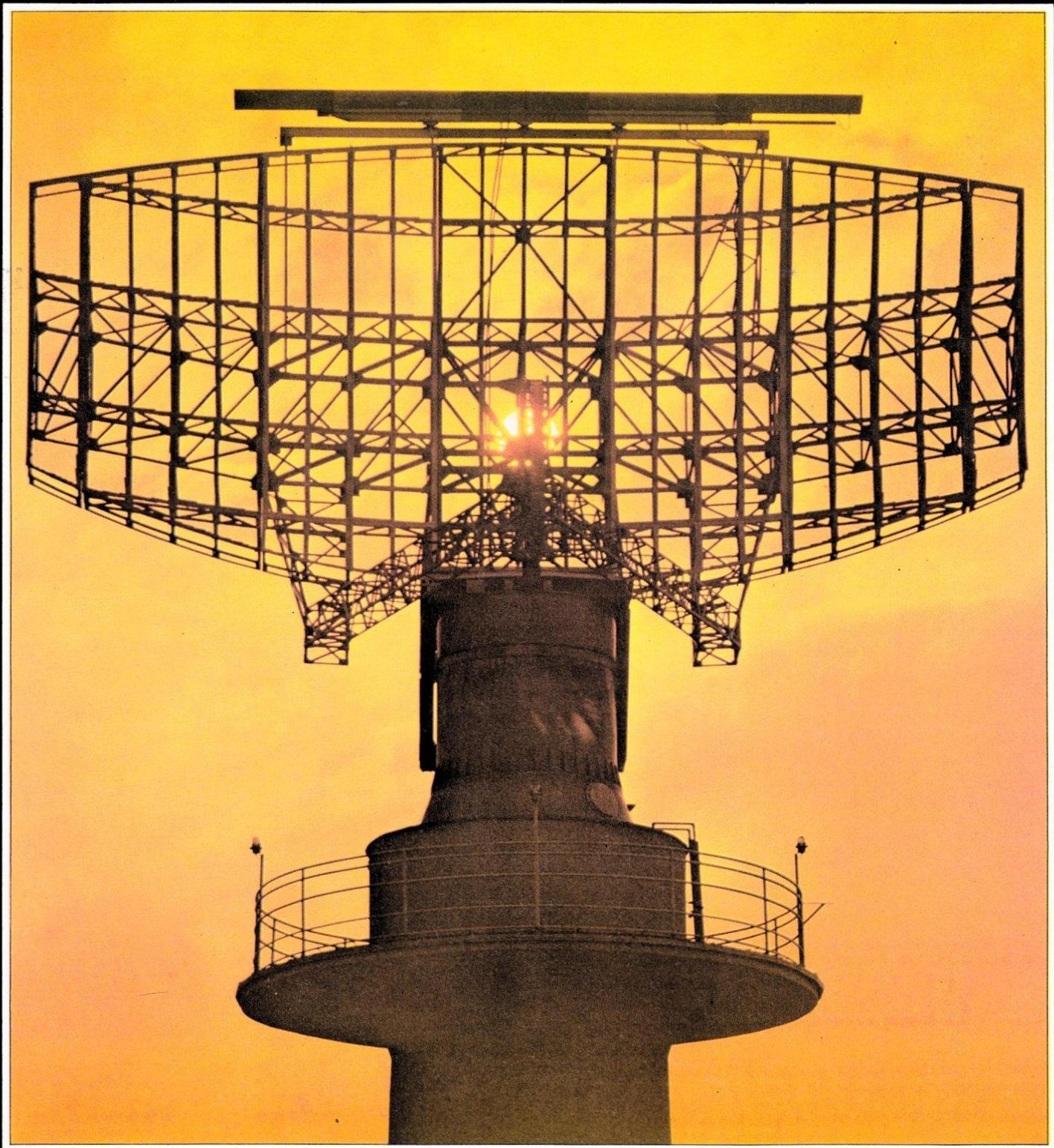


HEFT 42 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

WIE GEHT DAS

Inhalt

Projektor	1149
Prothesen	1154
Pumpen	1158
Pyramiden	1162
Quantentheorie	1165
Quarzuhr	1168
Quecksilber	1170
Radar	1172

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDO WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

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

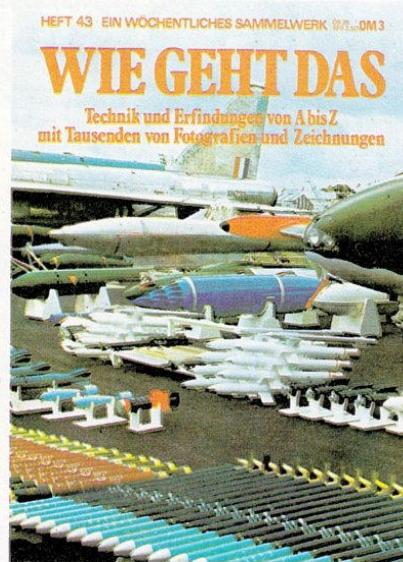
INHALTSVERZEICHNIS

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

In Heft 43 von Wie Geht Das

Die Chinesen benutzten bereits vor Jahrhunderten Raketen. Die Rakete wurde aber erst in diesem Jahrhundert voll entwickelt. In Heft 43 von Wie Geht Das wird die Arbeitsweise heute verwendeter Raketen und der in der Entwicklung befindlichen erläutert.

Sterne und andere Objekte im Welt Raum geben neben dem sichtbaren Licht enorme Mengen unsichtbarer Strahlungen wie Radiowellen ab. Lesen Sie in dem Artikel über Radioteleskope in der nächsten Ausgabe von Wie Geht Das, wie diese aus sehr großen Entfernungskommenden Strahlen aufgespürt werden.



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 Ordern 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, bestellen Sie den Händler gern für Sie die Sammelordner.

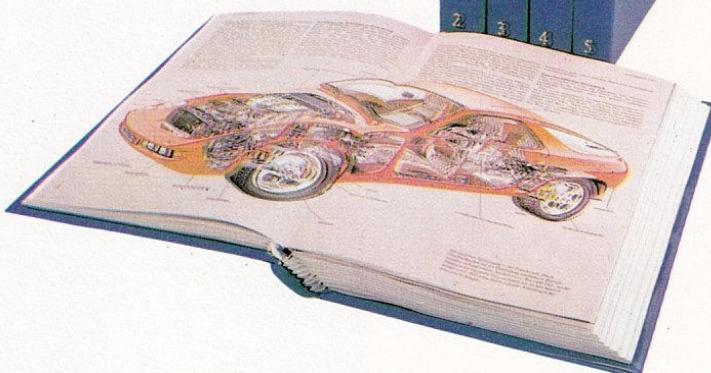
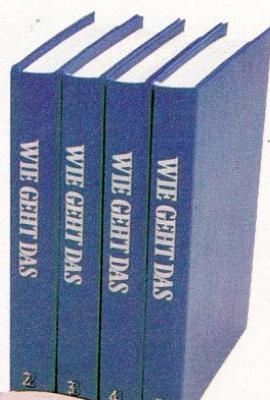
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

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

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



PROJEKTOR

Projektoren sind ähnlich wie Kameras aufgebaut. Eine Kamera ließe sich in der Tat in einen Projektor umfunktionieren, wenn man hinter dem verarbeiteten Diafilm eine Lampe anbrächte.

Die Projektoren, mit denen wir heute Ferien-Dias oder auch komplette Spielfilme ansehen, sind alle Abkömmlinge der 'Laterna magica'. Im 19. Jahrhundert zählte es zu den großen Vergnügungen, Durchsichtsbilder — häufig einfache Malereien von Motiven oder Figuren auf Glas — an die Wand oder auf eine Leinwand zu projizieren. Die farbenfrohen Bilder, die da scheinbar aus dem Nichts entstanden, erregten große Bewunderung, auch wenn als Lichtquelle nur eine flackernde Kerze diente. Schließlich wurden auch transparente fotografische Aufnahmen projiziert, und der Diavortrag eines Forschungsreisenden über seine Erlebnisse wurde zur beliebten Unterhaltung.

Nach der Erfindung des Kinematographen durch die Brüder Lumière boten bald auch Projektoren für Laufbildfilme einen vertrauten Anblick. Die Produktion von Farb-Diafilmen machte es schließlich jedem Amateur möglich, mit einer Kleinbildkamera hochwertige Farbdias herzustellen. Damit stieg auch der Bedarf an unkomplizierten Diaprojektoren für den Hausgebrauch. Sie sind heute sogar mit Magazinen ausgerüstet, die es gestatten, ganze Dia-Serien vorzuführen.

Das ursprüngliche Format der Glasbilder war in Deutschland $8,5 \times 10 \text{ cm}^2$, in England $8 \times 8 \text{ cm}^2$ und in den USA $8 \times 11 \text{ cm}^2$. Diese Formate wurden aber unhandlich, nachdem die hochwertigen Kleinbildfilme mit dem Dia-Standard-

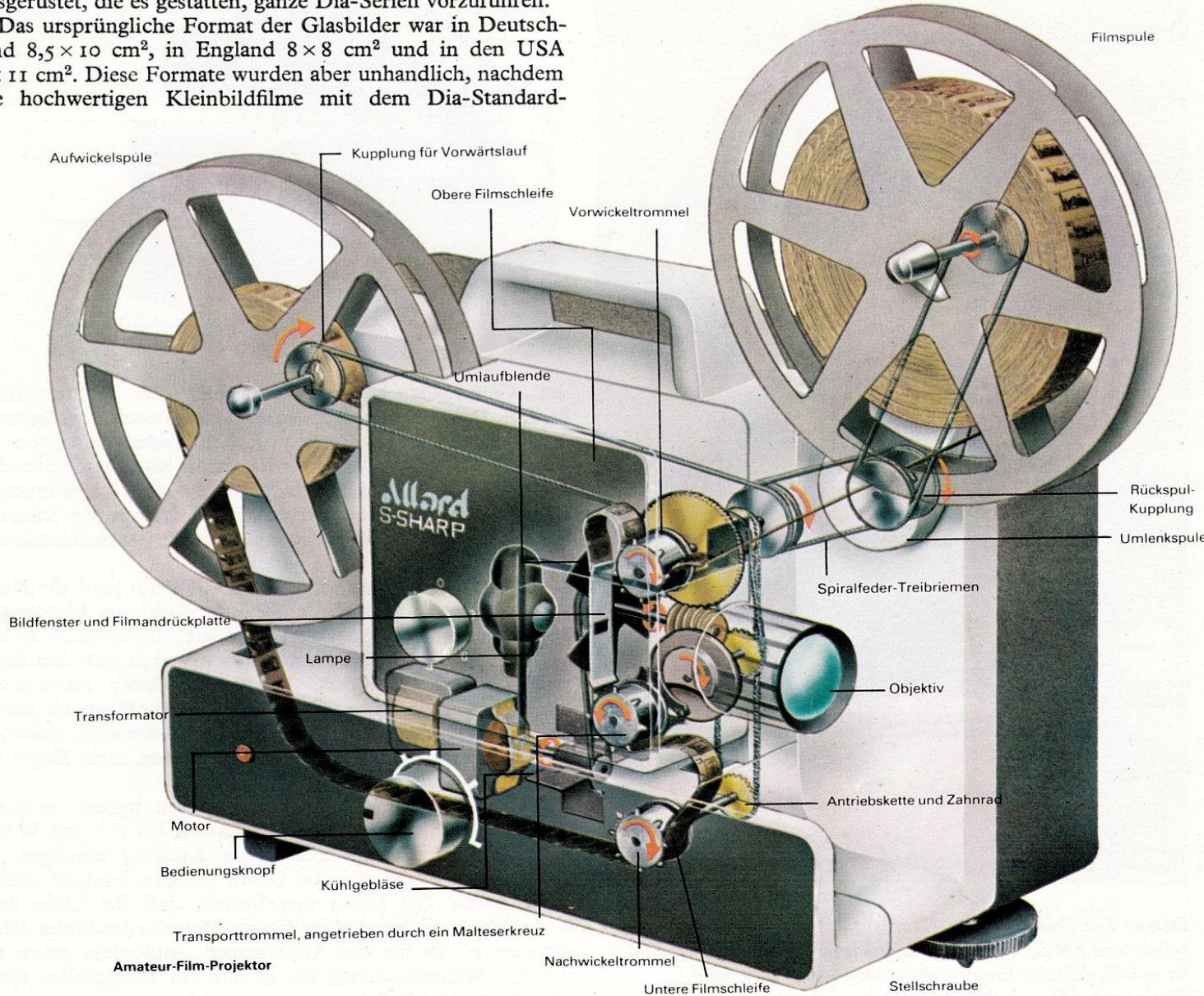
Format $5 \times 5 \text{ cm}^2$ eingeführt worden waren; das Bildfeld beträgt dabei $24 \times 36 \text{ mm}^2$. Andere Dia-Formate, wie z.B. $6 \times 6 \text{ cm}^2$, werden nur noch selten benutzt.

Aufbau

Alle Projektoren, angefangen von der ersten Laterna magica bis zum neuesten Filmprojektor, haben folgende Bauteile gemeinsam: eine Lichtquelle, einen Kondensor, die Filmbühne und ein Projektionsobjektiv. Zur Projektion wird das Dia in die Filmbühne gebracht, vom Licht des Kondensors durchstrahlt und vom Objektiv vergrößert auf der Leinwand abgebildet.

Ohne Kondensor wäre das projizierte Bild nur schwach und

Unten: Ein Amateurfilm-Projektor mit seinen charakteristischen Bauteilen, die es in verschiedenen Ausführungsformen gibt. Der Film wird mit konstanter Geschwindigkeit über die Vor- und Nachwickeltrommeln transportiert, die ihrerseits über ein Getriebe und eine Kette vom Motor angetrieben werden. Der bildweise und ruckartige Transport im Bereich des Bildfensters besorgt hier ein Malteserkreuz, in kleineren Projektoren häufiger ein Greifermechanismus. Hinter der Vorwickel- und vor der Nachwickeltrommel muß jeweils eine Filmschleife sein, um den Film durch den ruckartigen Transport nicht übermäßig zu spannen bzw. zu zerreißen.



ungleichmäßig ausgeleuchtet. Das Objektiv würde nämlich in diesem Falle ein verwaschenes Bild der Lichtquelle liefern, die praktisch nie punktförmig oder als gleichmäßig leuchtende Fläche ausgebildet ist. Aber selbst wenn es so wäre, würde die Helligkeit auf der Leinwand zu den Ecken hin merklich abfallen, da der Abstand zwischen Projektor und Leinwand in der Mitte geringer ist als an den Ecken. Darüberhinaus würde auch nur der geringe Anteil des Lichtes für die Projektion ausgenutzt, der auf die Diafläche auftrifft, während der größte Teil verlorenginge.

Kondensoren

Eine Kondensoranordnung besteht im allgemeinen aus zwei Teilen, einem Hohlspiegel hinter der Lichtquelle und einem Linsensystem zwischen der Lichtquelle und der Filmbühne. Der Hohlspiegel reflektiert das nach hinten fallende Licht und verdoppelt so nahezu die nach vorne gerichtete Lichtintensität, die auf das Linsensystem auftrifft. Dieses sammelt das Licht in der Filmebene und leuchtet das dort befindliche Objekt gleichmäßig aus. Mit dieser Anordnung kann etwa ein Drittel der gesamten Lichtintensität auf das Dia oder das Filmbild konzentriert werden.

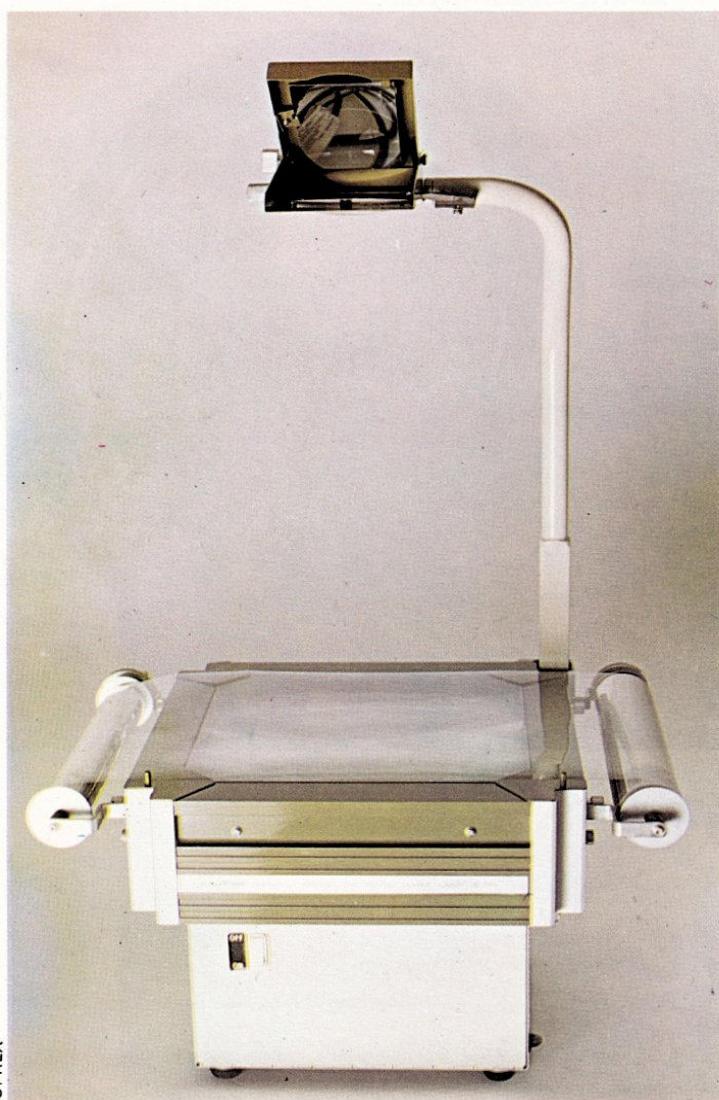
Die üblichen Lichtquellen entwickeln auch sehr viel Wärme, so daß Kühlgebläse notwendig sind, um die Lampe und die ihr am nächsten befindliche Kondensorlinse auf einer vernünf-

tigen Temperatur zu halten. Auch das Dia oder der Film sollte tunlichst vor intensiver Wärmestrahlung geschützt werden. Daher werden Wärmeschutzfilter aus Glas verwendet, die die Infrarot-Strahlung, nicht aber das sichtbare Licht absorbieren. Unvermeidbar ist aber die Erwärmung des Dias durch die Absorption im sichtbaren Bereich der Lichtstrahlung. Im Falle der Laufbildvorführung ist die Verweilzeit des Filmmaterials im Projektor wesentlich kürzer als bei Dias, so daß in den Filmprojektoren höhere Lichtintensitäten möglich sind.

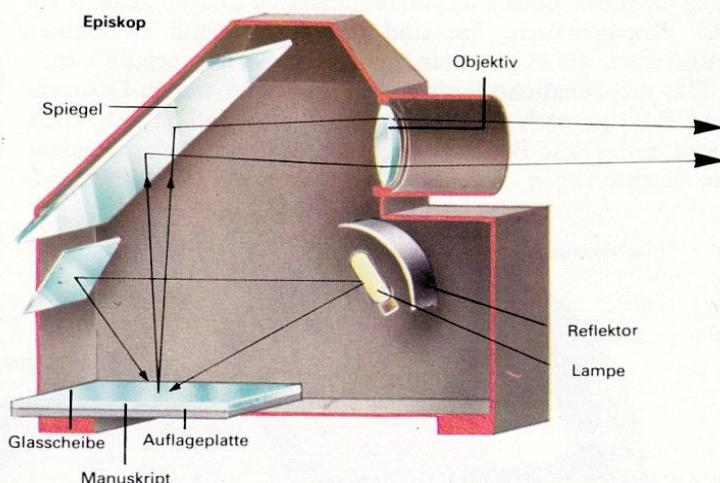
Die Kondensorsysteme können auch so ausgeführt werden, daß der Lichtabfall zu den Bildecken hin kompensiert, die Ausleuchtung der projizierten Bilder also gleichmäßiger wird.

Lichtquellen

Die in den ersten Bildwerfern verwendeten Lichtquellen waren Kerzen, die natürlich nicht besonders geeignet waren. Daher wurde schon bei den ersten Filmprojektoren auf elektrische Lampen wie die von T. A. Edison (1847 bis 1931) oder die Kohlebogenlampe der Brüder Lumière übergegangen. Die Bogenlampen gaben zwar hellere Bilder; sie waren jedoch in der Handhabung etwas umständlicher. Dennoch war die Kohlebogenlampe lange Zeit die einzige Lichtquelle, die für



Oben: Der Overhead-Projektor ist für Unterrichtszwecke beliebt und hat die Wandtafel weitgehend verdrängt. Das Bild ist so hell, daß der Raum nicht verdunkelt werden muß. Transparent-Pausen können im voraus angefertigt werden.



die Kinoprojektoren eine genügend hohe Lichtintensität lieferte. Dieser Lampentyp ist auch heute noch in Gebrauch. In den letzten Jahren wurde er jedoch immer stärker von der Xenon-Hochdruck-Lampe verdrängt, die bis zu 1 500 Stunden praktisch ohne Wartung ein konstant helles Licht erzeugt. Diese Lampe kann im übrigen mit 48 Blitzen pro Sekunde gepulst werden, wodurch die mechanische Umlaufblende der Projektoren entfällt.

In großen Filmtheatern und in Autokino sind die Kohlebogenlampen unentbehrlich. Da die Kohle im Lichtbogen langsam abbrennt, bildet sich bei Gleichstrombetrieb an der positiven Elektrode ein Krater aus, wodurch sich der Elektrodenabstand vergrößert. Es wurden daher automatisch nachregulierende Bogenlampen konstruiert. Dennoch halten auch die größten etwa 13 mm dicken Elektroden, zwischen denen Stromstärken von 250 Ampere fließen, nicht länger als eine Stunde.

In kleineren Film- und Diaprojektoren werden meistens Wolfram-Glühlampen (siehe GLÜHLAMPE) bis zu 1 000 W benutzt, die aber einen Ventilator zur Kühlung benötigen. In neuerer Zeit setzen sich die Quarz-Halogen-Lampen immer mehr durch. Sie haben den Vorteil, daß ihr Licht dem Tageslicht ähnlicher und die Farbwiedergabe der Bilder daher getreuer ist als bei den Glühlampen. Außerdem geben sie weniger Wärmestrahlung ab, so daß ein Kühlgebläse nicht unbedingt erforderlich ist.

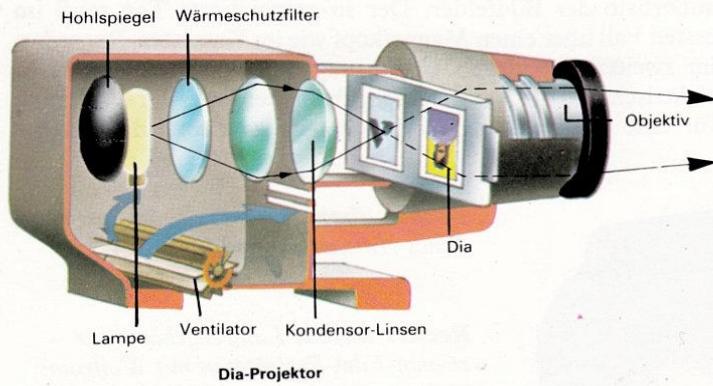
Objektive

In den tragbaren Projektoren werden üblicherweise Wechselobjektive mit unterschiedlichen Brennweiten benutzt, um die Geräte an verschiedenen großen Räume und Projektionsabständen anzupassen zu können. Mit einem Objektiv kurzer Brennweite kann z.B. in einem kleinen Raum ein relativ großes Bild projiziert werden, während ein Objektiv mit längerer Brennweite ein gleich großes Bild in größerer Entfernung liefert und damit eher für einen Hörsaal geeignet ist. Die Objektive mit längerer Brennweite und entsprechend geringerer Linsenkrümmung sind einfacher herzustellen und verhalten sich bezüglich der Verzeichnungen und Farbfehler günstiger.

Die Energie, die während der Projektion durch das Objektiv geschickt wird, ist beträchtlich, so daß alle Bestandteile der Objektive hitzebeständig sein müssen. So können die einzelnen Linsen nicht wie bei den Kameraobjektiven verkittet werden und auch die Vergütung der Linsen darf sich in der Hitze nicht verändern.

Dia-Wechsel

Heute sind die Einzelbild-Projektoren, bei denen die Dias in einem Schlitten mit der Hand hin und her geschoben werden,



Oben & links: Zwei Projektionssysteme: Das Episkop, links, projiziert ein Bild von einem undurchsichtigen Original (z.B. Manuskript). Dieses wird von einer Lampe mit Reflektor beleuchtet auf einem Planspiegel gespiegelt und mit Hilfe des Objektivs, auf einer Leinwand vergrößert, abgebildet. Oben, ein Dia-Projektor oder Diaskop mit einem Wärmeschutzfilter und dem Kondensor. Das Dia muß mit der Oberkante nach unten und seitenvorkehrt eingelegt werden.

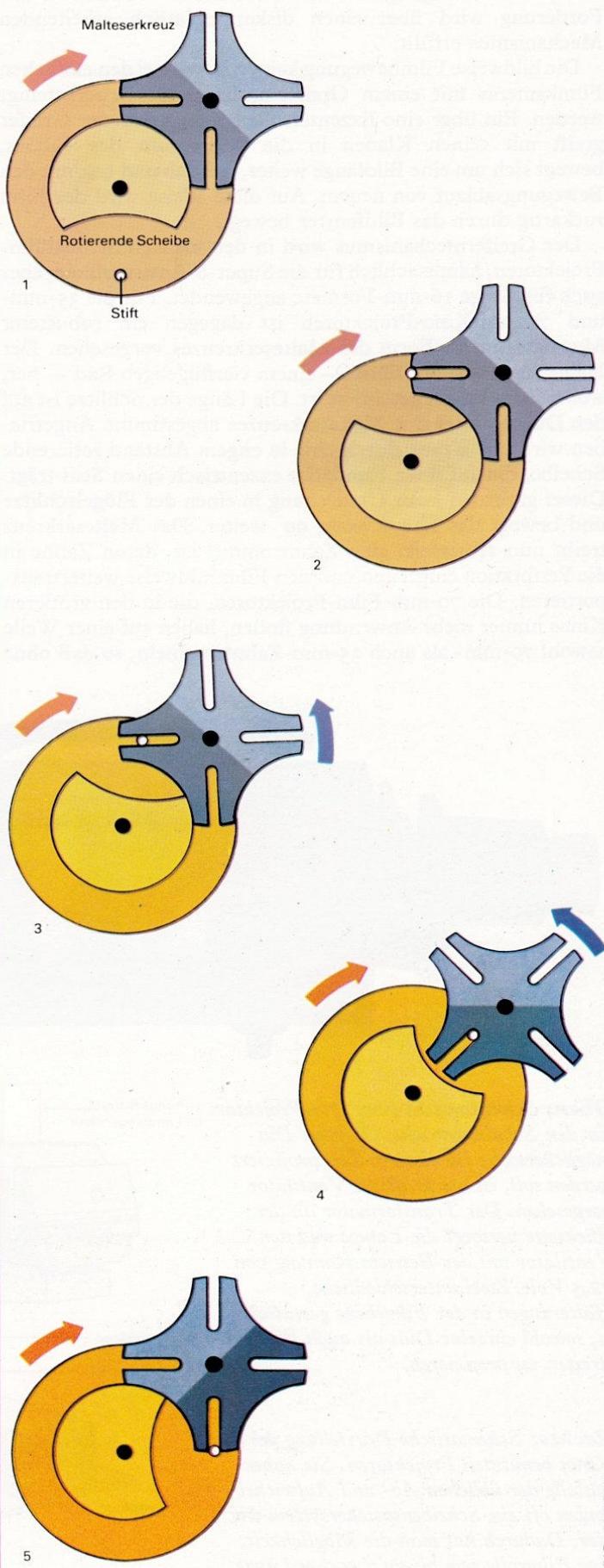
nur noch selten vertreten. Mit zunehmender Verbreitung der Dia-Projektoren kamen solche Geräte in Mode, mit denen Dia-Serien aus einem Magazin projiziert werden können. Bis zu 36 oder auch 50 Dias werden zunächst in ein Kunststoffmagazin gesteckt, das dann längsseits in den Projektor geschoben wird. Jedes einzelne Dia wird mit einem ferngesteuerten, motorgetriebenen oder elektromagnetischen Mechanismus in die Projektionsposition gebracht. Ferner kann die Brennweite mit Hilfe eines Servomotors verändert werden, der das Objektiv vor- und zurückbewegt.

