

WIE GEHT DAS

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



scan:[GDL]

WIE GEHT DAS

Inhalt

Hochwasserschutz	645
Holographie	648
Holzbearbeitungs- maschinen	651
Holzblasin- strumente	653
Holzindustrie	657
Hörhilfen	663
Horn und Hupe	666
Hubschrauber	667

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 schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

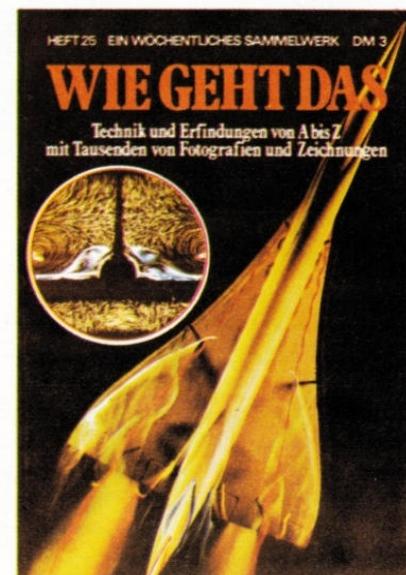
Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

INHALTSVERZEICHNIS

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

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

In Heft 25 von Wie Geht Das



Neueste Erkenntnisse in der Hydro- und Aerodynamik ermöglichen es den Ingenieuren, die Leistungsfähigkeit moderner Schiffe und Flugzeuge genau zu berechnen. Die Grundprinzipien der Hydro- und Aerodynamik und ihre Anwendungsbereiche sind in Heft 25 von Wie Geht Das beschrieben.

Die Einführung integrierter Schaltungen in den 60er Jahren war einer der wichtigsten Fortschritte in der elektronischen Technologie. Die neuesten Entwicklungen wie der Mikroprozessor fassen die Funktionen Zehntausender Transistoren auf einem winzigen Siliziumchip zusammen. Lesen Sie im nächsten Heft von Wie Geht Das wie diese erstaunlichen Chips hergestellt 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 Ordner verfügen, das Ihnen dauerhaft Freude bereitet und Wissen vermittelt.

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

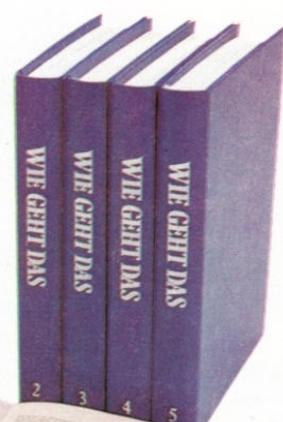
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202. Kennwort: SAMMELORDNER.

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 schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

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

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



HOCHWASSERSCHUTZ

Überflutungen können ungeheure Schäden anrichten und Todesopfer fordern. Es werden daher riesige Geldbeträge in den Hochwasserschutz investiert.

Wasser, das vom Boden abläuft (gewöhnlich Regenwasser), schafft sich natürliche Kanäle oder Abflußrinnen. Es fließt unter Schwerkraftwirkung an die tiefstegelegene Stelle, wo in Abhängigkeit von der Bodenfläche und der Regenmenge ein Kanal entsteht, von dem aus das Wasser schließlich ins Meer gelangt. Dieser Kanal wird nicht unendlich groß, sondern erreicht nach gewisser Zeit eine Grenze.

Der maximale Durchfluß (die Wassermenge in m^3/s), den der Kanal aufnehmen kann, ohne das umliegende Land zu überfluten (auch Abfluß bei ufervollem Querschnitt genannt), tritt mehr als einmal jährlich auf. Eine Untersuchung der jeweiligen Werte der Flüsse in vielen Ländern hat ergeben, daß der Abfluß bei ufervollem Querschnitt einmal alle sechs Monate erreicht oder überschritten wird. Dabei wird davon ausgegangen, daß dieser Abflußwert unter dem Höchstdurchfluß liegt, den der Kanal aufnehmen muß, so daß bei Höchstdurchfluß unvermeidlich eine Überflutung auftritt.

Wenn so viel Regen über dem Einzugs- oder Abflußgebiet eines Flusses fällt, daß er zu Hochwasser führen kann, nimmt der Durchfluß nach und nach in dem Maße zu, in dem Abfluß aus dem Quellgebiet den Unterlauf des Flusses erreicht. Da ein Regenfall über eine bestimmte Zeit anhält, steigt die

Wassermenge, die in den Fluß geleitet wird, allmählich an, bis sie einen Höchstwert erreicht und fällt wieder ab, wenn die Durchflußmenge aus dem Einzugsgebiet nachläßt. Diese Schwankung in Abhängigkeit von der Zeit heißt Hochwasserganglinie. Man kann sich das Hochwasser als große Welle vorstellen, die auf ihrem Weg den Fluß hinab ihre Form ändert, hauptsächlich bedingt durch das Wasservolumen, das zu einem gegebenen Zeitpunkt in der Stromrinne und auf der Hochflutebene ansteht. Der Wellenberg wird flacher, und die Höchst-Durchflußmenge nimmt ab. Dieser Vorgang ist als Dämpfung bekannt. Man kann die Dämpfung einer Flutwelle auf ihrem Weg talabwärts (die Fluttrasse) berechnen, allerdings ist die Berechnung sehr verzweigt.

Schutzmaßnahmen gegen Hochwasser lassen sich einteilen in solche, die den Hochwasserstand durch Herabsetzung der Spitzenwerte der Hochwasserganglinie vermindern und in solche, bei denen das Hochwasser an bestimmte festgelegte Stellen geleitet wird.

Verringerung der Hochwasserspitzen

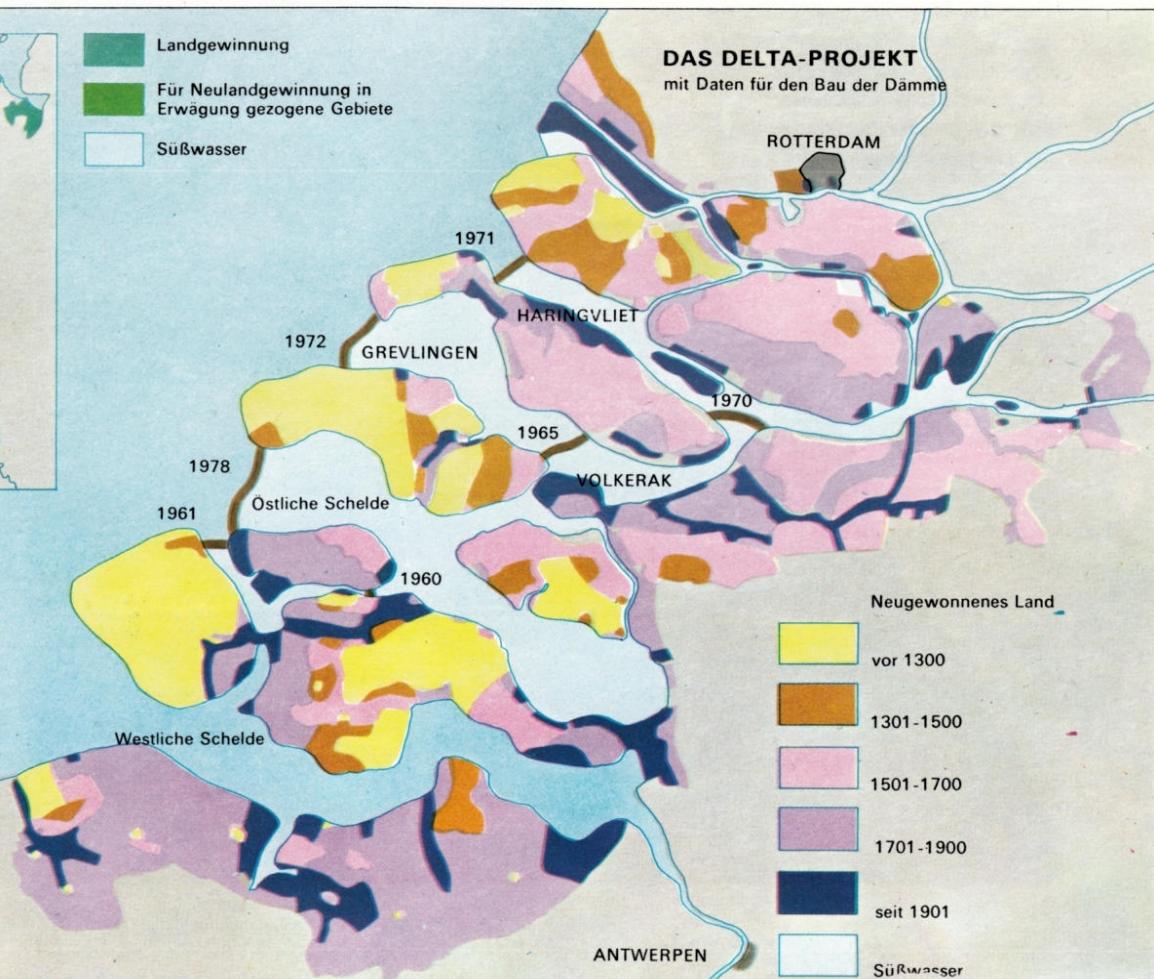
Ein Verfahren zur Verringerung der Hochwasserspitzen besteht darin, daß man den Abfluß aus dem Einzugsgebiet



Nach der Flutwelle im Jahre 1953, bei der 1800 Menschen ums Leben kamen, wurde in Holland das 'Delta-Projekt' in die Wege geleitet. Die Küstenlinie wurde verkürzt, indem man Dämme baute, um das Meerwasser daran zu hindern, in die Rheinarme zu fließen. Rechts der Haringvliet-Damm, ein Teil des Delta-Projekts.



Oben: Die Holländer haben seit dem 13. Jahrhundert versucht, Land aus dem Meer zu gewinnen. Das größte Programm, der Einschluß der Zuidersee, wurde 1920 begonnen und hat das Ziel, die Landmenge der Niederlande um 10% zu erhöhen. Die gewonnenen Gebiete werden 'Polder' genannt und sind sehr fruchtbar. Eine große Anzahl von Getreide und Gemüsen wird angebaut.



verkleinert. Das läßt sich durch Maßnahmen wie Aufforstung, Kontrolle der Bodenerosion und verbesserte landwirtschaftliche Verfahren erzielen. Dadurch soll der unmittelbare oberirdische Abfluß in das Gewässer verlangsamt und die Feuchtigkeitsspeicherung im Boden verbessert werden.

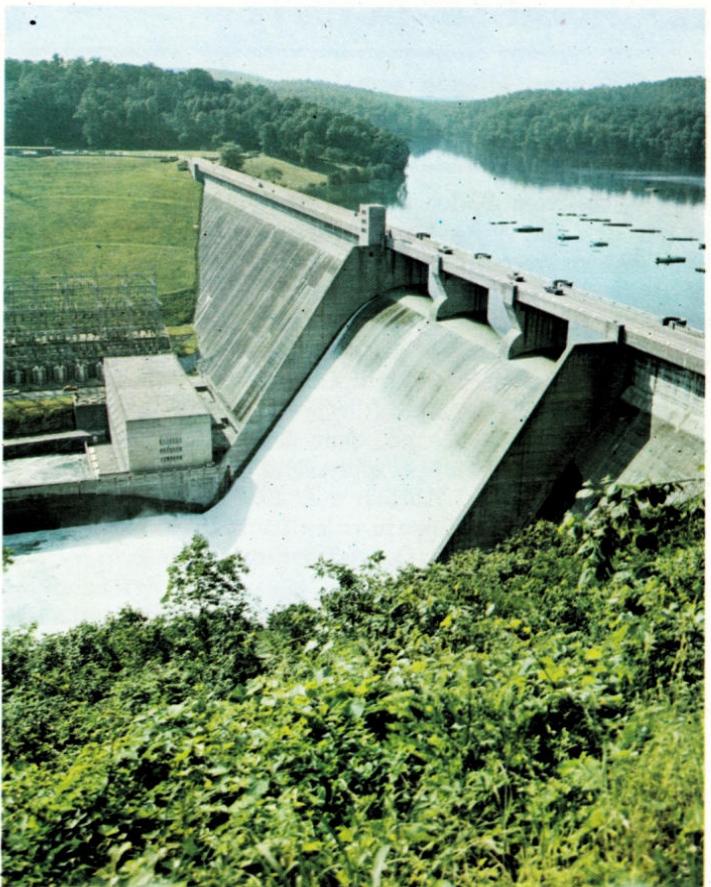
Staubecken

Eine Speicherung läßt sich auch dadurch erzielen, daß quer über den Fluß eine Sperrmauer gebaut wird, wodurch ein Speicherbecken entsteht. Zur Sperrmauer gehört ein Überlauf (oder Umleitkanal), bei dem oft über bewegliche Schleusentore die aus dem Staubecken freigegebene Wassermenge zu Tal fließen kann. Zu Beginn der Jahreszeit, in der mit Überschwemmungen gerechnet werden muß, liegt der Wasserstand im Staubecken so niedrig, daß auch bei Aufnahme einer großen Wassermenge die Dammkrone nicht überflutet wird. Während des Hochwassers gibt der Überlauf so viel Wasser frei, daß es im Flußgebiet nicht zu Überschwemmungen kommen kann. Da die Überlaufmenge geringer ist als die in das Staubecken einfließende Wassermenge, dient das Becken für das übrige Wasser als 'Puffer'.

Mehrzweck-Sperrwerke

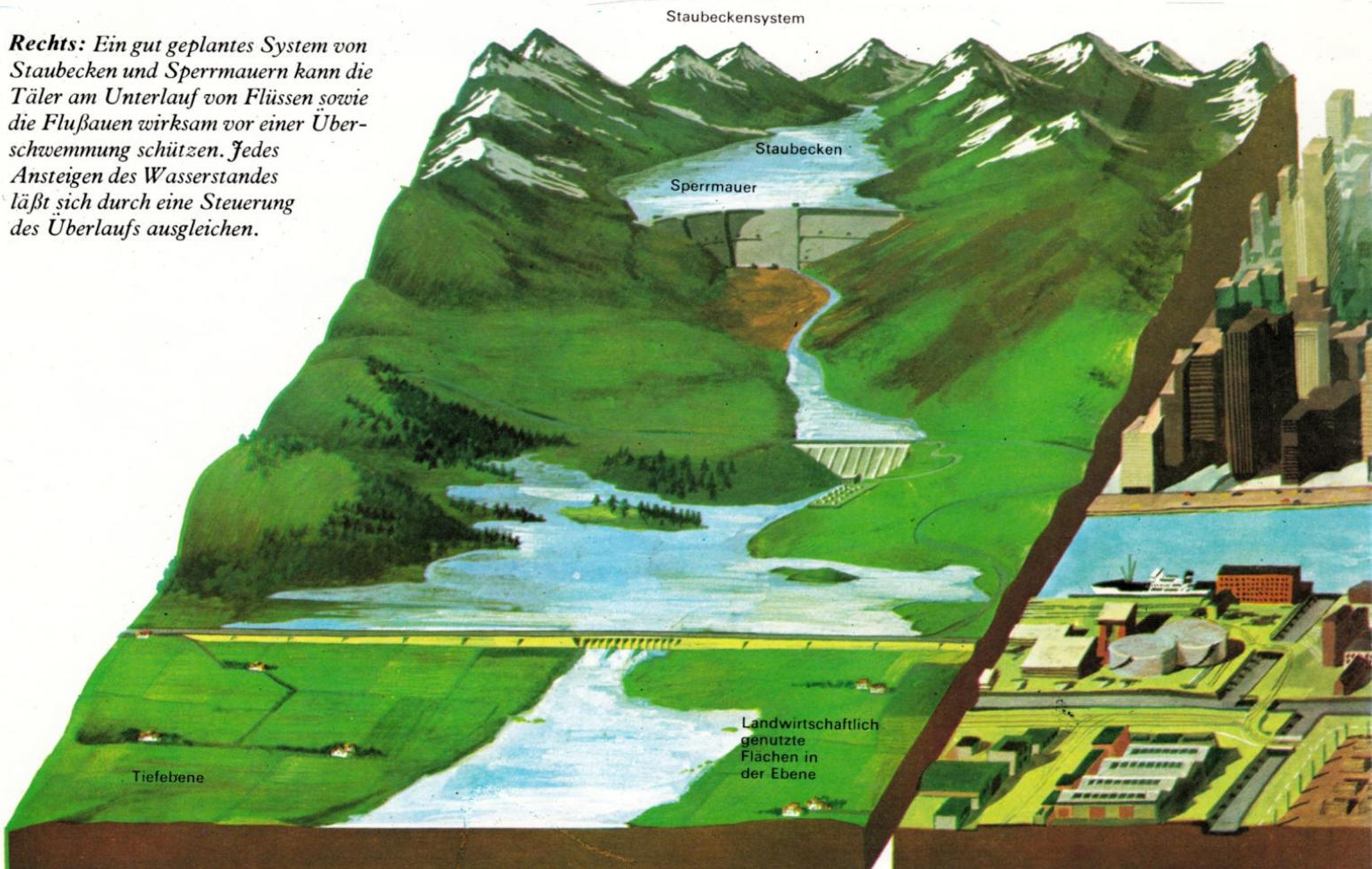
Aus Wirtschaftlichkeitserwägungen baut man zur Zeit vorwiegend Staubecken, die mehrere Zwecke erfüllen: Hochwasserschutz, Bewässerung, Stromerzeugung aus Wasserkraft und Versorgung mit Brauchwasser. An einigen der größten Flüsse der Welt und ihren Nebenflüssen finden sich ganze Reihen solcher Mehrzweck-Sperrwerke. Wegen ihrer Mehrfachnutzung ist es erforderlich, sie möglichst wirtschaftlich zu betreiben. Dabei ist das Ziel, in den Staubecken einen möglichst hohen Wasserstand zu halten, der aber nur so hoch sein darf, daß noch eine hinreichende Aufnahmekapazität zur Verhinderung von Überschwemmungen zur Verfügung steht.

Rechts: Ein gut geplantes System von Staubecken und Sperrmauern kann die Täler am Unterlauf von Flüssen sowie die Flußauen wirksam vor einer Überschwemmung schützen. Jedes Ansteigen des Wasserstandes läßt sich durch eine Steuerung des Überlaufs ausgleichen.



TENNESSEE VALLEY AUTHORITY

Oben: Das Norris-Stauwerk war die erste Staumauer im Tennessee-Tal, USA. Höhe: 81 m, Länge an der Mauerkrone: 567 m. Speichervolumen des Beckens: 3 Milliarden m³.



Sonstige Verfahren

Im Mittel- und Unterlauf von Flüssen fehlt oft der Platz für Speicherbecken hinreichender Größe, so daß Hochwasser auf andere Weise verhindert werden muß.

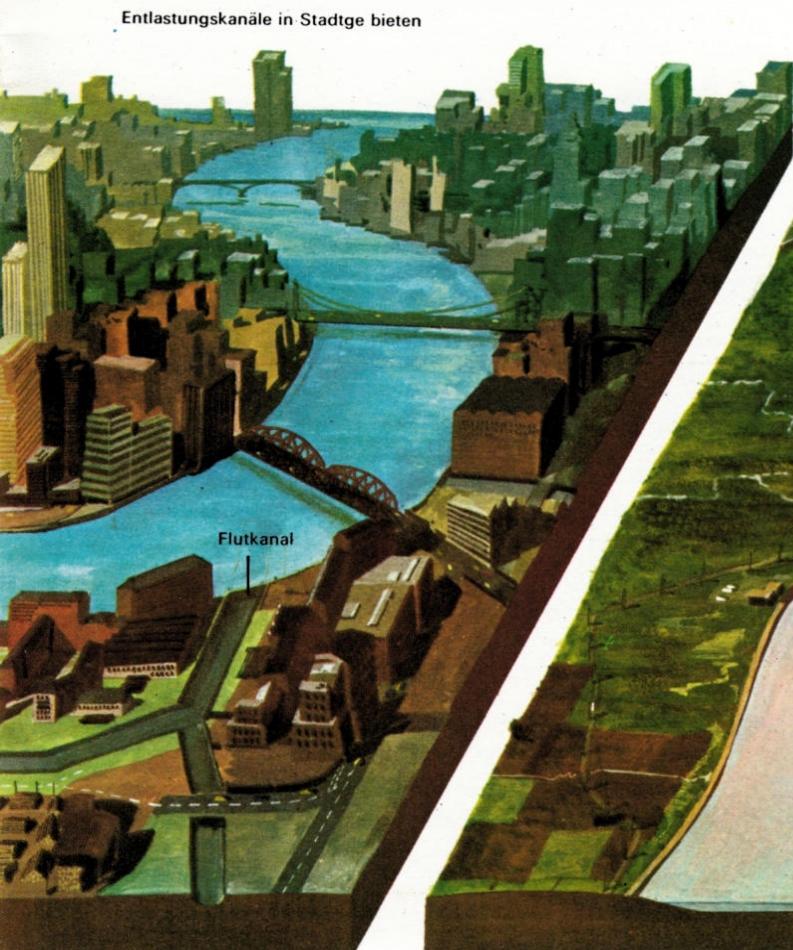
Einmal kann die Abflußrinne und damit ihr Abfluß bei ufervollem Querschnitt vergrößert werden. Das führt mitunter zu Schwierigkeiten mit Ablagerungen; außerdem senkt die mögliche Vergrößerung oft den Wasserstand bei den seltener auftretenden Überflutungen nicht hinreichend.

