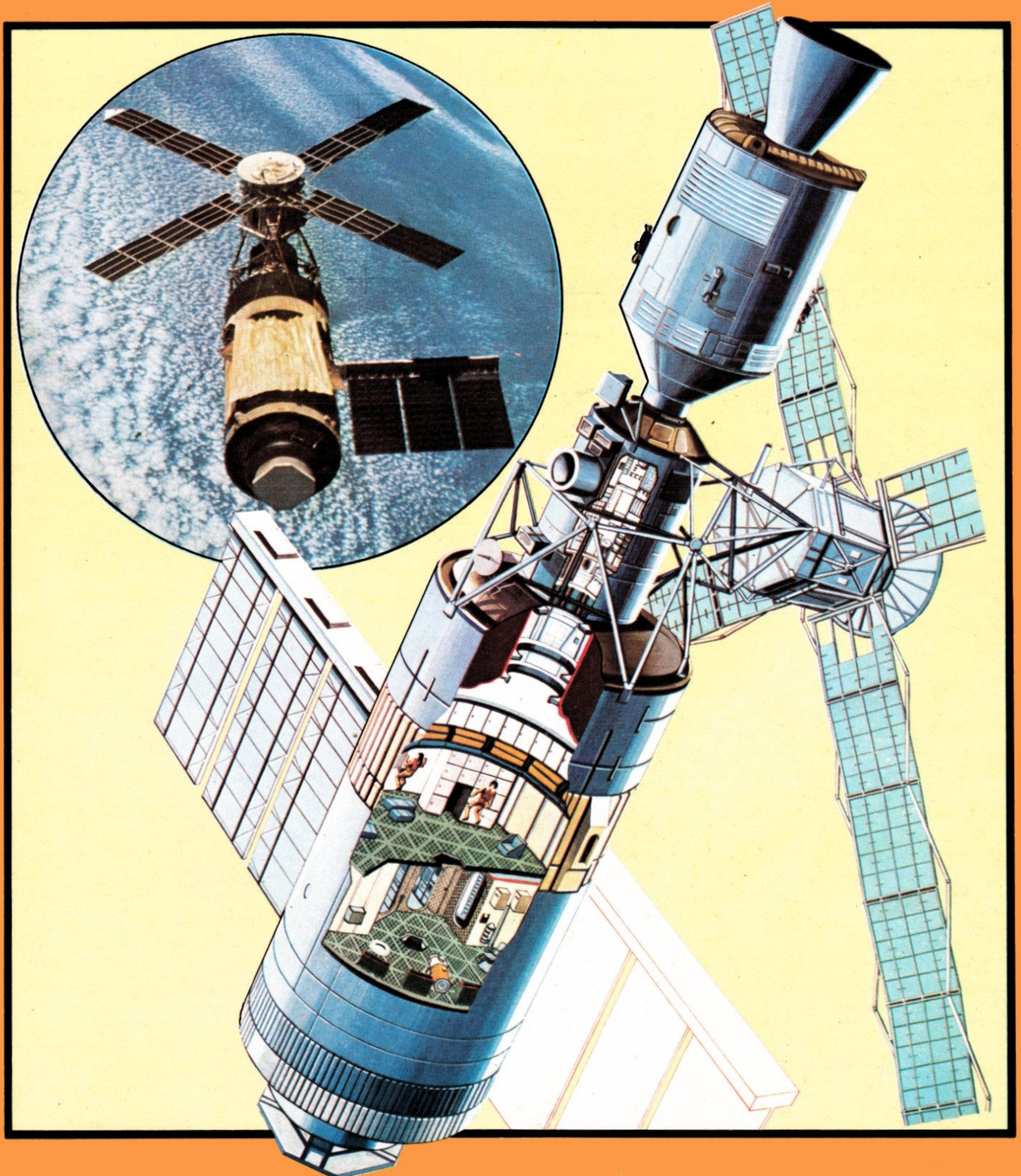


WIE GEHT DAS

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



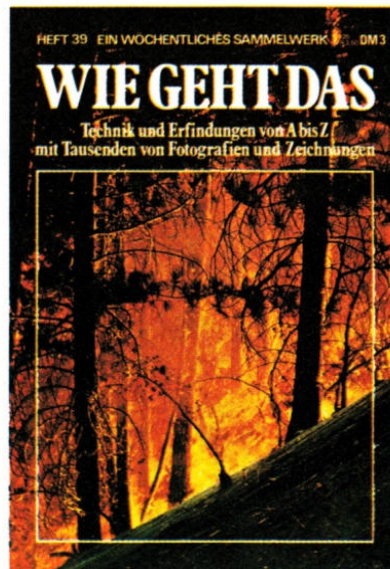
scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Nutzfahrzeuge	1037
Oberflächen- behandlung	1042
Oberflächen- spannung	1045
Observatorium	1046
Ophthalmoskop	1049
Optik	1050
Optoelektronik	1056
Orbital- Laboratorium	1060
Organische Chemie I	1063

In Heft 39 von Wie Geht Das



Oxidation ist ein chemischer Prozeß, bei dem Sauerstoff mit anderen Elementen eine Verbindung eingeht. Dies kann sehr langsam geschehen, z.B. wenn Eisen und Sauerstoff sich zu Rost verbinden, oder sehr schnell, etwa wenn Natrium mit Wasser reagiert. Lesen Sie, was es mit der Oxidation auf sich hat, in Heft 39 von Wie Geht Das.

Die Herstellung von Papier, die vor über 2 000 Jahren in China begann, hat sich zu einer wichtigen und großen Industrie der modernen Gesellschaft entwickelt. Welche Methoden der Papierherstellung heute verwandt werden, können Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das nachlesen.

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

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

INHALTSVERZEICHNIS

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

SAMMELORDNER

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

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

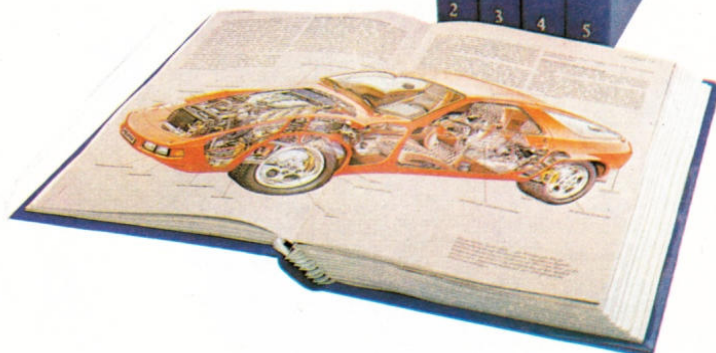
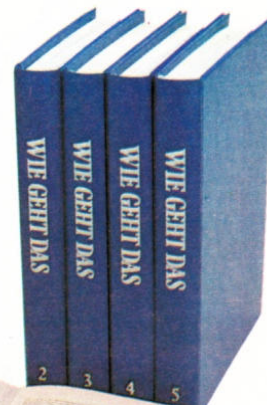
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

Einzugschein) 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 Überweiskopie Ihre vollständige Anschrift gut leserlich enthalten.



NUTZFAHRZEUGE

Nutzfahrzeuge zum Gütertransport (Lkws) oder zur Personenbeförderung (Busse) spielen in der modernen Industriegesellschaft eine wichtige Rolle.

Bei der Konstruktion von Lkws bemüht man sich immer mehr darum, dem Fahrer einen Arbeitsplatz zu schaffen, der annehmbare Bedingungen bietet und seine Leistungsfähigkeit steigert. Hierzu dienen in der Kabine Hydrositze (hydraulisch gefederte Schwingsitze). Auch das Fahrwerk wird nicht nur auf Sicherheit, sondern auch auf Komfort ausgelegt. Als Federelement findet sich nach wie vor am häufigsten die Halbelliptik-Blattfeder aus Stahl.

Es gibt Systeme, bei denen man die Federkennung in Abhängigkeit von der zu transportierenden Last durch Verschieben von Gleitstücken auf den Federenden einstellen kann, die dort anstelle der um die Anlenkbolzen gewickelten Federaugen angebracht sind. Kräftig bemessene, konisch zulaufende Federblätter, die nicht in unmittelbarem Kontakt zueinander stehen, tragen ebenfalls zu einer Steigerung des Fahrkomforts bei, weil bei ihnen die systembedingte Eigendämpfung der üblichen, aus mehreren Schichten zusammengesetzten Blattfeder entfällt, die sich z.B. durch Rostbildung verstärkt. Bei modernen Fahrzeugen finden zur Federung häufig Luftfederbälge Verwendung. Sie sind an die in Groß-Lkws ohnehin vorhandene Druckluftanlage angeschlossen und haben zwei große Vorzüge: Einmal kann man bei ihnen durch Änderung des Luftdruckes die Federwege der Belastung anpassen, zum anderen läßt sich über sie das

Unten: Rückansicht eines ausgesprochen stabilen Gelände-Lkws mit feststehenden Achsen, mit Blick auf das Differentialgehäuse und einen Teil der Aufhängung.

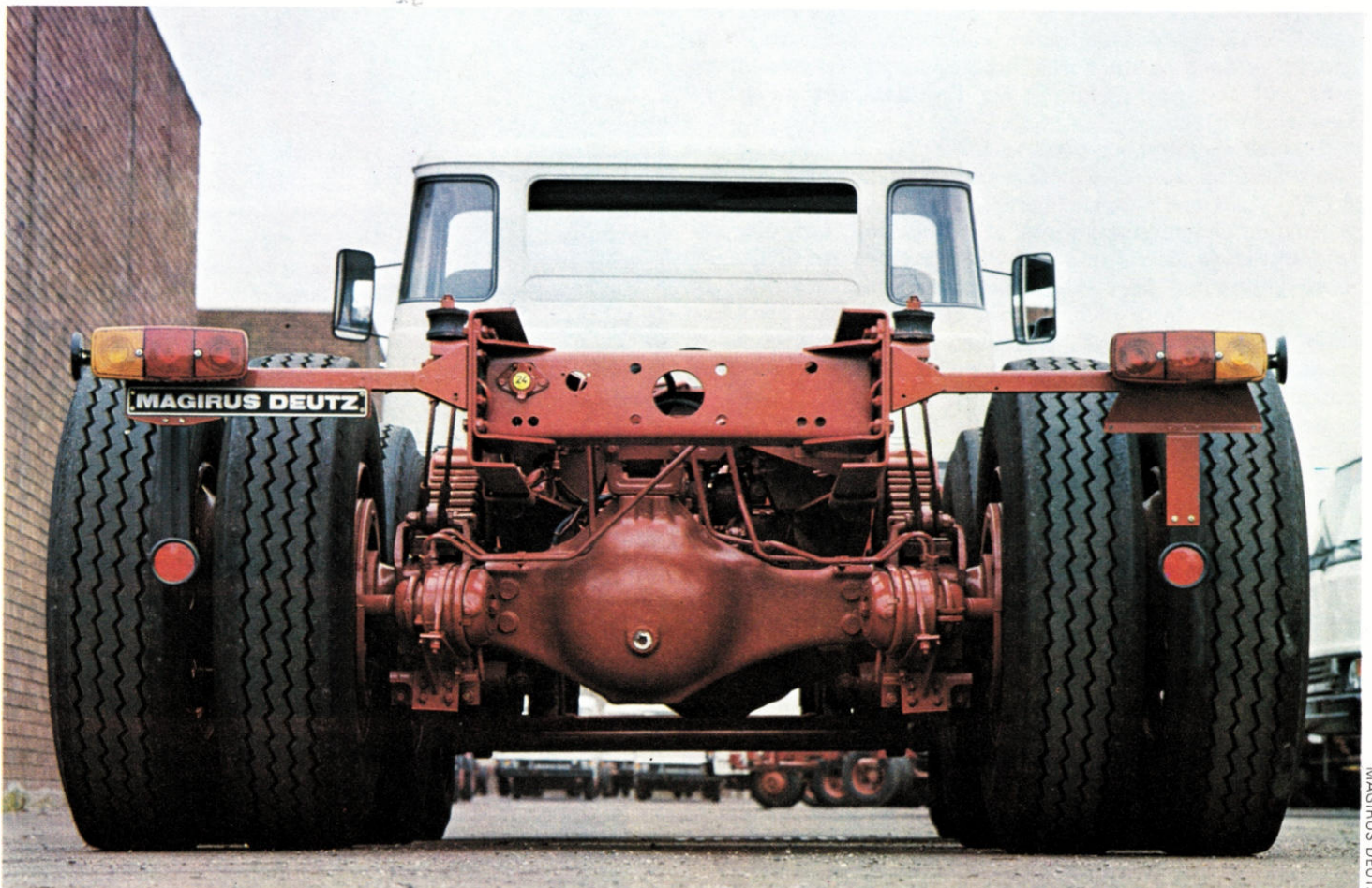
Fahrgestell absenken und höherpumpen. Das ist sehr günstig für den Betrieb mit Wechselaufbauten oder zum Aufnehmen von Sattelauflegern.

Fahrgestell und Aufbauten

Man unterscheidet zwischen 'Solofahrzeugen', die, mit einer Anhängerkupplung ausgerüstet, einen Anhänger ziehen können, was einen 'Gliederzug' ergibt, und Sattelzugmaschinen, an die über eine spezielle Vorrichtung (Sattelkupplung) 'Auflieger' angekoppelt werden. Der Hauptunterschied liegt im Radstand, der bei Sattelzugmaschinen sehr viel kürzer ist.

Der Hauptvorteil eines Sattelzuges besteht darin, daß der Zugwagen einen anderen Auflieger aufsatteln und befördern kann, während der abgesattelte Auflieger be- und entladen wird. Im Zusammenhang mit Wechselaufbauten, die auf vier Stützbeinen abgestellt werden können, und auch mit Containern führt dies zu äußerst wirtschaftlichen Ergebnissen, da das eigentliche Fahrzeug, von den kurzen Zeiten des Auf- und Absatteln abgesehen, ständig unterwegs sein kann, was die Leerzeiten erheblich verkürzt. Fahrzeuge, die nicht über absenkable Luftfedern verfügen, nehmen Wechselaufbauten durch mechanisches und hydraulisches Absenken und Heben auf. Wechselaufbauten können auch bei Solofahrzeugen und Gliederzügen Verwendung finden; dadurch erhalten diese Fahrzeuge etwas von der Flexibilität der Sattelschlepper.

Es gibt zahlreiche Spezialaufbauten: Kühlkoffer für Gefrier- und Kühlgut; Möbelkoffer für Umzugsfahrzeuge; Kippaufbauten für Massenguttransporte bei denen der Aufbau hydraulisch nach hinten oder zur Seite gekippt werden kann, was das Entladen stark beschleunigt; Kippmulden für Baustellenfahrzeuge; Betonmischtrommeln für Fertigbetontransport, die, um ein vorzeitiges Erhärten des Betons zu vermeiden, während des Transportes (oft über einen



eigenen Motor) ständig in Umdrehung gehalten werden müssen; Spezialaufbauten der unterschiedlichsten Art für Feuerwehren; besonders niedrige Ausführungen von Bussen für den Betrieb auf Flughafen-Vorfeldern, damit sie unter den Flügeln abgestellter Maschinen hindurchfahren können, usw.

Außerdem gibt es Schwerfahrzeuge, Tieflader für Sondertransporte, für deren Betrieb auf der Straße von Fall zu Fall eine Sondergenehmigung der Behörden und eine Polizeieskorte erforderlich ist. Ein Beispiel dafür ist der Transport großer unteilbarer Lasten wie vorgefertigter Konstruktionsteile für Atomkraftwerke, aber auch von großen Gitterkranmasten usw.

Große Veränderungen hat es in den letzten Jahrzehnten an der Fahrerkabine gegeben. Abgesehen davon, daß es auch hier die unterschiedlichsten Ausführungen gibt (Fernfahrerhaus mit Liegen, Kochgelegenheit und Kühlschrank; Doppelkabine usw.), ist an die Stelle der früher allgemein üblichen 'Haubenfahrzeuge' (Motorhaube vor der eigentlichen Kabine) der sogenannte 'Frontlenker' getreten. Hier sitzt die Kabine auf dem Motor oder umschließt ihn, womit die zulässige Länge des Fahrzeuges zugunsten einer längeren Ladefläche besser ausgenutzt werden kann. Bei den großen Herstellern sind heute Kippkabinen durchweg üblich—das Fahrerhaus kann zur Wartung und Reparatur mit wenigen Handgriffen gelöst und von einer Person, oft mit Unterstützung durch eine kleine Hydraulikpumpe, im Winkel von etwa 60° nach vorne geneigt werden. Dadurch wird der Antriebsblock rascher zugänglich, was bei notwendigen Arbeiten die Leerzeiten verringert und die Betriebskosten senkt.

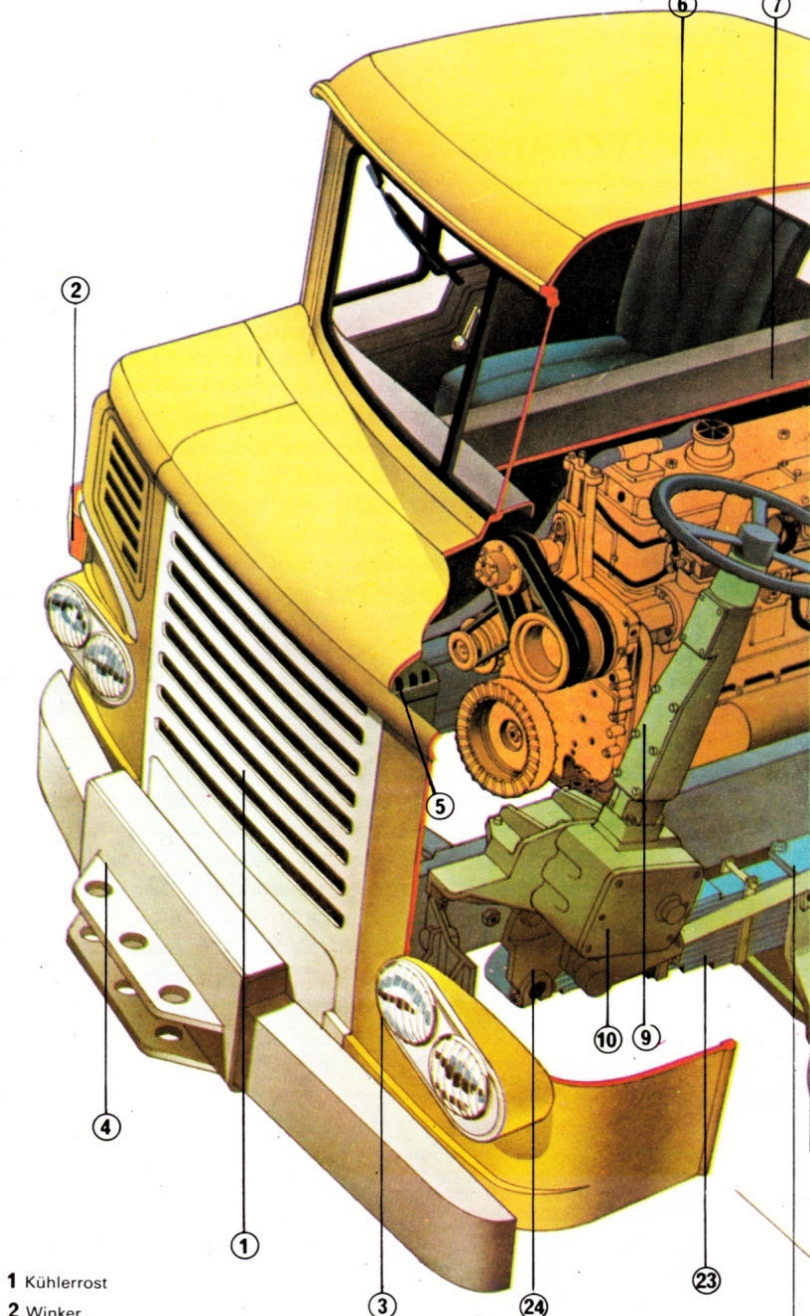
Motoren

Die Motoren werden bei Frontlenkern unter das Fahrerhaus verlagert (Unterflurmotor) oder in das Fahrerhaus integriert. Während in den USA auch die größten Lkws fast ausschließlich mit Ottomotoren ausgerüstet sind, werden in Europa, von Klein-Lkws (etwa bis 3,5 t) abgesehen, fast ausschließlich Dieselmotoren eingesetzt, meist in Form großer V-Motoren, die durch ihre gegenüber Reihenmotoren sehr viel geringere Baulänge die Frontlenkerbauweise erst ermöglicht haben.

Da der Gesetzgeber gewisse Mindestforderungen an die Motorleistung von Lkws stellt (zur Zeit knapp 6 kW/t—8 PS/t), muß eine Sattelzugmaschine für einen Zug mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 32 t über eine Leistung von mindestens 192 kW (rund 256 PS) verfügen. Im Gegensatz zum Ottomotor sind Dieselmotoren Langsamläufer, die Leistung kann daher nicht aus der Drehzahl geholt, sondern muß aus dem Hubraum gewonnen werden. Insbesondere müssen die Fahrzeuge auch bei voller Beladung am Berg anfahren können.

Beispielsweise hat ein Lkw für Gliederzugbetrieb mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 38 t einen Motor von 235 kW (320 PS). Diese Leistung wird aus einem Hubraum von 16 Litern gewonnen (10-Zylinder-V-Motor). Dabei ist dieser luftgekühlte Motor mit 2500 U/min unter den Dieseln noch ein ausgesprochener Schnelläufer, denn wassergekühlte Diesel drehen in Lkws meist mit etwa 1900 U/min. Gerade wegen der hohen Belastung und des großen Leistungsbedarfs von Lkw-Motoren hat man immer wieder überlegt, wie man vom Hubkolbenmotor mit seinem ungünstigen mechanischen Wirkungsgrad und seinen thermischen Problemen abkommen könnte.