Ein kreis- oder karussellförmiges Magazin, das für Vorlesungen und größere Bildvorführungen beliebt ist, wurde von der Firma Kodak entwickelt. Es faßt 80 Dias, die mit eigener Schwerkraft in die Projektionsposition fallen.

Filmprojektoren

Wenn auch das Projektionssystem das gleiche wie bei den Dia-Projektoren ist, erfordert der Filmtransport natürlich zusätzlichen Aufwand. Dabei muß sichergestellt sein, daß

Wirkungsweise des Malteserkreuzes



Oben: Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Malteserkreuzes.

jede Einzelaufnahme des Filmes während der kurzen Projektionsphase bewegungslos im Bildfenster verweilt. Diese Forderung wird über einen diskontinuierlich arbeitenden Mechanismus erfüllt.

Die bildweise Filmbewegung kann z.B. wie bei den einfachen Filmkameras mit einem Greifermechanismus bewerkstelligt werden. Ein über eine Exzenterscheibe angetriebener Greifer greift mit seinen Klauen in die Perforation des Filmes, bewegt sich um eine Bildlänge weiter, hebt ab und beginnt den Bewegungsablauf von neuem. Auf diese Weise wird der Film ruckartig durch das Bildfenster bewegt.

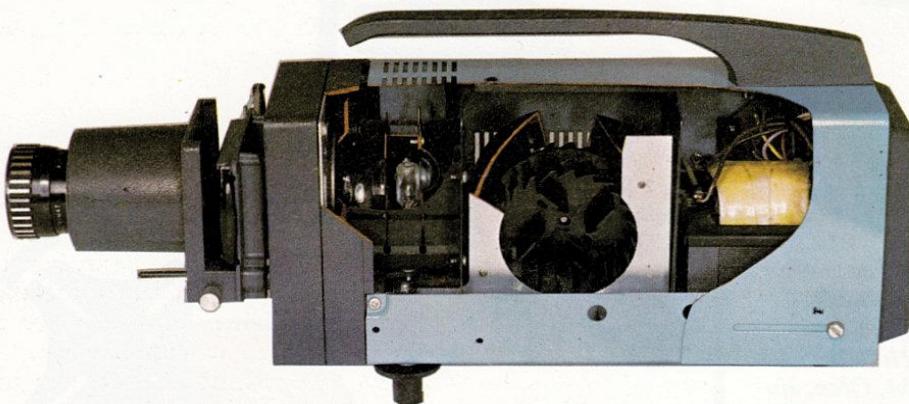
Der Greifermechanismus wird in den meisten Schmalfilm-Projektoren, hauptsächlich für die Super-8-Amateurfilme, aber auch für einige 16-mm-Formate angewendet. Für die 35-mm- und 70-mm-Kino-Projektoren ist dagegen ein robusterer Mechanismus in Form des Malteserkreuzes vorgesehen. Der Name röhrt von der Form — einem vierflügeligen Rad — her, wobei jeder Flügel geschlitzt ist. Die Länge der Schlitzte ist auf den Durchmesser des Malteserkreuzes abgestimmt. Angetrieben wird das Kreuz durch eine in engem Abstand rotierende Scheibe, die auf ihrer Planfläche exzentrisch einen Stift trägt. Dieser greift bei jeder Umdrehung in einen der Flügelschlitzte und bewegt das Kreuz exakt 90° weiter. Das Malteserkreuz treibt nun seinerseits eine Zahntrommel an, deren Zähne in die Perforation eingreifen und den Film bildweise weitertransportieren. Die 70-mm-Film-Projektoren, die in den größeren Kinos immer mehr Anwendung finden, haben auf einer Welle sowohl 70-mm- als auch 35-mm-Zahntrommeln, so daß ohne

größere Umrüstung beide Filmformate mit einem Gerät projiziert werden können.

Während der Film weitertransportiert wird, muß das Bildfenster durch eine Blende abgedeckt sein. Die meisten Filme werden mit 24 Einzelbildern pro Sekunde projiziert, aber diese Bildfolge ist noch mit Flimmererscheinungen behaftet, besonders wenn man dicht vor der Leinwand sitzt. Daher läßt man die Blende mit doppelter Bildfrequenz arbeiten, was z.B. mit einer zweiflügeligen Umlaufblende erreicht wird. Bei Amateurfilmen, die häufig mit 16 oder 18 Einzelbildern pro Sekunde aufgenommen und projiziert werden, muß eine dreiflügelige Umlaufblende benutzt werden, um auf die Bildfrequenz von 48 zu kommen. Sowohl der bildweise Filmtransport als auch der Blendemechanismus werden von ein- und demselben drehzahlgeregelten Motor angetrieben. Der Film gelangt so von der Filmspule über die gleichmäßig rotierenden Vor- und Nachwickeltrommeln zur Aufwickelpule, die den Film mit Hilfe einer Schleifkupplung unter konstanter Zugkraft aufwickelt.

Tonspur

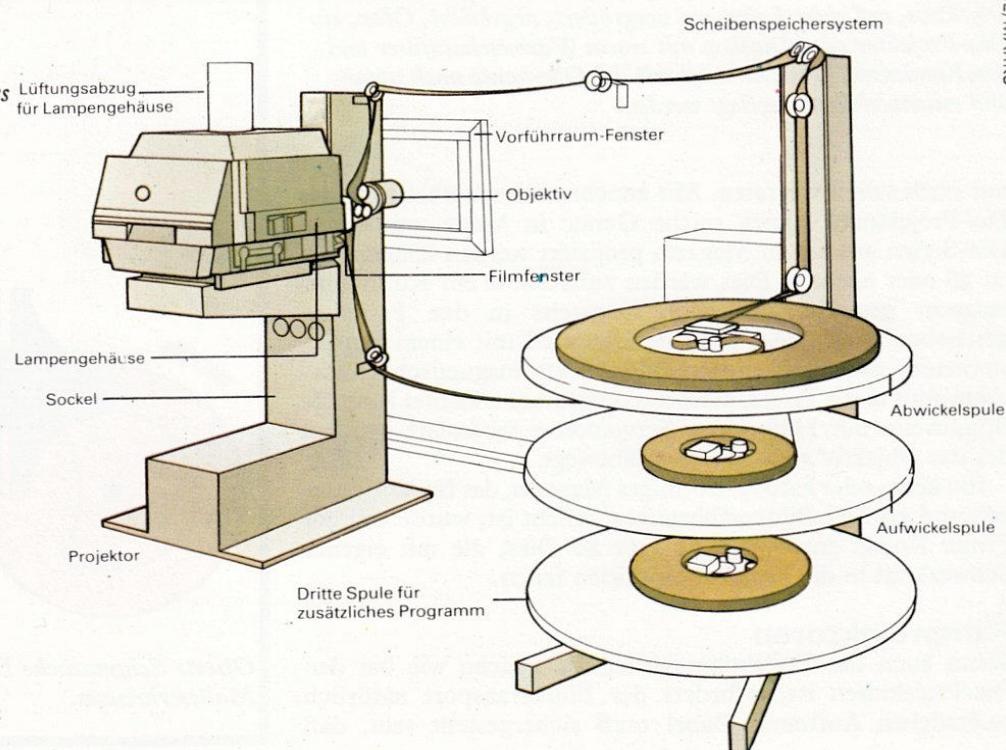
Die magnetisch (Magnetton) oder optisch (Lichtton) aufgezeichnete Tonspur befindet sich auf dem Film seitlich außerhalb der Bildfelder. Der so gespeicherte Ton muß im ersten Fall über einen Magnetkopf wie im Kassetten-Recorder, im zweiten Fall durch Umsetzung der optischen Signale in elektrisch-akustische wiedergegeben werden. Voraussetzung für eine einwandfreie Tonwiedergabe ist dabei, daß an der



Rechts oben: Film-Projektor, der in Kinos Anwendung findet.

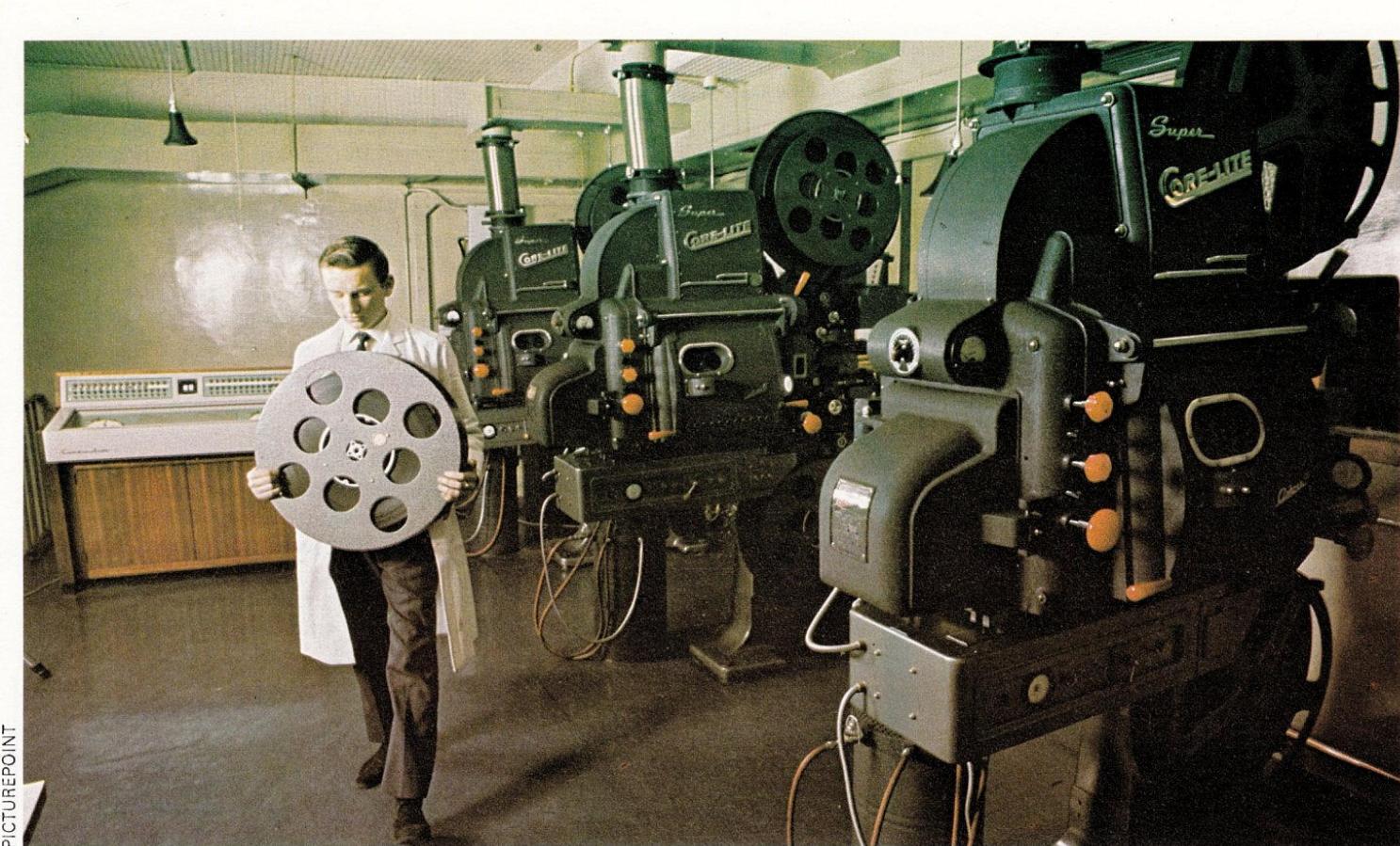
Rechts unten: Lampengehäuse für 16-mm-Film-Projektoren mit Wolfram-Halogen-Glühlampe und Hohlspiegel, sowie beweglichem Wärmeschutzfilter.

FILMPROJEKTOR MIT SCHEIBENSPEICHERSYSTEM



Oben: Schnittansicht eines Dia-Projektors für den Schulunterricht. Da jedes Dia möglicherweise für längere Zeit projiziert werden soll, ist ein kräftiger Ventilator vorgesehen. Der Transformator an der Rückseite versorgt die Lampe und den Ventilator mit der Betriebsspannung von 22,5 Volt. Zwei unterschiedliche Halterungen in der Filmebene gestatten es, sowohl einzelne Dias als auch Filmstreifen zu projizieren.

Rechts: Schematische Darstellung der in Kinos benutzten Projektoren. Sie haben anstelle der üblichen Ab- und Aufwickelspulen oft ein Scheibenspeichersystem wie hier. Dadurch hat man die Möglichkeit, eine Filmrolle von bis zu 7 500 m Länge einzulegen. Auf diese Weise ist ausreichend Film vorhanden, um ein abendfüllendes Programm von 4½ Stunden Dauer zu zeigen.



PICTUREPOINT

Tonabnahmestelle der Film nicht mehr ruckartig, sondern absolut gleichmäßig transportiert wird. Der Tonkopf wird daher möglichst weit entfernt vom Bildfenster angebracht. Dies bedeutet zugleich, daß die synchrone Bild- und Tonaufzeichnung räumlich entsprechend versetzt vorgenommen wird. Der Film wird außerdem über eine relativ schwere Tonwalze

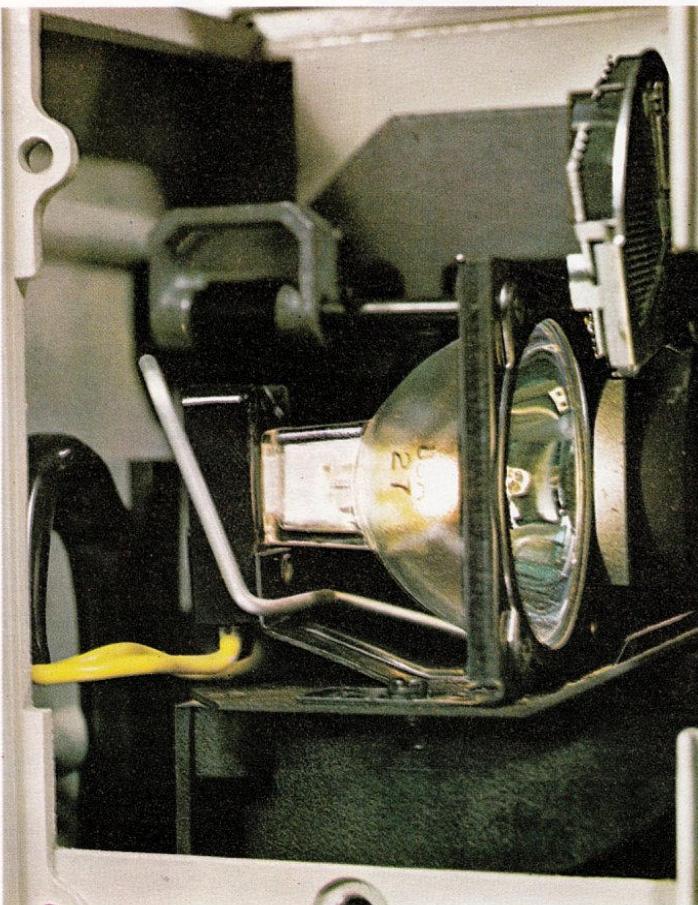
geführt, die aufgrund ihrer Trägheitskraft die noch verbliebenen Laufunruhen des Filmes glättet.

Spulengrößen

Während die 8-mm-Amatuerfilm-Projektoren im allgemeinen Spulen für 130 m Film bzw. für etwa 20 bis 30 Minuten Vorführzeit besitzen, erfordern die Kino-Projektoren wesentlich größere Filmspulen. Die früheren Filme bestanden wegen der brennbaren Unterlage aus Sicherheitsgründen aus kurzen Filmrollen. Ein kompletter 35-mm-Spielfilm umfaßte daher mindestens zwei oder drei Rollen mit jeweils 600 m Länge. Nach der Einführung der Sicherheitsfilme wurden zwar wesentlich größere Filmrollen möglich, aber der Umfang und das Gewicht dieser Spulen begrenzen bei den 70-mm-Filmen die Länge auf etwa 1100 m. Dabei ist zu bedenken, daß der Filmvorführer die volle Spule hochheben und in den Projektor einlegen muß. Bei den 35-mm-Filmen sind in der Regel Rollen mit 1800 m Länge bzw. mit einer Stunde Spieldauer, in Ausnahmefällen solche mit 5000 m Länge bzw. drei Stunden Spieldauer in Gebrauch. In den meisten Kinos werden daher zwei Projektoren benötigt. Der nahtlose Übergang vom ersten zum zweiten Projektor wird dadurch erreicht, daß der Filmstreifen der ersten Rolle an seinem Ende in der rechten oberen Ecke Markierungen trägt, die dem Vorführer das Umschalten signalisieren. Während des Umschaltens wird automatisch im ersten Projektor eine Blende geschlossen und im zweiten geöffnet.

Overhead-Projektor

Dieser Projektionstyp findet für Unterrichtszwecke breite Anwendung. Er besitzt eine große Bildaufnahmefläche, die mit Hilfe eines Fresnel-Linsen-Kondensors von unten gleichmäßig beleuchtet wird. Auf dieser Fläche kann mit normaler Briefschriftgröße geschrieben werden, wobei gleichzeitig ein vergrößertes Bild mit Hilfe eines Objektivs und eines Spiegels über den Kopf des Schreibenden hinweg auf die Leinwand vor ihm projiziert wird. Ferner können auch vorbereitete Transparent-Pausen projiziert werden.



RANK ORGANISATION

PROTHESEN

Die neuzeitliche Prothetik kann Hände herstellen, die der Benutzer über einen Willensimpuls wie seine körpereigene Hand zu bewegen vermag.

Die Prothetik ist der medizinisch-technische Wissenschaftszweig, der sich mit der Konstruktion von Prothesen (oft auch als künstliche Gliedmaßen bezeichnet) beschäftigt. Die Technik hat ihren Anteil zur Prothetik durch die Entwicklung hochfester Leichtmetall-Legierungen und Kunststoffe sowie sehr verschleißfester Scharniere und Gelenkverbindungen beigetragen. Elektronische Steuereinrichtungen machen es dem Konstrukteur von Prothesen als Extremitätenersatz möglich, Funktion und Aussehen von künstlichen Gliedmaßen zu verbessern.

Künstliche Extremitäten lassen sich recht allgemein in zwei Gruppen einteilen: mit und ohne Fremdantrieb. Die meisten Extremitäten ohne Fremdantrieb werden unmittelbar vom Körper betätigt, sie funktionieren durch die Bewegung von Körperteilen. Passive künstliche Gliedmaßen (sie hatten nur

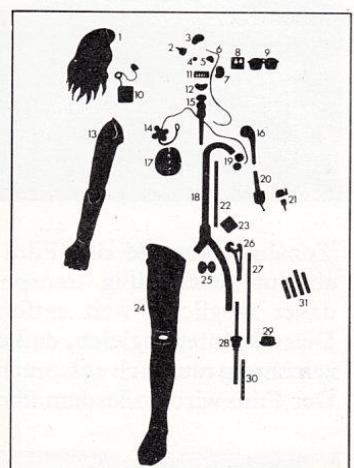
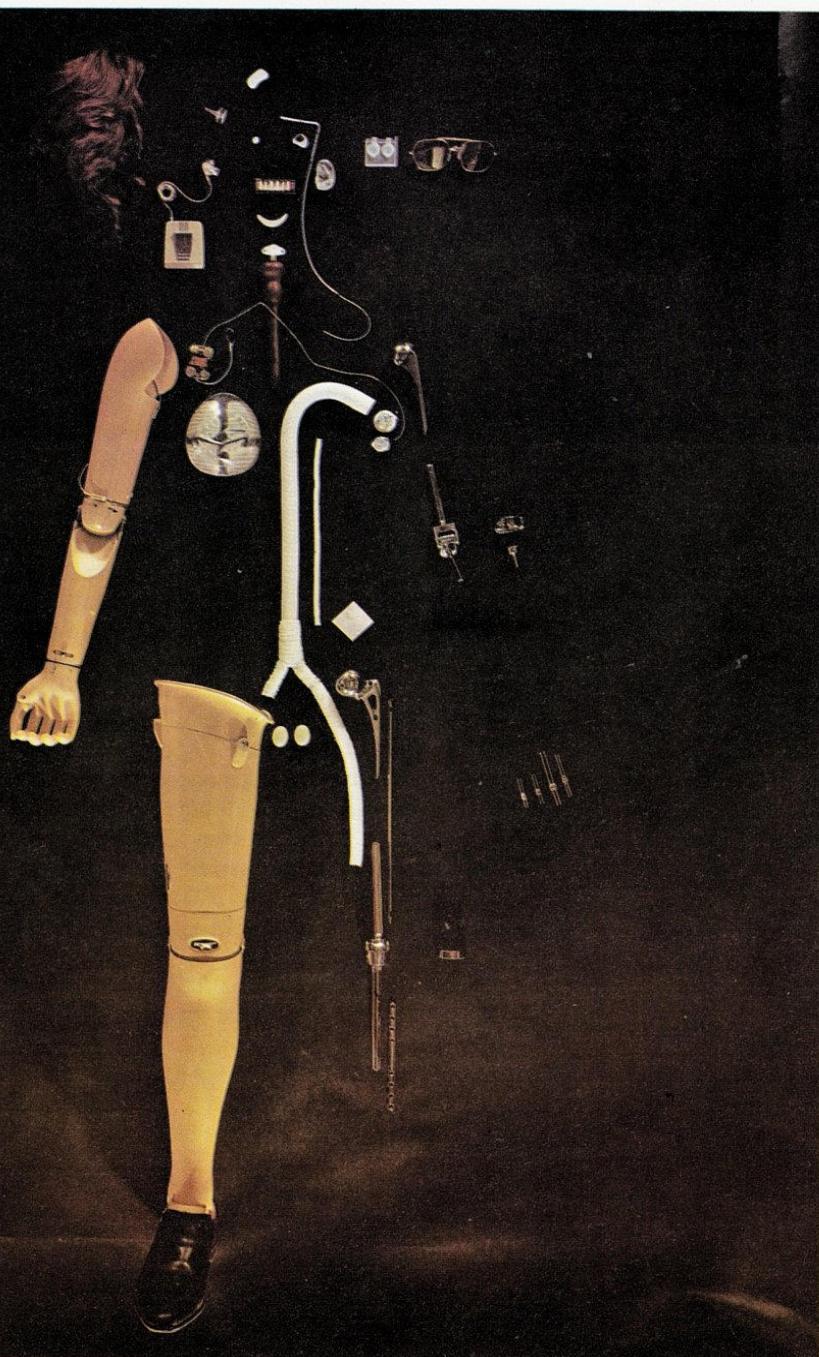
eine kosmetische Funktion und ließen sich nicht bewegen) gab es bereits in der Antike. Erst kürzlich aber wurde es durch die Entwicklung fortschrittlicher Servo-Steuerungsteile möglich, künstliche Extremitäten mit Fremdantrieb herzustellen.

Extremitäten ohne Fremdantrieb

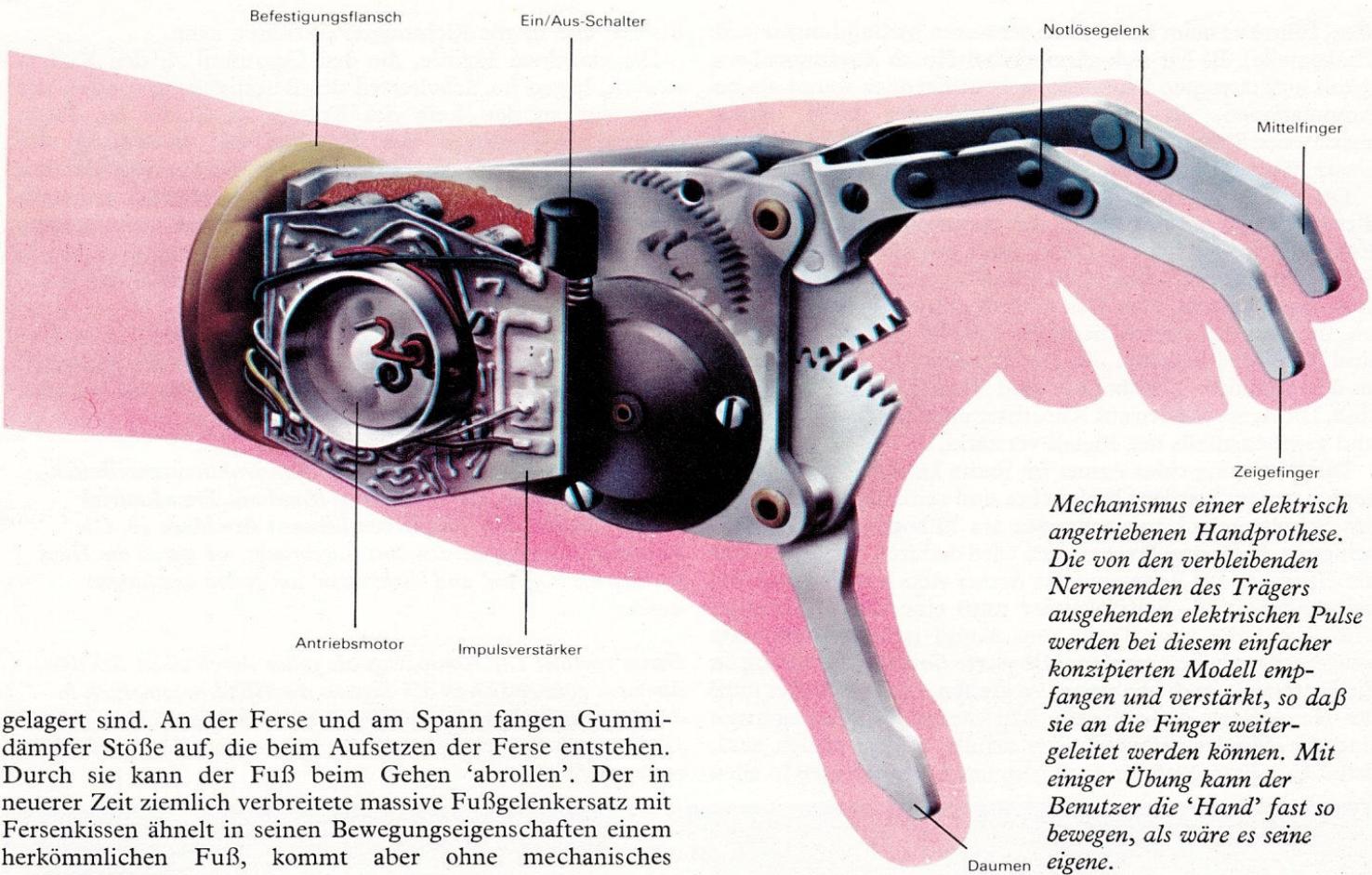
Zum Ersatz von Beinen verwendet man allgemein Prothesen ohne Fremdantrieb. Auch wäre in den meisten Fällen der Kraftbedarf für ihren Antrieb so groß, daß er sich nicht decken ließe. Die Beine des Menschen müssen sein Körpergewicht tragen und ihm gestatten, ohne Anstrengung umherzugehen. Eine Beinprothese muß eine natürliche Form und Größe haben und es ihrem Träger ermöglichen, beschwerdefrei und vor allem sicher zu gehen.