Ein weiteres Verfahren besteht darin, daß man an Stellen, an denen die Wasserstände verringert werden müssen, beispielsweise auf dem Weg des Flusses durch Städte, einen Entlastungskanal vorsieht. Er ist so konstruiert, daß er nur bei Hochwasser in Funktion tritt. Dabei läuft ein Teil des Hochwassers in den Kanal, der Durchfluß in der Hauptrinne und damit der Wasserstand werden verringert. Der Entlastungskanal führt weiter flussabwärts wieder in den Fluß zurück, oder er wird in einen anderen Fluß geleitet.

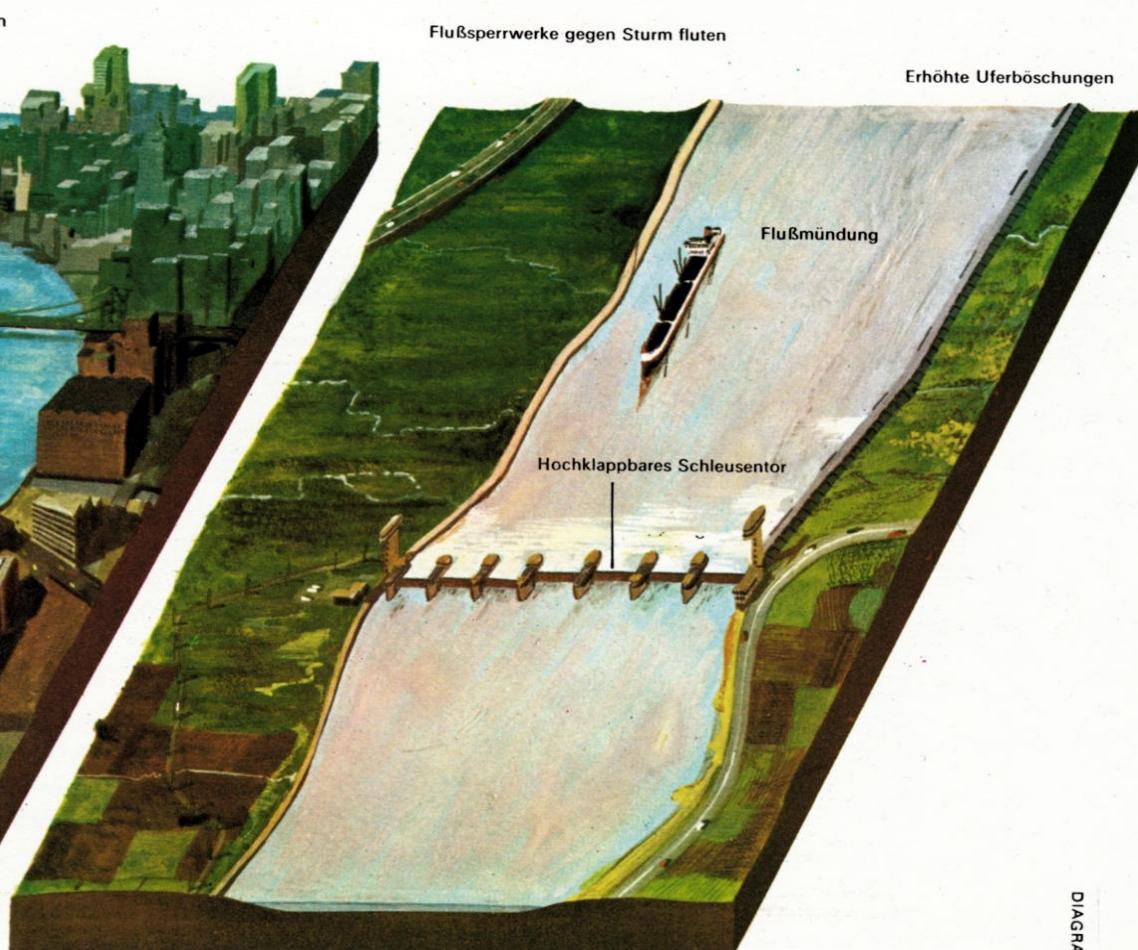
Schließlich kann man noch Hochwasserdämme bauen, die in der Hochflutebene nahe der Flußrinne und parallel zu ihr verlaufen. Dadurch wird auftretendes Hochwasser daran gehindert, sich über die ganze Auenebene des Flusses auszubreiten.

Bisher sind die in diesem Zusammenhang auftretenden Probleme noch nicht vollständig gelöst, so daß man mit Hilfe vom Computermodellen die Auswirkung der verschiedenen Maßnahmen zur Verminderung von Hochwasserschäden nicht vorausberechnen kann. So baut man die Flusssysteme maßstäblich nach und imitiert ihr Verhalten. Daraus lassen sich gute Hochwasser-Schutzmaßnahmen herleiten.

Unten: In Städten und am Mittellauf von Flüssen können Überschwemmungen dadurch gemildert werden, daß man oberhalb der durch Hochwasser gefährdeten Stellen Kanäle baut.



Entlastungskanäle in Städten bieten



Hochwasser durch Gezeiteneinwirkung

Hochwasser durch Gezeiteneinwirkung wirkt sich ähnlich wie das von Flüssen aus; lediglich die Ursachen unterscheiden sich. Im Bereich von Tiefdruckgebieten (Zonen niedrigen Druckes) kann es zu einem bedeutenden Anstieg des Wasserstandes kommen; außerdem rufen sie starke Winde hervor. Wenn das Tiefdruckgebiet weiterzieht oder sich abschwächt, kann es bei Zusammenfall mit dem normalen Tidenhub zu großen Hochwasserständen führen (Sturmflut).

Ein Beispiel für die katastrophalen Auswirkungen einer solchen Kombination zeigte sich 1953, als ein Tiefdruckgebiet über der Nordsee eine Hochwasserwelle nach Süden führte, wodurch das Hochwasser in der Themsemündung zwei Meter höher als das vorhergesagte Hochwasser, in Holland sogar noch weit darüber, lag. Dies führte in Südost-England und in den Niederlanden zu riesigen Überschwemmungen, bei denen mehr als 2100 Menschen ums Leben kamen. Gegen diese Art von Hochwasser kann man sich nur durch Deiche schützen, die so hoch sind, daß die Flut nicht über sie hinwegwaschen kann, oder, bei Flußmündungen, die der Gezeiteneinwirkung unterliegen, durch den Bau von Flutsperrwerken, gewöhnlich in Form beweglicher Schleusentore.

Der Delta-Plan

Als Folge der Katastrophe von 1953 arbeitete die niederländische Regierung mit besonderem Nachdruck an ihrem 'Delta-Plan', der für die Mündungen von Rhein, Maas und Schelde starre und bewegliche Sperrwerke vorsieht. Diese Einrichtungen sollen auch Schutz gegen solche Sturmfluten bieten, die nur einmal in zehntausend Jahren auftreten.

Unten: Man plant, London dadurch vor Sturmfluten zu schützen, daß man quer über die Themse ein Gezeitensperrwerk mit um die Achse beweglichen Toren errichtet.

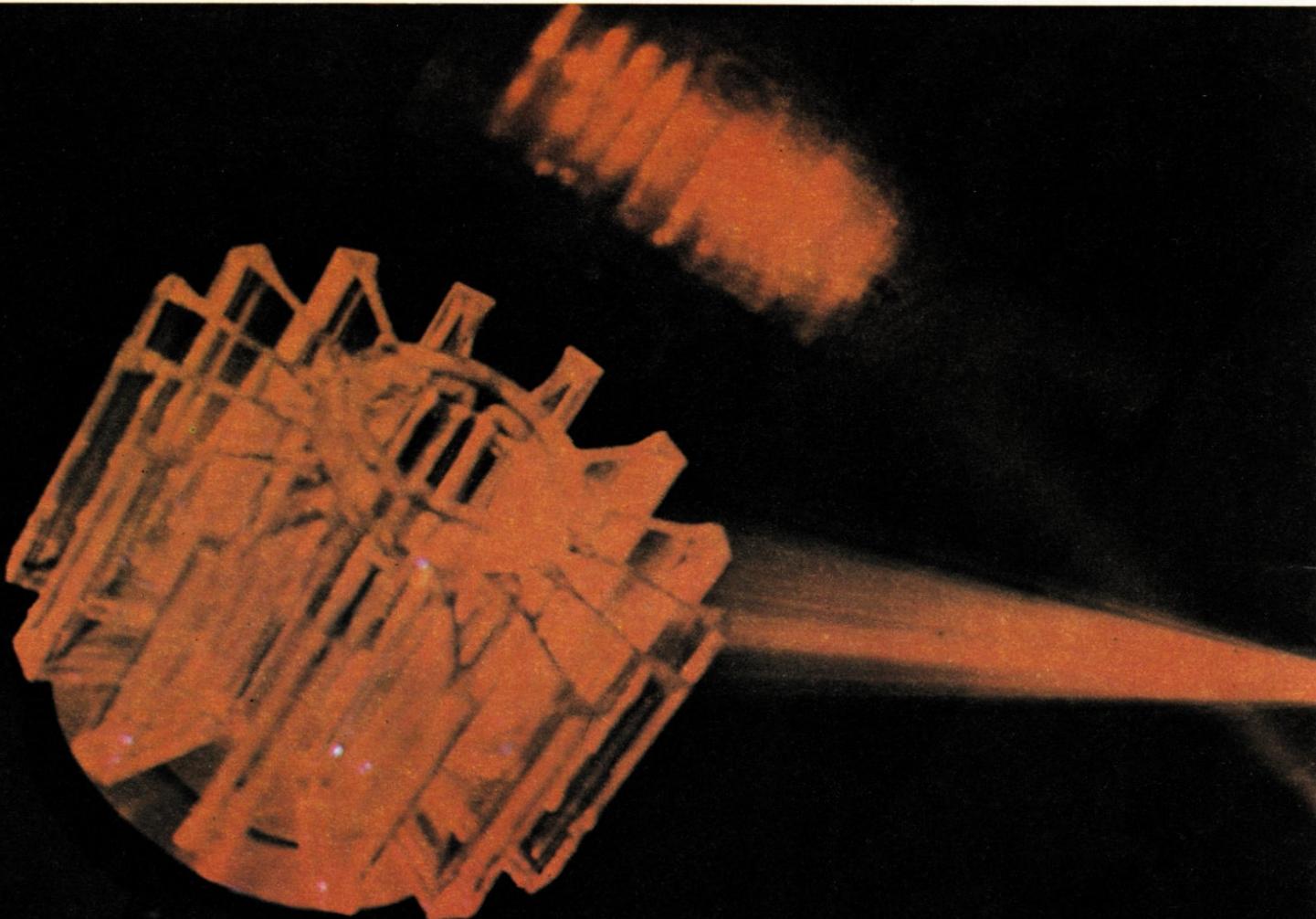
HOLOGRAPHIE

Die Holographie ist, wie die Fotografie, ein Verfahren, mit dessen Hilfe Informationen über ein Motiv oder Objekt auf Film oder einen anderen Träger aufgezeichnet werden. Die beiden Methoden gehen jedoch von ganz verschiedenen physikalischen Prinzipien aus; deshalb unterscheiden sich auch die dabei entstehenden Bilder ganz erheblich.

Ein konventionelles Foto liefert eine zweidimensionale Aufzeichnung eines Gegenstandes, bei der die einer Szene eigene optische Tiefe, die die Augen wahrnehmen, in eine Bildebene projiziert wird und damit grundsätzlich verloren geht. Das Endprodukt der Holographie, das Hologramm, hält

den dreidimensionalen Charakter einer Szene fest—es enthält also auch Informationen über die Tiefe, d.h. die dritte Dimension.

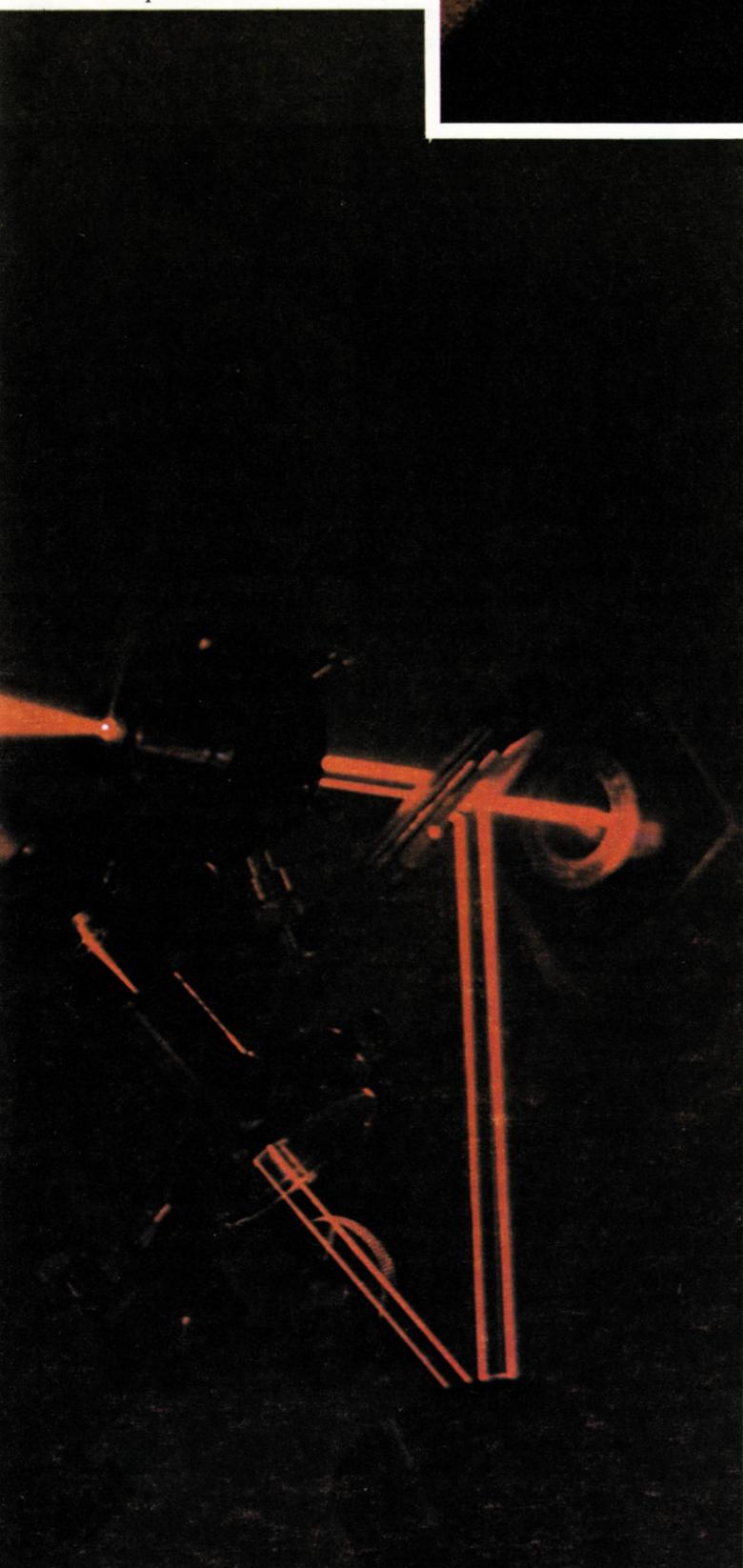
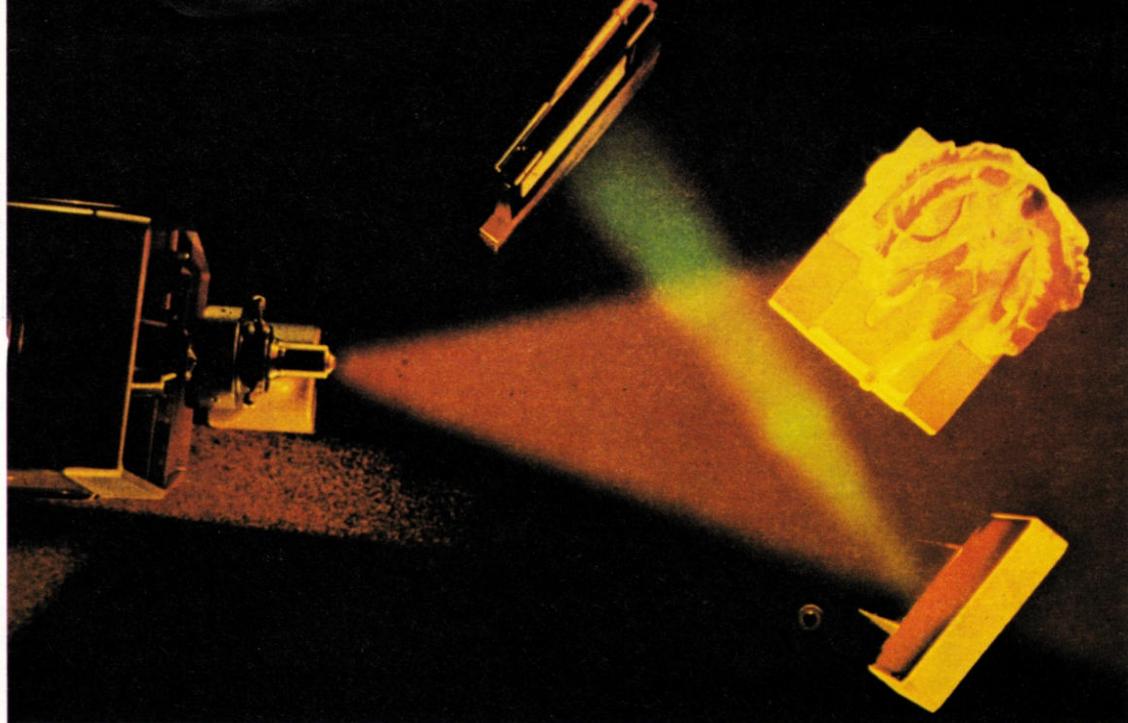
Ein mäßiger dreidimensionaler Effekt kann mit herkömmlichen fotografischen Methoden erzielt werden, indem man zwei Aufnahmen desselben Gegenstandes aus zwei leicht verschiedenen Winkeln macht und die fertigen Bilder gleichzeitig mit je einem Auge in einem Stereoskop betrachtet. Damit bekommt man jedoch nur eine Darstellung aus einem bestimmten Blickwinkel. Bei der Holographie kann das rekonstruierte Bild von einem Bereich von Blickwinkeln angesehen werden. Der Betrachter nimmt Parallaxeneffekte wahr, sieht also die Verschiebung verschiedener Gegenstände in der aufgenommenen Szene bei Änderung der Beobachtungsrichtung, etwa durch Hin- und Herbewegen des Kopfes.



Rechts: Eine holographische Aufnahme. Rechts der Laser, oben links Spiegel und Referenzstrahl.

Unten: Der Kunststoffgegenstand im Vordergrund links wird mit einer holographischen Methode 'fotografiert'. Der Laserstrahl wird in zwei Teilbündel zerlegt. Das eine beleuchtet das Objekt und das andere fällt direkt auf die Fotoplatte.

JOHN HILLELSON



Laser und kohärentes Licht

Ein Hologramm kann, genau wie ein Foto, auf lichtempfindlichem Film festgehalten werden. Um die Unterschiede der beiden Methoden zu verstehen, muß man zunächst die Eigenschaften des Lichts näher betrachten.

Die Lichtquellen der konventionellen Fotografie, z.B. die Sonne und elektrische Glühlampen, senden Strahlung über einen großen Frequenzbereich (von Ultraviolet bis Infrarot) aus—weißes Licht ist ein Gemisch verschiedener Frequenzen (Farben). Wegen des fehlenden Zusammenhangs zwischen den verschiedenen Wellenzügen ist weißes Licht nicht geeignet, Tiefeninformationen aufzuzeichnen. Dazu darf eine Lichtquelle zunächst nur eine Frequenz abgeben, d.h. die Strahlung muß monochromatisch sein. Ferner müssen die ausgesandten Wellenzüge alle dieselbe Phase haben: Die Wellenberge und -täler der verschiedenen Wellenzüge müssen gleichzeitig am gleichen Ort ankommen, also 'in Phase' sein. Diese Eigenschaft nennt man Kohärenz, und kohärentes Licht wird insbesondere von Lasern abgegeben.

