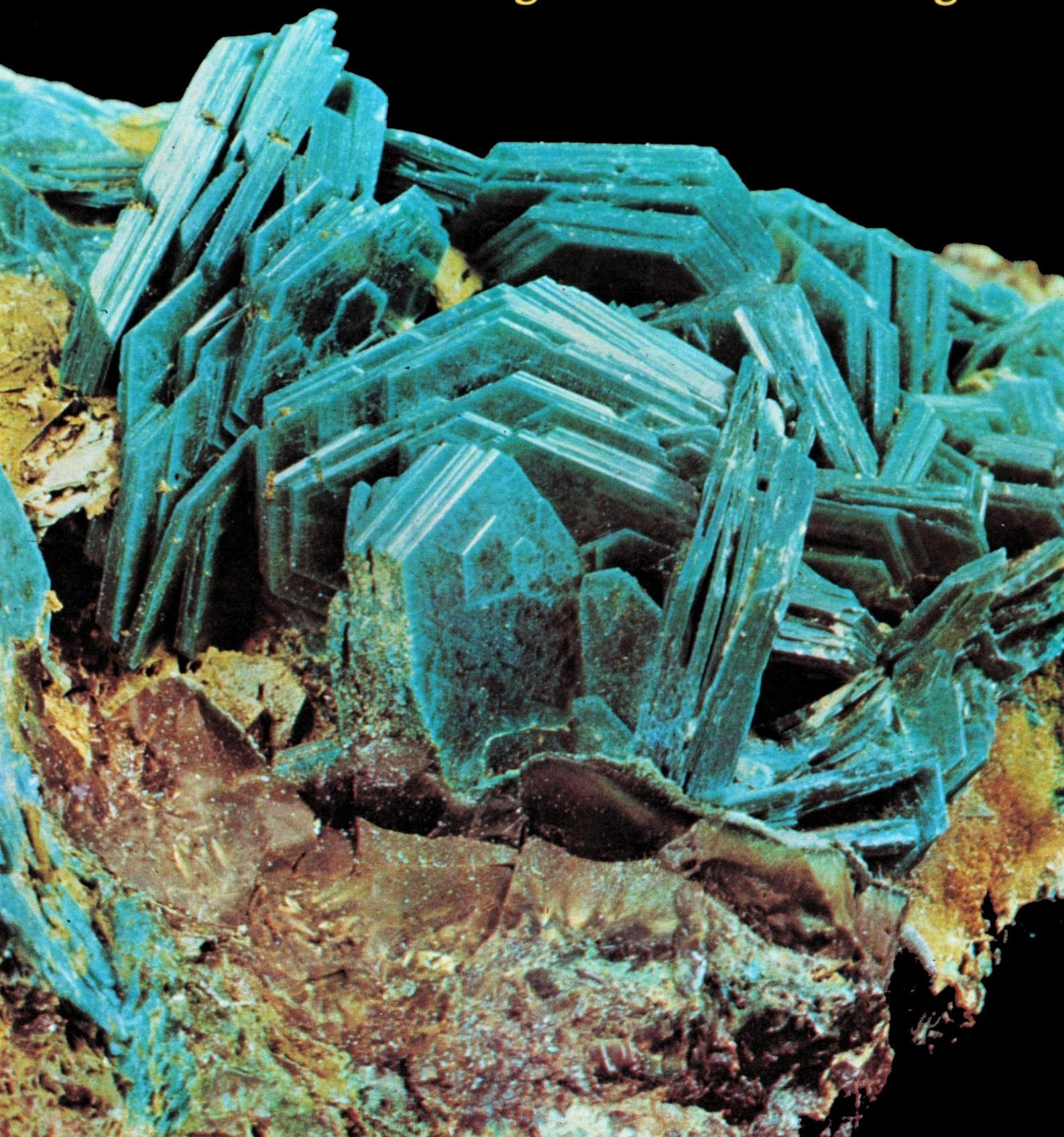


HEFT 30 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK OS 25  
SFR 3.50 DM 3

# WIE GEHT DAS

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



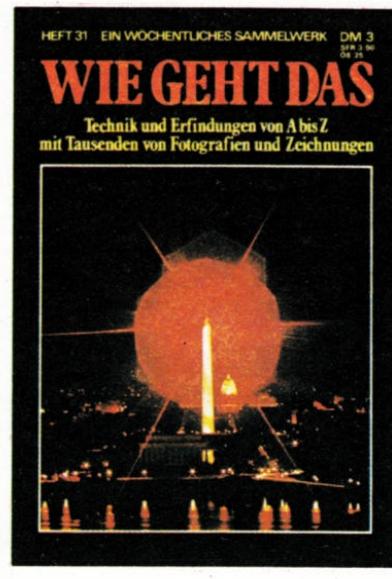
scan:[GDL]

# WIE GEHT DAS

## Inhalt

Kriegsschiffe	813
Kristalle, synthetische	820
Kristalle und Kristallographie	823
Kugelschreiber	828
Kühlung von Motoren	830
Kultivator	832
Kunstleder	834
Kunststoffe	837

## In Heft 31 von Wie Geht Das



Der Laser ist eine der aufregendsten Erfindungen der neueren Zeit. Seine Verwendungsmöglichkeiten wachsen ständig. In der Chirurgie, bei der Flugkörperlenkung, beim Schneiden von Metall und für Lichteffekte bei Popkonzerten können z.B. Laser eingesetzt werden. In Heft 31 werden Funktionsprinzip und Anwendungsbereiche des Lasers behandelt.

Moderne Hi-Fi-Lautsprecher haben eine erstaunlich echte Klangwiedergabe. Das Prinzip nach dem sie arbeiten, hat sich jedoch in den vergangenen 50 Jahren nicht verändert. Wie ein Lautsprecher elektrische Signale in Ton umwandelt, können Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das nachlesen.

### SAMMELORDNER

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

### SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

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

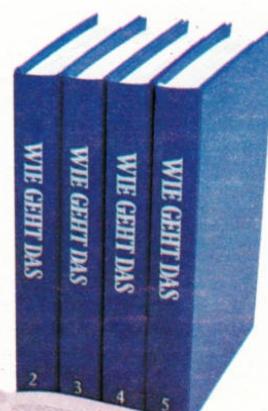
Österreich: Der Sammelordner kostet öS 80. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto Wien 2363 130. Oder legen Sie bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei. Kennwort: HEFTE.

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

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

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

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



### 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.

Impressum: © Marshall Cavendish Ltd. 1979, 1980, London, England. Verantwortlich für den Inhalt: U. Zimmermann-Neufang, Gorreststr. 27, D-4054 Nettetal 1. Vertrieb in Deutschland: ipv GmbH, Hamburg, Wendenstrasse. Printed in Great Britain by CWS Ltd.

DM 3 öS 25 sfr 3,50

## KRIEGSSCHIFFE

**Die Rivalität zwischen der deutschen und der britischen Kriegsflotte vor dem Ersten Weltkrieg wurde durch den forcierten Bau deutscher Kriegsschiffe angeheizt. Seitdem hat sich das Verhältnis beider Länder zueinander und die Seekriegstechnik erheblich verändert.**

Bis zum Zweiten Weltkrieg wurde der Seekrieg 'konventionell' geführt. Das heißt, man bekämpfte einander auf vergleichsweise kurze Entfernung mit schwerem Geschütz. Dies förderte die Entwicklung schwerer Kreuzer und etwas kleinerer Schlachtschiffe. Sie verdrängten teilweise über 60 000 ts (ts = tons standard = 1016 kg), waren mit riesigen Geschützen ausgerüstet (30 cm bis 46 cm Kaliber) und dick gepanzert. Eben wegen ihrer Panzerung waren die Schiffe recht unbeweglich, was nicht verwundert, wenn man bedenkt, daß die Panzerung der japanischen Yamato, die im Zweiten Weltkrieg eingesetzt wurde, an den Geschütztürmen und an bestimmten Stellen der Aufbauten bis zu 63,5 cm stark war. Im Verlauf des Zweiten Weltkrieges änderte sich die Art der Seekriegsführung. Das Schwergewicht verschob sich von der reinen Seeüberlegenheit zur Schlagkraft aus der Luft. Eine Handvoll TORPEDOS, die von kleinen und im Vergleich zu Schiffen billigen Flugzeugen abgeworfen wurden, konnten das

nehmen der Flugzeugträger, außer Dienst gestellt. Flugzeugträger müssen eine gewisse Größe haben, weil die Flugzeuge trotz moderner Start- und Landehilfen ein hinreichend langes Deck brauchen. Beispielsweise hat die 'Forrestal' der US-Navy eine Länge von drei hintereinanderliegenden Fußballfeldern: 317 m. Sie fährt mit einer Besatzung von 3870 Mann, dient allerdings auch als Einsatzbasis für 85 Flugzeuge. In den vergangenen 15 Jahren haben ausschließlich die USA neue Flugzeugträger gebaut, während die Sowjetunion sich auf Hubschrauberträger konzentrierte. Zu den in den USA vom Stapel gelaufenen Flugzeugträgern gehören auch solche mit Atomtrieb, z.B. die 'Enterprise' mit 75 700 ts. Sie hat acht Kernreaktoren an Bord, verfügt über vier Antriebsturbinen, leistet 220 000 kW und hat eine Fahrtweite von 400 000 sm (1 Seemeile = 1,85 km). Der durch enorme Kosten erzwungene Verzicht auf Flugzeugträger (immerhin kostete 1970 ein konventioneller Angriffsträger etwa DM 1 Milliarde) fällt Ländern wie der Bundesrepublik Deutschland recht leicht, denn die Bedeutung dieser Schiffe hat durch die Entwicklung der Fernlenkraketen stark abgenommen.

Eine typische moderne Marine verfügt über Fregatten, Zerstörer, Flugkörper-Zerstörer, Landungsboote, Schnellboote (an ihrer Stelle oder zusätzlich manchmal auch Korvetten), Minensuchboote sowie U-BOOTE. Unterteilen kann man diese und eine Vielzahl anderer Schiffe und Boote grob in



größte und aufwendigste Schlachtschiff versenken. Die Reichweite der Flugzeuge, ihre Leistungsfähigkeit und ihre Bewaffnung wurden immer besser. Hand in Hand damit gingen technische Fortschritte bei den Flugzeugträgern. Im Zweiten Weltkrieg wurden daher viele der 'Seeschlachten' im Pazifik ausschließlich von Flugzeugen ausgetragen, so daß auf beiden Seiten Kriegsschiffe gar nicht miteinander in Berührung kamen. Malta konnte mit einem wenig aufwendigen Luftein- satz über Jahre fast vollständig von der Versorgung abgeschnitten werden, die nur auf dem Seeweg möglich war. Auf der Nordmeerroute waren Flugzeuge gefährlichere Gegner der alliierten Geleitzüge als das fast 42 000 t schwere Schlachtschiff 'Tirpitz'. Als Ergebnis dieser Entwicklung haben praktisch alle Länder ihre großen Kriegsschiffe, mit Aus-

*Minensucher bestehen im wesentlichen aus antimagnetischen Werkstoffen wie Holz, Aluminium oder Glasfaserkunststoff, um keine Detonation von Magnetminen auszulösen.*

Kampfschiffe und Unterstützungsfahrzeuge. Außer auf sie stützt sich die Bundesmarine auf vom Land aus operierende Flugzeuge, die als Abfangjäger, Jagdbomber, Aufklärer, See- aufklärer und U-Boot-Bekämpfungsflugzeuge Dienst tun. Hinzu kommen Transporthubschrauber, allerdings nur für kürzere Entfernungen, etwa 200 km. Damit ist aus der eigentlichen Seekriegsführung eine gemischte Kriegsführung zu Wasser und in der Luft geworden — man spricht auch neben 'amphibischen' Operationen, bei denen Land- und Seestreit-

kräfte gemeinsam handeln, von 'triphibischen' Operationen; bei ihnen wirken Land-, See- und Luftstreitkräfte zusammen. Dabei ist zu bedenken, daß die Unterteilung zwischen den Streitkräften nicht mehr ganz klar ist: Über Flugzeuge verfügen neben der Luftwaffe, wie wir gesehen haben, auch die Marine und das Heer.

### Fregatten

Die Fregatte, die in der Bundesmarine Dienst tut, ist ein relativ kleines Schiff von 110 m Länge und einer Wasserverdrängung von lediglich rund 2100 ts. Zeitweise erwog man, Fregatten mit unterschiedlichen Operationsschwerpunkten zu entwickeln: U-Boot-Jagd, Bekämpfung feindlicher und Unterstützung eigener Flugzeuge usw. Man entschloß sich dann jedoch zur Konstruktion einer Mehrzweck-Fregatte, die alle Mittel an Bord hat, um diese unterschiedlichen Aufgaben zu erfüllen. Ein solches Schiff ist zwar auf dem jeweiligen Einzelgebiet nicht so leistungsfähig, wie es eine speziell dafür entwickelte Fregatte wäre, dafür hat es den Vorteil, flexibler zu sein. Der heutige Fregattentyp der Bundesmarine, die Köln-Klasse, ist eine Weiterentwicklung der Fregatte aus dem Zweiten Weltkrieg. Gegenüber seinen Vorgängern ist dieses Schiff stark verbessert, insbesondere in Antrieb und Bewaffnung. Dieselmotoren und Gasturbinen mit einer Leistung von rund 26 500 kW verleihen ihm eine Geschwindigkeit von 30 Knoten (1 kn = etwa 1,85 km/h). Bewaffnet ist die Köln-Klasse mit je zwei Kanonen von 10 cm und sechs von 4 cm Kaliber, außerdem verfügen diese Schiffe über je vier U-Jagd-Torpedorohre und zweimal vier U-Jagd-Raketenwerfer, darüber hinaus über Minen. Die Besatzungsstärke beträgt rund 200 Mann. Zu den Aufgaben dieses wendigen Kriegsschiffes gehört wegen seiner Geschwindigkeit und Bewaffnung der Geleitschutz, die U-Boot-Jagd und die Unterstützung amphibischer Unternehmungen. Eine ganz klare Abgrenzung zwischen Fregatten und Zerstörern ist im internationalen Vergleich nicht möglich. Beispielsweise heißen in der US-Navy Mehrzweck-Kampfschiffe von der Art großer Zerstörer 'Fregatten'; dabei entsprechen sie eher dem Schiffstyp, der bei uns als Flugkörperzerstörer bekannt ist. Diese Schiffe können von Hubschraubern unterstützt werden, die an Bord starten und wieder dort landen können. Dafür kommt vorzugsweise der Mehrzweck-Hubschrauber S 61 in Frage.

### Bauweise von Kriegsschiffen

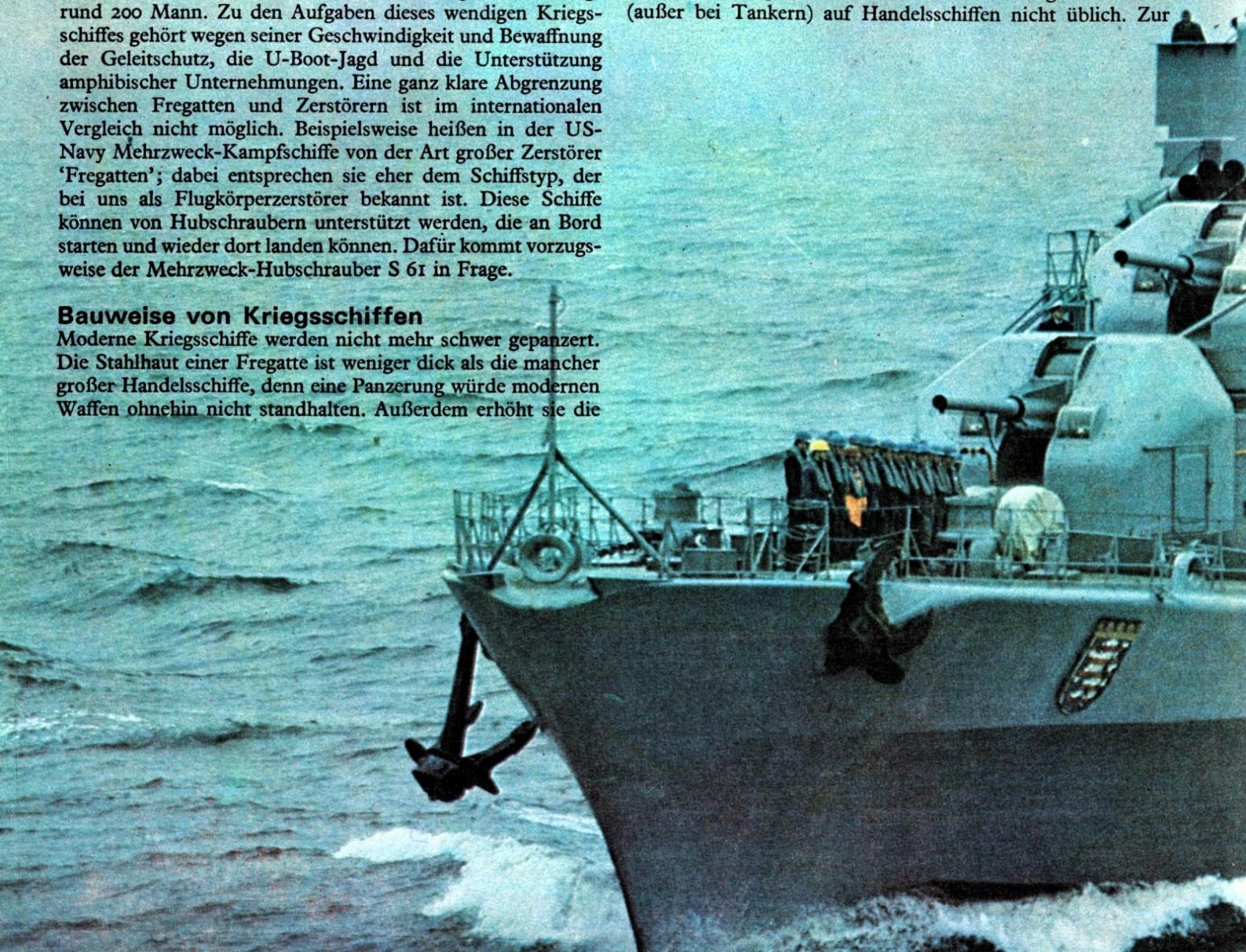
Moderne Kriegsschiffe werden nicht mehr schwer gepanzert. Die Stahlhaut einer Fregatte ist weniger dick als die mancher großer Handelsschiffe, denn eine Panzerung würde modernen Waffen ohnehin nicht standhalten. Außerdem erhöht sie die

Wasserverdrängung, womit für hohe Geschwindigkeiten mehr Antriebsleistung nötig ist.

Der Rumpf wird geschweißt und in Längsrichtung mit T-Profilen verstärkt. Am besten widersteht eine Gitterkonstruktion Unterwasserexplosionen und Druckwellen. Sie wird dadurch erreicht, daß man das T-Profil in Längsrichtung durch die breiteren Querabschottungen führt. Dabei entstehen Vierecke, die die Außenhaut verstauen.

Mit einer solchen Bauweise wird die größte Steifigkeit im Verhältnis zum Gewicht erreicht. Am Rumpf, der besonders hohen Belastungen ausgesetzt sein kann, verwendet man zur Verhinderung von Rißbildung hochfeste Stähle. Als korrosionshemmende Maßnahme wird der Stahl vor der Verarbeitung zur Beseitigung von Verarbeitungsrückständen und Rostansätzen gesandstrahlt und noch vor der Weiterverarbeitung lackiert. Einige besonders korrosionsgefährdete Teile werden nach der Fertigstellung des Schiffes erneut gesandstrahlt und mit einem Zinküberzug gespritzt. Durch die Verwendung von Aluminium kann an den Aufbauten Gewicht eingespart werden. Allerdings muß man sich dabei auf Stellen beschränken, die vermutlich keinem Beschuß ausgesetzt sind, denn dieser Werkstoff hat einen niedrigen Schmelzpunkt. Da abrupte Richtungsänderungen im Umriß von Aufbauten, wie z.B. bei der Back (auf dem Vorschiff) und der Brücke (dem Mittelschiffsaufbau) deren Festigkeit verringern, werden ihre Konturen abgerundet.

Das Schiff muß unbedingt wasserdicht unterteilbar sein, damit es auch bei Beschädigung schwimmfähig bleibt. Man erreicht diese Unterteilbarkeit durch Einziehen wasserdichter Quer- und Längsschotten und von Decks. Längsschotte sind (außer bei Tankern) auf Handelsschiffen nicht üblich. Zur





Verbesserung der Längsfestigkeit werden sie mit den Längs-T-Trägern verbunden. Alle Durchstiegsöffnungen in wasserdichten Schotten können ebenfalls wasserdicht verschlossen werden. Sie müssen oberhalb der tiefen Wasserlinie liegen. Auf See sind alle nicht regelmäßig benutzten Abschottungen geschlossen.

An die Stelle der früher häufig verwendeten Gittermasten treten immer öfter glatte Hohlmasten, vor allem wegen des Gewichtes, das sie zu tragen haben — z.B. das der großen Rundfachtradar-Antenne. Diese Masten sind fester und weniger vibrationsanfällig.

Moderne Fregatten können bei atomaren Angriffen oder solchen mit biologischen oder chemischen Kampfstoffen (ABC-Waffen) gegen die Außenatmosphäre hermetisch ab-

*Der Zerstörer 'Hessen' der Bundesmarine. Die Bundesmarine verfügt gegenwärtig über 17 Zerstörer und Fregatten. Im Gegensatz zu einer Fregatte sind Zerstörer meistens mit vielseitigeren Waffen ausgerüstet, so daß sie sowohl z.B. U-Boote als auch feindliche Flugzeuge und Kampfschiffe bekämpfen können. Die 'Hessen' wurde Anfang der sechziger Jahre gebaut.*

geschlossen werden. Bei diesem 'ABC-Verschlußzustand' sind besondere Maßnahmen erforderlich, damit das Schiff innere nicht durch die Luftumwälzanlage verseucht wird. Zur Ausstattung einer Fregatte können gehören: in den Aufbauten ein Radarraum, ein Funkraum, Rechnerräume, ein Raum für elektronische Kampfführung (Eloka-Raum) und eine geschlossene Brücke; auf dem A-Deck die Offiziersmesse, die Unterkünfte der Offiziere und Bootsmänner (Unteroffiziere 'mit Portepee'), eine Kombüse, Aufenthaltsräume und ein Lazarettraum; das B-Deck mit den Geschützbereich, den Maschinenraum, Artillerie-Staulisten, Lasten für Waffenzubehör und Ersatzteile, die Messe der Maaten (Unteroffiziere 'ohne Portepee'), Kombüse und Abwaschraum, das Flugkörper-Magazin (für Flugkörper vom Typ Seacat), die OPZ (Operationszentrale), die Werkstatt des Bordingenieurs, die Mannschaftskojen; auf dem C-Deck der Sonarraum, die Mannschaftsmesse, Kühlräume und Brennstoftanks; ganz unten schließlich die Bilgenlast sowie der Diesel-Treibstofftank, der Hubschrauber-Treibstofftank, Schmiermittelvorräte und die Sonarlast. Mit 'Last' werden Räume oder Abteilungen bezeichnet, die ausschließlich der Bevorratung dienen. Das Sonar ist ein Unterwasser-Ortungsverfahren.