Der einfachste Ersatz für den Fuß besteht aus einem massiven Holz- oder Gummiklotz. Biegsame Zehengelenke werden durch einfache Scharniere aus Leinengewebe hergestellt, die unten an den Fuß oder die Zehen angesetzt werden.

Ein Fußgelenk besteht üblicherweise aus einer waagerechten Achse, deren Außenenden in einfachen Buchsen drehbar



Links & oben: Diese Bilder zeigen das gesamte Arsenal an 'Ersatzteilen' für den Menschen. 1 Perücke, 2 Schädelverschluß, 3 Schädelplatte, 4 Künstliche Hornhaut, 5 Künstliches Auge, 6 Zerebrospinale Dränage, 7 Ohrimplantat, 8 Kontaktlinsen, 9 Brille, 10 Hörgerät, 11 Zahnprothesen, 12 Implantat zur Vergrößerung des Kinns, 13 Armprothese, 14 Herzschrittmacher, 15 Künstlicher Kehlkopf, 16 Schultergelenk, 17 Mammaprothese, 18 Künstliche Arterie, 19 Herzkappventil, 20 Ellbogengelenk, 21 Ellbogen-scheibe- und -scharnier, 22 Künstliche Vene, 23 Stück der Unterleibswand, 24 Beinprothese, 25 Hodenersatz, 26 Hüftgelenk, 27 Oberschenkelstütze, 28 Kniegelenk, 29 Kniescheibe, 30 Schienbein, 31 Ein Satz Fingergelenke.



gelagert sind. An der Ferse und am Spann fangen Gummidämpfer Stöße auf, die beim Aufsetzen der Ferse entstehen. Durch sie kann der Fuß beim Gehen 'abrollen'. Der in neuerer Zeit ziemlich verbreitete massive Fußgelenkersatz mit Fersenkissen ähnelt in seinen Bewegungseigenschaften einem herkömmlichen Fuß, kommt aber ohne mechanisches Fesselgelenk aus.

Kniegelenke an Beinprothesen müssen beweglich und zugleich so fest sein, daß sie das Gewicht des Amputierten aufnehmen können. Oft sind die verbleibenden Muskeln ihrer Aufgabe gewachsen. Ist dies nicht der Fall, kann die Festigkeit dadurch gesteigert werden, daß man das Kniegelenk verlegt oder eine hydraulische Belastungsbremse sowie ein Übertragungsgestänge einbaut. Zusätzliche Einrichtungen gestatten es dem Prothesenträger, unterschiedlich rasch zu gehen, wobei der Gang stets natürlich wirkt.

In einer Vielzahl von Fällen werden künstliche Hände und Arme ohne Fremdantrieb verwendet, je nach dem Ausmaß der Amputation. Die Hand beispielsweise ist ein sehr komplexer und vielseitiger Mechanismus. Bei ihrem Ersatz sieht sich der Konstrukteur einer Prothese zahlreichen und großen Schwierigkeiten gegenüber, denn sie soll nicht nur die Aufgaben der natürlichen Hand erfüllen, sondern auch möglichst wie diese aussehen. Die Herstellung einer Hand, die der natürlichen möglichst ähnlich sieht, kann einen so hohen Materialaufwand erfordern, daß sie zu schwer wird und sich dadurch nicht mehr leicht bewegen läßt. Ein einfacher Federmechanismus ermöglicht dem Benutzer das Greifen und Halten von Gegenständen (die grundlegendste Funktion der Hand). Allerdings läßt sich die Federkraft nicht so auslegen, daß zugleich robuste und empfindliche Gegenstände gehandhabt werden können (Grobgriff und Spitzgriff). Zur Überwindung dieser Schwierigkeit hat man einen Kupplungsmechanismus entwickelt, mit dessen Hilfe die Greifkraft dieser Aufgabe angepaßt werden kann.

Eine praxisgerechte Lösung besteht im einfachen Handersatz durch einen doppelten (geteilten) Greifhaken. Er ist leicht und preisgünstig und gestattet die Verwendung verschiedener Anbauteile zur Erfüllung unterschiedlicher Aufgaben. Allerdings hat er den Nachteil, sehr unschön auszusehen.

In neuerer Zeit wurde eine Technik entwickelt, die es gestattet, mit der Kunsthand zu fühlen. Eine Belastungsmeßvorrichtung im Greifmechanismus erzeugt, entsprechend

Mechanismus einer elektrisch angetriebenen Handprothese. Die von den verbleibenden Nervenenden des Trägers ausgehenden elektrischen Pulse werden bei diesem einfacher konzipierten Modell empfangen und verstärkt, so daß sie an die Finger weitergeleitet werden können. Mit einiger Übung kann der Benutzer die 'Hand' fast so bewegen, als wäre es seine eigene.

der Greifkraft, ein schwaches elektrisches Signal und überträgt es auf den Hauptnerv im Arm (den Mittelhandnerv, nervus medianus). Die Signale werden als leichter Kitzelreiz wahrgenommen und ermöglichen es dem Prothesenträger, den Greifmechanismus feinfühlig einzusetzen.

Bei einer vollständigen Amputation des Armes einschließlich der Schulter kann keine einfache Anschnallprothese getragen werden, wie das in Fällen möglich ist, in denen der Arm oberhalb des Ellbogens abgenommen wurde. Man hat für solche Fälle einen mit dem Kinn zu betätigenden Brustschalter entwickelt, über den der Patient Beugung und Streckung des Ellbogengelenks steuern kann. Unterarm und Hand werden in diesen Fällen über Verbindungskabel von der gegenüberliegenden Schulter aus bewegt.

Bei Vorhandensein von Amputationsstümpfen werden alle künstlichen Gliedmaßen mit genau angepaßten Stumpfbetten hergestellt, die die Prothese entweder mit Bändern oder, vor allem bei Amputationen oberhalb des Knies, trägerlos als Haftkontaktebettung halten, die sich ohne Luftzwischenraum dem Stumpf elastisch anschmiegt. Für die Herstellung von Stumpfansätzen werden im allgemeinen Holz, Metall und Folienkunststoff verwendet. Es ist von großer Wichtigkeit, daß die Prothese am Stumpf druckfrei sitzt. Das hängt vom Geschick dessen ab, der sie anpaßt.

Gegenwärtig neigt man dazu, Prothesen aus Sätzen genormter Einzelteile zusammenzustellen. Sie sind austauschbar, und die zur Verfügung stehende reiche Auswahl sorgt dafür, daß allen individuellen Bedürfnissen entsprochen wird.

Prothesen mit Fremdantrieb

Forschungs- und Entwicklungsbemühungen bei Prothesen mit Fremdantrieb haben sich, vor allem seit der Contergankatastrophe, speziell auf Armprothesen konzentriert. Contergan wurde Anfang der sechziger Jahre als Schlafmittel verschrieben. Wenn Frauen es während der Schwangerschaft einnah-

men, führte es beim Embryo zu schweren Mißbildungen (z.B. Phokomelie). Es hat sich gezeigt, daß die im Zusammenhang damit aufgetretenen Probleme weit dringender waren als bei Amputationen, da einige Conterganopfer nicht einmal ansatzweise Stümpfe hatten, an denen man einen Extremitätenersatz hätte anbringen können.

Den größten Erfolg unter den zahlreichen Versuchen auf diesem Gebiet scheint bisher der pneumatische Antrieb von Extremitäten zu haben. Dabei sind an die Prothese über Schlauchleitungen kleine Druckflaschen mit komprimiertem Gas angeschlossen. Das Gas wird durch ein Ventilsystem an im Inneren des Armes liegende Kolben geleitet. An ihnen sind die Kabel befestigt, die für Bewegungen der Extremität an den 'Schulter-', 'Ellbogen-' und 'Handgelenken' zuständig sind. Die Arme werden aus Kunstharz und Glasfaser hergestellt und gegebenenfalls mit Metall verstärkt.

Die Bewegung eines Armes im Raum kann in drei Komponenten zerlegt werden: senkrechte und seitliche Drehung um das Schultergelenk sowie Beugen am Ellbogen. Die Hervorbringung dieser drei Bewegungen wird dadurch erschwert, daß die Hand bei der Bewegung des Armes stets dieselbe Haltung beibehalten muß. Beispielsweise muß eine Tasse mit einer Flüssigkeit, die vom Tisch zum Mund geführt wird, stets waagerecht gehalten werden. Die vierte Grundanforderung an die Extremität ist die Fähigkeit zu greifen, und als fünftes muß das Handgelenk drehbar sein. Mit diesen fünf Bewegungen sind die Mindestanforderungen erfüllt, die zu stellen sind, damit eine Extremität sinnvoll gesteuerte Bewegungen in allen

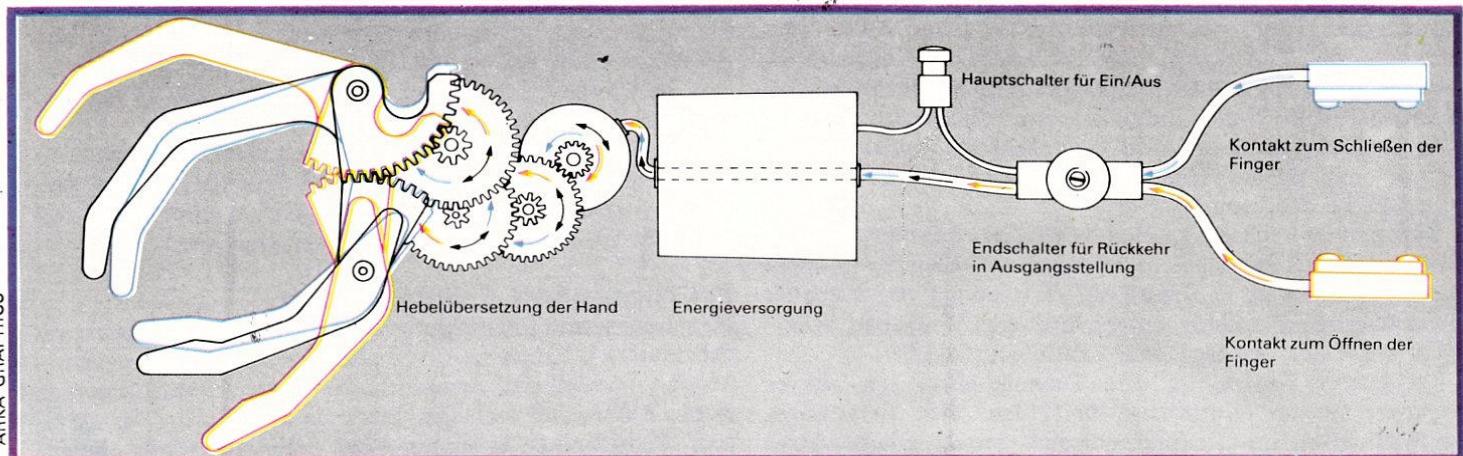
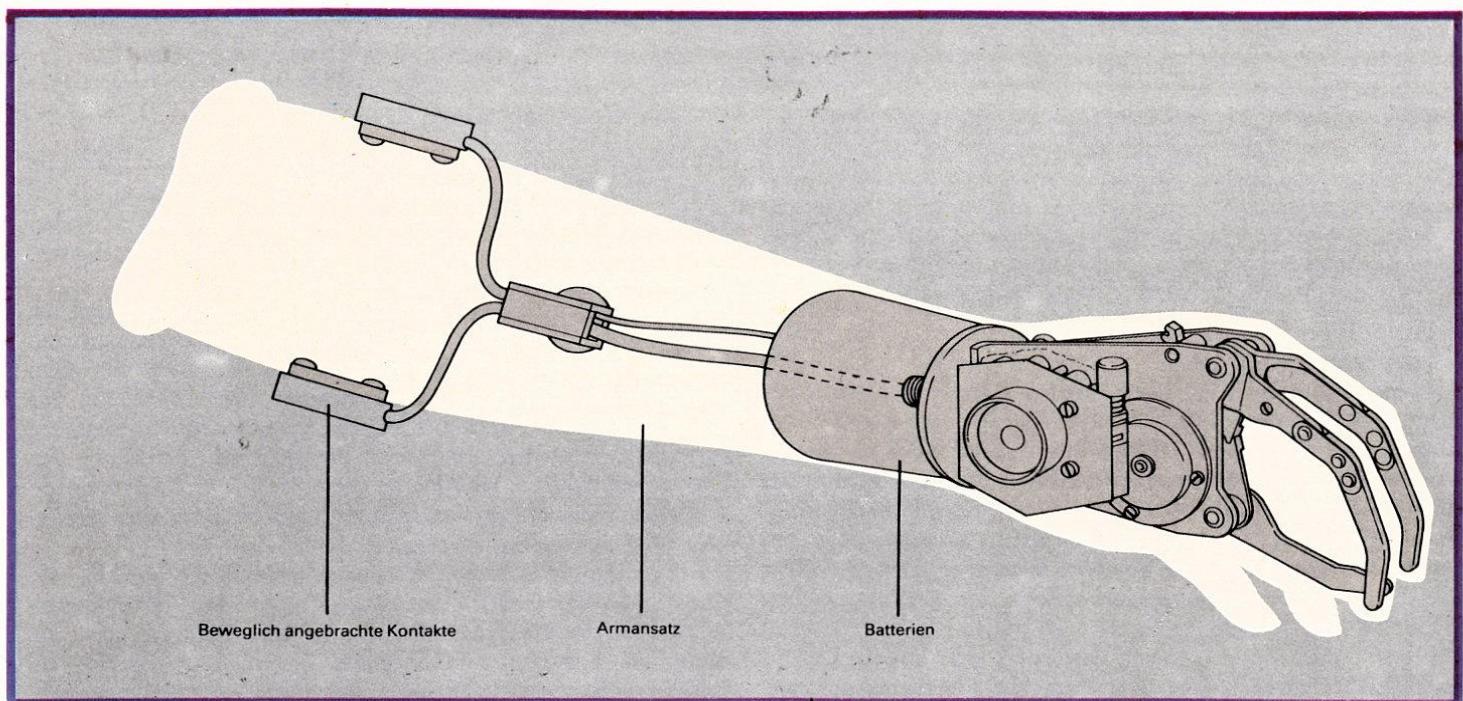
Ebenen und in alle Richtungen ausführen kann.

Die einzelnen Ventile, die den Gaszufluß zu den Kolben steuern, liegen im Schulterteil des Befestigungsgeschirrs, das seinerseits an den Leib des Trägers geschnallt ist. Dann genügen Bewegungen der Schulter zur Betätigung der Ventile. Ansatzweise vorhandene Finger (bei Conterganopfern oft unmittelbar an der Schulter) sind zusätzliche wertvolle Steuerorgane. Die Mehrzahl der Patienten hat sich als fähig erwiesen, zumindest einen Arm zufriedenstellend zu betätigen — allerdings müssen die Ventile dafür bisweilen auf beide Schultern verteilt werden.

Selbstverständlich stellen die Conterganopfer ein außergewöhnlich schwieriges Problem dar, während die Mehrzahl der Amputierten weit weniger aufwendige Prothesen braucht.

Unten (obere Zeichnung): Die Konstruktionseinzelheiten für die Anordnung der Teile einer Hand mit Fremdantrieb hängen von der dem Träger verbliebenen Armlänge ab. Die Kontakttelektroden werden dort angebracht, wo durch die Haut die Befehle 'Öffnen' und 'Schließen' am besten empfangen werden.

Ganz unten: Die Kontaktsignale gehen durch einen Schalter, der nach dem Aufhören des Signals die Hand automatisch in die Ausgangsstellung (halbgeöffnet) zurückkehren läßt. Dadurch wird verhindert, daß sie sich um einen Gegenstand verkrampt.





PICTUREPOINT

Eine besonders gelungene und zuverlässige Einrichtung lässt sich über die Wölbung eines gespannten Muskels steuern. Auch sie wird über nachfüllbare Druckgaszyylinder gesteuert. Sie ist besonders geeignet bei Amputationen unterhalb des Ellbogens. Ein Ventil wird straff über den verbleibenden Teil des Unterarmes gelegt, und zwar im Bereich des Muskels, der normalerweise die Greifbewegung der Hand ausführen würde. Durch seine Anspannung drückt er kräftig gegen das Ventil, das sich dann öffnet und mehr Gas an eine mechanische Greifvorrichtung strömen lässt. Mit je größerem Kraftaufwand der Muskel angespannt wird, desto weiter öffnet sich das Ventil und um so fester schließt sich der Griff.

Myoelektrische Extremitäten

Die mit Abstand faszinierendste Entwicklung auf dem Gebiet der Prothetik ist der myoelektrische (muskelelektrische) Arm. Muskeln hängen wie die sie steuernden Nerven von geringen elektrischen Spannungsänderungen ab, die Wirkungspotentiale genannt werden. Am Amputationsstumpf werden an bestimmten, optimal dafür geeigneten Abnahmepunkten Hautkontaktelektroden angebracht, die vom Gehirn über das Rückenmark zu den noch vorhandenen Greifmuskeln geleitete Aktionspotentialmuster an ein Verstärkersystem weitergeben, das ausschließlich vom Muskel kommende Signale verstärkt. So ist der Patient in der Lage, mit denselben Nervenimpulsen die künstliche Hand zu steuern, mit denen er früher seine eigene Hand steuerte.

Myoelektrische Arme können durch Druckgas oder Elektromotoren angetrieben werden. Im letzteren Falle arbeitet der Antrieb mit derselben Energiequelle wie die elektronischen Steuereinrichtungen. Im Betrieb nehmen über die einander gegenüberliegenden Beuge- und Streckmuskeln auf dem

Oben: Eine elektrisch angetriebene Hand wird demonstriert. Durch Ausprobieren wird die günstigste Stelle für die Lage der Kontakttelektroden bestimmt.

Unterarm des Patienten geschnallte Elektroden (das jedenfalls ist die häufigste Anordnung) deren elektrische Signale auf und verstärken sie. Sie werden gemischt und zu einem Signal verarbeitet, das der für den künstlichen Zugriff erforderlichen elektrischen Spannung entspricht. Der elektronische Aufwand für den Betrieb wird dadurch besonders groß, da dieses eine Signal sowohl die Geschwindigkeit der Handlung als auch den erforderlichen Kraftaufwand bestimmen muß. Doch sind, ganz allgemein gesprochen, die elektrische Wirkung um so größer und der künstliche Griff um so fester, je stärker der Prothesenträger seine (nunmehr funktionslosen) Armmuskeln anspannt.

Versuche mit myoelektrischen Ellbogengelenken und Gliedmaßen mit mehr als einem Gelenk verliefen bisher nicht sehr ermutigend. Dies liegt zum Teil daran, daß keine hinreichende Anzahl zur Steuerung geeigneter Muskeln zur Verfügung steht, zum anderen daran, daß es für Prothesenträger sehr schwer ist, den richtigen Gebrauch solcher Extremitäten zu erlernen.

In vielen Ländern hat man myoelektrische Hände entwickelt. Die Mehrzahl ihrer Benutzer kann schon nach wenigen Minuten Übung damit auch recht feinfühlige Handgriffe ausführen. Gewöhnlich dient die Handprothese in Zusammenarbeit mit der verbliebenen natürlichen Hand einfach als mechanische Halte- und Klemmvorrichtung. Wenn ein Prothesenträger zwei künstliche Hände hat, müssen beide Hände Grob- und Spitzgriffe beherrschen.

PUMPEN

Neben dem Elektromotor sind Pumpen heute die Aggregate mit dem weitesten Einsatzbereich.

Pumpen dienen der Förderung von flüssigen und gasförmigen Medien sowie der Übertragung von Energie auf Flüssigkeiten.

In der Literatur findet sich der erste Hinweis auf eine Pumpe bei den Gelehrten des Museums von Alexandria im Zusammenhang mit der Feuerspritze des griechischen Mechanikers Ktesibios, einer Art Saug- und Druckpumpe. Die erste richtige Pumpe im heutigen Sinne wurde jedoch nach 100 v.Chr. von den Römern verwendet. Dabei handelte es sich um eine 'Verdrängerpumpe' mit einem sich in einem Zylinder hin- und herbewegenden Kolben und Ventilen an beiden Seiten. Diese frühe Pumpe wird nach ihrem Fundort Bolsena in Italien auch 'Bolsena-Pumpe' genannt. Die wesentliche Neuerung bestand in der Kombination von Kolben und Ventilen, Erfindungen, die bereits aus anderen Bereichen der Technik bekannt waren. Die Pumpe war ganz aus Bronze hergestellt und für die meisten Verwendungszwecke zu teuer. Heute jedoch zählen Pumpen neben dem Elektromotor zu den am weitesten verbreiteten Maschinen.

Verdrängerpumpen

Die Bolsena-Pumpe heißt Verdrängerpumpe, weil mit jedem Hub des Kolbens eine bestimmte Flüssigkeitsmenge verdrängt wird. Bei den Ventilen handelt es sich um Rückenschlagventile, die die Flüssigkeit in nur eine Richtung fließen lassen. Diese Pumpen gehören zur Kategorie der 'Kolbepumpen', weil durch das Hin- und Herbewegen eines Kolbens, eines Stößels oder einer Membran das flüssige oder gasförmige Medium in eine pulsierende Bewegung versetzt wird. Ein

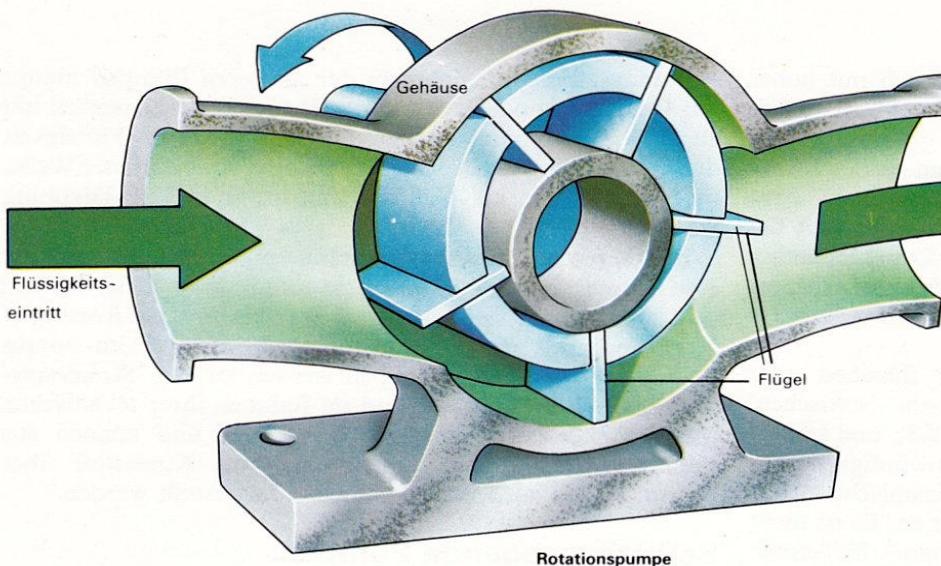
gutes Beispiel ist eine Fahrradpumpe: Mit jedem Hub wird Luft in den Reifen gedrückt und durch das Rückschlagventil am Entweichen gehindert. Beim Kolbenrückgang wird Luft in den Zylinder angesaugt, die beim nächsten Hub wiederum in den Reifen gedrückt wird. Dieses Pumpenprinzip zieht sich wie ein roter Faden durch die Geschichte — von den handbetriebenen Kurbelpumpen bis hin zu den riesigen Pumpen, mit denen man im 18. und 19. Jahrhundert Grubenschächte trockenlegte und den Wasserspiegel von Kanälen auf dem gewünschten Niveau hielt. Eine Kolbenpumpe kann auch als doppelt wirkende Pumpe, d.h. als Saug- und Druckpumpe ausgeführt werden. In diesem Falle bewegt sich die Flüssigkeit auf beiden Seiten des Kolbens, was zusätzliche Ventile und eine spezielle Abdichtung der Stelle, wo die Kolbenstange in den Zylinder eintritt, erforderlich macht.

'Rotationspumpen' (Drehkolbenpumpen) sind ebenfalls auf Verdrängerwirkung beruhende Pumpen, jedoch ohne Ventile. Die Flüssigkeit tritt auf der einen Seite ein und wird durch rotierende Flügel, Zahnräder, Schraubenspindeln o.ä. an der anderen Seite wieder herausgedrückt. Das Ausmaß der Verdrängung hängt von dem Spiel zwischen den Flügeln oder Zahnrädern ab.