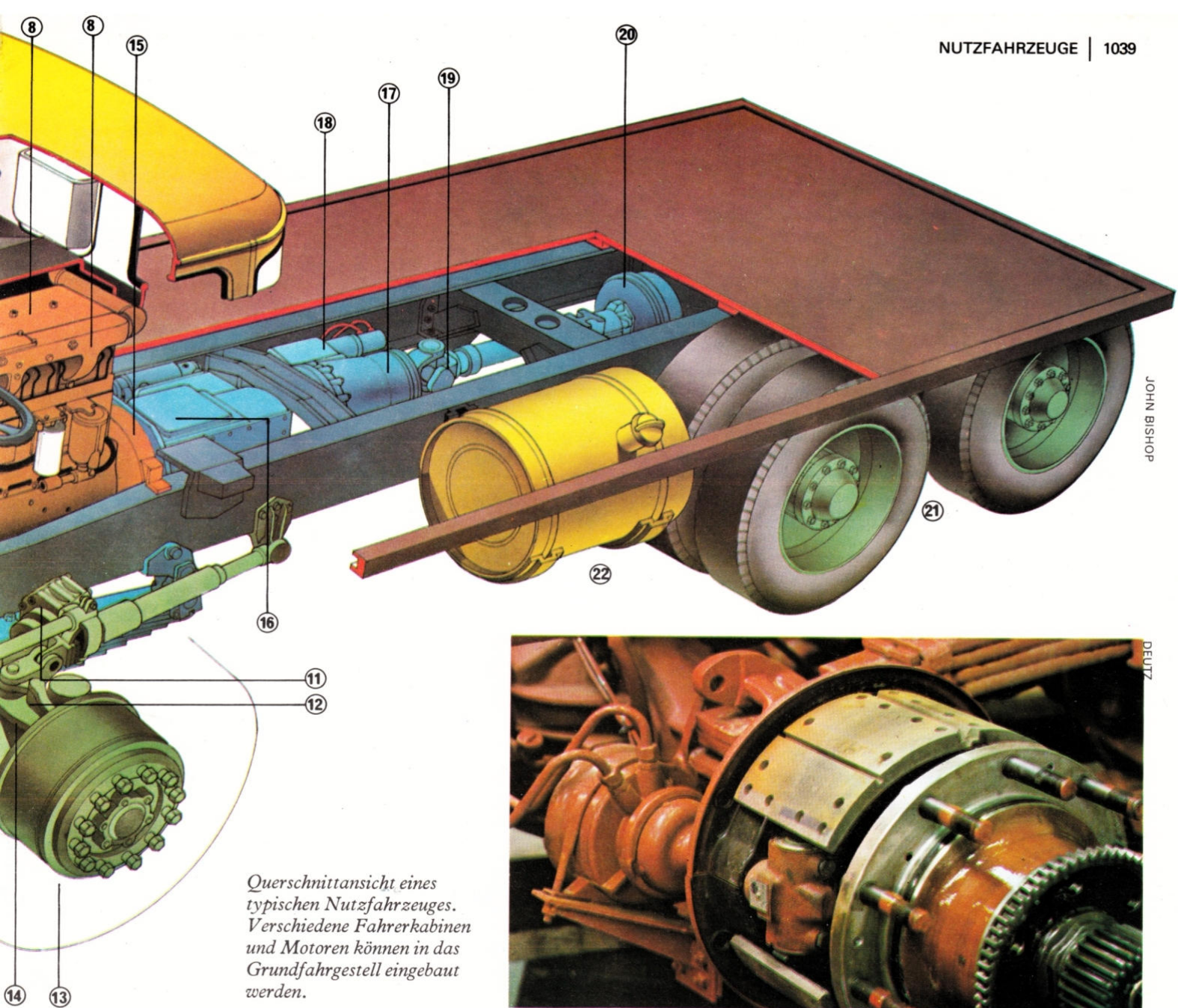
Möglicherweise ist für einen Dauereinsatz, wie er im Lkw-Betrieb üblich ist, nur die Gasturbine geeignet. (Jahresfahrleistungen von 100 000 km sind im Lkw-Betrieb nichts Außergewöhnliches; eine Motorlebensdauer von 500 000 km gilt als unterer Wert.) Allerdings könnte eine Gasturbine wohl nur im Autobahnverkehr oder im sehr zügigen Landstra-



- | | |
|--|--|
| 1 Kühlerrost | 14 Vorderachse |
| 2 Winker | 15 Einscheibenkupplungsgehäuse (17 Zoll) |
| 3 Scheinwerfer | 16 Getriebegehäuse (9 Gänge) |
| 4 Verstärkte Kupplungsschiene | 17 Overdrive |
| 5 Kühler | 18 Overdrive-Gaseinstellung |
| 6 Mitfahrersitz | 19 Kardangelen |
| 7 Motorhaube | 20 Differential (eins für jede der Hinterachsen) |
| 8 Sechszylinder-Dieselmotor | 21 Doppelraderantrieb |
| 8a Auspuffsammelrohr | 22 Tank |
| 9 Lenksäule | 23 Halbelliptikfeder |
| 10 Lenkgehäuse | 24 Chassis/Federung |
| 11 Servolenkung | 25 Achsengestell |
| 12 Lenkgestänge | |
| 13 16-Zoll-Bremstrommel/
12-Schraubennabe | |

ßenbetrieb eingesetzt werden, weil nur bei etwa gleichbleibender Belastung und Fahrgeschwindigkeit ihr Kraftstoffbedarf dem eines Dieselmotors gleicher Leistung entspricht. Die Hauptvorteile dieser Lösung wären die Kompaktheit des Antriebsaggregates und ihr geringes Gewicht, womit sich eine Erhöhung der Nutzlast erzielen ließe.

Man steigert heute die Leistung von Lkw-Motoren, ohne großen zusätzlichen mechanischen Aufwand und ohne die Motoren zu vergrößern (was Nutzlast kosten würde), mit Hilfe der Aufladung. Dabei läßt man es nicht, wie beim Saugmotor, damit bewenden, daß der Motor sich selbst die Verbrennungsluft aus der Umgebung holt. Zusätzlich treibt der Motor mit Hilfe des Abgasdruckes eine Abgasturbine, die wiederum das Ladegebläse antreibt.



Querschnittansicht eines typischen Nutzfahrzeuges. Verschiedene Fahrerinnen und Motoren können in das Grundfahrzeug eingebaut werden.

Diese Turbolader sind im Prinzip nichts anderes als Radial-Verdichter in einem Spiralgehäuse. Sie drücken Luft mit einem regelbaren Ladedruck in die Zylinder. Damit wird die Zylinderfüllung deutlich verbessert und eine erhebliche Leistungssteigerung erreicht.

Getriebe

Gegenwärtig sind drei Getriebearten allgemein verbreitet: Das Klauengetriebe, bei dem mit Zwischengas geschaltet werden muß; das Synchrongetriebe und das Automatikgetriebe (in unterschiedlichen Ausführungen von der Wandlerkupplung bis zur Vollautomatik). Das Schalten von Klauengetrieben erfordert ein gewisses Maß an Erfahrung und Feingefühl, zumal nicht wie beim Pkw vier oder höchstens fünf Vorwärtsgänge zur Verfügung stehen, sondern acht, dreizehn oder sogar sechzehn Gangstufen. Da viele Hersteller die Ansicht vertreten, ein Lkw müsse sich ebenso leicht fahren lassen wie ein Pkw, werden zunehmend Synchrongetriebe eingebaut.

Die erwähnten Getriebeautomaten werden gerne im sogenannten 'on/off'-Betrieb eingesetzt, das heißt, bei Fahrzeugen, die ihre Last zwar über befestigte Straßen transportieren, aber zum Abladen auch schwieriges Gelände (Baustellen) befahren müssen. Eine Flüssigkeitskupplung, wie beispielsweise im amerikanischen Allison-Getriebe, bedeutet eine Zugkraftunterstützung auf weichem Untergrund.

Oben: Nahaufnahme einer Bremstrommel, die an die Lkw-Vorderachse angeschlossen ist. Das Luftdruckbremssystem wirkt auf alle sechs Räder.

Omnibusse, die meist auf den gleichen Leiterraum wie Lkws karossiert werden, sind oft mit einem halbautomatischen Getriebe ausgerüstet, um beispielsweise im Stadtverkehr einerseits dem Fahrer die Arbeit zu erleichtern und andererseits den Kupplungsverschleiß beim häufigen Anhalten und Anfahren möglichst gering zu halten.

Die Vielzahl der Gänge kommt bei einem Vielganggetriebe dadurch zustande, daß ein Grundgetriebe mit vier Gängen (im normalen H-Schema) mit einer Vorschaltgruppe verbunden wird. Dabei werden in der Ganggasse 1-2 nach Einschalten der Vorschaltgruppe die Gänge 5-6 usw. geschaltet. Das sind aber erst acht Gänge. Hinzu kann dann (meist als Sonderausstattung) noch ein Gangteiler (Splitter oder Nachschaltgruppe) kommen, so daß beispielsweise beim Getriebe SR61 von Volvo, das in den Typen F88 und F89—mit einem GG von 50 t—eingebaut wird, 16 Vorwärtsgänge zur Verfügung stehen. Daß das u. a. vom deutschen Hersteller Magirus in seinen 256 M 19 F und 320 M 19 F angebotene Fuller-Getriebe die ungerade Zahl von 13 Gängen hat, liegt daran, daß es in zwei Stufen mit vier Normalgängen und vier Schnellgängen geschaltet und dann untersetzt wird, was wiederum

vier Gänge ergibt. Der verbleibende einzelne Gang ist ein besonders stark unteretzter Anfahrgang.

Die vom 'Kraftstrang' (Motor, Getriebegruppe, Gelenkwelle, Hinterachse) auf die Antriebsräder übertragenen Drehmomente sind wegen der geringen Drehzahl langsam laufender Motoren so hoch, daß die Bauteile sehr stark belastet werden; außerdem wird bei einem großen Achskörper die Bodenfreiheit (Baustellenfahrzeuge) zu gering. Einige deutsche Hersteller haben sich aus diesem Grunde den sogenannten Radaußenantrieb patentieren lassen.

Im großen und ganzen geht es dabei darum, daß eine relativ schnell (und daher mit entsprechend geringem Drehmoment) umlaufende Gelenkwelle über ein Achsgetriebe (Differential) eine Achswelle antreibt, auf der ein Antriebsrad sitzt. Die Teile der Kraftübertragung bis zum Antriebsrad können wegen der geringeren Belastung kleiner dimensioniert werden, als sie sonst für die Übertragung der gleichen Motorleistung sein müßten—man vergleiche den Hinterachskörper eines Volvo mit dem eines gleichstarken Daimler Benz

Rad ein 'starrer Durchtrieb' ergibt. Damit können Räder auch in Schlammflöchern nicht durchdrehen, weil bei an einem Rad auftretendem Schlupf die gesamte Antriebsleistung auf die nicht durchdrehenden Räder geht—im Extremfall auf ein einziges Rad.

Bremsen

Mit Ausnahme der kleinsten, meist aus Pkws abgeleiteten, Nutzfahrzeuge (wie z. B. der VW-Transporter, 'Bully') haben alle Lkws eine Anlage zur Bremskraftunterstützung. Bis etwa 15 t GG verfügen sie (wie Pkws) über eine hydraulische Bremsanlage, die mit Unterdruck- oder Druckluftunterstützung arbeitet. Man spricht hier von einer Hilfskraft-Bremsanlage. Schwere Lkws sind mit Druckluftbremsen ausgerüstet, die ein motorgetriebener Luftpressor ('Kompressor') über Luftspeicher versorgt. Eine solche Anlage heißt Fremdkraft-Bremsanlage. Die Luftspeicher geben bei Betätigung der Betriebsbremse Druckluft an die Radbremsen; sie liefern bei Ausfall des Triebwerkes Druckluft für eine



Links: Unabhängige Aufhängung jeder der vier hinteren Halbachsen macht es diesem Lastwagen möglich, selbst auf holprigem Boden guten Halt zu fassen.

Unten: Eine Zugmaschinen-Anhänger-Kombination für transkontinentale Reisen. Die Zugmaschine hat einen 235 kW V-10-Dieselmotor mit Servolenkung und acht Gängen. Die Fahrerkabine ist mit zwei Schlafstellen ausgestattet.

oder MAN. Das für die Traktion erforderliche Drehmoment wird dann dort erzeugt, wo es gebraucht wird: am Rad. In der Radnabe läuft ein Hohlrad um. Zwischen ihm und einem Sonnenrad (auf der Achswelle) laufen, je nach Hersteller, drei oder fünf Planetenräder, die die Drehbewegung des Sonnenrades untersetzen und damit das Drehmoment vergrößern.

An dieser Stelle sollte darauf hingewiesen werden, daß im Unterschied zum normalen Pkw beim Lkw Zahl und Art der angetriebenen Achsen unterschiedlich sind, abhängig von den Einsatzbedingungen. Es gibt Lkws mit zwei angetriebenen Hinterachsen, mit einer zweiten mitlaufenden Hinterachse (zur Steigerung der Nutzlast), die bei Leerfahrt als 'Liftachse' um einige Zentimeter angehoben werden kann, was den Rollwiderstand vermindert und Reifengummi spart, sowie, vor allem wiederum bei Baustellenfahrzeugen, einem zuschaltbaren und meist auch sperrbaren Vorderachsantrieb (Allradantrieb). Selbstverständlich können bei solchen Fahrzeugen auch alle angetriebenen Hinterräder quer (d.h. links gegen rechts) und längs (d.h. im Verhältnis zu den angetriebenen Vorderrädern) gesperrt werden, so daß sich vom Motor bis zum angetriebenen



Notbremsung und dienen bei Stillstand des Fahrzeugs zur Betätigung der Feststellbremse (Federspeicher).

Bei Zugfahrzeugen (Motorwagen von Gliederzügen, Zugmaschine von Sattelzügen) ist ein besonderer Sicherheits-Druckluftkreislauf vorgesehen, der automatisch anspricht, sobald das gezogene Fahrzeug 'abreißt'. Das System ist so eingerichtet, daß bei völliger Drucklosigkeit in der Bremsanlage des gezogenen Fahrzeuges eine volle Bremsung erfolgt. Kleinere Anhänger (bis 8 t) dürfen statt einer solchen 'Abreißbremse' über eine 'Auflaufbremse' verfügen, wie sie oft auch bei Wohnwagen üblich ist, die von Pkws gezogen werden. Hier überträgt die Zugstange die Bewegung der Anhänger-gabel auf die Bremsnockenhebel der Vorderradbremse am Anhänger.

Schwere Lkws sind heute zunehmend mit einer sogenannten 'Dritten Bremse' oder Dauerbremse ausgerüstet. Sie arbeitet verschleißfrei und wandelt im Unterschied zu Reibungsbremsen Energie unmittelbar in Wärme um. Da sie nur bei rollendem Fahrzeug funktioniert, kann sie die beiden anderen Bremsen nicht ersetzen. Diese auch als 'Retarder' (Verzögerungseinrichtung) bezeichneten Anlagen dienen vor allem zum kontinuierlichen Abbremsen an langen Gefällstrecken; dies schont die Betriebsbremse und hält sie stets einsatzbereit. Es gibt eine Reihe von Systemen, von denen hier die Auspuffklappenbremse und die Telma (Wirbelstrombremse) vorgestellt werden sollen.

Zusätzlich zur Bremswirkung des Motors, die bei Viertaktmotoren im Schiebetrieb automatisch auftritt, kann man den Auspufftakt zum Verdichten heranziehen. Dies geschieht, indem man die Auspuffleitung (in unterschied-

lichem Maß regelbar) verschließt. Dadurch werden die Verbrennungsgase, die die Bewegung der Kolben kennen, im Motor zurückgehalten. Gleichzeitig mit dem Verschließen der Auspuffleitung wird automatisch die Kraftstoffeinspritzung abgestellt sowie Gas- und Kupplungspedal blockiert.

Die Telma arbeitet nach dem Wirbelstromprinzip. Sie wird zwischen Getriebe und Ausgleichsgetriebe im Kraftstrang eingebaut und besteht aus einer Weicheisenscheibe, die sich in einem von der Batterie erzeugten, regelbaren Magnetfeld bewegt. Die entstehenden Wirbelströme bremsen die Scheibe ab. Bei einer anderen Ausführung besteht das feststehende Magnetsystem aus Klauenpolen, die von einer Ringspule magnetisiert werden. Um sie herum rotiert eine vom Differential angetriebene Bremsstrommel. Die entstehenden Wirbelströme erzeugen in dieser Trommel Wärme. Die Trommel wird, wie auch die andere Ausführung, vom Fahrtwind gekühlt.

Noch wichtiger als bei Solofahrzeugen ist der aus dem Pkw-Bau bekannte Bremskraftbegrenzer, der dafür sorgt, daß, insbesondere für Gliederzüge, vor allem aber für Sattelschlepper, die Hinterräder weniger stark abgebremst werden als die Vorderräder, damit das Heck den Vorderwagen nicht 'überholen' kann.

In gewisser Hinsicht gehört zur Gruppe der Bremskraftbegrenzer das in solchen Fällen wenig wirksame lastabhängige Bremsventil. Es steuert den auf die Radbremsen wirkenden Druck entsprechend der auf der jeweiligen Achse liegenden Last.

Man macht seit längerer Zeit Versuche mit ABS (Antiblockiersystemen), die bei Flugzeugen und Eisenbahnzügen schon längst üblich sind. Diese Bremsschlupfregler bewirken, daß beim Abbremsen eines Rades die Bremskraft nicht die Reibungskraft zwischen Rad und Untergrund überschreiten kann. Grob gesagt verhindert der Regler ein weiteres Bremsen bei einem Rad, das sich mit Schlupf (Gleitreibung) statt mit Haftreibung über den Untergrund bewegt.





OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

Verfahren zur Oberflächenbehandlung werden bei der Herstellung von Metallwaren angewendet. Mit ihrer Hilfe lassen sich dekorative oder auch schützende Überzüge auf die fertigen Erzeugnisse aufbringen.

Bei der Herstellung von Fertigwaren aus Metallwerkstoffen kann in verschiedenen Bearbeitungsstufen eine Oberflächenbehandlung erforderlich werden. So muß etwa die ursprüngliche Werkstoffoberfläche zur weiteren Bearbeitung vorbereitet werden. Beispiele hierfür sind das Entzundern eines Schmiedestückes vor der maschinellen Weiterbearbeitung oder das

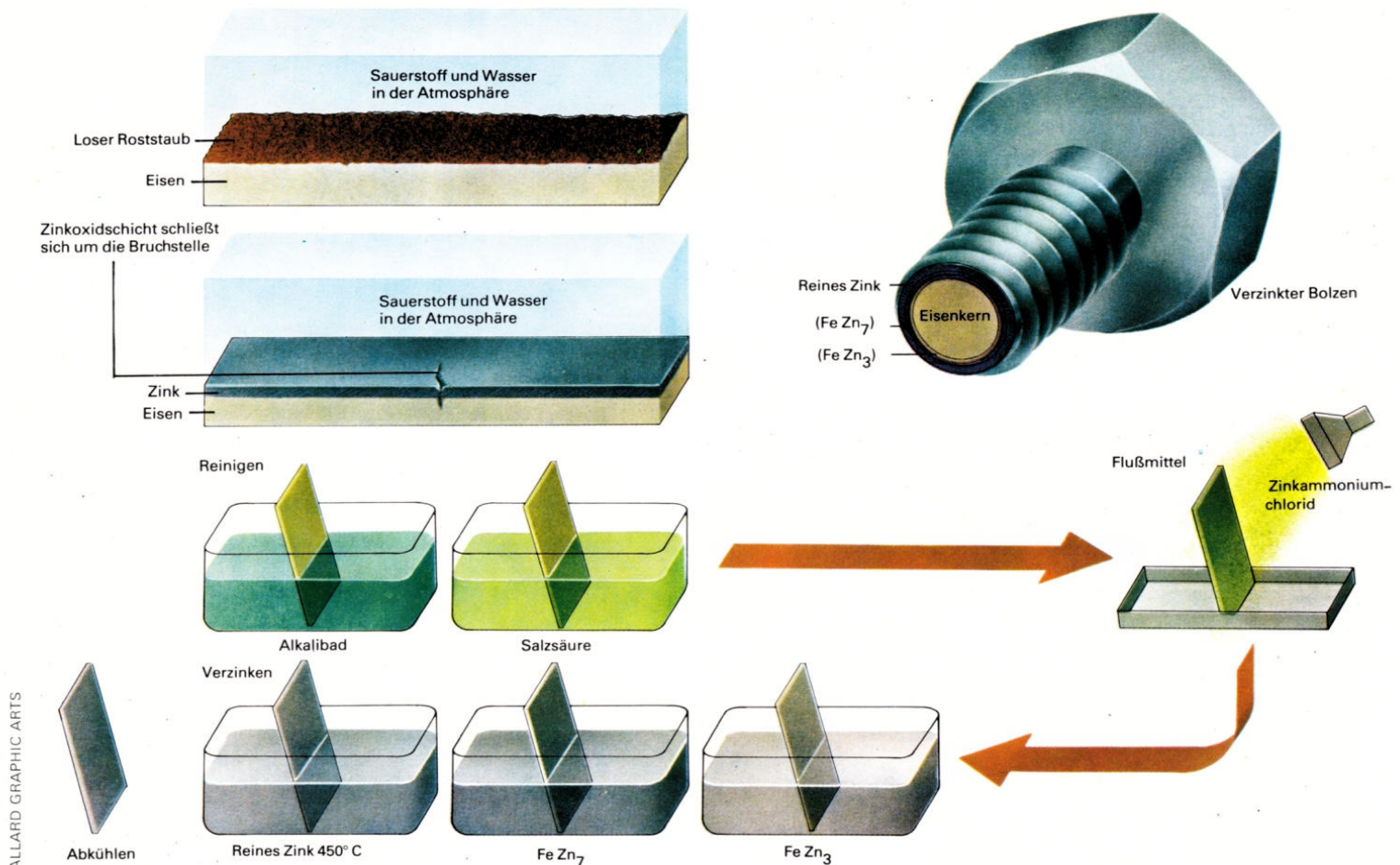
Reinigen und Polieren einer noch unfertigen Oberfläche vor der abschließenden Behandlung. Bei der fertigen Oberfläche ist häufig noch das Aufbringen eines Korrosionsschutzes erforderlich—etwa in Form eines Farb- oder Lackanstriches oder auch durch Elektroplattieren. Beides hat auch dekorative Wirkung. Die Oberflächenbehandlung gliedert sich somit in zwei Kategorien: In die Vorbereitungsarbeiten, wobei es sich im wesentlichen um eine Reinigung der jeweiligen Metalloberfläche handelt, und in die abschließenden Arbeiten, die entweder Schutz- oder dekorativen Zwecken dienen und mit deren Hilfe sich eine extrem glatte oder harte Oberfläche erzielen läßt, wie z.B. die Wärmebehandlung oder das Maßschleifen der Auflageflächen von Maschinenteilen.

Unten: Arbeiter in Schutzkleidung bei der Bedienung eines Sandstrahlgebläses, das große Sandpartikel durch einen flexiblen Schlauch auf das zu reinigende Werkstück schleudert.

Putzen und Entzundern

Nach dem Schmieden oder Gießen von Metallstücken müssen diese häufig nachbehandelt werden, um Sand, Gußhaut, Zunderschichten und Kanten zu entfernen, bevor





sie zu Werkzeugen weiterverarbeitet werden können. Geschieht dies nicht, können Zerspannungswerkzeuge vorzeitig stumpf werden und ihre Maßhaltigkeit darunter leiden.

Das Schleifen und Bürsten erfolgt mittels pneumatisch oder elektrisch angetriebener Handwerkzeuge. Beim Trommelpoliervorgang werden kleinere Werkstücke mit kleinen, sternförmigen Gußeisenteilen in rotierenden Trommeln bearbeitet, die mit einer Geschwindigkeit von 10 U/min bis 15 U/min etwa eine halbe Stunde lang laufen. Man erhält so eine hochglanzpolierte Oberfläche. Bei den Kugel- bzw. Sandstrahlverfahren wird das Strahlmittel mit hoher Geschwindigkeit in einem stetigen Strom auf die zu reinigende Oberfläche aufgebracht. Man verwendet große Sandpartikel oder auch Granalien, d.h. runde oder eckige Hartgußteilchen, die durch einen flexiblen Schlauch auf das zu reinigende Werkstück aufgeschleudert werden. Bei kleineren Werkstücken erfolgt die Bearbeitung in einer Kammer, die ein Fenster haben kann, durch das der Bediener seine Arbeit an jedem Teil überwachen kann. Beim automatischen Verfahren bearbeiten mehrere feststehende Düsen viele Werkstücke gleichzeitig. In diesem Falle muß der Arbeiter Schutzkleidung tragen, zu der auch ein Helm mit unabhängiger Luftzufuhr gehört.

Beim Naßverfahren erfolgt die Reinigung der Gußstücke mittels eines Wasserstrahles, der mit einer Geschwindigkeit von 300 km/h und 80 bar aufgebracht wird. Eine hydraulische Gußputzanlage erfordert erhebliche Investitionen, so daß es einer ständigen Auslastung mit großen Gußteilen, wie z.B. den Kurbelgehäusen von Dieselmotoren, bedarf, um derartige Ausgaben zu rechtfertigen. Das elektrochemische Verfahren verwendet eine Alkalilauge in einem elektrolytischen Trog. Eine solche Anlage zur Reinigung von Gußteilen mit einem Gewicht zwischen 500 kg und 7500 kg arbeitet mit maximal 20 000 A. Als Nebenprodukt entsteht Natriumsilikat.

Ein anderes Verfahren zur Entfernung von Gußhaut oder

Schematische Darstellung eines galvanischen Prozesses. Das Werkstück wird vor dem eigentlichen Verzinken in einem Alkalibad und Salzsäure gereinigt, mit Zinkammoniumchlorid besprüht und dann in immer reinere Zinklösungen getaucht.

Zunderschichten ist das Abbeizen oder Dekapieren, bei dem das Metallteil in eine 5%ige bis 10%ige, 60°C bis 80°C heiße Schwefelsäurelösung getaucht wird. Aufgrund der relativ langen Reaktionszeit hat das Dekapierverfahren zugunsten der Kugelstrahlverfahren an Bedeutung verloren. Es wird jedoch auch zur Reinigung von Warmwalzstahl in Stahlwerken verwendet. Überall dort, wo enge Maßtoleranzen und ein glattes Oberflächenfinish gefordert werden, ist das Kaltwalzen unumgänglich, denn nur so erhält man eine glatte, dichte Oberfläche. Zur Vorbereitung eines Warmwalzproduktes auf das nachfolgende Kaltwalzen, etwa zur besseren Maßgenauigkeit, zur Entfernung einer Oxidschicht nach dem Härten oder auch zum Aufrauen der Oberfläche von Bandmaterial für spezielle Zwecke, verwendet man gelegentlich eine Endlosband-Schleifmaschine. Diese Maschine kann, abhängig von der von der Oberfläche zu entfernenden Metallmenge, bis zu 20 m Bandmaterial pro Minute bearbeiten.

