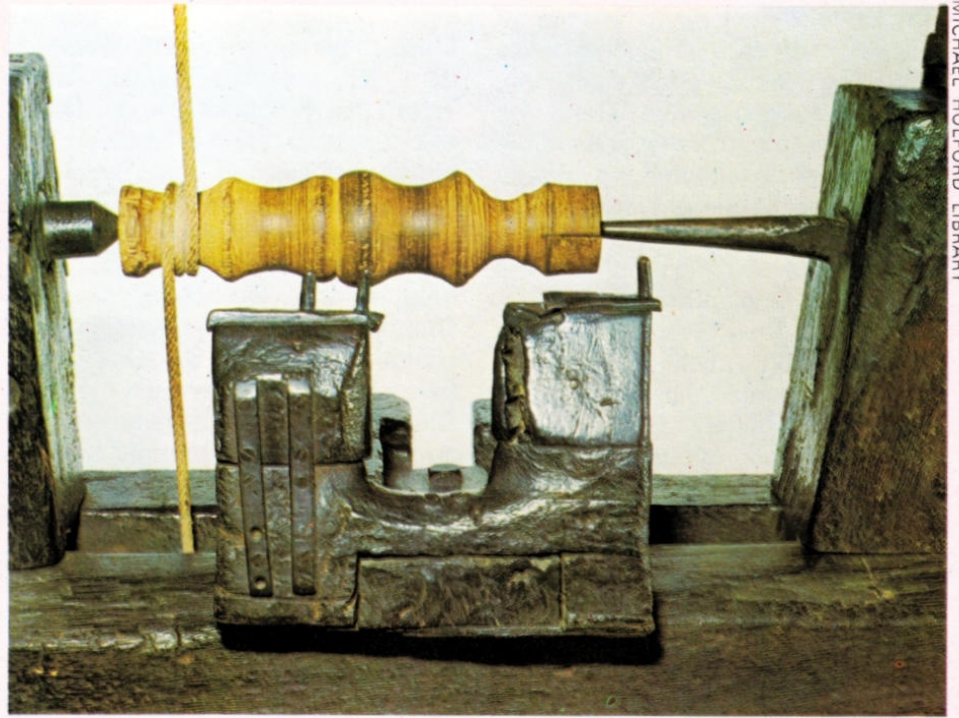






# Erfindungen 24: DREHBANK

Die Drehbank wurde der Legende nach von einem Griechen, Theodoros von Samos, im 7. Jahrhundert v. Chr. erfunden. Der erste historische Beleg für die Existenz einer solchen Maschine ist eine ägyptische Grabmalerei aus der Zeit um 300 v. Chr. Sie zeigt eine Drehbank (korrekterweise müßte man Drehstuhl sagen) in Betrieb. Das Werkstück wird auf dieser Darstellung zwischen den Enden zweier horizontaler Spindeln gehalten, während der Dreher das Drehseisen auf einer starren Handauflage (Support) heranführt. Ein zweiter Mann setzt das Werkstück in Umdrehung. In der Hand hält er die losen Enden einer Schnur, die um eine der Spindeln gewickelt ist. Durch abwechselnden Zug an den beiden Enden der Schnur dreht sich das Werkstück zur Schneide des Drehseisens hin und von ihr fort. Ein Drehen (in diesem Falle Drechseln, da es sich um Holzbearbeitung handelt) war dabei lediglich mit Unterbrechungen möglich, denn das



MICHAEL HOLFORD LIBRARY

**Unten:** In einigen Teilen der Welt — hier ein Handwerker in Khartum — werden Fiedelbohrer verwendet.

**Oben:** Teil einer Wippendrehbank aus der Zeit um 1800. Die Schnur führt zu einem Pedal.



Werkstück konnte nur bearbeitet werden, während es sich zur Schneide hin drehte. Diese Eigenart hatten die frühen Drehstühle alle gemeinsam. Bei der Rückwärtsbewegung wurde dann wahrscheinlich der Holzspan abgenommen.

Man muß die Entwicklung dieser Maschine im Gesamtzusammenhang der damaligen geschichtlichen Epoche sehen. Seit dem 7. Jahrhundert v. Chr. konstruierte man in den Ländern des östlichen Mittelmeerraums eine immer größere Vielfalt von Maschinen aller Art. Sie bestanden größtenteils aus Holz und waren auf wesentliche Bauteile wie Spindeln, Seilscheiben und Zahnräder angewiesen, die sämtlich gedreht werden mußten. Wahrscheinlich hatte man das Arbeitsprinzip der Drechselbank von der Töpferscheibe abgeleitet.

## Verwendungszwecke

Obschon der Drehstuhl in erster Linie der Holzbearbeitung diente, zog man ihn für viele andere Zwecke heran und änderte ihn dafür entsprechend ab. Aus weicheren Steinen, wie z.B. Kalzit und Alabaster, wurden Schüsseln, Schalen und Vasen gedreht. Der Edelschleifer konnte auf das Ende der Antriebswelle eine runde Metallscheibe setzen; damit hatte er eine



Schleif- und Poliermaschine. Ließ er feinen Sand und Wasser über den Rand der Scheibe laufen, konnte er Glas und Stein schneiden. Mit der Stirnfläche der Scheibe konnte er polieren. Auf dem Grabstein eines römischen Steinschleifers sieht man, wie die Arbeitsscheibe statt von einem Helfer vom Dreher selbst über einen Bogen in Umdrehung gesetzt wird, dessen Sehne um die Arbeitsspindel gewickelt ist. Mit diesem Fiedelantrieb war die ganze Maschine von einem Mann zu bedienen.