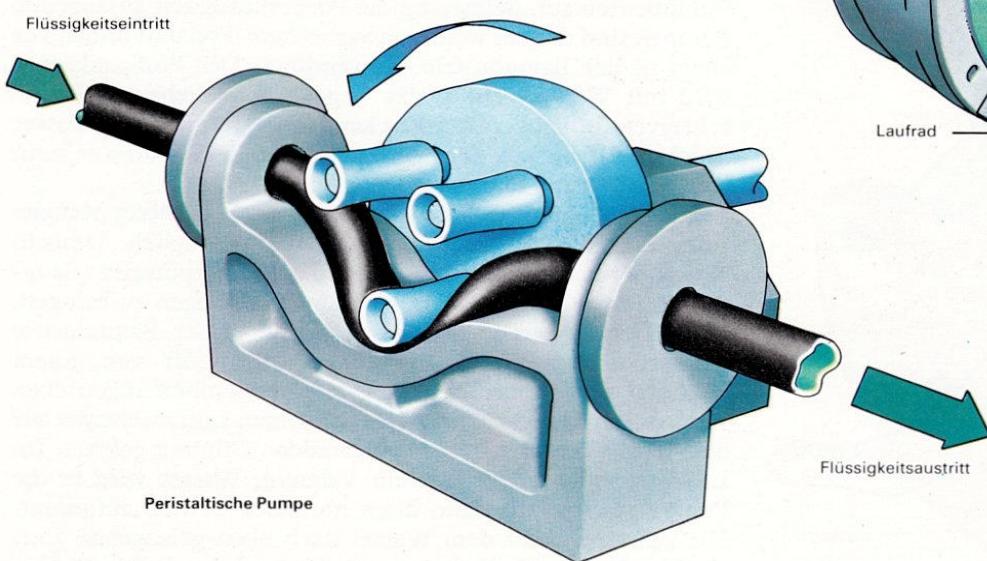
Verdrängerpumpen eignen sich aufgrund der konstruktionsmäßig bedingten sehr kleinen Spiele besonders zum Fördern nicht verunreinigter Medien. Eine Ausnahme bilden lediglich die 'Membranpumpen', bei denen anstelle eines Kolbens eine biegsame Membran in einem Gehäuse einge-

Unten: Bewässerungsbrunnen mit Pumpe in Portugal. Bei diesem 'Pumpentyp' handelt es sich ganz einfach um Eimer, die über ein Rad laufen. Diese Erfindung ist schon sehr alt und wurde ursprünglich von den Arabern in Europa eingeführt.





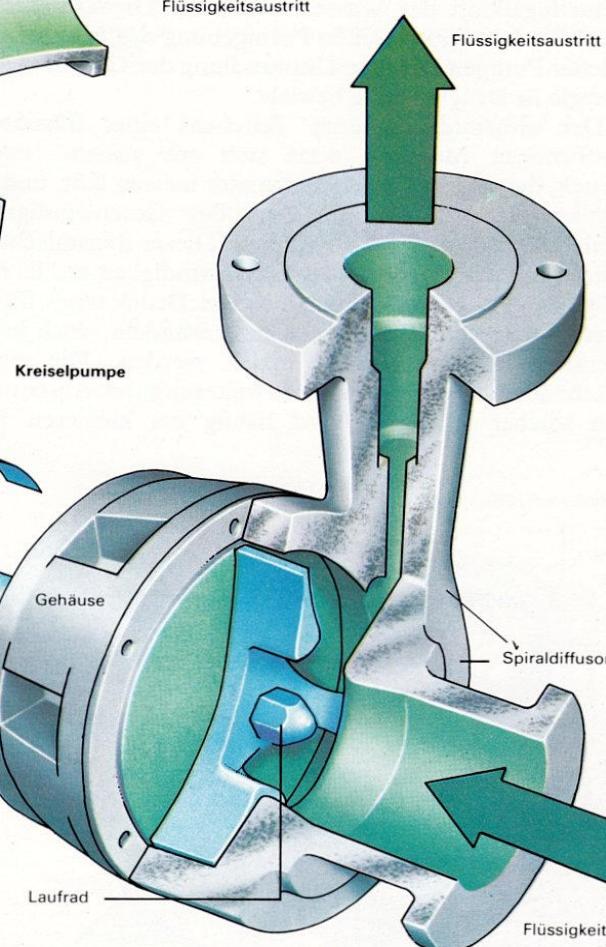
Drei der gebräuchlichsten modernen Verdrängerpumpen:
Oben: Rotationspumpe (Drehkolbenpumpe). Die Flüssigkeit wird beim Durchströmen vom Rotor beschleunigt. Als Material für die Flügel können Gummi, Kunststoff oder diverse Metallarten Verwendung finden, je nach Art der zu fördern- den Flüssigkeit. In manchen Rotationspumpen ist der Rotor exzentrisch gelagert, und die Flügel verschieben sich in Schlitten so, daß sie immer an der Gehäuseinnenwand entlanggleiten. Bei anderen Pumpentypen werden anstelle eines einzigen Rotors zwei oder mehrere Zahn- oder Flügelräder verwendet. Bei der Peristaltischen Pumpe (**unten**) werden durch Zusammenpressen eines flexiblen Schlauches die Darmbewegungen nachgeahmt.



spannt ist und von einem Stößel hin- und herbewegt wird. Die Verdrängung resultiert aus der Hin- und Herbewegung der Membran. Da die Flüssigkeit nicht durch die Membran hindurch mit den Verschleißteilen in Berührung kommen kann, läßt sich dieser Pumpentyp auch zum Fördern von Festkörpersuspensionen verwenden, vorausgesetzt, die Ventile verstopfen nicht.

Unter 'peristaltischen Pumpen' versteht man ventillose Rotationspumpen, bei denen ein flexibler Schlauch ständig zusammengepreßt wird. Pumpen dieser Art finden z.B. in der Herz-Lungen-Maschine Verwendung.

Kolbenpumpen vom Bolsena-Typ werden heute noch vielerorts zum Heben von Wasser verwendet. Bei den in PKWs und LKWs eingebauten Kraftstoff- und Ölpumpen handelt es sich gewöhnlich um Membranpumpen. Hydraulische Pumpen,



Oben: Bei der Kreiselpumpe wird der Rotor Laufrad genannt. Es treibt die Flüssigkeit mittels Zentrifugalkraft an der Innenwand des Gehäuses entlang an. Das Gehäuse heißt 'Spiraldiffusor' und ist so gestaltet, daß die zunächst schnell strömende Flüs- sigkeit langsamer geführt und die Geschwindigkeitsenergie in Druck- energie umgewandelt wird.

wie sie zum Ausfahren von Fahrgestell und Klappen an Flugzeugen, bei Hebebühnen in Kfz-Werkstätten und bei Tief- und Straßenbaumaschinen verwendet werden (mit Drucken bis zu 275 bar), gehören ebenfalls zur Kategorie der Verdrängerpumpen. Sie müssen mit einem Überdruckventil ausgerüstet sein, da zu hohe Drücke zu Beschädigungen an den Arbeitsteilen führen würden.

Kreiselpumpen

Die Entwicklung von 'Kreiselpumpen' begann in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Sie bestehen im wesentlichen aus einem in einem Gehäuse schnell umlaufenden, mit Schaufeln versehenen Laufrad. Die Flüssigkeit dringt durch die zentrale Ansaugöffnung von innen zwischen die Schaufeln. Der Druck entsteht durch die bei der Rotation auftretende Zentrifugal-

kraft und lässt sich durch Verlangsamen der sich mit hoher Geschwindigkeit bewegenden Flüssigkeit noch zusätzlich erhöhen.

Die Zentrifugalkraft lässt sich am besten an einem Eimer Wasser demonstrieren, den man am ausgestreckten Arm rotieren lässt. Schwingt man ihn schnell genug, so hält die Zentrifugalkraft das Wasser im Eimer. Die Druckerhöhung resultiert aus der speziellen Formgebung des Austrittsstutzens solcher Pumpen, die eine Umwandlung der Geschwindigkeitsenergie in Druckenergie bewirkt.

Der Gesamtdruck eines Teilchens eines flüssigen oder gasförmigen Mediums setzt sich aus seinem 'statischen' Druck, der sich mit dem Manometer messen lässt, und seinem 'dynamischen' Druck, der von der Geschwindigkeit des Teilchens abhängig ist, zusammen. Dieser dynamische Druck nimmt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu. Es ist nicht möglich, den gesamten dynamischen Druck eines fließenden Mediums in statischen Druck umzuwandeln, doch kann eine merkliche Druckerhöhung erzielt werden. Die einfachste Methode ist die allmähliche Erweiterung des Austrittskanals. Ein solcher 'Diffusor' wird häufig bei kleineren Pumpen

verwendet. Bei der Mehrzahl der größeren Pumpen nimmt der Querschnitt des Ausströmkanals zum Austrittsstutzen hin zu. In diesen spiralförmigen Diffusor wird die Flüssigkeit durch das Laufrad gedrückt. Das Laufrad läuft auf einer Welle, die dort, wo sie ins Gehäuse eintritt, mit einer Dichtung versehen ist.

Im Gegensatz zu den Verdrängerpumpen benötigen die Kreiselpumpen keine Überdruckventile, da sich bei Einsatz eines bestimmten Laufrades und einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit der erreichbare Maximaldruck im voraus bestimmen lässt. Diese Pumpen werden zu den 'Strömungsmaschinen' gerechnet. Sie sind im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten sehr vielseitig verwendbar und können aus ganz unterschiedlichen Materialien, von Kunststoff über Bronze bis hin zu Titan oder Tantal, hergestellt werden.

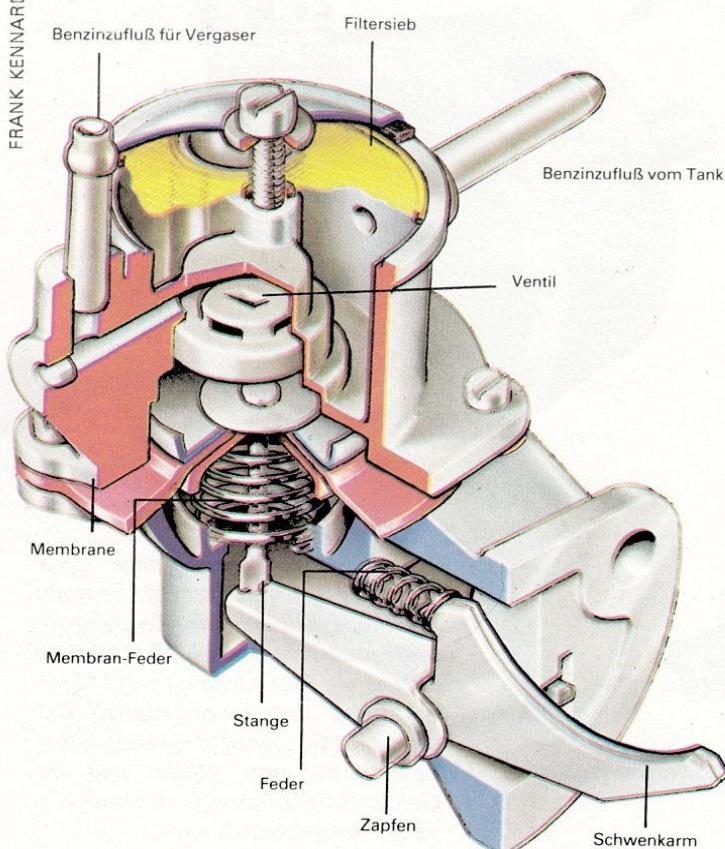
Selbstansaugende Pumpen

Viele Anwendungsbereiche machen Pumpen erforderlich, die die Förderflüssigkeit selbst ansaugen können. Liegt der Wasserspiegel unterhalb der Pumpeneintrittsöffnung, ist nur eine Verdrängerpumpe in der Lage, zunächst die Luftsäule aus dem Ansaugrohr zu entfernen, bevor das eigentliche Pumpen beginnt. Dies setzt voraus, daß die Förderhöhe des Wassers nicht die Höhe der Wassersäule, die dem Atmosphärendruck das Gleichgewicht hält (bei reinem Wasser 10,36 m), übersteigt. Diese theoretische Ansaughöhe einer Pumpe wird aber durch den Dampfdruck der Flüssigkeit, Fließverluste usw. in der Praxis auf etwa 8,50 m gemindert.

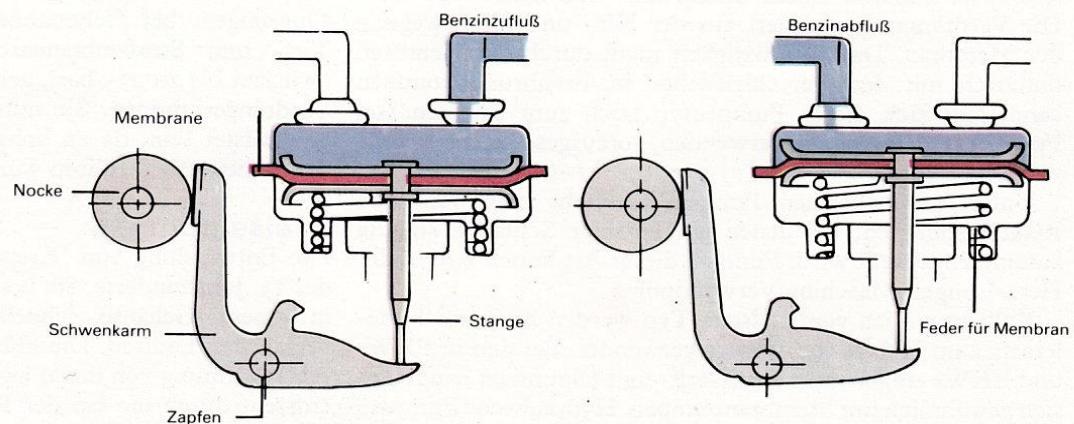
Eine Kreiselpumpe üblicher Bauart ist in leerem Zustand nicht in der Lage, die Luft aus dem Ansaugrohr zu entfernen und die Förderflüssigkeit selbsttätig anzusaugen. Ist dies jedoch anderweitig geschehen, nimmt sie ihren normalen Pumpbetrieb auf. Selbsttätig die Förderflüssigkeit ansaugende Pumpen sind der am weitesten verbreitete Typ und finden vor allem in der Bauindustrie Verwendung. Der Pumpenkörper wird mit Wasser gefüllt, das wegen des eingebauten Rückschlagventils nicht entweichen kann. Das zirkulierende Wasser drückt die Luft aus dem Ansaugrohr, und das Wasser kann nach oben in die Pumpe einströmen.

Für die üblichen Kreiselpumpen sind größere Mengen eines Luft/Wasser-Gemisches nicht gut zuträglich. Deshalb verwendet man Vakuumpumpen oder Ejektorpumpen (Saugstrahlpumpen), um diese Pumpen zum Ansaugen zu bringen. Diese Geräte werden heute vorwiegend in der Bauindustrie eingesetzt. Bei der Ejektorpumpe wird Luft von einem Kompressor, der ebenfalls von dem Pumpenmotor angetrieben wird, durch eine Düse über eine mit einem Luftabscheider auf der Ansaugseite der Pumpe verbundene Öffnung geleitet. Im Luftpabscheider bildet sich ein Vakuum, Wasser wird in die Pumpe gesaugt, die dann ihren normalen Betrieb aufnimmt. Die zusammen mit dem Wasser nach oben gelangende Luft wird im Luftpabscheider abgeschieden und durch den Ejektor

FRANK KENNARD



Oben: Schnittansicht einer mechanischen Kraftstoffpumpe. Die vereinfachte zeichnerische Darstellung rechts veranschaulicht die Arbeitsweise der mechanischen Pumpe. Der Schwenkarm bewegt sich so auf die Nocke, daß die Membrane nach unten gedrückt wird. Im weiteren Verlauf bewegt die Nocke den Schwenkarm nach unten, so daß sich der Druck auf die Membrane verringert. Die Feder drückt die Membrane nach oben.

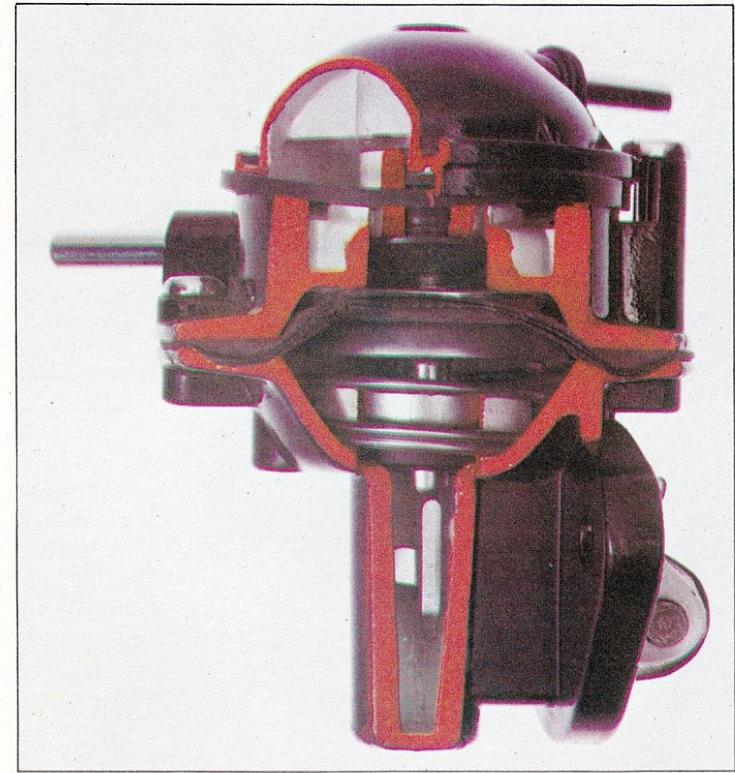


abgeblasen, anstatt in die Pumpe einzutreten.

Hochdruckpumpen

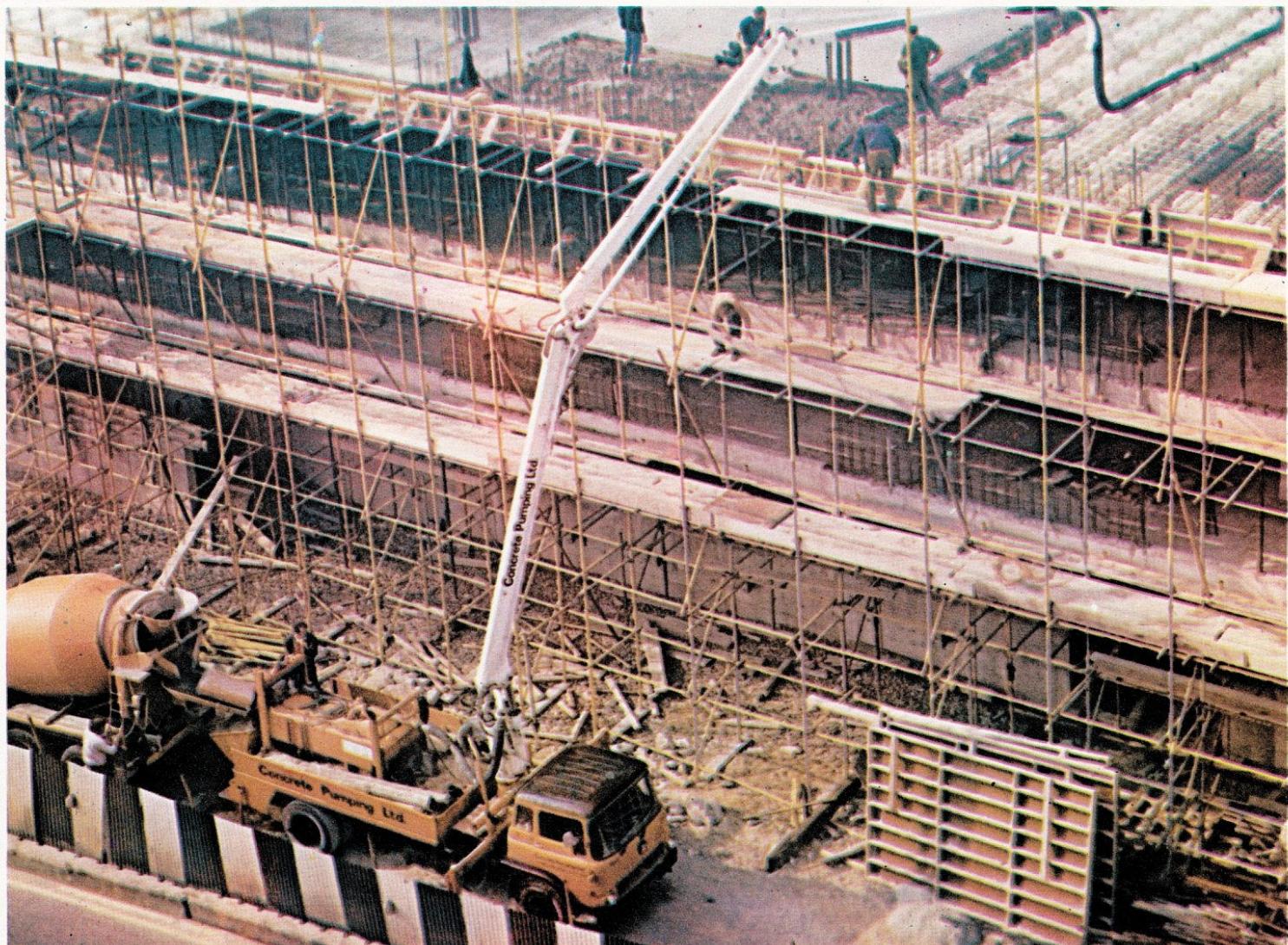
Der von einer Kreiselpumpe erzeugte Druck ist in etwa proportional dem Quadrat der Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades: ein entsprechender Druck läßt sich deshalb entweder mit großem Laufraddurchmesser und geringer Geschwindigkeit oder mit geringem Raddurchmesser und hoher Geschwindigkeit erreichen. Die höchste, mit einem Elektromotor (der gewöhnlich eine Kreiselpumpe antreibt) zu erzielende Umlaufgeschwindigkeit liegt bei 2900 U/min bei 50 Hz bzw. 3400 U/min bei 60 Hz. Deshalb läßt sich bei diesen Geschwindigkeiten eine Erhöhung des Druckes nur durch einen größeren Pumpendurchmesser erreichen.

Dem sind jedoch Grenzen gesetzt, einmal durch die Festigkeit des Materials, aus dem die Pumpe besteht, zum anderen dadurch, daß die durch das Rotieren des Laufrades verursachte Flüssigkeitsreibung einen Einfluß auf die zum Antrieb der Pumpe erforderliche Leistung hat, die oberhalb eines bestimmten Laufraddurchmessers stark zunimmt. Für Drücke, die wesentlich über 6,9 bar liegen, werden die Kreiselpumpen in der Regel mehrstufig gebaut, d.h. einzelne Laufräder auf einer gemeinsamen Welle hintereinandergeschaltet und die Flüssigkeit vom Ausgang der einen Stufe dem Eingang der nächsten Stufe zugeleitet. Aufgrund der mit im Raketenbau eingesetzten Pumpen und Mehrstufenkompressoren für Düsentriebwerke gemachten Erfahrungen sind in den letzten Jahren Pumpen auf den Markt gekommen, die mit viel höherer Geschwindigkeit laufen, so daß zur Erzeugung höherer Drücke eine einzige Stufe ausreicht. Diese Pumpen sind von einfacher Bauweise mit Zahnrad- oder Riemenantrieb und bringen bedeutende Raum- und Kostensparnisse. Einige von ihnen laufen mit bis zu 20 000 U/min und erzeugen Drücke bis zu 138 bar.



Oben: Membran-Kraftstoffpumpe ohne Gehäuse. Die Membran ist zwischen den oberen und unteren Pumpenrumpfteilen eingespannt.

Unten: Hochpumpen von Beton auf einer Baustelle, eine Methode, die erstmals in Deutschland praktiziert wurde.



PYRAMIDEN

Bis heute ist nicht ganz geklärt, wie es den Ägyptern technisch möglich war, die Cheopspyramide zu bauen. Sie ist wohl das größte Einzelbauwerk, das je errichtet wurde, bei dem einige der verwendeten Steinblöcke nicht weniger als 15 t schwer sind.

Im Ägypten des Altertums waren die Pyramiden die dominierenden Bauten innerhalb von Grabanlagen, die als Grabstätten für bedeutende Persönlichkeiten dienten. Man unterscheidet zwei Arten: Die 'Stufenpyramide', bei der alle vier Seiten von der Basis bis zur Spitze in Stufenform gebaut sind, und die eigentliche Pyramide, d.h. eine der geometrischen Form entsprechende Pyramide, die an allen Seiten gleichmäßig nach oben spitz zuläuft (in der Regel mit einem Neigungswinkel von 52°). Die Stufenpyramiden sind älter als die eigentlichen Pyramiden: Die erste dieser Art wurde als Grabmal für König Djoser aus der dritten Dynastie (um 2660 v.Chr.) von dessen berühmtem Architekten Imhotep errichtet. Zu Beginn der vierten Dynastie (etwa 2600 v.Chr.) wurden die Stufenpyramiden von den glattseitigen Pyramiden abgelöst, die in den folgenden 1000 Jahren als Grabstätten der Könige gebaut wurden. Etwa 30 dieser Pyramiden haben die Jahrtausende mehr oder weniger gut erhalten überdauert. Keine gleicht der anderen in Größe, Innengestaltung und Ausstattung.

Auswahl und Vorbereitung des Standortes

Vier Kriterien waren ausschlaggebend für die Auswahl des Ortes, an dem eine Pyramide gebaut werden sollte. Sie mußte in der Nähe der königlichen Residenz, am Westufer des Nils, außerhalb der jährlichen Überschwemmungsgebiete an einem Ort stehen, wo der Gesteinsuntergrund fest und nahezu eben war. Unregelmäßigkeiten des Geländes wurden wahrscheinlich auf eine sehr mühsame Art beseitigt. Man errichtete einen niedrigen Wall um das Geviert, das als Bauplatz vorgesehen war, überflutete den gesamten Bereich innerhalb dieses Walles mehrere Zentimeter tief und durchzog dieses

Die bekanntesten aller Pyramiden sind die in Giseh an der Westbank des Nils in der Nähe von Kairo. Die beiden größten der Gisehpyramiden sind die Chephrenpyramide (links) und die Cheopspyramide (rechts).



Gelände mit einem Netz von Gräben, deren Boden auf gleicher Höhe unter der Wasseroberfläche lag. Dann wurde der Wall entfernt, wodurch der größte Teil des Wassers auf einmal freigegeben wurde. Zum Schluß wurde noch innerhalb dieses Netzes verbliebenes unzertrümmertes Felsgestein bis auf die Höhe des Bodens der Gräben abgetragen.

Ausrichtung

Besonders große Mühe wurde darauf verwandt, die vier Seiten der Pyramide genau auf die vier Himmelsrichtungen auszurichten. Die einzige, den Ägyptern damals bereits bekannte Methode, mit der sich die bei den größeren Pyramiden demonstrierte Genauigkeit erzielen ließ, bestand darin, eine Stange lotrecht in dem steinigen Untergrund zu verankern und von diesem Punkt aus die beiden Punkte anzuvisieren, an denen ein Stern am östlichen Horizont auf- und am westlichen Horizont untergeht. Eine von der Mitte zwischen diesen beiden Punkten zu der Stange gezogene Linie würde genau in Nord/Süd-Richtung verlaufen. Die Ost/West-Achse ließ sich dann mit einem Winkeldreieck, von dem man weiß, daß er den Ägyptern bekannt gewesen war, leicht bestimmen. Da jedoch jede Bodenerhebung den Betrachter daran gehindert hätte, den wahren Horizont zu sehen, wurde wahrscheinlich ein runder oder halbrunder, oben ebener Wall gebaut, der Stab genau im Zentrum eingesetzt und der Stern anvisiert, wenn er über diesem künstlichen Horizont auf- und unterging.