### Flugkörperzerstörer

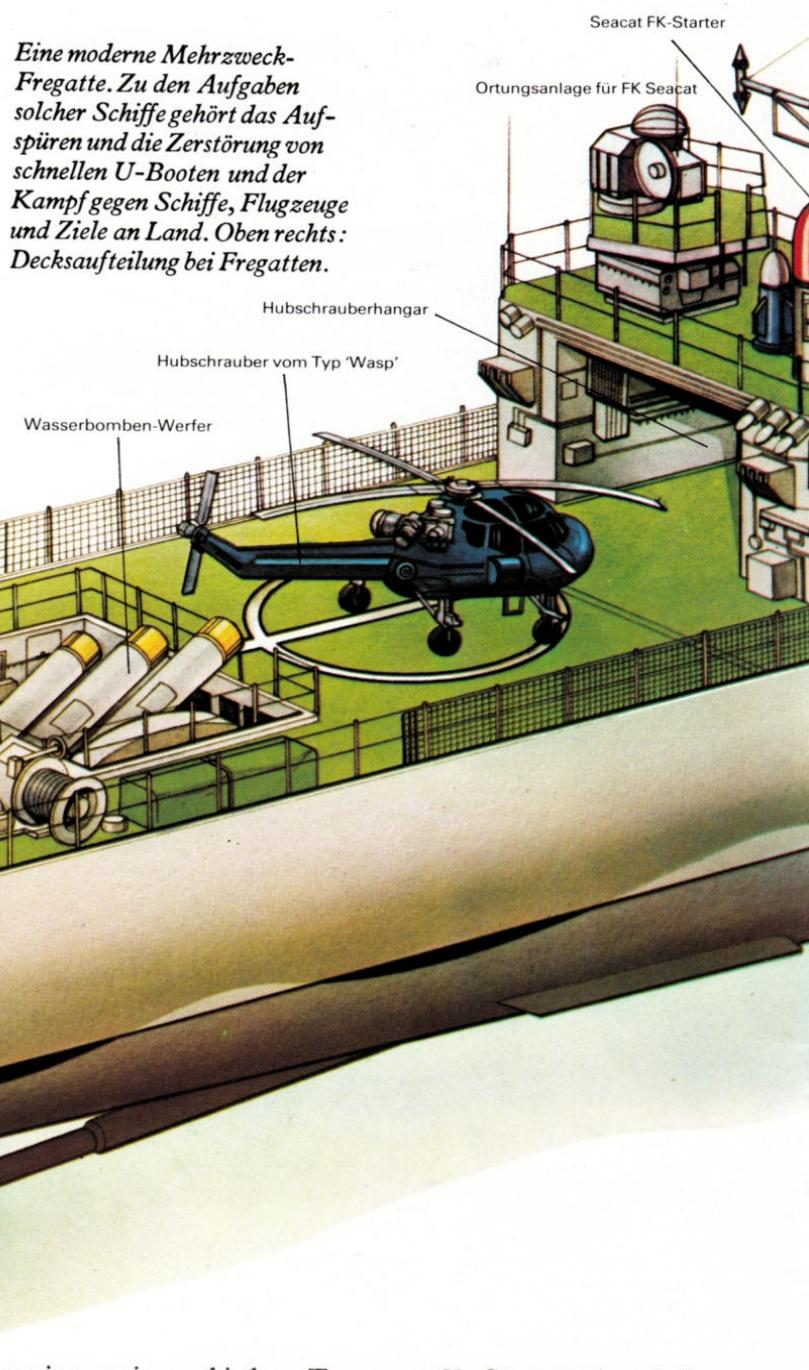
Flugkörperzerstörer sind größer als Fregatten. Die Lütjens-Klasse der Bundesmarine hat beispielsweise eine Verdrängung von 3370 ts. Im Ausland gibt es noch größere FK-Zerstörer, z.B. die County-Klasse der Briten, die mit rund 6300 ts an die größeren unter den früheren konventionellen kleinen Kreuzer heranreicht (zwischen 3000 ts und 8000 ts). Die Bewaffnung entspricht der Größe; so hat die Lütjens-Klasse zwei 127-mm-Kanonen, einen Flugkörper-Starter für das

Verdrängung von 360 ts. Sie sind also überaus wendig, mit einer Geschwindigkeit von 38 kn sehr schnell und stark bewaffnet: mit zwei 76-mm-Kanonen, vier Flugkörpern MM 38 und zwei Torpedorohren.

### Landungsboote und Landungsboot-Mutterschiff

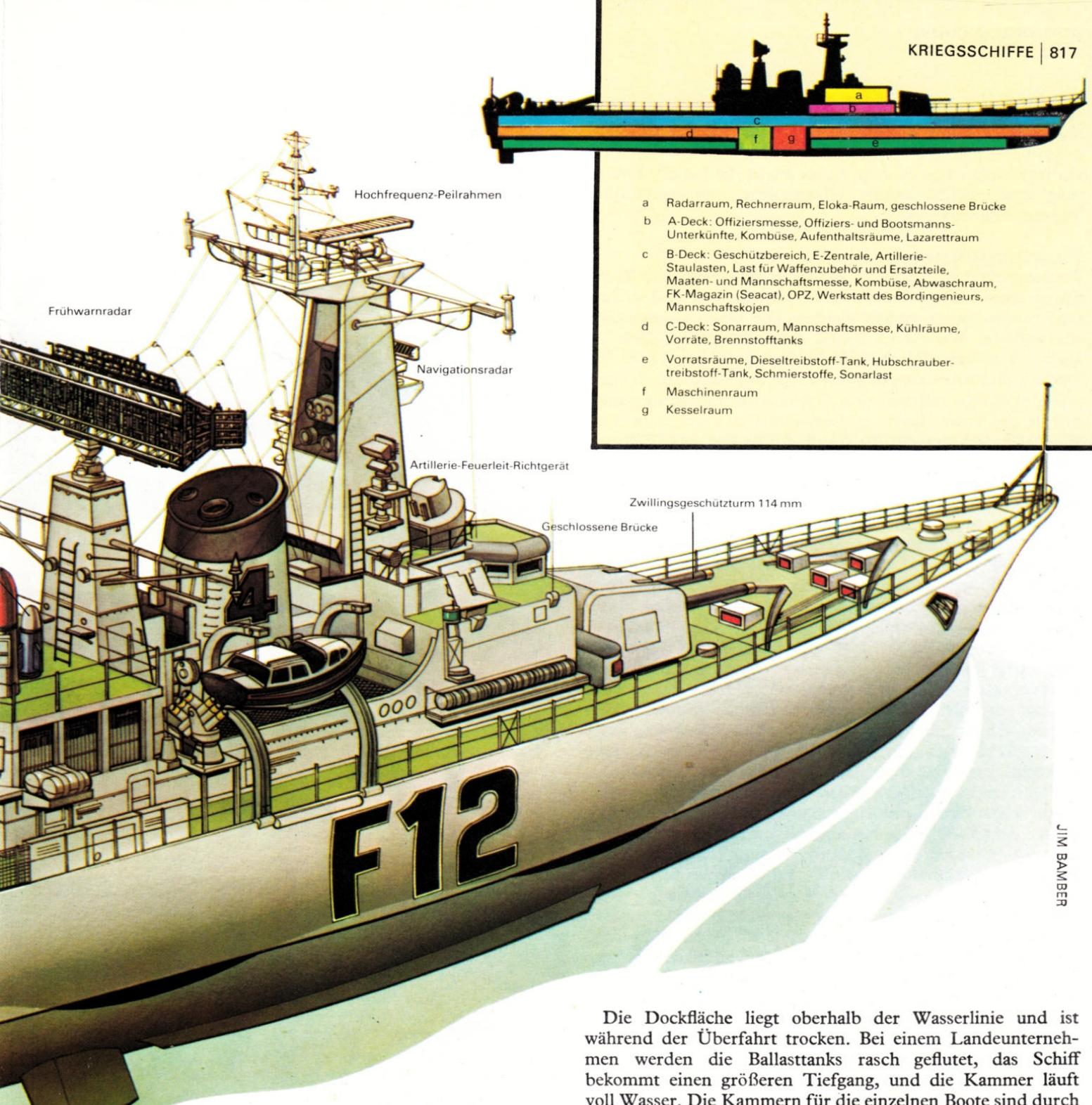
Landungsboote transportieren militärisches Gerät und Truppen und setzen ihre Last auch dort an Land, wo Hafenanlagen und andere für eine Landung geeignete Einrichtungen nicht zur Verfügung stehen. Dafür gibt es zwei verschiedene Landungsboote: eines für Truppen und leichtes Gerät (in der Bundesmarine beispielsweise der Typ LCM mit 140 ts Maximalverdrängung), ein anderes für Panzer und sonstige Schwerfahrzeuge. Für diesen Zweck stehen der Bundes-

*Eine moderne Mehrzweck-Fregatte. Zu den Aufgaben solcher Schiffe gehört das Aufspüren und die Zerstörung von schnellen U-Booten und der Kampf gegen Schiffe, Flugzeuge und Ziele an Land. Oben rechts: Decksauftteilung bei Fregatten.*



Standard Missile 1 sowie sechs U-Jagd-Torpedorohre. Das Schiff fährt mit einer Besatzung von 350 Mann. Zusätzlich zu diesen FK-Zerstörern setzt die Bundesmarine FK-Schnellboote ein. Die modernsten, die Klasse S 61, haben eine

marine zwei verschiedene Typen zur Verfügung: einmal die 'Mehrzwecklandungsboote' der Barbe-Klasse mit 403 ts Maximalverdrängung sowie die Landungsschiffe der Krokodil-Klasse mit 1055 ts Maximalverdrängung und einer Hubschrauberplattform achtern. Über Landungsboot-Mutterschiffe verfügt die Bundesmarine zwar nicht, sie sollen hier



dennoch kurz vorgestellt werden. Ein solches Schiff kann bis zu vier große Landungsboote (beispielsweise der Barber-Klasse) achtern in einer flutbaren Kammer ('Dock') aufnehmen. Die Soldaten gehen vom A-Deck an Bord ihrer Einsatzfahrzeuge, nachdem diese aus ihren Davits heruntergelassen und gegen Bewegungen im Verhältnis zum Trägerschiff an diesem 'angeholt' (festgehalten) worden sind. In der Dockkammer befinden sich Scheuerwände, die Beschädigungen am Schiff und an den Booten verhindern sollen, außerdem enthält sie eine schräge Abschlags- und Auflaufebene, die bis zum Flutdeck reicht. Sie bremst die Kraft der auflaufenden Wellen und dient zugleich zur Beladung der Landungsboote. Diese Ebene besteht aus Stahlgratings (Gitterroste, durch die Wasser ablaufen kann). Zum Wasser hin ist die Dockkammer durch eine an Scharnieren nach unten zu öffnende Heckklappe verschlossen.

Die Dockfläche liegt oberhalb der Wasserlinie und ist während der Überfahrt trocken. Bei einem Landeunternehmen werden die Ballasttanks rasch geflutet, das Schiff bekommt einen größeren Tiefgang, und die Kammer läuft voll Wasser. Die Kammern für die einzelnen Boote sind durch Schotten voneinander getrennt. Eine Luftumwälzanlage saugt Kraftstoffdämpfe und Giftgase ab.

Wegen der unterschiedlichen Belastungszustände beim Fluten und durch die Bewegung der Boote und Fahrzeuge muß das Schiff sehr robust ausgelegt sein. Das oberhalb der Dockkammer liegende A-Deck muß die dynamische Belastung durch die Hubschrauber aufnehmen und außerdem über lange Deckkäfigsträger gestützt werden, weil in diesem Bereich Stützpfeiler nicht verwendet werden können. Das Flutdeck ruht auf einer ganzen Reihe von Stützen im darunterliegenden Fahrzeugdeck. Die Last, die auf den Stützen ruht, wird von den Bodenwrangen und Bodenplatten des Schiffes aufgenommen. Über die gesamte Länge des Schiffsbodens ziehen sich zu beiden Seiten Wasserkammertanks hin. Zwischen ihnen sind Brennstoftanks und Vorräte aller Art untergebracht. Auf dem Landedeck lassen sich erforderlichenfalls weitere Landungsfahrzeuge unterbringen.

Die Antriebsenergie wird von Dampfturbinen erzeugt. Der Maschinenraum liegt unter dem Fahrzeugdeck. Kojen sind vorn und achtern in den Aufbauten.

Herkömmliche Landungsfahrzeuge von der Art der LCM und Barbe könnten in Zukunft durch Luftkissenboote (siehe AMPHIBIENFAHRZEUGE) ersetzt werden. Da man mit ihnen bis auf den Strand hinauffahren kann, würde die für die Errichtung eines Brückenkopfes erforderliche Zeit durch ihre Verwendung verkürzt.

### Flugzeugträger

Flugzeugträger sind schwimmende, hochkonzentrierte Technik in einer sehr speziellen Form, weil ganz besondere Anforderungen an sie gestellt werden. Die Decks müssen weit oberhalb der Wasserlinie liegen, damit Flugzeuge auch bei rauher See und schlechter Sicht landen können. Weil die Decks außerdem keinerlei Hindernisse aufweisen dürfen und völlig glatt sein müssen, sind Schornstein und Kommandobrücke auf einer 'Insel' an Steuerbord untergebracht. Das Flughallendeck braucht die Geschoßhöhe von zwei üblichen Decks, ohne störende Stützen. Um die Abdampfleitungen nicht durch das Hallendeck führen zu müssen, leitet man sie nach Steuerbord und dann zum Schornstein.

Die Bewaffnung der britischen Ark Royal (43 000 ts) besteht aus einer Anzahl von Vierfach-Flugkörperstartern für FK vom Typ Seacat, die sich zu Seiten des Schiffes an besonderen Trägereinrichtungen befinden. Sie hat über dreißig Flugzeuge und ein halbes Dutzend Hubschrauber an Bord. Das Flugdeck muß so lang sein, daß achtern genug Platz zum Landen und vorn so viel Platz ist, daß auch die schwersten Maschinen mit einem Katapultstart in die Luft kommen können (siehe DAMPFKATAPULT). Winkeldecks machen es möglich, daß mehrere Maschinen rasch hintereinander landen können. Ist das Flugzeug mit Hilfe der Fanganlage zum Stillstand gekommen, wird es auf der Steuerbordseite nach vorne gebracht, damit eine freie Fläche für solche Maschinen bleibt, die die Fangleine verfehlt haben und durchstarten müssen.

An beiden Enden der Flugzeughalle befördert je ein über Ketten und Elektromotoren angetriebener Aufzug die Flugzeuge an und unter Deck. Zu ihrer Wartung befindet sich eine Reihe von Werkstätten an Back- und Steuerbord. Munition und Brennstoff für die Flugzeuge werden in tiefergelegenen Decks gelagert, um sie möglichst gut vor Feindeinwirkung zu schützen. Zur Überwachung schnell fliegender Flugzeuge werden ein Frühwarnradargerät, Funk und Computer gebraucht. Für diese Einrichtungen muß Platz sein, ebenso für Räume für die Einweisung von Piloten, die Flugüberwachung und die Flugzeughallen-Überwachung.

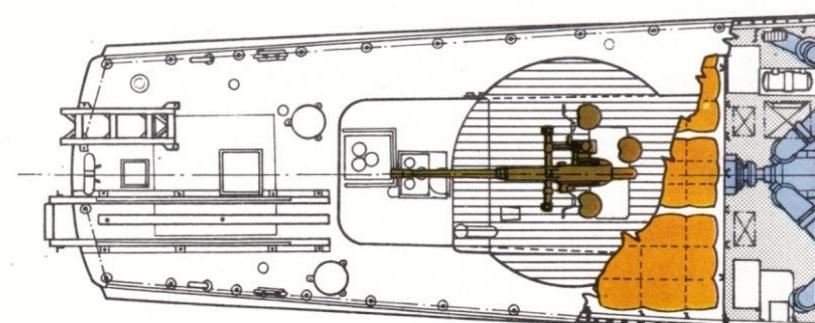
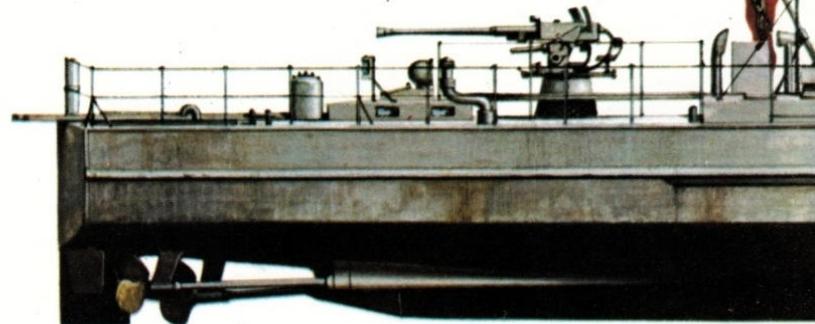
Hinten am Katapult wird eine Schutzvorrichtung gegen den heißen Düsenstrom gebraucht, damit nachfolgende Flugzeuge nicht beschädigt werden. Die Decksplatten werden in diesem Bereich zur Vermeidung von Überhitzung wassergekühlt.

Brandschutzeinrichtungen sind auf solchen Schiffen von besonderer Bedeutung. Daher können die Flugzeughallen mit einer Sprinkler-Anlage (selbsttätige Feuerlöschanlage), die von ferngesteuerten Pumpen gespeist wird, schnell auf der ganzen Fläche besprüht werden.

### Schnellboote

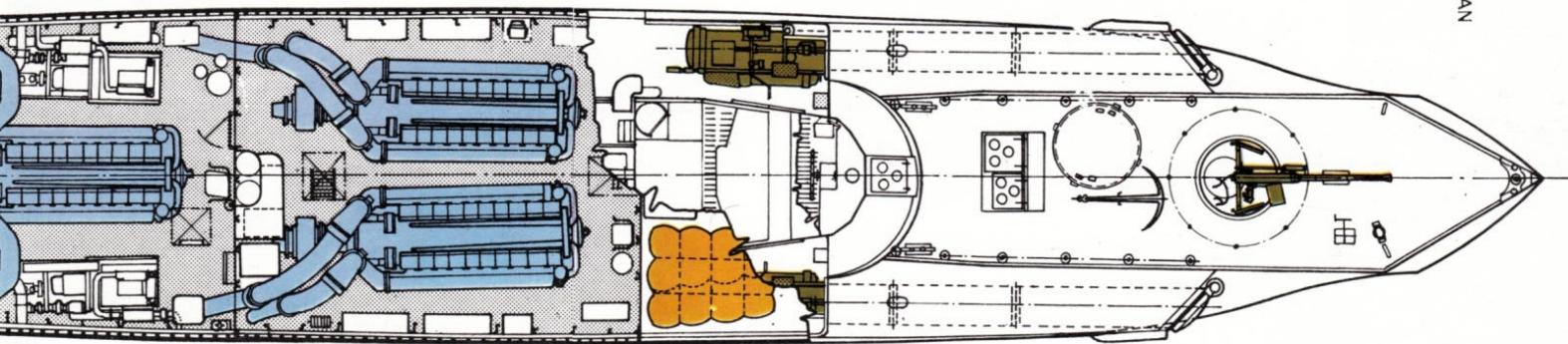
Schnellboote sind kleine, zum überraschenden Angriff auch auf überlegene Gegner bestimmte Kriegsschiffe mit einer Verdrängung von 40 ts bis 300 ts. In der Bundesmarine finden sich vornehmlich die Klassen S 41 (260 ts), S 61 (360 ts) sowie Zobel und Jaguar (jeweils 160 ts), mit Geschwindigkeiten von 38 kn (S 41 und S 61) oder 42 kn. Bei modernen Typen wird die hohe Geschwindigkeit oft durch Gasturbinenantrieb erreicht. Nach der Hauptbewaffnung unterscheidet man Flugkörper-Schnellboote (S 41 und S 61), Torpedo-Schnellboote (Zobel und Jaguar) sowie Artillerie-Schnellboote. Alle hier genannten Typen sind mit Bord-

kanonen ausgerüstet. Wegen beschränkter Seefähigkeit und geringer Reichweite operieren Schnellboote im Küstenschutz; sie werden auch oft für Rettungsaufgaben eingesetzt. Als ihre Vorfürher kann man die Kanonenboote ansehen. Die größeren Schnellboote nähern sich in ihrer Größe Korvetten. Die Bundesmarine verfügt allerdings nicht über diesen Schiffstyp. Korvetten können in Friedenszeiten die Aufgabe von Fregatten weit billiger lösen und zugleich wegen der relativ großen Mannschaftsstärke als Ausbildungsschiffe dienen.





TONY BRYAN



*Oben:* Seiten- und Deckansicht des deutschen Schnellbootes S 38. Es wurde im Jahre 1942 gebaut. Seine drei Daimler-Benz-Diesel-Maschinen leisteten je rund 3 500 kW und verliehen damit dem Schiff eine Geschwindigkeit von 35 kn. Nur moderne Schnellboote und Flugkörper-Schnellboote übertreffen diesen Wert mit 42 bzw. 38 kn. Die Schnellboote dieser Baureihe waren mit zwei innenliegenden Torpedorohren vorn ausgerüstet (grün in der Deckansicht). Die Kraftstofftanks befanden sich unter Deck (gelb). Das Schnellboot S 38 war mit einer 20-mm-Bugkanone und einer 40-mm-Heckkanone bewaffnet (grün), außerdem konnte es 8 Minen mitführen.

*Links:* Ein Flugzeugträger der US-Navy. Man kann deutlich das Winkeldeck erkennen. Landende Flugzeuge könnten wieder durchstarten, ohne von wartenden Maschinen behindert zu werden.



## Minensuchboote

Minensuchboote sind vergleichsweise klein (bis etwa 370 ts). Binnenminensuchboote der Bundesmarine verfügen sogar nur über 184 ts — dies macht sie wendig, was für ihre Aufgabe sehr wichtig ist. In erster Linie müssen Minensuchboote Schiffahrtswege durch das Aufspüren und Beseitigen von Minen freihalten. Sie dienen aber auch dazu, vor Kriegsschiffen und Geleitzügen 'Minenschutz' zu fahren. Die an

Bord verfügbare Ausrüstung muß die Besatzung in die Lage versetzen, alle vorkommenden Arten von Minen fachgerecht zu beseitigen.

Beispielsweise sind diese Boote zur Beseitigung von Ankerminen mit mechanischem Räumgerät ausgerüstet. Ankerminen sind unter der Wasseroberfläche verankerte Auftriebskörper, die durch Erschütterung, Berührung, Drehung usw. gezündet werden. Geschleppte Räumleinen (Stahlketten) zerschneiden die Ankertau, die Minen schwimmen auf und können durch Abschießen unschädlich gemacht werden. Die Räumung dieser Minen wird oft dadurch erschwert, daß sie durch Sperrschatzmittel (Reiß- oder Sprengbojen) gegen ein Räumen geschützt sind. Neuerdings werden Räumleinen auch von unbemannten ferngesteuerten Booten geschleppt. Ankertau minen sind besonders tödlich, weil sie in weit größeren Tiefen wirksam sind als Grundminen und gegen U-Boote in Form von 'Treppensperren' in unterschiedlichen Tiefen gestaffelt eingesetzt werden können.

Da Magnetminen auf das Magnetfeld vorüberfahrender Schiffe reagieren, beseitigt man sie mit elektromagnetischen Minensuchgeräten, die starke Magnetfelder zur Zündung der Minen erzeugen. Solche Minensuchgeräte können auch von tieffliegenden Flugzeugen aus eingesetzt werden.

Zur Beseitigung von akustischen Minen (Geräuschminen) schleppt man mit Geräuscherzeugern versehene Geräuschbojen an den Minen vorbei, wodurch diese gezündet werden, während man gegen Druckminen mit Sprengladungen zur Erzeugung von Druckstößen vorgeht.

Der Rumpf eines Minensuchbootes muß aus antimagnetischem Material bestehen, damit während des Räumens nicht unbeabsichtigt Magnetminen gezündet werden. Aus diesem Grunde verfügen sie oft über Holzrumpfe.

## KRISTALLE, SYNTHETISCHE

In der industriellen Anwendung haben synthetische Diamanten, Rubine und Saphire die natürlich vorkommenden Kristalle, die heute weitgehend in der Schmuckindustrie eingesetzt werden, abgelöst.



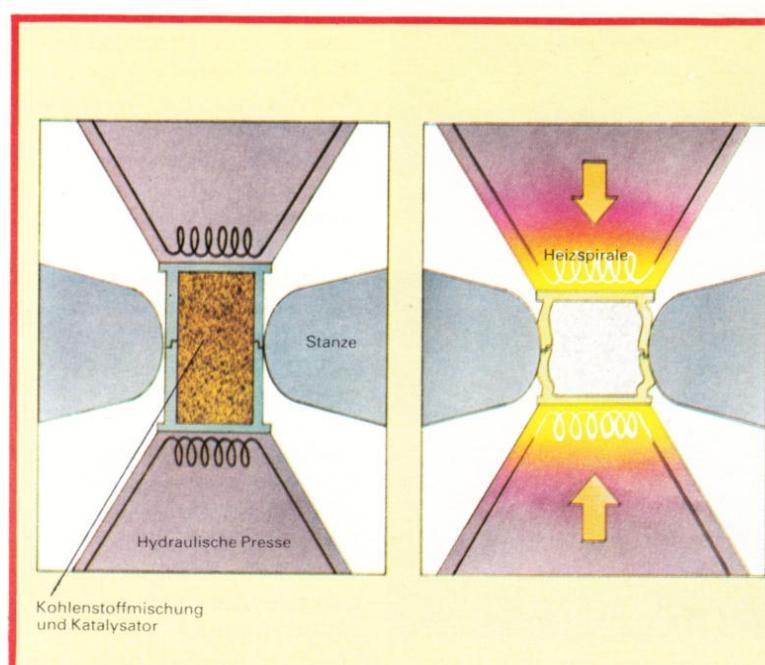
Synthetische Kristalle werden nach verschiedenen Verfahren aus geeigneten chemischen Substanzen erzeugt. Sie verfügen über die gleiche chemische Zusammensetzung, die gleiche Kristallstruktur sowie die gleichen physikalischen Eigenschaften wie die entsprechenden natürlich vorkommenden Kristalle (siehe KRISTALLE UND KRISTALLOGRAPHIE).

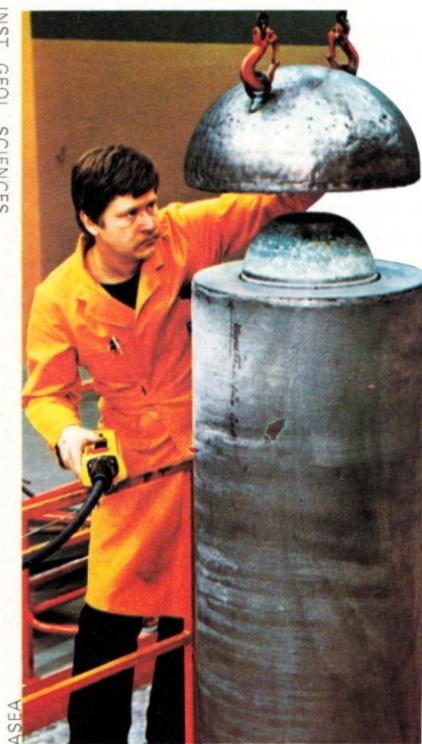
Tausende von Festkörpern sind kristalliner Struktur. Unter synthetischen Kristallen versteht man einige Hundert Kristalle, die entweder für die Industrie von Wert sind oder als Edelsteine verwendet werden. Die natürlich vorkommenden Kristalle wurden vor mehreren Millionen Jahren durch Abkühlen aus Schmelzen unter hohem Druck gebildet. Kristalle, wie sie heute in großen wirtschaftlichen Mengen — Beispiele sind Zucker, Salz und Soda — hergestellt werden, zählen im allgemeinen nicht zu den synthetischen Kristallen.