In dieser frühen Epoche diente der Drehstuhl noch nicht der Metallbearbeitung, weil man noch keine hinreichend harten Schneidwerkzeuge herzustellen vermochte. Doch fand man durch eine weitere Zusatzeinrichtung die Möglichkeit, metallene Schalen herzustellen. Am Ende der Spindel wurde ein Stück rundes Blech angebracht, auf das man mit einem Preßpolierwerkzeug, z.B. einem polierten Achat, starken Druck ausübte. Dadurch nahm das Metall nach und nach die Form einer Halbkugel an. In der Spätzeit des Römischen Reiches finden sich Bronzeschalen und -schüsseln in großer Zahl, die auf diese Weise hergestellt wurden.

### Die Wippen-Drehbank

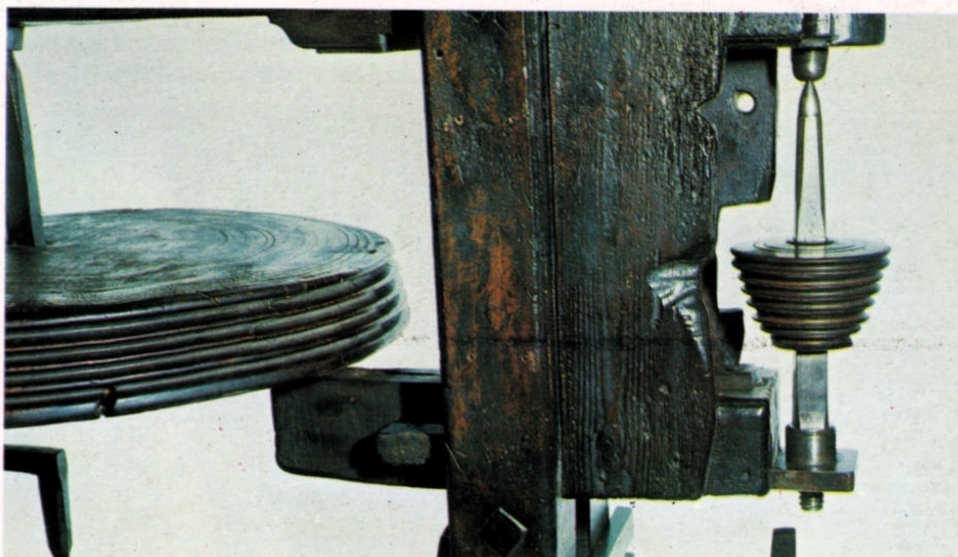
Bis zum 12. Jahrhundert blieb es bei dieser Form des Drehstuhls. Dann erfand man ein neues Antriebsverfahren. Dabei wurde ein dünner und zäher Baumschößling waagerecht an

einem senkrechten Pfosten so angebracht, daß sein freies Ende sich unmittelbar über der Drehbank befand. Von diesem freien Ende ging eine Schnur nach unten um die Spindel herum zu einem Pedal, an dem sie befestigt wurde. Durch Treten des Pedals konnte der Dreher das Werkstück zum Schneidwerkzeug hinführen. Ließ er das Pedal los, kehrte das Werkstück durch die Schnellkraft (Federwirkung) des Schößlings in seine Ausgangsstellung zurück. Bei dieser Wippen-Drehbank hatte der Arbeitende beide Hände zur Führung des Drehstahles frei. Außerdem konnten größere Stücke als zuvor bearbeitet werden, da man mit dem Bein mehr Kraft als mit dem Arm aufbringen kann. In abgelegenen Gegenden blieb diese Antriebsart noch bis ins 19. Jahrhundert in Gebrauch, z.B. bei Handwerkern, die Stuhlbeine drechselten.

### Kontinuierlicher Antrieb

Im frühen 15. Jahrhundert scheint eine Konstruktionsänderung einge-

führt worden zu sein, die es ermöglichte, die Spindel kontinuierlich (d.h. stets in dieselbe Richtung) zu drehen. Dies geschah durch einen einfachen Riemenantrieb. Die Antriebsenergie lieferte ein großes Antriebsrad, das von einem Paar handbetätigter Kurbeln in Umdrehung versetzt wurde. Vom Umfang dieses Rades ging ein über Kreuz laufender 'Transmissionsriemen' zur Spindel der Drehbank. Diese Antriebsart war offensichtlich vom um diese Zeit eingeführten Spinnrad hergeleitet, das aus dem Fernen Osten stammte. Allerdings war sie nicht beliebt, denn sie verlangte einen größeren Kraftaufwand als frühere Formen des Antriebs; sie erbrachte allerdings auch eine höhere Leistung. Erst zur Zeit der Renaissance entwarf Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) eine mit Kurbel und Fußbetrieb ausgestattete Drehbank, deren gleichmäßiger Lauf durch ein großes Schwungrad garantiert werden sollte. Sie war sehr leistungsfähig und konnte von einer einzigen Person bedient werden.



MICHAEL HOLFORD LIBRARY

**Unten:** Deutscher Holzschnitt aus dem 17. Jahrhundert. (Wippen-drehbank).

**Rechts:** Teil einer Drehbank mit Pedalantrieb.



DR J F STENT