Aufbau und Struktur

Pyramiden, die soweit zerstört sind, daß sich ihr innerer Aufbau in Augenschein nehmen lässt, zeigen, daß die inneren Kanten in senkrechten Schichten um einen zentralen Kern gebaut wurden. Jede Schicht einer glattseitigen Pyramide bestand normalerweise aus horizontalen Lagen heimischen Gesteins, das mit einer Außenhaut aus Kalkstein höchster Qualität, der aus den Steinbrüchen von Tura, gegenüber von Giseh und Sakkara am östlichen Nilufer, gewonnen wurde.

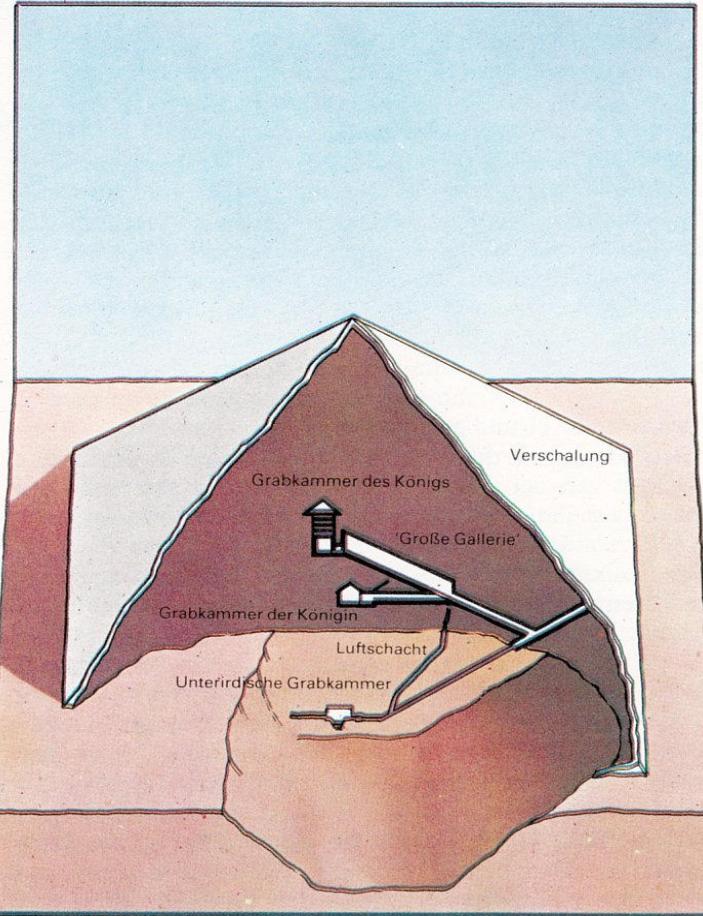
Die äußeren Seiten des Kerns und der ihn umgebenden Schichten waren in einem Winkel von 75° nach innen geneigt, wodurch sich der durch das Gewicht des Mauerwerks ergebende Außendruck erheblich vermindern ließ. Die inneren und äußeren Oberflächen der im Kern verwendeten Kalksteinblöcke aus Tura blieben ungeglättet. Kammern und Gänge, soweit solche im Oberbau vorgeschen waren, wurden beim Errichten des Grabmales mit eingebaut. Größere, für das Pyramideninnere bestimmte Gegenstände wie z.B. Sarkophage (steinerne Prunksärge) wurden, wenn sie nicht durch die Gänge paßten, zuerst eingesetzt und die Grabkammern und Gänge dann um diese herum gebaut. Unterirdische Gänge und Kammern wurden vor den Mauerarbeiten in den felsigen Grund geschlagen.

Gleichzeitig mit dem Bau des Kernes, dessen senkrechte Schichten von der Mitte nach außen hin in der Höhe abnahmen, was ihn einer Stufenpyramide ähneln ließ, wurde die ganze Pyramide von außen mit Kalkstein aus Tura verkleidet. Jeder Kalksteinblock wurde vor dem Verlegen auf den Pyramidenwinkel von 52° zugeschnitten. Die Cheopspyramide hat einen Neigungswinkel von $51^\circ 51'$, was den Schluß zuläßt, daß ursprünglich der Plan bestand, die Höhe der Pyramide dem Radius eines Kreises, dessen Umfang gleich dem Umfang der Pyramide an der Basis ist, entsprechen zu lassen. Mathematische Aufzeichnungen aus dem Ägypten jener Zeit enthalten keinerlei Hinweis darauf, daß den Ägyptern der Charakter der Zahl π , die das Verhältnis von Kreisumfang zu Kreisdurchmesser angibt, bereits bekannt war. Der letzte Steinblock, der als Schluß- bzw. Abdeckstein eingesetzt wurde, war eine Miniaturausgabe der Pyramide selbst und bestand zumeist aus Granit, der gelegentlich noch mit einer Goldschicht überzogen wurde. Er ließ sich mittels eines an seiner Unterseite befindlichen Zapfens fest in der obersten Mauerwerksschicht verankern.

Materialtransport

Schätzungen zufolge besteht die Cheopspyramide aus ungefähr 2 300 000 Kalksteinblöcken mit einem durchschnittlichen Gewicht von 2,5 t. Einige Blöcke sind bis zu 15 t schwer.





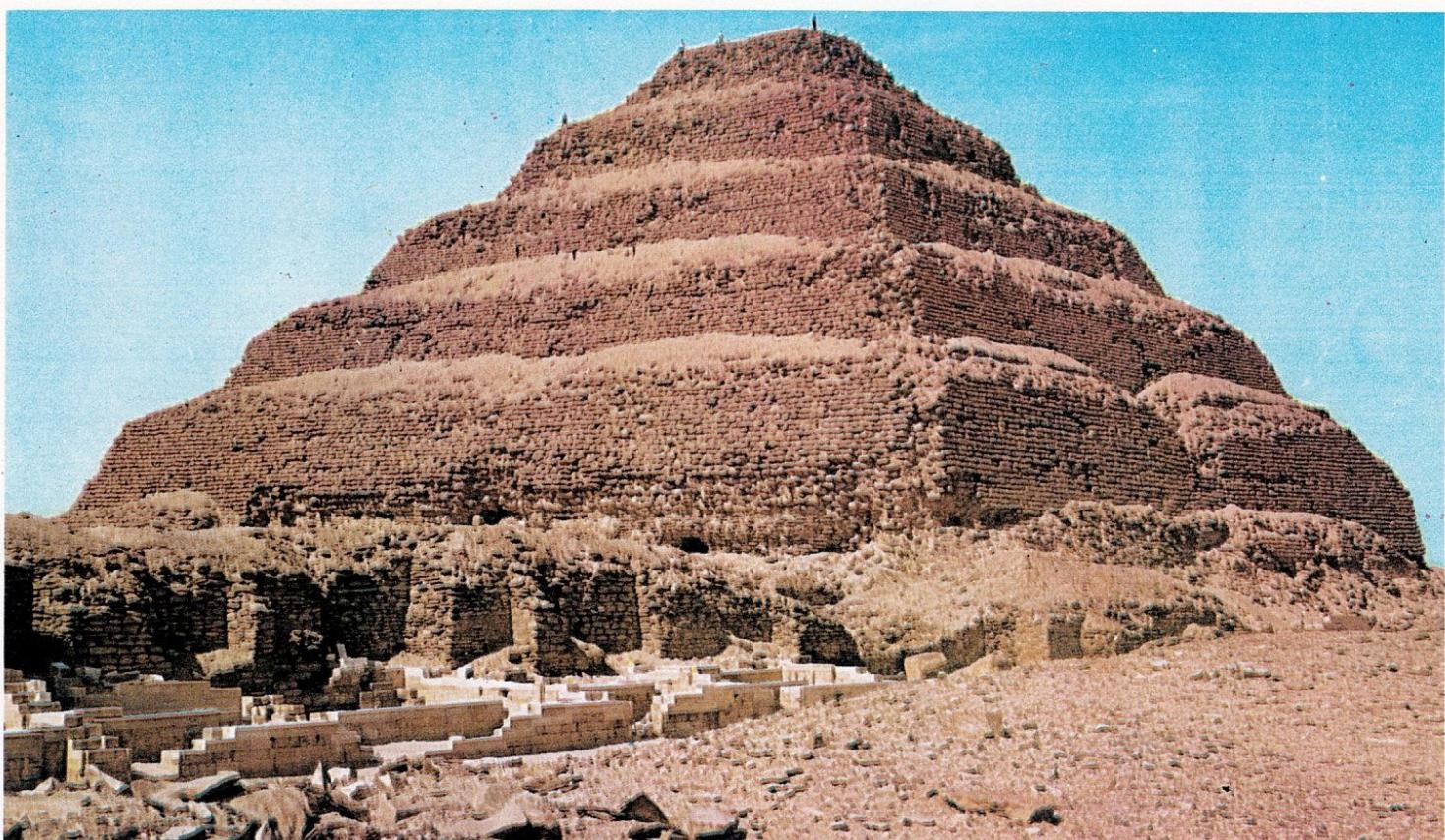
Oben: Die Cheops-Pyramide in Giseh im Querschnitt. Für den Bau dieser Pyramide wurden schätzungsweise insgesamt 5 750 000 t Kalkstein verwendet.

Unten: Die Stufenpyramide des Djoser bei Sakkara, südwestlich von Kairo. Sie wurde etwa 2 660 v. Chr. von dem berühmten ägyptischen Architekten und Mathematiker Imhotep gebaut. Die Pyramide wurde als eine Mastaba (Grabkammer) mit rechteckigem Grundriss und einer abgeflachten Oberfläche begonnen und später bis zu einer Gesamthöhe von 45 m ausgebaut.

Daneben wurden in ihrem Inneren große Granitquader aus dem 800 km südlich von Giseh liegenden Assuan verarbeitet. Die neun Steinplatten, die die Decke der Königskammer bilden, wiegen je 45 t. Nicht nur, daß eine große Zahl solcher Blöcke auf Schiffe verladen und auf dem Wasserweg zu einem in der Nähe des Bauplatzes gelegenen Kai transportiert wurde; diese Blöcke und viele weitere aus den Steinbrüchen der näheren Umgebung mußten auch über Land in die unmittelbare Nähe der Pyramide gebracht und schließlich zu der Stelle, die sie im Oberbau einnehmen sollten, hochgehievt werden.

Als Transportmittel bediente man sich dabei hölzerner Schlitten, die von Menschenhand über extra zu diesem Zwecke angelegte und mit Holzbalken belegte Trassen gezogen wurden. Nichts deutet auf die Verwendung von Laufrollen o.ä., doch ist nicht auszuschließen, daß derartige Hilfsmittel unter den Schlitten oder unter den Blöcken selbst, wenn diese nicht auf Schlitten transportiert wurden, verwendet wurden. Da die alten Ägypter den Flaschenzug, der erst von den Römern erfunden wurde, noch nicht kannten, blieb ihnen nur eine einzige Methode, zum Bauen benötigte Steinblöcke nach oben zu schaffen: Jeder Block wurde auf seinem Schlitten eine aus Steinschutt und Erde bestehende schräge Rampe, die auf Höhe des bereits fertigen Teiles des Bauwerks endete, hinaufgezogen. Im Falle einer Pyramide war eine solche Rampe nur auf einer Seite erforderlich. In dem Maße, in dem die Pyramide wuchs, wurde die Rampe unter Beibehaltung des Neigungswinkels verlängert. Der verbleibende Teil der Pyramide wurde mit einer Art Brüstung versehen, die breit genug war, daß die Pyramidenbauer darauf stehen und die äußeren Steinblöcke in die richtige Lage bringen konnten. War der Schlüßstein gesetzt, wurden die Brüstungen und die Rampe abgebaut und als nächster Arbeitsschritt die Außenflächen der Verkleidungsblöcke aus Tura-Kalkstein, die bis dahin roh geblieben waren, von oben nach unten geglättet.

Besonders beeindruckend beim Pyramidenbau ist die Perfektion, mit der die äußeren Verblendungsblöcke verlegt wurden. Fachleute, wie der Engländer Sir Flinders Petrie, schätzen, daß die Fugenbreite bei der Cheops-Pyramide im Durchschnitt nicht mehr als 0,5 mm betrug. Mörtel wurde in erster Linie als eine Art Gleitmittel verwendet, damit sich die Steinblöcke beim Verlegen etwas verschieben ließen.



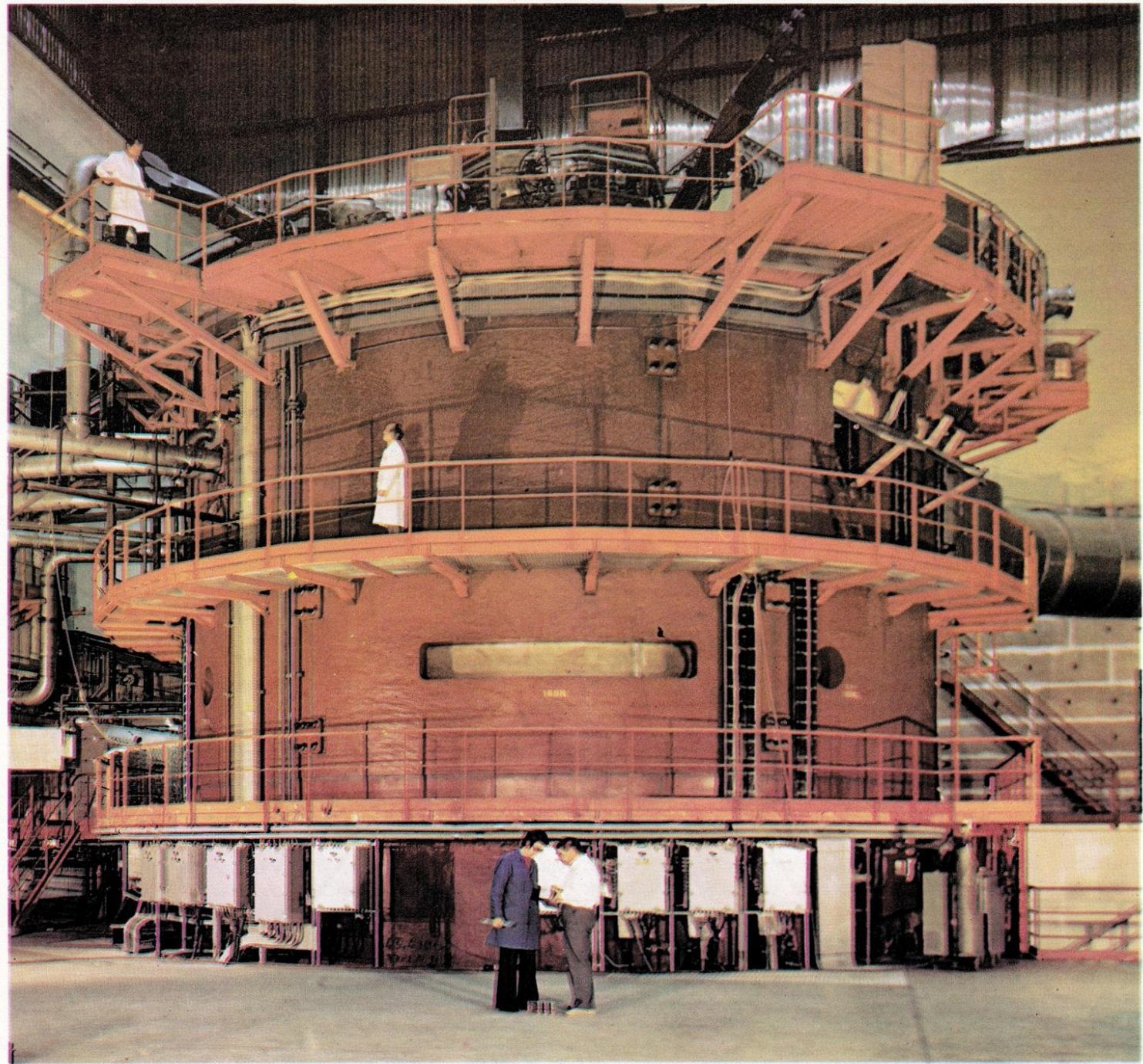
Q

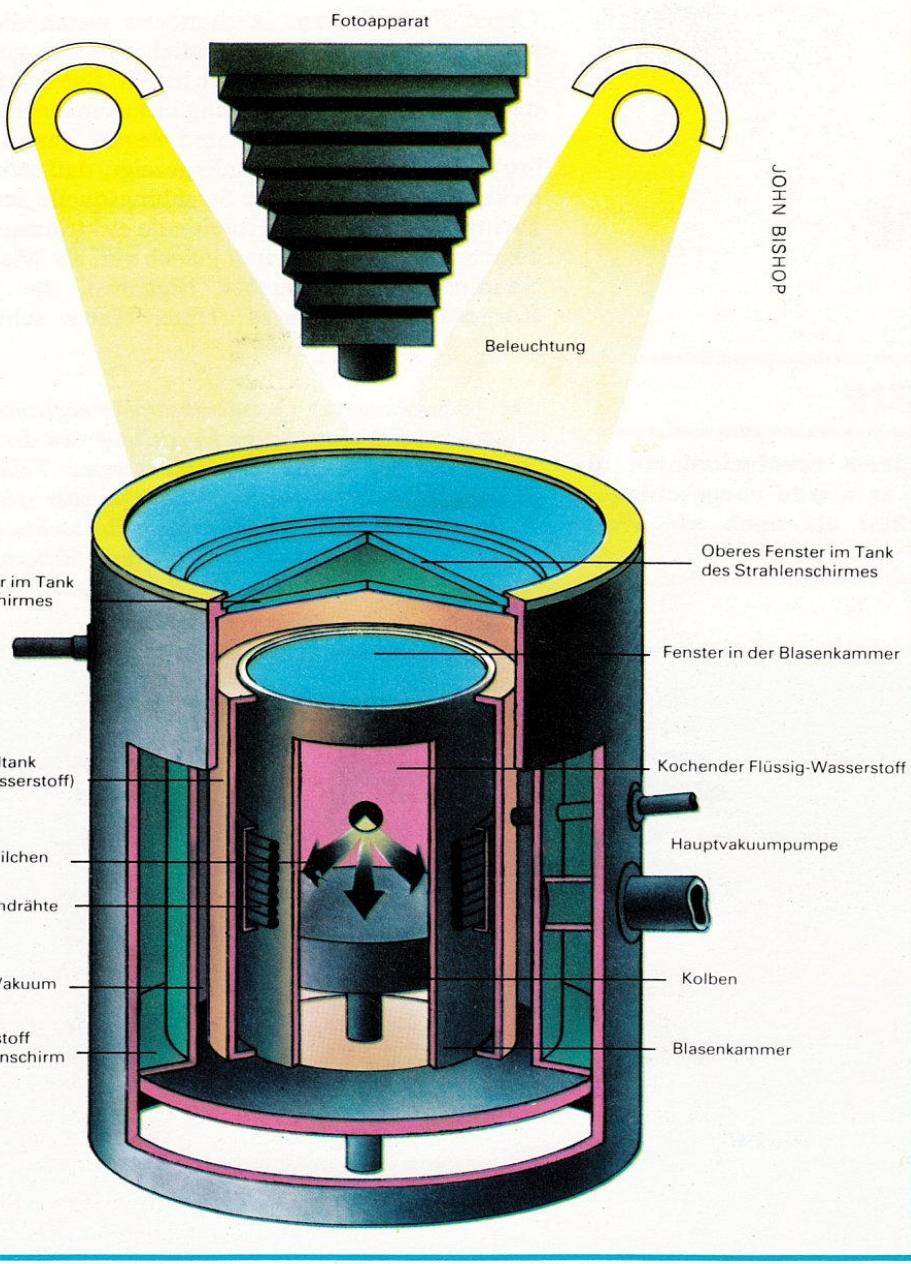
QUANTENTHEORIE

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts revolutionierte die Quantentheorie die Physik — es wurde vorgeschlagen, daß Licht sowohl als Teilchen als auch als Welle betrachtet werden kann.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts waren die Naturwissenschaftler stolz auf das ordentliche, in sich geschlossene Bild der Physik, das sie aufgebaut hatten. Speziell die Theorie von der Natur und der Erzeugung elektromagnetischer Strahlung war sehr zufriedenstellend und elegant. James Clerk Maxwell (1831 bis 1879) hatte gerade gezeigt, daß jede beschleunigte elektrische Ladung eine Strahlungsquelle ist, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitende elektromagnetische Wellen aussendet. Probleme traten jedoch auf, als Wissenschaftler die Strahlung zu untersuchen begannen, die von schwarzen Körpern emittiert wird. Unter einem schwarzen Körper

Die Entwicklung der Quantentheorie ermöglichte es den Physikern, sich eine klarere Vorstellung von der Struktur des Atoms und der Charakteristik subatomarer Teilchen zu machen. Die Anwendung der Blasenkammer spielte eine wichtige Rolle in der Teilchen-Physik; durch Beobachtung des Blasenschweifes, der sich auf ihrem Weg durch flüssigen Wasserstoff bildet, kann das Verhalten der Teilchen studiert werden.





Links: Eine Flüssig-Wasserstoff-Blasenkammer. Die innere Kammer enthält flüssigen Wasserstoff, der durch den Druck eines Kolbens über dem Siedepunkt gehalten wird. Der vorübergehende Drucknachlauf versetzt den Wasserstoff in einen überhitzten Zustand und das Durchdringen eines Teilchens erzeugt auf seinem Weg einen Blasenfluß. Blasenkammern sind große, schwere Strukturen, wovon sich eine im Genfer CERN, dem Organ der Europäischen Organisation für Kernforschung, befindet; ihre Kammer hat einen Durchmesser von 3,70 m und ist von einem 2 000 t schweren Eisenzylinder umgeben, der die Umgebung vor den starken magnetischen Feldern schützt, die die Teilchen beim Durchqueren des flüssigen Wasserstoffs ablenken. Eine Abbildung dieser Blasenkammer befindet sich auf Seite 1165.

Rechts: Ein Impuls von Laser-Licht ist hier in 10^{-11} Sekunden beim Durchgang durch eine Wasserflasche von rechts nach links fotografiert worden. Ein Photon kann man sich ähnlich, allerdings viel kleiner als solch einen Impuls, vorstellen.

versteht man ein Gebilde, das die gesamte empfangene Strahlung absorbiert. Verschiedene Wissenschaftler haben die von schwarzen Körpern ausgesendete Strahlung gemessen. Es gab viele Versuche, mathematisch die gemessene Verteilung der Wellenlängen zu beschreiben. Keiner dieser Vorschläge konnte die Verteilungsfunktion der Strahlung erfolgreich wiedergeben, und für viele Physiker war es so verwirrend, daß auch Lord Rayleigh (1842 bis 1919), der die Lösung mit Hilfe der klassischen Physik suchte, scheiterte.

Die Quanten

Im Jahre 1900 gab der deutsche Physiker Max Planck (1858 bis 1947) die Antwort; allerdings erst, nachdem er sich dazu durchgerungen hatte, für diesen Fall die klassische Betrachtungsweise als ungültig anzusehen. Er schlug vor, die Emission von Energie nicht als kontinuierlichen Strom, sondern als Bündel, die er Quanten (Einzahl Quant oder Quantum) nannte, zu beschreiben. Die Energie eines Quants ist proportional zur Frequenz der Strahlung, d.h.

$$\text{Energie} = \text{Frequenz} \times \text{Konstante.}$$

Die Konstante wird mit h bezeichnet und heißt Plancksches Wirkungsquantum oder Plancksche Konstante.

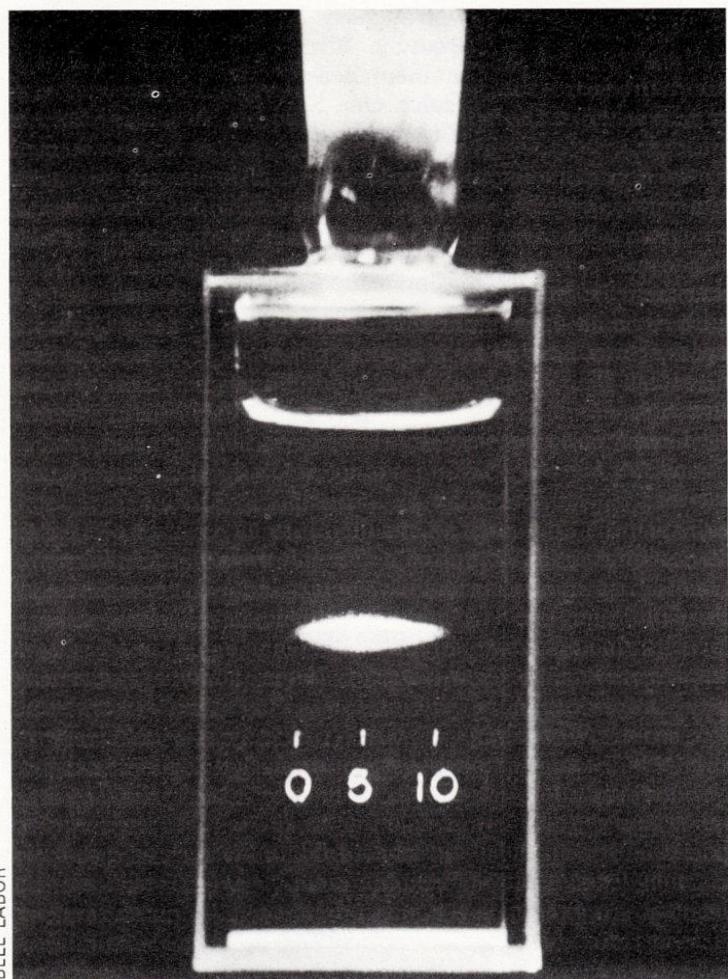
Planck nahm an, daß seine Strahlungsquanten nach dem Verlassen der Strahlungsquelle wie Wellen an der Oberfläche

eines Teiches aussehen. Dies ermöglicht die Erklärung des wellenähnlichen Verhaltens.

Der Fotoelektrische Effekt

Experimente bestätigten bald die Quantennatur des Lichtes. Hallwachs (1859 bis 1922) hatte beobachtet, daß einige Metalle negative Ladung verlieren (später fand man, daß es Elektronen sind), wenn man sie mit ultraviolettem Licht bestrahlt, das eine höhere Frequenz und somit höhere Energie hat als sichtbares Licht. Sobald die Lichtintensität wächst, steigt die Zahl der das Metall verlassenden Elektronen; allerdings wird eine bestimmte minimale 'Schwellenfrequenz' des einfallenden Lichtes benötigt, unter der keine Elektronen emittiert werden.