Polieren

Oberflächen höchster Güte erhält man durch elektrolytisches Polieren. Im Prinzip handelt es sich dabei um eine Umkehrung des Galvanisierens, wobei das Werkstück als Anode anstatt als Katode geschaltet wird und die hervorstehenden Spitzen und Kanten der Metalloberfläche abgetragen werden. Dazu werden sehr unterschiedliche Lösungen verwendet, bei rostfreiem Stahl z.B. Phosphorsäure und Butanol. Die daraus resultierende Oberflächenbeschaffenheit ist der durch mechanisches Schwabbeln erreichbaren Oberflächenbeschaffenheit vergleichbar, wenn nicht gar überlegen. Dieses Verfahren eignet sich in

erster Linie für Teile mit unregelmäßiger Oberfläche, die sich auf andere Weise nur schlecht oder gar nicht polieren ließen, wie z.B. Schmuckstücke oder Teile der Innenausstattung von Automobilen u.ä.

Die Auflageflächen von Maschinenteilen werden häufig noch einer Feinstbearbeitung unterzogen. Dabei handelt es sich um ein Schmirgelverfahren, wodurch bei der spanabhebenden Bearbeitung und beim Schleifen verbliebene Metallrückstände abgetragen und kleine Kratzer und Unebenheiten von Werkstücken entfernt werden, bei denen hochglänzende Oberflächen erforderlich sind. Das Verfahren ähnelt dem Läppen: Ein gefetteter Schleifkörper wird mit geringem Druck und relativ niedriger Geschwindigkeit über das Werkstück geführt.



Oberflächenreinigung eines Gasturbinengehäuses mit einem Druckluft-Schweißhammer.

Überzüge

Als Korrosionsschutz, aber auch für dekorative Zwecke, eignen sich verschiedene Überzüge, die auf das Metall aufgebracht werden. Farben und Lacke werden nach der chemischen Entfettung mechanisch auf dem Werkstoff verteilt, doch sind auch chemische und elektrische Verfahren zum Überziehen von Werkstücken mit Schutz- bzw. Farbschichten gebräuchlich. Eine breite Palette von Oxidfarben, von Bleichgold bis Stahlgrau, läßt sich mit Hilfe von Lösungen der entsprechenden löslichen Sulfide auf Kupfer- und Messingteile aufbringen. Beim sogenannten Eloxieren wird auf einem Leichtmetall, z.B. Aluminium, eine dünne Schutzschicht aus einem Oxid hergestellt, um den weiteren Luftzutritt zu unterbinden und unter Wahrung des Glanzes einen Korrosionsschutz zu bewirken. Dabei wird der Gegenstand als Anode in ein elektrolytisches Bad aus einer 3%igen Chromsäurelösung gehängt und die Spannung im Laufe einer



Eines der größten Heiß-Zinktauchbäder der Welt. Es ist etwa 17 m lang, 2,50 m tief und faßt 1100 t Zink.

Stunde schrittweise auf maximal 50 V erhöht. Oxal- oder Schwefelsäure finden zu diesem Zweck ebenfalls Verwendung. Die anodische Schicht läßt sich verschiedenfarbig einfärben. Zu den galvanischen Verfahren zählt auch das elektrolytische Verzinken von Stählen zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit. Beim Sherardisieren dagegen handelt es sich um das Verzinken eiserner Gegenstände mit Zinkstaub in Eisentrommeln. Auch Farbschichten eignen sich als Korrosionsschutz. Ein neu entwickeltes Pigment soll z.B. das Nachstreichen von rostfreiem Stahl um 30% reduzieren.

Metalloberflächen werden zur Erhöhung ihrer Verschleißfestigkeit wie zur Ausbesserung bereits abgenutzter Bereiche mit metallischen Überzügen versehen. Auch lassen sich Maschinenteile, deren Ersatz mit hohen Kosten verbunden wäre, häufig auf diese Art reparieren. Ein gängiges Verfahren ist das Elektroplattieren, daneben gibt es das Lichtbogensmelzen und das Metallspritzverfahren. Bei letzterem werden die aufzuspritzenden Metalle in Pulverform einer Spritzpistole zugeführt. Die durch eine Sauerstoff-Acetylenflamme erhitzten Metallpartikel machen eine exotherme Reaktion durch, wodurch eine Schmelzverbindung mit dem Substrat erreicht wird. Beim Lichtbogensmelzen wird das geschmolzene Metall mittels Druckluft auf dem Werkstück zerstäubt. Bei hohen elektrischen Strömen lassen sich auf diese Weise Niederschlagsmengen von bis zu 55 kg pro Stunde erzielen. Letzteres hat sich insbesondere bei Reparaturen an größeren Maschinenteilen bewährt, deren Verschleißflächen sich durch Aufbringen einer Chromstahlschicht ausbessern lassen; dadurch können gegebenenfalls lange Wartezeiten auf Austauschteile vermieden werden.

OBERFLÄCHENSspannung

Mit Hilfe der Oberflächenspannung läßt sich erklären, wie Löschpapier funktioniert oder warum sich Insekten auf der Wasseroberfläche bewegen können.

Die Oberfläche jeder Flüssigkeit verhält sich wie eine elastische Schicht. Ein Tropfen einer Flüssigkeit neigt dazu, die kleinstmögliche Oberfläche einzunehmen. Der Körper mit der kleinsten Oberfläche ist eine Kugel. Im schwerelosen Raum würde der Tropfen also Kugelform annehmen. Durch die Anziehungskraft der Erde verformt sich der Tropfen. In ähnlicher Weise wird ein fallender Regentropfen durch den Luftwiderstand etwas verformt.

Dieser Oberflächenspannungseffekt kann folgendermaßen erklärt werden: Auf ein Molekül innerhalb der im Tropfen befindlichen Flüssigkeit wirken von allen Seiten die gleichen Anziehungskräfte der benachbarten Moleküle. Moleküle, die sich aber an der Oberfläche des Tropfens befinden, erfahren die Anziehungskräfte der Moleküle in dem Tropfen und die Anziehungskräfte der den Tropfen umgebenden Luftmoleküle. Da die Anziehungskräfte der Luftmoleküle geringer als die Anziehungskräfte der Flüssigkeitsmoleküle sind, wirkt eine resultierende Kraft in das Innere der Flüssigkeit, wodurch sich deren Oberfläche wie eine elastische Haut verhält.

Die nach innen wirkende Kraft wirkt so, als zöge sie die Oberfläche einer Flüssigkeit zusammen. Die senkrecht zur Flüssigkeitsoberfläche wirkende Kraft kann gemessen werden. Bei Wasser beträgt diese Kraft 70×10^{-5} N (700 Millionstel

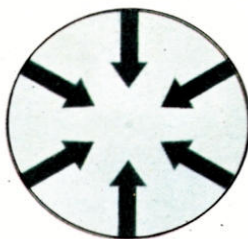
Newton) pro Zentimeter. Obwohl diese Kraft sehr klein erscheint, reicht sie doch aus, eine Stecknadel, die vorsichtig auf die Wasseroberfläche gelegt wird, zum Schwimmen zu bringen oder kleine Insekten wie Wasserschneller über die Wasseroberfläche zu bewegen, ohne einzusinken. Die Oberflächenspannung von Alkohol beträgt nur 20×10^{-5} N/cm. Flüssige Metalle, wie z.B. Quecksilber, haben höhere Oberflächenspannungswerte. Quecksilber hat eine Oberflächenspannung von 470×10^{-5} N/cm. Die Oberflächenspannung aller Flüssigkeiten nimmt mit steigender Temperatur ab.

Die Oberflächenspannung nimmt ebenfalls durch Zusatz von Detergentien (Reinigungsmittel), die sich an der Oberfläche der Flüssigkeit anlagern, ab. Bereits ein geringer Zusatz von Detergentien setzt die Oberflächenspannung so weit herunter, daß weder eine Nadel noch ein Wasserschneller von der Wasseroberfläche getragen wird. Die geringere Oberflächenspannung bedeutet, daß ein dünner Flüssigkeitsfilm leicht durchbrochen werden kann. Dies wiederum bedeutet, daß sich auf mit Detergentien versetztem Wasser große, stabile Schaumblasen bilden können.

Befindet sich eine Flüssigkeit in Kontakt mit einem Festkörper, ist die Anziehungskraft zwischen den Festkörper/Flüssigkeitsmolekülen stärker als zwischen den Flüssigkeits/Flüssigkeitsmolekülen. Die sogenannte Adhäsionskraft ist dafür verantwortlich, daß sich Wasser an einer Glasfläche 'hochzieht'. Es bildet sich ein Meniskus (gekrümmte Oberfläche) aus. In sehr engen Glasröhren (Kapillaren) bedeutet die Krümmung, daß ein Druckunterschied an der Oberfläche der Flüssigkeit besteht. Der atmosphärische Druck, der auf die Oberfläche der Flüssigkeit einwirkt, drückt die Flüssigkeit in den Kapillaren so lange hoch, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Wie hoch eine Flüssigkeit in der Kapillare steigt, hängt von ihrem Durchmesser ab. Theoretisch kann Wasser in der Kapillare in eine Höhe von 10 m steigen, bis ein Gleichgewicht mit dem atmosphärischen Druck erreicht ist. Kapillareffekte spielen bei der Wasserversorgung von Pflanzen oder bei Löschpapier eine bedeutende Rolle. Hier wirken durch die Zwischenräume in der Zellulose kapillare Kräfte.

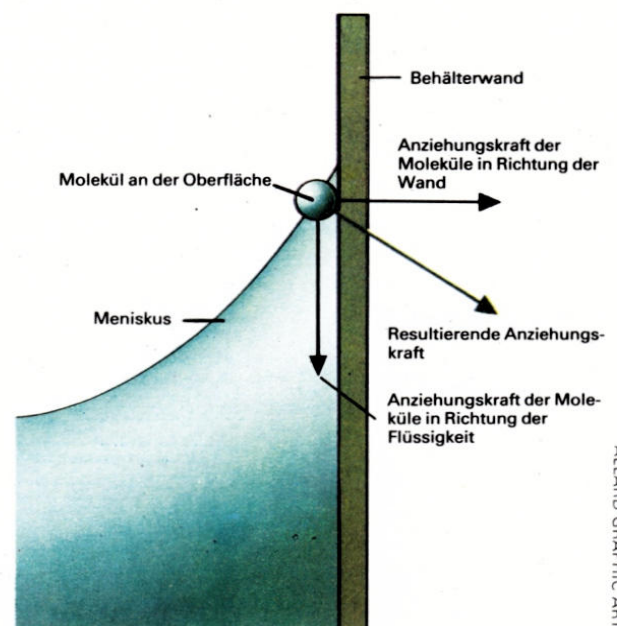
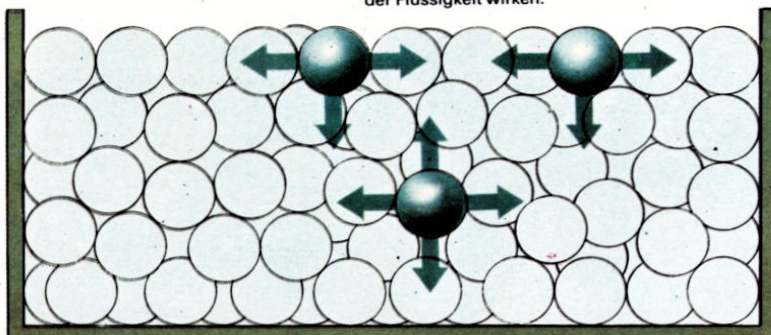
Unten: Jedes Molekül zieht jedes andere Molekül an. Hierdurch bildet sich bei Flüssigkeiten ein Tropfen, der scheinbar von einer Haut überzogen ist. Da die Gravitationskraft größer als die Oberflächenspannung ist, wird der Flüssigkeitstropfen deformiert.

Flüssigkeit auf einer Oberfläche bildet eine Fläche mit minimaler Oberflächenenergie



Kräfte, die innerhalb eines Flüssigkeitstropfens wirken

Kräfte, die auf die Moleküle innerhalb und am Rande der Flüssigkeit wirken.



OBSERVATORIUM

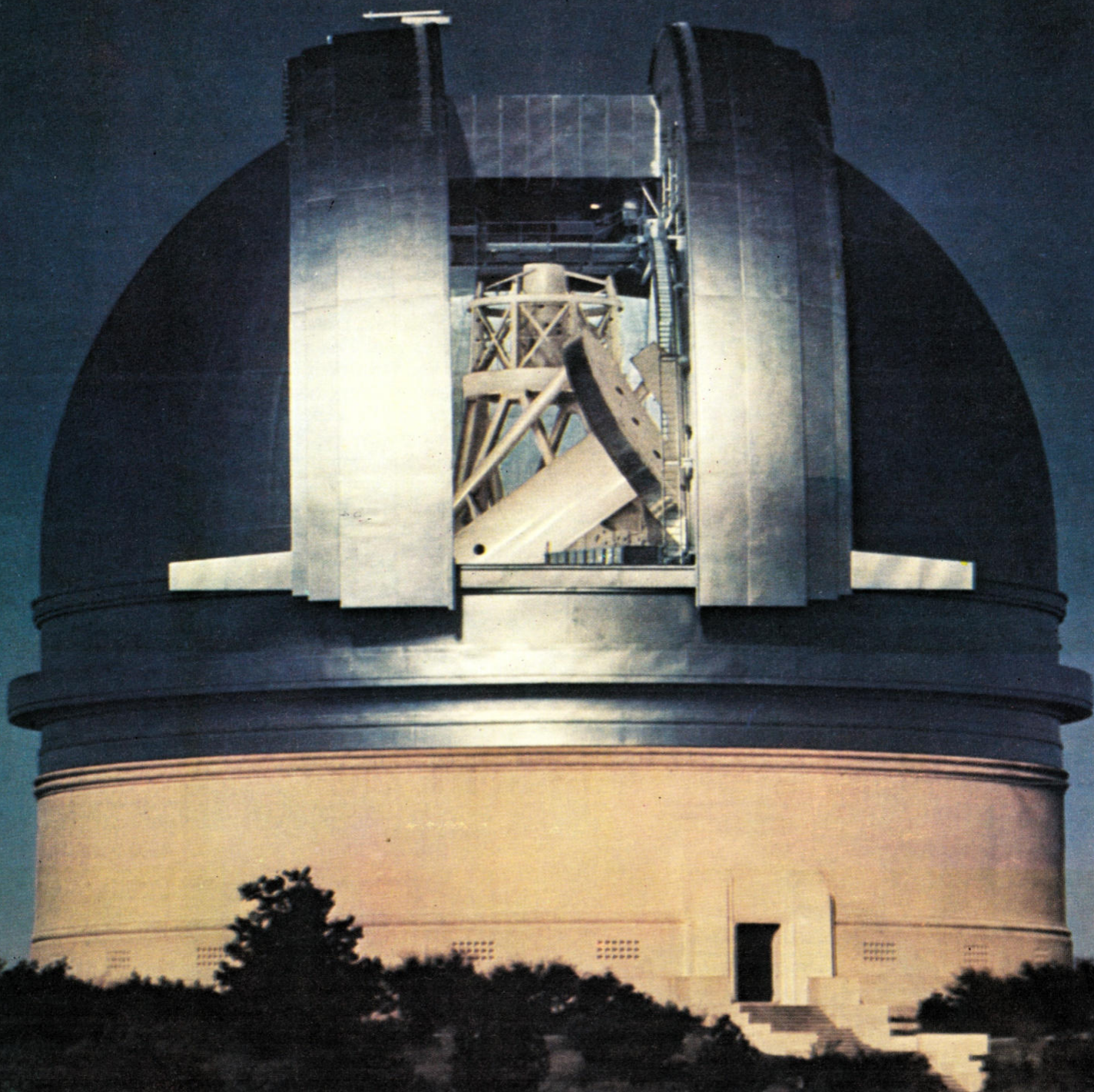
Die heutigen Astronomen bevorzugen zur Aufstellung ihrer Teleskope Observatorien auf den Gipfeln entlegener Berge, wo die Luft klar und ungestört und der Himmel wirklich dunkel ist.

Unter 'Observatorium' versteht man jede Art von Einrichtung zur Beobachtung eines physikalischen Phänomens. So gibt es etwa geophysikalische Observatorien oder Gezeitenobservatorien. Observatorien im engeren Sinne sind Stationen zur Beobachtung astronomischer Vorgänge, also Sonnen- und

Sternwarten. Um gute Bedingungen zu gewährleisten, müssen Standort und Gebäude eines astronomischen Observatoriums sorgfältig ausgewählt werden.

Früher konnten die Astronomen ihre Beobachtungen von bequem gelegenen Plätzen in der Nähe ihrer Wohnung durchführen. William Herschel (1738 bis 1822) entdeckte im Jahre 1781 den Planeten Uranus, als er im Garten hinter

Das 5,08-m-Hale-Teleskop in Mount Palomar in Kalifornien. Die Installation des Teleskopes, das über 500 t wiegt, wurde im Jahre 1948 abgeschlossen.

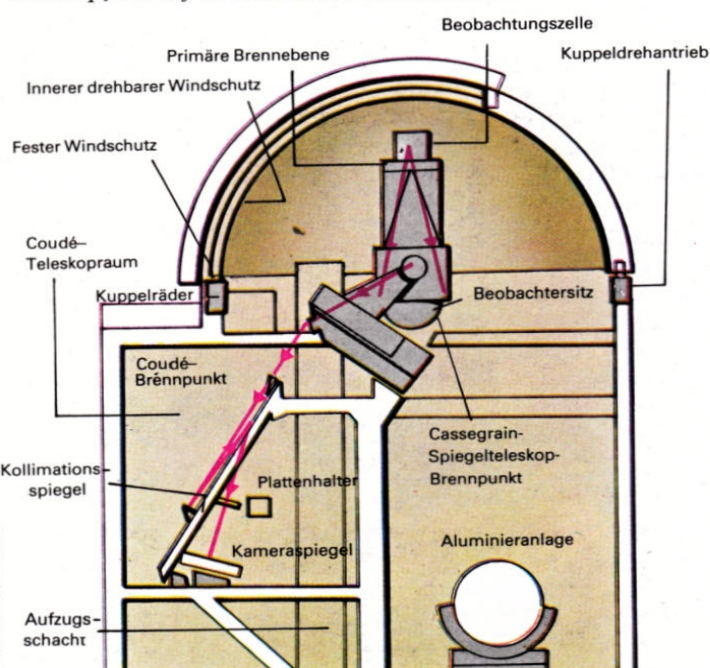




seinem Haus den Himmel studierte. Im 19. Jahrhundert wurde es allgemein üblich, daß die Universitäten ihre eigenen Observatorien, meistens auf dem Universitätsgelände, einrichteten. Gegen Ende des Jahrhunderts jedoch, als die Teleskope immer größer wurden und gleichzeitig auch die Stadtbevölkerung wuchs, wurden die Vorteile eines Standortes in größerer Entfernung von Städten offensichtlich. Es gibt zwar noch einige größere Observatorien in der Höhe des Meeresspiegels, aber die meisten großen astronomischen

Eines der wichtigsten neuen Observatorien der Welt, das European Southern Observatory (ESO, Europäisches Süd-Observatorium), während des Aufbaus in Chile. Es bietet weit bessere Beobachtungsbedingungen als irgendwo in Europa.

Unten: Eine Teleskopkuppel schützt das Gerät, wenn es nicht benutzt wird und schirmt es während des Betriebes gegen Wind und Streulicht ab. Der Querschnitt zeigt das 2,5 m-Isaac-Newton-Teleskop, das auf den Kanarischen Inseln steht.



Teleskope stehen jetzt auf hohen Bergen. Die städtischen Observatorien ('Volkssternwarten') dienen heute dem Unterricht und der Öffentlichkeit.

Die Luftverschmutzung ist normalerweise auf die unteren Schichten der Atmosphäre begrenzt. Ein weiterer Faktor für die Qualität der Beobachtung ist die 'Sicht', die durch jede Art von Turbulenz in der Luft zwischen dem Teleskop und dem beobachteten Objekt beeinträchtigt wird. Bei schlechter Sicht wird aus dem punktförmigen Bild eines Sterns in einem großen Teleskop ein flackernder, verwaschener Lichtfleck, der manchmal zu explodieren scheint, um einige Augenblicke später an einer wenig entfernten Stelle wieder aufzutauchen. Schlechte Sichtverhältnisse können beispielsweise durch Winde in großer Höhe zustandekommen, aber oft sind dafür auch Turbulenzen in der Nähe des Teleskopes verantwortlich. Über Städten mit ihren ungleichmäßigen Konturen, geheizten Gebäuden und anderen Wärmequellen herrschen selbst an ruhigen, kühlen Tagen ohne starke Erwärmung durch die Sonne, sehr unruhige Luftverhältnisse. Auf dem Gipfel eines Berges dagegen befindet sich das Teleskop über all diesen Turbulenzquellen. Trockene, dunstfreie Luft ist ebenfalls wünschenswert.

Wahl des Standortes

Viele gebirgige oder hügelige Gebiete zeichnen sich durch schlechte Wetterbedingungen aus. Sehr umfangreiche Untersuchungen sind deshalb nötig und werden heute weltweit durchgeführt, um lohnende künftige Standorte für Observatorien zu finden. Wolken in höheren Lagen kommen oft dadurch zustande, daß bei normalem, klarem Wetter die Sonne die unteren Schichten der Atmosphäre erwärmt, wodurch starke Turbulenzen entstehen. Wenn diese Luft-

massen auf Berge treffen und aufsteigen, kondensiert bei der Abkühlung der Wasserdampf und bildet Wolken. Ideale Bedingungen für ein Observatorium findet man in Gebieten mit 'Temperaturinversion', wo also aus irgendeinem Grunde kalte Luft unter einer Schicht warmer Luft eingesperrt bleibt. Diese Situation tritt oft an den Westküsten der Kontinente auf, wenn über dem Ozean ein stabiles Hochdruckgebiet liegt, insbesondere entlang der Küste von Kalifornien und von Chile. Die Küstenlinie ist meistens nebelverhüllt, da eine kalte Meeresströmung am Festland entlangzieht. Durch die Inversion werden Feuchtigkeit und Verunreinigungen der Luft in niedrigen Lagen gehalten, und darüber herrschen sehr klare, trockene Luftverhältnisse.

Aus diesen Gründen herrschen an den Observatorien, die in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts in Kalifornien gebaut wurden (z.B. Mt. Hamilton und Mt. Palomar), ausgezeichnete Sichtverhältnisse und Wetterbedingungen. In neuerer Zeit hat man Observatorien in den Ausläufern der Anden gebaut, wo nach Ansicht vieler Fachleute die besten Sichtbedingungen herrschen. Diese Observatorien befinden sich oft in sehr ruhiger Luft oberhalb einer geschlossenen Wolkendecke, so z.B. die Observatorien von Cerro Tolol und La Silla, die beide in einer Höhe von 2400 m errichtet wurden und mit Teleskopen von 4 m Durchmesser ausgerüstet sind. Auch ein neues südafrikanisches Observatorium in Sutherland, in der Halbwüste Karoo, genießt ähnliche klimatische Verhältnisse.