Alle wichtigen und wertvollen Edelsteine, einschließlich Diamanten, Rubine, Saphire und Smaragde, sind künstlich hergestellt worden. Sie haben jedoch nur einen Bruchteil der Bedeutung ihrer natürlich vorkommenden Kristalle erlangt. Von Smaragden abgesehen, haben alle künstlichen Edelsteine Anwendung in der Industrie gefunden. DIAMANT (eine allotrope Modifikation von Kohlenstoff) ist die härteste auf der Erde vorkommende Substanz. Künstliche Diamanten sind am schwierigsten herzustellen. In der Härteskala folgen dem Diamanten Saphire und Rubine. Beides sind Aluminiumoxide, deren Farbe sich durch Spuren von Verunreinigungen unterscheidet. Der Franzose Auguste Victor Louis Verneuil (1856 bis 1913) synthetisierte zum ersten Mal Rubine im Jahre 1902. Sein Verfahren ist heute als Verneuil-Verfahren bekannt. Hierbei wird in einer Knallgasflamme (2100°C) feinstes, kristallines Aluminiumoxidpulver mit Verunreini-

*Oben: Synthetische Smaragde haben eine sehr viel regelmäßiger Form als natürliche Steine. Rechts im Bild natürliche (roh und geschnitten) Steine, links die synthetischen.*

gungen von Chromoxid als Farbmittel geschmolzen. Diese Schmelze wird auf die Spitze eines Kegels aus geheiztem, aber festem Aluminium aufgetropft. Sein erster so erzeugter Kristall wog etwa 15 Karat (1 Karat = Maßeinheit für Edel-





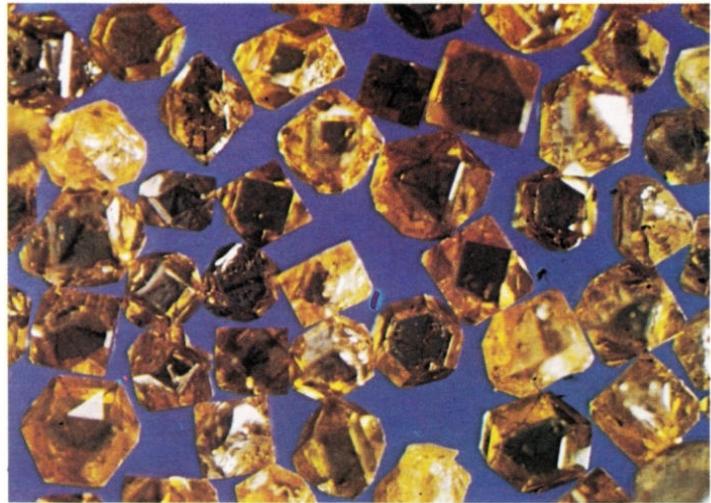
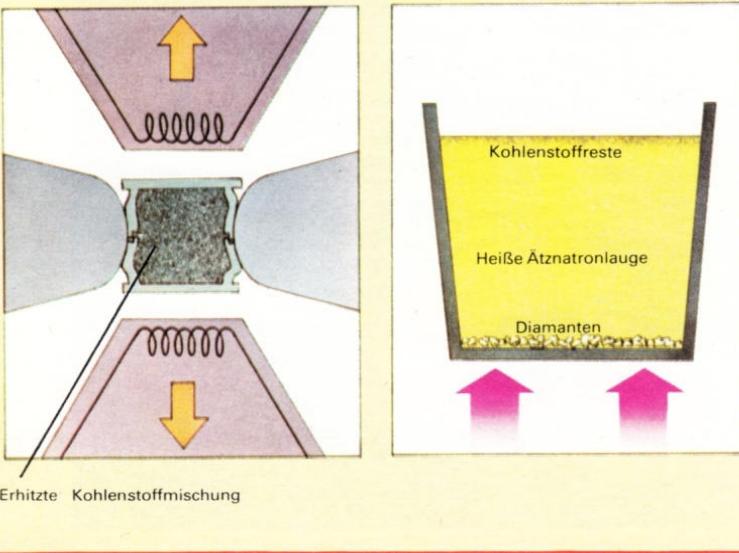
**Rechts:** Synthetische Diamanten wurden erstmals erfolgreich in Schweden im Jahre 1953 hergestellt. Graphit (eine Erscheinungsform von Kohlenstoff) wurde gleichzeitig auf über 2500°C erhitzt und einem Druck von 97 000 bar ausgesetzt, der mit einer hydraulischen Presse erzeugt wurde. Die kommerzielle Produktion begann im Jahre 1960.

**Links:** Nach Diamant ist Korund das härteste in der Natur vorkommende Material. Hier wird durch heißisostatisches Pressen ein stahlgekapselter Korundbehälter für radioaktiven Abfall hergestellt. Der Korund wurde synthetisch produziert.

steine = 200 mg). Heute ist die Herstellung von einigen Hundert Karat üblich. Später wurden nach diesem Verfahren Saphire unter Hinzufügen von Titan- und Eisenoxiden zu Aluminium gefertigt.

### Synthese von Diamant

Diamant ist der Kristall, der als letzter synthetisch hergestellt werden konnte. Nach vielen Jahren des Experimentierens erzeugte im Jahre 1953 die schwedische Firma ASEA Diamant. Ein Gemisch aus Graphit und Eisencarbld, das in Thermit — einem Gemisch aus Aluminiumpulver und einem Metalloxid, das beim Entzünden große Hitze entwickelt — eingebettet war, wurde auf 97 000 bar zusammengepreßt. Dann wurde das Thermit entzündet. Heute ist synthetischer Diamant bei Schleifwerkzeugen von großer Bedeutung. Die Firma De Beer in Irland fertigt heute pro Jahr Millionen Karat an synthetischen Industriediamanten. Auch Diamant mit Edelsteinqualität wurde im Labor künstlich hergestellt. Der Fertigungsprozeß jedoch ist zu langwierig und zu teuer, um im Großverfahren eingesetzt zu werden.



Smaragde, die aus den vier Oxiden von Aluminium, Silicium, Beryllium und Chrom hergestellt werden, wurden von verschiedenen Firmen, speziell in den USA und Frankreich, industriell zum Gebrauch als Schmucksteine hergestellt.

### Die Czochralski-Methode

Das wichtigste Verfahren, nach dem heute Rubine und Saphire für die Anwendung im Schmuck- und industriellen Bereich gefertigt werden, beruht auf einer Erfindung Czochralskis im Jahre 1917. Er tauchte einen kleinen Impfkristall in eine gleichartige Kristallschmelze. Anschließend zog er den Impfkristall von der Schmelze allmählich wieder weg. Bei richtig eingestellter Temperatur der Schmelze wächst an dem Impfkristall kontinuierlich Material der Schmelze an.

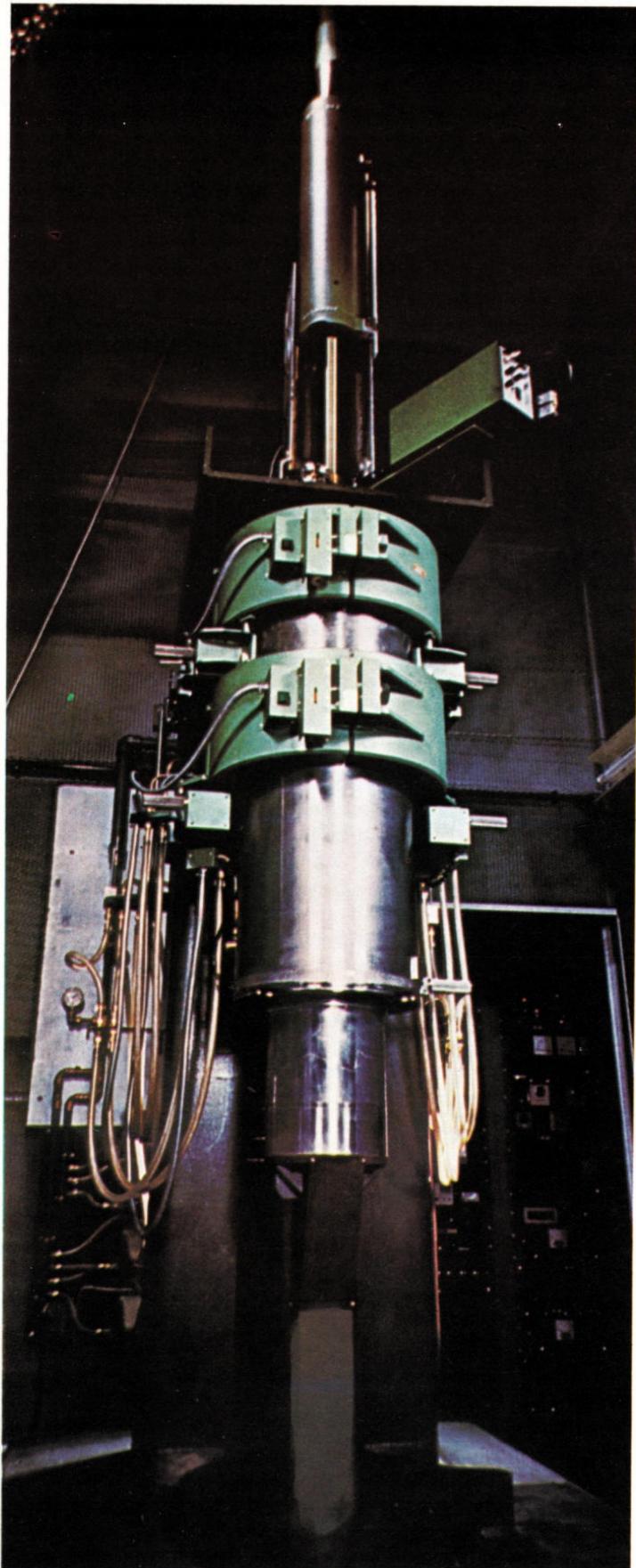
Das Ziehverfahren hat den Vorteil, daß ursprüngliche Verunreinigungen in der Schmelze verbleiben. D.h. der gezogene Kristall ist nach der Abkühlung reiner als das Ausgangsmaterial. Weitere Reinigung kann mit dem Ionschmelzen vorgenommen werden. Der zu reinigende Kristall steht aufrecht. Mit Hilfe einer Hochfrequenz-Induktionsspule werden innerhalb des Kristalls schmelzflüssige Ionen geschaffen. Durch die Bewegung der Induktionsspule von unten nach oben werden die Verunreinigungen mitgerissen. Sie befinden sich schließlich am oberen Ende des Kristallstabes. Schneidet man dieses Ende ab, hat man einen sehr reinen Kristall.

### Anwendungen

Viele synthetische Kristalle werden in Schleifmitteln benutzt. Siliciumcarbid war das erste synthetisch hergestellte und kommerziell vertriebene Produkt (Edward Acheson, 1891). Acheson entwickelte einen Ofen, in dem bei einer Temperatur von 2000°C eine chemische Reaktion zwischen Silicium und Kohlenstoff abläuft. Es entsteht das hexagonale Siliciumcarbid, das unter dem Namen Karborund als eines der bedeutendsten Schleifmittel angeboten wird.

Das neueste synthetische Schleifmittel ist das kubische Bornitrid, das nicht natürlich vorkommt. Wegen der ähnlichen physikalischen Eigenschaften und der Kristallstruktur von Bor und Graphit lag die Vermutung nahe, Bornitrid wie künstlichen Diamant herzustellen. Diese Vermutung bestätigte sich.

**Links:** Ein Behälter mit Kohlenstoff und einem Katalysator wird zwischen die Druckflächen einer hydraulischen Presse platziert und dann hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt. Nach dem Waschen in Salpetersäure werden die Kohlenstoffreste in Ätznatron gewaschen. Zurückbleiben kleine, unscheinbare Diamanten, die nicht als Schmucksteine, sondern nur in der Industrie verwendet werden können.

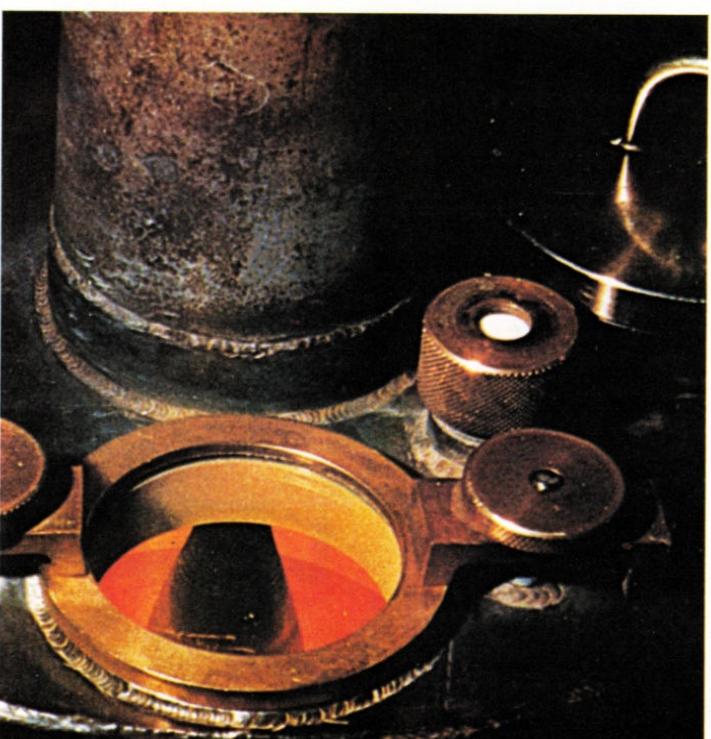


**Oben:** Das Bild zeigt eine Kristallziehapparatur nach Czochralski. Sie wird zur Herstellung von Galliumphosphid-Kristallen verwendet. Der Kristall wiegt bis zu 5 kg. Bei dem Verfahren wird ein kleiner Kristallkeim unter Drehen aus der Schmelze herausgezogen. Es entsteht nach dem Abkühlen ein extrem reiner Einkristall. Verunreinigungen verbleiben in der Schmelze.

Auch wenn Bornitrid nicht so hart wie Diamant ist, hat es heute als Schleifmittel doch Bedeutung erlangt. Die Bornitrid-Kristalle sind in der Regel schwarz. Im Jahre 1975 gelang es der Firma De Beers, nach einem neuen Fertigungsverfahren goldfarbene Bornitrid-Kristalle herzustellen.

Immer mehr synthetische Kristalle werden für die Herstellung von Halbleitermaterialien verwendet. Die Güte vieler Halbleiterbauelemente hängt von der Reinheit des Ausgangsmaterials (Substrates) ab. Man hat hier meist Einkristalle, da ihre Anwendung von den homogenen elektrischen Eigenschaften abhängt. Ein Einkristall hat keine Korngrenzen und eine voraussagbare Kristallstruktur. Durch das Wachstum von Einzelkristallen werden Verunreinigungen reduziert, da viele Anwendungen empfindlich auf verunreinigtes Material reagieren. Die Herstellung von Einkristallen erfolgt meist nach dem Czochralski-Verfahren. Anwendungsbeispiele sind Lithiumfluorid für Röntgenstrahlprismen, Yttrium-Aluminium-Granat und Rubin für Laser, Lithiumsulphat für Tonabnehmer, Germanium und Silicium für Transistoren, Thyristoren und Dioden und Galliumarsenid für Leuchtdioden. Ein weiteres, immer interessanter werdendes Anwendungsgebiet von Einkristallen ist die Verwendung als Substrat bei neueren elektronischen Bauteilen usw., entweder als aktives Substrat, auf das eine andere dünne Einkristallschicht aufgetragen werden kann oder als passives Substrat. Das Einkristall Gadolium-Gallium-Granat wird z.B. als aktives Substrat für Speichereinheiten bei Computern eingesetzt. Galliumphosphat und Galliumarsenid sind die Ausgangsmaterialien von Leuchtdioden, die als Anzeigen in verschiedenen Geräten Anwendung finden (siehe OPTOELEKTRONIK). Spinelle und Saphire als Einkristalle werden als Isoliermaterial verwendet. Silicium-auf-Saphir-Einheiten (SOS = silicon on sapphire) sind bei integrierten Schaltungen von Bedeutung. Als passives Einkristallsubstrat hat Lithiumniobat beim Farbfernsehen als breitbandiges Bandpaßfilter Bedeutung erlangt. Für die gleiche Anwendung wurde auch Bismut-Silicium-Oxid entwickelt.

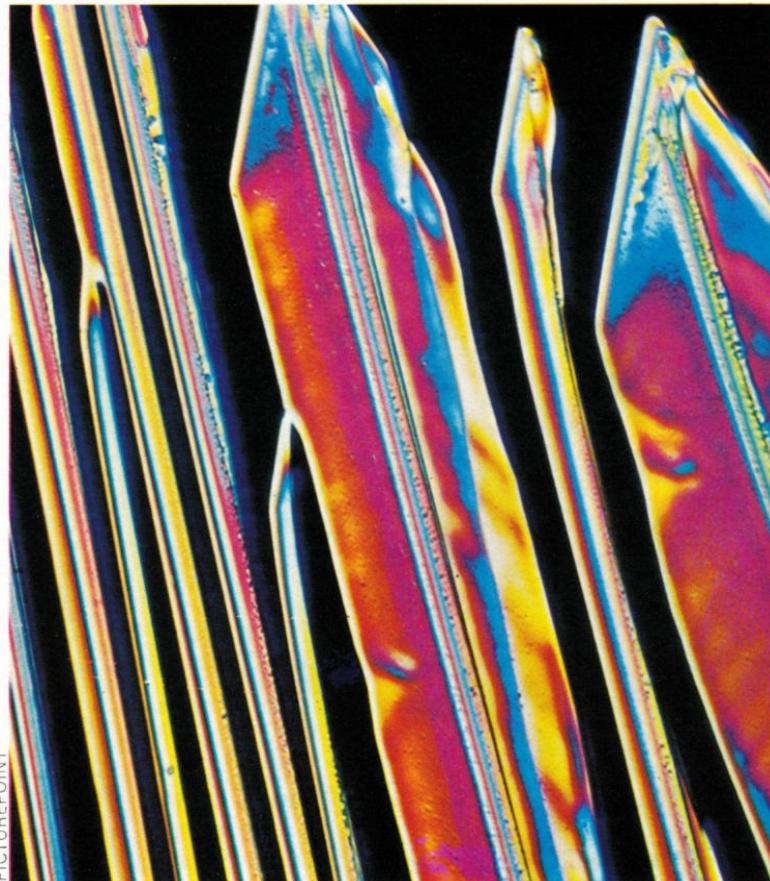
**Unten:** Anwendung des Czochralski-Verfahrens. Halbleiter, Nioate, Phosphate, Titanate, Fluoride oder andere Materialien werden auf diese Weise hergestellt.



# KRISTALLE UND KRISTALLOGRAPHIE

Jahrhunderte hindurch waren die Menschen fasziniert von der Erscheinung der Kristalle: von der Art, wie sie Licht reflektieren und färben und von ihrer völlig regelmäßigen, geometrischen Form.

Alle Festkörper können in zwei Typen unterteilt werden: in kristalline und in amorphe Festkörper. In Kristallstrukturen sind die ATOME bzw. Moleküle nach unserer Vorstellung in einer festen Struktur angeordnet (Gitter genannt), wohingegen amorphe Stoffe keine erkennbare Ordnung zeigen. In der Realität besitzen alle Stoffe eine gewisse Ordnung, obgleich sich diese eventuell nur über ein paar Atome erstreckt. Die meisten amorphen Festkörper sind in Wahrheit ein Gemisch aus kleinen Kristallen.



PICTUREPOINT

## Die atomare Struktur von Kristallen

Für den Wissenschaftler sind Eis und Quarz nur zwei Beispiele von hunderttausend verschiedenen Typen von Festkörpern, die als Kristalle erkennbar sind.

Feste Stoffe haben im allgemeinen eine höhere Dichte als Flüssigkeiten und Gase. Der Grund ist die dichtere Packung der Atome oder Moleküle in Festkörpern. Der Atomabstand in Festkörpern ist üblicherweise mit den Atomradien vergleichbar und beträgt einige Zehntel eines Nanometers (1 Nanometer = Ein Milliardstel Meter).

Verschiedene Arten von Kräften und Bindungen halten die Atome zusammen. Diese schließen die Ionen- oder Valenzbindung und die metallische Bindung ein. Außerdem gibt es die van der Waals-Kraft — eine schwache Bindung zwischen den Molekülen.

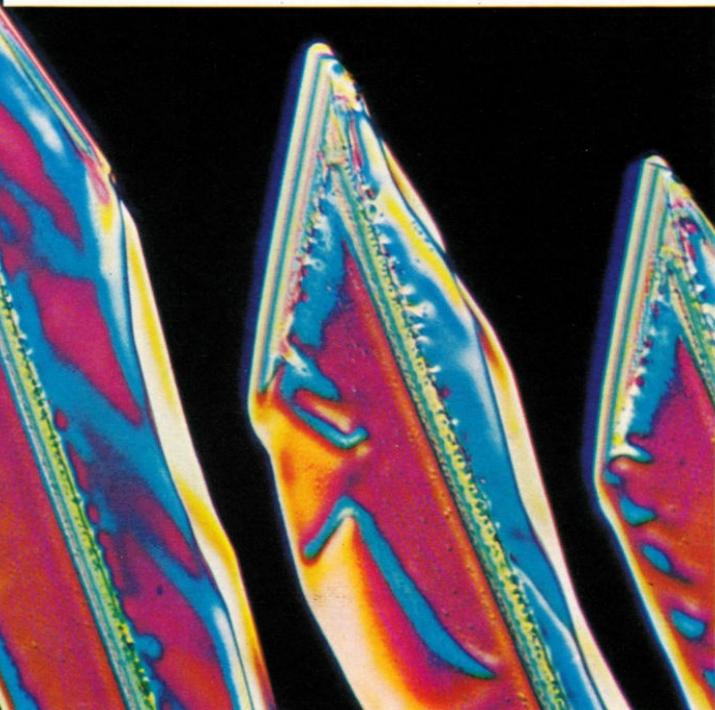
Diese Bindungen bestimmen weitgehend die Form der Kristalle und deren physikalische Eigenschaften wie Farbe, Brechungsindex, elektrische und Wärmeleitfähigkeit.

In der Ionenbindung sind die elektrostatisch geladenen Atome, genannt IONEN, regelmäßig angeordnet, wobei die Anziehung durch entgegengesetzte Ladungen die Abstoßung durch gleiche Ladungen ausbalanciert. Diese Anordnung führt gewöhnlich zu einfachen Kristallstrukturen, wie dem kubischen Gitter von Natriumchlorid (Kochsalz).

Kovalente Bindungen sind durch die gemeinsame Nutzung von Elektronen durch neutrale Atome gekennzeichnet. Deshalb sind kovalent gebundene Atome in bevorzugte Richtungen, die die Kristallform bestimmen, ausgerichtet. Der DIAMANTkristall besteht z.B. aus kovalent gebundenen Kohlenstoffatomen, wo jedes Atom vier benachbarte Kohlenstoffatome besitzt, die es in einer tetraedrischen Anordnung umgeben.

Metalle beruhen auf metallischer Bindung. Dabei wird das Gitter der positiven Metall-Ionen durch die umgebende Elektronenwolke neutralisiert. Die Elektronen können sich frei durch das Gitter bewegen. Sie verursachen die hohe optische

**Unten:** Vergrößerte Ansicht von Bittersalzkristallen ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Obgleich sich hier viele Unregelmäßigkeiten und Fehler in der Kristallstruktur zeigen, ist das Aussehen ähnlich.



Reflexion sowie die für Metalle charakteristische elektrische und thermische Leitfähigkeit.

Die van der Waals-Bindung ist eine schwache Form der Anziehung. Dieser Typ tritt üblicherweise bei Flüssigkeiten und Gasen auf. Die Bindung wird zwischen wechselnden Dipolen (zeitweiligen Paaren entgegengesetzter Ladungen) gebildet, die durch Störungen in der Elektronenwolke um die Atome oder die Moleküle entstehen. Dieser Bindungstyp wird in einigen organischen Verbindungen angetroffen.