Diese Fakten waren durch das klassische Wellenbild nicht zu deuten, bis im Jahre 1905 Albert Einstein (1879 bis 1955) im ersten, grundlegenden Teil seiner Arbeiten dies durch die neu entwickelte Quantentheorie erklärte. Er dehnte Plancks Ideen aus, indem er vorschlug, daß sich die Strahlungsquanten (im Falle der Lichtstrahlung werden sie Photonen genannt) nach Verlassen der Quelle nicht wie Wellen ausbreiten, sondern ihren Charakter als diskrete Energiebündel beibehalten. Dann sind die hochenergetischen Photonen ultravioletten Lichtes in der Lage, durch Stoß die Elektronen aus der Oberfläche eines Metalls herauszuschlagen. Wächst die



Lichtintensität, treffen mehr Photonen die Oberfläche. Sie setzen folglich — sofern ihre Energie ausreichend hoch ist — mehr Elektronen frei. Fällt die Lichtfrequenz unter die Schwellenfrequenz, reicht die Photonenergie nicht aus, um auch nur ein Elektron abzulösen.

Das Bohrsche Atommodell

Das neue Konzept der quantisierten Strahlung ebnete den Weg zur Interpretation der schwarzen Linien im Sonnenspektrum. Diese Linien resultieren aus dem Vorhandensein bestimmter Elemente, insbesondere von Wasserstoff und Eisen, in der Sonnenatmosphäre. Für sie gab es keine Erklärung, obgleich sie schon ein Jahrhundert zuvor von Joseph von Fraunhofer (1787 bis 1826) und anderen entdeckt und aufgezeichnet worden waren. Niels Bohr (1885 bis 1962), ein in Cambridge arbeitender junger dänischer Physiker, kombinierte das im Jahre 1911 von Ernest Rutherford (1871 bis 1937) vorgeschlagene neue Atommodell mit der Quantentheorie von Planck und Einstein und war im Jahre 1913 fähig, zufriedenstellend das Spektrum des Wasserstoffatoms zu beschreiben. Das Bohrsche Modell besteht, wie schon von Rutherford skizziert, aus einem positiv geladenen Atomkern und einer 'verschmierten' Elektronenwolke, die den Atomkern umgibt. Bohr erweiterte das Atommodell von Rutherford dahingehend, daß er sein Atommodell quantentheoretisch deutete.

Als erstes forderte Bohr, daß die Elektronen auf festen Bahnen den Kern umkreisen. Hierbei sind nicht alle möglichen Bahnen erlaubt, sondern nur bestimmte, die mit einem festen Energiewert verbunden sind. Diese werden Energiezustände oder Energieniveaus genannt. Als zweites forderte er, daß von den Elektronen keine Energie aufgenommen oder abgegeben wird, es sei denn, ein Elektron springt von einem solchen Energieniveau in ein anderes. Die Energie der dann in Form

eines Photons abgegebenen (oder aufgenommenen) Strahlung entspricht der Energiedifferenz zwischen zwei Energiezuständen. Auf diese Art verhinderte Bohr ein Problem der klassischen Physik: Nach den bekannten Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik sollte das umlaufende Elektron nämlich Strahlung emittieren, somit Energie verlieren und sich auf einer spiralförmigen Bahn dem Kern nähern. Bohr war es schließlich möglich, die beobachteten Spektrallinien durch die Photonen zu erklären, welche beim Übergang eines Elektrons in ein tieferes Energieniveau ausgesendet werden.

Die Bohrsche Theorie wurde von A. Sommerfeld (1868 bis 1951) verfeinert, der für die Elektronen elliptische Bahnen annahm. Es war jedoch nur möglich, diese Theorie auf Atome mit niedriger Kernladungszahl anzuwenden. Aufgrund des mathematischen Aufwandes konnten kompliziertere Atome nicht berechnet werden.

Quantenmechanik

Im Jahre 1924 postulierte dann Prinz Louis de Broglie (geb. 1892), der an den Grundlagen der Quantenmechanik arbeitete, daß auch Materie wellenähnliche Eigenschaften habe und das Bohrsche Atommodell leichter erklärt werden könne, wenn man die Elektronen als Wellen ansieht. In Zürich kleidete Erwin Schrödinger (1887 bis 1961) dieses Konzept in die mathematische Form der Wellenmechanik, in der dann die Quantisierung der Energie eine natürliche Folge ist und keiner zusätzlichen Annahmen bedarf. Zur gleichen Zeit führte Werner Heisenberg (1901 bis 1976) in Göttingen die Technik der Quantenmechanik durch die Annahme der Energiequantelung ein und zeigte, daß dann die Wellennatur der Materie die Folge ist.

Heisenbergs Arbeiten führten im Jahre 1926 zur Formulierung der Unschärferelation, die zeigt, daß es wegen der Teilchen-Wellen-Natur der Materie nicht möglich ist, gleichzeitig und absolut genau Impuls und Ort eines Objektes zu messen. Diese Beschränkung der Meßbarkeit ist grundsätzlich und hat philosophische und naturwissenschaftliche Bedeutung. Die Auswirkungen der Unschärferelation sind nur im submikroskopischen Maßstab beobachtbar, wie im Fall eines Elektrons, dessen Ort und Impuls nie gleichzeitig exakt bestimmbar ist. Ein damit verbundenes Phänomen, der Tunnel-Effekt, macht es Elektronen möglich, Barrieren bis zur Dicke von hundert Atomen zu durchdringen, die nach der klassischen Physik die Elektronen zurückhalten sollten. Diese Eigenschaft wird in 'Tunnel-Dioden' für ultraschnelle Schaltzwecke benutzt.

Die Quantenmechanik von Schrödinger und Heisenberg wurde durch P. A. Dirac (geb. 1902) zur Quantenelektrodynamik ausgedehnt. Seine Arbeiten aus den späten zwanziger Jahren sind die Basis der heutigen Forschung. Unter anderen Erfolgen ist Diracs Annahme eines Teilchens mit der Charakteristik des Elektrons, aber mit positiver Ladung, bedeutend. Dieses Teilchen, das Positron, wurde im Jahre 1932 entdeckt.

Viele Physiker glauben heute, daß die vier grundlegenden Kraftarten in der Natur durch Quantenaustausch zustande kommen. Man stellt sich vor, daß eine Kraft entsteht, wenn ein 'Austauschteilchen' von einem subatomaren Partikel emittiert und von einem anderen absorbiert wird. Im Falle der elektromagnetischen Kraft werden 'virtuelle Photonen' ausgetauscht, während sogenannte Pi-Mesonen als Ursache der starken Kernkraft gelten. Pi-Mesonen sind, wie Elektronen und Protonen, ebenfalls Elementarteilchen. Die Gravitation wird als Wechselwirkung gedacht, bei der 'Gravitonen' ausgetauscht werden, obgleich diese bisher noch nicht entdeckt werden konnten. Es gibt schließlich eine Vielzahl experimenteller Hinweise auf die Existenz eines 'intermediären Vektor-Bosons', des Teilchens, das für die schwache Kernkraft verantwortlich ist.

QUARZUHR

Die besten Quarzuhr haben eine Gangabweichung von nur einer Hunderttausendstel Sekunde pro Tag.

Eine Uhr benötigt zum Funktionieren in irgendeiner Form einen Oszillator und eine Vorrichtung zum Zählen und Erfassen der Anzahl der Schwingungen. Ein einfaches Beispiel ist das Pendel, das über ein Steiggrad mit dem Räderwerk und der Zahlenscheibe verbunden ist. Bei einer Quarzuhr besteht der oszillierende Teil aus einem Stück Quarz, das aus einem Quarzkristall in einer bevorzugten Kristallrichtung geschnitten wird. Die Anzahl der Schwingungen — sie können bis zu einer Million Hertz betragen — wird über eine elektronische Teilerschaltung auf die Uhrenanzeige übertragen.

Quarzkristall

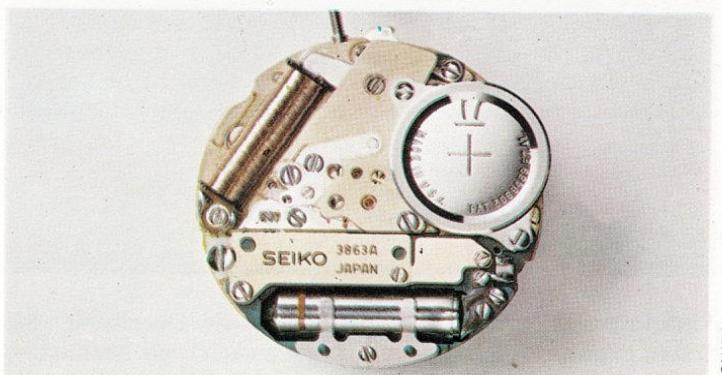
Ein Quarzkristall hat piezoelektrische Eigenschaften. Er ist mechanisch und elektrisch sehr stabil, wodurch der Quarzkristall in elektronischen Schaltungen als genauer Oszillator eingesetzt werden kann. Wird an ein Quarzstück eine elektrische Spannung gelegt, dehnt es sich entweder aus oder zieht sich zusammen. Umgekehrt entstehen an der Oberfläche des Quarzes bei Einwirkung mechanischer Kräfte elektrische Ladungen. Man bezeichnet dieses Verhalten des Quarzes als piezoelektrischen Effekt. Die an der Oberfläche des Quarzes auftretenden elektrischen Ladungen werden an Metallelektroden, die an eine elektronische Schaltung mit verstärkenden Elementen (Transistor) angeschlossen sind, weitergeleitet. Da der Quarz Schwingungen ausführt, wird in die elektronische Schaltung ein Wechselstrom induziert. Es werden kontinuierliche elektrische Schwingungen erhalten, die der natürlichen, mechanischen Frequenz des Quarzes entsprechen.

Frequenzteilung

Die einfachste Schaltung zur Teilung einer Frequenz

(Reduzierung) besteht aus zwei Transistoren, die über Kondensatoren und Ohmsche Widerstände so miteinander verknüpft sind, daß zu einem Zeitpunkt nur ein Transistor leitend ist. Man nennt solch eine Schaltung einen bistabilen Multivibrator (oder Flipflop), da zwei stabile Zustände vorhanden sind. Ein elektrischer Impuls, der auf das Flipflop einwirkt, steuert einen der beiden Transistoren durch. Ein nachfolgender elektrischer Impuls steuert dann den anderen Transistor durch. D.h. bei zwei auf den Eingang des Flipflops einwirkenden Pulsen tritt an seinem Ausgang nur ein Impuls auf. Man hat also eine Frequenzteilung durch 2 erreicht. Schaltet man n Flipflops hintereinander, kann eine Frequenz durch 2^n geteilt werden. Bei drei Bausteinen würde dies einer Frequenzteilung von $2^3 = 8$ entsprechen.

Eine etwas kompliziertere Schaltung teilt die Frequenz durch 10. Solche Frequenzteiler werden im allgemeinen in Quarzuhrn eingesetzt. Die Schaltung besteht aus mehreren Flipflops, die über logische Bauelemente (siehe LOGIKSCHALTUNGEN) miteinander verknüpft sind. Die Quarzuhrn wurden ursprünglich zur Messung von Hochfrequenzsignalen entwickelt und werden in dieser Anwendungsform auch heute noch eingesetzt. Bei dem Einsatz der Quarzuhrn im kommerziellen Bereich ist die Oszillatorkreisfrequenz meist eine Potenz von

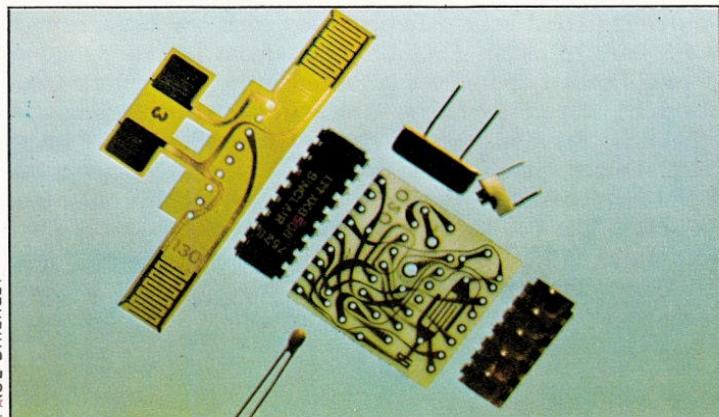


Oben: Eine Uhr, die einen sehr kleinen Quarzkristall verwendet. Sie hat eine Genauigkeit von 1 Sekunde pro Monat. Die entsprechende Batterie hat eine Lebensdauer von einem Jahr.



Links: Natürlicher und geschliffener Quarz.

Rechts: Der Essen-Ring, der die elektrischen Achsen und die entsprechenden Knoten aufzeigt. Der Ring wird an drei der sechs Achsen abgegriffen, wobei ein Winkel von 120° eingehalten wird. Durch Verwendung von Frequenzteilern kann die Frequenz des Quarzes so weit heruntergeteilt werden, daß eine Uhrenanzeige betrieben werden kann.



Oben: Die Bestandteile einer elektronischen Digitaluhr. Der Quarzkristall-Oszillator ist das größere der beiden rechteckigen Teile rechts der Schaltvorrichtung.

2, wodurch durch Verwendung einfacher Binärteiler die Frequenz heruntergeteilt werden kann.

Entwurfsmerkmale

Die kristalline Struktur von Quarz ist komplex. Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften hängen von den Kristallachsen ab. Hierdurch wird einerseits der Entwurf von Oszillatoren erschwert, andererseits ergibt sich jedoch auch ein breites Frequenzspektrum, dessen einzelne Frequenzen den Erfordernissen angepaßt werden können. Für eine Quarzuhr höchster Anforderungen werden größtmögliche Stabilität, kleine Verluste durch Dämpfung und ein Temperaturkoeffizient von Null erwartet.

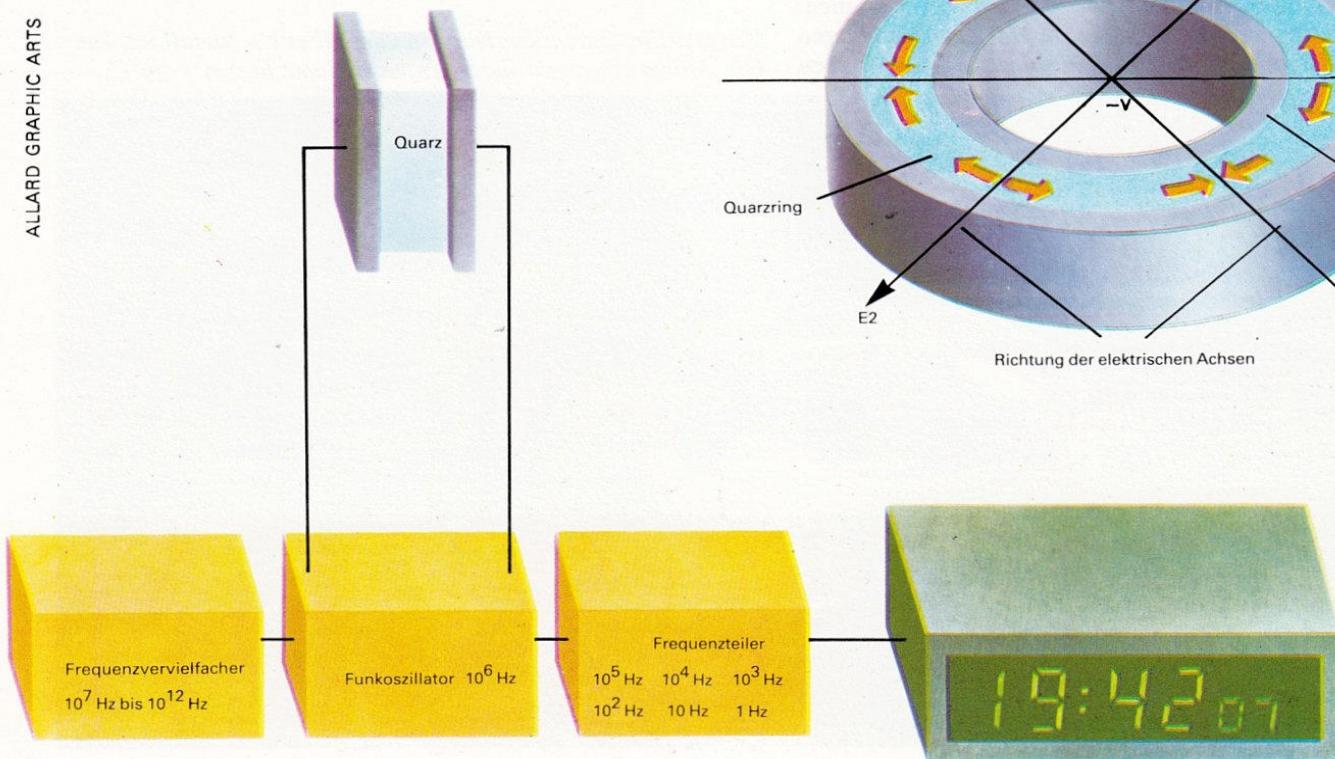
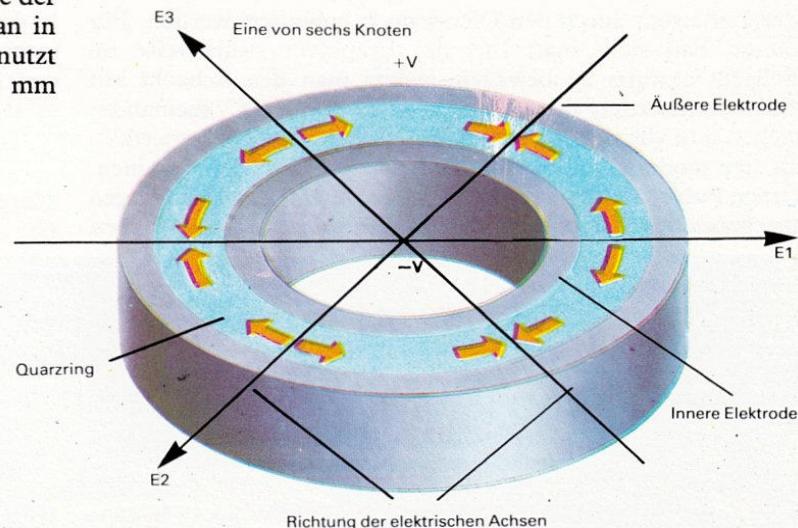
Eines der schwierigsten praktischen Probleme ist, den Quarz so zu montieren, daß die Schwingungen nicht gedämpft werden. Eine Möglichkeit der Montage besteht darin, den Quarz im Knoten eines Obertones (d.h. eine Harmonische der Grundfrequenz) zu befestigen. Dieses Prinzip kennt man in dem Essen-Ring, der in vielen Observatorien als Norm benutzt wird. Es handelt sich hier um einen Ring mit etwa 55 mm Durchmesser, der mit einer Frequenz von 10^5 Hz schwingt (10^5 Hertz = 100 000 Schwingungen pro Sekunde). Die Obertonbetriebsart wird durch Elektroden angeregt, die aus konzentrischen Metallringen bestehen und den Quarz auf seiner inneren und äußeren Oberfläche umgeben. In radialer Richtung existieren drei elektrische Achsen, die in einem Winkel von 120° zueinander stehen. Eine Spannung zwischen den Elektroden veranlaßt einen 60° -Bereich, sich bezüglich des Umfangs auszudehnen; den benachbarten 60° -Abschnitt veranlaßt er, sich zusammenzuziehen. Der Quarz schwingt deshalb in der dritten Harmonischen mit sechs Knoten am Umfang. Der Temperaturkoeffizient hängt u.a. von der Größe des Radius ab und kann bei entsprechender Betriebstemperatur zu Null gemacht werden.

Durchmesser, der mit einer Frequenz von 10^5 Hz schwingt (10^5 Hertz = 100 000 Schwingungen pro Sekunde). Die Obertonbetriebsart wird durch Elektroden angeregt, die aus konzentrischen Metallringen bestehen und den Quarz auf seiner inneren und äußeren Oberfläche umgeben. In radialer Richtung existieren drei elektrische Achsen, die in einem Winkel von 120° zueinander stehen. Eine Spannung zwischen den Elektroden veranlaßt einen 60° -Bereich, sich bezüglich des Umfangs auszudehnen; den benachbarten 60° -Abschnitt veranlaßt er, sich zusammenzuziehen. Der Quarz schwingt deshalb in der dritten Harmonischen mit sechs Knoten am Umfang. Der Temperaturkoeffizient hängt u.a. von der Größe des Radius ab und kann bei entsprechender Betriebstemperatur zu Null gemacht werden.

Anwendungen

Obwohl Quarzuhren ursprünglich zur Frequenzmessung herangezogen wurden, sind sie wesentlich besser zur Zeitmessung geeignet als mechanische Uhren. Der beschriebene Ringtyp hat eine Ungenauigkeit von einer Hunderttausendstel Sekunde pro Tag. Astronomische Zeitmessungen sind nur auf eine Hundertstel Sekunde pro Tag genau. Quarzuhren werden dazu herangezogen, diese Fehler auszugleichen und eine einheitliche Zeitskala zu schaffen. Sie müssen selbstverständlich justiert werden. Im Mittel stimmt ihre Genauigkeit mit der Rotation der Erde überein.

Als in den dreißiger Jahren Quarzuhren entwickelt wurden, konnten sie wegen ihrer Größe und des hohen Preises nicht kommerziell verwertet werden. Durch die Einführung der Mikroelektronik (siehe INTEGRIERTE SCHALTUNGEN) hat sich das Bild gewandelt. Denn die elektronischen Bauteile haben sich wesentlich verkleinert. Der Quarz-Baustein selbst kann vereinfacht werden, da für Armbanduhren die Genauigkeit nicht optimal sein muß. Es gibt heute schon Quarzuhren, die bei sehr hoher Genauigkeit billiger als hochwertige, konventionelle Armbanduhren sind.



QUECKSILBER

Weil das Quecksilber bei Raumtemperatur flüssig ist, wurde es von den Alchimisten zur metallischen Essenz sämtlicher Metalle erklärt. Heute wissen wir, daß Quecksilber tatsächlich ein eigenständiges, reines Metall ist.

Erst nachdem es Braune gelungen war, in einer kalten Winternacht des Jahres 1759 in Leningrad Quecksilber zum Gefrieren zu bringen (es erstarrt bei -39°C), wurde es allgemein als eigenständiges Metall anerkannt. Chemisch gesehen ist Quecksilber mit den Metallen Cadmium und Zink verwandt, die der gleichen Gruppe des periodischen Systems (siehe CHEMIE) angehören.

Vorkommen

Quecksilber wird hier und da, wo sein Erz freiliegt, in gediegenen Tröpfchen gefunden. Diesen Vorkommen wird die Entdeckung des Quecksilbers schon in prähistorischer Zeit zugeschrieben. Es wird bei Aristoteles erwähnt, der über die Gewinnung aus Zinnober, dem einzigen wichtigen Quecksilbererz, berichtet. Zinnober ist rotes Quecksilbersulfid Hg_2S . Man hat dieses Erz lange Zeit zur Herstellung eines ebenfalls als Zinnober oder auch Vermillon bezeichneten Pigments verwendet.

Die wichtigsten Quecksilberlager sind vermutlich die Lagerstätten von Almaden in Spanien, die seit vorchristlicher Zeit ununterbrochen abgebaut werden.

Gewinnung

Quecksilber wird gewöhnlich durch Abrösten des Erzes an der Luft und Kondensation des dabei entstehenden Quecksilberdampfes gewonnen. Bei diesem Vorgang entsteht auch Schwefeldioxid.

Man kann das relativ grobe Erz in einem vertikalen Schachtofen rösten. Bei der Verwendung von feinerem Erz kann der Luftstrom durch den Ofen jedoch behindert werden. Für diesen Fall sieht man vor, das Erzpulver stufenweise im Schacht abwärts zu bewegen, indem man den Schacht mit Etagen ausstattet, die in einem Winkel von 45° zueinander stehen und von denen das Röstgut nacheinander herunterfällt. In der modernen Technik wird das gesamte Erz zu einem feinen Pulver zerkleinert und entweder in einem mehrherdigen mechanischen Röstofen, in dem es mit rotierenden Roststäben

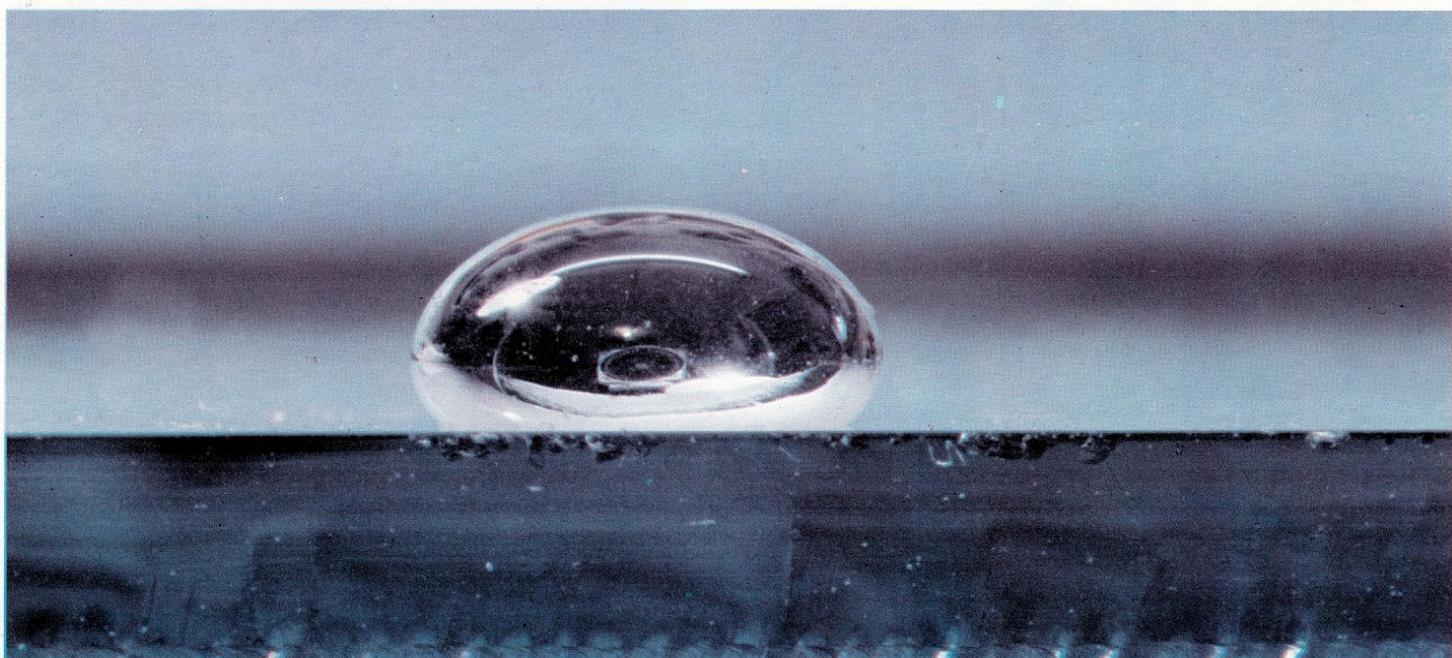
von einem Herd zum tieferliegenden nächsten Herd bewegt wird, oder in einem Drehrohrofen, einem langen Zylinder, dessen Drehachse um wenige Grade von der Horizontalen abweicht, abgeröstet. Beim Abrösten feiner Erze gelangen erhebliche Staubmengen durch die Ofengase in den Rauchfang. Dieser Staub wird entfernt, ehe die Rötgase die Kondensationsrohre, die sich sonst verstopfen würden, erreichen. Das bei der Kondensation gewonnene Quecksilber wird durch Filtration vom 'Stupp' befreit. Aus diesem Stupp, der Quecksilberverbindungen enthält, wird mit Kalk weiteres Metall gewonnen. Die letzte Reinigung erfolgt durch VAKUUM-DESTILLATION.