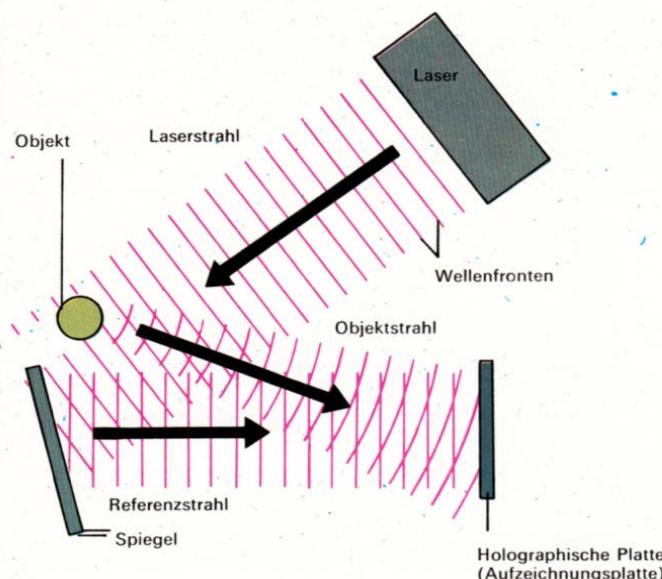
Die holographische Aufnahme

Da ein LASERstrahl Wellenzüge in äußerst geordneter Form, monochromatisch und kohärent, enthält, können Einzelheiten über die Tiefe einer von einem solchen Strahl beleuchteten Szene über die Phasenbeziehung der Wellen festgehalten werden, die vom beleuchteten Objekt am Ort der holographischen Aufnahmeebene ankommen. Eine Welle, die von weiter entfernt liegenden Teilen der Szene kommt, wird gegenüber den Wellen von nähergelegenen Stellen 'nachhinken', und diese Information läßt sich im Hologramm aufnehmen.

Zur Aufnahme dieser Information ist ein 'Referenzstrahl' nötig, dessen Phasenbeziehungen vom Objekt ungestört sind und der zum Vergleich mit dem 'Objektstrahl' (dem Streulicht des beleuchteten Objekts) und dessen Phasenbeziehungen dient. Dazu teilt man das Laser-Lichtbündel in zwei Teile auf; ein Teilbündel wird auf das Objekt gerichtet, und die Streustrahlung ergibt den Objektstrahl. Das andere Teilbündel wird, oft über Spiegel, direkt auf die lichtempfindliche Schicht gelenkt—dies ist der Referenzstrahl. Objekt- und Referenzstrahl treffen sich hier und treten miteinander in Wechselwirkung, sie 'interferieren'.

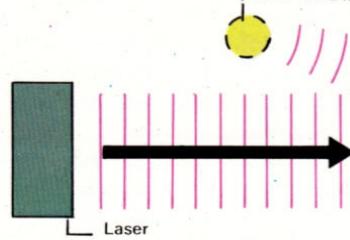
Wenn die Wellenberge zweier Wellen an einer Stelle zusammentreffen, tritt eine Verstärkung der Intensität ein, da ein höheres Maximum (eine größere Amplitude) größere Lichtenergie bedeutet. Diese Erscheinung nennt man konstruktive Interferenz. Wenn das Maximum einer Welle mit

AUFZEICHNUNG



REKONSTRUKTION

Zu rekonstruierendes Objekt (virtuelles Bild)



Der Laserstrahl gelangt zu dem Hologramm und wird in zwei Strahlen aufgespalten

dem Minimum (Wellental) einer zweiten Welle zusammentrifft, ergibt sich eine Verringerung der Intensität durch destruktive Interferenz. Bei konstruktiver Interferenz sagt man, die Wellen seien in Phase. Bei destruktiver Interferenz sind die Wellen außer Phase, sie haben einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge.

Obwohl die einfallenden Wellenzüge zeitlich veränderlich sind, ändert sich die Interferenzfigur, die Intensitätsverteilung in der Ebene des Hologramms, nicht. Es wird also ein Feld 'stehender Wellen' aufgebaut und auf dem lichtempfindlichen Film oder einer Fotoplatte festgehalten. Diese Aufnahme enthält nun sowohl Amplituden—als auch Phaseninformationen über den Objektstrahl. Ein konventionelles Foto gibt über die Phasenbeziehungen keine Auskunft (da ein Referenzsignal fehlt).

Das Hologramm

Der entwickelte holographische Film oder die Platte—das Hologramm—ähnelt der aufgenommenen Szene in keiner Weise. Wenn das aufgenommene Objekt z.B. eine einfache, reflektierende ebene Fläche ist, so zeigt die entsprechende holographische Interferenzfigur eine Folge heller und dunkler Bänder, während die Figur, die von dem Streulicht eines Punktes eines Gegenstandes herrührt, aus einem Satz konzentrischer heller und dunkler Ringe besteht. Ein Hologramm eines üblichen Gegenstandes, einer Szene usw. ist eine sehr komplizierte Interferenzfigur überlagerter Ringe, die von den verschiedenen Streu- und Reflexionszentren der aufgenommenen Objekte stammen.

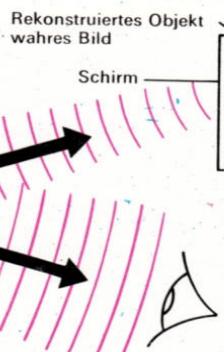
Rekonstruktion der ursprünglichen Objekte

Normalerweise wird das Hologramm auf einen transparenten Träger (Film oder Glasplatte) aufgenommen, obwohl es auch andere Verfahren gibt. Zur Herstellung eines Bildes der ursprünglichen Szene muß dieses Hologramm mit einem

Bündel kohärenten Lichts beleuchtet werden, wie es auch bei der Aufnahme benutzt wurde. Dem Betrachter bietet sich im geeigneten Winkelbereich eine vollständige Rekonstruktion der ursprünglichen Gegenstände.

Im einzelnen wird ein vom Hologramm gebeugtes Teilbündel des Laserstrahls in Amplitude und Phase so moduliert (verändert), daß es dem ursprünglichen Objektstrahl entspricht. Dadurch entsteht ein virtuelles Bild der aufgenommenen Szene, die für den Betrachter hinter dem Hologramm zu liegen scheint. Dieses Bild kann vom Auge direkt wahrgenommen werden; es gibt jedoch auch ein für das Auge nicht sichtbares reelles Bild auf der dem Betrachter zugewandten Seite, das durch Aufstellen eines Schirms im Bildgebiet sichtbar gemacht werden kann. Durch Verschieben des Bildschirms in der Tiefenrichtung lassen sich verschiedene Ebenen des reellen Bildes scharf abbilden.

Da die Farbe von der Frequenz abhängt, wird jedes mit einem einzigen Laserstrahl hergestellte Hologramm eine



Links: Das Bild zeigt, wie Laser in der Holographie eingesetzt werden, um dreidimensionale Bilder aufzuzeichnen oder zu rekonstruieren. Bei einer gewöhnlichen fotografischen Aufnahme wird lediglich die Lichtintensität einer Szene erfaßt. Ein Hologramm erfaßt jedoch auch die Phase einfallender Lichtstrahlen.

monochromatische (einfarbige) Wiedergabe des Objekts liefern. Es ist aber möglich, eine Szene in voller Farbe aufzunehmen und wiederzugeben, indem man drei Laserstrahlen verschiedener Frequenz wählt, die den drei Grundfarben—Rot, Grün, Blau—entsprechen.

Anwendungen der Holographie

Mehrere Eigenschaften des Hologramms machen es für technologische und ingenieurwissenschaftliche Anwendungen sehr nützlich.

Ein wertvoller Umstand liegt darin, daß man mehrere Hologramme auf derselben Fotoplatte unterbringen kann. Dazu braucht man nur darauf zu achten, daß die Richtung, unter der der Referenzstrahl auf die Platte fällt, nach jeder Aufnahme geändert wird, so daß die überlagerten Interferenzen unterschieden werden können. Eine Rekonstruktion erhält man nämlich nur, wenn die entwickelte Platte mit einem Laserstrahl unter einem passenden Winkel beleuchtet wird. Dreht man daher ein Hologramm mit mehreren überlagerten Interferenzfiguren im Laserlicht, so sieht der Betrachter nacheinander die verschiedenen rekonstruierten Bilder auftauchen. Auf diese Art kann also eine große Informationsmenge auf einer Platte untergebracht und wiedergefunden werden. Dieses Verfahren läßt sich in vielen Bereichen der Informations- und Datenspeicherung einsetzen.

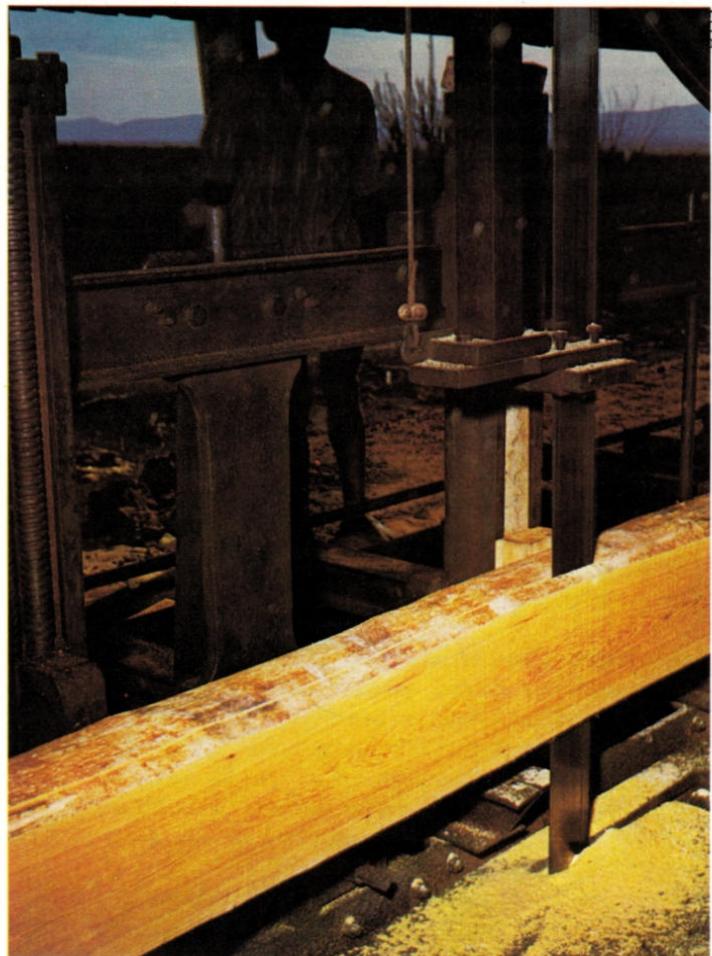
In einer anderen Anwendung nutzt man die Holographie zur Sichtbarmachung kleinsten Unterschieden zwischen einem Originalgegenstand und einer danach angefertigten Kopie. Der Objektstrahl der Kopie wird dazu auf das Hologramm des Originals geworfen. Von der anderen Seite sieht man Interferenzstreifen, wo immer es Unterschiede zwischen Original und Kopie gibt. Jeder Interferenzstreifen zeigt einen Größenunterschied von einer halben Wellenlänge an. Mit üblichen Lasern lassen sich so Größenunterschiede von etwa $0,3 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m}$ = ein Millionstel Meter) leicht feststellen.

HOLZBEARBEITUNGSMASCHINEN

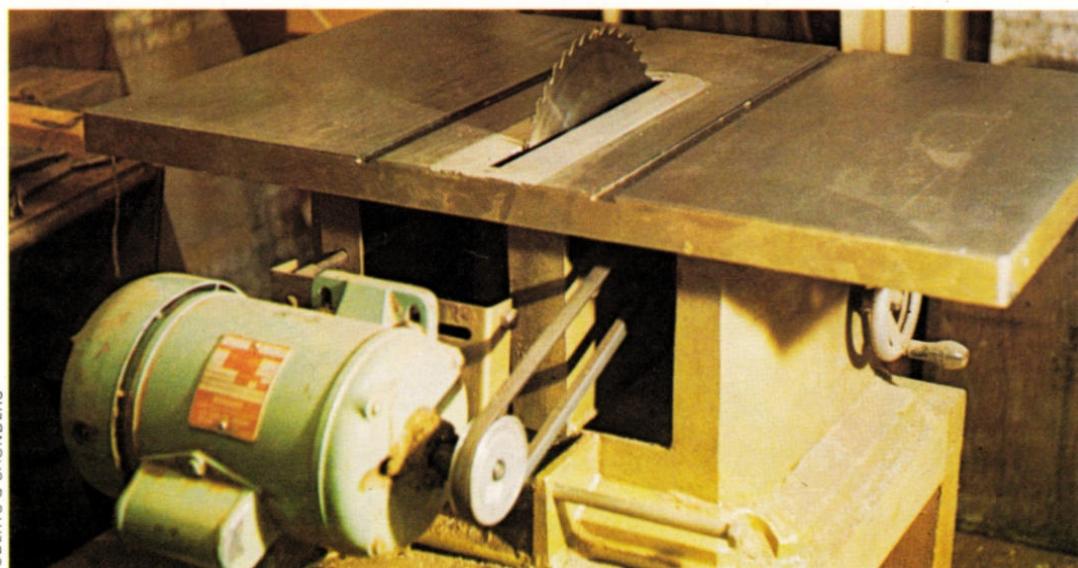
Holz ist der älteste und nützlichste Werkstoff zur Herstellung von Verbrauchsgütern. Jahrhunderte hindurch haben Handwerker Möbel, Inneneinrichtungen von Wohngebäuden, Fahrzeugkarossen und viele andere Nutz- und Ziergegenstände aus Holz hergestellt. Hierzu verwendeten sie oft besonders edle Hölzer oder solche mit besonderer Maserung, wobei die Grenze zwischen handwerklicher und künstlerischer Arbeit häufig fließend ist.

Die älteste Maschine zur Holzbearbeitung war die Drechslerbank, auf der zylindrische Teile, wie beispielsweise Tischbeine, angefertigt wurden. Viele Jahrhunderte lang wurde sie von zwei Personen bedient: Die eine drückte den Drehstahl gegen das Werkstück, während die andere die Spindel mit Hilfe einer Antriebskurbel drehte. Bei einem anderen Verfahren wurde die Spindel mit Hilfe einer um das Werkstück gelegten Schnur und eines Antriebspedals hin und her bewegt. Am anderen Ende der Schnur diente ein elastisches Stück grünes Holz als Federelement, und das Ganze hieß 'Drehstuhl'. Man schreibt Leonardo da Vinci die Erfindung der eigentlichen Drechslerbank zu, die von einer Person fortlaufend in derselben Richtung bedient werden konnte. Dazu kombinierte er die Kurbel und das Antriebspedal.

Heute werden, wie nahezu alle Werkzeugmaschinen, auch Drechslerbänke von Elektromotoren angetrieben. Im späten 18. Jahrhundert wurde die erste Kreissäge hergestellt. Inzwischen sind alle Arten von Holzbearbeitungsmaschinen auch für den Heimwerker erhältlich, der Reparaturen durchführen oder selbst Möbel bauen möchte. Einige von ihnen



Oben: Auf Madagaskar werden aus einem tropischen Hartholzstamm Bretter geschnitten. Die verwendete Säge ist eine Bandsäge; rechts oben kann man eine der Rollen erkennen, um die das endlose Sägeblatt läuft. Im Bild links eine Tischkreissäge in derselben Werkstatt. Die Nuten in der Tischfläche dienen zum Einsetzen von Führungen, die das Holz parallel zum Sägeblatt halten. Der Deutlichkeit halber wird das Sägeblatt hier ohne Schutzhülle, die beim Arbeiten auf jeden Fall aufgesetzt sein muß, gezeigt.



ROBERTS & SAUNDERS

sind Mehrzweckmaschinen, die durch Verwendung von Zusatzgeräten für unterschiedliche Arbeiten einsetzbar sind; doch leisten Spezialmaschinen die beste Arbeit.

Sägen

Es gibt verschiedene Sägemaschinen, von denen die üblichste die (vertikale) Trennkreissäge ist. Sie besteht aus einem Arbeitstisch, unter dem auf der verlängerten Welle eines Elektromotors ein rundum gezacktes, kreisförmiges Sägeblatt läuft. Es ragt durch einen Schlitz aus der Tischfläche heraus, das Werkstück wird darüber hinweg geführt. Da der Sägetisch höhenverstellbar ist, können Schnitte unterschiedlicher Tiefe durchgeführt werden. In einigen Fällen kann der Tisch oder das Sägeblatt zur Erzielung von Gehrungsschnitten geneigt werden. Die Enden der Hölzer werden dabei auf 45° ge-

schnitten, so daß sie im Winkel von 90° stumpf aufeinanderstoßen können.

Die Pendelsäge ist eine Einrichtung, bei der Motor und Sägeblatt an einem Pendelarm über dem Sägetisch angebracht sind. Der Arm lässt sich frei drehen und kann in jeder gewünschten Stellung festgespannt werden. Auch Motor und Sägeblatt lassen sich drehen oder in jede gewünschte Richtung neigen. Um feine Schritte zu erzielen, wird das Werkstück auf dem Tisch fest eingespannt und der Pendelarm vom Arbeitenden weg oder zu ihm hin geführt. Zum einfachen Trennschneiden mit der Maserung wird der Arm festgespannt und das Holz wie bei einer gewöhnlichen Tischkreissäge gegen das Sägeblatt geschoben.

Das Sägeblatt einer Bandsäge ist ein endloses, gezahntes Metallband. Es läuft über zwei große Rollen, von denen sich

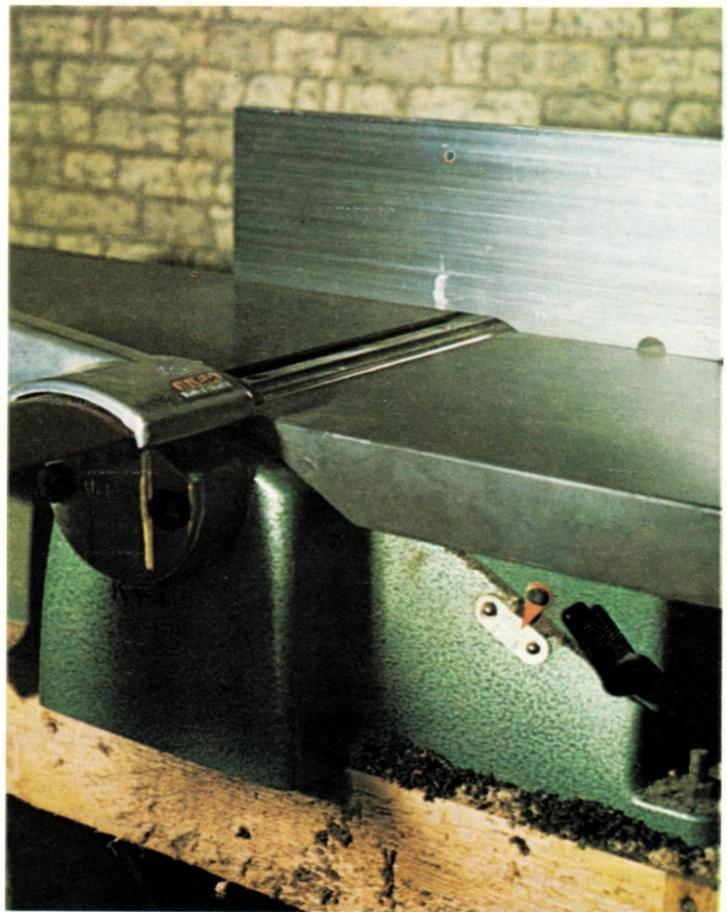
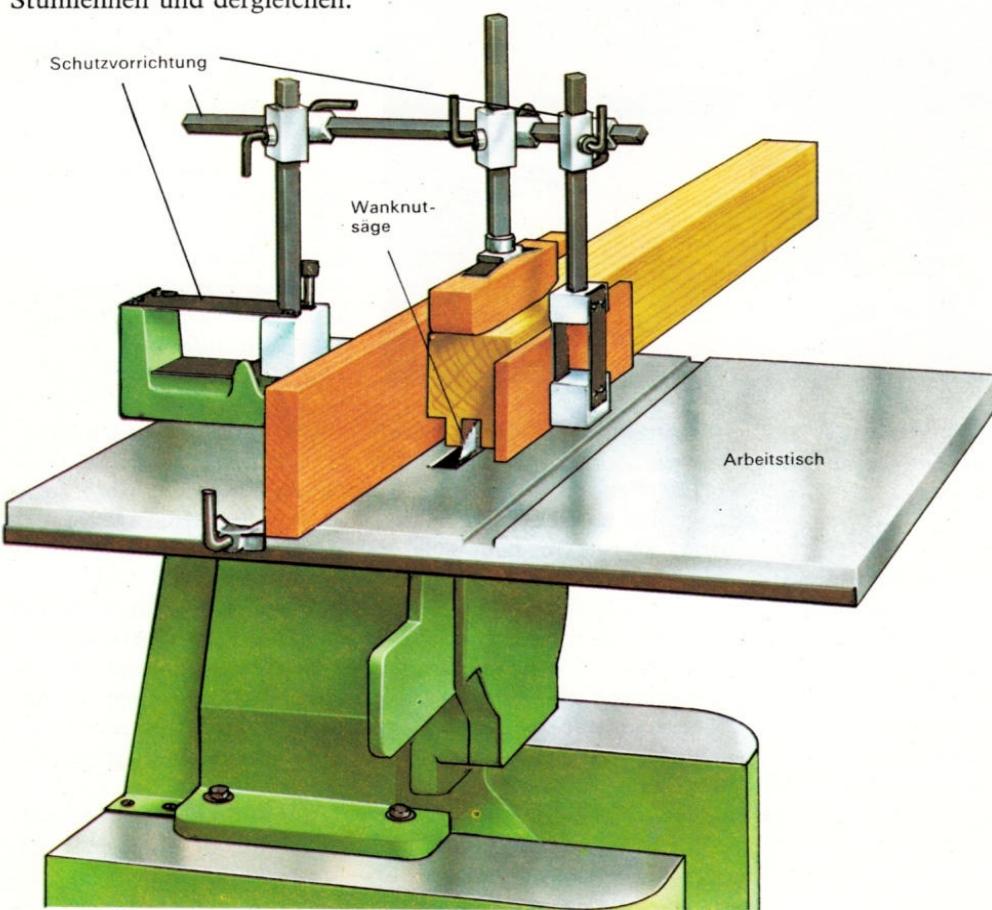
eine unter und die andere über der Mitte des Werktischs befindet. Mit einer Bandsäge können Kurven und Muster in Holz von beliebiger Stärke geschnitten werden, außerdem lassen sich von Schnitholzkanten dünne Streifen schneiden. Der Rollendurchmesser liegt zwischen etwa 35 cm für Werkstattmaschinen und über 2 m in Sägewerken. Bandsägen in Sägewerken sind mitunter beidseitig gezähnt, so daß ein Stamm beim Hin- und Hergehen geschnitten werden kann. Blätter für diese Art Sägen können über 40 cm breit und 15 m lang sein. Man verwendet Sägen aller Art auch in mechanischen (metallbearbeitenden) Werkstätten. Bei diesen Kaltsägen sind die Zähne der Sägeblätter kleiner und härter, sie arbeiten mit einer geringeren Vorschubgeschwindigkeit.