Gute Beobachtungsbedingungen finden sich auch dort, wo ein einsamer Gipfel in einen stabilen Luftstrom hineinragt. Diese Situation liegt beim 2860 m hohen Observatorium auf

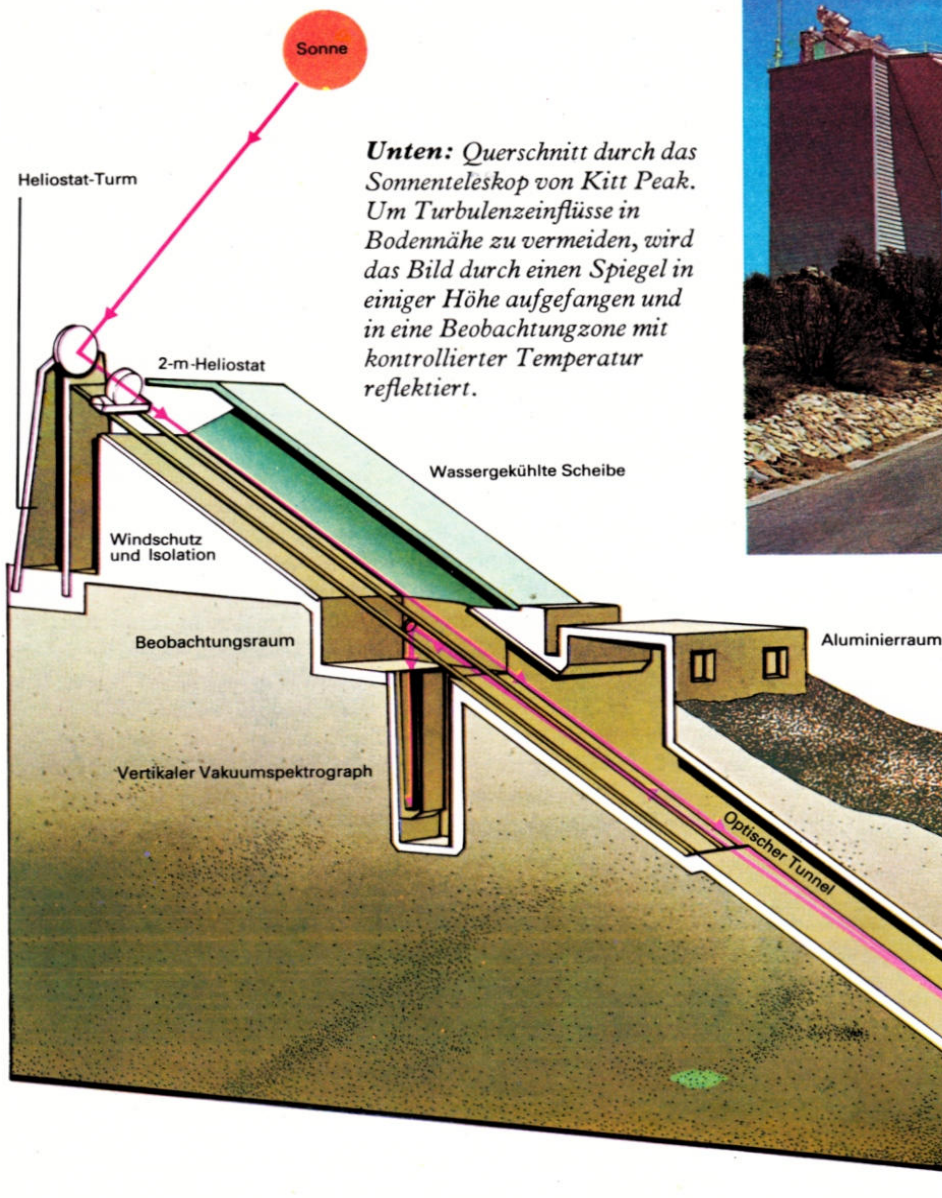
dem Pic du Midi vor, der den französischen Pyrenäen vorgelagert ist und durch die Gebirgskette von den Hauptwindrichtungen abgeschirmt ist. Auf den erloschenen Seevulkanen von Mauna Kea (Hawaii) und auf Teneriffa (Kanarische Inseln) finden sich ähnliche Bedingungen.

Gebäude

Nachdem die Entscheidung über den Standort unter optimaler Berücksichtigung der verschiedenen Erfordernisse, darunter auch leichte Erreichbarkeit und Störungsfreiheit von Flugzeugen und Luftverkehr, gefallen ist, muß auch auf die Gestaltung der Gebäude große Sorgfalt verwendet werden. Das Hauptziel besteht darin, die Temperatur innerhalb der Kuppel des Observatoriums, wo das Teleskop untergebracht ist, so genau wie möglich der nächtlichen Außentemperatur anpassen zu können. Wenn es unter der Kuppel zu warm wäre, würde die Luft bei Öffnung der Kuppel nach außen strömen und sehr schlechte Sichtverhältnisse erzeugen. Aus diesem Grunde werden die Kuppeln weiß gestrichen, um das Sonnenlicht während des Tages zu reflektieren. Außerdem wird das Gebäude gut isoliert, so daß die Innentemperatur nicht stark von der Nachttemperatur abweicht.



Oben: Das Kitt Peak Observatorium in Arizona besitzt auch ein 4-m-Spiegel-Teleskop.



Unten: Querschnitt durch das Sontenteleskop von Kitt Peak. Um Turbulenzeinflüsse in Bodennähe zu vermeiden, wird das Bild durch einen Spiegel in einiger Höhe aufgefangen und in eine Beobachtungzone mit kontrollierter Temperatur reflektiert.

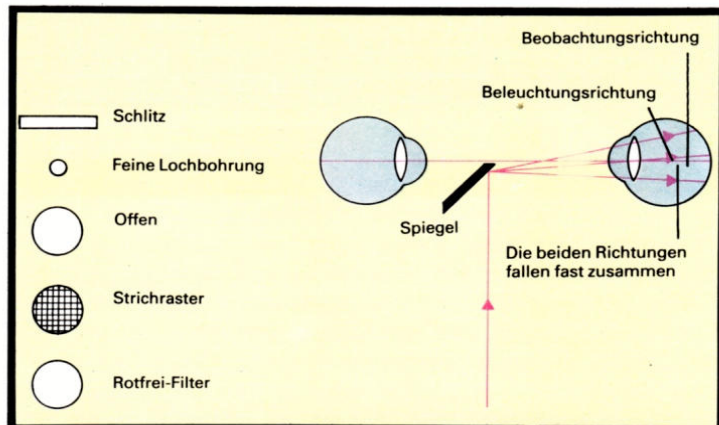
OPHTHALMOSKOP

Die Pupille ist ein kleines schwarzes 'Fenster' des Auges, das uns einen Blick in eine weite, große Landschaft erlaubt. Niemand konnte jedoch von außen ins Auge hineinschauen, ehe das Ophthalmoskop (Augenspiegel) erfunden wurde.

Früher glaubte man, daß die Schwärze der Pupille durch die vollständige Absorption des Lichts durch das Auge zustandekäme. Erst Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894) entdeckte, daß das meiste Licht, das ins Auge einfällt, auch reflektiert wird und von einem Beobachter aufgefangen werden kann. Im Jahre 1851 hatte er die Idee, einen Lichtstrahl mit einem Spiegel ins Auge zu lenken und den Spiegel in der Mitte zu durchbohren, so daß ein Beobachter hindurchsehen konnte.

Für diagnostische Zwecke ist es wichtig, ein gutes Bild des Augenhintergrundes (Fundus Oculi), des Teiles des Auginnenraums zu gewinnen, der bei einem Blick durch die Pupille zugänglich ist. Aus der Untersuchung des Augenhintergrundes kann der geschulte Beobachter auf Mißbildungen und krankhafte Veränderungen im Auge schließen. Einige Krankheiten, beispielsweise Diabetes ('Zuckerkrankheit'), machen sich zuerst im Auge bemerkbar, ehe es zu anderen Symptomen kommt. Ein durchbohrter Spiegel allein reicht jedoch nicht aus, um den Augenhintergrund sichtbar zu machen; man erhält nur einen roten Fleck. Helmholtz fand, daß man eine Kondensorlinse mit etwa 10 cm Brennweite in den Strahlengang bringen muß, womit man ein umgekehrtes, etwa fünffach vergrößertes Bild des Augenhintergrundes bekommt. Die Kombination von Spiegel und in der Hand gehaltenem Kondensor war für Augenuntersuchungen bis etwa 1920 üblich.

Heute gibt es zur Augenuntersuchung mit dem Ophthalmoskop kleine, tragbare und leicht zu bedienende Instrumente. Von einer winzigen Lampe, die von Trockenbatterien im Handgriff des Gerätes versorgt wird, fällt Licht auf ein Prisma oder einen durchbohrten Spiegel aus Glas oder Edelstahl und von dort als feiner Strahl durch die Pupille ins Auge des Patienten. Das fünfzehnfach vergrößerte Bild wird durch das zentrale Loch des Spiegels beobachtet und durch Auswahl einer der auf einer der auf einer Drehscheibe aufgebrachten Linsen scharf eingestellt (fokussiert). Der Beobachter kann die Linsenwählscheibe leicht mit dem Zeigefinger durchdrehen. Es ist interessant, daß die Brechkraft, die man



Oben rechts: Dieses Ophthalmoskop benutzt einen Spiegel, kein Prisma, zur Orientierung des Lichtstrahls. Damit fallen Beleuchtungsachse und Beobachtungsachse fast zusammen, und es ist leichter, den Strahl durch eine kleine oder verengte Pupille zu schicken. **Oben:** Die Lampe hat einen orientierten Glühfaden, und ein Regelwiderstand ändert die Lichtstärke.



braucht, um das Bild zu fokussieren, gerade dem Brechungsfehler des Auges entspricht und etwa die Stärke der Brille angibt, die man zur Korrektur der Sicht braucht. Dies ist jedoch nicht die Aufgabe des Instrumentes, das speziell zur Untersuchung des Augeninnern konstruiert ist.

Viele Instrumente sind auch mit verschiedenen Filtern ausgerüstet, z.B. rotfreie Filter und Polarisations-scheiben, mit denen man Beobachtungen machen kann, die mit weißem Licht nicht möglich wären. Ein quadratisches Netz von Linien kann auf die Netzhaut projiziert werden, so daß für eine bestimmte Stelle Bezugspunkte angegeben werden können. Es gibt auch eine neue Art von Ophthalmoskop, das einen Laserstrahl projiziert. Dieses Gerät wird in der Augen-chirurgie benutzt, um das Gewebe bei abgelöster Retina wieder anzuschweißen. Für die klinische Forschung und um gründlichere Untersuchungen des Auges durchführen zu können, sind große zweiäugige Ophthalmoskope entwickelt worden die auf einem Instrumententisch aufgebaut werden. Damit kann man ein großes stereoskopisches (dreidimensionales) Bild des Augenhintergrundes in fünfzehnfacher Vergrößerung erhalten.

OPTIK

Das Studium der Optik ermöglicht es uns, die Welt um uns herum viel genauer zu sehen, als es mit nacktem Auge möglich wäre. Mikroskope, Teleskope, Kameras und Ferngläser benutzen die Grundlagen der Optik.

Optik ist der Zweig der Physik, der sich mit der Natur und dem Verhalten von Licht befaßt. Sie wird gewöhnlich in drei Bereiche unterteilt: Die geometrische Optik beschreibt das Verhalten der Lichtstrahlen; die physikalische Optik behandelt die Natur des Lichtes und die daraus folgenden Eigenschaften; die Quantenoptik erklärt die Wechselwirkung von Licht mit den atomaren Bestandteilen der Materie.

Geometrische Optik

Die geometrische Optik ist eine Methode, das Verhalten von Licht durch die Annahme zu beschreiben, daß Licht sich in einem homogenen, transparenten Material, dem Medium, und im Vakuum geradlinig ausbreitet und seine Richtung nur an der Grenzfläche zwischen zwei (oder einem Medium und dem Vakuum) Medien ändert. Der scharf begrenzte Schatten, den ein festes Objekt wirft, wenn es in den Strahlengang eines Lichtstrahles gestellt wird, zeigt, daß Licht sich geradlinig ausbreitet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes in einem Material ist eine von diesem Stoff abhängige Konstante. Den größten Wert erreicht die Lichtgeschwindigkeit mit 299 792,5 km/s im Vakuum. In Luft ist die Lichtgeschwindigkeit fast ebenso groß, während sich Licht in anderen durchsichtigen Medien mit einer deutlich kleineren Geschwindigkeit ausbreitet.

Das Reflexions- und Brechungsgesetz des Lichtes ist die Grundlage der geometrischen Optik und vermittelt das Handwerkszeug, das zur Voraussage und Bestimmung der Strahlengänge in optischen Instrumenten mit ebenen oder gekrümmten Spiegeln und Linsen nötig ist. Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier transparenter Medien, etwa Glas und Luft, teilt er sich im allgemeinen in zwei energetisch schwächere Strahlen. Der eine Strahl wird in das Ausgangsmedium zurückgestreut, der andere wird gebrochen, d.h. er läuft durch das zweite Medium, wird aber in seiner Geschwindigkeit und dadurch auch in seiner Richtung verändert, wenn er nicht senkrecht auf die Grenzfläche auftrifft.

Die Ausbreitungsrichtung eines Lichtstrahles wird durch den Winkel zur Senkrechten, d.h. der Flächennormalen, im Auftreffpunkt angegeben. Der einfallende Strahl und diese Normale definieren zusammen eine Ebene, die Einfallsebene. Bei Reflexion liegt der zurückgestreute Strahl in dieser Einfallsebene und der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel. Auch bei Brechung liegt der gebrochene Lichtstrahl in der Einfallsebene und die weitere Ausbreitungsrichtung ist durch den Brechungsindex der beiden betrachteten Materialien bestimmt. Der Brechungsindex jedes Materials ist als das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium zur Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (oder für die meisten praktischen Anwendungen in Luft) gegeben.

Läuft Licht von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium, zum Beispiel von Glas in Luft gibt es einen größten Einfallswinkel—den 'kritischen' Winkel, ab dem das gesamte Licht in das Glas zurückgestreut wird. Man spricht dann von Totalreflexion. Sie hat große Bedeutung für den Gebrauch von Prismen in optischen Instrumenten, wie etwa Okularen, und für den Gebrauch von Glasfasern als Lichtkabel in der Faseroptik.

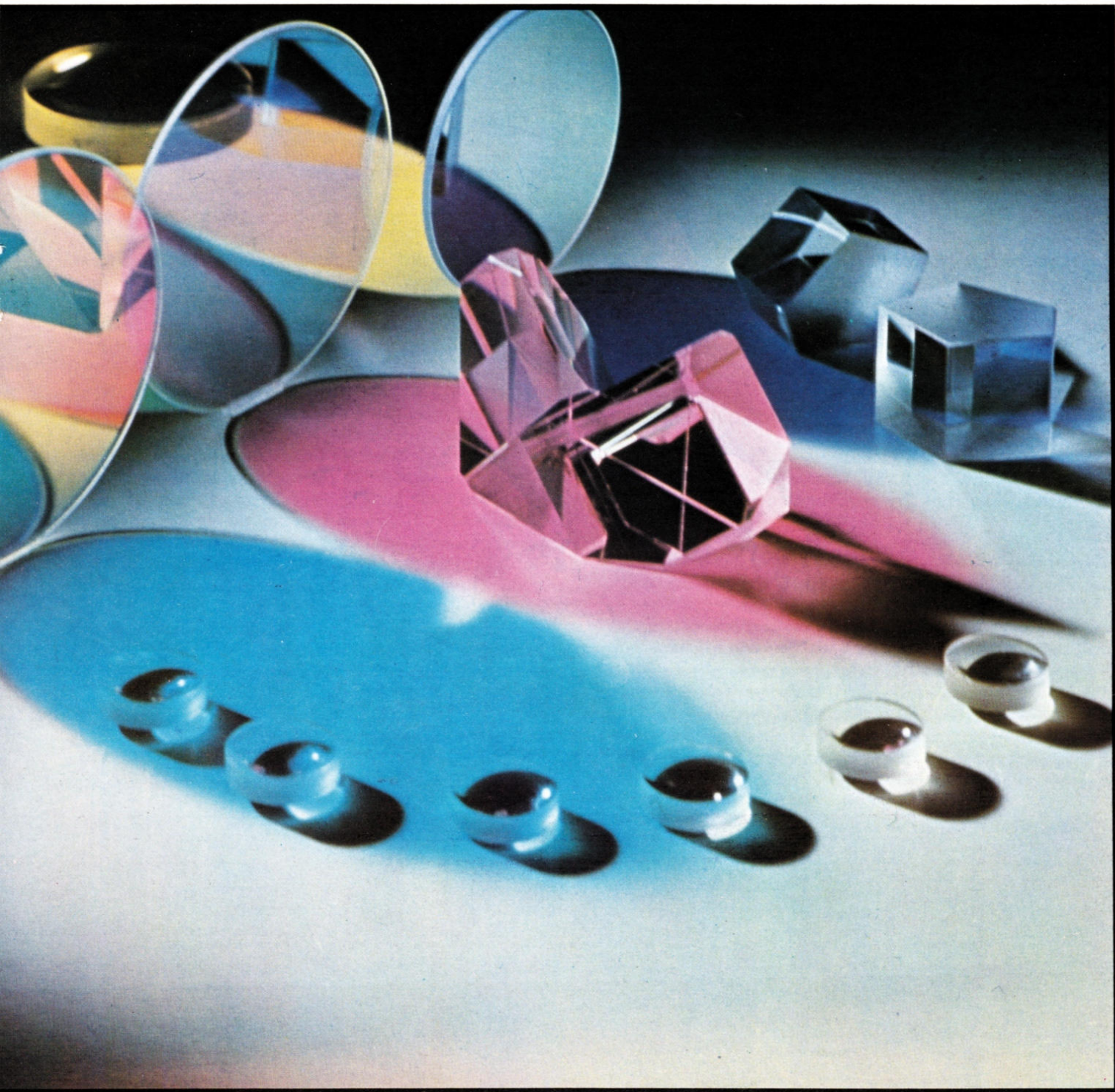
Physikalische Optik

Die physikalische Optik untersucht die Natur des Lichtes. Viele optische Experimente können durch die geometrische



Optik nicht erklärt werden. Beugung, Interferenz (siehe INTERFEROMETER) und Polarisation können nur verstanden werden, wenn man Licht als eine Welle ansieht.

Läuft ein Lichtstrahl durch einen breiten Spalt und trifft dann auf einen Bildschirm, wird ein scharf begrenzter Lichtstreifen sichtbar (wie von der geometrischen Optik vorausgesagt). Wird der Spalt aber verkleinert, zeigt das Licht auch in den Schattenregionen Streifen von Licht. Diese 'Beugung' oder 'Diffraction' des Lichtes wird um so ausgeprägter, je kleiner die Spaltbreite wird. Sie ist am stärksten, wenn die Spaltbreite von der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes ist. (Wellenlänge ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbäuchen oder Wellentälern.) Dies wird durch die Annahme erklärt, daß jeder Punkt einer Wellenfront wieder Ausgangspunkt einer elementaren Kugelwelle wird (Huygenssches Prinzip). Danach verhält sich der Spalt wie eine zweite Lichtquelle, von der das Licht in alle



BARR & STROUD

Richtungen 'abgestrahlt' wird.

Zwei Lichtwellen überlagern sich. Man nennt dieses Phänomen Interferenz. Trifft der Wellenbauch der einen Welle auf einen Wellenbauch der zweiten Welle, sind beide Wellen in Phase, d.h. sie verstärken sich. Trifft ein Wellenbauch auf ein Wellental der anderen Welle, sind sie gegenphasig und löschen einander aus. Diese Bedingungen liegen bei konstruktiver bzw. destruktiver Interferenz vor. Zwischen diesen Extremfällen verstärken sich zwei Wellen teilweise und löschen sich teilweise aus, je nach der vorliegenden Phasenbeziehung. Eine wichtige Voraussetzung für Interferenz ist, daß das Licht kohärent ist, d.h. alle Lichtwellen müssen die gleiche Frequenz und die gleichen Phasenänderungen haben. In der Praxis läßt sich das am leichtesten durch Überlagerung einer Lichtwelle mit ihrem reflektierten Spiegelbild erreichen.

Dieser Effekt bewirkt die Farben in Seifenblasen und dünnen Ölfilmen. Interferenzmuster, die unter definierten

Oben: Demonstration dichroitischer Filter, die die drei Primärfarben Rot, Grün und Blau jeweils durchlassen, aber alle anderen reflektieren. In den einzelnen Farbfeldern sind dichroitische Prismen ausgelegt.

Bedingungen erzeugt wurden, sind ein genaues Instrument zur Messung der Lichtwellenlänge. Ein Beispiel hierfür sind die Newtonschen Ringe. Diese Interferenzmuster entstehen dadurch, daß beim Durchgang von Licht durch einen keilförmigen Luftspalt ein Phasenunterschied zwischen verschiedenen Lichtstrahlen auftritt.

Die Polarisation des Lichtes ist eine Folge der Natur des Lichtes, das aus transversalen Wellen besteht. Das heißt: Die Schwingungen in der Lichtwelle können in jeder Richtung erfolgen, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung steht.

Werden diese transversalen Schwingungen auf eine einzige

Ebene, die Polarisations Ebene, beschränkt, spricht man von linear polarisiertem Licht. Synthetisch erzeugte Polarisationsfolien (Polaroid) sind aus einem das Licht linear polarisierenden Material hergestellt. Darin sind Kristalle parallel angeordnet, welche die Schwingungsrichtungen der einlaufenden Strahlung in zwei zueinander senkrechte Komponenten zerlegt, deren eine dann absorbiert wird, während die andere durchgelassen wird. Wenn zwei gleiche Polarisationsfilter mit zueinander senkrechten Polarisations Ebenen hintereinander angeordnet werden, wird das Licht völlig absorbiert.

In vielen Kristallen, wie Quarz und Kalkspat, werden die zwei zueinander senkrechten Komponenten der Lichtschwingung mit verschiedenen Geschwindigkeiten transmittiert und verlaufen somit innerhalb des Kristalles längs verschiedener Richtungen. Diese Richtungen werden durch zwei verschiedene Brechungsindizes gekennzeichnet. Der Zahlenwert-Unterschied sowie das Verhalten selbst werden Doppelbrechung des Kristalles genannt.

Quantenoptik

Die Wellentheorie des Lichtes ist unfähig, die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie im atomaren Bereich zu erklären. Derartige Probleme blieben unverständlich, bis

Unten: Da die Brechungsindizes von Luft und Wasser unterschiedlich sind, wird das Gitter unter dem Wassertropfen gestört (links oben). Die Newtonschen Ringe (rechts daneben) werden durch die Interferenz zwischen reflektierten und gebrochenen Lichtwellen erzeugt. Öl auf Wasser erzeugt solche Effekte. Doppelbrechung in einem Islandschat (links unten). Nur wenige Materialien haben diese Eigenschaft. Derartige Materialien haben in verschiedene Richtungen verschiedene Brechungsindizes. Doppelbrechung zeigt sich in der Entstehung von zwei Bildern. Die Kurve (unten rechts) wird durch Reflexion des Lichtes auf einer Kugeloberfläche erzeugt.

Max Planck (1858 bis 1947) im Jahre 1900 zeigte, daß eine Lichtwelle aus kleinen, eng begrenzten Energiepaketen, Lichtquanten oder Photonen genannt, besteht (siehe QUANTENTHEORIE). Die nachfolgenden Arbeiten von Einstein (1879 bis 1955), Bohr (1885 bis 1962) und anderen festigten das Photonen-Modell. Durch die Bestätigung im Experiment wurde dieses theoretische Konzept bewiesen.

Der Compton-Effekt und der fotoelektrische Effekt sind zwei Experimente, zu deren Erklärung das Photonen-Konzept nötig ist. Trifft Lichtstrahlung auf ein Atom, wird die Richtung geändert und die Frequenz verringert. Dieser sogenannte Compton-Effekt wird mit der Annahme eines elastischen Stoßes zwischen zwei Teilchen, dem einfallenden Photon und einem Elektron des Atoms, erklärt. Man kann den Effekt ähnlich dem Zusammenstoß zweier Billardkugeln verstehen. Beim fotoelektrischen Effekt verursacht ein auf eine Metallfläche auftreffender Lichtstrahl die Ablösung von Elektronen. Hier geben die Photonen aus dem einfallenden Lichtstrahl Energie an die getroffenen Elektronen ab, die dann—sofern die Energie ausreicht—aus dem Metall austreten.

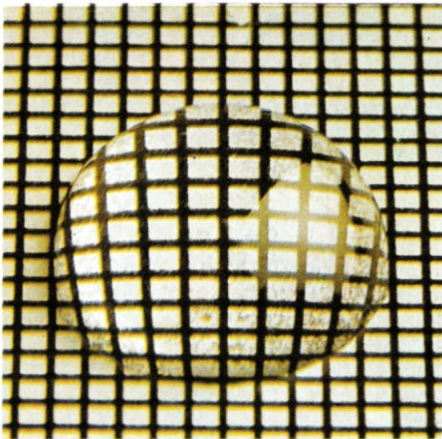
Emission von Lichtenergie durch Fluoreszenz und Phosphoreszenz beruhen auf der Zunahme der Elektronenenergie im Atom, das heißt auf atomarer Anregung. Die zu einem Atom gehörenden Elektronen besetzen eine begrenzte Anzahl von wohldefinierten, diskreten Energieniveaus und können nur auf höhergelegene Energieniveaus gelangen, wenn ihnen durch die Photonen des einfallenden Lichtstrahles eine fest vorgegebene Energiemenge zugeführt wird.