Ein interessantes Beispiel der van der Waals-Bindung tritt in Graphit auf, einer anderen Kohlenstoff-Modifikation. Kovalent gebundene Schichten von Kohlenstoff-Atomen werden durch van der Waals-Kräfte lose zusammengehalten. Diese schwache Bindung erlaubt es den Ebenen, übereinander zu gleiten — daher die guten Schmiereigenschaften des Graphits. Darüber hinaus sind die Atome in den Scheiben in einer dichten hexagonalen (sechseckigen) Struktur angeordnet, die gute elektrische Leitfähigkeit längs der Ebenen ergibt. Die

Das rote Quecksilbersulfid ( $HgS$ ) — (rechts) — gehört seiner Kristallform nach zum hexagonalen System. Zinnober, wie es auch genannt wird, ist das wichtigste Mineral zur Quecksilbergewinnung. Kupferphyllit (rechts außen) ist eine Kupferaluminiumverbindung ( $Cu_{18}Al_2(AsO_4)_3(SO_4)_3(OH)_{27} \cdot 33H_2O$ ), die durch kovalente Kräfte zusammengehalten wird. Die einzelnen Schichten des Kristalls jedoch werden von viel schwächeren Waalschen Kräften gebunden. Cerussit oder Weißbleierz (unten) ist ein Bleicarbonat ( $PbCO_3$ ), dessen Kristalle zum orthorhombischen System gehören. Cerussit ist ein wichtiges Erz für die Bleigewinnung. Die Kristalle des Calciumfluorids (rechts unten) — ( $CaF_2$ ) — gehören zum kubischen System. Calciumfluorid ist ein wichtiges Ausgangsmaterial für die Fluorgewinnung.



Scheiben sind jedoch (in atomaren Maßstäben) zu weit voneinander entfernt, um auch senkrecht zu den Schichten Stromleitung zu erlauben.

In allen kristallinen Festkörpern sind die Atome oder Moleküle an ihren Gitterplätzen nicht fest, sondern sie schwingen um diese im Gleichgewichtszustand mit ihren Nachbarn. Mit steigender Temperatur wird die Schwingung stärker, bis die Anziehungskräfte überwunden werden; dann bricht das Gitter auf, und der Kristall schmilzt.

Diamant ist der härteste bekannte natürliche Kristall und schmilzt bei  $3700^{\circ}\text{C}$ .

### Periodische Strukturen und Elementarzellen

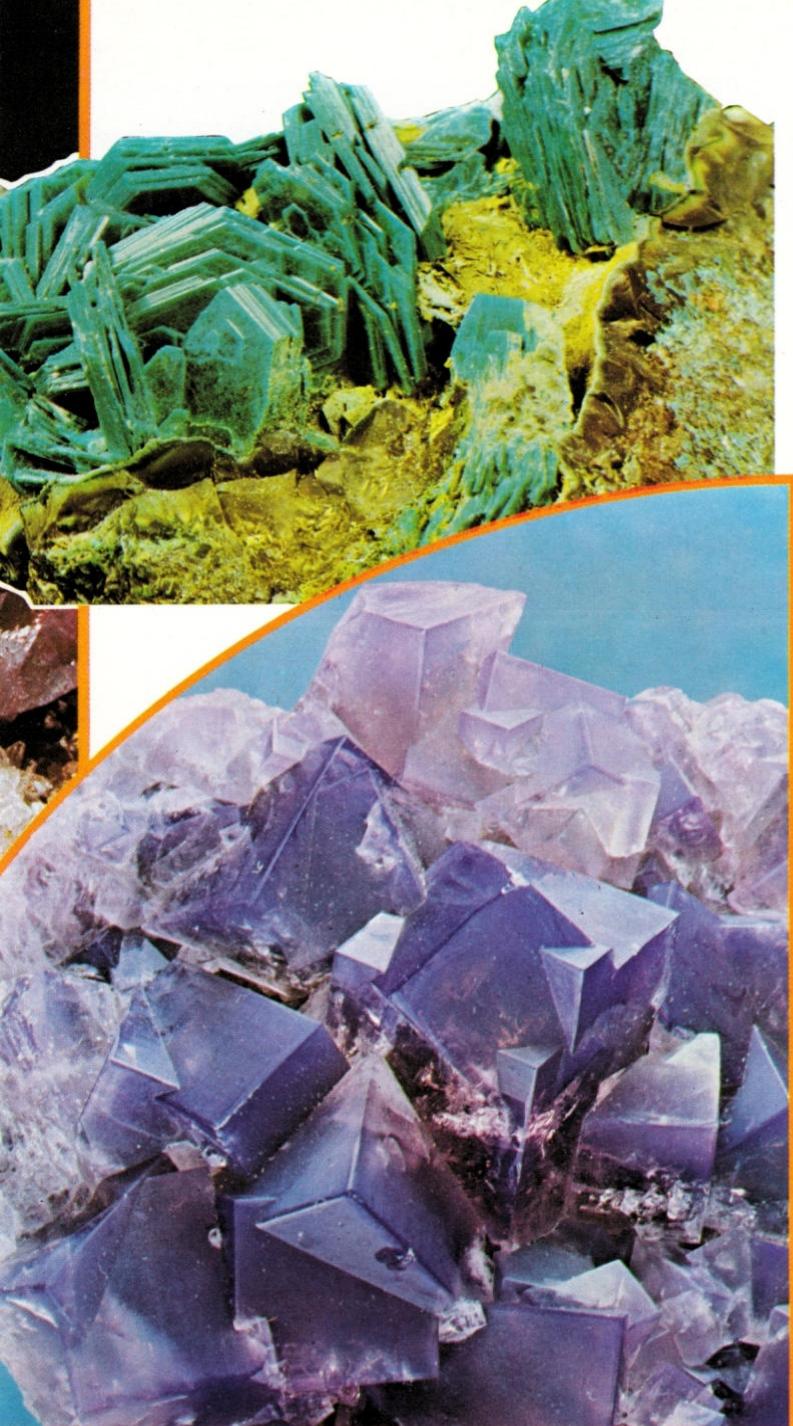
Überall im Universum gibt es Millionen verschiedener chemischer Verbindungen. Sie sind alle aus einer begrenzten Zahl von Grundelementen aufgebaut, die in bestimmten Anordnungen zusammengefügt sind. (Es gibt 92 natürliche Elemente. Außerdem wurden zumindest 14 Elemente künstlich erzeugt.) Obgleich es eine Vielzahl verschiedener Kristallformen gibt, können in ähnlicher Weise alle Kristalle aus 14 elementaren Atomgruppierungen erzeugt werden, den sogenannten Elementarzellen.

Diese Elementarzellen sind die unteilbaren Grundeinheiten,

die 'Bausteine', aus denen alle Kristalle aufgebaut werden können. Darüber hinaus sind durch Aneinanderreihen dieser Elementarzellen zu größeren Einheiten bestimmte, sich wiederholende oder periodische Anordnungen möglich. Diese periodischen Strukturen der Kristalle erzeugen die charakteristische geometrische Form und insbesondere die Symmetrieeigenschaften.

Einige Kristalle neigen dazu, längs wohldefinierter Ebenen zu brechen und glatte Oberflächen zu formen, Spaltflächen genannt. Diese entsprechen den ausgezeichneten Atomebenen in der Kristallstruktur. Andere kristalline Materialien jedoch brechen weder längs einer Spaltfläche, noch zeigen sie irgendwelche äußeren Zeichen von Symmetrie. Metalle beispielsweise, ebenso wie die meisten Arten von Stein, Zement und Ziegel, sind Kristalle. Viele Kunststoffe, besonders diejenigen, die gute Fasern bilden, sind ebenfalls kristalliner Struktur. Natürliche Polymere — Knochen, Muskeln, Haare und Sehnen — enthalten regelmäßige (periodische) Anordnungen von Molekülen und sind entsprechend kristallin, obgleich sie nicht den gleichen Grad von Symmetrie zeigen wie etwa einige Mineralien.

Selten existieren in der Natur perfekte Kristalle. Normalerweise werden sie in kleiner, unvollständiger Form gefunden,



dieser Achsen unverändert in seiner Richtung. In ähnlicher Weise gibt es 4 dreizählig Achsen, die durch die gegenüberliegenden Würfelecken gehen, und 6 zweizählig Achsen, die Verbindungslien der Mittelpunkte gegenüberliegender Würfelkanten.

Ebenso lassen sich neben Symmetriearchsen auch Symmetrieebenen in einem Kristall erkennen. Das sind imaginäre Flächen, die den Kristall in zwei zueinander spiegelbildliche Teile zerlegen. In einem Würfel gibt es drei solcher Ebenen parallel zu jedem Paar gegenüberliegender Würfelflächen und sechs weitere Symmetrieebenen, die den Würfel diagonal teilen.

Beim Würfel haben alle Rotationsachsen und Spiegelebenen einen Punkt gemeinsam: den Mittelpunkt des Würfels. Alle zusammen sind als Punkt-Gruppe von Symmetrieelementen bekannt. Da ein Kristallwürfel aus Kochsalz so viele Symmetrieelemente besitzt, wird gesagt: Er hat hohe Symmetrie. Andere Kristalltypen sind nicht so gut ausgestattet. Weinstinsäure hat z.B. nur eine zweizählig Achse, wohingegen Kupfersulfat weder Rotationsachsen noch Spiegelebenen hat.

Es gibt 32 verschiedene Arten von Kristallsymmetrie oder Punktgruppen. Diese Punktgruppen bestimmen alle Arten, auf die verschiedene Elemente kristalliner Symmetrie über einen einzigen Raumpunkt verteilt sein können. Diese 32 Klassen sind in 7 Systeme unterteilt, wovon jedes durch seine geometrische Form charakterisiert wird, welche durch die Winkel zwischen den Seiten der Elementarzelle und den jeweiligen Seitenlängen festgelegt werden. Für jedes dieser 7 Systeme gibt es eine einfache oder primitive Elementarzelle, welche die Grundform des Systems beschreibt. Diese Elementarzellen bestehen aus nur 8 Atomen — eines an jeder Ecke der Elementarzelle. Daneben gibt es 7 weitere Elementarzellen, die zusammen die 14 möglichen Typen von Elementarzellen (Bausteinen) ausmachen. Letztere beruhen auf den Basiszellen, haben jedoch zusätzliche Atome in den Seitenflächen der Zelle (flächenzentriert) oder im Mittelpunkt der Zelle (raumzentriert).

Diese etwas theoretische Beschreibung der Kristallformen durch Elementarzellen, Symmetriearchsen und -ebenen, Punktgruppen oder Klassen und Kristallsysteme ist sehr hilfreich, um die atomare Struktur einer zu untersuchenden Substanz zu bestimmen.

### Bestimmung der Kristallstruktur

Die Unterscheidung zwischen Kristallen ist oft schwierig, da ihre äußere Struktur unregelmäßig sein und die innere Symmetrie verschleieren kann. Um die innere Struktur eines Kristalls zu untersuchen, benutzt der Kristallograph häufig RÖNTGENSTRÄHLEN.

Die Wellenlängen der Röntgenstrahlung haben etwa die Größenordnung der Atom- oder Molekülabstände im Kristall. Dies bedeutet, daß Kristalle sich wie dreidimensionale Beugungsgitter verhalten, die Röntgenstrahlung streuen. Durch Untersuchung der Interferenzmuster, die von den gestreuten Strahlen erzeugt werden, können die Symmetrie des Kristalls und die Abmessungen seiner Elementarzelle bestimmt werden. Die Interferenzmuster entstehen, da die gestreuten Röntgenstrahlen sich auslöschen oder verstärken können und so ein Punktmuster erzeugen, das für jede kristalline Substanz charakteristisch ist.

### Kristallwachstum

Kristallisation tritt aus einer Lösung, Salzschorze oder Dampf auf. Der Kristall wächst durch Hinzufügen neuen Materials bis zu einem Gleichgewichtszustand, in dem die Anlagerung neuen Stoffes gerade die Auflösung des Kristalls in das umgebende Medium ausgleicht. Kristallisation findet statt, wenn eine konzentrierte Lösung oder Schmelze abge-

und jeder Kristall enthält innere Fehler, wie Verunreinigungen und Versetzungen, oder Gitterfehler. Die Kristalle, die nahezu perfekt existieren, wie Diamanten, müssen geschliffen werden, um die Kristalloberflächen der Edelsteine in ihrer vollen Wirkung zu zeigen.

### Symmetrie

Die Wissenschaft der Kristallographie wurde im letzten Jahrhundert entwickelt und entstammt dem Studium der äußeren Form von Mineralien und Kristallen, die auf Grund ihrer Symmetrie klassifiziert wurden.

Symmetrie ist eine Eigenschaft, die den Kristall befähigt, nach einer Drehung oder Spiegelung genauso zu erscheinen wie zuvor. Kochsalz-Kristalle können z.B. unter einem Mikroskop als kleine Würfel gesehen werden. An solch einem Würfel werden mehrere Symmetrieelemente oder Komponenten festgestellt.

Die drei Achsen, die durch die Mittelpunkte gegenüberliegender Seitenflächen eines Würfels verlaufen, sind Beispiele für vierzählige Achsen der Rotationssymmetrie, der Tetraden. Der Würfel erscheint nach einer Drehung um  $90^\circ$  um eine

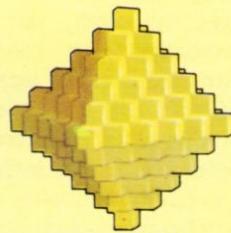
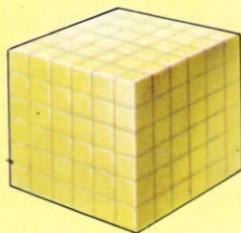
kühlt wird. In einigen Fällen ist es nötig, der Lösung einen 'Keimling' (einen winzigen Kristallteil) beizugeben. Dieses Teilchen bildet den Kern, um den der Kristall wächst. Es ist auch möglich, die Kristallbildung mit einem Keimling aus einem anderen Material zu beginnen. Silberiodid (AgI) wird z.B. als Keimling benutzt, um Eisbildung in Wolken zu erreichen und so das Abregnen zu fördern.

Industrielle Kristallisation zur Kristallherstellung, z.B. von Natriumcarbonat, erfolgt in einem Mehrstufenverfahren. Eine heiße, konzentrierte Lösung wird gekühlt und durch eine Schicht von Kristallkeimlingen gereinigt. Durch deren Wachstum wird die Konzentration der Lösung verringert. Die überflüssige Lösung wird so lange zurückgeführt, bis maximale Kristallisation eintritt. Die Kristalle werden entfernt, sobald sie groß genug sind. In der Zuckerindustrie wird Zuckersirup im Vakuum erhitzt, bis er übersättigt ist und an Keimlingen auskristallisiert. Das Erhitzen im Vakuum verringert die Betriebstemperatur und minimiert die Verfärbung durch Zersetzung des Sirups.

Nachfrage besteht nach großen Einkristallen bestimmter Materialien. Diese können durch langsames Kühlen eines Schmelzgiegels voll geschmolzenen Materials hergestellt werden. Eine andere Methode, die zur Produktion von Materialien für elektronische und optische Zwecke benutzt wird, ist das Kristallziehen. Hier wird ein Keimling in geschmolzenes Material getaucht und dann langsam in eine kühle Zone gezogen. Der Festkörper wächst als langer, dünner Einkristall. Ein Vorteil dieser Methode ist, daß Verunreinigungen dazu neigen, in der Schmelze zu bleiben. Weitere Reinigung wird durch eine Läuterungszone erreicht. Hier wird eine geschmolzene Zone längs der Probe bewegt, die viele Verunreinigungen mit sich nimmt und an einem Ende des Einkristalls absondert.

Einige Materialien existieren in mehr als einer Kristallform: Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) gibt es in vielen Formen, einschließlich Platten und Stangen. Gipsstangen geben Mörtel und gebranntem Gips den Halt. Die Kristallform hängt von der Kristallisationstemperatur und der Kristallisationsgeschwindigkeit ab. Verunreinigungen können die Kristallform oder Farbe ändern: Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) z.B. ist weiß. Verunreinigungen mit Spuren von Chrom und Eisenoxid ergeben den tiefroten Edelstein Rubin, Spuren von Titanoxid ( $\text{TiO}_2$ ) den blauen Saphir. Tonerde, Rubin und Saphir sind abgesehen von Verunreinigungen chemisch identisch, aber in Form und Farbe unterschiedlich.

Üblicherweise werden Flüssigkeiten als ungeordnet angesehen. Jedoch zeigen einige Flüssigkeiten, die Flüssigkristalle, unter bestimmten Voraussetzungen eine Ausrichtung der Moleküle. Dies wird in vielen Anwendungen, etwa der Digitalanzeige elektronischer Rechner oder Armbanduhren, benutzt.



**Oben:** Die Symmetrie der Elementarzelle bestimmt die Symmetrie des Kristalls. Da die Struktur auch die Kristalloberfläche festlegt, ist die Symmetrie des gesamten Kristalls eine genaue Anzeige für das Aussehen der Elementarzelle. Die kubischen Basiszellen des Mineralpyrites können zwei Kristallformen aufbauen. In beiden Fällen werden die Symmetrieanforderungen (4 dreizählig Achsen) erfüllt.

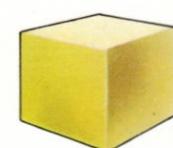
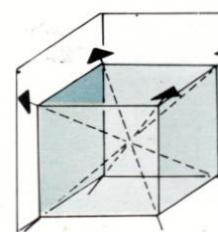
## KRISTALLSYSTEM ELEMENTARZELLE

### KRISTALL-SYMMETRIEACHSEN, DIE FÜR JEDES SYSTEM EINDEUTIG SIND

BEISPIELE

#### KUBISCH

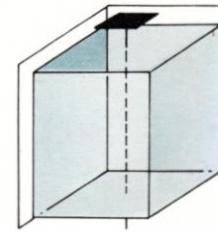
4 dreizählig Symmetriechsen



Pyrit

#### TETRAGONAL

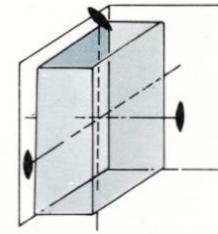
1 vierzählige Symmetriechse



Zirkon

#### RHOMBISCH

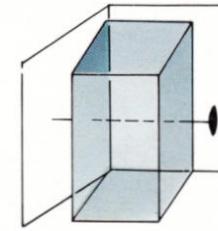
3 zweizählig Symmetriechsen



Staurolith

#### MONOKLIN

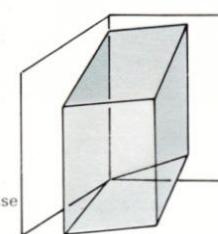
1 zweizählig Symmetriechse



Pyroxen

#### TRIKLIN

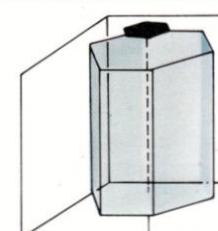
Keine Symmetriechse



Türkis

#### HEXAGONAL

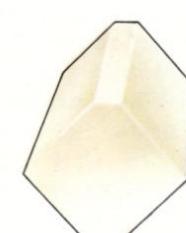
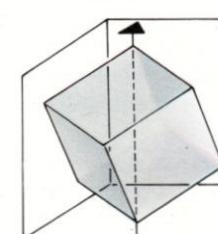
1 sechszählig Symmetriechse



Beryll

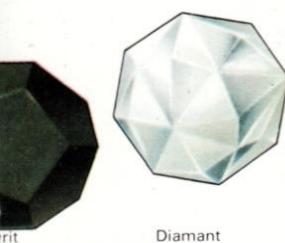
#### TRIGONAL

1 dreizählig Symmetriechse

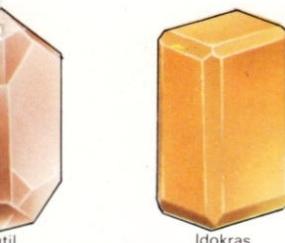


Kalkspat (Kalzit)

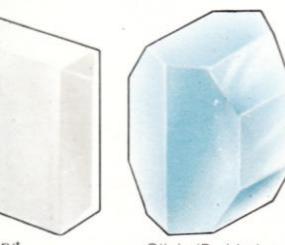
## VON MINERALIEN, DIE IM JEWELIGEN SYSTEM KRISTALLISIEREN



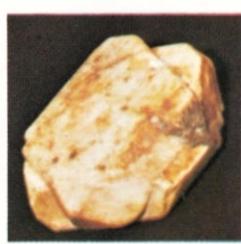
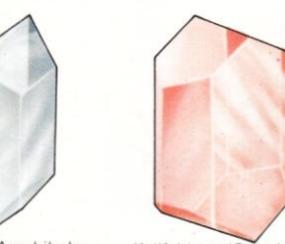
1. Ein zum kubischen System gehörendes Mineral ist ein Pyrit, entweder mit zwölf Seitenflächen (im Foto links) oder mit sechs Seitenflächen als Würfel (rechts im Foto). Andere Beispiele sind Diamant, Galenit und Granat.



2. Gelbbleierz (Wulfenit) gehört in das tetragonale System und hat feine, gelb-orange Kristalle. Das Mineral wird in Zonen mit Bleiablagerungen gefunden.



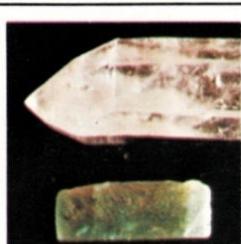
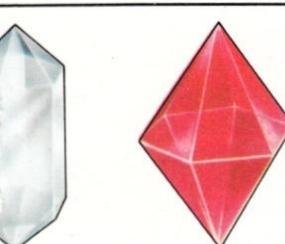
3. Topas kristallisiert als rhombischer Kristall. Dieser attraktive Edelstein ist typisch gelb, kann aber auch farblos, himmelblau oder rosa sein, wenn er erhitzt wird.



4. Feldspat tritt als weiß, rosa, gelb oder braun gefärbter, monokliner Kristall auf. Die meisten steinbildenden Mineralien gehören zu diesem System. Feldspat ist als Teil von Feuersteinen bedeutend.



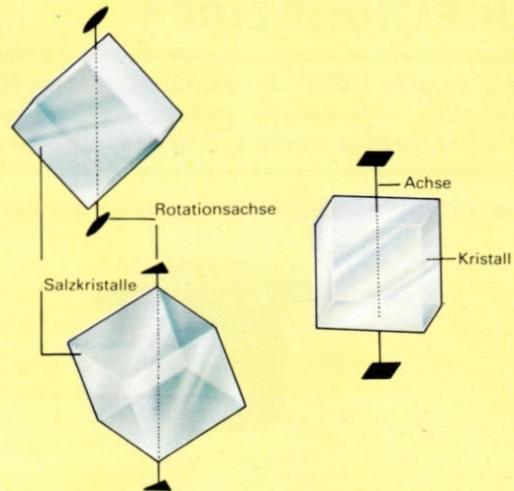
5. Ein gutes Beispiel eines Steines im triklinen System ist Türkis, obgleich er selten perfekte Kristalle bildet. Normalerweise wird er als amorphes Mineral gefunden. Links: Zwei Beispiele von polierten Türkisen.



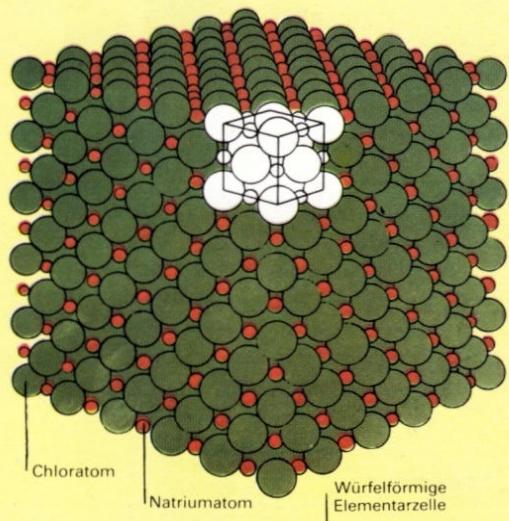
6. Beryll (unten) formt Smaragde, wenn er durch Chromverunreinigungen grün getönt ist. Rubin und Saphir sind Korundtypen, die auch als hexagonale Mineralien kristallisieren.



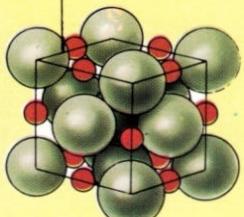
7. Herkimer-Quarz (links) ist ein trigonaler Kristall von Edelsteinqualität. Quarzkristalle treten in zwei Systemen auf. Dolomit (rechts im Foto) gibt es ebenso in zwei Systemen.



Ein bedeutender Anhaltspunkt zur Unterscheidung von Materialien ist die Symmetrie — eine Eigenschaft, die es erlaubt, daß ein Kristall um eine Achse gedreht wird und dann zwei- oder mehrfach gleich erscheint, bevor er eine volle Umdrehung ausgeführt hat. Ein Kochsalzwürfel z.B. hat drei Symmetriechsen. Bei Drehung um eine Achse durch die Mittelpunkte zweier diagonal gegenüberliegender Seiten erscheint der Würfel zweimal identisch. Wird um eine Achse durch die diagonal entgegengesetzten Endpunkte gedreht, so erscheint der Würfel dreimal gleich, beim Drehen um die Mittelpunkte gegenüberliegender Seiten viermal.