Die Dekupiersäge dient zum Ausschneiden von Durchbrüchen in flächig gestalteten Holzteilen. Das Langsägeblatt wird von einer Kurbelwelle im Ständerfuß auf- und abbewegt, von der Werkstattdecke hängt die gefederte Gegenhalterung des Blattes herab. Allerdings zieht man in der industriellen Fertigung wegen der größeren Leistung und der saubereren Arbeit Oberfräsen vor.

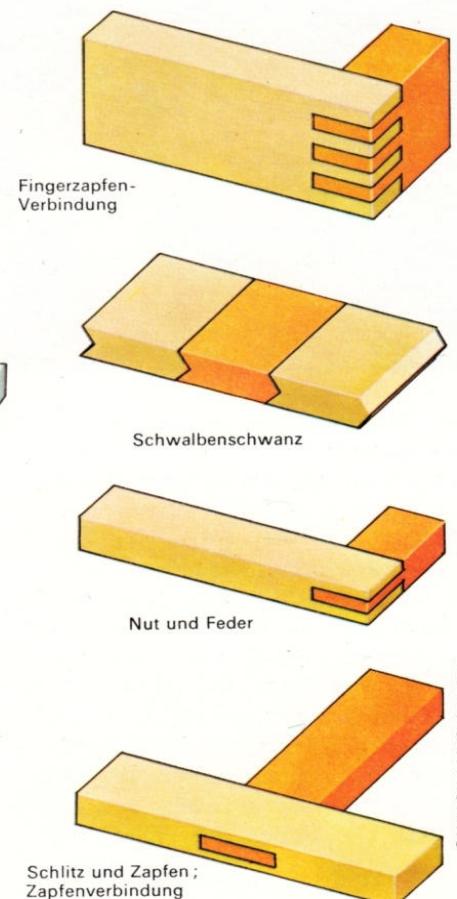
Sonstige Maschinen

Hobelmaschinen dienen dazu, Holzstücke auf gleiche Dicke zu bringen. Der Arbeitstisch ist höhenverstellbar. Über ihn schieben angetriebene Riffelwalzen das Werkstück an der Unterseite der rotierenden Messerwelle vorbei. Hobelmaschinen gibt es in verschiedenen Ausführungen, als Abricht- und Dicktenhobelmaschinen; sie alle arbeiten nach dem gleichen Prinzip.

Formfräsmaschinen schneiden gebogene und ungleichmäßige Kanten von Tischplatten, Bilderrahmen, hölzernen Zierleisten usw. Eine Drehspindel steht aus dem Werktisch hervor; sie trägt Schneidmesser, die der Form des gewünschten Profils entsprechen. Die Oberfräse (oder Innenformfräsmaschine) arbeitet umgekehrt: Bei ihr hängt die Arbeitsspindel von oben über den Werktisch und dient dazu, Hohlformen nach Schablonen herzustellen, z.B. das Innere von Holzschüsseln oder anderer Holzgefäß, Durchbrüche in Stuhllehnen und dergleichen.



Oben: Eine Tischsäge. Bei der Wanknussäge sind an den Seiten des Sägeblattes konische Scheiben angebracht, so daß Nuten bis zu einer Breite von 13 mm geschnitten werden können. Die Schutzeinrichtung hält das Werkstück besonders fest eingespannt. Im Bild oben eine Dicktenhobelmaschine bei der Gitarrenherstellung.



HOLZBLASINSTRUMENTE

Allen mit Luft angeblasenen Instrumenten ist gemeinsam, daß sie eine Luftsäule umschließen, die in Schwingungen versetzt wird. Diese Instrumente sind: Orgel, Holz- und Blechblasinstrumente. Die Form der Luftsäule und das Material, aus dem das Instrument hergestellt wird, beeinflussen die Klangfarbe, während die Tonhöhe in unmittelbarer Beziehung zur Länge der Luftsäule steht.

Mit einem Rohr von bestimmter Länge kann nur ein einziger Ton erzeugt werden, wenn auch durch Änderung des Atemdrucks und der Lippenspannung (Anblasen) die Ober- oder Teiltöne (Partialtöne) mitschwingen können (siehe RESONANZ).

BILDARCHIV PREUßISCHER KULTURBESITZ



Drei Oboen. Von links nach rechts: eine Dupuis-Oboe aus dem Jahre 1710; eine indische Schalmei, die rauher klingt als europäische Oboen, und eine Millereau-Oboe aus dem späten 19. Jahrhundert.

Grundton und Obertöne sind die Naturtöne des jeweiligen Instruments. Wird das untere Ende des Rohrs verschlossen (gedackt), geht der Grundton um eine Oktave herunter; zusätzlich lassen sich jetzt nur die ungeradzahligen Partialtöne erzielen. Moderne Holzblasinstrumente können zahlreiche Töne zwischen den Naturtönen erzeugen. Dies geschieht durch kurzzeitiges Verschließen von Löchern—entweder mit den Fingern oder mittels Klappen—in der Wandung des Rohres. Sind alle Löcher verschlossen, erklingt der Grundton des Instruments. Mit jedem freigegebenen Loch verkürzt sich die akustisch wirksame Länge der Luftsäule, d.h. die Tonhöhe steigt an.

Im Inneren des Instruments schwingt die eingeschlossene Luftsäule parallel zum Rohr. Dabei bewegen sich die Luftmoleküle so, daß an bestimmten Stellen der Luftsäule die Dichte der Moleküle regelmäßig zwischen dem Höchst- und dem Tiefstwert hin und her schwingt. Bei einem an beiden Seiten offenen Rohr liegen die Enden der Luftsäule an Stellen geringster Dichte. Sie werden Gegenknoten oder Schwingungsbäuche genannt. Zwischen ihnen liegen die Schwingungsknoten. Die Wellenlänge des Grundtons, den ein beidseitig offenes Rohr erzeugt, beträgt das Doppelte der Rohrlänge. Wird das Rohr auf einer Seite verschlossen, findet sich am offenen Ende ein Schwingungsbauch und am geschlossenen Ende ein Schwingungsknoten. Dabei beträgt die Wellenlänge das Vierfache der Rohrlänge (der Grundton geht um eine Oktave herunter), weil sich die Länge der Luftsäule verdoppelt. Ähnlich einer schwingenden Saite (siehe Saiteninstrumente) schwingt eine Luftsäule nicht nur als Ganzes, sondern auch in Teilen über ihre Länge (1/2, 1/3, 1/4 usw.), womit ein ganzes Partialtonspektrum erzeugt wird. Das offene Rohr erzeugt alle Partialtöne. Ein einseitig verschlossenes Rohr erzeugt nur die ungeradzahligen Partialtöne. Dies ist darauf zurückzuführen, daß geradzahlige Teiltöne auf jeder Seite einen Schwingungsbauch aufweisen müssen.

Von besonderem Interesse bei Blasinstrumenten ist auch das Auftreten hörbarer Überlagerungs- oder Interferenzschwingungen. Sie entstehen dort, wo die Schwingungsfrequenzen in der Luftsäule aufeinanderstoßen. Je reiner der Klang eines Instruments, desto deutlicher ist die Interferenzschwingung zu hören.

Holzblasinstrumente werden in Flöten und Rohrblattinstrumente unterteilt.

Flöten

Ein Flötenspieler bläst Luft an die seinem Mund gegenüberliegende Kante eines Lochs nahe dem gedackten Ende eines Rohrs. An dieser festen Kante entstehen oben und unten Luftwirbel. Querflöten werden seitlich angeblasen. Dabei lenkt der Spieler das Luftband aus seinem Mund freibeweglich ('Ansatz'). Bei anderen Flöten wird das offene Rohrende überblasen, wie beispielsweise bei der Kavalföte vom Balkan. Die Schnabelflöten, zu denen auch die Blockflöte gehört, haben im Verschlußkern (dem 'Block') eine küstliche Kernspalte, die den Atem des Bläsers ohne dessen Zutun gegen die Kante der Öffnung lenkt.

Die Tonlage von Flöten hängt von der Rohrlänge und vom Winddruck hinter der Luftsäule ab. Ein hinreichend hoher Winddruck (oder größere Lippenspannung) führt zum 'Überblasen'. Dabei wird anstelle des Grundtons einer der höheren Naturtöne erzeugt: eine Oktave (erster Naturton), eine Duodezime (dritter Naturton) oder zwei Oktaven (fünfter Naturton) höher.

Die meisten Flötenarten haben sechs oder sieben Grifflöcher, mit deren Hilfe die vollständige diatonische Tonleiter gespielt werden kann. Weitere Halbtöne lassen sich durch Gabelgriffe erzeugen, wobei die gedeckten und offenen Grifflöcher nicht, wie bei Normalgriffen, in ununterbrochener Folge liegen. Man kann auch mit nur drei Grifflöchern eine vollständige Tonleiter spielen, vorausgesetzt, das Instrument überbläst mit einer Quinte über ihrem Grundton beginnend in den dritten Oberton. In diesem Falle liefern die ersten drei Grifflöcher und das offene Rohr die ersten vier Töne, die Obertöne die folgenden vier. Ein darauf ausgelegtes Instrument ist die aus dem alten Ägypten stammende Einhandflöte; mit der anderen Hand schlug der Spieler das Tympanum (ein Tamburin ohne Schellen, auch Handtrommel genannt). Wie schon erwähnt, liegt der Grundton einer gedackten Flöte eine Oktave tiefer als der einer offenen Flöte von gleicher Länge. Nur wenige einfache Flöten dieser Art werden unbegleitet

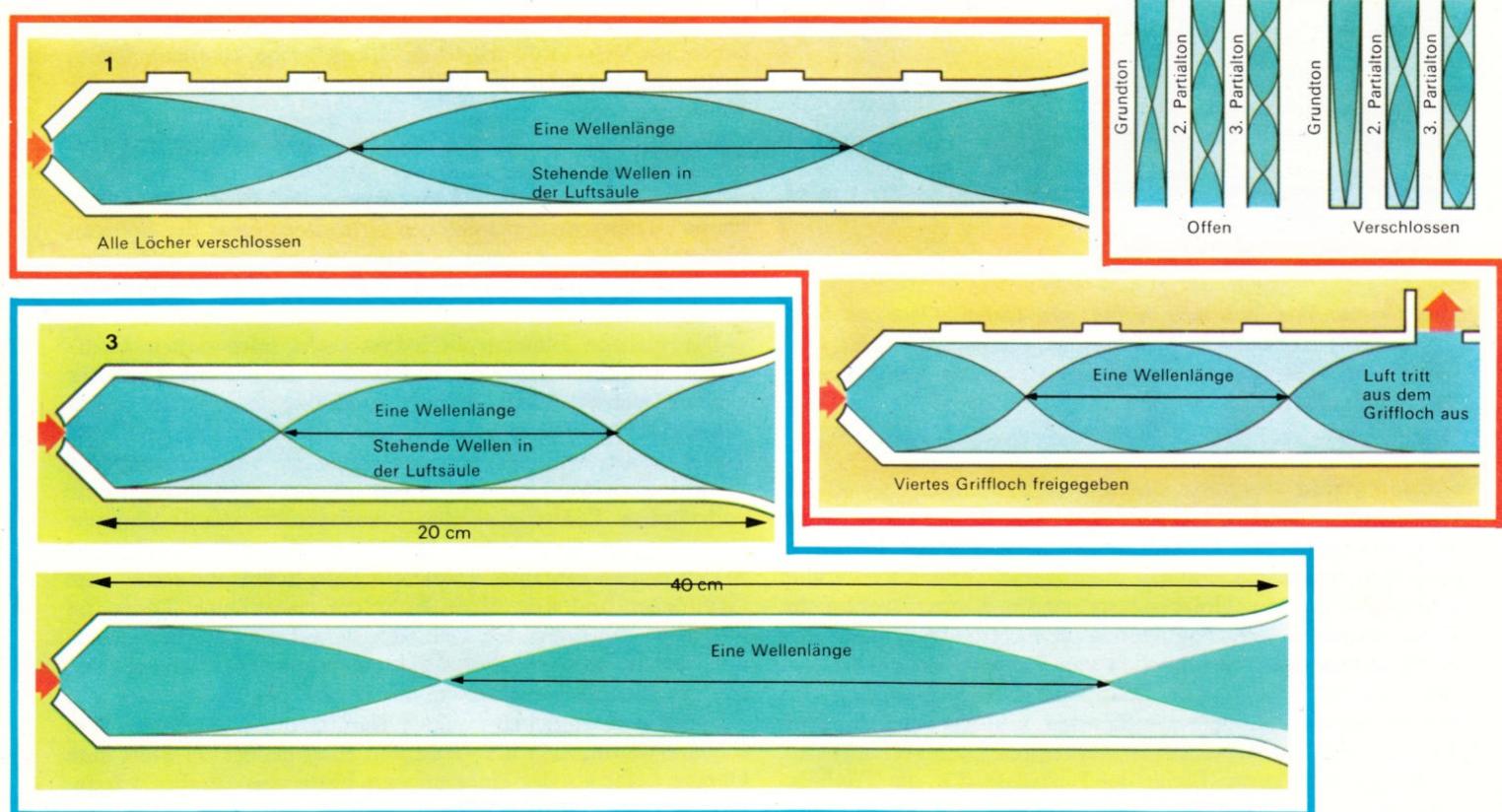
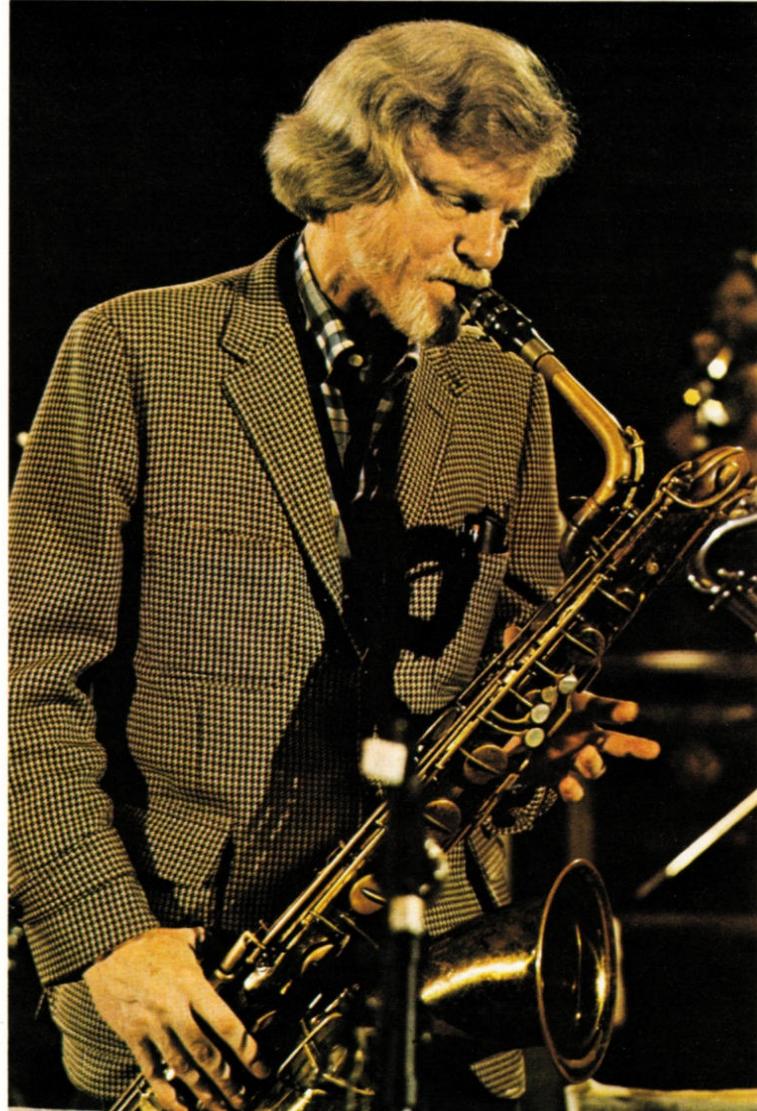
gespielt. Es finden sich jedoch gedoppelte Einzelflöten in Instrumenten von der Art der 'Pansflöte'.

Rohrblattinstrumente

Bei diesen Instrumenten versetzt die Atemluft des Spielers ein im Mundstück befindliches Blatt (bei der Klarinette) oder ein Blattpaar (bei der Oboe und dem Fagott) in Schwingungen.

Das Einzelblatt entstand ursprünglich dadurch, daß eine vibrierfähige Zunge seitlich in ein oben geschlossenes Stück Rohr oder Holz unterholz geschnitten wurde. Dieses Verfahren wird noch heute bei Instrumenten angewendet, die für bestimmte Arten von Volksmusik gebaut werden. Man kann aber auch ein einfaches Rohrblatt über der Öffnung am Ende des Rohres anbringen, wodurch ein Spalt entsteht, dessen eine Seite (das Rohrblatt) schwingen kann. Einzelblätter finden sich gewöhnlich bei zylindrischen Instrumenten (Klarinette), die der gedackten Flöte prinzipiell darin ähneln, daß ihr Grundton um eine Oktave tiefer liegt, als die reine Länge nahelegen würde, und daß nur die ungeradzahligen Partialtöne erzeugt werden. Hier entspricht das Blatt dem gedackten Ende der Flöte. Da aber der Verschluß oberhalb der Grifflöcher liegt, bestehen die Schwierigkeiten nicht, die sich bei der gedackten Flöte im Zusammenhang mit der Lage der Grifflöcher ergeben.