Die relativ junge Quantenoptik hat ein tieferes Verständnis der optischen Phänomene ermöglicht und zur Entwicklung neuer Technologien geführt. Ein quantenoptisches Gerät ist z.B. der Laser.

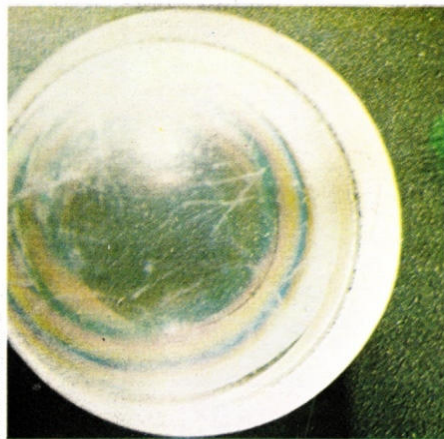
Herstellung optischer Bauteile

Die Herstellungsverfahren optischer Bauteile, wie etwa Linsen, Spiegel und Prismen, haben sich im Prinzip seit dem

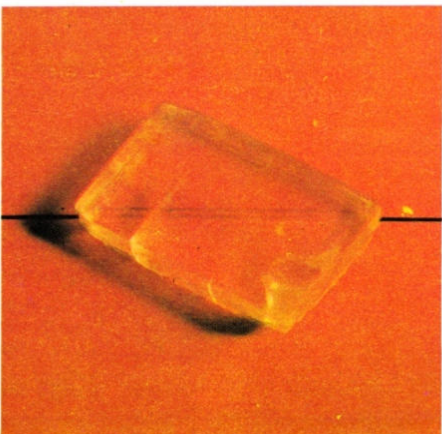
MITCHELL BEAZLEY



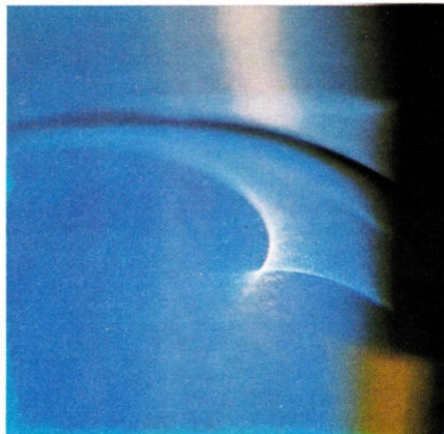
M. M. RATHORE



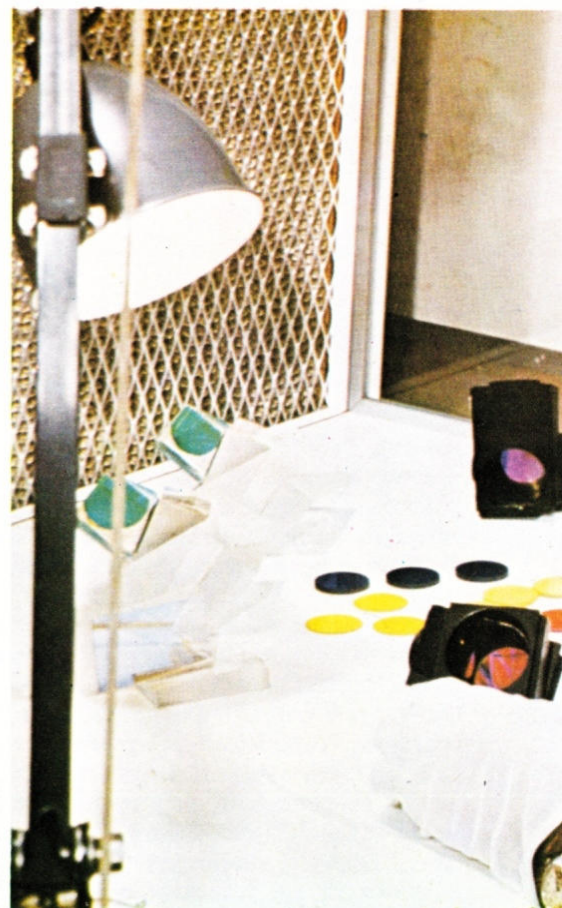
PAUL BRIERLEY

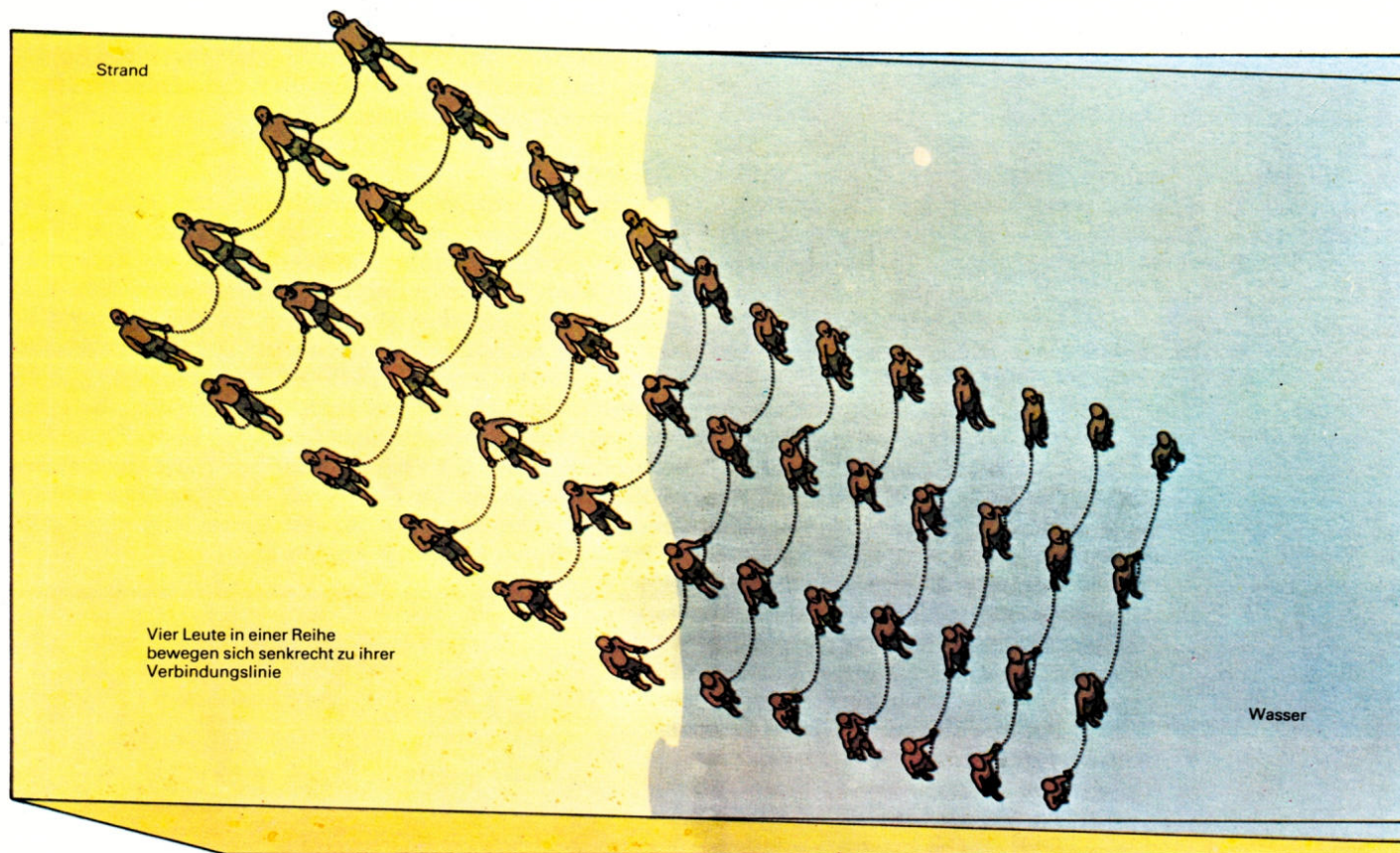


PAUL BRIERLEY



BARR & STROUD





Oben: In Reihen aneinandergeschaltete Sträflinge marschieren unter einem Winkel, ähnlich dem Brechungswinkel, in das Wasser. Da sie im Wasser nicht so schnell wie am Strand laufen können, wird sich ihre Richtung beim Eintritt in das Wasser entsprechend verändern. Nur wenn sie in einem rechten Winkel ins Wasser gehen, kann dies vermieden werden.

17. Jahrhundert kaum geändert. Die Hauptforderung ist, daß die optischen Oberflächen eine sehr genaue, glatte Form haben müssen. Für Linsen wählt man Kugelausschnitte und für Planspiegel und Prismen eine ebene Fläche. Die erforderliche Genauigkeit ist für normale Maßstäbe sehr hoch, da die Krümmung der Oberfläche kleiner als die Wellenlänge des zu reflektierenden oder zu brechenden Lichtstrahles sein muß.

Die erforderlichen Messungen sind so genau, daß die Ergebnisse allgemein in Vielfachen der Lichtwellenlänge angegeben werden. Bezugswellenlängen sind im allgemeinen die gelbe Natrium- oder die grüne Quecksilber-Spektrallinie aus Gasentladungsröhren, die bei etwa $0,5 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = \text{ein Millionstel Meter}$) liegen. Deshalb muß eine Oberfläche mit der Genauigkeit einer halben Wellenlänge auf $0,25 \mu\text{m}$ gearbeitet sein. In den Spiegeln von astronomischen Mikroskopen muß der Hauptspiegel, dessen Form theoretisch ein Paraboloid ergeben soll, mit dieser Form auf ein Hundertstel Mikrometer übereinstimmen. Da sich der auslaufende Lichtstrahl durch die Reflexion vom einfallenden Lichtstrahl in der Richtung um den zweifachen Einfallswinkel unterscheidet, müssen Spiegel eine bessere Oberflächengüte haben als Linsen.

Unregelmäßigkeiten bei der Herstellung gekrümmter und ebener Oberflächen werden alle nach dem gleichen Prinzip beseitigt. Man reibt zwei Materialscheiben, zwischen denen sich ein Schleifmittel befindet, gegeneinander. Reibt man die Flächen in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung gegeneinander, liegt der Schluß nahe, daß man ebene Oberflächen erhalten wird. In Wirklichkeit aber werden gekrümmte Oberflächen erhalten. Die unten gelegene stationäre Fläche wird konvex (nach außen gewölbt) und die obere Fläche konkav (in der Mitte ausgehöhlt). Um eine symmetrische Oberfläche zu erhalten, wird die untere Scheibe gewöhnlich gedreht,

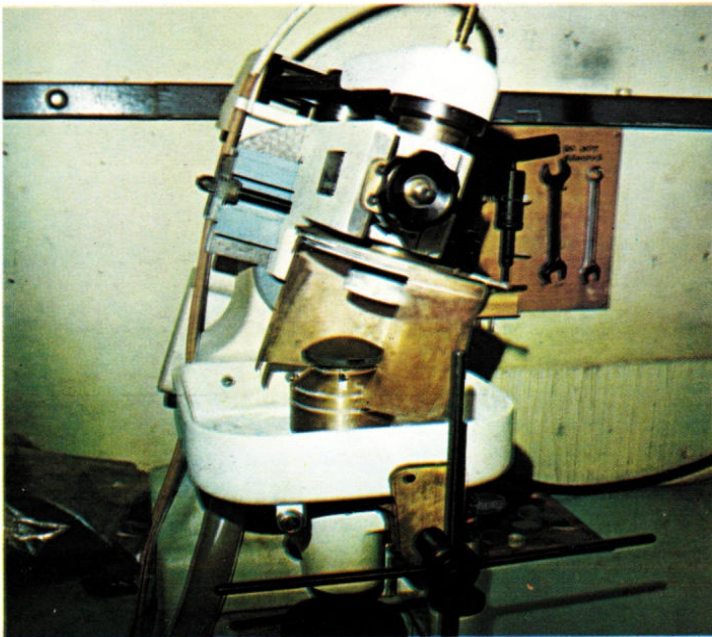


Links: Die in Farbfernsehern verwendeten optischen Komponenten müssen sorgfältig und sauber zusammengesetzt werden, wie hier in einem schottischen Werk.

während die obere eine Linearbewegung ausführt und dabei in Gegenrichtung gedreht wird. Eine Maschine kann beide Operationen automatisch durchführen.

Die entstehende Oberfläche hat nahezu Kugelform. Die meisten optischen Arbeiten beruhen auf diesem Prinzip, selbst wenn die Bauteile vorsätzlich später nichtsphärisch gemacht werden. Eine ebene Fläche wird für optische Zwecke als Teil einer Kugel mit unendlich großem Radius betrachtet. In der Praxis wird die Fläche, die gegen diese Probe gerieben wird, größer als die Probe selbst gemacht. Sphärische Spiegel und Linsen werden durch ihren Krümmungsradius—den

Unten: Moderne Diamantenfräse für Linsen bis zu 13 cm Durchmesser. Der Schneidkopf kann verändert werden, um den erzeugten Radius zu variieren. Die Linse auf dem Drehteller wurde in wenigen Minuten hergestellt. Die Maschine schaltet nach der Fertigstellung automatisch ab.



Radius der Kugel, von der sie ein Teil sind—definiert. Dies bestimmt, wie divergent oder konvergent das Bauteil ist. Gewöhnlich sind größere Krümmungen schwieriger herzustellen.

Das Schneiden des Glases

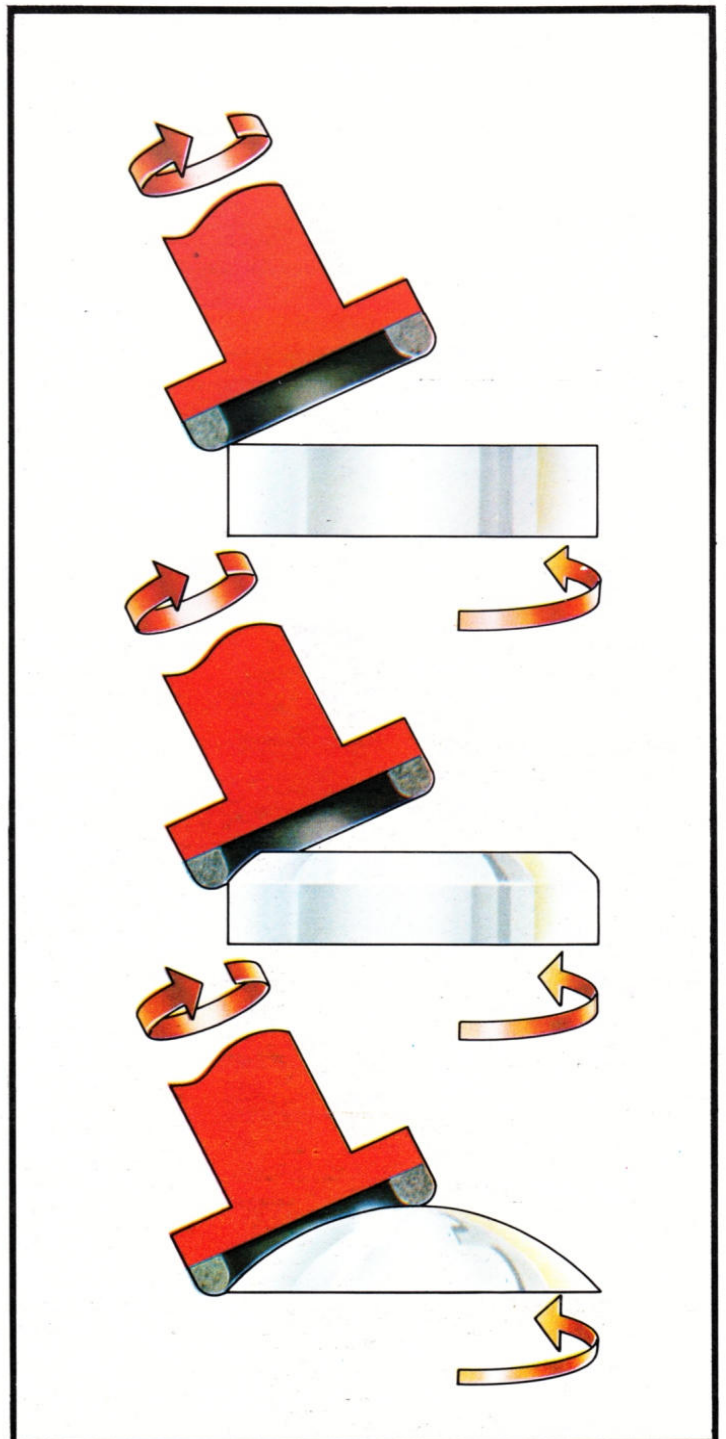
Der Umriss des Rohglases wird mit einer scharfen Kreissäge (oder einer Bandsäge), die mit Diamanten besetzt ist und mit einem wasserlöslichen Öl gekühlt wird, ausgeschnitten. Diese Säge kann Glas sehr leicht schneiden. Glas kann, obwohl es ein schwierig zu handhabendes Material ist, mit Diamantwerkzeugen in gleicher Weise wie Metall bearbeitet werden. Es kann in Drehbänken abgedreht werden, in Glas können Löcher gebohrt oder die Form kann grob mit einer Fräsmaschine gefräst werden. Bevor es solche Maschinen gab, mußten die Handwerker das Glas mit der Hand mit groben Reibmitteln schleifen.

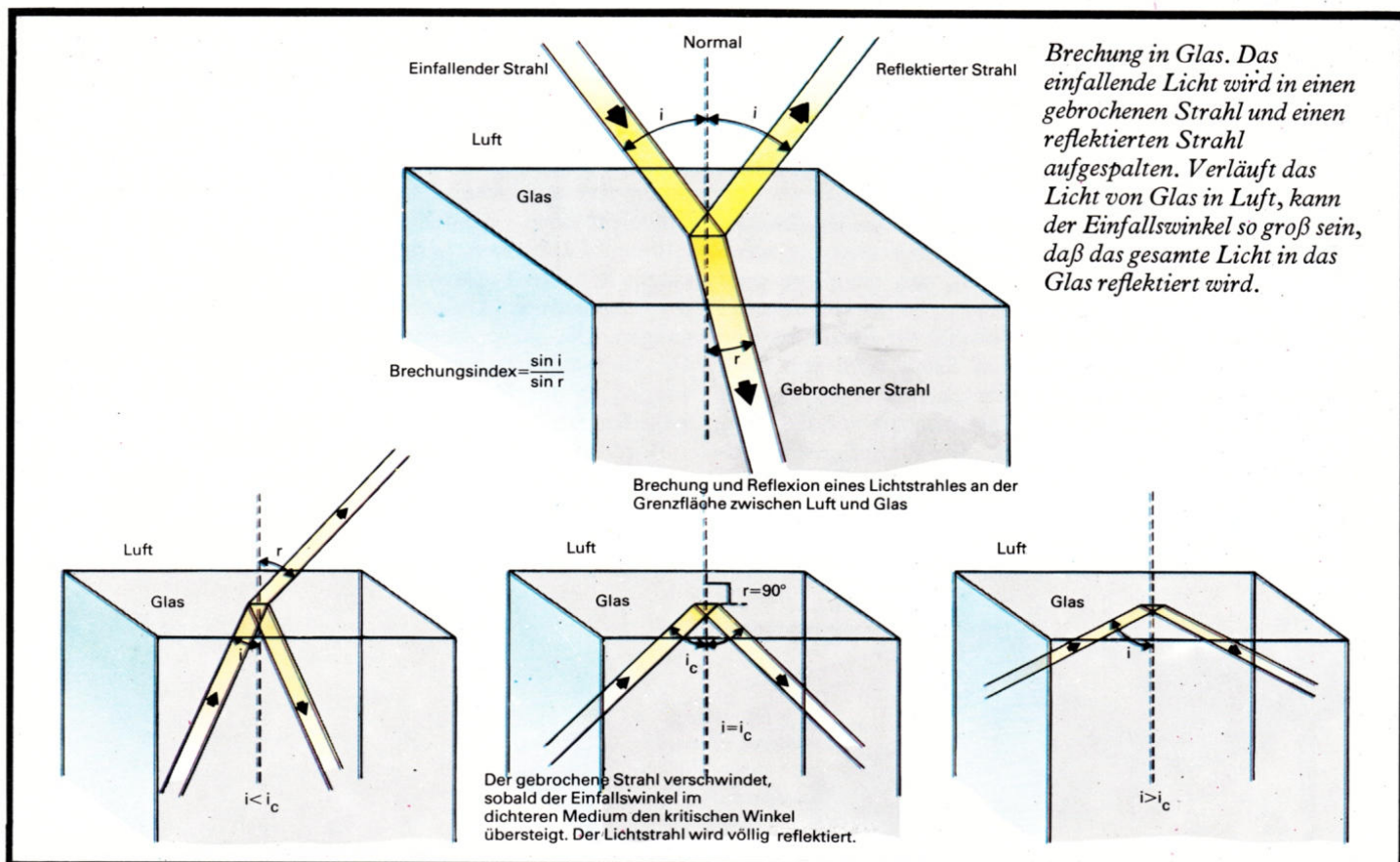
Auf diese Weise hergestellte Bauteile benötigen nur einen oder zwei nachfolgende, feinere Schleifprozeduren (gewöhnlich mit Aluminiumoxidpulver oder Granatsplintern in Wasser), um die Oberfläche für den Poliervorgang glatt genug zu machen. Maschinell wird diese Glättung durch einen Apparat hergestellt, in dem mehrere optische Bauteile mit Wachs oder Pech an einem Modell der gewünschten Form befestigt sind. Dieser Block wird dann mit einem Eisenwerkzeug bearbeitet, das vorher durch einen 'Halter' entgegengesetzter Form (d.h. ein konvexes Werkzeug hat einen konkaven Halter und umgekehrt) eingestellt wurde. Die entstehende

sphärische Oberfläche kann optisch oder durch ein Sphärometer, ein Instrument, das den Kurvendurchmesser durch die Linse mißt, geprüft werden.

Polieren

Präzisionspolituren werden gewöhnlich mit einem vorgeformten Poliergerät aus Pech, das aus Holz oder Kohle raffiniert wird, ausgeführt, wobei Ceroxid als Poliermittel benutzt wird. Bauteile geringerer Qualität können auch durch Filzkissen an Stelle von Pech poliert werden, während zur Herstellung anderer optischer Bauteile spezielle Poliermittel benutzt werden müssen. Pech ist eine Flüssigkeit hoher Viskosität, die sich langsam jeder Form anpaßt, die aufgezogen wird. Es bedarf einiger Erfahrung in der Herstellung optischer Bauteile, um Pech der richtigen Härte auszuwählen, da Fließbewegungen im Poliergerät die Oberfläche während der Arbeit verändern, was für die Herstellung einer guten Oberflächenqualität kritisch werden kann.





Links: Stadien im Schleifen konvexer Linsen. Das Glas wird während des ganzen Vorganges langsam auf das in einem bestimmten Winkel gehaltene Werkzeug zugeschoben.

Weitere Probleme sind die Durchbiegung des Glases und die beim Polieren auftretende Reibungswärme. Das Glas kühlt am Rand schneller ab als in der Mitte. Dieses Wissen ist für Qualitätsarbeit von großer Bedeutung. Die Entwicklung neuer Glassorten und Keramiken, die über einen großen Temperaturbereich keine Volumenänderung zeigen, konnte hier zum Teil Abhilfe schaffen. Diese Materialien sind allerdings nur für reflektierende Bauteile, nicht für Linsen, brauchbar.