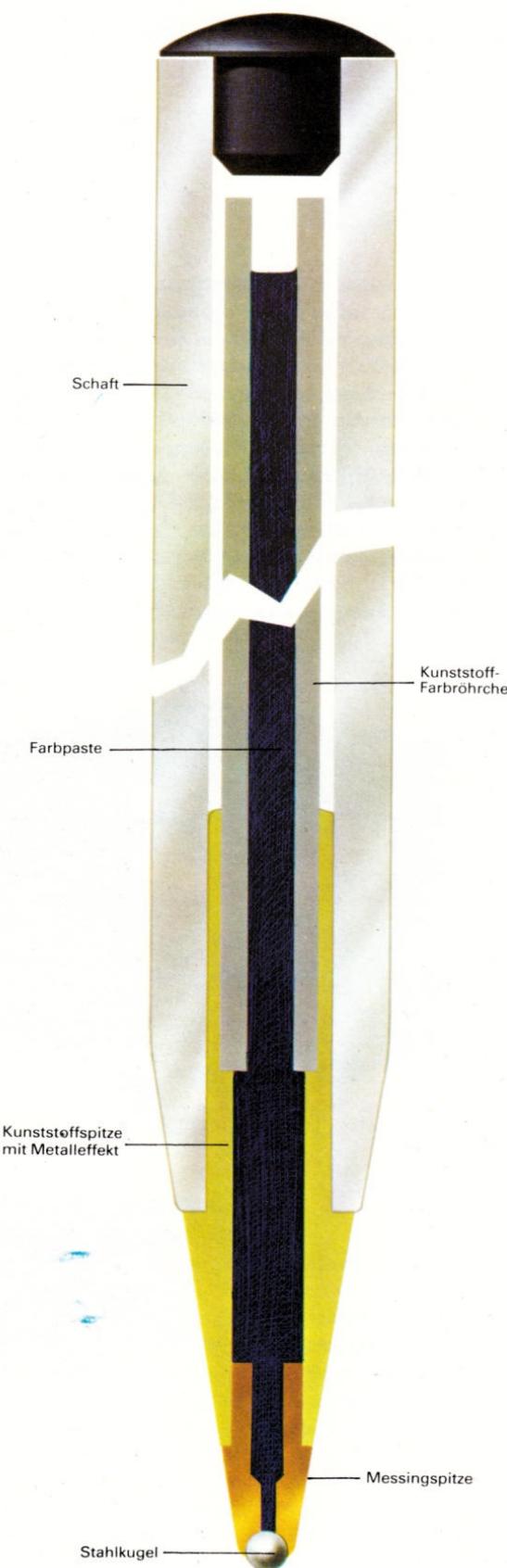


Kochsalz (Natriumchlorid) besteht aus kleinen Basiskristallen eines Minerals, Halit (Steinsalz) genannt. Wird ein Kristall  $10^{18}$  fach vergrößert, wird die atomare Struktur enthüllt. Die großen grünen Kreise stellen Chloratome dar, die kleineren roten Kreise Natriumatome. Ein Ausschnitt des Atomstrukturmodells zeigt die atomare Elementarzelle des Kristalls. In diesem Falle ist es ein Würfel.



## KUGELSCHREIBER

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist der Füllfederhalter von einem anderen Schreibgerät weitgehend verdrängt worden — dem Kugelschreiber.

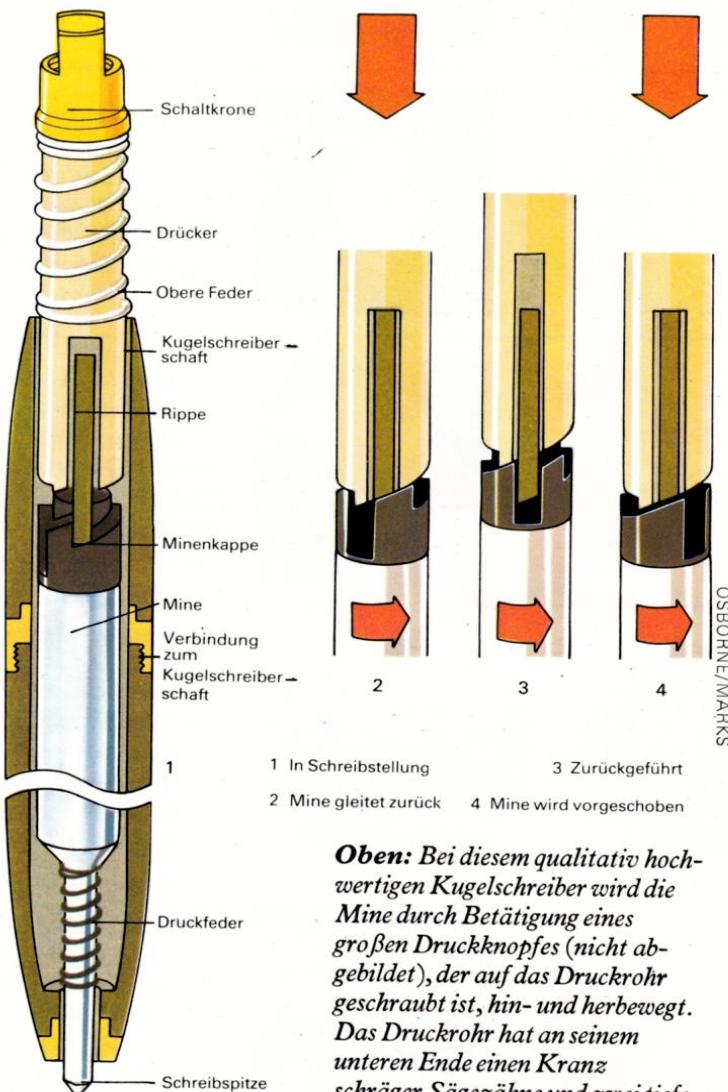


Kugelschreiber sind preiswerter und bequemer in der Handhabung als FÜLLFEDERHALTER. Bei ihnen verwendet man anstelle der TINTE eine schneller trocknende Farbpaste, die sehr ergiebig ist und nicht ausläuft. Auch haben Kugelschreiber keine empfindlichen Schreibfedern, die geschützt werden müssen.

Der Kugelschreiber ist ein verhältnismäßig einfaches Schreibgerät mit einer Schreibspitze in Form eines lose gefassten winzigen Kugellagers, das mit einem eine viskose (zähflüssige) Farbpaste enthaltenden Röhrchen verbunden ist und beim Schreiben mit der Farbpaste benetzt wird. Beim Druckkugelschreiber kann die Mine durch mechanische Vorrichtungen in die Schreibstellung bzw. in den Schaft zurückgeführt werden.

### Entwicklung

Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurden verschiedene Arten von Füllfederhaltern patentiert. Unabhängig davon erfand im Jahre 1888 der Amerikaner John Loud auf der Suche nach



**Links:** Typischer Wegwerf-Kugelschreiber der Billigklasse im Querschnitt. Seine Minenkapazität erlaubt die Verwendung eines einfachen, hinten offenen Farbröhrchens. Nur die vorderste Spitze besteht aus Metall, der Rest aus Kunststoff.

**Oben:** Bei diesem qualitativ hochwertigen Kugelschreiber wird die Mine durch Betätigung eines großen Druckknopfes (nicht abgebildet), der auf das Druckrohr geschraubt ist, hin- und herbewegt. Das Druckrohr hat an seinem unteren Ende einen Kranz schräger Sägezähne und zwei tiefe Steuerschlitzte, je einen an jeder Seite. Diese kommen mit 'Rippen' im Kugelschreiberschaft zum Eingriff, die die Mine gegen Verdrehen sichern. Die Kappe der Mine weist ähnliche Zähne und Schlitzte auf. Bei Druck auf das Druckrohr drehen die Schrägzähne die Mine und halten sie in der gewünschten Schreibposition.

einem Schreibgerät, das nicht auslief, den ersten 'Kugelschreiber'. Viel klobiger als die modernen leichtgewichtigen Modelle, bestand dieses Schreibgerät aus einem Röhrchen mit einer beweglich gelagerten Kugel an der Spitze. Das Röhrchen war mit einer zähflüssigen Farbpaste gefüllt, die beim Schreiben durch Kapillarwirkung (siehe OBERFLÄCHENSPANNUNG) auf die Schreibunterlage abgegeben wurde. Loud benutzte diesen Stift zum Kennzeichnen von Leder und Stoffen, doch das Patent erlosch.

Im Jahre 1938 schließlich meldeten die ungarischen Brüder Laszlo und Georg Biro, der eine Maler und Journalist, der andere Chemiker, einen Kugelschreiber zum Patent an, der brauchbarer als seine Vorgänger war.

'Tinten' waren von zäher, gelatineartiger Konsistenz. Heute kennt man im wesentlichen zwei Arten: Die erste enthält einen öllöslichen Farbstoff und trocknet auf der Schreibfläche durch Absorption. Diese Farbpaste ist hoch viskos, doch ihr Schriftbild ist weniger scharf als das von alkohollöslichen Farbpasten, die auf der Schreibfläche durch Verdampfen trocknen.

Der Inhalt der Mine schwankt zwischen 0,5 ml und 1,5 ml (1 ml = Ein Tausendstel Liter). Bei kleineren Minen ist das Farbröhrchen am Ende offen, da die Viskosität der Farbmasse ausreicht, ein Ausfließen zu verhindern. 1,5-ml-Minen benötigen jedoch einen Verschlußstopfen und zudem die Zugabe einer noch höher viskosen Flüssigkeit, die zäh genug ist, um



## Moderne Formen

Die Kugel besteht in der Regel aus Stahl, bei Kugelschreibern der höchsten Preisklasse neuerdings auch aus synthetischem Saphir oder Wolframcarbid. Sie hat einen Durchmesser von 1 mm. In einer Art Pfanne nach allen Seiten drehbar gelagert, wird sie durch innen laufende Kanälchen mit der Farbmasse benetzt. Das andere Ende der Kugelpfanne ist mit einem die Farbpaste enthaltenden Metall- oder Kunststoffröhren ver- bunden. Wird die Kugel beim Schreiben gegen das Papier gedrückt, fließt durch die Kapillarwirkung die Farbpaste aus dem Röhrchen und benetzt die Kugel, die entsprechende Abdrücke auf der Schreibunterlage hinterläßt. Dabei hat die Kugel die Funktion eines Überlaufventils, beim Abrollen die einer Saugpumpe, die die Farbpaste ansaugt.

Ein Problem bestand darin, daß beim Auslaufen der Farbmasse zwischen der Kugelrückseite und dem Farbröhrchen ein Unterdruck entstand, der den Nachschub unterbrach. Durch ein kleines Luftloch am anderen Ende der Kugelschreibermine konnte dieses Problem gelöst werden. Beim Ausfließen der Farbpaste während des Schreibens kann durch das Luftloch Luft einströmen, so daß die Bildung eines Vakuums vermieden wird.

Dieses Verfahren der Kugelbenetzung machte eine Schreibflüssigkeit erforderlich, die für die Kapillarwirkung dünnflüssig genug war, jedoch nicht auslief. Zunächst versuchte man es mit Druckerschwärze, doch diese erwies sich als nicht zähflüssig genug. Deshalb konzentrierten sich in den letzten 20 Jahren alle Bemühungen im Zusammenhang mit der Herstellung eines brauchbaren Kugelschreibers auf die Entwicklung einer geeigneten Farbmasse. Die ersten Kugelschreiber-

Ein Druckkugelschreiber im Querschnitt. Die Abbildung zeigt klar die einzelnen Bestandteile eines Kugelschreibers. Es handelt sich hier um ein relativ einfaches, preiswertes Modell.

nicht auszulaufen, aber flüssig genug, um nachzufließen, wenn die Farbpaste verbraucht wird.

Es gibt verschiedene mechanische Vorrichtungen, mit deren Hilfe sich die Mine in Schreibstellung und wieder zurück in den Kugelschreiber führen läßt. Im Prinzip haben sie jedoch alle eine Feder am unteren Minenende und eine Druckvorrichtung, die bei Betätigung des Druckknopfes gegen das obere Ende der Mine gepreßt wird.

Ein sehr einfacher Mechanismus, wie er sich bei manchen Wegwerf-Kugelschreibern findet, besteht aus einem Kunststoffstängchen, das in das offene Minenende gesteckt ist und an einer Seite einen Vorsprung aufweist. Durch Druck auf den oberen Teil des Stängchens drückt man die Minenspitze heraus, bis der Vorsprung in eine Vertiefung im Kugelschreiberschaft einrastet. Ein Druck auf den Vorsprung löst diesen und läßt die Mine zurückspringen.

Der enorme Preisvorteil des Kugelschreibers gegenüber dem Füllfederhalter hat letzteren praktisch aus dem täglichen Gebrauch verdrängt. Dennoch tut der Füllfederhalter noch seinen Dienst, denn die von einem Kugelschreiber gezogenen Linien erscheinen bei Prüfung unter dem Mikroskop unterbrochen. Bei strengen Schriftproben und Unterschriften auf bestimmten Dokumenten ist die Benutzung eines Kugelschreibers deshalb untersagt.

## KÜHLUNG VON MOTOREN

**Der Verbrennungsvorgang in Wärmekraftmaschinen (= Verbrennungsmotoren) setzt viel Wärme frei. Wird diese nicht wirksam abgeleitet, können sich die Kolben in den Zylindern 'festfressen' oder sogar mit dem Zylinder dauerhaft verschweißen.**

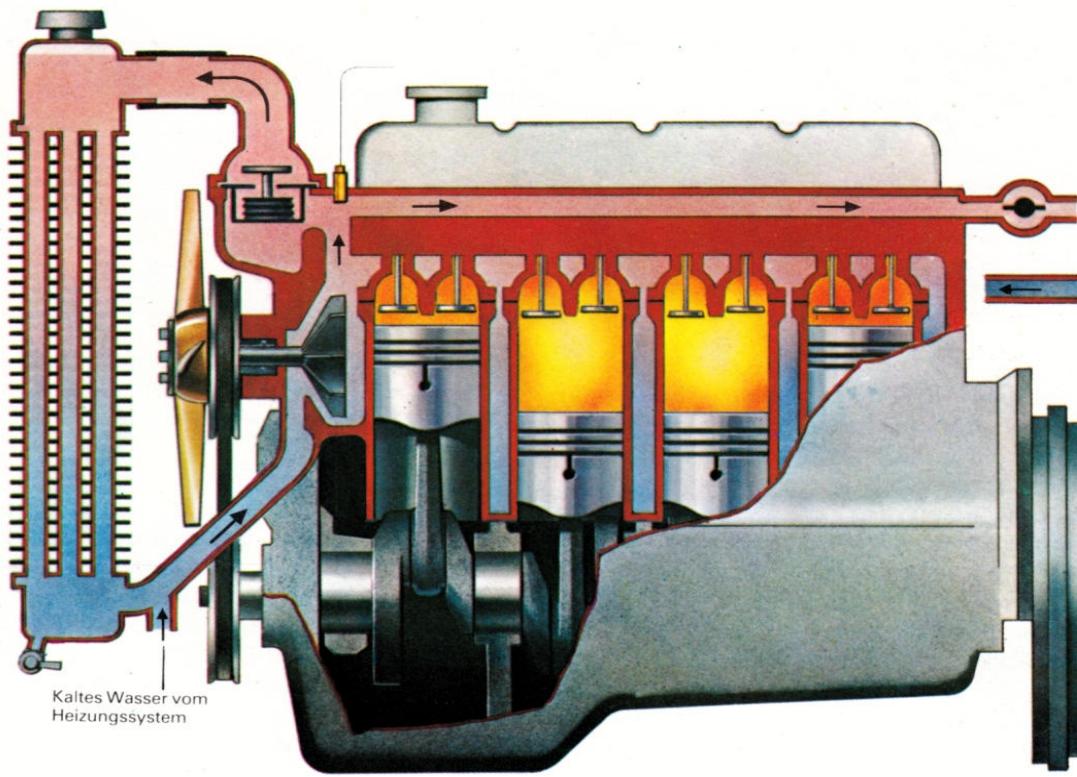
Die bei der Verbrennung in VERBRENNUNGSMOTOREN auftretende Wärme kann zu Leistungsverlust und zu Schäden im Motor führen. Um dem vorzubeugen, hat man zwei unterschiedliche Kühlsysteme entwickelt: Kühlung mit Luft und Kühlung mit Wasser.

### Wasserkühlung

Ganz korrekt ist die Unterscheidung nicht, weil die Kühlflüssigkeit durch einen Kühler geleitet wird, wo sie ihre Wärme an die Umgebungsluft abgibt, so daß es sich eigentlich um eine 'indirekte Luftkühlung' handelt. Das System muß aber dennoch beschrieben werden, weil es sich grundlegend von der direkten Luftkühlung unterscheidet. Ein Kühler besteht aus einem oberen und einem unteren Wasserkasten, die durch eine Vielzahl von Röhren und Rippen oder Lamellen verbunden sind. Diese Bauteile werden aus Kupfer und Messing gefertigt, d.h. teuren, aber korrosionsfesten Werkstoffen. Der

wird. Anschließend gelangt das Wasser zum Thermostaten, einem auf Wärmeunterschiede reagierenden 'Ventil'. Bei kaltem Motor bleibt der Thermostat geschlossen, bis das Wasser die vorgesehene Betriebstemperatur erreicht hat. Damit zirkuliert es unter Umgehung des Kühlers ausschließlich im Motor. Der Vorteil dabei ist, daß sich das Kühlmittel, und mit ihm der Motor, rascher erwärmt, wodurch der Motorverschleiß verringert wird. Nach Erreichen der Betriebstemperatur öffnet sich der Thermostat und gibt dem Kühlmittel den Weg zum Kühler frei — es fließt durch den Einlauf-Kühlschlauch in den oberen Wasserkasten. Auf seinem Weg nach unten kühlt es sich beim Durchgang durch die Wasserrohre ab, deren Kühlwirkung durch eine feine Verrippung verstärkt wird.

Der Kühlerlüfter (Kühlerventilator) sitzt im Normalfalle zwischen dem Kühler und dem Motor. Während der Fahrt kann der Fahrtwind zur Kühlung ausreichen, doch im Motorleerlauf bei stehendem Fahrzeug oder im dichten Stadtverkehr mit geringer Geschwindigkeit ist der Kühlerlüfter zur Erzeugung eines Kühlstromes erforderlich. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Kühlerlüfter: Solche mit starren Flügeln aus Metall oder hartem Kunststoff, die ständig über den Keilriemen mitlaufen, Lüfter mit verstellbarem Anstellwinkel der Flügel (durch einen weiteren Thermostaten oder unter Einwirkung der Fliehkraft über die Drehzahl), dann



**Links:** Moderne Motoren nutzen noch immer den Thermosiphoneffekt für ihr Kühlungssystem. Die Wasserpumpe beschleunigt jedoch den Umlauf des Kühlwassers. Der Kühlerventilator erzeugt Wind zur Kühlung der Kühlerrippen — zusätzlich zum Fahrtwind. Ein Thermostat regelt den Wasserfluß, wenn der Motor kalt ist.

zweite wesentliche Bestandteil einer solchen Kühlwanlage ist die Wasserpumpe. Sie ist meist vorn am Motor angebracht und wird normalerweise von der Kurbelwelle über einen Keilriemen angetrieben.

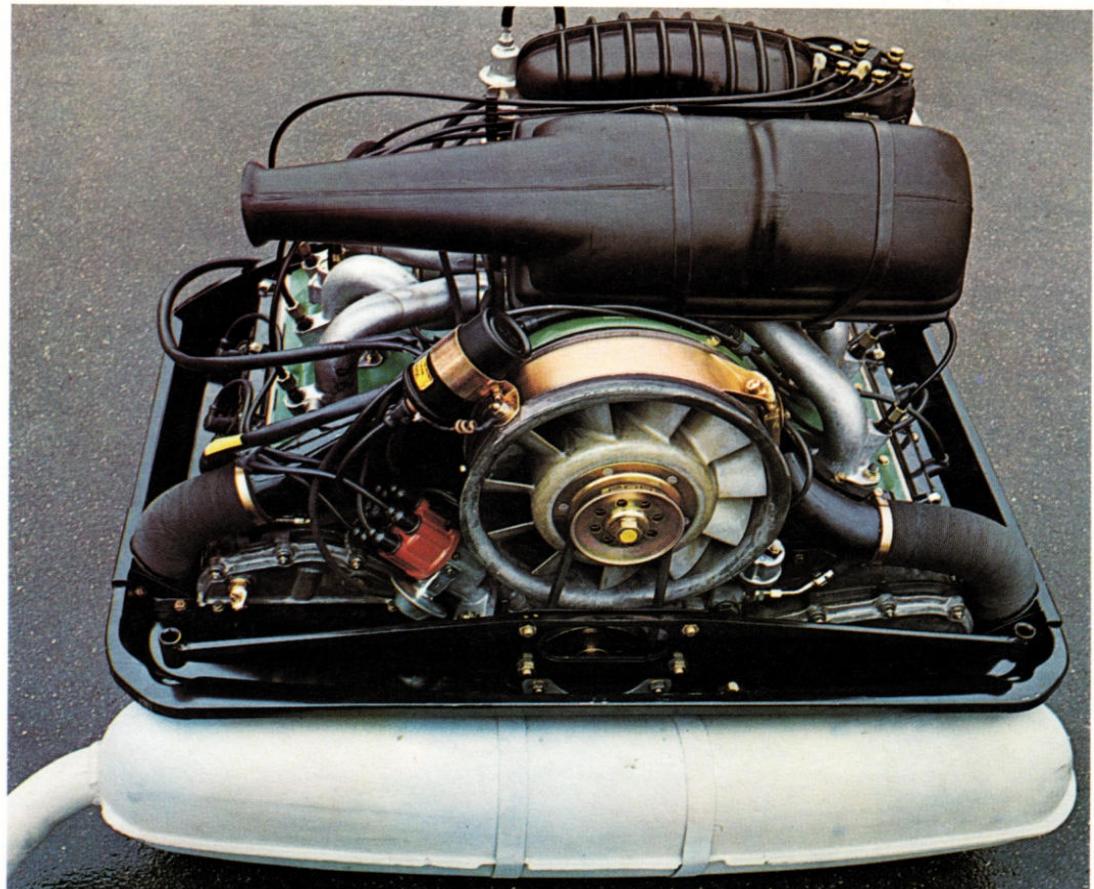
Motorblock und Zylinderkopf sind Gußteile mit eingeschlossenen Wasserdurchgängen (Kopf) und -kanälen (Block). Zwischen ihnen und dem Kühler liegen unten und oben jeweils elastische Verbindungen in Form von Kühlschläuchen. Bei laufendem Motor fördert die Wasserpumpe kühles Wasser aus dem unteren Wasserkasten in den Motorblock. Dort umspült es die Zylinderwände, steigt durch die dafür vorgesehenen Durchlässe in der Kopfdichtung in den Zylinderkopf zu den Brennräumen. An ihnen herrschen die höchsten Temperaturen, da dort das Kraftstoff/Luft-Gemisch gezündet

wieder solche, die nicht ständig mitlaufen, sondern nur, wenn der Motor Kühlung braucht. Bei ihnen geschieht das Zuschalten über eine elektromagnetische Kupplung, eine Viskosekupplung oder eine Strömungskupplung. Von der Möglichkeit, den Kühlerlüfter völlig unabhängig vom Motor über einen eigenen Elektromotor anzutreiben, wird zunehmend Gebrauch gemacht.

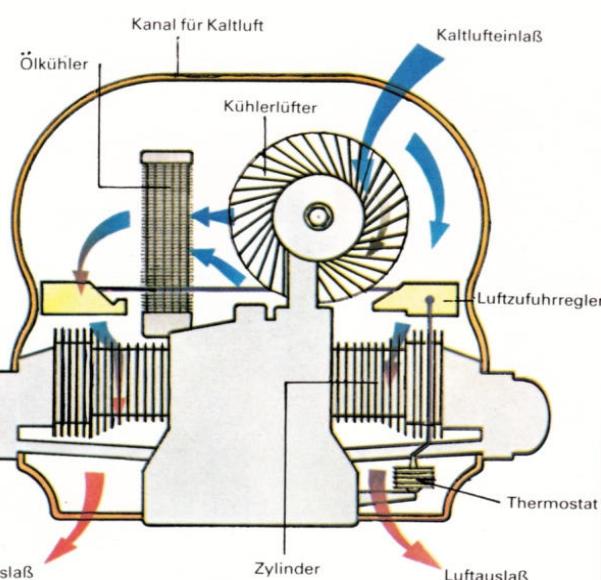
Gefrorenes Wasser, d.h. Eis, nimmt ein größeres Volumen als flüssiges Wasser ein. Eis würde den Motorblock sprengen. Um dies zu verhindern, gibt man bei Frostgefahr dem Wasser ein Gefrierschutzmittel (Frostschutz) bei. Es ist im Grunde ein einfacher Alkohol (Glykol), der den Gefrierpunkt der Kühlflüssigkeit herabsetzt. Viele Fahrzeuge bekommen vom Werk eine 'Ganzjahresfüllung' in die Kühlwanlage, die im

**Rechts:** Der 2,7-Liter-Hochleistungsmotor von Porsche. Er ist luftgekühlt, hat sechs Zylinder mit acht Kurbelwellen-Hauptlagern und obenliegenden Nockenwellen. Im Vordergrund sind das keilriemengetriebene Gebläse und die Luftscläume zu erkennen. Die Auslaßventile sind mit Natrium gefüllt. Es zirkuliert in den Ventilschäften und führt auf diese Weise Wärmespitzen von den Ventilsitzen ab. Auch die Schmierung trägt zur Kühlung bei. Der Ölfilter ist so angeordnet, daß er den Ölstrom nicht behindert. Die gesamte Ölmengen geht durch einen thermostatisch gesteuerten Ölkuhler.