Ursprünglich stellte man Doppelblätter her, indem man ein Ende eines frischgeschnittenen Pflanzenstengels umknickte, wodurch eine enge Öffnung entstand, die sich beim Hineinblasen öffnet und dann wieder schließt. Eines der ältesten Instrumente dieser Art ist der griechische Aulos. Seit den Doppelblattinstrumenten des Mittelalters wird das Blatt mit Hilfe eines Halteröhrchens am Mundstück befestigt. Das Doppelblatt selbst entsteht durch Umknicken eines Rohrstranges. Anschließend werden die aufeinanderliegenden Enden am Halteröhrchen festgebunden. Instrumente mit konischem Korpus überblasen, ähnlich wie die offene Flöte, leicht in den zweiten und dritten Oberton und erzeugen ähnliche Partialtöne. Wegen des engen Spaltes bei den Doppelblattinstrumenten muß der Bläser mit sehr straffen Lippen



KLARINETTE



Die Klappen und Wellen zum Öffnen oder Schließen der Löcher wurden zur Verdeutlichung weggelassen

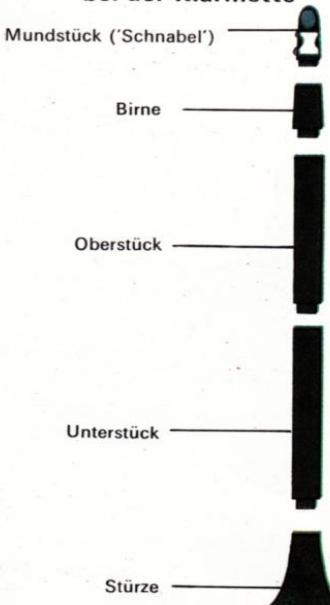
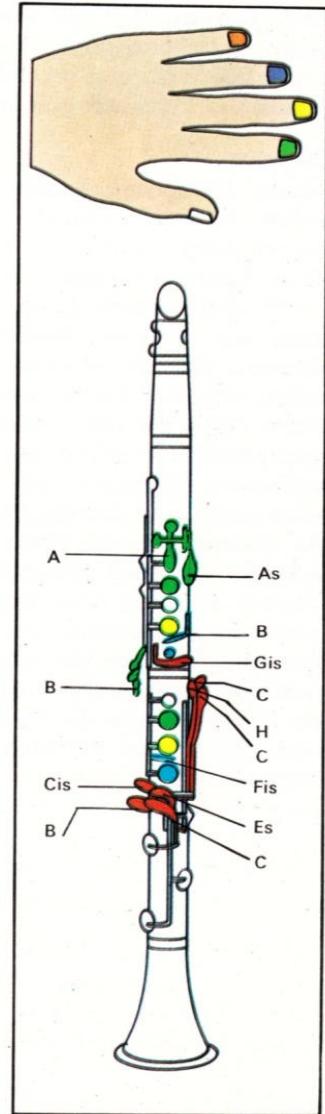
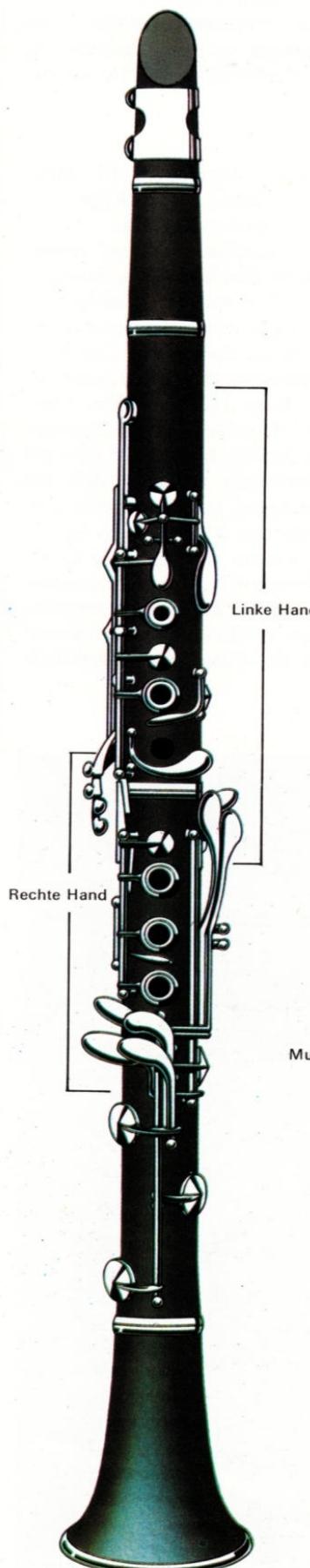


Oben: Das Fagott ist gleichsam 'gefaltet', damit es sich noch handhaben lässt. Wäre dies nicht der Fall, so hätte es eine Länge von rund 2,50 m, was ein Spielen des Instruments so gut wie unmöglich machen würde.

Oben links: Der Saxofonist Gerry Mulligan in Aktion. Saxofone werden vor allem im Bereich der Jazz- und Pop-Musik verwendet, da sie eine sehr effektive Klangwirkung haben und sehr hohe Töne erzielen können.

Rechts: Die Boehm-Klarinette. Die Klarinette wurde anfangs des 18. Jahrhunderts erfunden. Es gibt zwei verschiedene Fingersätze: den 'einfachen' Fingersatz nach Albert und das System Boehm. Das System Albert wird nur noch in Deutschland verwendet.

Links: (1) Diese Abbildungen zeigen, wie bei einem Instrument (Beispiel: Klarinette) die wirksame Rohrlänge dadurch verändert werden kann, daß man Löcher freigibt, durch die Luft austritt. (2) Wellenlänge für den Grundton und den zweiten und dritten Partialton bei offenen und einseitig verschlossenen Röhren. (3) Die Höhe des Tons, den die Luftsäule in einem Holzblasinstrument erzeugt, hängt von der Länge des Rohrs und der Geschwindigkeit der es durchströmenden Luft ab. Eine Verdoppelung der Länge ergibt eine doppelte Wellenlänge, was die Frequenz der Wellen im Instrument halbiert. (s. auch Bild nächste Seite).



blasen; dabei trifft er auf einen höheren Widerstand. Die kennzeichnende Klangfarbe der Oboen geht auf die Verwendung des Blattes zurück, während der sanftere Ton und der größere Tonumfang der Klarinette mehr von der Zylinderform des Korpus bestimmt wird.

Saxophone sind Einblatt-'Holz'blasinstrumente mit konischem Korpus, die aus Messing hergestellt werden. Der Ausdrucksreichtum und der Anklang an die menschliche Stimme haben für eine besondere Verbreitung der Saxophone bei Jazz und Popmusik geführt.

Klappen

Einfache Klappenmechanismen waren bereits im 14. Jahrhundert bekannt. Damals diente eine Hebelklappe bei größeren Instrumenten der Schalmeienfamilie dazu, das am tiefsten liegende Griffloch zu verschließen. Erst im späten 18. Jahrhundert wurde dieser einfache Mechanismus, der noch immer bei größeren Blockflöten Verwendung findet, so verbessert, daß die heutigen komplizierten Klappensysteme möglich wurden. Am bekanntesten ist der Name Theobald Boehms (1793 bis 1881), eines Flötisten, der zwar nicht die Klappenmechanik erfand, aber im Jahre 1832 an seiner Flöte Ringklappen anbringen ließ. Der Hauptvorteil des Systems Boehm liegt darin, daß die Bewegung des Hebels auf eine am Rohr entlangführende Welle übertragen wird, so daß der Finger das Griffloch verschließen kann. Diese Drehklappen eröffneten nicht nur neue Möglichkeiten des virtuosen Spiels, sondern der Instrumentenmacher konnte auch größere Grifflöcher vorsehen, die alle über einen Klappenmechanismus verschließbar waren. Das erschloß ein bis dahin nicht erreichbares Klangvolumen, das zuvor von der Fähigkeit des Flötenspielers abhing, das Griffloch mit der Fingerkuppe luftdicht zu verschließen.



WILLIAM MCQUITY

Oben: In abgeschiedenen Gegenden spielt man noch die alten Panflöten, wie hier in Tarent in Südalien. Das Instrument besteht aus einer Anzahl von Rohrflöten.

Links: König Friedrich II. (Friedrich der Große) von Preußen spielte leidenschaftlich gern Flöte. Hier sind seine aus Elfenbein hergestellten Querflöten zu sehen—heute werden Traversflöten aus Metall (Silber) hergestellt. An der Wand befindet sich eine Fingersatztabelle vom berühmtesten Flötisten des 18. Jahrhunderts, J. J. Quantz, dem Flötenlehrer Friedrichs.



BILDARCHIV PREUßISCHER KULTURBESITZ

Orchester-Holzblasinstrumente

Bei der Orchesterpartitur hat sich für moderne Holzblasinstrumente von oben nach unten folgende Reihenfolge durchgesetzt: Flöte, Piccoloflöte, Oboe, Englisch Horn (Altooboe), Klarinette, Bassetthorn (Altklarinette), Fagott und Kontrafagott.

Bei jedem Paar ist das Grundinstrument vorangestellt; ihm folgt seine Baßvariante, beispielsweise Oboe und Englisch Horn. Eine Ausnahme macht die Flöte, bei der das höher gestimmte Instrument an zweiter Stelle steht. Flöte und Piccolo nehmen auch insofern eine Sonderstellung ein, als sie die einzigen Holzblasinstrumente ohne Rohrblatt sind. Außer Klarinette und Bassetthorn haben alle verbleibenden Instrumente ein doppeltes Rohrblatt und einen konischen Korpus. Man nennt Klarinette, Bassetthorn, Piccoloflöte, Englisch Horn und Kontrafagott auch transponierende Instrumente, weil der Spieler beim Lesen der Noten das Intervall zwischen c und dem Ton, der die Stimmung des Instruments angibt, transponieren muß.

Der normale Tonumfang ist wie folgt: Piccoloflöte: d² bis c⁵, Querflöte (Traversflöte): C¹ bis c⁴ oder d⁴, Oboe: (b)h bis f³ (a³), Englisch Horn: es oder e bis b², B-Klarinette: e bis a³, Bassetthorn: F bis f³, Fagott: _1B bis es², Kontrafagott: _1C bis F.

HOLZINDUSTRIE

Ein Fünftel der Bodenfläche der Erde ist von Wald bedeckt, Bäume liefern in wiederholbaren 'Ernten' das Ausgangsmaterial für die Holzindustrie. Die wirtschaftliche Verwertung des Baumes beginnt mit seinem Fällen.

Am häufigsten wird Holz als Brennmaterial verwendet; allerdings ist der Anteil von Land zu Land sehr unterschiedlich. Beispielsweise wird es in der Sowjetunion und in tropischen Ländern, in denen Holz reichlich und billig ist, in großem Umfang als Brennmaterial genutzt. In Großbritannien, das 90% seines gesamten Holzbedarfs durch Einführen deckt, wird Holz—außer in den Zweigen der holzverarbeitenden Industrie, die als Abfallprodukt Sägemehl erzeugen—gewöhnlich nicht verheizt.

Verwendungszwecke

Das Nutzholz kommt in Form entästerter Stämme, auf bestimmte Größen zugeschnitten, aus den Wäldern. Sie lassen sich leicht auf der Straße transportieren und mit Hebezeugen handhaben.

Diese Stämme werden in Sägewerken zu Bauholz oder in Papiermühlen zu PAPIER und Pappe verarbeitet. In Spanplattenwerken werden sie zerkleinert, mit Kunstharzen vermischt und zu Platten gepreßt. Im Bergbau dienen Stämme als Stempel (Stützen für das Deckgestein); aus hochwertigem Holz wird Sperrholz gemacht.

Kein Material wird im Alltag vielfältiger eingesetzt als Holz.



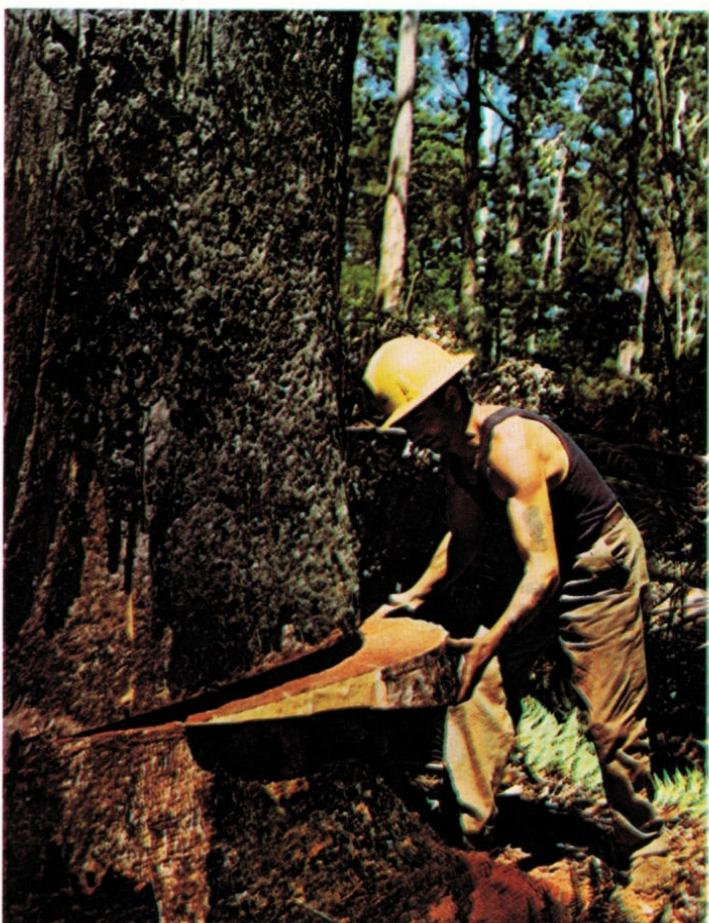
Oben: Nadelbaum-Setzlinge zum Aufforsten von Wäldern. Wälder sind nicht nur eine billige Holzquelle. Sie verhindern außerdem Erosion des Bodens, tragen zur Erhaltung des Grundwassers bei und verbessern weitgehend das jeweilige lokale Klima.

In den meisten Ländern ist das Baugewerbe der größte Abnehmer. Ein weiterer wichtiger Absatzmarkt ist die Verpackungsindustrie; die Möbelindustrie hat den größten Bedarf an Harthölzern.

Wälder

In einigen Teilen der Erde regenerieren sich Wälder selbst, vor allem in den Tropen. Samenkörner fallen von den Bäumen; aus den entstehenden Schößlingen wachsen die Bäume der nächsten Generation. In tropischen Wäldern geht mehr Holz verloren, als tatsächlich genutzt wird, weil ganze Gegenden noch immer unzugänglich sind und die Bäume niederbrechen und verrotten, wenn sie ihr 'bestes Alter' überschritten haben.

Heute wird der Einschlag in Wäldern allgemein auf der Grundlage einer langfristigen Ertragsrechnung vorgenommen, insbesondere bei Weichhölzern. Nach Abholzen einer bestimmten Fläche wird sie mit Sämlingen aus Pflanzschulen



PHOTOGRAPHIC LIBRARY OF AUSTRALIA

Oben: Holzfäller im Karri-Wald in Australien. Der Baum wird zuerst auf der Fällseite eingeschnitten. Dann wird eine Motorsäge auf der anderen Seite eingesetzt, um den Baum zum Fällen zu bringen.

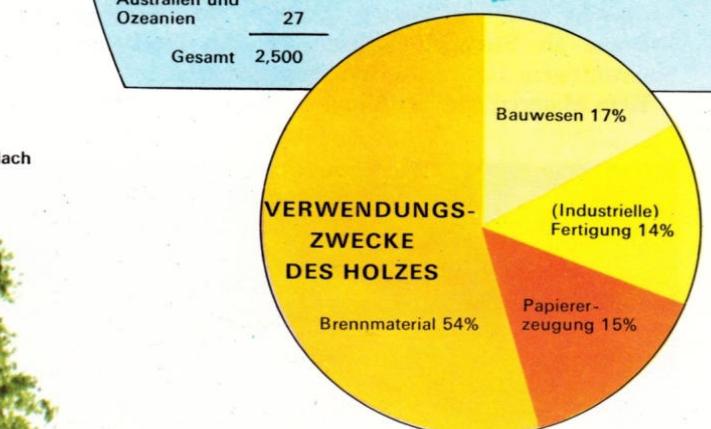
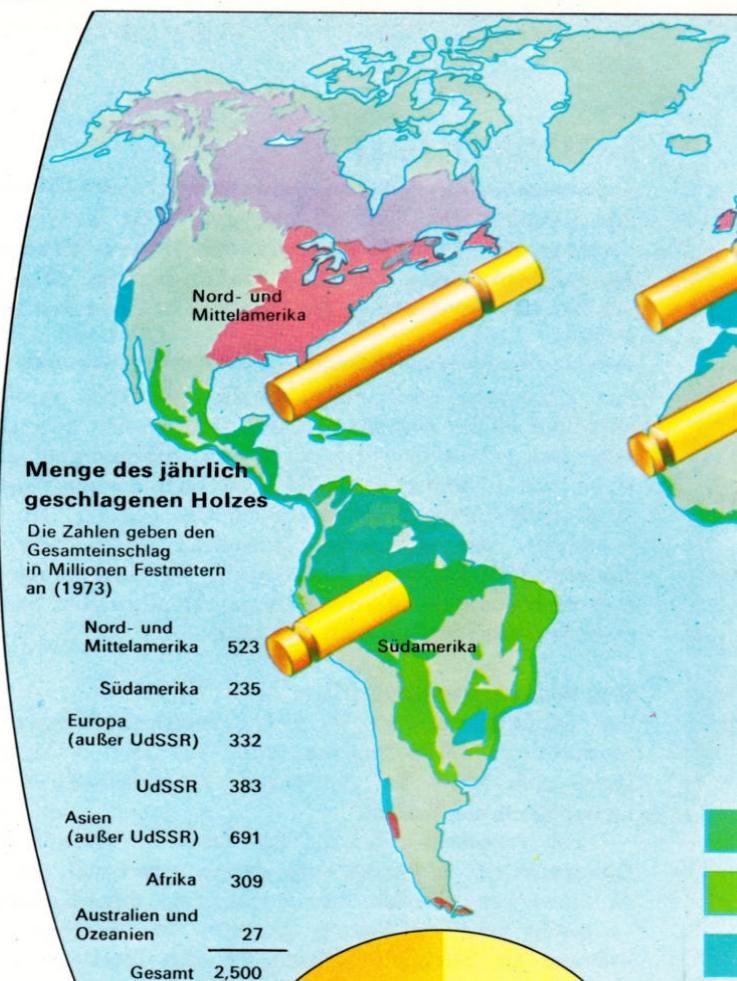
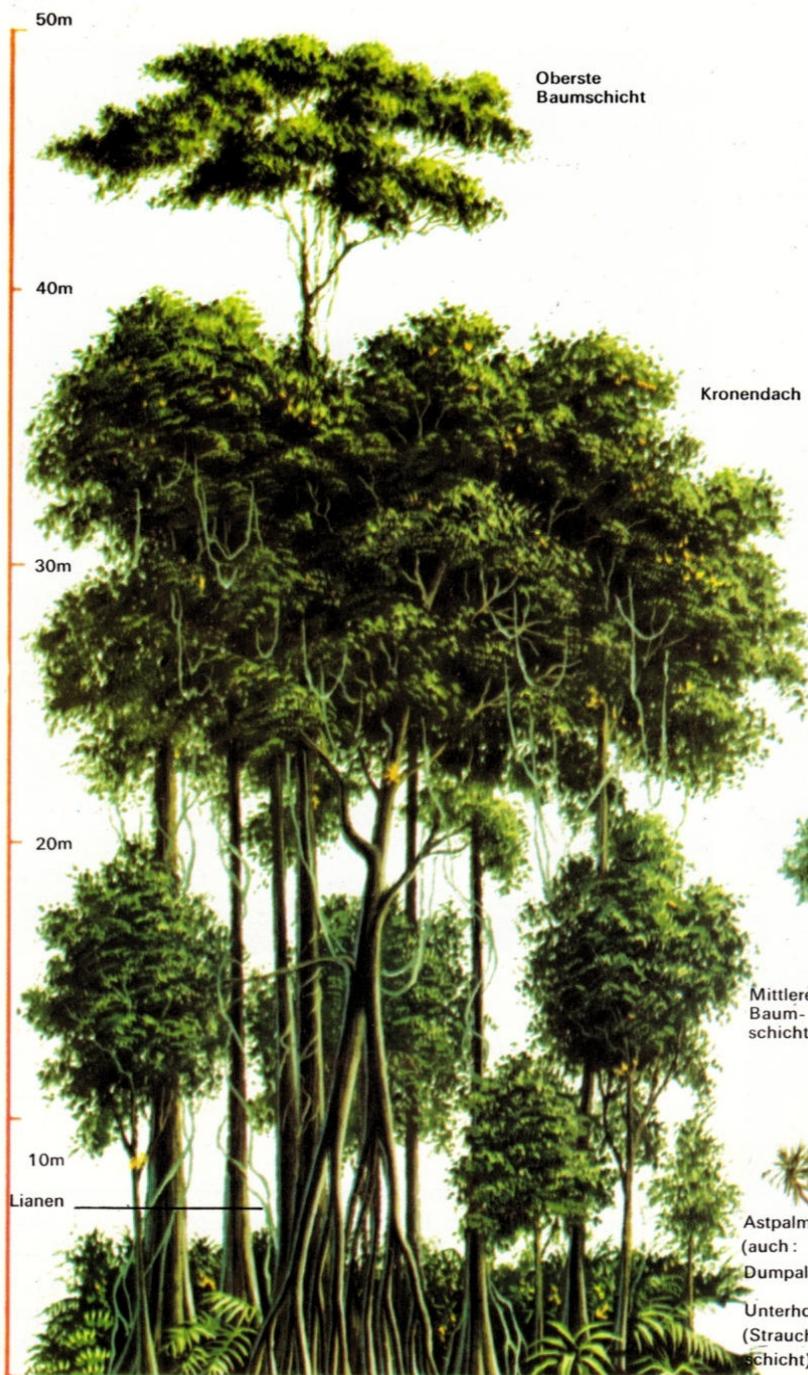
(Baumschulen) wieder aufgeforstet. Im Verlauf des weiteren Wachstums werden die Bäume (wie Gartenpflanzen) vereinzelt, so daß die verbleibenden Bäume die für die Nutzholzindustrie erforderliche Größe erreichen können. Die ausgesonderten Bäume finden in der Holzverarbeitungsindustrie oder zur Herstellung von in den Forstgebieten nötigen Vorrichtungen wie Zäunen Verwendung.