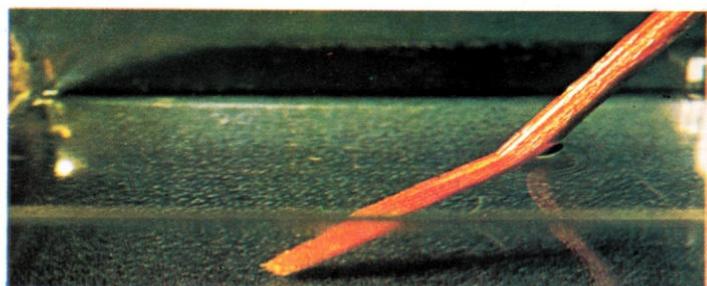
Nach einem Test werden die Bauteile ausgespannt und, sofern nötig, wird auch die Rückseite geglättet und poliert. Prismen, die ebene Oberflächen haben, werden in metallischen Montagegestellen oder Gipsbausteinen festgehalten. Die Winkel der Prismen werden in einem Winkelsichtgerät das dieses neue Prisma mit einem Musterprisma bekannten Winkels vergleicht, optisch geprüft. Winkelkorrekturen werden oft mit der Hand vorgenommen, indem ein Ende stärker auf Druck belastet wird als das andere. Auf diese Art können Genauigkeiten von einer halben Winkelsekunde erreicht werden.

Größere (Durchmesser mehr als 10 cm) und stark gekrümmte Bauteile sowie optische Bauteile höchster Qualität müssen als Einzelstücke angefertigt werden, was sie relativ teuer macht. Nichtsphärische Linsen jeder Qualität werden teilweise maschinell hergestellt, müssen aber mit der Hand vollendet werden. Viele Oberflächen können heute modelliert werden, wenn Massenherstellung möglich ist, oder können durch eine Spezialdrehbank mit einem Punkt-Diamanten, dessen Spitze nur einen Moleküldurchmesser hat, hergestellt werden. Die erreichte Genauigkeit soll bis zu einer halben Wellenlänge betragen; dies wird allerdings noch nicht wirtschaftlich ausgenutzt.

Weitere Methoden

Ein Großteil der Niedrigpreiskameras, die heute erhältlich sind, haben Kunststofflinsen, wie sie erstmals im Jahre 1934 hergestellt wurden. Sie haben die gleiche Qualität wie die in Massenproduktion hergestellten Glaslinsen, sind allerdings preiswerter als Glaslinsen. Der Kunststoff (Acryl oder Styren) verformt sich zwar leicht beim Einsetzen, doch kann dies bei der Herstellung der Form berücksichtigt werden.

Eine jüngst entwickelte Methode für die Endbearbeitung von Glasoberflächen benutzt einen Ionenstrahl der gleichen



M. M. RATHORE

Oben: Der scheinbare 'Knick' eines geraden Stabes in Wasser. Dies ist eine der am einfachsten zu demonstrierenden Lichtbrechungserscheinungen.

Sorte wie in Ionenantrieben. Ionen eines schweren Gases, wie Argon, werden von einer Spannung von etwa 10 kV beschleunigt. Der Ionenstrahl hat etwa 1 mm Durchmesser. Mit diesem Strahl können Oberflächen mit einer Geschwindigkeit von 1 µm pro Stunde abgetragen werden. Dies lohnt sich aber nur dann, wenn ein Endprodukt hoher Qualität benötigt wird. Für die meisten Arbeiten können die gewünschten Genauigkeiten in Handarbeit erreicht werden. Die Optik ist somit auch heute noch ein Gebiet, wo der geschickte Handwerker gefragt ist.

OPTOELEKTRONIK

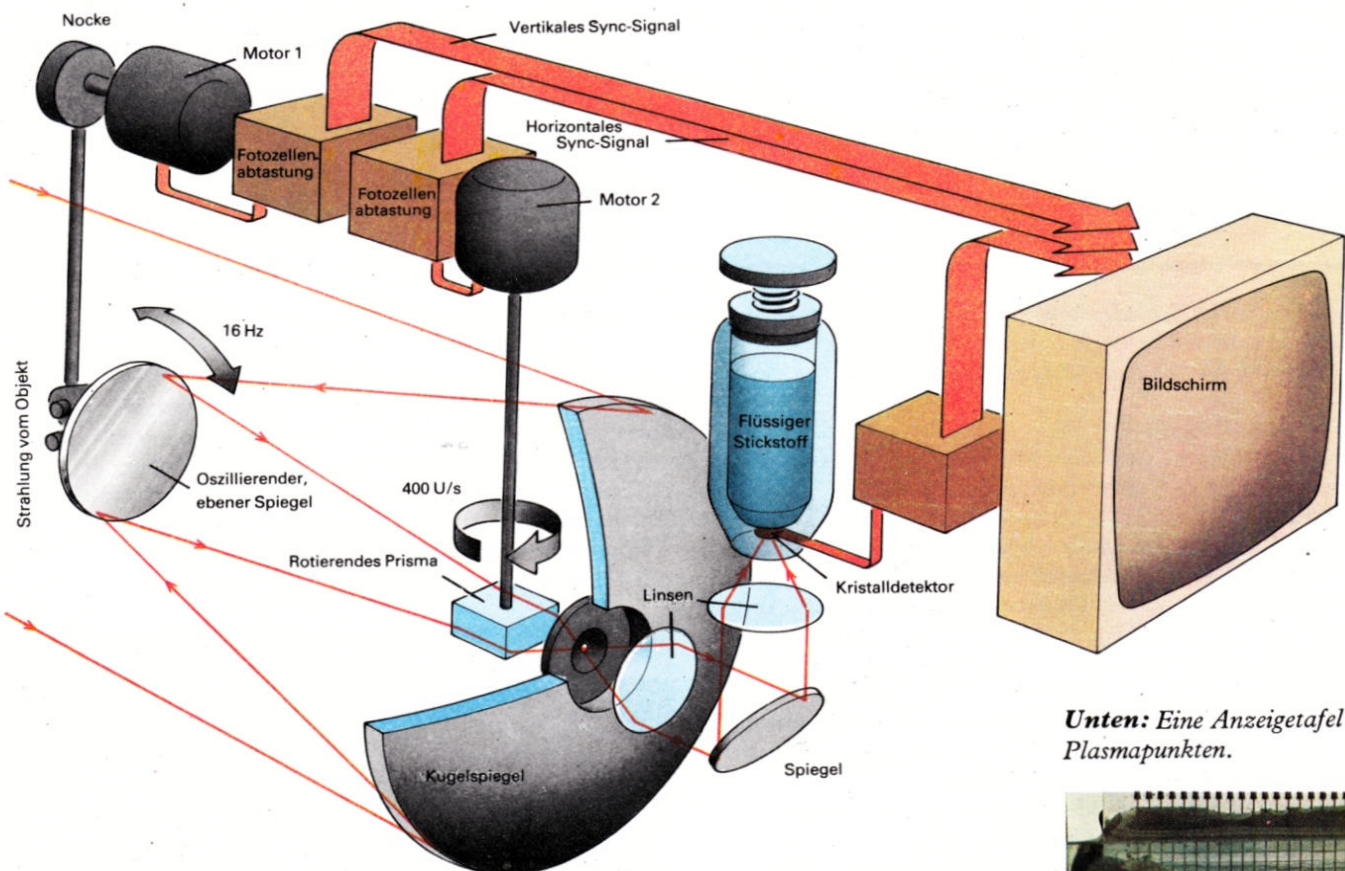
Die Optoelektronik kann, abgesehen von den bekannten Anwendungen in Fernsehen und Digitalanzeigen, auch beispielsweise dazu eingesetzt werden, Krebsgeschwüre zu erkennen oder in Massenfertigung hergestellte Produkte zu zählen.

Der Begriff Optoelektronik wird immer dann verwendet, wenn elektronische Geräte eingesetzt werden, um sichtbare oder Infrarot-Strahlung zu erfassen, zu messen, zu übertragen oder anzuzeigen. Das Fernsehen ist ein Beispiel für Erfassung und Anzeige. Licht von der zu sendenden Szene wird von einer fotoempfindlichen Schicht, deren Ohmscher Widerstand beim Beleuchten abnimmt, in der Aufnahmeröhre erfaßt. Die erfaßten optischen Signale werden in Radiosignale umgewandelt. Diese Radiosignale werden von einer Empfangsantenne aufgenommen und an der Katodenstrahlröhre im Fernsehempfänger ausgegeben. Vakuumröhren wie z.B. die Katodenstrahlröhre und der Fotovervielfacher, der sehr

deutyp spricht man auch von einer Fotodiode. Durch die auf die Sperrschicht der Fotodiode fallenden Lichtstrahlen werden in der Sperrschicht chemische Bindungen aufgebrochen. Dies bedeutet, daß Elektronen erzeugt werden, die zu einem Stromfluß in einer externen Schaltung beitragen.

Legt man an eine in Sperrichtung geschaltete Halbleiterdiode eine ausreichend hohe Sperrspannung an, werden die Fotoelektronen so hoch beschleunigt, daß sie aus anderen Atomen Elektronen herausschlagen können. Dies führt zu einem höheren Fotostrom. Der beschriebene Vorgang ist als der sogenannte Avalanche-Effekt in die Literatur eingegangen. Die entsprechenden Bauelemente heißen Avalanche-Dioden (auch Lawinenlaufzeitdioden). Die Avalanche-Dioden werden in der Hochfrequenztechnik, wie z.B. in Glasfaser-systemen zur Nachrichtenübertragung, eingesetzt.

Wird die Halbleiterdiode in Durchlaßrichtung betrieben, treten Elektronen in die Sperrschicht ein. Sie fallen dann auf ein tieferes Energieniveau, wobei die frei werdende Energie in Form von Strahlung abgegeben wird. Die Wellenlänge der Strahlung hängt davon ab, von welchem Energieniveau auf



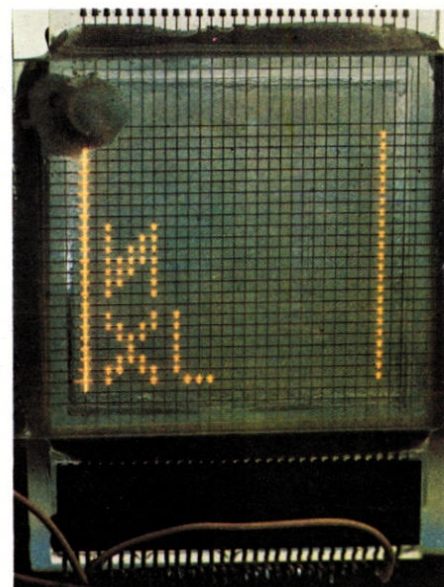
Unten: Eine Anzeigetafel aus Plasmapunten.

schwache Signale verstärkt und in einen leicht zu messenden Strom umwandelt, werden als Gleichrichter in der Elektronik eingesetzt. Sie werden aber auch immer häufiger als Sender und Empfänger in der Optoelektronik verwendet.

Halbleiterdioden

Eine Halbleiterdiode setzt sich aus einem N-dotierten (Elektronenüberschuß) und einem P-dotierten (Elektronenmangel) Halbleiter zusammen. Im unbeschalteten Zustand bildet sich zwischen den beiden Halbleiterschichten eine sogenannte Sperrschicht aus. Wird eine elektrische Spannung in Durchlaßrichtung angelegt, baut sich die Sperrschicht ab, wodurch es zum Fließen von elektrischem Strom kommt. Ist die elektrische Spannung in Sperrichtung angelegt, verbreitert sich die Sperrschicht; ein elektrischer Strom kann nicht fließen. Die Halbleiterdiode wird, wenn sie in Sperrichtung geschaltet ist, als Detektor für Strahlung verwendet. Bei diesem Dio-

Oben: Dieses Diagramm veranschaulicht ein Thermosystem, das die Temperaturänderungen eines Objektes anzeigt. Infrarotstrahlung von der Szene werden über einen Kugelspiegel auf einem Planspiegel gebündelt, der mit 16 Hz schwingt. Zeilenabtastung wird über ein viereckiges, rotierendes Prisma erzielt. Die Schaltung wird durch einen Indiumantimonid-Kristall in ein elektrisches Signal umgewandelt und als ein 100-zeiliges Bild mit 30 cm/s angezeigt.





Digitalanzeige lichtemittierender Dioden. LEDs haben gegenüber Flüssigkeitskristallen den Vorteil, daß sie im Dunkeln zu lesen und auch haltbarer sind.

welches Energieniveau die Elektronen springen. Verunreinigt man den Halbleiter, können die Elektronensprünge und damit auch die Wellenlänge der Strahlung gesteuert werden. Bauteile dieser Art nennt man lichtemittierende Dioden, Leuchtdioden oder kurz LEDs (LED=Light Emitting Diode).

Anzeigen

Lichtemittierende Dioden kennt man als Anzeigen von Ziffern in Taschenrechnern. Mit sieben Segmenten, von denen jedes eine Leuchtdiode darstellt, lassen sich durch entsprechendes Aufleuchten der Segmente die Ziffern 0 bis 9 darstellen. Die Anzeige von Buchstaben läßt sich dadurch realisieren, daß man mehrere Dioden verwendet. Die roten LEDs in Taschenrechnern werden aus Galliumarsenidphosphid (GaAsP) hergestellt. Leuchtdioden, die grünes Licht ausstrahlen, bestehen aus Galliumphosphid (GaP), dem etwas Stickstoff zugesetzt wurde.

Anzeigen lassen sich auch mit Gasentladungsröhren oder Flüssigkeitskristallen verwirklichen. Gasentladungsröhren be-

stehen aus einer evakuierten Röhre, in der sich zwei Elektroden und in geringen Mengen ein inertes Gas, wie z.B. Neon, befindet. In dem Gas findet eine Gasentladung statt, wenn an die Elektroden eine Spannung angelegt wird. Man kennt Gasentladungsanzeigen mit einer Größe bis zu 20 cm^2 . Sie sind aus einer Vielzahl von lichtemittierenden Elementen aufgebaut. Bei Flüssigkeitskristallen wird die Lichtdurchlässigkeit einer Lösung durch Anlegen eines elektrischen Feldes an diese Lösung geändert. Flüssigkeitskristallanzeigen (LCD=Liquid Crystal Display) werden wegen ihres geringen Strombedarfes z.B. als Ziffernanzeigen in elektronischen Uhren verwendet.

Bilddarstellung

In einer Fernsehkamera ändert das einfallende Licht die Leitfähigkeit einer fotoleitenden Schicht in einem Maße, das der Lichtintensität proportional ist. Die fotoleitende Schicht wird von einem Elektronenstrahl abgetastet, der die Leitfähigkeitsänderung in ein elektrisches Signal umwandelt. Bei Kleinsignalen wird die fotoempfindliche Schicht durch eine

Anordnung von Silicium-Fotodioden, die sowohl infrarot- als auch lichtempfindlich sind, ersetzt. Aufnahmeröhren dieses Typs werden bei Anwendungen im Sicherheitsbereich eingesetzt. Sie werden beim Apollo-Programm verwendet, um Farbbilder von der Mondoberfläche zu übertragen. Diese Aufnahmeröhren könnten auch in Verbindung mit dem Telefon eine Bildtelefonie schaffen.

Vorteilhafter ist es, den Diodenbereich mit einer elektronischen Schaltung statt einem Elektronenstrahl abzutasten. Die Kamera ist kleiner und leichter. Außerdem ist die Verlustleistung geringer und ihre Zuverlässigkeit unter extremen äußeren Bedingungen (z.B. beim Raumflug) besser. Elektronisches Abtasten wird durch Verwendung von sogenannten MOS-Bauteilen (MOS = Metal-Oxide Semiconductor = Metalloxid-Halbleiter) ermöglicht. Ein großer zweidimensionaler Bereich dieser MOS-Bauteile wandelt Lichtenergie in elektrische Ladung um, die unterhalb eines Metallkontaktes gespeichert wird. Durch Anlegen einer entsprechenden Spannungsfolge werden die Ladungen innerhalb des Bauteiles so lange verschoben, bis sie am Ausgang ankommen. Am Ausgang werden die Ladungen in ein elektrisches Signal rückverwandelt. Kompakte Fernsehkameras, die diese sogenannten CCDs (CCD = Charge Coupled Device = ladungsgesammeltes Bauteil) verwenden, sind heute auf dem Markt erhältlich. Kameras zur Übertragung von Farbbildern sind im Versuchsstadium.

Bildaufzeichnungsgeräte, die für die Erfassung von sichtbarem Licht oder nahem Infrarotlicht entwickelt wurden, erfassen die Strahlung, die von einer aufzunehmenden Szene reflektiert wird. Sie können also nicht bei völliger Dunkelheit arbeiten. Objekte, die Raumtemperatur haben, strahlen ein Infrarotlicht ab, dessen Wellenlänge etwa $10\mu\text{m}$ (10 Millionstel Meter; siehe ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN) beträgt. Diese Wellenlänge kann erfaßt werden, indem man Werkstoffe wie Indiumantimonid oder Blei/Zinn-Tellurid, das auf die Temperatur flüssiger Luft abgekühlt wird, verwendet. Man nennt dieses Verfahren thermische Bilderfassung, weil

die wesentlichen Eigenschaften der Strahlung durch die Temperatur der aufzunehmenden Szene bestimmt wird.

Thermische Bilderfassung wird in der Industrie, in der Medizin (siehe ELEKTRONIK IN DER MEDIZIN) und bei der Überwachung aus einem Flugzeug sowohl für militärische als auch für friedliche Zwecke eingesetzt. In der medizinischen Diagnose können erhöhte Temperaturbereiche der Haut festgestellt werden, die bei Karzinomen oder Kreislaufstörungen auftreten. Bei industriellen Anwendungen können Öfen für die Stahl- oder Glasherstellung auf Fehler untersucht werden, ohne die Produktion anhalten zu müssen.

Messung

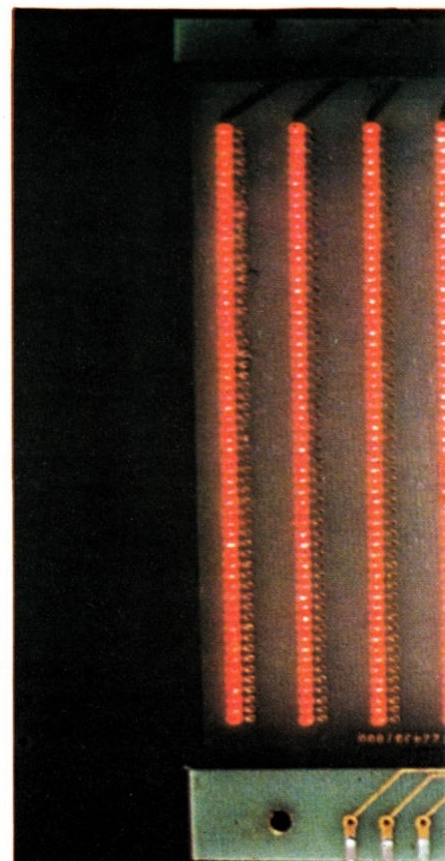
Anordnungen von Halbleiterfotodetektoren wurden zum Lesen von Ziffern und Buchstaben entwickelt. Man spricht von optischer Zeichenerkennung. Sie wird benutzt, um numerische Informationen in den Computer zu übertragen. Außerdem kann man durch optische Zeichenerkennung automatisch Post in einem Postamt sortieren. Bis vor kurzem wurden die Zeichen durch einen Lichtpunkt abgetastet. Die Intensität des reflektierten Lichtes wurde mit einem Fotovervielfacher gemessen. Nimmt man einen zweidimensionalen Fotodiodenbereich, kann ein Zeichen oder selbst eine ganze Seite mit Zeichen auf einmal abgetastet werden. Hierdurch läßt sich die Übertragungsgeschwindigkeit wesentlich erhöhen.

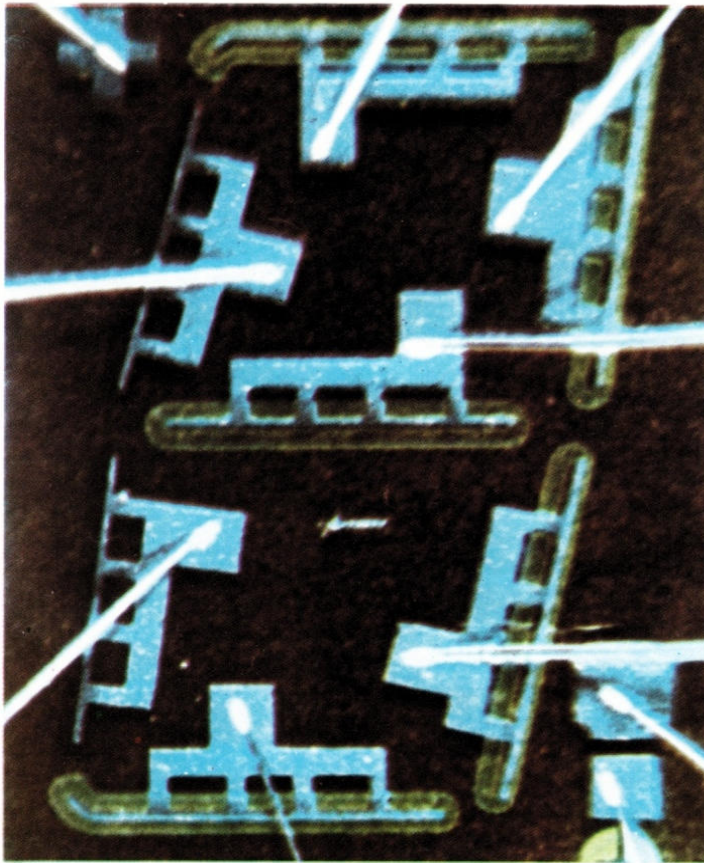
Fotodioden aus Silicium ersetzen bei Lichtmeßgeräten in immer größerem Maße Fotovervielfacher, da Halbleiterfotodioden zuverlässiger sind. In der Photometrie geben speziell entwickelte Filter dem Detektor eine Ansprechempfindlichkeit, die der des menschlichen Auges ähnlich ist. Photometer werden dazu verwendet, Lichtstärken zu messen. Sie werden z.B. in Farbfernsehkameras und -empfänger eingesetzt, um ihre Eigenschaften zu vereinheitlichen.

Halbleiterdioden und Fotovervielfacher werden in der Spektroskopie eingesetzt. Bei der Emissionsspektroskopie wird die zu analysierende Probe durch eine elektrische Entladung zwischen zwei Elektroden verdampft. Die Wellen-

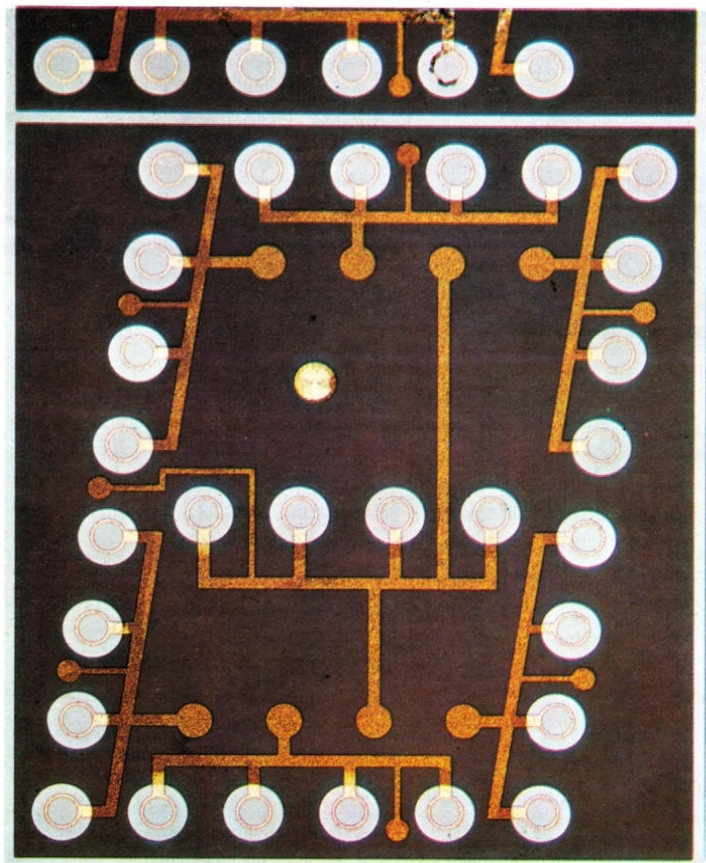
Unten: Zeilen benötigen eine kompliziertere Matrize als Ziffern.

Rechts: Eine Matrize von 399 Dioden — es kann komplexe Formen anzeigen.