**Unten:** Vereinfachte Darstellung des 'Käfer' Kühlungssystems. Der Kühlerlüfter saugt Luft in den Windkanal, wo sie an einem Ölkuhler vorbeiströmt, bevor sie zu den Zylinderköpfen gelangt.



PORSCHE



CHRIS GILLINGS

Winter ihr Einfrieren und darüberhinaus auch die Korrosion des Kühlers verhindert.

Wassergekühlte Anlagen stehen meist unter Überdruck, weil dabei der Siedepunkt der Flüssigkeit höher liegt und die Anlage wirksamer arbeiten kann; dies wiederum kommt der Motorleistung zugute. Bei solchen Kühl anlagen ist der Kühlerverschluß als Druckverschluß ausgelegt. Er darf daher bei 'kochendem' Kühler nur mit äußerster Vorsicht abgenommen werden. Neuere Anlagen sind 'plombiert', d.h. der Überlauf des oberen Wasserkastens mündet nicht im Freien, sondern in einem Ausgleichgefäß. Bei dieser Anordnung braucht der Verschluß oben am Wasserkasten im Normalfall gar nicht geöffnet zu werden. Kontrolle und Nachfüllen geschehen am Ausgleichgefäß.

Der Kühler kann zwar nicht rosten, aber im Wasser befindliche Schmutzteilchen oder Rost aus dem Motorblock können ihn verstopfen. In einem solchen Falle spült man ihn am besten entgegen der normalen Durchlaufrichtung, d.h. von unten nach oben, unter Druck durch.

Die häufigsten Schäden an der Kühl anlage sind Risse in den Schlauchzuführungen oder lockere Schlauchanschlüsse, wodurch die Anlage Flüssigkeit verliert. Die früher allgemein übliche Temperaturanzeige der Kühlflüssigkeit am Armaturenbrett fiel bei einigen Kraftfahrzeugmarken dem Rotstift des Kalkulators zum Opfer; an seiner Stelle findet sich heute oft eine Warnleuchte.

### Luftkühlung

Luftgekühlte Fahrzeugmotoren (beispielsweise Porsche bis zum Modell 911, VW-Käfer, Deutz-Lkw-Motoren, außerdem fast alle Zweiradmotoren) haben Kühlrippen um die Zylinder und oft auch um die Zylinderköpfe, damit zur Wärmeableitung eine möglichst große Oberfläche zur Verfügung steht. Abgesehen von im Fahrtwind liegenden — zwangskühlten — Zweiradmotoren wird die Luft von einem Gebläse gefördert. Ein auf die Motortemperatur reagierender Thermostat sorgt dafür, daß Kühl luft an den Kühlrippen entlang oder von ihnen fortgeleitet wird. Hauptvorteile dieses Systems sind: einfacherer Guß der Motorteile sowie Fortfall von Kühler, Wasserpumpe, Schläuchen und Frostschutz.

Allerdings nimmt die Wirksamkeit der direkten Luftkühlung mit zunehmender Motorgröße ab, es sei denn, man verwendet immer größere Gebläseräder oder steigert den Luftdurchsatz über höhere Gebläseaddrehzahlen. In solchen Fällen ist die Verwendung von Kühlflüssigkeit als Zwischenmedium wirksamer. Hinzu kommt, daß direkt luftgekühlte Fahrzeugmotoren oft lauter sind, weil Gebläse mehr Lärm erzeugen als Wasserpumpen, vor allem aber, weil der Wassermantel um den Motorblock einen Großteil des mechanischen Motorgeräusches dämpft. Flugmotoren sind meist luftgekühlt, weil die Luftschaube (Propeller) als Kühlerlüfter wirkt.

## KULTIVATOR

Mechanische Kultivatoren, meist in Form von Bodenfräsen, Scheibeneggen oder Grubber (die Begriffe werden in der Praxis nicht immer sauber unterschieden), haben die Arbeit des Bauern so beschleunigt, daß ein einziger Mann an einem Nachmittag mit der Maschine die Arbeit tun kann, für die früher mehrere Männer einige Tage brauchten.

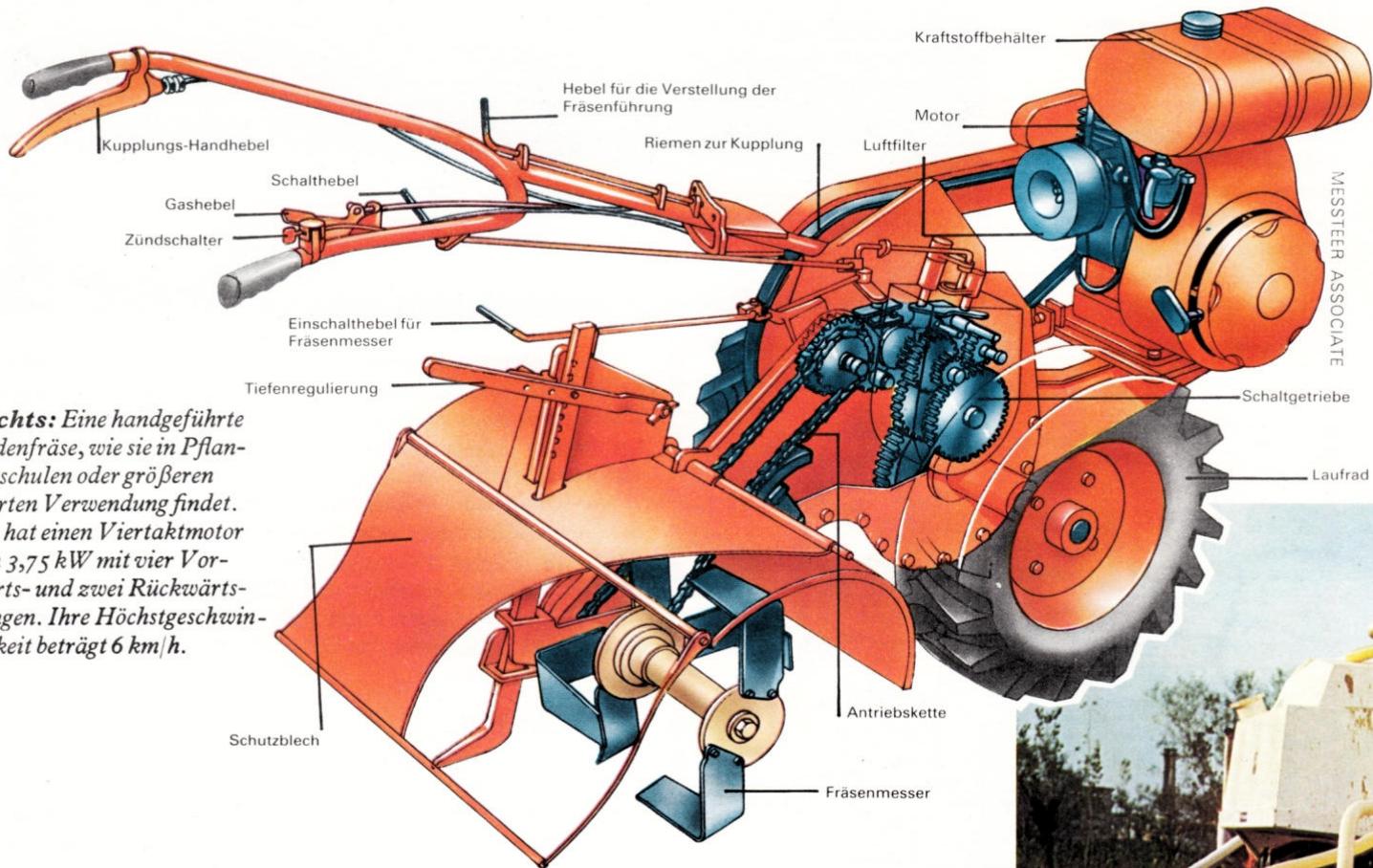
Vor dem Ersten Weltkrieg zogen die Bauern einen stählernen Zinken, der denen einer Heu- oder Mistgabel ähnelte, mit der Hand durch die hinter dem Pflug aufgeworfene Erde, um damit den Boden zu lockern, so daß das Saatgut eingebracht werden konnte.

Inzwischen verwendet man weithin den Motorkultivator zum Lockern gepflügten Landes, aber auch von Brache, oft sogar ohne zuvor zu pflügen. Dazu nimmt man Bodenfräsen,

lastungen ausgesetzt sind, kommen für die Herstellung der Fräsenmesser nur hochwertige Stähle in Frage. Daher brechen die Messer selten, obwohl sie häufig mit großer Wucht auf im Boden liegende Steine treffen. Gewöhnlich sind sie spiralförmig auf der Welle angeordnet, damit der Schlepper-Kraftstrang durch die Schlagbelastung so wenig wie möglich beeinflußt wird.

In Gartenbaubetrieben, Pflanzschulen, bisweilen sogar in privaten Gärten, werden häufig von einem Mann zu bedienende kleine Rotorkrümler eingesetzt, die man ebenfalls als Bodenfräse (oder als Agrikulteur) bezeichnet. Das Arbeitsprinzip ist das gleiche wie bei der großen Maschine: Ein aufgesetzter Motor treibt eine Welle, auf der Fräsenmesser sitzen, die den Boden zur Aussaat vorbereiten. Gewöhnlich haben solche Maschinen eine Motorleistung bis etwa 7 kW und eine Arbeitsbreite von weniger als 1 m.

Die Arbeitstiefe von Ackerschleppern gezogener oder mit der Hand geführter Fräsen übersteigt selten 20 cm, da Saatgut nur bis zu dieser Tiefe eingebracht wird. Im Idealfalle soll für



**Rechts:** Eine handgeführte Bodenfräse, wie sie in Pflanzenschulen oder größeren Gärten Verwendung findet. Sie hat einen Vieraktmotor von 3,75 kW mit vier Vorwärts- und zwei Rückwärts-gängen. Ihre Höchstgeschwindigkeit beträgt 6 km/h.

bei denen auf einer zentralen Achse eine Vielzahl umlaufender Messer angeordnet ist, die bei ihrer Umdrehung die Schollen zerschlagen. Die erste Maschine dieser Art wurde 1912 von A. C. Howard (1896 bis 1971) in Österreich vorgestellt. Allerdings baute er seine erste wirklich erfolgreiche schleppergezogene Maschine erst 1922. Sie war mit einer Arbeitsbreite von 4,5 m weit größer als die Ausführungen, die sich später in der Praxis bewährten.

### Die Bodenfräse

Die meisten Geräte dieser Art lockern den Boden mittels L-förmiger oder gebogener, auf einer zentralen Welle angebrachter Fräsenmesser. Sie werden entweder durch den Eigenantrieb der Maschine oder durch eine Zapfwelle vom Schlepper aus in Umdrehung gesetzt, an den die Fräse angehängt ist.

Da solche Maschinen allerschwersten mechanischen Be-

**Rechts:** Diese italienische Riesenfräse zerkleinert Reste früherer Ernten, bereitet den Boden für die nächste Saat vor und sät. Sie kann die Saat genau dosieren — z.B. sind beim Mais alle 10 cm ein Saatkorn nötig. Sie düngt den Boden im selben Arbeitsgang, bringt Insektenvertilgungsmittel in den Boden, und eine Gruppe von Walzen bedeckt die Saat, so daß Vögel sie nicht sehen können. Zum Abschluß sorgt ein Strahl von Unkrautvernichter dafür, daß die Saat aufgehen kann, bevor Unkraut wächst.





HOWARD ROTAVATOR

die Aussaat bereiter Boden tiefe Furchen haben, bei denen unter der Oberfläche die Erde zu kleinen Brocken zerfällt, während oben noch kleinere Klumpen und Krümel liegen. Der Bauer kann durch Änderung der Rotordrehzahl in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit das Saatbett so grob oder fein vorbereiten, wie er es haben möchte. Ein weiterer Vorteil der Bodenfräse liegt darin, daß sie pflanzliche Abfälle im Boden zerkleinert, die dann zu Kompost werden und die nächste Saat düngen.

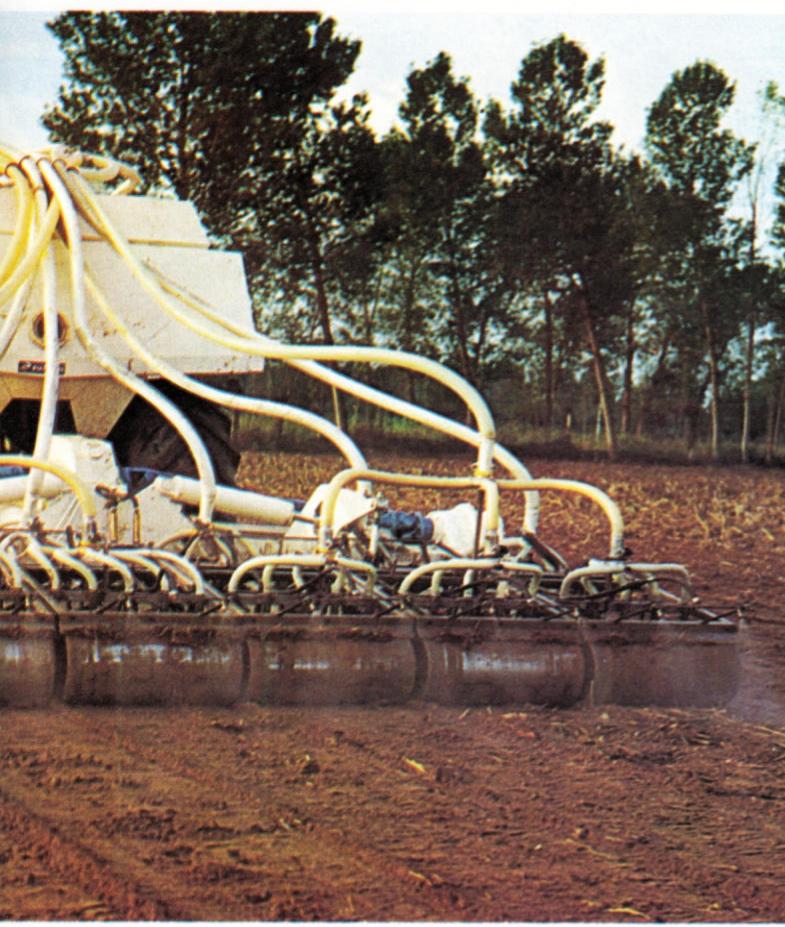
**Oben:** Dieser Kultivator ist eine von mehreren möglichen Ausführungen. Mit seinen geraden Fräsenmessern ist er ideal für die Vorbereitung tiefer Saatbetten. Er kann auch gut für flache Aussaaten verwendet werden. Da sein Leistungsbedarf weit geringer ist als der anderer Bauformen mit hakenförmigen Fräsenmessern, erreicht er eine Arbeitsleistung bis zu 16 ha pro Tag.

### Mehrzweck-Kultivatoren

In neuerer Zeit ist man immer häufiger dazu übergegangen, Drillmaschinen, mit denen man gleichzeitig Saatlöcher herstellt und das Saatgut in diese Löcher bringt, mit der von einem Ackerschlepper gezogenen Bodenfräse zu kombinieren. Dabei sitzt die Drillmaschine über dem Schutzblech der Fräse und bringt durch Trichter das Saatgut gleich hinter den Fräsenmessern in den frisch hergerichteten Boden ein. Auf diese Weise spart der Landwirt einen zusätzlichen Arbeitsweg über das Feld. Gleichzeitig hat man den Saatkasten zur weiteren Arbeitsersparnis in einen Behälter für Saatgut und einen für Kunstdünger zweigeteilt.

Selbstverständlich muß eine Maschine, die bei einem Weg über den Acker drei verschiedene Aufgaben erfüllt, genau eingestellt sein, damit sie dem Boden die richtig dosierte Menge an Saatgut und Dünger zuführt, nachdem sie ihn vorher in genau der richtigen Weise vorbereitet hat. Andernfalls würden die Vorteile einer solchen Saatbett-Kombination (so nennt der Landwirt diese Maschinen) verlorengehen. Eine italienische Maschine dieser Art ist ein schleppergezogenes Ungetüm mit einem Dieselmotor von 235 kW zum Antrieb seiner verschiedenen Arbeitsaggregate. Ihre Arbeitsbreite beträgt 3,6 m, und sie kann sieben verschiedene Arbeitsgänge nahezu gleichzeitig, also in einem 'Durchgang', erledigen. Dazu gehört das Untergraben von Pflanzenresten, das Vorbereiten des Saatbetts, das Versprühen von Insektenvertilgungsmitteln, das Aussäen, das Düngen, das Bedecken und Andrücken des Saatguts und zum Schluß noch das Versprühen von Unkrautvernichtungsmitteln.

Üblicherweise führt ein Bauer alle diese Arbeiten einzeln und nacheinander aus. Mit einer Saatbett-Kombination kann jedoch an einem Nachmittag die Bestellung eines Jahres erledigt werden.



## KUNSTLEDER

Schon seit Jahren bleibt die anfallende Menge an echtem Leder hinter der Nachfrage zurück. Es wurden daher synthetische Materialien entwickelt, die diese Lücke schließen sollen.

Bei der Verwendung von LEDER zur Herstellung von Schuhwerk werden — im Vergleich zu anderen Anwendungsgebieten — an das Material die höchsten Anforderungen in Bezug auf Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Biegefähigkeit gestellt. Leder für Schuhe muß auch beim Tragen Feuchtigkeit aufnehmen und weiterleiten können, damit Komfort und Hygiene gewährleistet sind.

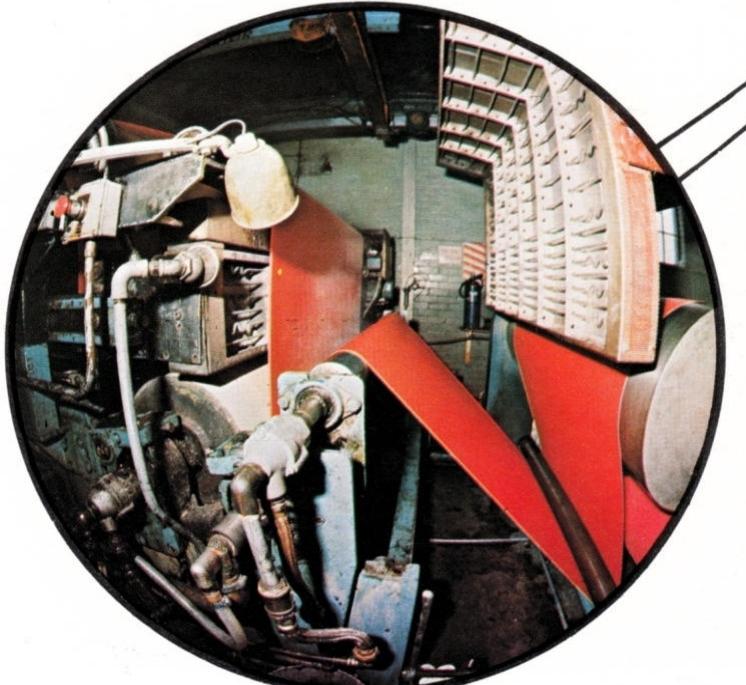
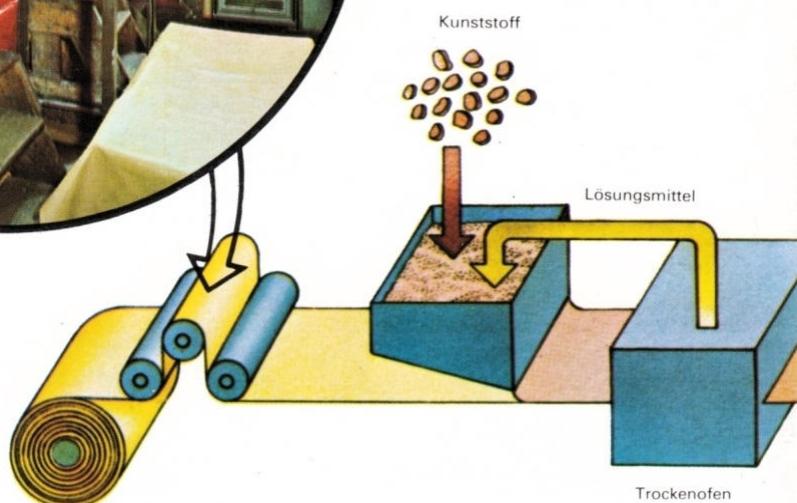
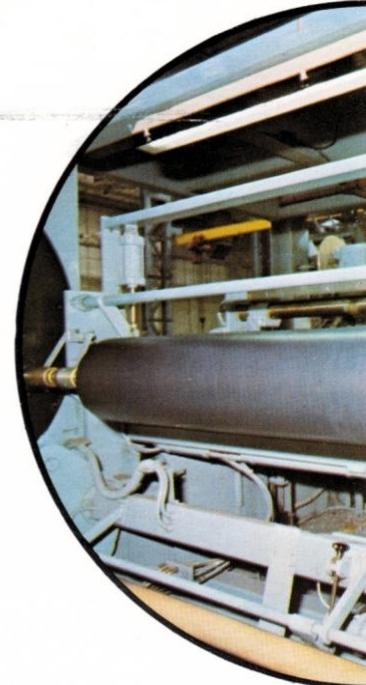
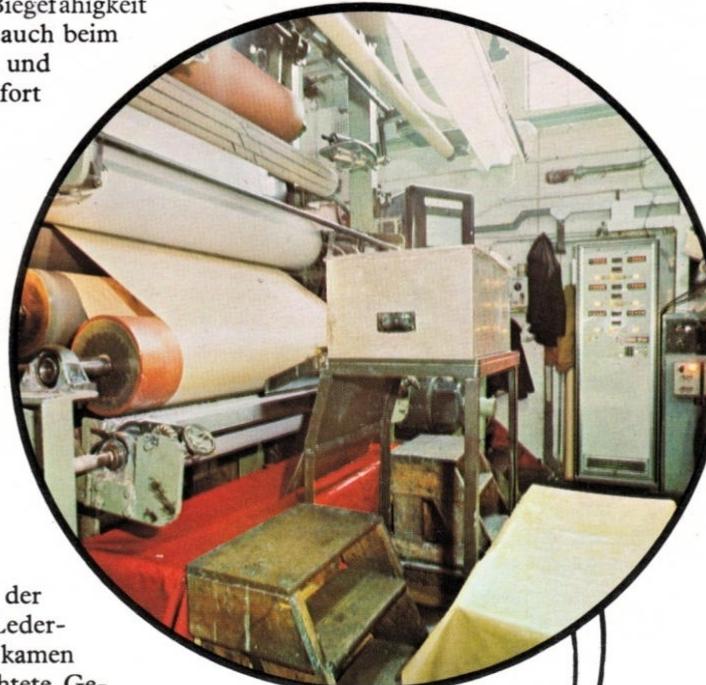
Um dem steigenden Bedarf an Leder nachzukommen, der aus dem natürlichen Anfall von Häuten nicht gedeckt werden kann, werden heute verschiedene Arten von Kunstleder produziert, die den speziellen Bedürfnissen verschiedener Verwendungsbereiche angepaßt sind. Zu den Verwendungsmöglichkeiten von Kunstleder gehören außer Schuhen z.B. Polstermöbel, Kleidung, Koffer und Taschen.

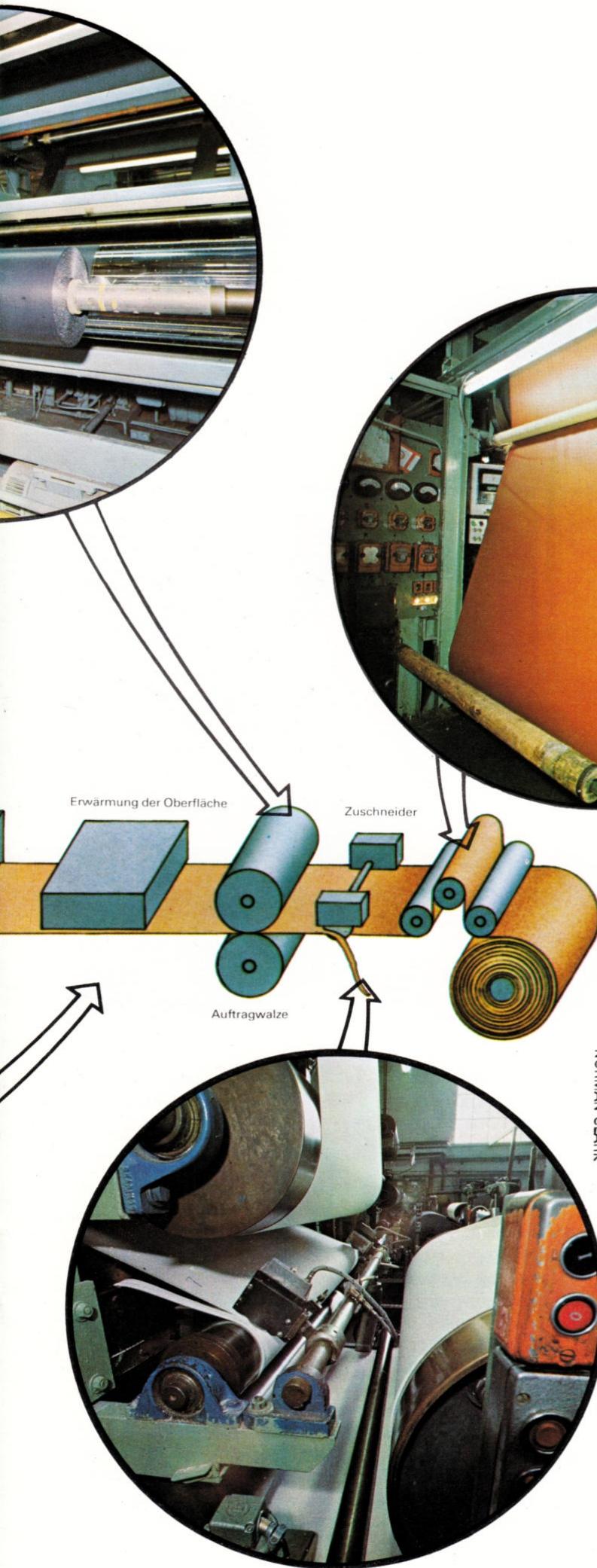
Billiger Lederersatz tauchte erstmals in den 20er Jahren mit der Einführung von 'Ölzeug' und 'Lederzeug' auf. Zu diesen Produkten kamen in den 40er Jahren vinylbeschichtete Gewebe. Diese ersten Ersatzprodukte bekamen jedoch beim Biegen zu leicht Risse und waren von relativ kurzer Lebensdauer. Außerdem war keines dieser frühen Produkte luft- oder wasserdampfdurchlässig. Seit den 50er Jahren gibt es nun zahlreiche neue Materialien, die sich im Gebrauch besser bewähren.