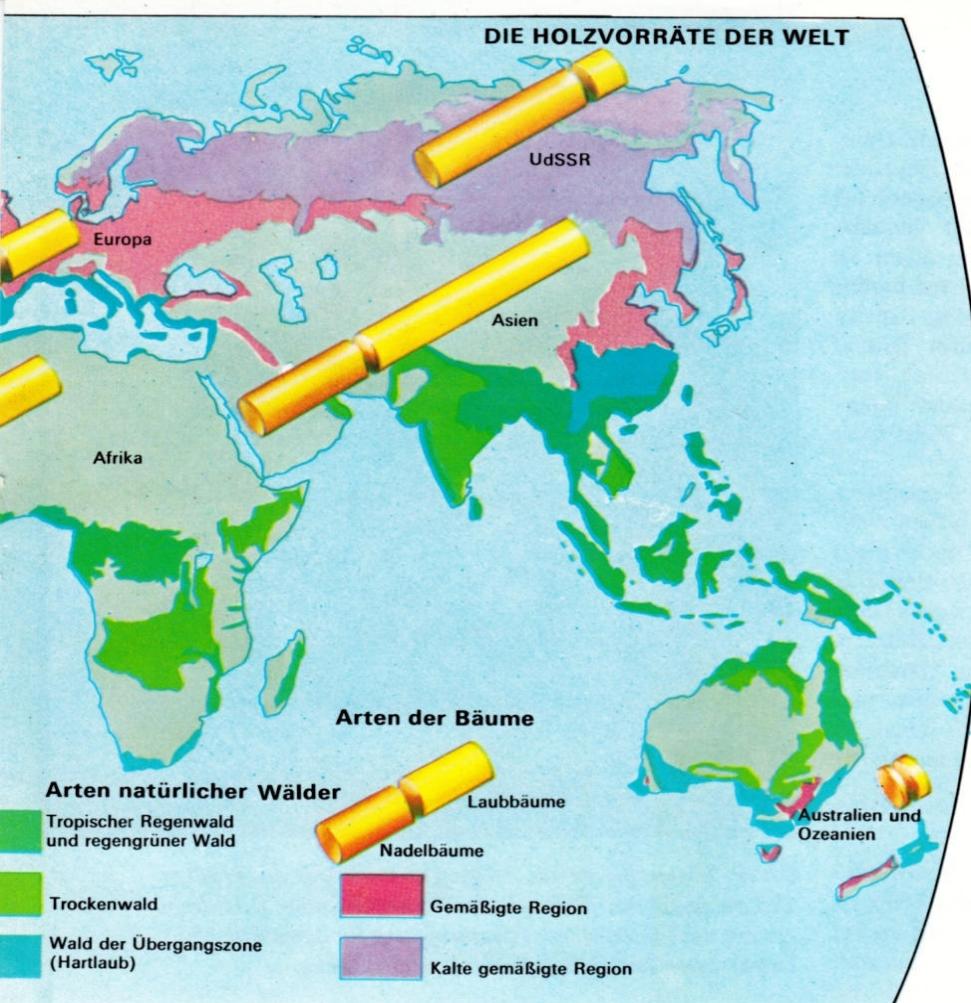
Schädlingsbefall und Krankheiten können das Wachstum der Bäume beeinträchtigen. Beides wird oft durch Versprühen von Chemikalien vom Flugzeug aus bekämpft. Auch die

Bekämpfung der zweiten großen Gefahr für die Wälder—der Waldbrand—erfolgt aus der Luft. In Zeiten erhöhter Waldbrandgefahr sind Wachtürme auf höheren Erhebungen mit Posten besetzt, die große Flächen rasch überblicken.

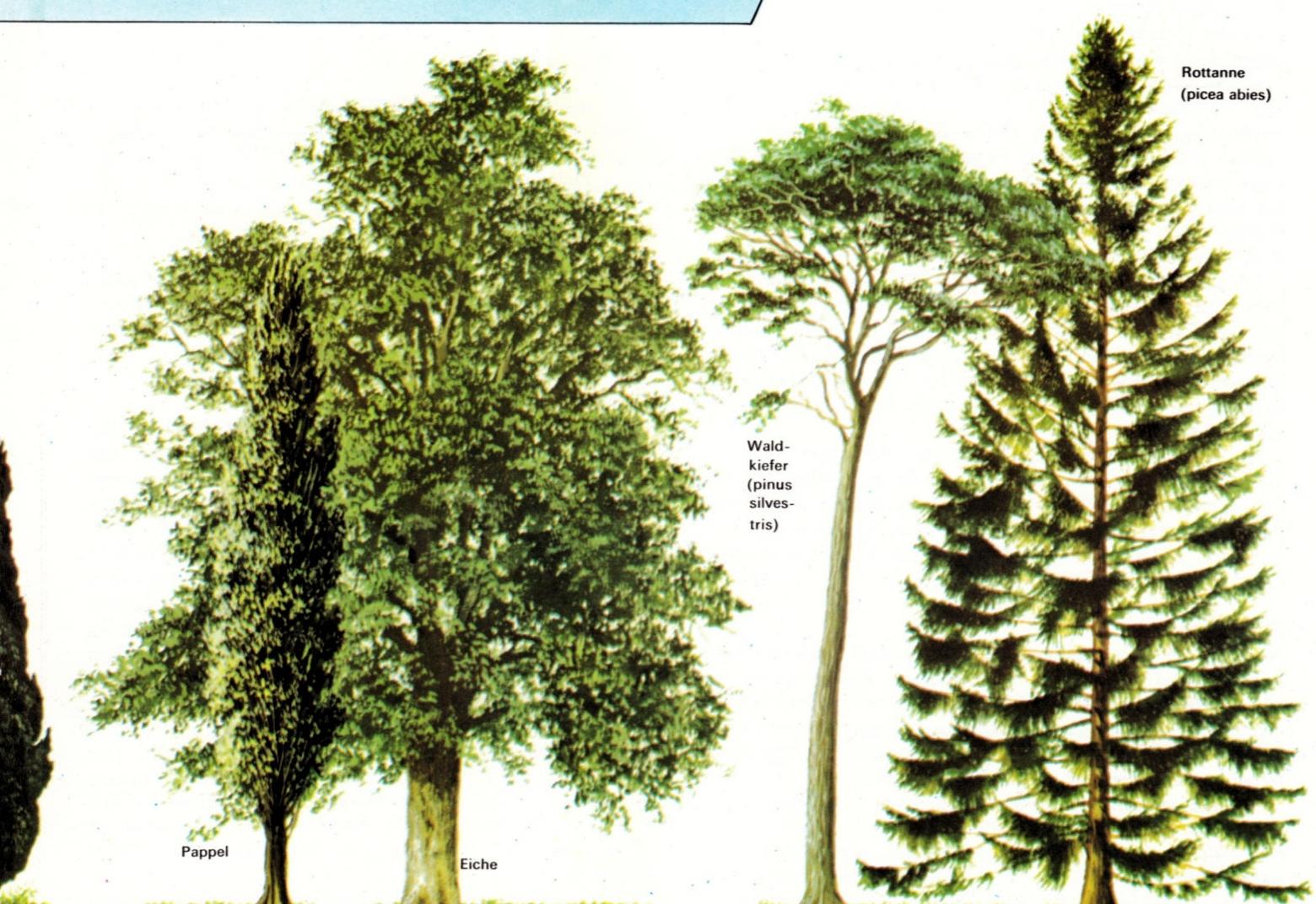
Es gibt zwei Arten Holz: Weichholz von Nadelbäumen und Hartholz von Laubbäumen. Im allgemeinen wachsen weiche Hölzer (Kiefern, Föhren, Pinien, Fichten) in gemäßigten Klimazonen, während Hartholz meist aus den Tropen kommt. Allerdings ist das eine grobe Verallgemeinerung, denn in Europa treten Hart- und Weichholz gleichermaßen auf. Beispielsweise liefern folgende Bäume Hartholz: Eiche, Buche, Birke, Ulme (Rüster) und Esche.

Führend in der Weichholzerzeugung sind die Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada, Schweden, Finnland und die Sowjetunion (UdSSR), die nahezu ein Drittel der Weichholzbestände der Welt stellt.





Die Regionen der Erde, in denen gegenwärtig Bestände an natürlichem Wald vorkommen, oder wenigstens bis vor kurzem auftraten. Die Grenzen der Waldarten sind fließend. Für jede Art Wald werden unten typische Bäume (je zwei Beispiele) gezeigt. Der Mensch hat etwa 30% dieser Wälder abgeholt, vor allem in den dichtbesiedelten Gegenden der gemäßigten Zonen. Die Zahlen für den jährlichen Gesamteinschlag, nach Regionen aufgeteilt, zeigen, daß die wirtschaftliche Bedeutung der Wälder in tropischen und gemäßigten Regionen etwa gleich groß ist. Dennoch verarbeitet die Industrie einen weit größeren Anteil an Weichhölzern, vor allem aus Nadelwäldern der kalten, gemäßigten Regionen.



Hauptproduzenten von Hartholz sind Westafrika, Malaysia, Südamerika, die Vereinigten Staaten von Amerika, Deutschland, Japan, Frankreich und Rumänien. Es werden bedeutend mehr Hartholz- als Weichholzarten kommerziell genutzt. Unter den in den gemäßigten Klimazonen, vor allem in Europa und Nordamerika, beheimateten Hartholzarten finden sich so bekannte Tropenhölzer wie Teak, Mahagoni, Sapelli, Afromosia, Iroko, Meranti und Sipo. Allerdings fanden einige von ihnen erst in der Nachkriegszeit weitere Verbreitung, als man angesichts des überall herrschenden Nutzholzmangels die Waldgebiete auf der ganzen Welt nach 'neuen' Holzarten durchforschte.

Es gibt noch eine ganze Anzahl nicht industriell genutzter Hartholzarten. Der Hauptgrund dafür, daß sie bisher nicht herangezogen wurden, liegt darin, daß man sie (noch) nicht wirtschaftlich gewinnen kann. In dem Maße, wie die Bestände an bekannten Holzarten schwinden, wird man sich den heute weniger bekannten, vor allem den südamerikanischen Hölzern, zuwenden. Oft werden Bestände an tropischen Hartholzbäumen nach dem Einschlag nicht wieder aufgeforstet, weil es noch riesige unerschlossene Gebiete gibt. Doch dauert es bei vielen dieser großen Bäume über hundert Jahre, bis sie vollständig herangewachsen sind.

Holzfällen

Bäume werden mit motorbetriebenen Kettensägen gefällt, bei denen endlose Gelenk-Gliederketten mit sägezahnförmigen Ansätzen mit hoher Drehzahl umlaufen. Die Axt wird, selbst in Entwicklungsländern, nur noch selten zum Fällen benutzt. Kettensägen arbeiten rasch und gestatten ein Fällen auch der stärksten Bäume. Die genaue Arbeitsweise ermöglicht es, umstehende Bäume weitgehend zu schonen.

Krone und Äste werden an Ort und Stelle abgetrennt. Vor dem Abtransport durch Traktor oder Zugpferd (in Teakholzwäldern gelegentlich auch durch Elefanten) zu den Forststraßen werden die Stämme in passende Längen geschnitten. Dort nehmen sie Spezial-Lastwagen mit eigenem Hebezeug auf und bringen sie zu den Sägewerken. In den riesigen Waldgebieten Kanadas transportiert man die Stämme mit Hilfe von Seilbahnen an Sammelpunkte.

In nördlichen Ländern, wo die Wälder von zahlreichen Flüssen durchzogen sind, stapelt man im Winter die Stämme auf das Eis. Nach dem Schmelzen des Eises im Frühjahr treiben sie zu den an den Mündungen der Flüsse gelegenen Sägewerken. Bisweilen stellt man aus Baumstämmen Flöße zusammen, die dann von Schleppern zu den Sägewerken gebracht werden.

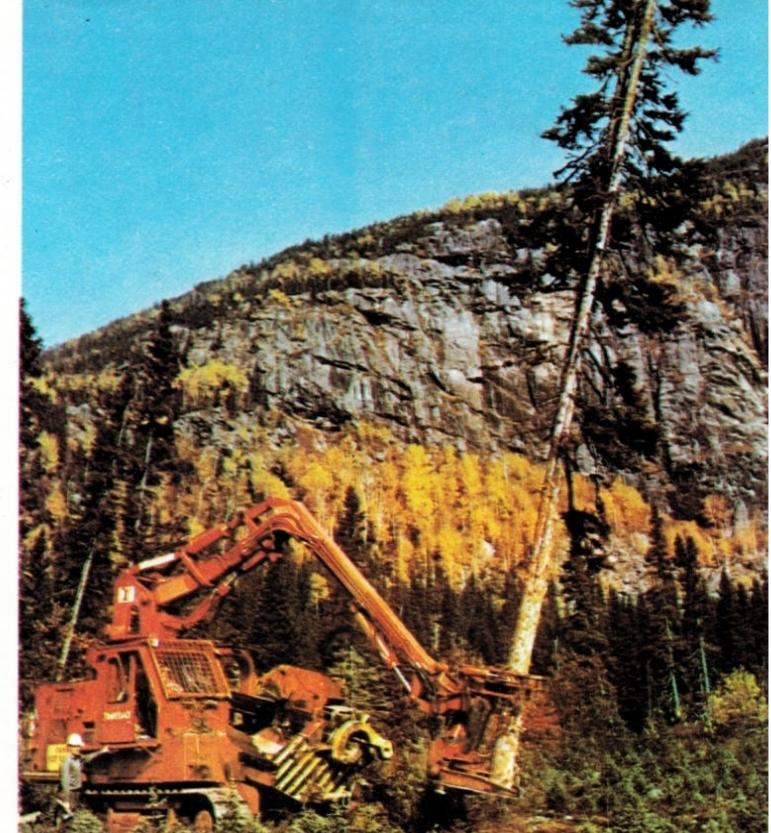
In Kanada, Schweden, Finnland, Norwegen und der UdSSR werden während des Sommers Millionen von Stämmen über die Flüsse zu Sägewerken geflößt. Auch wenn darüber hinaus noch riesige Mengen über Schiene und Straße befördert werden, bleibt das Flößen ein äußerst wirtschaftliches Transportverfahren.

Sägewerke

Neuzeitliche Sägewerke sind weitgehend automatisiert. Stämme und Schnittholz werden über Förderbänder von einer Stelle zur nächsten befördert. Die Bearbeitung geschieht mit Hochgeschwindigkeits-Hobel- und -Sägemaschinen sowie Sortier- und Klassifizierungseinrichtungen, die oft über einen Computer miteinander in Verbindung stehen.

In den gigantischen Sägewerksanlagen der Hauptlieferländer, die nach den fortschrittlichsten technischen Verfahren arbeiten, werden die Stämme gewöhnlich erst entrindet und nach Größe und Güte sortiert, bevor ein Kettenförderer oder ein Transportband sie über eine Leiteinrichtung zum Sägegatter transportiert.

An einer Steuertafel entscheidet ein Aufseher darüber, wie



Oben: Bäume liefern das Ausgangsmaterial für den größten Teil des Holzbreis (Pulpe) in der Papierfertigung. Allerdings werden auch viele andere Pflanzenfasern für bestimmte Papiersorten wie Hadernpapier o.ä. verwendet.

Oben rechts: Diese Stämme verbleiben bis zum Frühling auf dem gefrorenen Fluß.

Rechts: Der Transport auf den Wasserstraßen ist eine günstige Möglichkeit, die Stämme zum Sägewerk zu bringen. Bisweilen werden sie wie hier zu festen Flößen verbunden, die dann von einem Schlepper befördert werden. Im Hintergrund sind Lastkähne voller Holzabfall, der zu Holzbrei verarbeitet wird.

der jeweilige Stamm zu schneiden ist, damit er den günstigsten Nutzholzertrag liefert; das eigentliche Arbeitsverfahren ist automatisiert. Der Stamm kann durch Druck auf entsprechende Knöpfe der Steuertafel gedreht und an die richtige Säge geleitet werden, ebenso wird das Schnittholz zu den Lagerstapeln dirigiert.

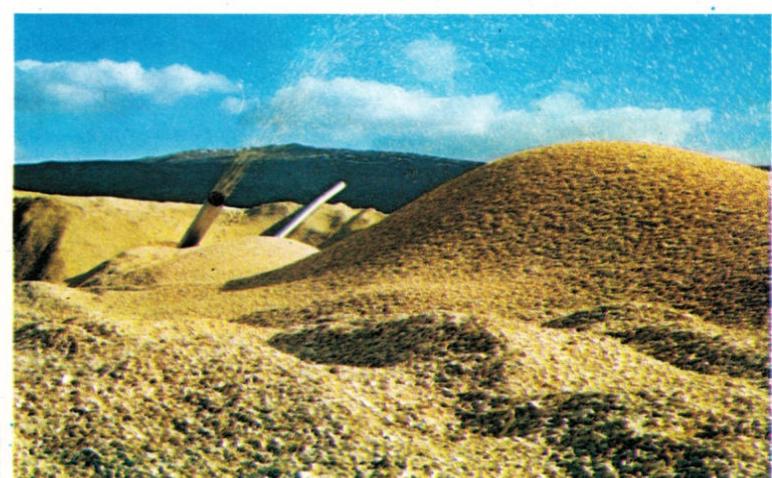
Gattersägen bestehen aus einem Rahmen mit einer Vielzahl parallel zueinander arbeitender Sägeblätter; sie zerschneiden den Stamm in einem Arbeitsgang in Bretter. Es wird allerdings auch mit großen Bandsägen gearbeitet, bei denen ein endloses Sägeblatt mit hoher Geschwindigkeit über zwei große Rollen läuft. In kleineren Sägewerken finden Kreissägen Verwendung, die außerdem für Querschnitte herangezogen werden. Damit die Sägen über einen möglichst langen Zeitraum hin optimal arbeiten und damit möglichst wenig Holz in Form von Sägemehl verloren geht, müssen die Sägeblätter sorgfältig nach Stärke und Zähnung ausgewählt sowie gewartet werden.

Die aus dem Sägegatter kommenden Bretter, Bohlen und Balken werden beidseitig auf gleiche Breite gehobelt. Der gesamte Holzabfall geht automatisch an Verbrennungseinrichtungen, die einen großen Teil des Energiebedarfs für den Betrieb des Sägewerks liefern. Große Sägewerke können an einem Arbeitstag Tausende von Stämmen zu Nutzholz verarbeiten.

Geschnittene Bretter und Bohlen gehen über Transportbänder an Kontrolltischen vorbei, wo das geschulte Auge von Sägewerkern sie auf Mängel untersucht. Dies können sein:



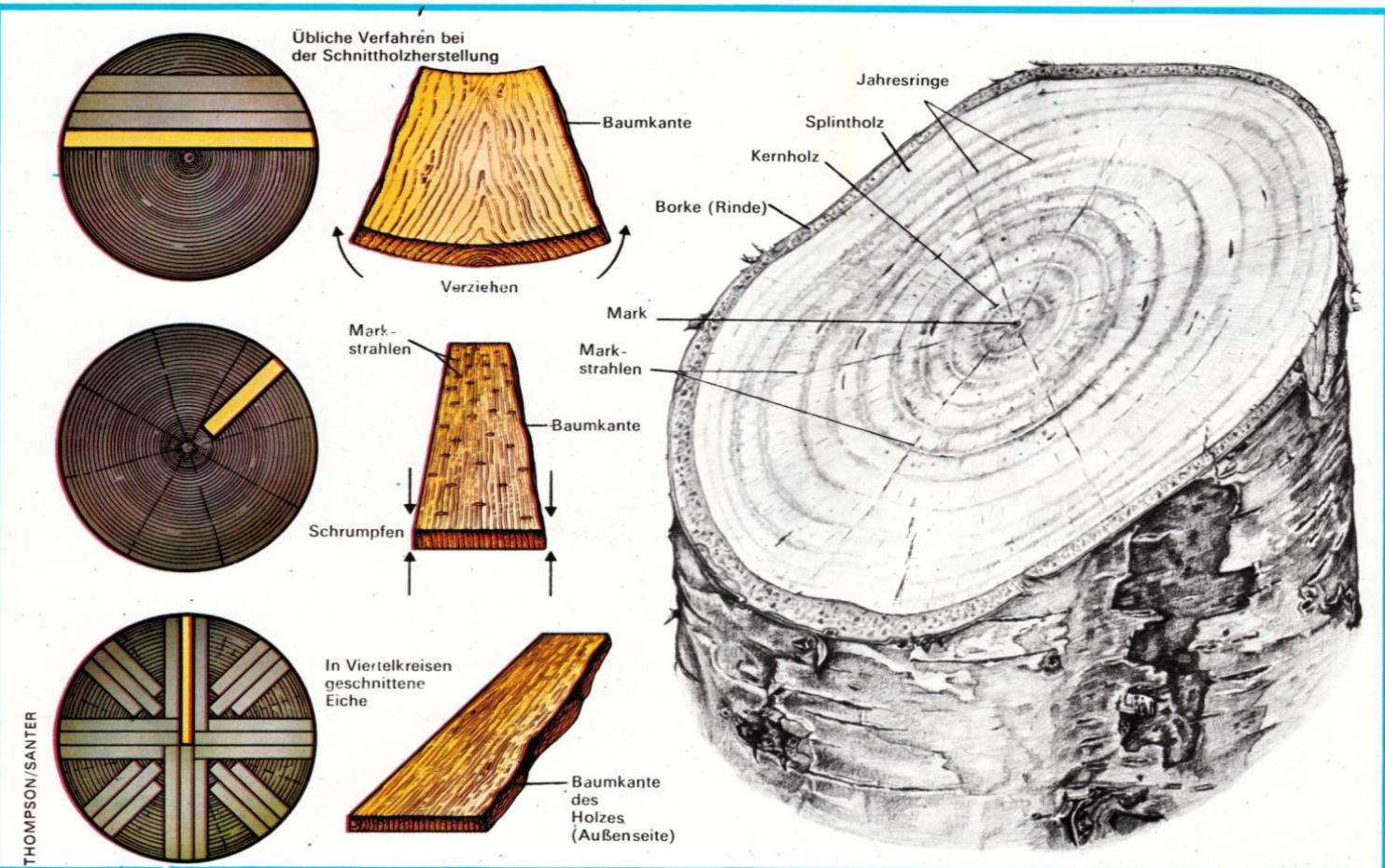
Oben: Eine Entrindungsmaschine, die die Borke (Rinde) von den Stämmen entfernt, bevor sie zerkleinert werden. Sie besteht aus einer großen sich drehenden Trommel mit zahlreichen Schlitten. Durch die Rotation der Trommel werden die Stämme gegeneinander geworfen und die Rinde löst sich.
Unten: Holzspäne, die von der Holzzerkleinerungsmaschine kommen, werden durch Rohrleitungen auf große Halden geblasen, bevor sie auf chemischem Wege zu Papierbrei verarbeitet werden.