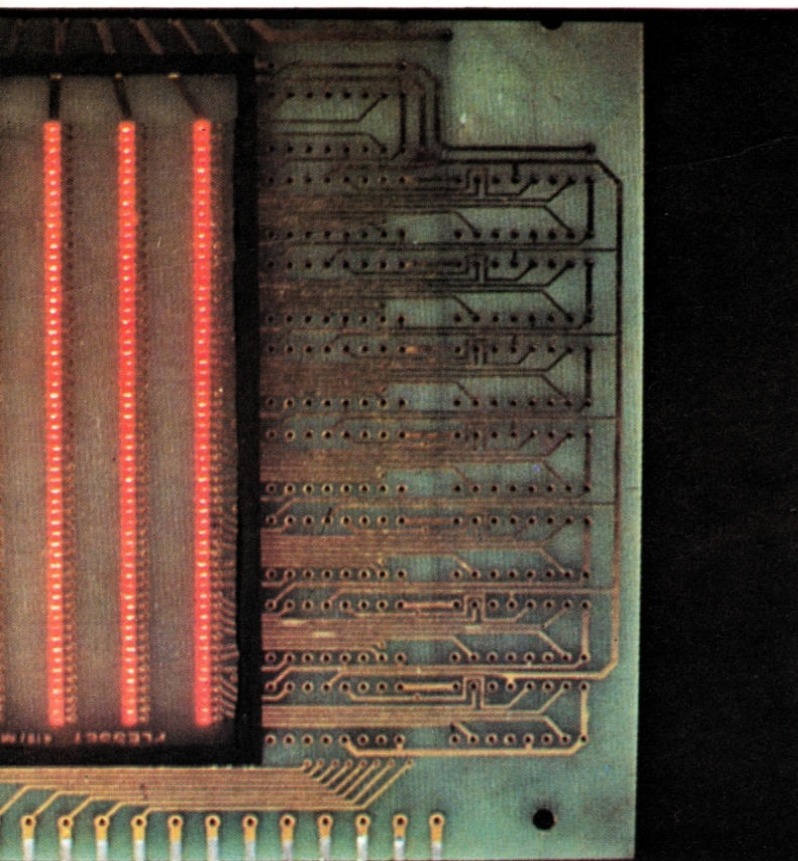




Oben: Das linke Bild zeigt eine grün leuchtende Sieben-Segment-Anzeige aus Galliumphosphid. Jedes Segment ist eine lichtemittierende Diode (LED). Aus ihnen lassen sich die Ziffern 0 bis 9 darstellen. Rechts die erste industrielle und planare monolithische Anzeige. Es handelt sich um eine LED-Anzeige aus Galliumarsenidphosphid (GaAsP).



PLESSEY



länge und die Stärke des emittierten Lichtes wird von den verdampften Elementen und deren relativer Häufigkeit bestimmt. Die Höhe von Raketen und Satelliten wird bestimmt, indem man eine Siliciumdiode oder einen Fotovervielfacher benutzt und die Helligkeit bekannter Sterne als Vergleichsmaßstab hinzuzieht.

Diese Detektoren werden auch in Verbindung mit lichtemittierenden Dioden und Laser—sie erzeugen einen sehr engen, intensiven Lichtstrahl—bei der Entfernungsmessung benutzt. Entfernungsmesser wurden für militärische Zwecke entwickelt. Unter dem Namen Tellurometer sind sie auch im Zivilbereich bekannt. Eine Möglichkeit, Entfernungen zu messen, besteht darin, daß man die Zeitdifferenz zwischen einem gesendeten Lichtimpuls und dessen Rückkehr (durch Reflexion an einem Tank oder einem nahen Berg) bestimmt. Tellurometer werden im Bergbau, in der Bauindustrie und bei der Beobachtung aus der Luft verwendet.

Nachrichtenübertragung

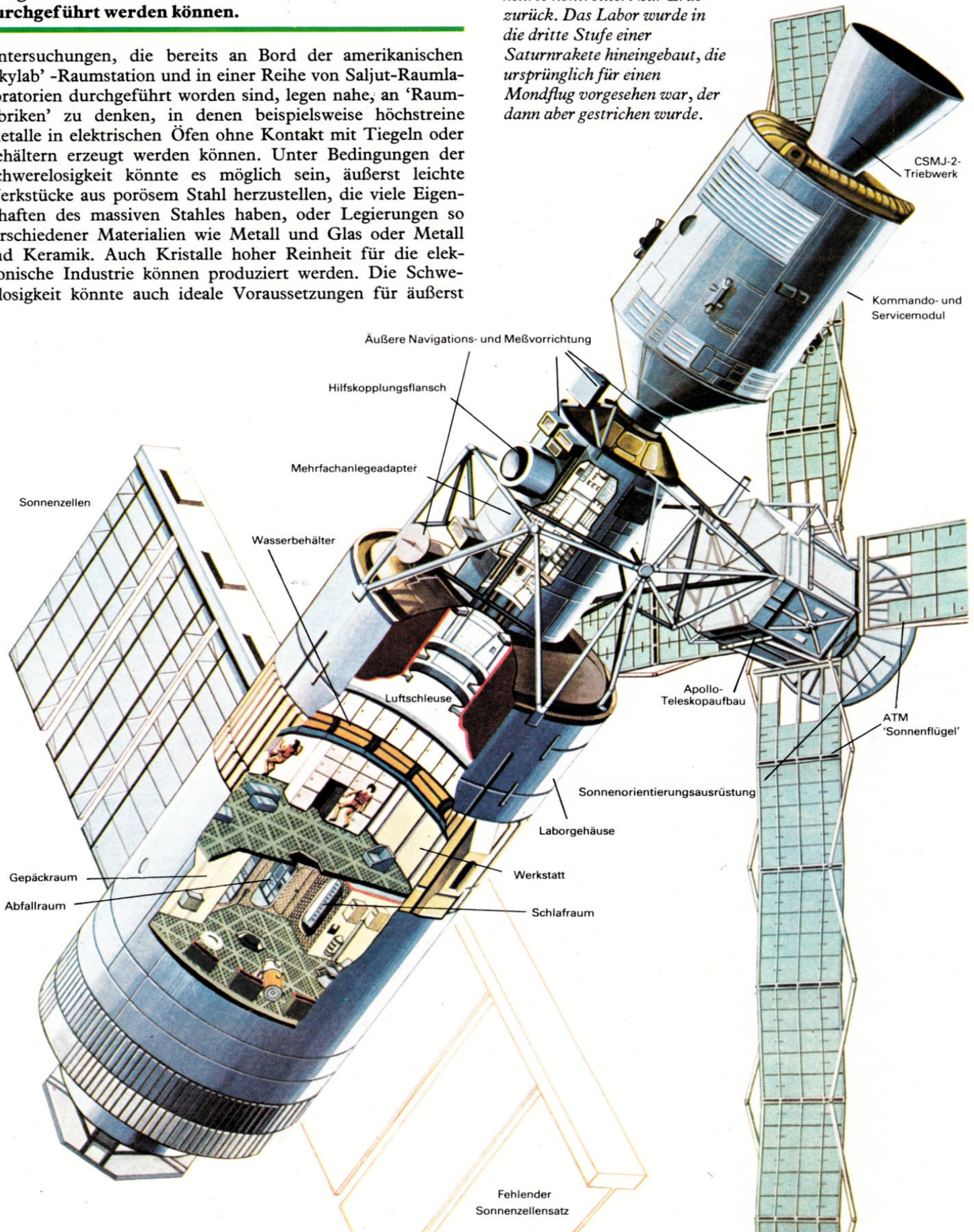
Neben der Entfernungsmessung werden Halbleiterlaser in glasfaseroptischen Nachrichtenübertragungssystemen verwendet. Neben der Möglichkeit, viele Informationen gleichzeitig übertragen zu können, haben diese Systeme den Vorteil, durch äußere elektrische Störeinflüsse nicht beeinflusst zu werden. Dies macht die Glasfasertechnik zur Daten- und Nachrichtenübertragung besonders bei Flugzeugen und Schiffen geeignet. Über größere Entfernungen kann sie zur Telefon- und Fernsehübertragung eingesetzt werden. Setzt man Glasfasern über längere Strecken ein, können die Verluste in der Glasfaser durch Zwischenschalten von Verstärkern überwunden werden. Die Verstärker könnten als Empfänger eine Silicium-Avalanche-Fotodiode und als Sender einen Halbleiterlaser oder eine LED verwenden. Die Technik—man nennt sie Optokopplung—wird schon in Computersystemen eingesetzt. Die Optokopplung zeigt sehr deutlich, wie elektronische Bauteile in Verbindung mit der Optik ganze elektronische Systeme beim Erfassen, Verarbeiten und Aussenden von Information ersetzen können.

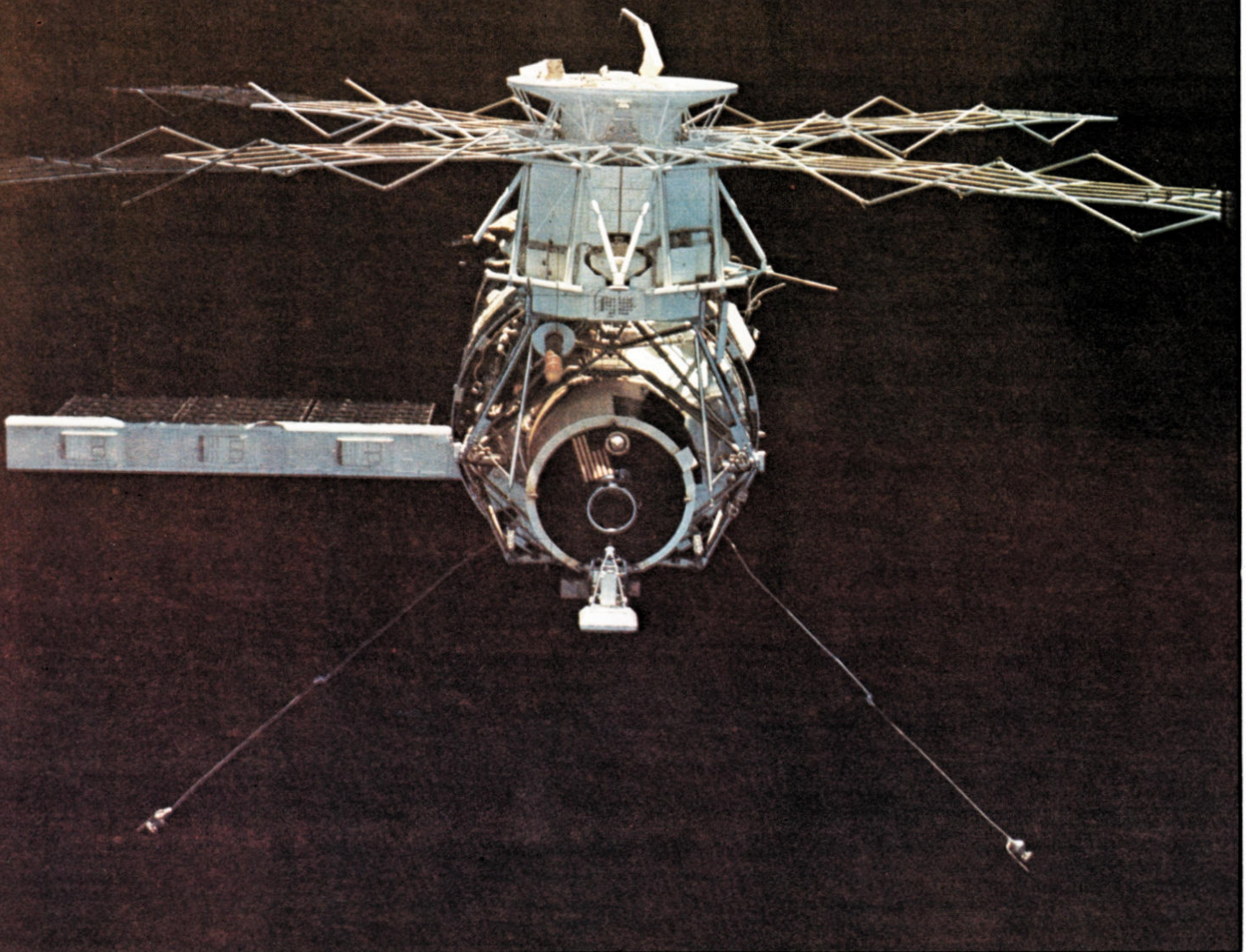
ORBITALLABORATORIUM

Weitere Fortschritte in der Erforschung des Weltraumes hängen von der Entwicklung von Laboratorien in Erdumlaufbahnen (Orbits) ab, in denen Experimente im gewichtlosen Zustand und mit 'hartem' Vakuum durchgeführt werden können.

Untersuchungen, die bereits an Bord der amerikanischen 'Skylab'-Raumstation und in einer Reihe von Saljut-Raumlabors durchgeführt worden sind, legen nahe, an 'Raumfabriken' zu denken, in denen beispielsweise höchstreine Metalle in elektrischen Öfen ohne Kontakt mit Tiegeln oder Behältern erzeugt werden können. Unter Bedingungen der Schwerelosigkeit könnte es möglich sein, äußerst leichte Werkstücke aus porösem Stahl herzustellen, die viele Eigenschaften des massiven Stahles haben, oder Legierungen so verschiedener Materialien wie Metall und Glas oder Metall und Keramik. Auch Kristalle hoher Reinheit für die elektronische Industrie können produziert werden. Die Schwerelosigkeit könnte auch ideale Voraussetzungen für äußerst

Schematische Darstellung des gesamten 'Skylab'-Aufbaus mit Kommando- und Servicemodul. Nur der konische Kommandomodul kehrte kontrolliert zur Erde zurück. Das Labor wurde in die dritte Stufe einer Saturnrakete hineingebaut, die ursprünglich für einen Mondflug vorgesehen war, der dann aber gestrichen wurde.





PHOTRI

schwierige Methoden der Reingewinnung spezieller biologischer Substanzen, wie bei der Herstellung konzentrierter Antikörper-Präparate zur Behandlung bestimmter Krankheiten oder der Fabrikation höchstreiner Impfstoffe, schaffen.

Raumstationen sind auch nützlich als stabile Beobachtungsplattformen zum Studium des umgebenden Universums, wobei das ganze Spektrum der elektromagnetischen Strahlung untersucht werden kann, auch die Anteile, die Bodenobservatorien nicht auffangen können, weil die Atmosphäre sie absorbiert. Sehr gründliche Beobachtungen der Sonne, des uns um nächsten liegenden Fixsternes, wurden von 'Skylab'—Astronauten angestellt.

Die Analyse großflächiger fotografischer Aufnahmen mit verschiedenen Spektralfarben hat bereits zur Entdeckung neuer Minerallagerstätten geführt; Wälder und Landwirtschaftsgebiete sind hinsichtlich ihres generellen Zustandes, ihrer Bodenqualität, ihres Feuchtigkeitsgehaltes und ihres Schädlings- und Krankheitsbefalles untersucht worden. Gesunde Vegetation erscheint auf diesen Aufnahmen rot oder rosa, kranke oder verkümmerte Bewachsung blau bis schwarz.

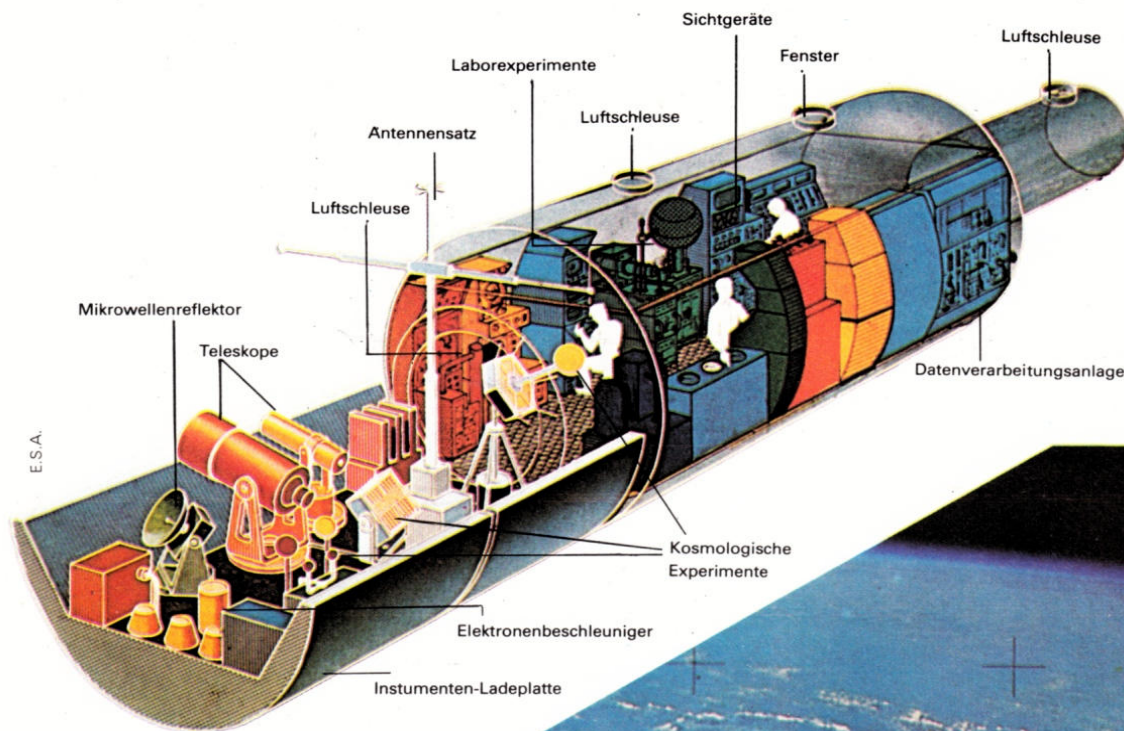
Es ist auch möglich geworden, Temperaturzonen der Meere und planktonreiche Gebiete zu erkennen, in denen sich Fische

Oben: Foto von 'Skylab', aufgenommen aus dem Kommando-modul während des vierten (und letzten) Raumfahrtprogramms, das von November 1973 bis Februar 1974 dauerte.

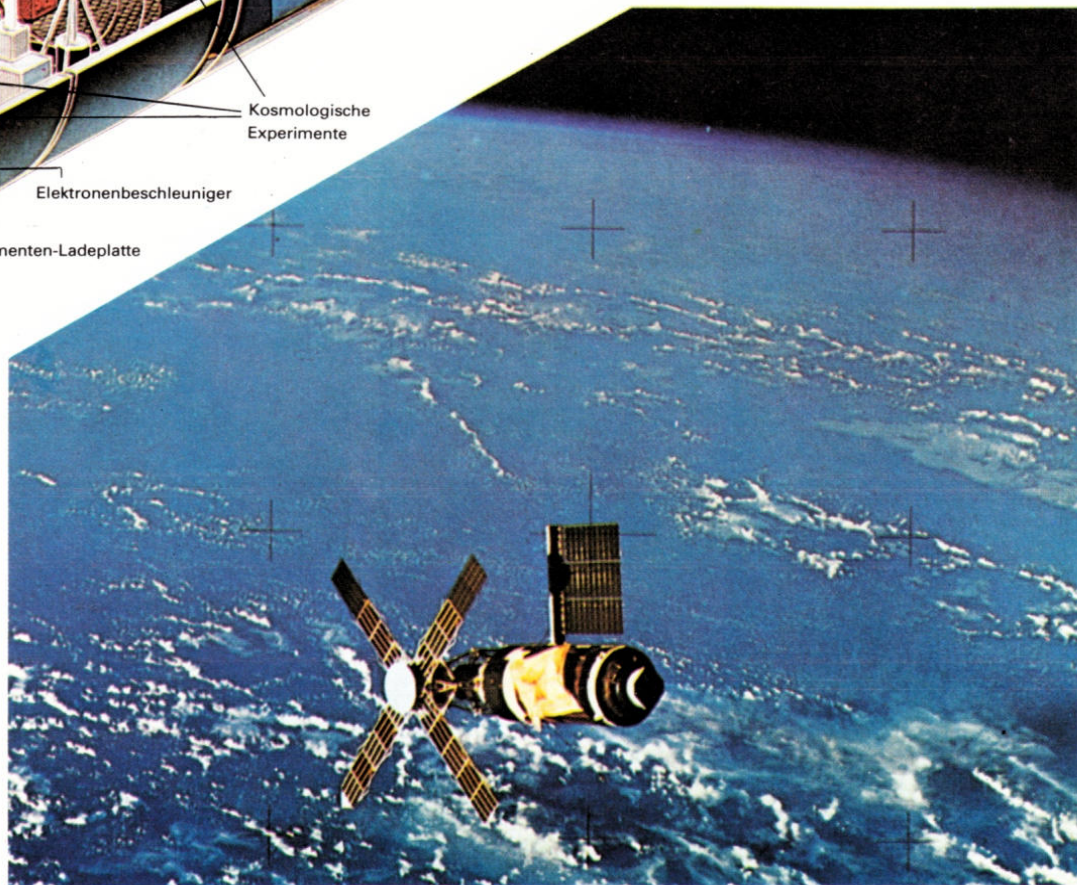
ernähren. Luft und Meeresverschmutzung sind in großem Maßstab sichtbar gemacht worden.

Raumfähren

Raumstationen wie das amerikanische 'Skylab' und die sowjetischen 'Saljuts' wurden unbemannt durch große, nicht wiederzuverwendende Raketen in ihre Umlaufbahn getragen. Die Stationen enthalten Anlegestellen für besuchende Raumschiffe, eine Schleuse, Aufenthaltsräume unter Normaldruck, Temperaturregler, Kreisel zur Stabilisierung der Orientierung und Gastriebwerke zur Änderung der Lage im Raum. Die zum Betrieb der Bordsysteme benötigte Energie wird von großen, ausklappbaren, flügelartigen Sonnenzellensystemen geliefert, die Sonnenlicht in elektrische Energie umsetzen. Die Saljut-Stationen besitzen wegen der erdnäheren Umlaufbahn auch ein Raketentriebwerk zur Bahnkorrektur, das vom Boden oder von Bord aus bedient werden kann.



Oben: Das Raumlaboratorium der Europäischen Raumfahrtagentur wird von NASAs 'Space Shuttle' (Raumfähre) in eine Umlaufbahn gebracht werden. Es ist das erste wieder verwendbare Raumfahrzeug der Welt. 'Spacelab' ist für Raumfahrtprogramme von sieben bis dreißig Tagen vorgesehen. In diesem Zeitraum sollen eine Reihe wissenschaftlicher und technischer Experimente durchgeführt werden.



Die weitere Entwicklung der Raumlaboratorien hängt von den Möglichkeiten ab, Menschen und Material billiger zwischen der Erde und einer Umlaufbahn in mehrfach benutzbaren Raumschiffen zu transportieren. Diese Aufgabe soll bei den Amerikanern vom 'Space Shuttle' (Raumfähre) übernommen werden, das für die achtziger Jahre entwickelt wird. Es handelt sich um ein Raumschiff, das wie eine Rakete senkrecht startet und wie ein Flugzeug landet. Der mit Tragflächen ausgestattete Teil ('Orbiter') wird eine Besatzung von vier Astronauten haben. Wie ein großes Mittelstreckenflugzeug kann er schwere Lasten—bis zu 30 Tonnen—in eine niedrige Umlaufbahn bringen und kann auch selbst als Orbitallabor benutzt werden.

Im 18,3 m langen und 4,6 m breiten Frachtraum des 'Orbiters' soll auch das europäische Raumlabor (Spacelab) untergebracht werden. An Bord des europäischen Raumlabors sollen vier Wissenschaftler bis zu dreißig Tage lang in einer Umlaufbahn Experimente durchführen. Dieses Labor besteht aus zwei wichtigen Komponenten. In einem Labormodul mit normalem Luftdruck kann das Forscherteam 'in Hemdsärmeln' arbeiten, also ohne Raumanzüge tragen zu müssen. Eine äußere Plattform dient zum Aufbau großer, von den

Astronauten bedienter Instrumente wie Teleskope und Antennen, die direkt den Weltraumbedingungen ausgesetzt werden müssen. Das Labor selbst wird mit Standardinstrumenten, elektronischen Geräten, Arbeitstischen, Datenerfassungs- und -verarbeitungsanlagen und beweglichen Auslegern zur Fernbedienung bestimmter Instrumente auf der Plattform ausgerüstet sein.

Nach Angaben der NASA werden die Forscher, die im 'Spacelab' fliegen werden, gesunde Männer und Frauen sein, die in ihrem Fachgebiet qualifiziert sind und nur einige Wochen Spezialtraining brauchen.