Echtes Leder besteht weitgehend aus dicht verknäulten Bündeln hydrophiler (Wasser aufnehmender) Protein-Fasern, die als Kollagenfasern bezeichnet werden. Diese Fasern sind in der Nähe der Ober- oder 'Narben'seite dichter verfilzt als auf ihrer Fleischseite. Dieser Aufbau bewirkt die hohe Festigkeit, verbunden mit Wasserdampf- und Luftdurchlässigkeit, sowie die Fähigkeit zum Biegen ohne starkes Knittern der Narbenseite. Einige Kunststoffschäume zeigen im wesentlichen ähnliche Eigenschaften, sie nehmen jedoch Feuchtigkeit weniger leicht auf als Leder. Filze oder nicht gewebte Stoffe besitzen gute Festigkeitseigenschaften, sie nehmen jedoch Lacke oder andere Nachbehandlungsmittel zur Verbesserung des Aussehens nicht so leicht an.

Kunstleder lassen sich einteilen in die heute als 'Poromere' bezeichneten Materialien, die alle Eigenschaften von echtem Leder einschließlich der 'Atmungsfähigkeit' nachzuahmen

*Herstellung eines vinylbeschichteten Materials. Der Grundstoff des Materials wird unterhalb einer Rinne vorbeigeschickt, die eine PVC-Lösung in einem organischen Lösungsmittel enthält. Die Mischung fällt dann auf das Material, das anschließend in einem Ofen getrocknet wird, um sich des Lösungsmittels zu entledigen und den Kunststoff zu formen. Das Lösungsmittel wird zurückgewonnen und kann wieder verwendet werden. Wenn die Vinyl-Oberfläche fest geworden ist, wird sie wieder erwärmt, damit die Auftragwalzen ihr ein Fasermuster geben können.*





trachten, und solche Materialien, die neben einigen Festigkeitseigenschaften nur gleiches Aussehen und gleichen Griff wie Leder anstreben, aber nicht die für die Fußhygiene wichtigen Eigenschaften erreichen. Diese Materialien sind meist mit KUNSTSTOFF (d.h. Polymeren) beschichtete textile Stoffe.

### Poromere

Als erstes Poromer erschien auf dem Markt das Produkt Corfam, dessen Herstellung in den frühen 60er Jahren durch die Firma DuPont in den USA erfolgte. Trotz zahlreicher ausgezeichneter Eigenschaften konnte sich dieses Produkt auf dem Markt nicht behaupten.

Seine Weiterentwicklungen fanden dann aber weltweite Anwendung. Corfam besaß einen komplizierten

Aufbau. Es bestand aus einer Filzunterlage, auf die ein eng gewebtes Nylonnetz aufgeklebt war. Die Oberseite bestand aus Polyurethanschaumstoff, der für Wasserdampf durchlässig war und Lack und Politur annehmen konnte. Zur Herstellung der Filzschicht wurde eine genadelte Bahn aus Polyesterfasern mit einer Polyurethanlösung imprägniert, um die Fasern miteinander zu verbinden. Das Nylongewebe wurde mit einem Polyurethanskleber mit dieser Bahn verbunden.

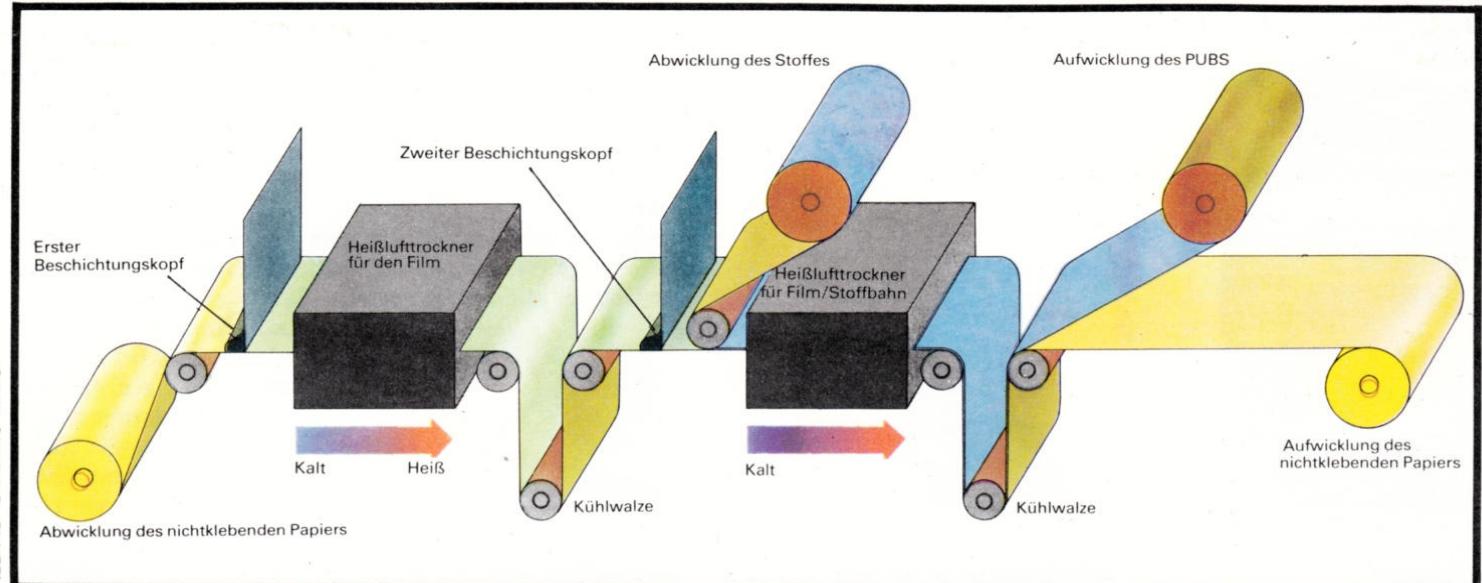
Der Polyurethanschaum wurde auf die Oberseite dieses zweischichtigen Gebildes gegossen. Das gewünschte Aussehen erzeugte man durch Aufdrücken einer beheizten Platte, die mit einem lederähnlichen Narbenmuster versehen war. Schließlich wurde die Oberfläche noch mit einem Lack behandelt.

Auf dem Markt erfolgreiche Poromere reichen von reinen Faserprodukten (z.B. Tanera) bis zu reinen Schaumstoffen (z.B. Porvair). Bei der Herstellung von Tanera wird das Nadeln des Filzes so ausgeführt, daß die Verflechtung der Fasern auf der Narbenseite stärker ist als auf der Rückseite. Die Fasern werden dann mit einer als Bindemittel wirkenden Polymerlösung schwach imprägniert.

Porvair hingegen ist bis heute das einzige Poromer, das überhaupt keine Fasern enthält. Es besteht aus einem vernetzten Polyurethanschaum, d.h. es besitzt zahlreiche Poren, die miteinander in Verbindung stehen. Bei der Herstellung löst man die chemischen Bestandteile des Polyurethans, das Isocyanat und das Polyol, in einem geeigneten Lösungsmittel (Dimethylformamid) und verteilt feinpulveriges Salz (Natriumchlorid) im Reaktionsgemisch. Das resultierende Material wird dann in zwei Stufen auf ein Förderband aus biegsamem Maschendraht gegossen.

Auf die erste Schicht von größerer Struktur wird die zweite, feinere Schicht aufgegossen. Nach der 'Härtung' bzw. Verfestigung des Polyurethans wird restliches Lösungsmittel entfernt und das Salz durch Waschen mit Wasser herausgelöst. Hierzu leitet man das kontinuierlich gegossene, bahnförmige Material über Walzen durch mehrere Behälter mit Wasser bestimmter Temperatur, in denen das Salz aus dem Produkt entfernt wird. Anschließend wird getrocknet und wie beim Corfam die Oberfläche strukturiert und lackiert.

Poromere können Feuchtigkeit aufnehmen und auf der Narbenseite abgeben, was bei Schuhwerk besonders wichtig ist. Nur ein geringer Anteil der Poromerproduktion wird außerhalb der Schuhledererzeugung für weniger anspruchs-



**Oben:** Diagramm eines Verfahrens zur Herstellung eines mit Polyurethanharz beschichteten Stoffes (PUBS). Es handelt sich hier um einen Prozess, der erst in den letzten Jahren aufgekommen ist und dessen Endprodukt einen 'echteren' Eindruck von Leder verschafft als Produkte aus vinylharzbeschichteten Stoffen.

volle Zwecke, bei denen die billigeren beschichteten Stoffe häufig ebenso tauglich sind, eingesetzt.

### Beschichtete Stoffe

Man unterscheidet hier zwei Arten, nämlich solche Produkte, bei deren Herstellung ein Gewebe oder Gewirk direkt mit einem Polymer beschichtet wird, und solche, bei deren Herstellung zunächst eine Polymerfolie gegossen und dann mit dem Flor eines aufgerauhten Stoffes (oder gelegentlich mit einer dünnen Schaumschicht, die auf einen Stoff aufgeklebt ist) verbunden wird.

Die erstgenannten Produkte sind zwangsläufig die einfacheren Materialien. Sie werden gewöhnlich hergestellt, indem man eine Stoffrolle unter einem Beschichtungskopf hindurchführt. Das Auftragen eines Vinyl-Plastisols (Lösung von PVC in einem Lösungsmittel) auf den Stoff erfolgt, indem man die Lösung in einen Trog füllt, dessen Boden vom Stoff selbst abgedichtet wird. Die Stoffbahn passiert an der Frontseite des Troges einen Metallsteg (das sogenannte Rakel), der die Lösung gleichmäßig ausbreitet. Dann wandert die Stoffbahn durch einen Ofen, in dem das Lösungsmittel ausgetrieben und das Vinylharz gehärtet wird. Mit einer heißen, im gewünschten Muster geätzten Metallplatte oder mit einer beheizten Gravierwalze werden dann beliebige Oberflächenmuster erzeugt. Der abschließend verwendete Lack kann durch Aufsprühen oder durch Walzenbeschichtung aufgetragen werden.

Die so hergestellten Produkte können Feuchtigkeit aufnehmen, aber nicht durch die Narbenseite wieder abgeben. Sie eignen sich daher besser zur Herstellung von Artikeln, bei denen diese Eigenschaft keine Rolle spielt, z.B. zur Herstellung von Taschen und Koffern.

Vor wenigen Jahren sind die mit Urethanharz beschichteten Stoffe aufgekommen. Sie sind ein Versuch, Aussehen und Griff von echtem Leder noch besser nachzuahmen, als dies bei den vinylharzbeschichteten Stoffen der Fall ist.

Auf der Unterlage (gewöhnlich aus Atlas oder Köper) wird ein Flor erzeugt, indem man den Stoff unter einem rotierenden Zylinder entlangführt, dessen Oberfläche mit kurzen Nadeln



**Oben:** Querschnitt durch ein Stück beschichteten Stoffes (beschichtet mit Acrylfaser und PVC-Schaum), rechts. Unten im Vergleich ein Stück Naturleder.

bestückt ist (Kardieren). Der Flor wird dann auf gleichmäßige Höhe geschnitten. Ein Polyurethanfilm wird auf eine Bahn aus nichtklebendem Papier (mit Siliciumverbindungen behandeltes Papier) gegossen und dann mit einem Kleber aus heißer Urethanlösung beschichtet. Anschließend werden Film und Stoff so zusammengelegt, daß sich Flor und Kleber berühren. Danach wird, um eine gute Haftung zu gewährleisten, diese Doppelbahn zwischen einem Paar unter Federspannung stehender Walzen hindurchgeführt. Das im Kleber enthaltene Lösungsmittel wird in einem Trockner abgetrieben. Nach dem Abkühlen kann das Material noch lackiert werden.

Der Urethanfilm ist nur etwa 0,1 mm dick, während bei der direkten Beschichtung mit PVC, die im ersten Beispiel geschildert wurde, Schichtdicken von mehr als 0,5 mm nötig waren. Der relativ bewegliche Flor trennt Film und festes Grundgewebe voneinander. Biegt man dieses Material, so ist es feinnarbigem Leder viel ähnlicher als ein direkt mit Vinylharz beschichtetes Produkt.

# KUNSTSTOFFE

Obwohl Kunststoffe erst seit etwa 1930 in großem Umfang hergestellt werden, sind sie heute für das moderne Leben unentbehrlich.

Das Wort 'Plastik' kommt von dem griechischen Wort 'plastikos' und bedeutet 'verformbar'. Die wesentliche Eigenschaft von Kunststoffen ist, daß sie formbar sind und daher durch Verfahren wie Form- oder Strangpressen (siehe KUNSTSTOFFHERSTELLUNG) leicht in fast jede Form gebracht werden können. Kunststoffe bestehen aus organischen Molekülen mit hohem Molekulargewicht (siehe ORGANISCHE CHEMIE) oder aus POLYMEREN, die aus sich wiederholenden Einheiten zusammengesetzt sind, die in der Form einer Kette oder einer Vernetzung chemisch miteinander verbunden sind. Kunststoffe können geeigneterweise in zwei Kategorien unterteilt werden: halbsynthetische Kunststoffe, bei denen die grundlegende Kettenstruktur von einem Naturprodukt wie Zellulose stammt, und vollsynthetische Kunststoffe, bei denen die Kette aus kleinen Einheiten oder Monomeren chemisch zusammengesetzt ist. Das Verfahren der Bildung eines Polymers aus seinen Monomer-Bestandteilen nennt man Polymerisation.

Die ersten Kunststoffe, die kommerziell hergestellt wurden, waren halbsynthetische Kunststoffe. Sie wurden auf der Basis

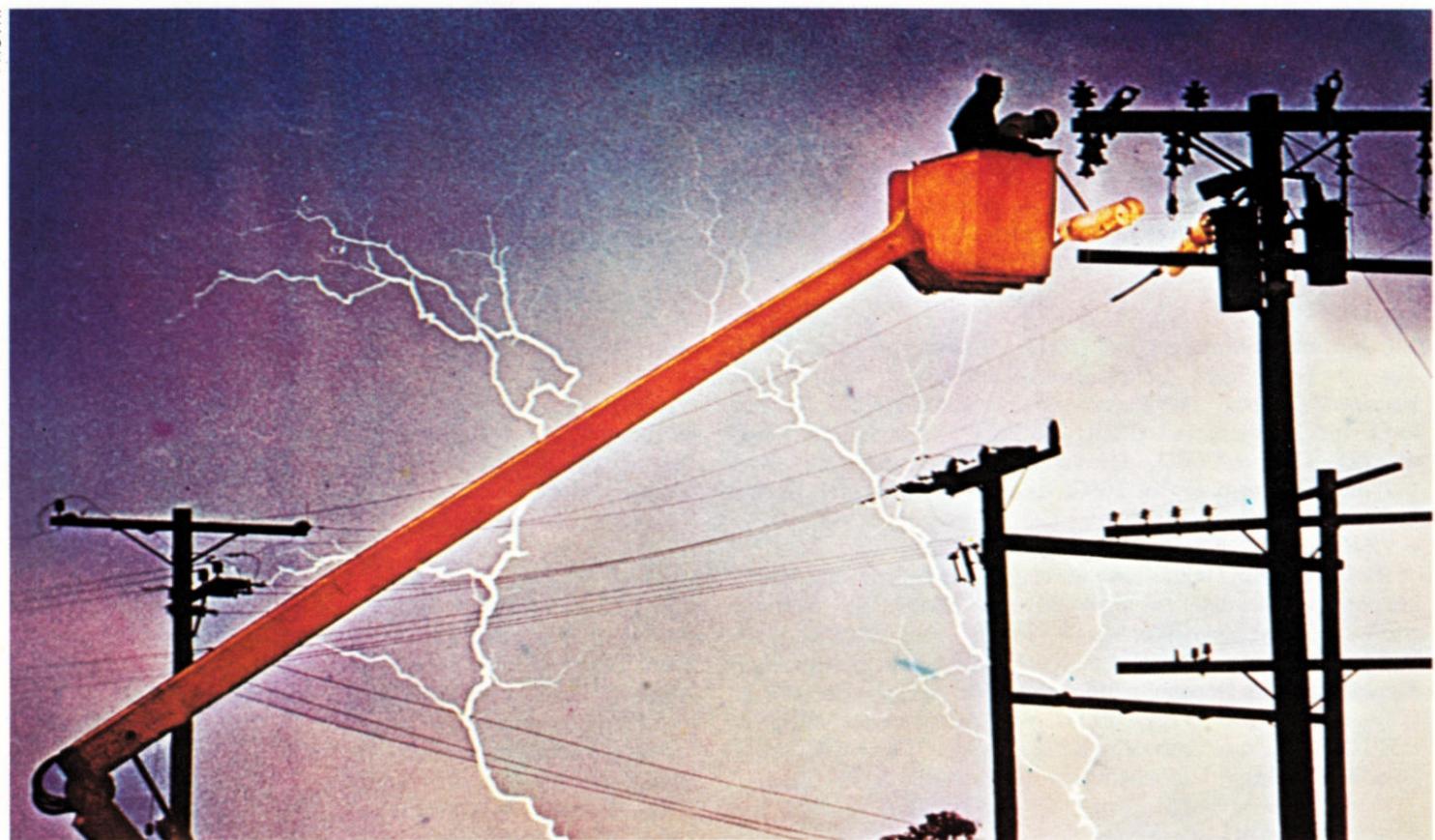
wendete jedoch Kampfer anstelle des Rizinusöls. Das neue Material wurde zur Herstellung einer großen Anzahl von Produkten verwendet, u.a. von Brillengestellen, Kämmen, Billiardbällen, Messergriffen und Fotofilmen. Die erste synthetische Faser, die im Jahre 1889 eingeführt wurde, war eine aus Nitrozellulose hergestellte Kunstseide.

Der wesentliche Nachteil dieser ersten Kunststoffe lag darin, daß sie sehr stark entflammbar waren, was nicht überrascht, wenn man bedenkt, daß der Hauptbestandteil Nitrozellulose sehr eng mit dem Sprengstoff Schießbaumwolle verwandt ist; beide sind Formen von nitrierter Zellulose. Aus diesem Grund wird heute normalerweise anstelle von Zellulosenitrat eine andere Zelluloseverbindung, Acetylzellulose, zur Herstellung von Kunststoffen auf Zellulosebasis bevorzugt. Diese Kunststoffe werden hauptsächlich zur Herstellung von Geweben verwendet (siehe FASER, synthetische).

## Synthetische Kunststoffe

Die ersten vollsynthetischen Kunststoffe wurden schon viele Jahre vor ihrer Massenproduktion hergestellt. Im Jahre 1838 beobachtete der Franzose Regnault die 'Verharzung' von Vinylchlorid unter dem Einfluß von Sonnenlicht. Er erkannte jedoch nicht die Entwicklungsmöglichkeiten des von ihm erzeugten neuen Materials, das heute als Polyvinylchlorid (PVC) bekannt ist. Im darauffolgenden Jahr berichtete der

PHOTRI



von Zellulose produziert, die man gewöhnlich aus Baumwollabfall gewann. Im Jahr 1862 stellte der britische Chemiker Alexander Parkes ein Kunststoffmaterial namens 'Parkesin' her, das man leicht formen und modellieren konnte. Dieser Kunststoff wurde hergestellt, indem man Baumwollabfall mit einem Gemisch aus Salpetersäure und Schwefelsäure zur Reaktion brachte. Man erhielt eine Nitrozelluloseverbindung, die dann mit Rizinusöl, ein wenig Kampfer und einem Farbmaterial gemischt wurde.

Im Jahre 1870 stellte der amerikanische Chemiker John Wesley Hyatt mit Zelloid den ersten kommerziell erfolgreichen Kunststoff her, der dem Parkesin ähnlich war. Er ver-

Eine Kunststoff-Förderschale, in der Streckenwärter während eines Gewitters eine Hochspannungsleitung reparieren.

deutsche Chemiker Simon von der Polymerisation des Kohlenwasserstoffs Styrol unter Bildung von Polystyrol. Erst 90 Jahre später wurde dieses Material industriell gefertigt. Im Jahre 1909 ließ Leo H. Baekeland ein harzartiges Erzeugnis patentieren, das er durch Umsetzung von Phenol mit Formaldehyd gewonnen hatte. Baekelands Erzeugnis, das Bakelit genannt wird, war einer der ersten kommerziell erfolgreichen synthetischen Kunststoffe. Methacrylsäuremethylester wurde

im Jahre 1877 zum ersten Mal von den deutschen Chemikern Fittig und Paul polymerisiert. Das so entstandene Produkt Polymethylmethacrylat sollte die Grundlage des Kunststoffes 'Plexiglas' bilden, der ein halbes Jahrhundert später eingeführt wurde. Die ersten Versuche mit der Polymerisation von Ethylen wurde im Jahre 1879 durchgeführt. Hier wurde kein Kunststoff, sondern ein Schmieröl hergestellt. Heute wird Ethylen industriell in einem enormen Umfang polymerisiert, um den weithin bekannten Kunststoff Polyethylen herzustellen.

### Polystyrol

Die kommerzielle Herstellung von Polystyrol, einem der wichtigsten derzeitigen Kunststoffe, begann in Deutschland im Jahre 1930. Die Rohmaterialien für die Polystyrolherstellung sind Ethylen und Benzol, die zuerst unter Bildung von Styrol,  $C_6H_5CH = CH_2$ , miteinander reagieren. Das Styrol wird dann polymerisiert und ergibt Polystyrol, dessen Moleküle aus Ketten von Styroleinheiten bestehen. Es kann wie folgt in der Formel dargestellt werden:



Es gibt mehrere andere bedeutende Kunststoffe, die mit Polystyrol verwandt sind, zum Beispiel schlagfestes Polystyrol (ein Gemisch aus Polystyrol und GUMMI), ABS (ein polymerisiertes Gemisch aus Styrol, Acrylnitril und Nitrilgummi), SAN (ein polymerisiertes Gemisch aus Styrol und Acrylnitril) und ASA (ein Polymer von Styrol mit einem Methacrylsäureester). Polymere, die aus mehr als einer Monomer-Art zusammengesetzt sind, z.B. SAN, werden gewöhnlich Mischpolymerate genannt. Polystyrolkunststoffe werden zur Herstellung von Prefsteilen und in verschiedenen Elektroartikeln verwendet. Aufgeschäumte Polystyrolmaterialien, wie zum Beispiel 'Styropor', werden als wärme- und schalldämmende Materialien und beim Verpacken als Schutz gegen mechanische Erschütterung verwendet.