Links: Holzstapel in einer Holzhandlung. Geschlagenes Holz wird in Sägewerken zu Balken, Bohlen und Brettern gesägt und muß dann trocknen, damit der Wassergehalt sich auf weniger als 24% vermindert, wie zur Möbelherstellung erforderlich.

Unten: Querschnitt durch einen Baumstamm. Zu erkennen sind das Kernholz aus einem frühen Zeitpunkt des Wachstums, das Splintholz, das in Ringen um das Kernholz wächst, sowie die Markstrahlen zum Stoff-, Wasser- und Gasaustausch zwischen den Geweben.



Ästigkeit, Drehwuchs, Graukern (Fehler im anatomischen Aufbau) sowie Spannrückigkeit oder exzentrischer Wuchs (Fehler der Stammform) und sonstige Mängel, die den Handels- und Gebrauchswert des Holzes vermindern. Jedes Stück wird maschinell mit dem Zeichen seiner Qualitätsstufe versehen, und zwar ohne den Weg des Schnittholzes über das Transportband zu unterbrechen.

Auf die gleiche Weise können die Stücke nach ihrer Festigkeit klassifiziert werden. Fachkräfte tun dies nach Augenschein, aber es gibt auch Maschinen, die mit Hilfe eines Computers alle für die Festigkeitsmessung erforderlichen Daten erfassen und die entsprechenden Festigkeitswerte für das Holz auswerfen.

Vor dem Auf stapeln zum Trocknen wird das Schnittholz maschinell nach der Größe sortiert. Zu diesem Zeitpunkt ist das Holz noch 'grün', das heißt, es ist feucht und muß bis auf

einen Wassergehalt von höchstens 24% des Trockengewichts getrocknet werden, bevor man es verwenden kann. Gegenwärtig geschieht dies vorwiegend in klimatisierten Trocknungsräumen, in denen dem Schnittholz Wasser unter überwachten Bedingungen entzogen wird. Selbstverständlich kann es auch so aufeinander gestapelt werden, daß die zwischen den Schnitthölzern zirkulierende Luft die Feuchtigkeit aufnimmt, doch leistet der Trocknungsraum innerhalb von Stunden das, wozu die Natur Monate braucht.

Da Holz ein natürlicher Werkstoff ist, ist es für Krankheiten und die Angriffe von Schädlingen anfällig, wobei der Holzwurm und die Trockenfäule am häufigsten auftreten. Mit chemischen Mitteln kann man dagegen angehen. Holz läßt sich auch mit entflammungshemmenden chemischen Mitteln behandeln, damit es die gesetzlichen Vorschriften des Feuerschutzes erfüllt.

HÖRHILFEN

Die Entwicklung der elektronischen Hörgeräte war der größte Fortschritt, der zur Verbesserung des Hörempfindens gehörgeschädigter Menschen gemacht wurde. Heute benutzen Millionen Menschen Hörhilfen.

Alle Hörgeräte dienen der Verstärkung akustischer Signale. Man kann jedes Gerät in vier Baugruppen unterteilen: das MIKROFON, den VERSTÄRKER, den Kopfhörer, eine elastische Schalleitung oder ein Ohrpaßstück, sowie die Spannungsversorgung für den Verstärker.

Das Mikrofon nimmt die akustischen Signale der Umgebung auf und setzt sie in elektrische Signale um, die dann dem Verstärker zugeführt werden. Er verstärkt sie so weit, daß seine Ausgangsspannung über eine elastische Schalleitung dem Kopfhörer zugeführt werden kann. Als Spannungsquelle setzt man eine kleine, leistungsfähige Batterie ein. Das

Rechts: Diese Abbildung zeigt, wie das Hinter-dem-Ohr-Gerät STAR 6 der Firma Bosch von innen aussieht. Erst die moderne Elektronik machte es möglich, leistungsstarke Hörgeräte auch so klein zu bauen (die Abbildung ist ungefähr zweifach vergrößert.)

ROBERT BOSCH

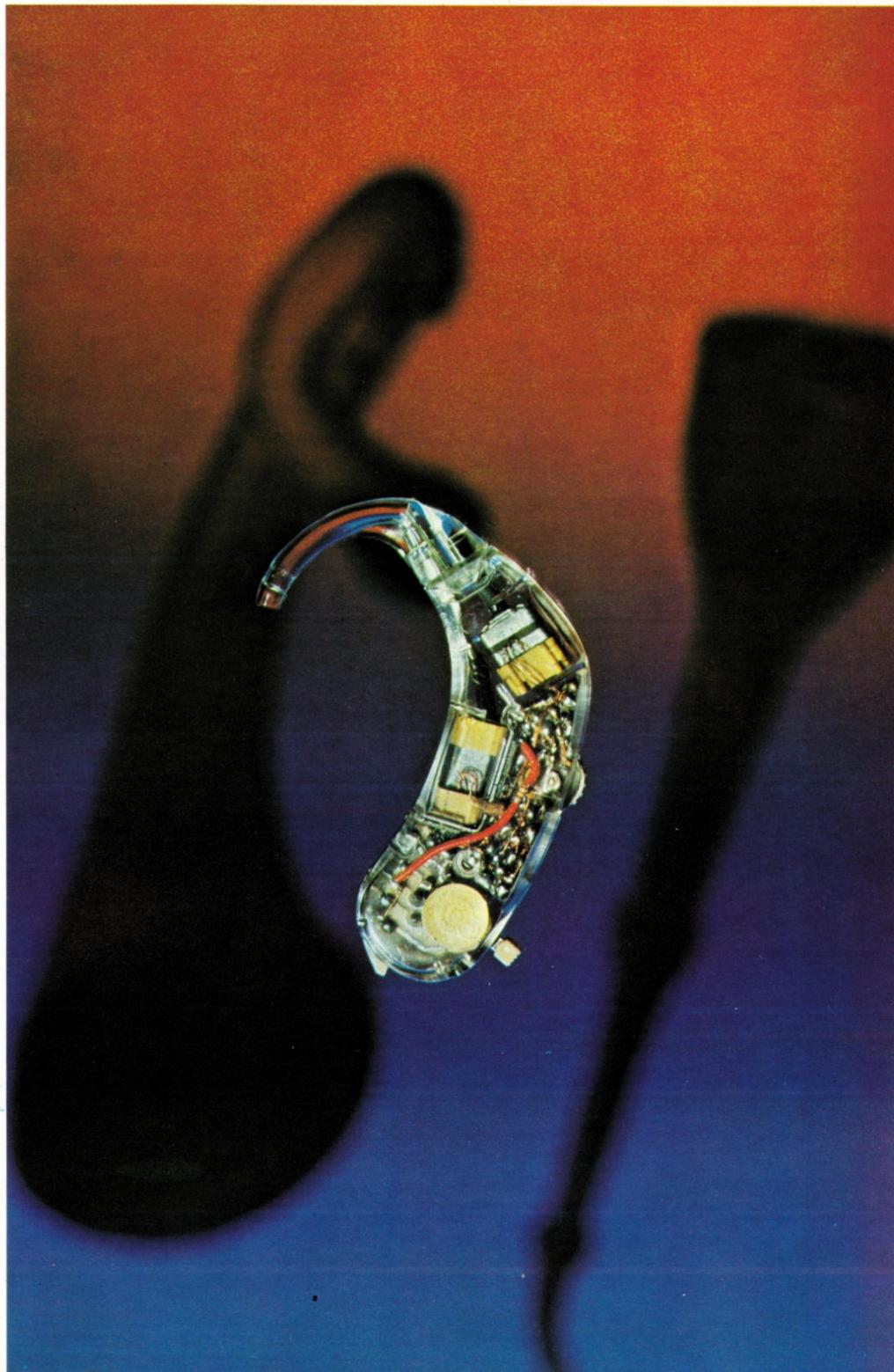


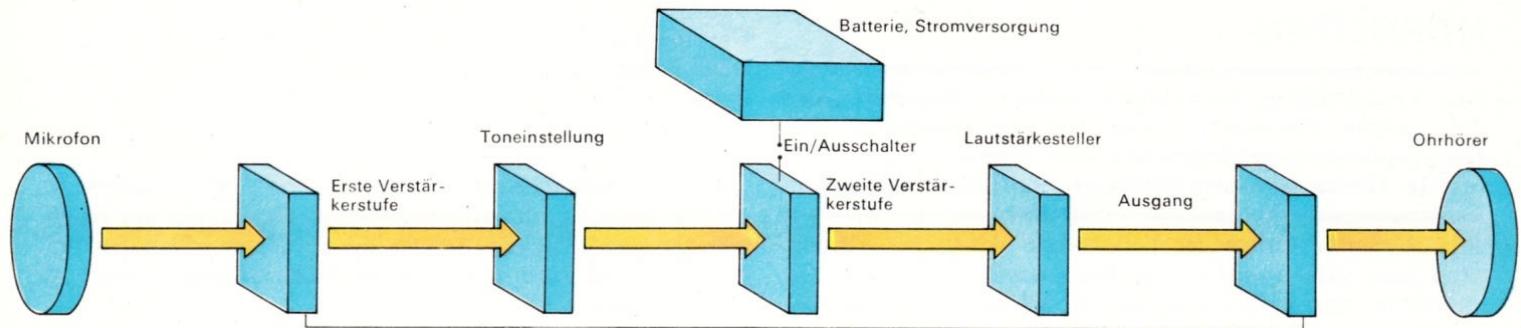
Oben : Ein hinter dem Ohr zu tragendes Hörgerät. Dieses Modell ist die Ausführung in brauner Farbe für dunkelhaarige Personen. Die Leistungsfähigkeit dieser Geräte ist im allgemeinen schwächer als z.B. die der Taschengeräte, jedoch werden sie aus kosmetischen und praktischen Gründen von vielen Gehörbeschädigten vorgezogen.

Ohrpaßstück bzw. die elastische Schalleitung ist eigentlich keine Baugruppe des Hörgerätes, aber es ist zur individuellen Anpassung des Gerätes an den Behinderten notwendig. Es wird aus Kunststoff hergestellt und nach einem Ohrabdruck des Benutzers geformt.

Die Hörhilfen selbst können in drei Typen unterteilt werden, nämlich in Taschengeräte, in Geräte, die am Kopf getragen werden und in solche, die als Unterrichtshilfen bei Gruppen und zum gemeinsamen Gehörtraining eingesetzt werden können.

Da Taschengeräte in größerem Format gebaut werden können, sind sie leistungsfähiger und können bei allen Arten und Abstufungen der Taubheit verwendet werden. Ihre Größe schreckt allerdings viele Leute ab, sie ziehen die kleineren Geräte vor, die man unauffällig am Ohr tragen kann. Sie lassen sich in drei Hauptgruppen unterteilen: in Geräte, die hinter dem Ohr getragen werden; in Geräte, die in Brillengestellen untergebracht sind, und in Geräte, die voll-



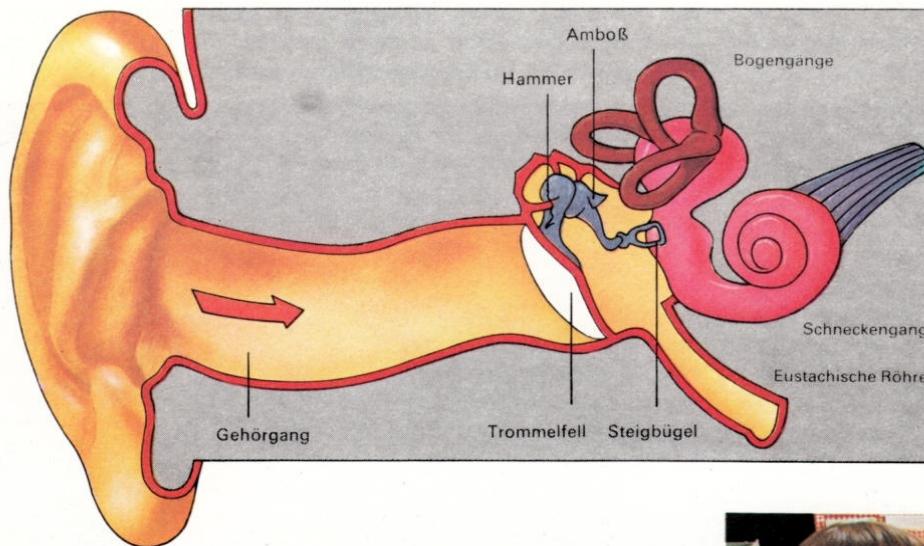


Oben: Der Schall wird vom Mikrofon aufgenommen, in elektrische Signale umgewandelt und über drei Verstärkerstufen verstärkt. Das Ohr (unten) nimmt das Signal auf.

Rechts: Frequenzgangkurven, die am Ohrstück nach der Verstärkung gemessen wurden. Die unteren Kurven erhält man durch einen niedrigen Pegel des akustischen Signals am Eingang der Hörhilfe. Der maximale akustische Ausgangspegel wird in den oberen Kurven gezeigt. Unterschiedliche Mikrofontypen besitzen auch unterschiedliche untere Grenzfrequenzen, wohingegen verschiedene Typen von Ohrstücken höhere Frequenzen bevorzugen. Die Ohrstücke wirken auch auf den maximalen akustischen Ausgangspegel.

Unten: Mit einem Kehlkopfmikrofon kann der Schwerhörige seine eigene Sprachcharakteristik verbessern. Dazu werden zwei winzige Elektroden vorne am Hals angebracht. Sie nehmen die Bewegung der Stimmbänder auf.

DIAGRAM



ständig dem äußeren Ohr angepaßt sind. Die Leistung dieser kleinen Hörhilfen ist im allgemeinen sehr viel geringer als die der Taschengeräte, davon abgesehen haben sie jedoch ähnliche Kenndaten. Hörgeräte, die für Gruppen bestimmt sind, werden in Schulen für Hörbehinderte eingesetzt; bei diesen Geräten ist die Größe unerheblich. Sie besitzen Mikrofone und Kopfhörer hoher Qualität; die Leistungsfähigkeit der Anlagen wird so weit wie möglich ausgenutzt.

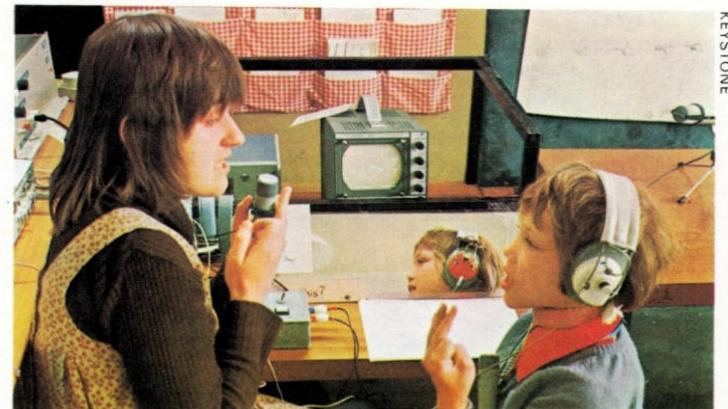
Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit der Hörhilfen wird im wesentlichen durch die Schallwandler bestimmt, also dem Mikrofon und dem Ohrhörer. Das Verhalten der Wandler läßt sich anhand von Frequenzgangkurven nachweisen. Dies sind grafische Darstellungen, aus denen hervorgeht, wie sich das Mikrofon oder der Ohrhörer im Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 000 Hz verhält.

Niedrige Frequenzen begrenzt das Mikrofon, während bei hohen Frequenzen der Ohrhörer die Leistungsfähigkeit einschränkt.

Der Verstärker besteht je nach Verstärkungsgrad aus drei oder vier Transistoren. Der Frequenzgang und die Ausgangsleistung des Verstärkers sind so gewählt, daß dieser keine Begrenzung der Hörhilfe verursacht. Allerdings ist der Beitrag des Rauschens, den die erste Transistorverstärkerstufe erzeugt, wichtig. Dieses Geräusch hört man ständig als Hintergrundrauschen. Es wirkt sehr störend, wenn es nicht durch Schaltungsmaßnahmen gering gehalten wird.

Die größte Lautstärke, die das Hörgerät liefert, wird als maximale akustische Ausgangsleistung bezeichnet. Sie hängt von der Leistungsfähigkeit des Ausgangstransistors und des Ohrhörers ab; hinzu kommt der von der Batterie gelieferte

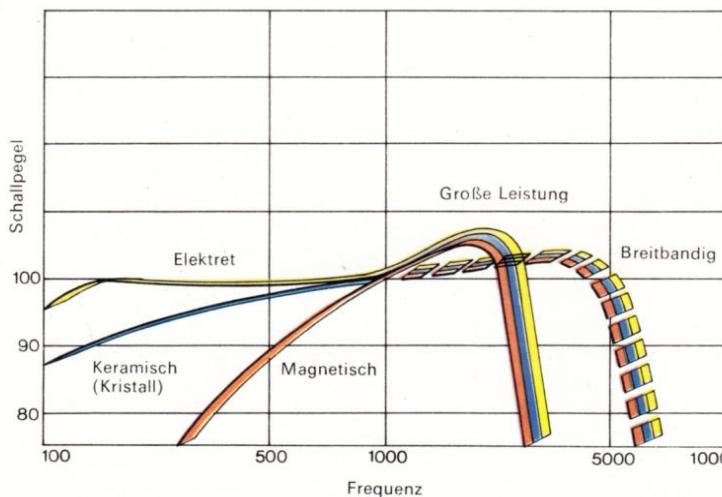
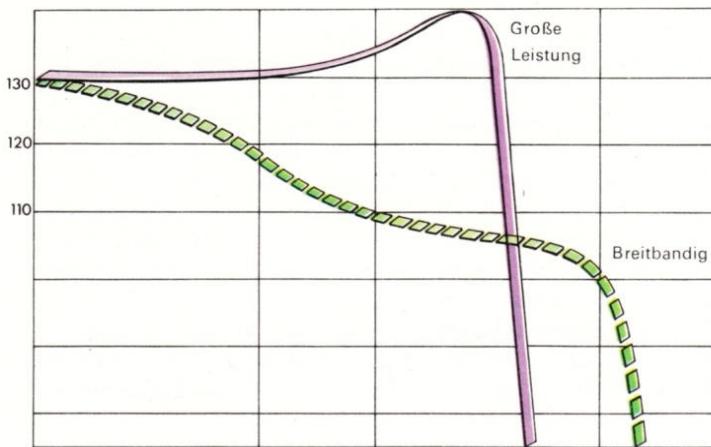


KEYSTONE

Strom, der nur begrenzt verfügbar ist. Je kleiner die Batterie, desto geringer der Strom, der während einer annehmbaren Lebensdauer von der Batterie geliefert werden kann. In gleichem Maße sinkt die Ausgangsleistung des Hörgerätes.

Die geforderte akustische Verstärkung ist vom Grad der Taubheit abhängig. Sie schwankt von 40 dB (Dezibel), was eine 100fache Verstärkung bedeutet, bis zu 90 dB (10 000fache Verstärkung). Der Wirkungsgrad der Schallwandler liegt weit unter 100%, so daß die elektrische Verstärkung sehr viel größer als die akustische sein muß. Die Verstärkung ändert sich mit der Frequenz; die meisten Hörgeräte bevorzugen die höheren Frequenzen. Dies ist vorteilhaft, da sich dadurch auch die Sprachverständlichkeit erhöht.

Der Ohrhörer beeinflußt die Wirkungsweise der Hörhilfe im Frequenzgang, in der Verstärkung und in der maximalen akustischen Ausgangsleistung; er wird bei den Taschengeräten als Hilfsmittel zur Änderung der Leistung des Gerätes und damit zur Anpassung an die individuellen Erfordernisse des Hörgeschädigten ausgetauscht.