Am Ende der Reise wird das 'Spacelab' mit dem Forscherteam zur Erde zurücktransportiert und auf einer konventionellen Landebahn landen. Während der 'Orbiter' für einen neuen Flug vorbereitet wird, wird das Labor herausgehoben, und ein neues, mit anderen experimentellen Vorrichtungen ausgestattetes Labor kann untergebracht werden.

Über das 'Spacelab' -Projekt hinaus gibt es die Möglichkeit, größere Raumstationen auf einer Umlaufbahn aus vorgefertigten Komponenten zusammenzubauen. Die einzelnen Teile würden Stück für Stück von Raumschiffen hinauftransportiert und an Ort und Stelle montiert.

Unten: Das 'Skylab'-Raumlabor, wie es vom Kommandomodul aus aufgenommen wurde. Da der Verlust eines Sonnenzellensatzes zu Überhitzung geführt hatte, mußten die Astronauten einen Mylar-Schirm anbringen, um die Sonneneinstrahlung zu verringern. Trotzdem war 'Skylab' sechs Jahre lang sehr erfolgreich.

ORGANISCHE CHEMIE 1

Die organische Chemie ist ein ständig wachsender Zweig der modernen Naturwissenschaft: Nahezu 2 Millionen organischer Verbindungen sind bis heute bekannt; täglich werden weitere synthetisiert. Die Zahl der noch zu entdeckenden organischen Verbindungen ist nahezu unendlich.

Die organische Chemie befaßt sich mit den chemischen Verbindungen, die Kohlenstoffatome enthalten (siehe ATOME UND MOLEKÜLE). Es mag verwundern, daß ein ganzer Zweig der Chemie den Verbindungen eines einzigen Elementes vorbehalten ist (siehe CHEMIE). Man muß sich jedoch vorstellen, daß die Zahl der bekannten kohlenstoffhaltigen Verbindungen größer ist als die Gesamtzahl aller Verbindungen der übrigen Elemente. Die anorganische Chemie befaßt sich mit allen Elementen und mit denjenigen Verbindungen, die keine Kohlenstoffatome enthalten (mit Ausnahme der Kohlenstoffoxide und -sulfide und der Metallcarbonate, die den anorganischen Verbindungen zugerechnet werden).

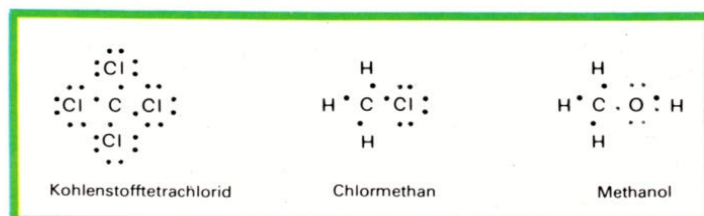
Die organische Chemie entwickelte sich Mitte des 19. Jahrhunderts als eigenständiges Forschungsgebiet. Sie erhielt ihren Namen, weil sie sich mit chemischen Verbindungen befaßte, die im Gegensatz zu anderen bekannten Verbindungen, die mineralischen Ursprungs waren, aus lebenden Organismen gewonnen wurden. Später entdeckte man, daß nahezu alle Verbindungen aus lebender Materie Kohlenstoffatome enthalten. Der Begriff 'organische Chemie' wurde dahingehend erweitert, daß ihr auch alle anderen kohlenstoffhaltigen Verbindungen zugerechnet werden. Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts wurde in den organischen Verbindungen eine 'Lebenskraft' vermutet, die sie von den anorganischen Verbindungen unterscheiden sollte. Es über-

rascht nicht, daß diese Vorstellung der Entwicklung der organischen Chemie auf wissenschaftlicher Ebene nicht förderlich war. Diese Vorstellung herrschte auch dann noch vor, als Wöhler im Jahre 1828 die organische Verbindung Harnstoff $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ aus der anorganischen Verbindung Ammoniumcyanat NH_4CNO synthetisiert hatte.

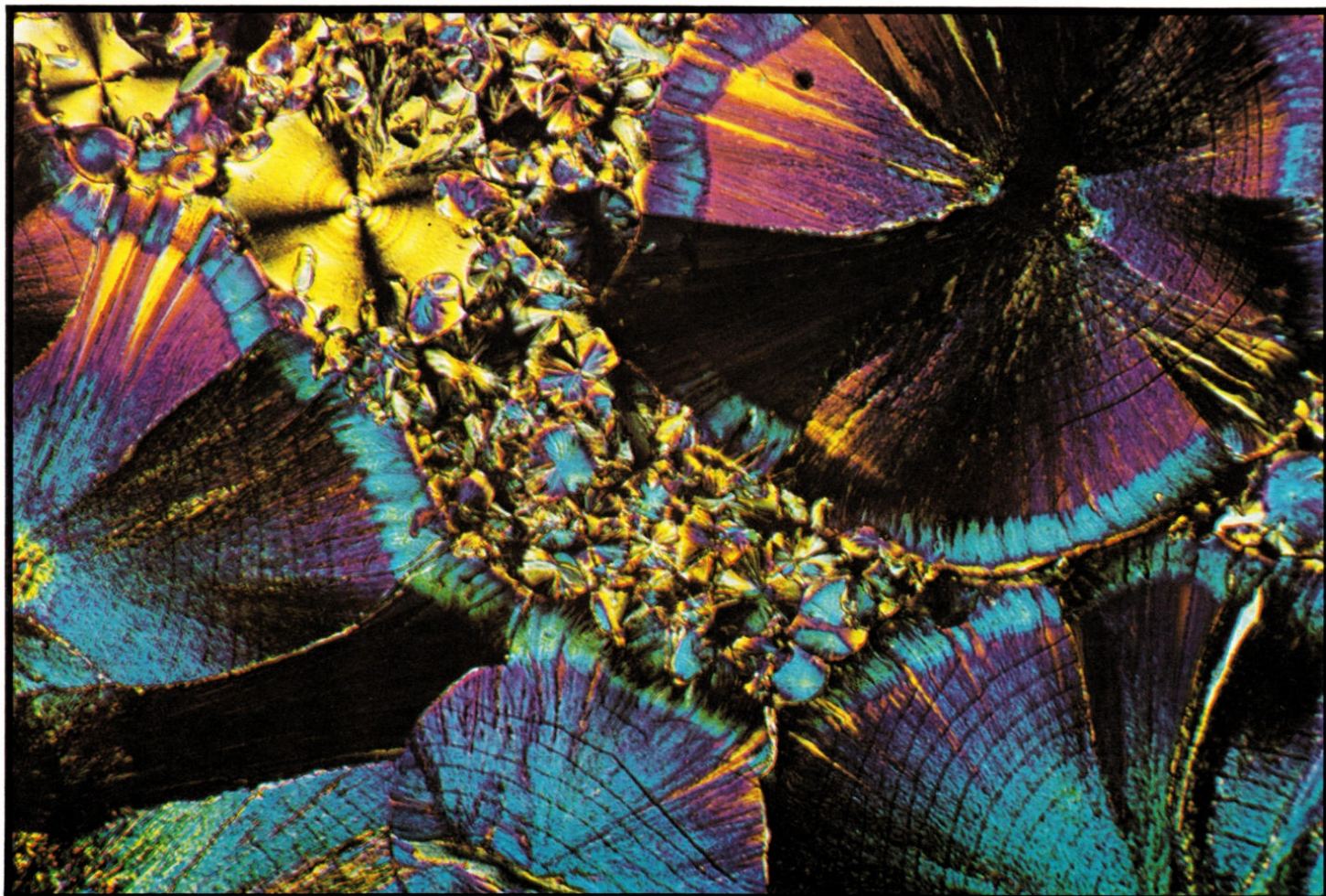
Bindung und Isomerie

Die Vielzahl organischer Verbindungen ist eine Folge der Fähigkeit der Kohlenstoffatome, sich untereinander unter Bildung von Ringen oder langen Ketten zu verbinden sowie der Tatsache, daß eine gegebene Zahl von Kohlenstoffatomen auf verschiedene Weise angeordnet werden kann.

Ungeachtet der Anzahl der Kohlenstoffatome in einem Molekül müssen diese stets so angeordnet sein, daß jedes Kohlenstoffatom die Wertigkeit 4 hat. (Die Wertigkeit ist ein Maß der Bindungsfähigkeit der Atome. Kohlenstoff besitzt die Wertigkeit 4, Stickstoff die Wertigkeit 3, Sauerstoff die Wertigkeit 2, Wasserstoff und die HALOGENE haben die Wertigkeit 1.) Das heißt, daß z.B. Methanol, Chloroform und Acetylen folgende Strukturformeln besitzen müssen:



Unten: Asparagin-Kristalle (65-fach vergrößert). Asparagin ist eine Aminosäure und enthält eine Amino- sowie eine Kohlenstoff-säuregruppe. Aminosäuren sind Bestandteile der Proteine.



Im Acetylen wird der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs durch eine Dreifachbindung zwischen den beiden Kohlenstoffatomen entsprochen. Auch Doppelbindungen kommen vor.

Recht häufig haben verschiedene chemische Verbindungen die gleiche Summenformel. So kann die Formel C_6H_{12} mehrere verschiedene Kohlenwasserstoffe beschreiben, z.B. Cyclohexan und Hexen-1. Man nennt diese beiden Verbindungen Strukturisomere.

Man kann vier verschiedene Molekülreste auch andersartig um ein zentrales Kohlenstoffatom anordnen. So können die beiden Isomeren der Milchsäure wie folgt dargestellt werden:



(Diese Moleküle sind dreidimensional. Die gestrichelte Linie bedeutet eine Bindung, die in das Papier hineinragt, das schwarze Dreieck bedeutet eine Bindung, die aus dem Papier auf uns zukommt.) Isomere dieser Art werden optische Isomere oder Stereoisomere genannt. Ihre Bedeutung liegt insbesondere darin, daß die in lebendem Gewebe vorhandenen Verbindungen, z.B. die Aminosäuren, im allgemeinen eine spezifische stereoisomere Form haben.

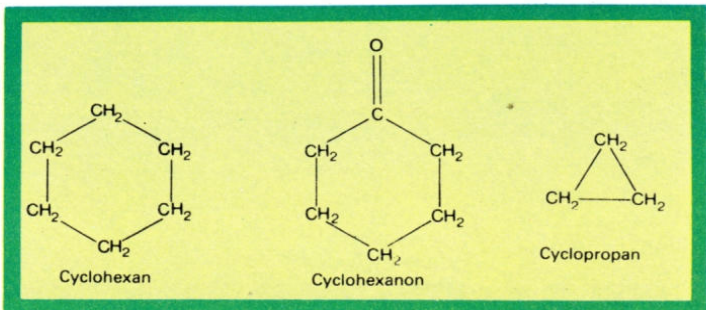
Organische Verbindungen

Die organischen Verbindungen lassen sich in vier Hauptgruppen einteilen, nämlich in aliphatische, in aromatische, in alizyklische und in heterozyklische Verbindungen.

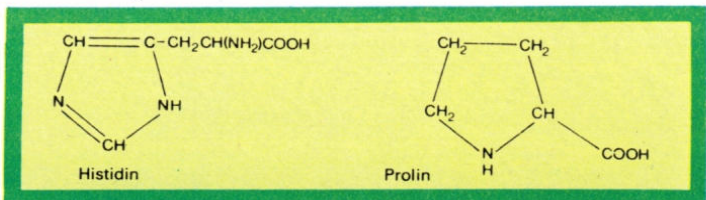
Die aliphatischen Verbindungen sind offenkettige Verbindungen. Zu ihnen gehören z.B. Methan (CH_4), Acetylen, Essigsäure (CH_3COOH), Hexen-1 und Kunststoffe wie das Polyethylen.

Die aromatischen Verbindungen leiten sich vom zyklischen Kohlenwasserstoff Benzol ab. Zu ihnen gehören z.B. Toluol, Anilin und der Sprengstoff Trinitrotoluol (TNT).

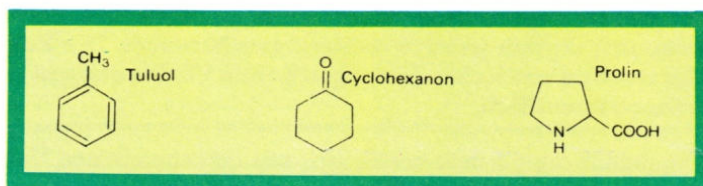
Alizyklische Verbindungen sind Verbindungen, die Ringe aus Kohlenstoffatomen, die aber keine Benzolringe sind, enthalten. Beispiele für alizyklische Verbindungen sind Cyclohexan, ein technisches Lösungsmittel, Cyclohexanon, das zur Herstellung von Nylon-6 dient, und Cyclopropan, ein Narkosegas:



Heterozyklische Verbindungen sind ringförmige Verbindungen, bei denen mindestens ein Ringatom kein Kohlenstoffatom ist. Als Beispiele seien die Aminosäuren Histidin und Prolin genannt:



Um das Ausschreiben der chemischen Formeln zu vereinfachen, läßt man gewöhnlich die Kohlenstoff- und Wasserstoffatome an den Ringen weg, wobei sich folgende Schreibweise ergibt:



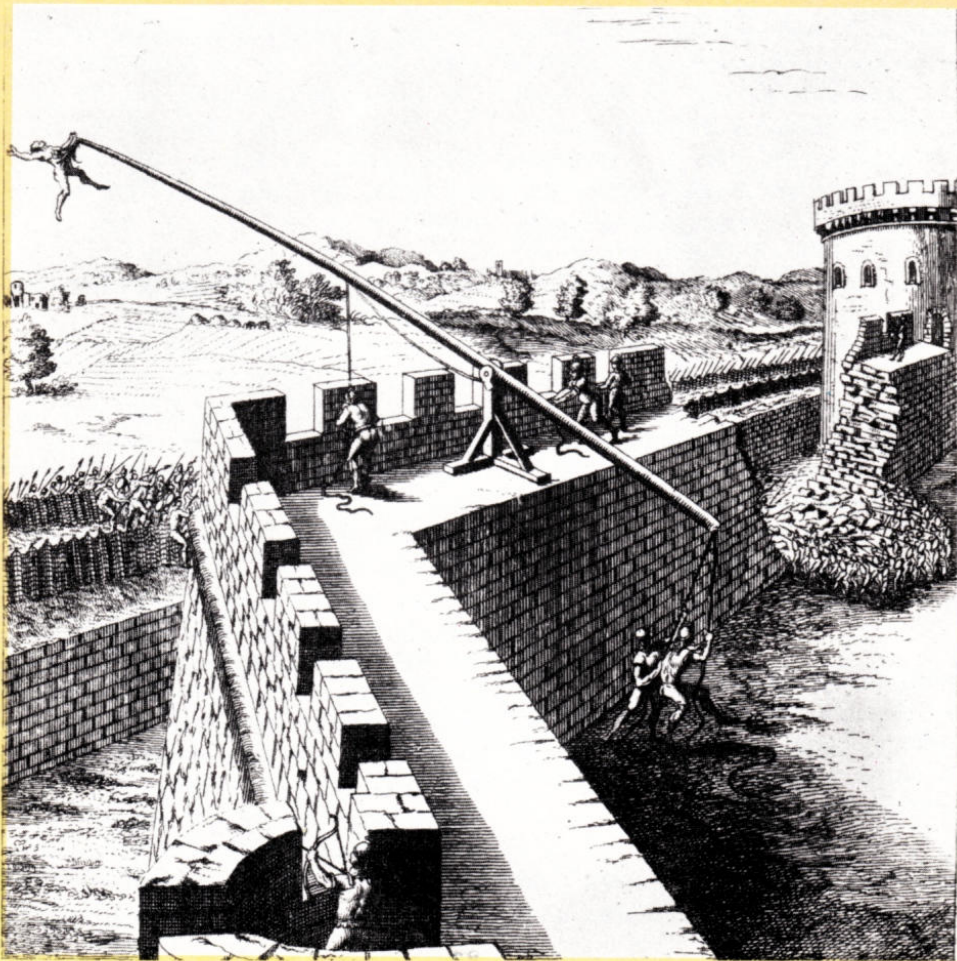
Organische Verbindungen können auch anhand der chemischen Gruppen, die sie enthalten, eingeteilt werden. Häufige Gruppen sind die Aldehydgruppe $-CHO$, die Aminogruppe (in Aminen) $-NH_2$, die Carbonsäuregruppe $-COOH$, die Ethylgruppe $-C_2H_5$, die Hydroxylgruppe (in Alkoholen) $-OH$, die Ketogruppe (in Ketonen) $-CO-$, die Methylgruppe $-CH_3$, und die Nitrogruppe $-NO_2$. Dementsprechend ist Anilin ein aromatisches Amin und Cyclohexanon ein alizyklisches Keton. Die chemischen Reaktionen, die organische Verbindungen eingehen, hängen von den Gruppen ab, die in den Molekülen vorliegen. Eine bestimmte chemische Gruppe liefert normalerweise stets die gleichen Reaktionen, ungeachtet des restlichen Moleküls, zu dem sie gehört. Allerdings kann das chemische Verhalten einer Gruppe von den übrigen Gruppen des Moleküls beeinflusst werden, was häufig vorkommt.

Die Aufklärung der Struktur einer unbekannten chemischen Verbindung erfolgt durch physikalische und chemische Analysemethoden. Die chemischen Reaktionen der Verbindung geben einen Hinweis auf bestimmte chemische Gruppen. Häufig kann die Verbindung auch in kleinere, leichter erkennbare Fragmente zerlegt werden. Zu den physikalischen Methoden gehören die Bestimmung des Molekulargewichtes, Infrarot- und Ultraviolett-SPEKTROSKOPIE, KERNRESONANZ (magnetische) und MASSENSPEKTROSKOPIE. Viele organische Verbindungen sind äußerst kompliziert aufgebaut, so daß ihre Strukturaufklärung Jahre intensiver Forschung erfordern kann.

Abkühlung bereits verfestigter Tröpfchen aus Harnstoff in einer Wirbelschicht. Harnstoff wird als Düngemittel verwendet.



Erfindungen 34: DER KRAN



R. B. FLEMING

Oben: Dieser Hebebaum wurde zur Kriegsführung im Mittelalter entwickelt. Er besaß einen Ausleger mit

einer 'Klaue', mit der man Angreifer packen und hochziehen konnte.

der mit einem Ende im Boden verankert wurde. Er war sozusagen zugleich Gittermast und Ausleger (wenn man an moderne Kräne denkt), und ihm mußte mit Halteseilen, die zu seiner Spitze liefen, fester Stand verliehen werden. Die Rolle mit dem Zugseil saß oben auf dem Pfahl, und das Seil wurde gewöhnlich über eine seitlich unten am Pfahl angebrachte Haspel betätigt. Vitruv beschreibt, wie mit Hilfe dieser Haspel und der Halteseile der Pfahl in seine senkrechte Stellung gebracht wurde. Weit komplizierter war bereits ein ähnlicher Kran aus zwei Pfählen, die an ihrem oberen Ende zusammengebunden waren, unten jedoch einen bestimmten Abstand voneinander hatten und dadurch modernen Ladebäumen ähnlich waren. Bei solchen Kränen reichte eine einzige Rückstrebe aus, während die Pfosten durch hölzerne Querstreben, etwa wie die Sprossen einer Leiter, in ihrer jeweiligen Lage gehalten wurden. Die Haspel konnte bei diesem Kran zwischen den Pfosten auf dem Boden aufgestellt werden.

Schwere römische Kräne

Wenn sehr schwere Lasten gehoben werden mußten, wurde die Haspel durch eine käfigartige Trettrommel ('Tretmühle') ersetzt, die in ihrem Aufbau den heute mitunter in Ham-

Der Kran scheint eine griechische oder römische Erfindung zu sein, über die es vor dem ersten Jahrhundert n. Chr. keine Berichte gibt. Doch wurden schon vor dieser Zeit Baudenkmäler aus gewaltigen Steinblöcken, wie zum Beispiel die Pyramiden Ägyptens oder die Anlage von Stonehenge in Südengland, ohne Hebevorrichtungen errichtet. In der Regel schüttete man aus Erde eine Rampe auf und schleppte Megalithen oder Steinquader über untergelegte Rollen hinauf. Hatten sie auf diese Weise die gewünschte Höhe erreicht, wurden sie mit einfachen Hebeln an den für sie vorgesehenen Platz gerückt.

Leichte römische Kräne

Die einfachste Ausführung dieser Kräne war nichts weiter als ein Pfahl,

Rechts: Beim Turmbau zu Babel nach dem Alten Testament von Maciejowski, um 1250. Das Hebezeug wurde über eine Tretmühle betrieben.



PIERPONT MORGAN

sterkäftigen befindlichen Laufrädern entsprechen. In diesen Trettrommeln konnten zwei oder mehr Männer mit ihrem Körpergewicht die Last heben, während andere—falls notwendig— an Seilen zogen, die rund um den Außenumfang des Rades gelegt waren.

Heron beschreibt noch größere Kräne mit drei oder vier Pfählen sowie eine Art von Greifkorb, einer Hummerschere nicht unähnlich, die am Zugseil befestigt werden konnte.

Kräne des Mittelalters

Die gerade beschriebenen römischen Kräne waren nur sehr beschränkt einsetzbar. Zwar konnte die Last senkrecht nach oben gehoben werden, doch war der Winkel, um den man sie nach links oder rechts schwenken konnte, ohne den Kran aus dem Gleichgewicht zu bringen, sehr klein. Die Höhe, bis zu der die Last gehoben werden konnte, war durch die Länge der für den Kran verwendeten Pfähle begrenzt. Überdies war er ortsfest und konnte nicht ohne weiteres ab- und an anderer Stelle wieder aufgebaut werden.

Nach und nach gelang es den Ingenieuren des Mittelalters, die größten Nachteile zu beseitigen. Zuerst wurde die 'Ladebaum'-Anordnung durch einen senkrechten Holzpfiler, den ein kräftiger Holzrahmen trug,

ersetzt. In ihm war die Haspel oder das Trettrad untergebracht. Der stehende Holzpfiler ließ sich in seiner Rahmenkonstruktion drehen, und an seinem oberen Ende wurde ein freitragender Auslegerarm mit einer Querstrebe angebracht. Ein solcher Kran war schwenkbar, da die Last, wenn sie erst einmal angehoben war, nach rechts oder links in einem von der Spitze des Auslegerarms beschriebenen Bogen ausgeschwungen werden konnte. Darüber hinaus erkannten Baumeister des Mittelalters, daß ein solcher Kran nicht unbedingt auf dem Boden aufgestellt werden mußte. Er konnte auch mit dem Fortschreiten des Bauwerk in größerer Höhe erneut aufgestellt werden. Dazu ließ man an verschiedenen Stellen im Mauerwerk Aussparungen, in die man die Tragfüße des Kranrahmens einsetzen konnte. Auf diese Weise wurde der Kran oft außen an

Unten links: Ein großer Holzkran bei Brügge. Noch im Mittelalter wurde er, wie zur Zeit der Römer, von einer ungeheuren Tretmühle in Gang gesetzt.

Unten: Modell eines Kranes von Leonardo da Vinci. Er wurde zum Heben von Steinblöcken benutzt und ließ sich drehen.

der im Bau befindlichen Mauer befestigt.

Im Mittelalter bildeten Kräne, obgleich sie in der Regel zum Bau eingesetzt wurden, auch einen vertrauten Anblick in den Docks, wo sie zum Beladen der Schiffe dienten. Die menschliche Arbeitskraft, mit der man Haspeln oder Treträder antrieb, blieb bis zur Erfindung der Dampfmaschine die hauptsächliche Kraftquelle.

Kräne mit durch Gegengewichte stabilisierten Auslegern

Es ist nicht klar, ob Keyzers Kran ortsfest sein sollte oder nicht, aber schon um 1480 stellte Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) einen beweglichen Kran mit einem durch Gegengewichte stabilisierten Ausleger dar. Das späte Auftreten dieser Art von Ausleger ist seltsam, denn er war im Mittelalter lange in Gebrauch gewesen: als Hebebäume an den Wehrgängen von Burgen. Mit solchen 'Corvus' genannten Auslegern wurden Belagerer hochgezogen, wenn sie sich zu nahe heranzuwagten. Im Jahre 1139 geriet Prinz Henry von Schottland beinahe auf diese Weise in Gefangenschaft. Auch ließen Belagerer gelegentlich mit solchen Kränen kleine Wandeltürme über die Mauern angegriffener Festungen herab.