Verwendung

Das Quecksilberbarometer wurde im Jahre 1643 von E. Toricelli (1608 bis 1647), das Thermometer im Jahre 1714 von D. G. Fahrenheit (1686 bis 1736) erfunden. In jüngerer Zeit wird Quecksilber in vielen Geräten für wissenschaftliche und allgemeine Zwecke eingesetzt, z.B. im Sphygmomanometer (siehe MANOMETER), das der Arzt zur Blutdruckmessung benutzt, und in Schaltern, in denen eine kleine Menge des Metalles bei Betätigung auf die eingeschmolzenen Kontakte zuläuft und dadurch den elektrischen Stromkreis schließt. Das glühend bläulich-weiße Licht, das bei einer elektrischen Entladung in Quecksilberdampf entsteht, wird bei Leuchstoffröhren (siehe ENTLADUNGSRÖHRE) verwendet.

Auf Quecksilber basierende Legierungen nennt man Amalgame. Am bekanntesten ist die Anwendung der Amalgame für Zahnfüllungen, die man durch Vermischen von Quecksilber mit Füllungslegierungen aus 69,4% Silber, 3,6% Kupfer, 0,8% Zink und 26,2% Zinn herstellt. Die Füllung erhärtet, sobald flüssige und feste Phase ineinander diffundieren. Von der Fähigkeit des Quecksilbers zur Amalgambildung wird auch bei der Gold- und Silbergewinnung Gebrauch gemacht. Quecksilber wird ferner als Katodenmaterial in Zellen zur Herstellung von CHLOR durch ELEKTROLYSE von Kochsalzlösungen eingesetzt. Das an der Kathode freigesetzte Natrium bildet sofort ein Amalgam, woraus später Natriumhydroxid gewonnen werden kann. Ein Amalgam aus Quecksilber und dem Metall Thallium hat einen niedrigeren Schmelzpunkt — es schmilzt bei -60°C — als Quecksilber selbst und wird

Unten: Ein Quecksilbertropfen. Obwohl es ein Metall ist, hat Quecksilber einen sehr niedrigen Schmelzpunkt von -39°C .



daher in Thermometern für tiefe Temperaturen verwendet. Quecksilber-BATTERIEN haben eine höhere Spannung und längere Lebensdauer als übliche Batterien. Man verwendet sie dort, wo man kleinstmögliche Elemente braucht, z.B. in Hörgeräten und Belichtungsmessern von Fotoapparaten. Die Anode besteht in diesen Batterien aus einem Quecksilber-Zink-Amalgam, die Katode aus Quecksilberoxid (HgO) im Gemisch mit etwa 5% Graphit.

In beschränktem Maße werden auch Quecksilberverbindungen in Technik und Medizin angewandt. Quecksilbersulfat ($HgSO_4$) ist ein Katalysator zur Bildung von Acetaldehyd aus Acetylen und Wasser. Ein Komplexsalz aus Kupfer, Quecksilber und Iod der Formel $Cu_2(HgI_4)$ ist aufgrund der beim Erhitzen auftretenden Farbänderung ein Temperaturindikator. Das Quecksilberfulminat ($Hg(CNO)_2$) ist sehr reib- und schlagempfindlich und wird in SPRENGSTOFF-Zündern verwendet. Einige Quecksilberverbindungen, wie das Kalomel (Hg_2Cl_2), wurden früher als Antiseptika eingesetzt, doch ging diese Verwendung wegen der Giftigkeit des Quecksilbers und seiner Verbindungen zurück. Phenylquecksilberacetat wird als Saatbeize, d.h. zur Verhütung von Pilzwachstum auf Saatgetreide, verwendet. Mit Phenylquecksilberacetat wurde ferner in der Papiermühle die Schleimbildung bekämpft, das Pilzwachstum in Tapetenkleister unterbunden und das Wachstum von Rasenunkräutern unterdrückt.

Giftigkeit

Quecksilber, insbesondere Quecksilberdampf, sowie die meisten Quecksilberverbindungen sind sehr giftig. Heute wird Quecksilber allgemein als gefährliche Umweltbelastung angesehen. In Schweden wurde die Goldammer durch

Unten: Quecksilberdampf beim Verflüssigen. Der Siedepunkt von Quecksilber liegt bei nur $356,7^{\circ}C$.



PAUL BRIERLEY

Oben: Quecksilberdampflampen. Sie werden gewöhnlich mit Wechselstrom betrieben. Ein Widerstand im äußeren Stromkreis verhindert die Ausbildung gefährlich hoher Stromstärken.

Getreide, das mit Phenylquecksilberacetat behandelt wurde, vollständig ausgerottet. Die Verwendung dieser Verbindung ist in Schweden daher seit 1960 verboten. Mit Phenylquecksilberacetat behandeltes Getreide wurde auch in ein oder zwei Fällen zur Ernährung eingesetzt: Im Jahre 1971 starben im Irak einige Hundert Menschen nach dem Genuß von als Saatgut bestimmtem Getreide. Erst kürzlich mußten in Europa einige Tausend Rinder wegen eines ähnlichen Irrtums notgeschlachtet werden.



PAUL BRIERLEY

R

RADAR

Radar wurde im Zweiten Weltkrieg bei der Kriegsführung eingesetzt. Heute kennt man auch nichtmilitärische Radaranwendungen, wie z.B. das Auffinden von Heuschreckenschwärmen, die Bahnverfolgung von Satelliten oder Spazierstöcke für Blinde.

Radar ist eine Abkürzung für 'Radio Detection and Ranging' (etwa Radio-Auffindung und -Messung oder kurz Funkmeßtechnik). Mit Radar können entfernte Objekte durch Reflexion von Radiowellen aufgefunden und lokalisiert werden. Radar wurde in den zwanziger Jahren entwickelt, um feindliche Flugzeuge zu erkennen, bevor sie gesehen oder gehört werden können. Das Radarprinzip wurde durch Fortschritte in der Radiotechnik ermöglicht. Daß Objekte elektromagnetische Wellen reflektieren, ist seit Beginn unseres Jahrhunderts bekannt. Mit Hilfe dieses Reflektionsprinzips konnte das Verhalten der Lufthülle der Erde untersucht werden, wobei die ionisierenden Schichten der Lufthülle für die Funkübertragung über längere Entfernen von Bedeutung ist.

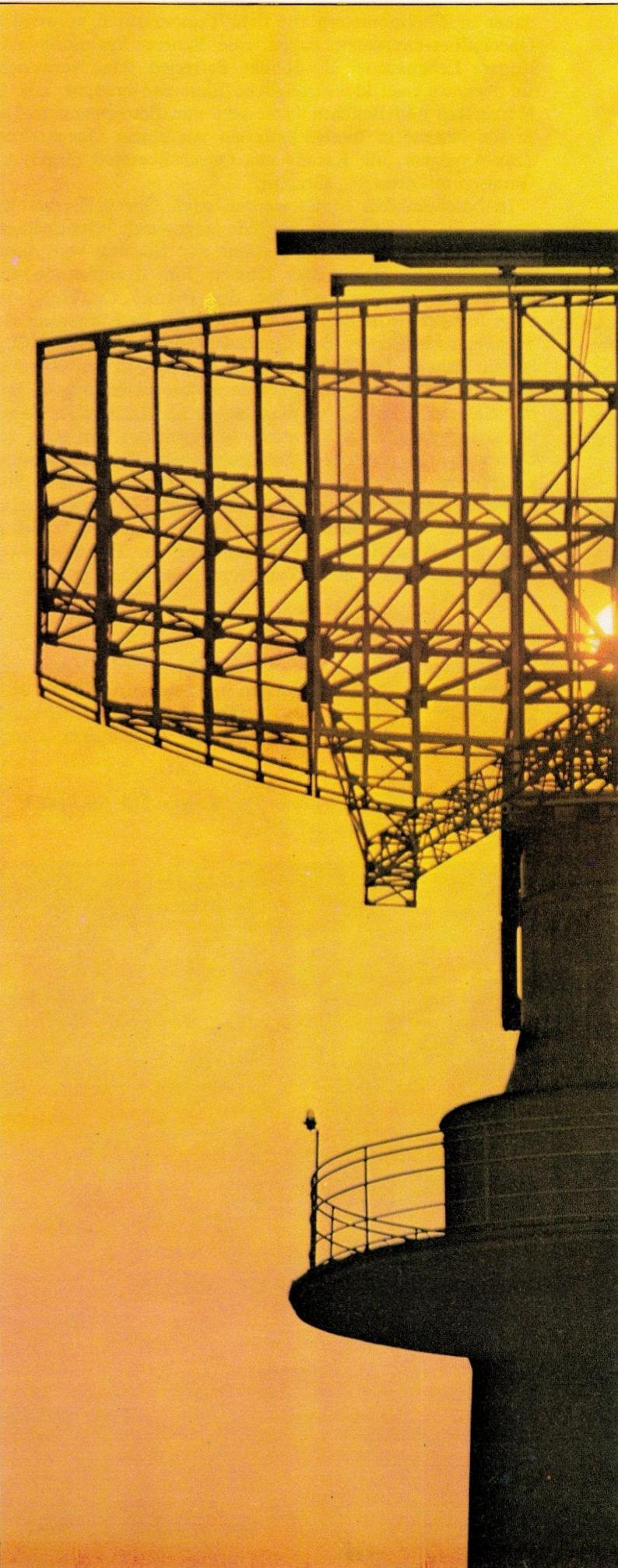
Grundlagen

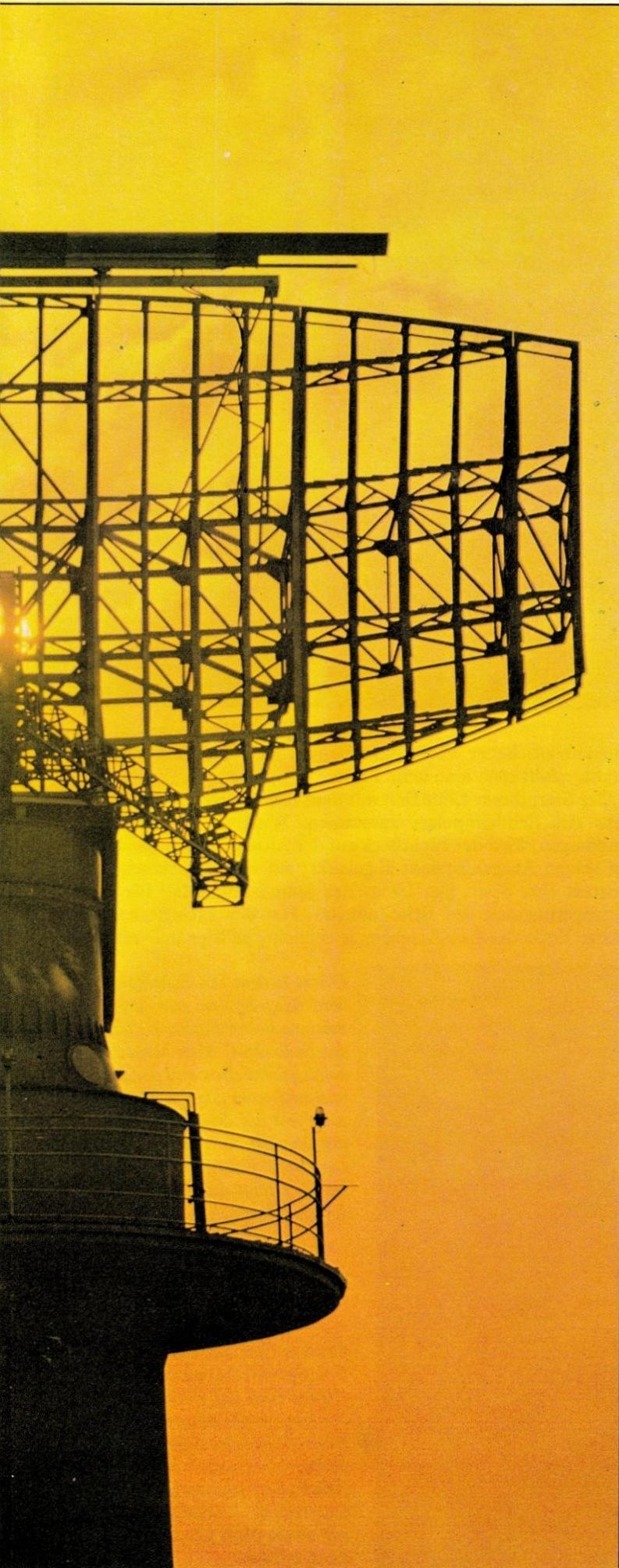
Die Erscheinung akustischer Echos ist allgemein bekannt. Schallwellen, die von einem Gebäude oder einer Felswand reflektiert werden, erreichen nach einer relativ kurzen Zeit wieder die Schallquelle. Handelt es sich bei der ausgesendeten Schallwelle um einen kurzen, scharfen Knall, wie er z.B. beim Klatschen von Händen entsteht, und ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle in dem entsprechenden Medium bekannt, kann man aus der Zeitdifferenz zwischen ausgesendeter und wieder empfangener Schallwelle die Entfernung des reflektierenden Objektes bestimmen. Nach dem gleichen Prinzip arbeitet Radar, wobei die entsprechenden Wellen Radiowellen sind. Sie haben in einem Medium eine wesentlich höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit als Schallwellen (in Luft z.B. 300 000 km/s) und können über weitere Entfernen als Schallwellen wirksam sein. Kennt man die Zeitdifferenz zwischen ausgesendetem und reflektiertem Radiosignal sowie den Winkel, unter dem das Echosignal empfangen wird, kann man die Entfernung und den Ort des reflektierenden Körpers angeben.

Es besteht die Möglichkeit, kontinuierliche Radiowellen, wie z.B. Rundfunkwellen, oder gepulste Radiowellen auszusenden. Die Wirkungsweise von Radar wird leichter verständlich, wenn man gepulste Radiowellen betrachtet. Wird ein Radiosender mit einer Richtantenne verbunden, werden kurze Radiopulse ausgesendet. Jeder Impuls hat eine Impulsbreite von ein paar Millionstel Sekunden oder weniger. Das Intervall zwischen den auszusendenden

Rechts: Eine auf einem Betonturm befestigte, große Radarantenne. Die heute wichtigsten Anwendungsgebiete von Radar befinden sich im Fluglotsendienst und in der Seefahrt.

ZEFA





Pulsen ist länger als die gesamte Laufzeit des ausgesendeten Impulses.

Jedes Objekt, das sich in den Weg des ausgestrahlten Impulses stellt, reflektiert einen Teil der auf ihn treffenden Energie. Sie wird vom Radioempfänger, der sich in der Nähe des Senders befindet, empfangen. Zwischen dem ausgesendeten und dem reflektierten Impuls herrscht eine Zeitdifferenz. Sie ist ein Maß für die Entfernung des reflektierenden Objektes. Weisen Richt- und Empfangsanenne in die gleiche Richtung, reflektieren nur solche Objekte die ausgesendeten Signale, die in Senderichtung liegen. Man kennt also die Richtung, in der sich das angepeilte Objekt befindet.

In der Praxis dient eine Antenne sowohl als Richt- als auch als Empfangsanenne. Der Empfänger ist während der kurzen Zeitspanne, in der der Impuls ausgesendet wird, für einen Echoimpuls gesperrt. Das Gerät, das zur Sperrung verwendet wird, ist eine Art Schalter, der von dem auszusendenden Signal ausgelöst wird. Man spricht auch von einer Empfangssperrzelle. Die Richtstrahlantenne rotiert in der Regel mit konstanter Geschwindigkeit, d.h. der gesamte Raum läßt sich in einem gewissen Umkreis abtasten. Bei dieser Anordnung spricht man auch von Radarortung. Der Ausstrahlungswinkel beträgt ein bis zwei Grad und hat in der Höhe einen Winkel von etwa 15° bis 20° . Dies nennt man eine Fächerkeule. Sie erzeugt eine zweidimensionale Information (Abstand und Peilwinkel).

Mit speziellen Geräten ist es auch möglich, dreidimensionale Informationen (Abstand, Peilwinkel und Höhe) zu erhalten. Bei einer Ausführung wird die 15° breite, senkrechte Keule in eine Anzahl sehr enger Peilstrahlen mit einer Breite von 1° bis 2° aufgeteilt. Diese Peilstrahlen werden dann abgetastet. Bei neueren Systemen erhält man Höhenangaben, indem man eine enge Bleistiftkeule schnell auf- und abbewegt, wobei die horizontale Drehung mit langsamerer Geschwindigkeit erfolgt. Auf diese Weise wird der Himmel durch einen engen Kegel abgetastet. Die Seitenabtastung wird gewöhnlich mechanisch, die Höhenabtastung hingegen durch Änderung der Radiofrequenz ausgeführt. Die Richtantenne wurde so entworfen, daß die Strahlrichtung in der Höhe von der verwendeten Radiofrequenz gesteuert wird.

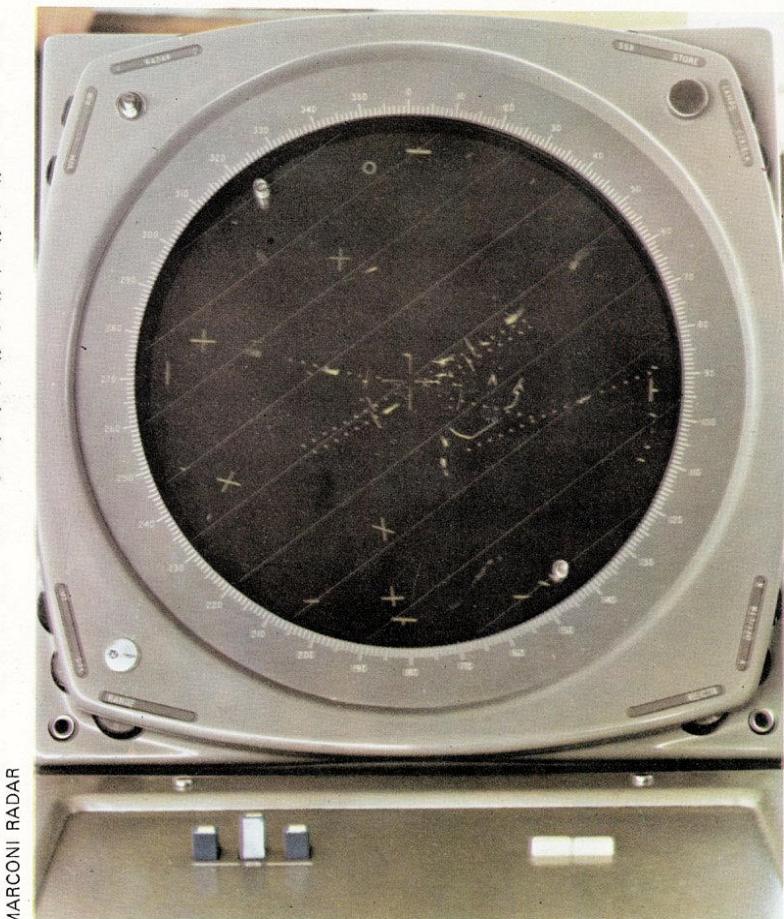
Beim Suchradar mit einer rotierenden Richtantenne wird die Richtung eines Objektes durch das Maximum des empfangenen Signales festgestellt. Wird größere Winkelgenauigkeit gefordert, sind andere Anordnungen möglich. Zwei Richtstrahlen können z.B. so angeordnet werden, daß sie sich teilweise überlappen. Im Überlappungsbereich sind sehr genaue Richtmessungen möglich, indem man das Verhältnis der in den beiden Antennen empfangenen Signale bildet. Die beiden sich teilweise überlappenden Richtstrahlen können um die Mitte des überlappenden Bereiches rotieren. Man spricht in diesem Falle vom 'Quirlen' der Antenne. Diese Radarform wird als Zielverfolgungsradar (z.B. in der Flugabwehr) verwendet.

Radargeräte in Verbindung mit Flugabwehrkanonen sollen dem sich bewegenden Objekt folgen können, wenn es einmal erfaßt wurde. Der Richtstrahl ist im allgemeinen eine Bleistiftkeule. Wurde das sich bewegende Objekt entdeckt, verfolgt der Radarstrahl das Objekt automatisch. Der Pulssender muß in der Lage sein, kurze Radiopulse hoher Intensität mit gleichen Zeitintervallen auszusenden. Beispielsweise könnten die Impulsdauer $4 \mu s$ ($1 \mu s = 1$ Millionstel Sekunde) und die Impulsperiode $4 ms$ ($1 ms = 1$ Tausendstel Sekunde) betragen. In diesem Falle arbeitet der Sender nur ein Tausendstel der Gesamtzeit. Man spricht hier von Tastverhältnis. Der mittlere Leistungsverbrauch des Senders beträgt nur ein Tausendstel des Spitzenleistungsverbrauches. Man kennt bei Radar hauptsächlich zwei Arten von Senderöhren: das Magnetron und das Klystron (siehe MIKROWELLEN).

Rechts: Eine moderne Radaranzeige, die bei der Flugsicherung eingesetzt wird.

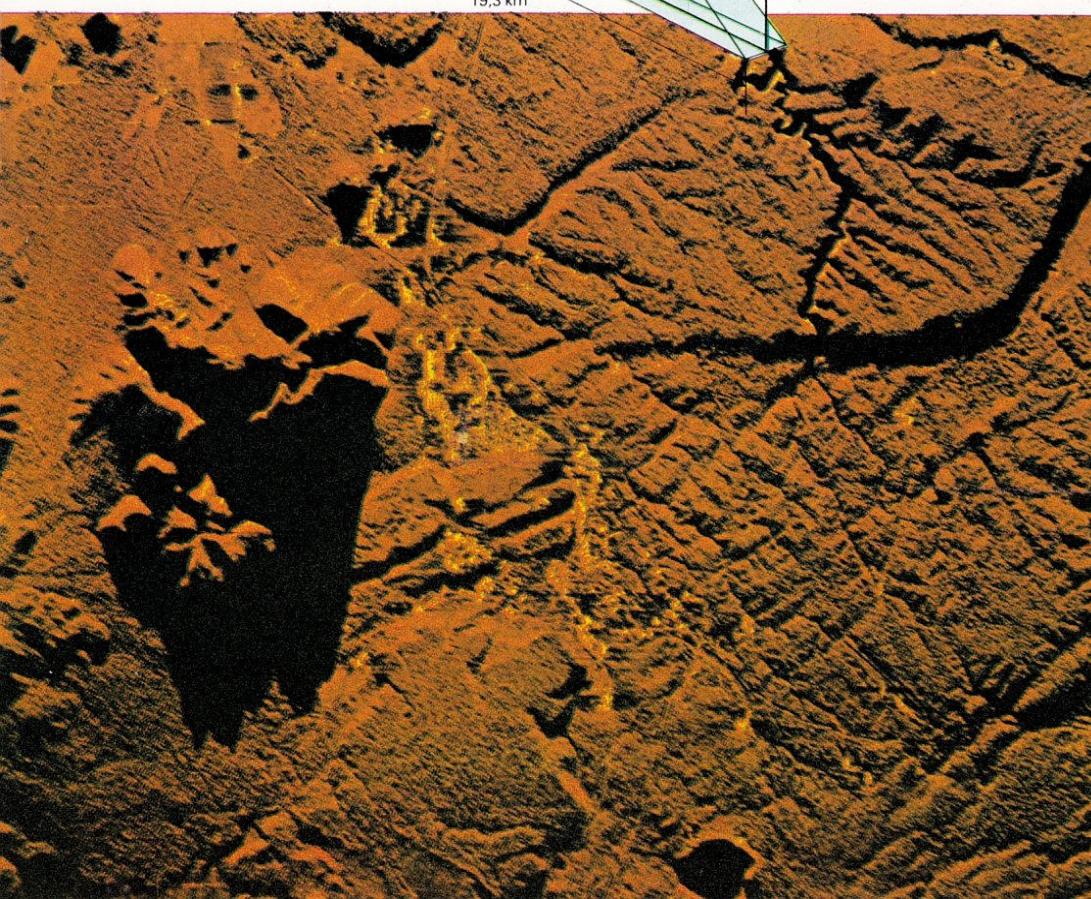
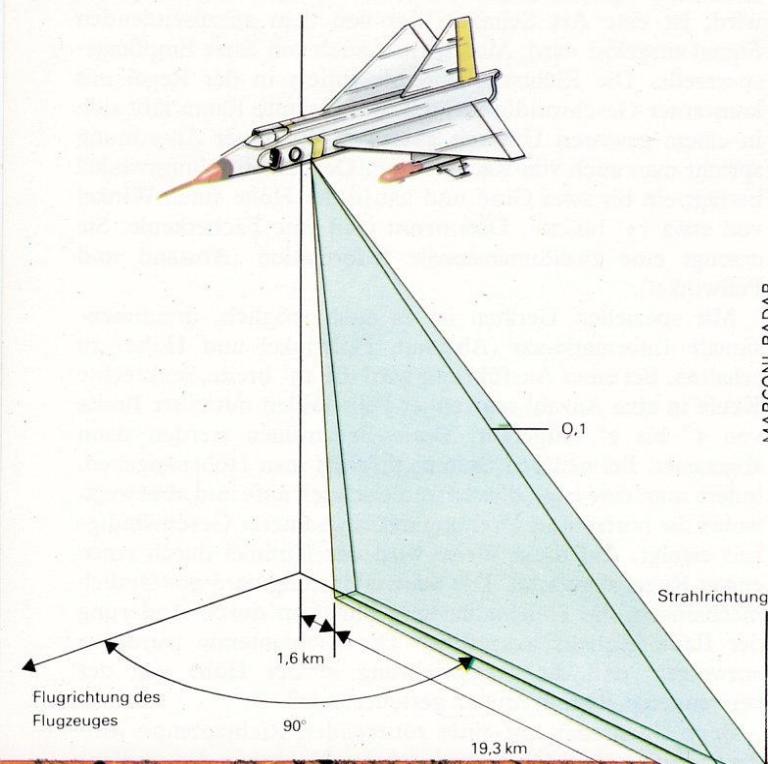
Anzeigen

Der Empfänger erfaßt und verstärkt die empfangenen Pulse verzerrungsfrei. Diese Pulse werden dann einem Anzeigesystem zugeführt, um sowohl die Entfernung als auch die Richtung des Objektes anzuzeigen. Das Zeitintervall zwischen ausgesendeten und empfangenen Pulsen kann auf verschiedene Arten realisiert werden. Üblicherweise verwendet man als Anzeige eine Kathodenstrahlröhre (auch Braunsche Röhre), die nach dem gleichen Prinzip wie Bildröhren in Fernsehempfängern arbeiten. Der Kathodenstrahl wird mit gleichbleibender Geschwindigkeit in horizontaler Richtung abgelenkt. An der Stelle, an der der Elektronenstrahl den Bildschirm trifft,



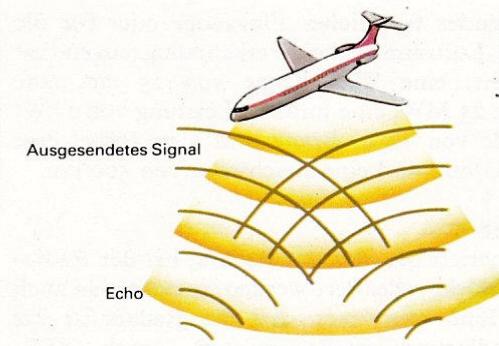
entsteht ein heller Lichtfleck. Bewegt sich der Elektronenstrahl, erhält man eine helle Linie.