### PVC

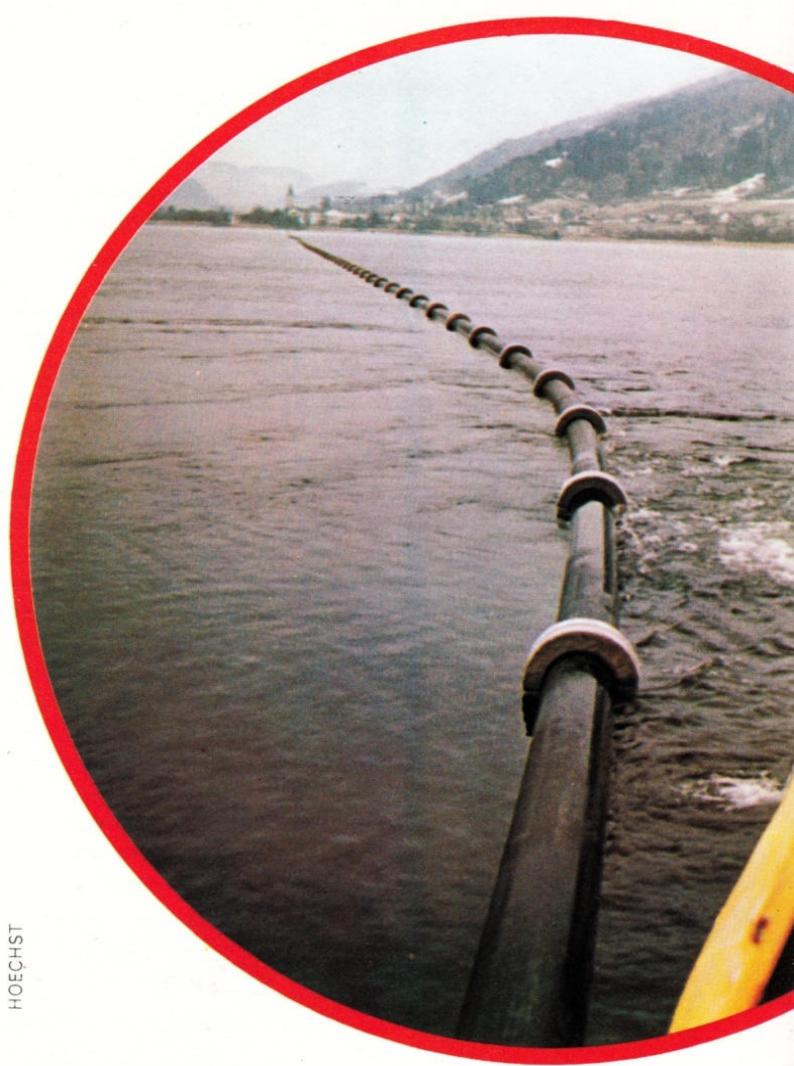
Ein weiterer wichtiger Kunststoff ist Polyvinylchlorid (PVC), das im Jahre 1931 in Deutschland erstmals kommerziell hergestellt wurde. Die Rohmaterialien für die PVC-Herstellung sind Ethylen und Chlor, die unter Bildung von Vinylchlorid,  $CH_2 = CHCl$ , miteinander reagieren. Dies wird polymerisiert und ergibt PVC, das wie folgt in der Formel dargestellt werden kann:



PVC wird zur Herstellung einer großen Anzahl von Formkörpern verwendet. Es wird oft mit einem Weichmacher gemischt, der den Kunststoff weich und elastisch hält. Rohre und Ablaufrinnen aus Kunststoff sowie gummiartige Kunststofffolien werden häufig aus PVC hergestellt. Mischpolymerate von Vinylchlorid mit Vinylacetat,  $CH_2 = CHCOOCH_3$ , oder mit Vinylidenchlorid,  $CH_2 = CCl_2$ , sind ebenfalls wichtige handelsübliche Kunststoffe.

### Polyolefine

Im Jahre 1936 gelang es der britischen Firma ICI, den ersten Polyolefin-Kunststoff, Polyethylen, herzustellen. Olefine sind Kohlenwasserstoffe, die eine oder mehr  $C = C$ -Doppelbindungen haben. Ethylen,  $CH_2 = CH_2$ , ist der einfachste Vertreter der Gruppe. Es wird bei etwa  $200^\circ C$  und etwa 1 000 bar polymerisiert. Es entstehen Polyethylen-Moleküle, die Ketten von  $-CH_2-$ -Gruppen sind. Das auf diese Weise hergestellte Polyethylen nennt man Polyethylen mit niedriger Dichte. Es ist ein zähes, elastisches Material. Polyethylen mit hoher Dichte ist steifer als Polyethylen mit niedriger Dichte. Es wird durch Polymerisation von Ethylen bei einem viel niedrigeren Druck und unter Mitwirkung eines Katalysators hergestellt. Der Unterschied zwischen den beiden Arten



HOECHST

**Oben:** Schwimmende Sperrkette zur Verhinderung der Verschmutzung in Gewässern. Die aus Kunststoff gefertigte Sperrkette markiert einerseits die Fahririnne und hält außerdem die Wasseroberfläche ölfrei.

**Rechts:** Plastikerzeugnisse haben gegenüber Metallen den Vorteil, daß sie nicht rosten, leichter sind und leichter verarbeitet werden können.



SHELL

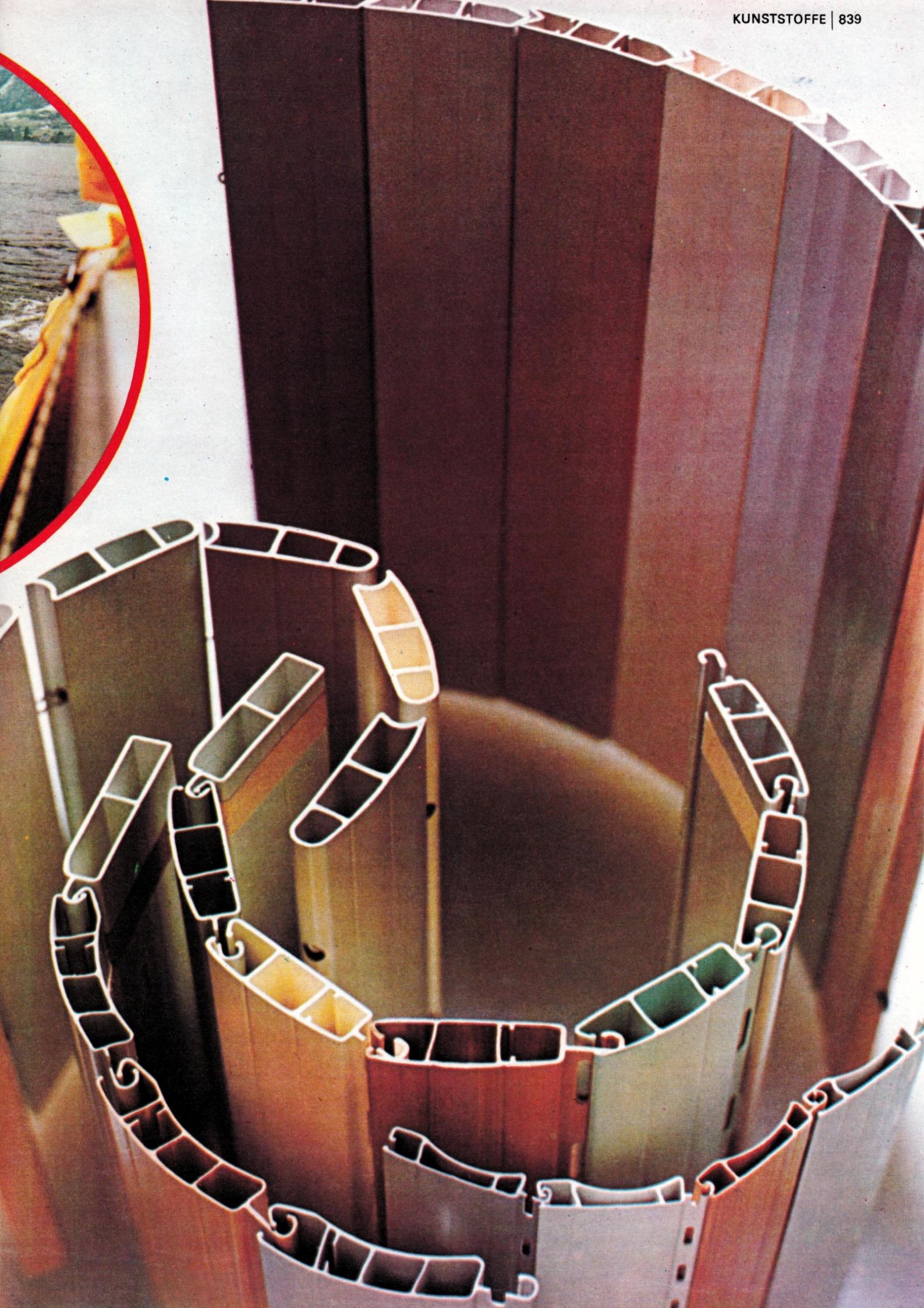
**Ganz rechts:** Aus stranggepreßtem Polyvinylchlorid (PVC) hergestellte Schlitzverschlüsse. Die Polymerisation von Vinylchloridmonomer zu Polyvinylchlorid wurde von dem Franzosen Henri Regnault (1810 bis 1878) 1838 beobachtet. In Deutschland wird PVC seit 1931 produziert.

besteht darin, daß die Moleküle des Polyethylen mit hoher Dichte geradkettig sind, wohingegen die Moleküle des Polyethylen mit niedriger Dichte verzweigt sind. Ein weiterer wichtiger Polyolefin-Kunststoff ist Polypropylen, das durch die Polymerisation von Propylen,  $CH_2 = CHCH_3$ , hergestellt wird. Polypropylen kann wie folgt in der Formel dargestellt werden:



Polyethylen und Polypropylen werden zur Herstellung von Kunststoffflaschen und anderen Behältern, Verpackungs-

HOECHST

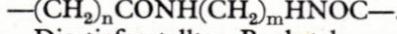


folien, Installationsrohren und in vielen anderen Anwendungsbereichen verwendet.

Ein weiterer Kunststoff, der eine ähnliche Struktur hat wie Polyolefin-Kunststoffe, ist Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Teflon, das durch die Polymerisation von Tetrafluorethylen,  $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$ , hergestellt wird. Es besteht aus Ketten von  $-\text{CF}_2-$  Gruppen, die miteinander verbunden sind. Es wird dort verwendet, wo Hitzebeständigkeit und geringe Oberflächenreibung von Bedeutung sind. Überzüge auf Haushaltsgeschirr, die ein Anhaften der Speisen verhindern, bestehen im allgemeinen aus PTFE.

### Polyamide

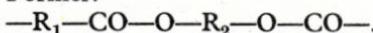
Der erste Polyamid-Kunststoff wurde zwar schon im Jahre 1934 von dem amerikanischen Chemiker W. H. Carothers hergestellt, aber erst im Jahr 1937 begann man mit der Herstellung in großem Umfang. Der neue Kunststoff wurde Nylon genannt. Die bei der Herstellung von Nylon verwendeten wichtigsten Rohmaterialien sind Benzol und Butadien,  $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH} = \text{CH}_2$ . Es entstehen mehrere Zwischenprodukte, insbesondere Caprolactam, bevor das Endprodukt hergestellt ist. Polyamid- oder Nylon-Moleküle bestehen aus sich wiederholenden Einheiten der folgenden Struktur:



Die tiefgestellten Buchstaben m und n stellen Zahlen dar, deren Werte von der jeweiligen Nylonart abhängen; bei Nylon 66 ist z.B. n = 4 und m = 6. Polyamide werden hauptsächlich zur Herstellung von Formköpfen und Geweben verwendet.

### Polyester

Diese Kunststoffe werden hergestellt, indem man eine organische Säure, die mindestens zwei Säure ( $-\text{COOH}$ )-Gruppen hat, mit einem Alkohol zur Reaktion bringt, der mindestens zwei Alkohol ( $-\text{OH}$ )-Gruppen hat. Polyester-Moleküle haben sich wiederholende Einheiten mit der folgenden allgemeinen Formel:



R<sub>1</sub> und R<sub>2</sub> stellen organische Gruppen dar, die von dem speziellen Polyester abhängig sind. Bei 'Dacron' ('Terylen'), einem zur Herstellung von synthetischen Fasern verwendeten Polyester, stellt R<sub>1</sub> einen Benzolring und R<sub>2</sub> eine

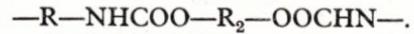


**Oben:** Kunststoffverpackungen finden auch im Güterverkehr Verwendung, wo sie das Arbeiten sauberer und das Zählen der Ware leichter machen. **Unten:** Acrylkunststoffe werden als Plexiglas für die Produktion von Jachtluken verwendet.

$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$  Gruppe dar. Polyester werden auch zur Herstellung von hochwertigen Kunstharzfolien verwendet.

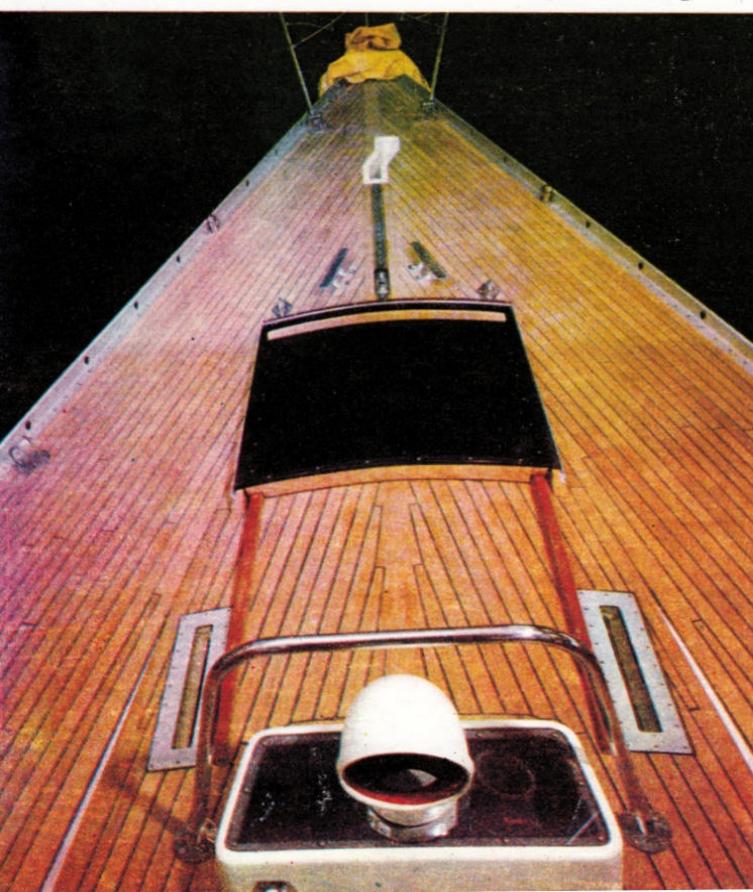
### Polyurethane

Polyurethanskunststoffe werden heute sehr häufig verwendet, besonders in Form von elastischen oder steifen Schaummaterialien. Elastischer Polyurethanschaum wird als Polstermaterial, das steife Schaummaterial im allgemeinen als Wärmeschutzstoff verwendet. Polyurethane verwendet man auch bei einigen Farbzusammensetzungen, um dem Farbüberzug Oberflächenhärte zu verleihen. Sie können hergestellt werden, indem ein Isocyanat, das mindestens zwei Isocyanat ( $-\text{NCO}$ )-Gruppen hat, mit einem Alkohol zur Reaktion gebracht wird, der über mindestens zwei Hydroxyl ( $-\text{OH}$ )-Gruppen verfügt. Sie haben die folgende, sich wiederholende Struktur:



Auch hier sind die Gruppen R<sub>1</sub> und R<sub>2</sub> von dem speziellen Polyurethan abhängig; bei 'Perlon U' steht R<sub>1</sub> für  $-(\text{CH}_2)_6-$  und R<sub>2</sub> für  $-(\text{CH}_2)_4-$ .

Die meisten der zuvor diskutierten Kunststoffe sind thermoplastische Kunststoffe, d.h. sie werden bei Wärmeeinwirkung weich und bei Abkühlung wieder hart. Einige Kunststoffe, wie z.B. Bakelit, sind jedoch duroplastische (hitzehärtbare) Kunststoffe, d.h. sie können durch Erhitzen nicht weich gemacht werden, ohne die chemische Struktur zu zerstören. Ein weiteres Beispiel für ein hitzehärtbares Harz ist das Melaminformaldehydharz, z.B. Formica. Einige Klebstoffzusammensetzungen, besonders Epoxydklebstoffe wie 'Araldit', beruhen auch auf hitzehärtbaren Kunststoffen. Eine weitere übliche Gruppe von hitzehärtbaren Kunststoffen besteht aus den Alkydharzen, die in einigen Farbanstrichzusammensetzungen verwendet werden.





# Erfindungen 26: FLASCHENZUG UND BERGBAU

Bei Flaschenzügen läuft ein Seil über eine Rolle, in die eine Nut eingearbeitet ist. Arbeitet man mit mehreren Rollen, werden die festen und die losen Rollen jeweils in 'Flaschen' zusammengefaßt, d.h. Träger der Rolle. Man sollte nun annehmen, daß eine so primitive Vorrichtung wie die einfache Zugrolle nahezu so alt ist wie das Rad. Doch trat sie erst vergleichsweise spät in der Menschheitsgeschichte in Erscheinung. Man weiß aber nicht recht, wann und wo. Auf einem assyrischen Relief aus der Zeit um 800 v. Chr., das im Zweistromland (Mesopotamien) gefunden wurde, ist ein Gegenstand abgebildet, der eine Rolle sein könnte. Eine offenbar aus nur wenig jüngerer Zeit stammende Rolle aus Maulbeerholz fand man in den Ruinen von Nimrud (Kalach), ebenfalls im Zweistromland, im heutigen Nord-Irak. Vermutlich dienten solche Rollen zum Hochziehen von Wasser aus Brunnen. Abbildungen griechischer Schiffe aus der Zeit um 600 v. Chr. zeigen, daß die Züge für die Rahnocken durch Ringe oben an den Masten, nicht aber, wie man annehmen könnte, über Blöcke (= Rollen) geführt wurden. Allerdings hat man Belege dafür, daß Rollen im Schiffbau schon vorher Verwendung fanden.

In einem antiken griechischen

Theaterstück aus dem vierten vorchristlichen Jahrhundert wurde ein Schauspieler mit Flaschenzügen auf die Bühne heruntergelassen: Er stellte eine Gottheit dar, die herniederschwebt, um die Schwierigkeiten der Sterblichen zu lösen. Daher übrigens stammt der noch heute gebräuchliche Ausdruck 'deus ex machina' ('Gott aus der Maschine') für eine überraschende Wendung, die ein Autor einer verfahrenen Situation in einem Stück gibt.

## Mehrachflaschenzüge

Offensichtlich waren einfache Rollen zur Zeit des Aristoteles (um 325 v. Chr.) bekannt, denn er erwähnt sie in seinen 'Mechanischen Problemen' (Mechanica, Kap. 19). Als Erfinder

der Mehrfachrollen, bei denen das Seil zur Verminderung der aufzuwendenden Kraft über zwei oder mehr Rollen verläuft, gilt Archimedes von Syrakus.

Der römische Baumeister und Architekturtheoretiker Vitruv, der im ersten vorchristlichen, und Heron von Alexandria, der im ersten nachchristlichen Jahrhundert lebte, haben in ihren Schriften deutliche Belege für die Verwendung von Mehrfachflaschenzügen hinterlassen. Es ist eindeutig klar, daß ihnen der Vorteil bewußt war, den eine Kombination großer und kleiner Rollen bewirken konnte.

## Haspeln und Spills (Winde)

Abbildungen von Schiffen, Kränen,

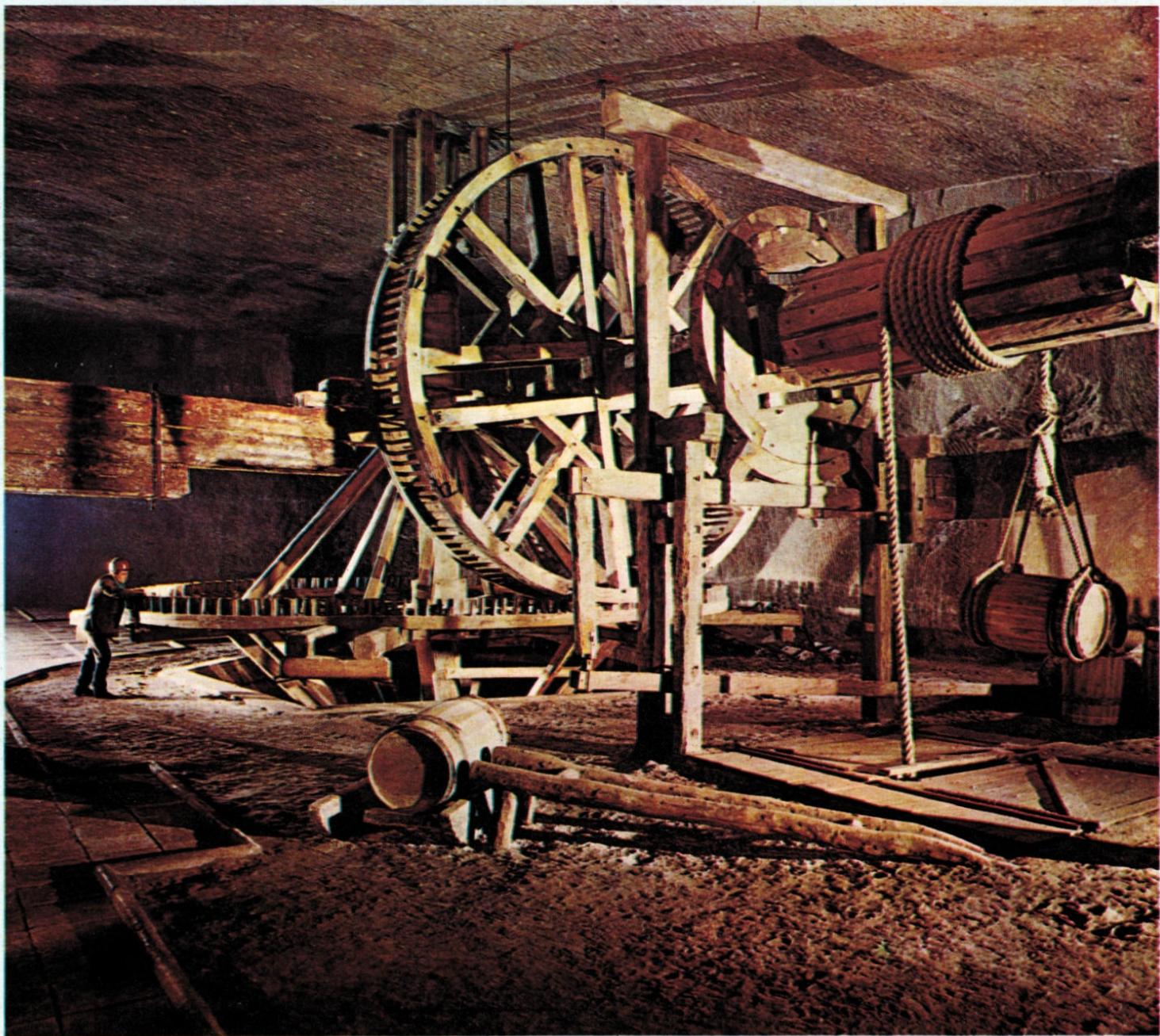
MARGARET MURRAY



Links: Abbildung aus dem 14. Jahrhundert. Eine Rolle und eine Haspel werden zum Heben von Lasten verwendet, die das Körpergewicht des Menschen übersteigen können.



Oben: Einfache Holzblöcke an einem Brunnen in Indien. Mit dieser Vorrichtung ziehen links vom Brunnen (im Bild nicht sichtbar) Ochsen große Eimer mit Wasser herauf.



**Zahnräder waren früher oft von ungeheurer Größe und hatten hölzerne Querpflöcke statt der senkrechten Zähne. Die Anlage im Bild ist in einem Salzbergwerk in Wieliczka (Polen), das heute ein Museum ist.**

Olivenölpressen und anderen Maschinen aus der Zeit Vitruvs und Herons zeigen, daß der Flaschenzug im gesamten Römischen Reich Verbreitung gefunden hatte. Oft sieht man Flaschenzüge zusammen mit Spills (großen Rädern mit senkrecht stehender Achse) oder Haspeln (bei ihnen liegt die Achse waagerecht). Gewöhnlich wurden sie mit der Hand betätigt, doch konnte man an den Haspeln Trittplatten anbringen. Bei einem solchen Tretrad (Tretmühle) konnte der Arbeitende die umdrehende Kraft mit seinem ganzen Körpergewicht verstärken. Wenn man nun an einem Spill eine horizontale

Welle befestigte und einen Ochsen oder Esel vorspannte, hatte man einen Göpel, zu dessen Antrieb das Tier im Kreise ging. Sowohl Spill als auch Haspel werden von Vitruv und von Heron beschrieben.

#### Zahnräder

Seltsamerweise trieb man alle diese Vorrichtungen in der Antike nie über Riemen oder Seile an. War eine Übersetzung erforderlich, setzte man hölzerne Zahnräder ein. Ihre Erfindung wird Archimedes zugeschrieben. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß er sie lediglich weithin bekanntgemacht hat.

Die Bedeutung des Zahnrades lag darin, daß mit einer Kombination aus Rädern großen und kleinen Durchmessers durch Über- oder Unterersetzung die für jede Maschine richtige Arbeitsgeschwindigkeit erzielt werden konnte. Vitruv und Heron haben die Wirkungsweise dieser Anordnung

klar verstanden. Vitruv beispielsweise beschrieb, wie man mit einem Ochsenköpfel ein Wasserschöpfrad betreiben konnte. Zähne auf dem Umfang des Spills griffen in die eines kleineren Zahnrad auf einer waagerechten Welle ein, die das Wasserschöpfrad antrieb. Damit konnte man erreichen, daß das vom Ochsen langsam gedrehte Spill dem Schöpf- rad eine höhere Umdrehungsgeschwindigkeit verlieh.

#### Der Wegmesser

Heron trieb die Entwicklung der Zahnradübersetzung mit seinem Wegmesser noch weiter. Diese an Fahrzeugen angebrachte Einrichtung maß die zurückgelegte Wegstrecke in unmittelbarer Abhängigkeit von der Umdrehungszahl der Fahrzeugräder. Dazu ordnete er eine Vielzahl von Zahnräder so an, daß die zurückgelegte Entfernung jederzeit abgelesen werden konnte.