Der Start dieser Linie fällt mit dem Augenblick des Austritts des Sendeimpulses zusammen. Wird ein Echoimpuls empfangen, wird der Lichtfleck auf der Anzeige augenblicklich auf seinen Ausgangspunkt abgelenkt; auf dem Leuchtschirm entsteht eine Spur. Die Länge der Spur ist ein Maß für die Verzögerungszeit des Echoimpulses. Hat der Lichtfleck das rechte Ende des Leuchtschirmes erreicht, geht er auf seinen

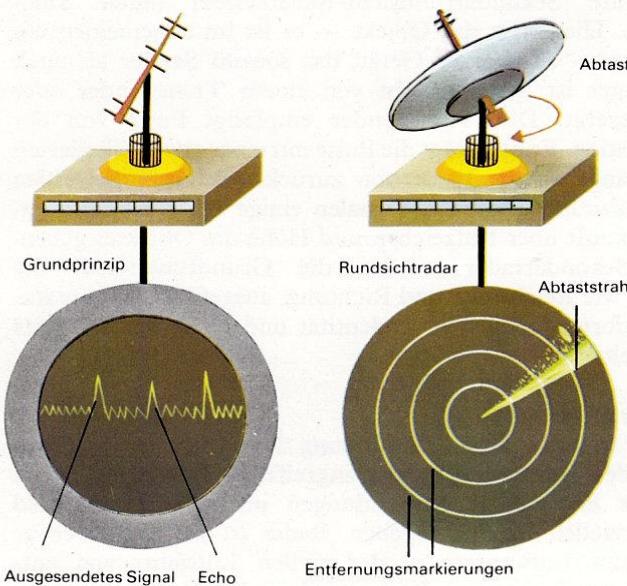
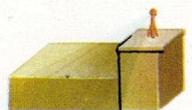


Oben links: Ein Schrägsichtbordradar-System zur Aufzeichnung von Eigenschaften des Erdbodens. Man benutzt einen gebündelten und genau ausgerichteten Strahl, der von einer fest auf dem Flugzeug installierten Antenne ausgeht. Durch die Bewegung des Flugzeuges erfolgt die Abtastung der Erdoberfläche.
GOODYEAR AEROSPACE

Links: Eine Aufnahme mit Schrägsichtbordradar. Das Signal wird auf einer Seite des Flugzeuges ausgesendet. Die reflektierten Signale werden elektronisch so modifiziert, daß eine vertikale Darstellung des Geländes, das auf einem Film festgehalten wird, erfolgt.

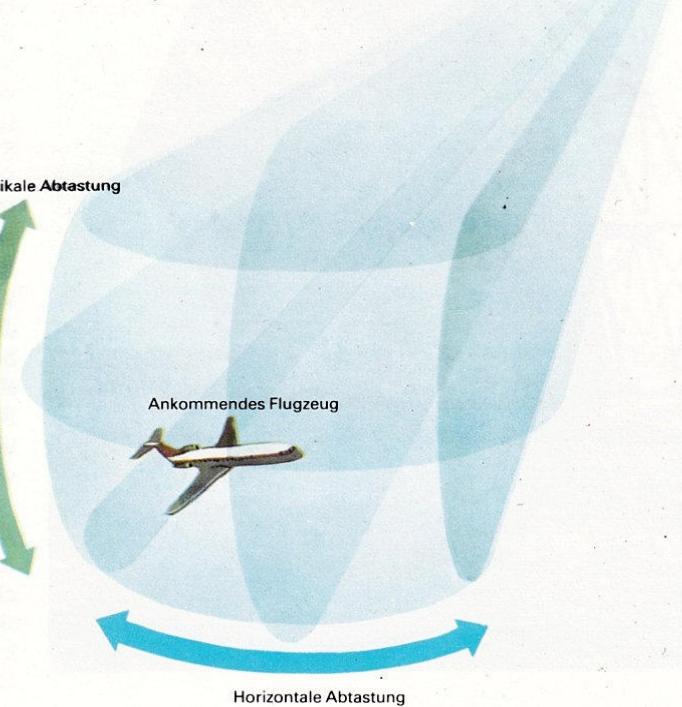


Bei Rundfunkhorizontalsichtradar wird horizontal abgetastet, um Entfernung und Peilwinkel zu erhalten. Beim Radar für Landeanflug wird sowohl horizontal als auch vertikal abgetastet. Man erhält die Entfernung, den Peilwinkel und die Höhe über dem Erdboden.



Oben: Ein Objekt, das von einem Radarstrahl getroffen wird, reflektiert den Strahl zu dem Sender; die Zeit zwischen Aussendung des Signales und dem Empfang des Echoes gibt über die Entfernung des Objektes Auskunft.

Ausgangszustand am linken Ende des Leuchtschirmes zurück und beginnt mit einem neuen Zyklus, wenn der nächste Impuls ausgesendet wird. Diese Anzeigeform wurde in den frühesten Arten des Radars benutzt. Sie findet jedoch in einigen Fällen auch heute noch Anwendung. Bei einer alternativen Anordnung wird der Kathodenstrahl so eingestellt, daß bei Abwesenheit eines zu empfangenden Signales auf dem Bildschirm eine sehr feine Spur erscheint. Wird ein Echo empfangen, entsteht eine helle Leuchtspur. Der Anfang der Leuchtspur liegt im Zentrum des Bildschirms und kreist in radialer Richtung synchron zur Richtantenne. Der Bildschirm gibt ein landkartenähnliches Bild des von den Radarstrahlen erfaßten



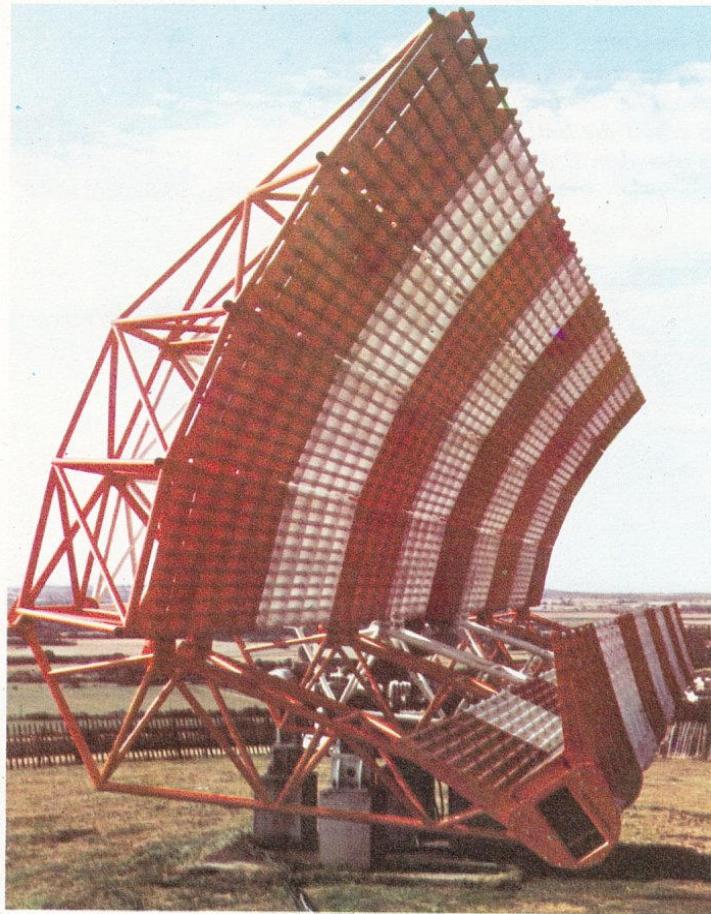
Oben: Die Richtung kann mit Radar genau bestimmt werden, indem man zwei sich teilweise überlappende Strahlen verwendet. Ein Objekt T, das sich auf der Überschneidungslinie OP der beiden Strahlen befindet, gibt ein Echo ab, das die beiden Signale mit gleicher Stärke reflektiert. Für ein Objekt am Punkt T gibt das Verhältnis der Signalstärke genau die Winkelabweichung an.

Bereiches wieder. Helle Leuchtpunkte entsprechen Objekten, die die Radarstrahlen reflektiert haben. Man spricht in diesem Falle von Rundfunkhorizontalsichtradar. Dieses System wird in vielen Radaranlagen verwendet.

Doppler-Radar

Ein anderes bekanntes, akustisches Phänomen ist der Doppler-Effekt, bei dem ein von einem Beobachter empfangener Ton mit höherer oder niedrigerer Frequenz empfangen wird, wenn sich die Tonquelle auf den Beobachter zu- oder von ihm weg bewegt. Der gleiche Effekt kann bei Radiowellen beobachtet werden. Hierdurch liegt die Frequenz eines Echosignals über oder unter der Frequenz des ausgesendeten Impulses, wenn sich das Objekt auf den Sender zu- oder von ihm weg bewegt. Dieses Prinzip kann sehr sinnvoll eingesetzt werden. Beim





MARCONI RADAR

Oben: Eine Radarantenne zur Flugsicherung.

Suchradar beispielsweise zeigen stationäre Gegenstände, wie Gebäude oder Hügel, bei ihren Echosignalen keine Doppler-verschiebung. Diese Echosignale können für die Bildschirm-anzeige ausgefiltert werden. Auf dem Bildschirm erscheinen dann nur sich bewegende Objekte. Mit Hilfe von Radar kann ein Flugzeug seine Bodengeschwindigkeit durch die Frequenz-verschiebung der Echosignale zwischen dem darunter be-findlichen und dem vor dem Flugzeug befindlichen Boden bestimmen. Dopplerradar wird auch im militärischen Bereich, z.B. bei der Lenkung von Flugkörpern, eingesetzt.

Reichweite und Wellenlänge

Radarwellen breiten sich, ebenso wie Lichtwellen im freien Raum, geradlinig aus. In der Erdatmosphäre tritt allerdings eine leichte Biegung der Strahlen auf, da die Dichte der Luft mit steigender Höhe abnimmt. In der Praxis aber spielt diese Biegung keine bedeutende Rolle. Die Reichweite beim Suchradar hängt im wesentlichen von der Erdkrümmung ab. Hierdurch wird es schwierig, Objekte unterhalb einer gewissen Höhe zu erkennen. Deshalb müßte man, um tieffliegende Objekte zu erkennen, eine Radaranlage in einem Flugzeug installieren, das über einen Bereich fliegt.

Alle Objekte können bis zu einem gewissen Grade Radio-wellen reflektieren. Die reflektierte Leistung — man nennt sie auch Streukoeffizient — hängt von der Form und Größe des Objektes und von der verwendeten Wellenlänge ab. Große Objekte, wie Schiffe oder Flugzeuge, sind bis zu Wellenlängen von 10 m und darüber gute Reflektoren. Kleinere Objekte können leichter bei kürzeren Wellenlängen im Zentimeter- und Mikrowellenbereich erkannt werden. Die meisten Radargeräte arbeiten heute bei Wellenlängen zwischen 3 cm und 25 cm.

Ein typisches Fernbereichsradargerät für die Früher-

kennung herannahender feindlicher Flugzeuge oder für die Überwachung des Luftraumes bei Verkehrsflugzeugen hat folgende Kenndaten: eine Wellenlänge von 25 cm, eine Spitzenleistung von 25 MW, eine mittlere Leistung von 2 kW, eine Antennengröße von 12 m Breite und 5 m Höhe, eine Abtastrate von 10 U/min und eine Reichweite von 500 km.

Sekundärradar

Bei der bisher beschriebenen Art des Radars, bei der Radio-wellen von einem Objekt reflektiert werden, spricht man auch von Primärradar. Eine komplexere Art des Radars ist das sogenannte Sekundärrundsicht-Radarsystem (auch SSR-System). Hier trägt das Objekt — es ist im allgemeinen ein Flugzeug — ein kleines Gerät, das sowohl Sender als auch Empfänger ist. Man spricht von einem Transponder oder Antwortgerät. Der Transponder empfängt Pulse von der Radarstation. Er überträgt die Pulse mit einer etwas geänderten Wellenlänge an die Erdstation zurück. Gleichzeitig werden den rückzuübertragenden Signalen einige Pulse hinzugefügt, die Auskunft über Rufzeichen und Höhe des Objektes geben. Beim Sekundärradar werden die Grundfunktionen des Radars, wie Reichweite und Richtung, ausgeführt und zusätzliche Informationen über Identität und Höhe des Objektes vermittelt.

Anwendungen

Aus der ursprünglichen Anwendung des Radars zur Überwachung des Luftraumes gegen angreifende Flugzeuge haben sich bis heute viele Anwendungen im militärischen und kommerziellen Bereich ergeben. Radar ist bei der Überwachung des Luftraumes in der zivilen Luftfahrt von entscheidender Bedeutung. Radar wird im Flugzeug verwendet, um Höhe und Relativgeschwindigkeit zur Erde zu messen. Seeschiffe sind mit Radar ausgerüstet, um auch bei schlechter Sicht manövrierfähig zu sein. In Seehäfen wird Radar zur Überwachung von Fahrrinnen für die Schiffe verwendet. In der Meteorologie wird Radar zur Feststellung von Stürmen und Hurrikanen eingesetzt. Im Verkehrswesen wird Radar zur Geschwindigkeitsüberwachung verwendet. Radar kann ebenfalls eingesetzt werden, um für die Allgemeinheit nicht zugängliche Bereiche zu schützen.

Unten: Ein leichtes, tragbares Radargerät.



Erfindungen 38: GESCHIRR

Die älteste Methode, Tiere als Zugtiere vor Pflüge und Karren zu spannen — im Mittleren Osten etwa ab 3000 v.Chr. bekannt — bestand in der Verwendung von Joch und Deichsel, an die Ochsen oder Esel angeschirrt wurden. Ein an der Deichsel befestigtes Querholz lief über die Schultern der Tiere. In dem Joch saßen je zwei senkrechte Stäbe, die beidseitig am Hals der Tiere anlagen und so das Joch gegen seitliches Abrutschen sicherten. Die Nasen zierte ein kupferner Nasenring, an dem ein lederner Zügel befestigt war.

Unten: Teil eines skytischen Reitergeschirrs, das in einem aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. stammenden Grab im östlichen Rußland gefunden wurde.



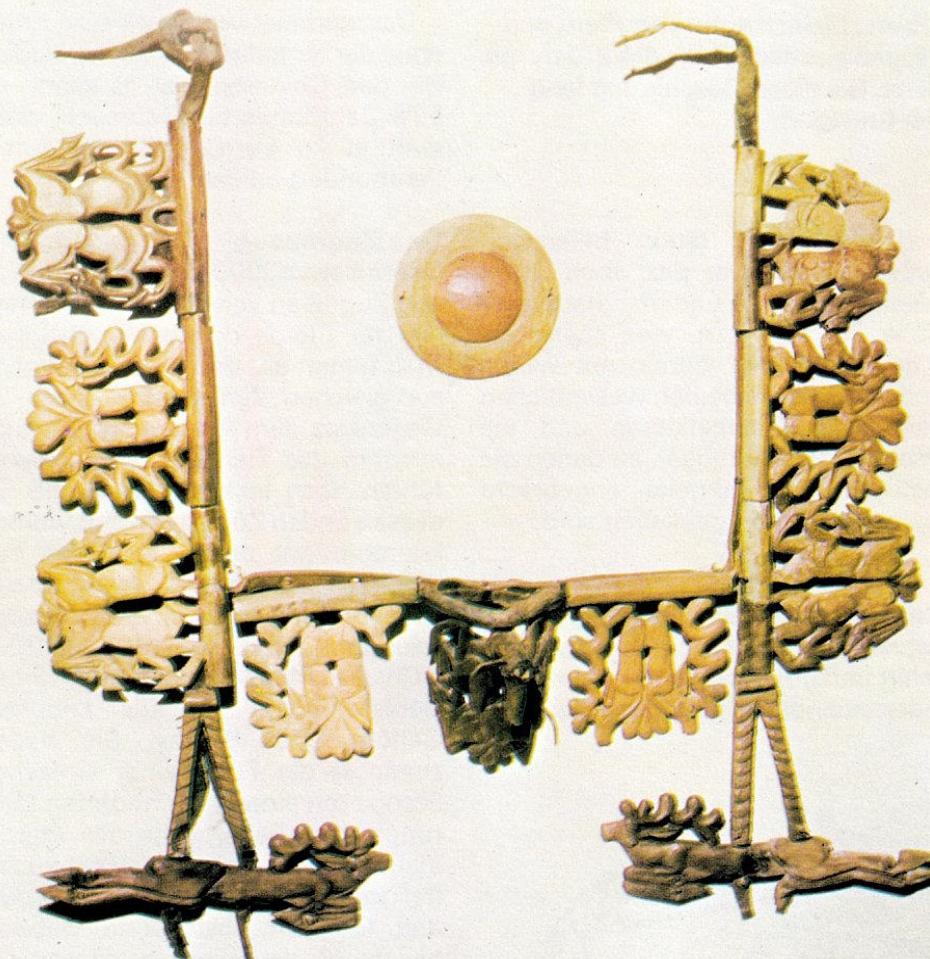
Oben: Persischer Streitwagen auf einem Relief aus dem 5. Jahrhundert v. Chr.

Geschirre für Pferde und Esel

Das Joch eignete sich recht gut für die breite, etwas bucklige Schulterpartie eines Ochsen und wird in abgelegenen ländlichen Gebieten, insbesondere der dritten Welt, auch heute noch gelegentlich angetroffen; für schmaler gebaute Esel erwies es sich jedoch als weniger tauglich. Es rutschte leicht hoch. Um dies zu verhindern, wurde ein Gurt nach vorn um den Nacken des Tieres geführt. Beim Anziehen drückte dieser Halsgurt unweigerlich auf die Luftröhre des Tieres und nahm ihm den Atem. Aus diesem Grunde waren so angeschirrte Esel nicht in der Lage, schwere Lasten zu ziehen.

Als man etwa um 2000 v.Chr. damit begann, Pferde zu domestizieren und als Zugtiere zu benutzen, erwies sich das Joch als noch weniger geeignet, da beim Pferd der Widerrist so schmal ist, daß man ein Zusatzteil in Form eines gabelförmigen, wie ein umgekehrtes Ypsilon aussehenden Rückengurtes benötigte, das am Joch festgezurrt wurde. Die beiden Zinken dieser Gabel wurden um den Widerrist des Pferdes gelegt; eventuelles Wundscheuern wurde durch Unterlegen eines kleinen Polsters vermieden.

Trotz vieler Nachteile blieb diese Art der Beschirrung in Europa und im westlichen Asien bis ins 3. Jahrhundert üblich. Deshalb konnten Pferde nur paarweise, je eines auf jeder Seite der Deichsel, als Zugtiere gehen. Der Halsgurt schnürte den Tieren leicht die Luft ab, und das hoch auf dem Widerrist sitzende Joch verhinderte, daß sie ihr ganzes Gewicht zum Ziehen einsetzen konnten.

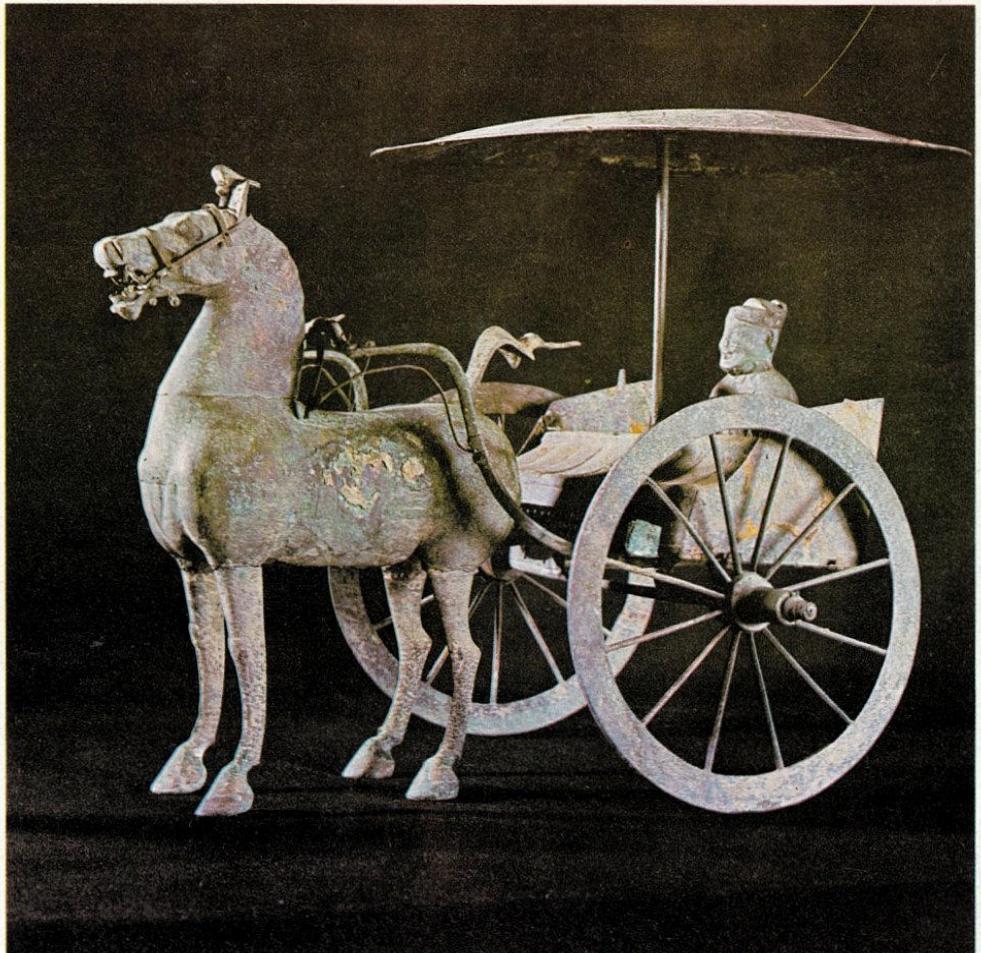


Das Brustgeschirr

Etwa um 200 v.Chr. kamen in China jedoch zwei bedeutende Neuerungen auf. Zum einen stellte man fest, daß sich anstelle der einteiligen Deichsel auch ein Stangenpaar verwenden ließ, an dem die beiden Enden des Jochs befestigt werden konnten. Auf diese Weise wurde es möglich, leichte Karren von nur einem Tier ziehen zu lassen. Die zweite wichtige Neuerung war, daß an die Stelle des ursprünglichen Halsgurtes ein Brustgurt trat, wodurch die Zugleistung der Tiere erheblich gesteigert wurde, da die Gefahr des Strangulierens nicht mehr gegeben war. Diese Idee stammte möglicherweise von den Reiternomaden aus Zentralasien, die zwei oder drei Jahrhunderte früher Brust- und Bauchgurte erfunden hatten, um ihre Sättel während des Rittes am Verrutschen zu hindern. Mit der Einführung des Brustgurtes wurde es auch möglich, Pferde ohne Verwendung einer Deichsel als Zugtiere zu benutzen, da sich am Brustgurt Zugriemen befestigen ließen, allerdings mit dem Nachteil, daß bei einer solchen Beschirrung das Tier nicht in der Lage war, ein fahrendes Gefährt zu bremsen.

Das Kummetgeschirr

Wenn auch außer Frage stand, daß der Brustgurt die Einsatzfähigkeit des Pferdes als Zugtier vergrößerte, so konnte seine volle Zugleistung doch nur dann genutzt werden, wenn es auch mit dem Widerrist ziehen konnte. Dem stand jedoch der gabelförmige Jochgurt entgegen. So verlängerte man die beiden Zinken dieser Gabel zu einem gut gepolsterten 'Kragen', der am Widerrist des Pferdes eng anlag und an dem sich Deichselarme



Oben: Kleinskulptur von Pferd und Wagen aus dem China des 2. Jahrhunderts. Bei dieser Beschirrung fehlt der Brustgurt.

Das Kummet war wohl eine Erfindung der zentralasiatischen Nomaden. Bei den Chinesen war es schon im 5./6. Jahrhundert in Gebrauch, während es in Europa erst im 9./10. Jahrhundert aufkam.

und Zugriemen direkt befestigen ließen. Damit war das Joch überflüssig geworden und man hatte eine frühe Form dessen, was später als 'Kummetgeschirr' bezeichnet wurde und bei dem die beiden wesentlichen Teile, das Kummetkissen und die eisernen Kummetbügel, an denen die restlichen Geschirrteile angebracht werden, erhalten geblieben sind.

Unten: Diese Darstellung aus dem 14. Jahrhundert zeigt mit einem Stranggeschirr und gut gepolsterten Kummets hintereinander angeschirrte Pferde.



Das Zaumzeug

Der seit etwa 3000 v.Chr. zum Lenken von Zugtieren verwendete Nasenring war für Pferde denkbar ungeeignet. Man nimmt an, daß das Halfter etwa zur gleichen Zeit aufkam, doch im Gegensatz zum Nasenring ließ sich mit ihm das Tier von hinten weder führen noch lenken. Das Gebiß, an dessen Enden Zügel befestigt werden konnten, mit denen sich das Tier dirigieren ließ, wurde wahrscheinlich von den asiatischen Nomaden erfunden, als diese etwa um 2000 v.Chr. das Pferd domestizierten. Frühe Gebisse bestanden aus Knochen, Gehörn oder Bronze. Sie hatten zunächst die Form einer einfachen Stange mit einem durchbohrten Führungsteil an jeder Seite des Pferdemauls. Später, etwa um 1000 v.Chr., traf man häufig auf aus zwei oder drei Gliedern bestehende Gebisse, bei denen die Führungsteile an der Innenseite mit kurzen Zinken versehen waren, deren Spitzen, sobald der Fahrer an den Zügeln zog, gegen das Maul des Tieres gedrückt wurden und so das Lenken erleichterten.