Frequenzgangkurven

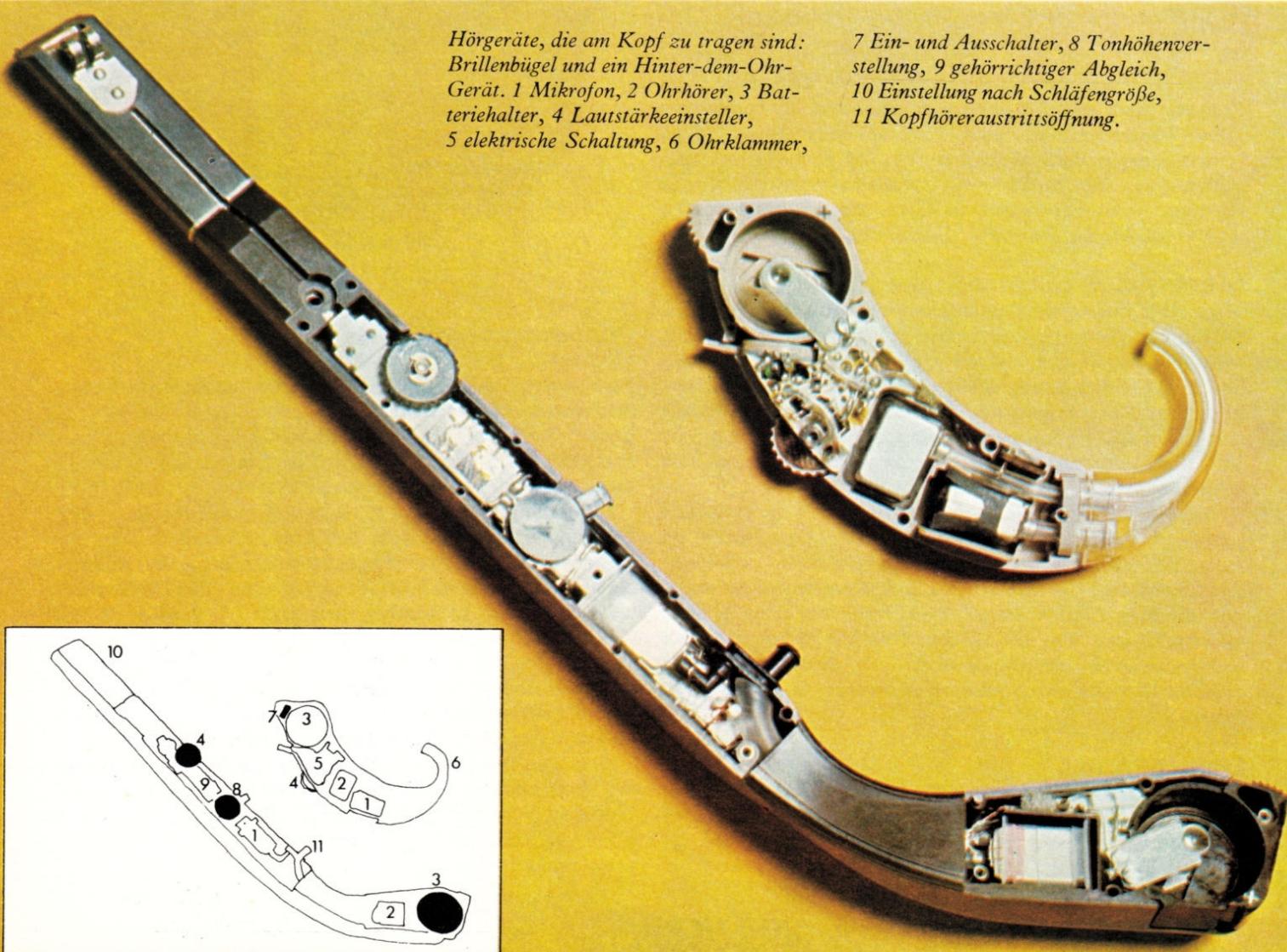
Die Ausführung der Hörgeräte lässt sich nun nochmals nach der akustischen Ausgangsleistung grob in drei Gruppen einteilen, und zwar in Geräte mit niedriger, mit mittlerer und mit hoher Ausgangsleistung. Hörhilfen mit niedriger Ausgangsleistung liefern höchstens 110 dB Schalldruckpegel, mittlere 120 dB und Hochleistungshörgeräte 130 dB oder mehr. Es sei darauf hingewiesen, daß der Schalldruckpegel einer Düsenmaschine bei 130 dB liegt und daß es Taubheitsgrade gibt, bei denen der Behinderte diesen Schalldruck nicht wahrnimmt, wohl aber Schalldrücke, die darüber liegen.

Manche Hörhilfen besitzen einen Schalter, mit dem man das Mikrofon abschalten (mit M gekennzeichnet) und einen induktiven Tonabnehmer zuschalten kann (mit T bezeichnet, weil er ursprünglich zum Benutzen des Telefons gedacht war). Über diesen Tonabnehmer kann man nun elektromagnetische Signale aufnehmen, die ein elektrischer Strom erzeugt, der eine den Wohnraum umgebende Drahtschleife durchläuft. Bewegt sich der Benutzer innerhalb der Schleife, kann er die entsprechenden Signale hören, ohne direkt den Verstärker anzuschließen. Solche Systeme lassen sich auch in Schulen und zu Hause einsetzen, wo man sie zum Abhören des Fernsehtones oder des Rundfunkgerätes benutzen kann. Das System hat den Vorteil, daß die Sprache direkt von einem Mikrofon in unmittelbarer Nähe des Sprechers zur Hörhilfe gelangt. Physikalische Störungen wie Interferenzen und Hintergrundrauschen beeinflussen den Hörvorgang nicht.

Zur Überprüfung der Leistung eines Hörgerätes wird ein konstantes akustisches Signal im Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 000 Hz zum Empfänger geführt und am Ausgang des akustischen Wandlers (z. B. Ohrhörer) nachgemessen.

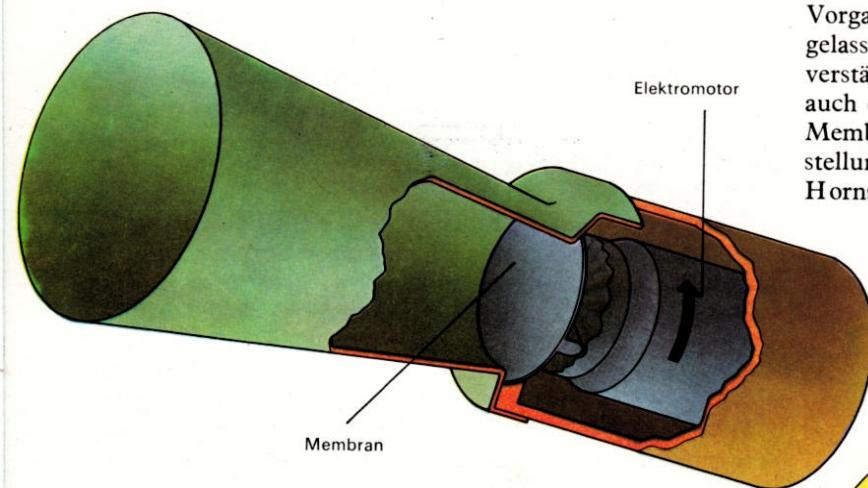
Hörgeräte, die am Kopf zu tragen sind:
Brillenbügel und ein Hinter-dem-Ohr-Gerät. 1 Mikrofon, 2 Ohrhörer, 3 Batteriehalter, 4 Lautstärkeeinsteller, 5 elektrische Schaltung, 6 Ohrklammer,

7 Ein- und Ausschalter, 8 Tonhöhenverstellung, 9 gehörrichtiger Abgleich, 10 Einstellung nach Schläfengröße, 11 Kopfhöreraustrittsöffnung.



HORN UND HUPE

Mit der wachsenden Geschwindigkeit von Kraftfahrzeugen seit Ende des 19. Jahrhunderts wurden akustische Warneinrichtungen erforderlich.



Oben: Ein elektrisch angetriebenes pneumatisches Horn. Der Motor treibt die gewellte Scheibe an, die eine Membran in Schwingungen versetzt, wodurch ein lauter Ton entsteht.

Rechts: Ein modernes Elektrohorn (Aufschlaghorn). Strom fließt durch die Spule und die Membran, die vom Magnetfeld angezogen, die Kontakte öffnet. Der Stromfluß wird unterbrochen, die Membran kehrt in ihre Ausgangsstellung zurück. Durch Wiederholen des Vorgangs entstehen Schwingungen.

Die erste akustische Warneinrichtung, die allgemeine Verbreitung fand, war die sogenannte Ballhupe, ein trompetenartiges Instrument, das durch Druck auf einen Gummiball an seinem unteren Ende betätigt wurde. Die Luftschwünge regten (wie bei bestimmten HOLZBLASINSTRUMENTEN) ein Rohrblatt zum Schwingen an. Den dadurch entstehenden Ton verstärkte die Form des Horns.

Mechanisch-pneumatische Hörner

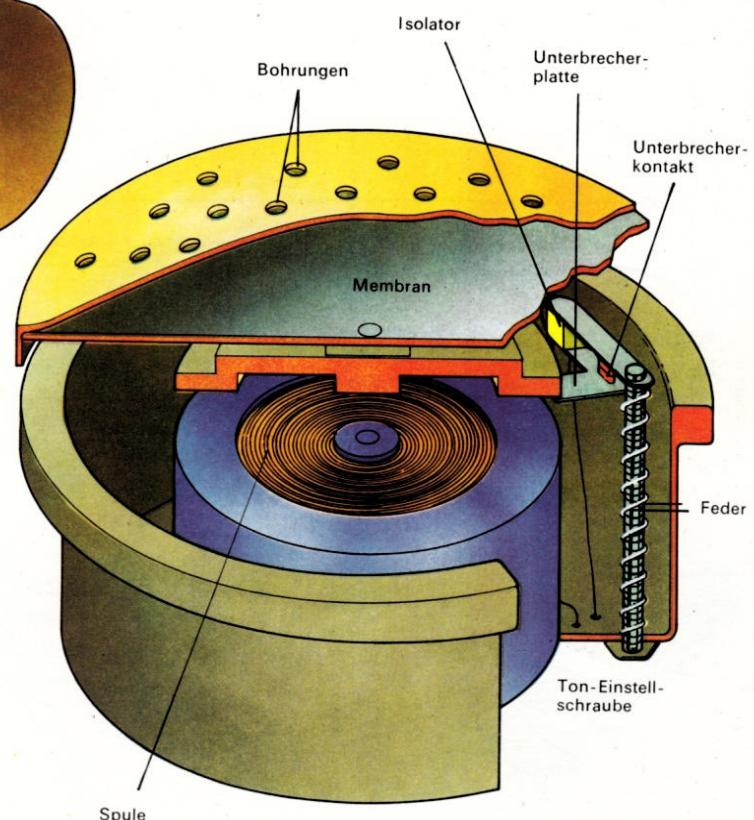
Wirksamer konnte mit dem mechanisch arbeitenden pneumatischen Horn gewarnt werden. Hier erzeugte eine schwingende Membran (im Prinzip ähnlich wie bei einem LAUTSPRECHER) den Ton. Die Betätigung des Horns erfolgte über einen federbelasteten Druckkolben mit gewellter Oberfläche, wodurch eine hochfrequente Resonanzschwingung hervorgerufen wurde. Vor der Membran lag ein Schalltrichter, der den Ton verstärkte.

Diese Art von Signalhörnern fand sich bis in die zwanziger Jahre, obschon das elektropneumatische Horn bereits im Jahre 1912 eingeführt wurde. Bei ihm versetzte ein Gleichstrommotor eine gewellte Scheibe in Schwingungen, die ihrerseits die Membran erregten. Dieses Horn hatte einen höheren und kräftigeren Ton als das handbetätigtes Horn. Bei einer anderen Ausführung des handbetätigten Horns wurde eine gewellte Scheibe über eine Handkurbel in Umdrehung gesetzt.

Elektrohörner

Ein elektrisches Horn der heute üblichen Bauweise besteht aus einer Spule und einer Metallmembran, zwischen denen Unterbrecherkontakte liegen. Beim Schließen des Hornkontakte fließt Strom durch die Wicklung; dabei wird ein

Magnetfeld aufgebaut, das die Membran an die Spule heranzieht. Durch die Bewegung der Membran werden die Kontakte geöffnet. Der Stromfluß zur Spule wird in ähnlicher Weise wie bei einer elektrischen Klingel unterbrochen. Da in der Spule kein Strom mehr fließt, bricht das Magnetfeld zusammen, wodurch die Membran in Richtung der Spule federt. Dadurch werden die Kontakte wieder geschlossen. Der Vorgang wiederholt sich so lange, bis der Hornknopf losgelassen wird. Ein Schwingteller oder ein Schwingbalken verstärkt die Schwingungen der Membran. Oft findet sich auch eine Einstellschraube, mit deren Hilfe der Freiweg der Membran durch eine Änderung der Öffnungs- und Schließstellungen der Kontakte und somit auch die Tonhöhe des Horns beeinflußt werden kann.



Pneumatische Hörner (Druckluft-Fanfare)

Eine andere Ausführung des Signalhorns arbeitet mit Druckluft von einem mit Gleichstrom betriebenen Kompressor, an den gewöhnlich ein, drei oder fünf Schalltrichter angeschlossen sind; hierdurch werden verschiedene Tonfrequenzen erzeugt (siehe BLECHBLASINSTRUMENTE).

Der Kompressor arbeitet nach dem Drehschieberprinzip. Bei einigen Hörnern wird die Luft mechanisch über ein Plattenventil den einzelnen Schalltrichtern zugeführt, wodurch die unterschiedlichen Töne erzeugt werden. Das Plattenventil kann von einem Elektromagneten gesteuert werden, so daß die Hörner entweder nacheinander (Tonfolge) oder gemeinsam (Mehrklanghorn) betrieben werden können. Die Betriebsart läßt sich über einen Schalter einstellen. In der Bundesrepublik Deutschland dürfen von Privatleuten keine Hörner verwendet werden, die Tonfolgen erzeugen können.

Damit an den Hornknopfkontakten durch die zum Betrieb des Kompressormotors erforderlichen hohen Ströme kein Funkenübersprung stattfindet, steuert der Hornknopf lediglich ein Relais an, dessen Kontakte den Stromkreis zum Kompressormotor schließen.

HUBSCHRAUBER

Die theoretischen Grundlagen für den Bau eines Hubschraubers sind seit Jahrhunderten bekannt. Die Technologie und die Werkstoffe aber, die hierfür Voraussetzung sind, wurden erst im zwanzigsten Jahrhundert entwickelt.

Der erste bekannte Entwurf eines Hubschraubers stammt von Leonardo da Vinci (1452 bis 1519). Danach wurden viele Hubschraubermodelle von frühen Flugpionieren, wie Sir George Cayley (im Jahre 1792), entworfen. Der erste Hubschrauber, der einen Piloten tragen konnte, wurde im Jahre 1907 von Paul Cornu in Frankreich gebaut. Er wurde von einem 18-kW-Motor angetrieben. Unüberwindliche Stabilitäts- und Konstruktionsprobleme verzögerten aber, im Vergleich zu konventionellen Flugzeugen, die Entwicklung des Hubschrauberbaus.



Oben: Der Hubschrauber 'Gazelle', eine englisch/französische Gemeinschaftsproduktion bei einer Flugdemonstration in Peterborough in England.



Unten: Der BO105M, ein Militärhubschrauber der Firma Messerschmitt. Er dient der Bundeswehr als Observations- und Panzerabwehrhubschrauber. Der BO105M ist seit 1979 im Einsatz.

Der erste brauchbare Hubschrauber war der Focke-Achgelis Fa. 61. Diese Konstruktion mit zwei Rotoren (Drehflügel) machte ihren ersten Flug im Jahre 1936. Dieser Typ wurde zu dem Modell Fa. 223 weiterentwickelt, der in einer begrenzten Anzahl von Focke-Wulf im Jahre 1940 gebaut wurde. Eine andere, sehr erfolgreiche deutsche Konstruktion war der Flettner Fl. 265 aus dem Jahre 1940; seine letzte Version, der Flettner 282 (1941), war der meistgeflogene deutsche Hubschrauber des Krieges. Der erste amerikanische Hubschrauber, der VS-316A (später unter der Bezeichnung R-4), wurde von dem in Rußland geborenen Ingenieur Igor Sikorsky entworfen und machte seinen ersten Flug im Jahre 1942.

Der Rotor

Ein konventionelles FLUGZEUG mit starren Tragflächen fliegt, weil bei der Vorwärtsbewegung durch die Luft an seinen Tragflächen Auftrieb erzeugt wird. Bei einem Hubschrauber oder TRAGSCHRAUBER (Autogiro) werden die Tragflächen durch einen Satz dünner Flächen, Blätter genannt, ersetzt, die an einem Mast befestigt sind. Die Drehung dieser Blätter oder des Rotors erzeugt den zum Fliegen notwendigen Auftrieb.

Sowohl ein Tragschrauber als auch ein Hubschrauber steigt, wenn der Gesamtauftrieb des Rotors größer ist als das Gewicht der Flugmaschine. Der Hubschrauber schwebt, wenn die Summe der Auftriebskräfte des Rotorsystems gleich dem Gewicht der Maschine ist.

Ein Hubschrauber hat einen Rotor, der von einem Motor angetrieben wird. Ein Tragschrauber dagegen hat — ähnlich wie bei der Windmühle — einen Rotor, dessen Kraft vom Luftstrom, der durch den Rotor bläst, erzeugt wird. Deshalb benötigt der Tragschrauber eine zusätzliche Vorrichtung, meistens einen motorgetriebenen Propeller, um horizontal durch die Luft gezogen oder geschoben zu werden.

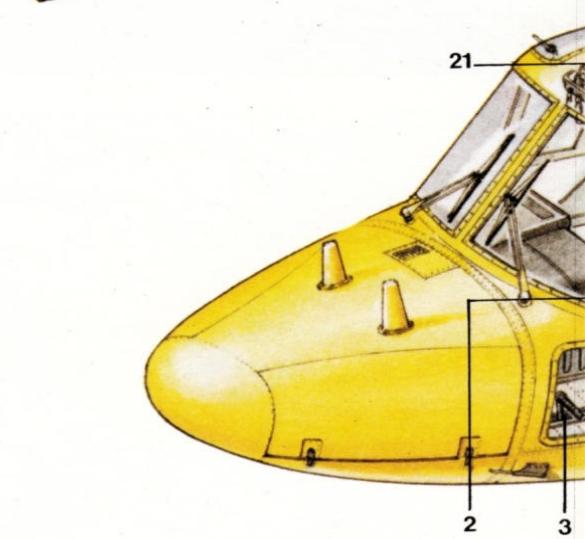
Schweben und Steigen

Der drehende Rotor beschreibt einen Kreis in der Luft, den sogenannten Drehkreis; die gedachte Ebene heißt Drehkreisebene. Der vom Rotorsystem erzeugte Gesamtauftrieb wirkt senkrecht durch das Zentrum dieser Ebene. Dies bedeutet, daß beim schwebenden Hubschrauber die Auftriebsresultierende senkrecht nach oben durch das Zentrum des Rotors wirkt. Um zu steigen, muß der Auftrieb des Rotorsystems vergrößert werden. Dies geschieht durch die gleichmäßige Vergrößerung des Anstellwinkels aller Blätter; das ist der Winkel, mit dem die Blattvorderkante auf den Luftstrom trifft. Hierdurch wird der Gesamtauftrieb vergrößert, ohne die Wirkrichtung zu verändern. Der Pilot steuert dies mit Hilfe des Verstellhebels für die kollektive Blattsteuerung (Blattanstellwählhebel).

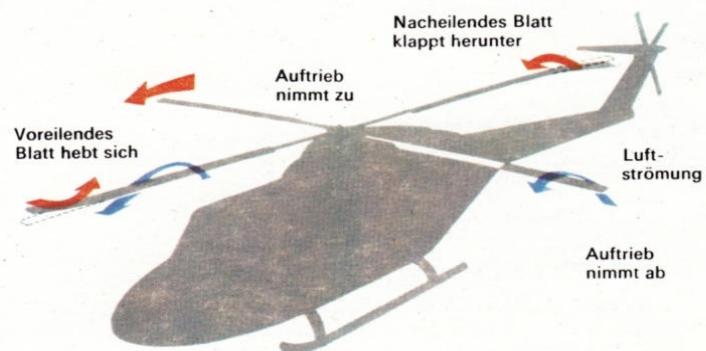
Um den Hubschrauber vorwärts zu bewegen, muß die Rotorkreisebene leicht nach vorne geneigt werden, so daß ein Teil der Rotorkraft in die gewünschte Richtung wirkt. Die Rotorkreisfläche wird nach vorne geneigt, indem die Anstellwinkel der Blätter immer dann vergrößert werden, wenn sie den rückwärtigen Kreis durchlaufen, und verringert, wenn sie vorlaufen. Da eine Veränderung des Anstellwinkels eine Veränderung des Auftriebs bewirkt, wird der Auftrieb am rückwärtigen Teil der Ebene vergrößert und am vorderen Teil vermindert; dies hat die gewünschte Neigung der Rotorkreisebene nach vorne zur Folge.

Die Veränderung des Anstellwinkels der Blätter kann an jedem Punkt der Kreisebene erfolgen, die somit in jede Richtung geneigt werden kann. Dies ermöglicht es, den Hubschrauber in alle Richtungen zu steuern. Der Pilot steuert diese Bewegungen mit dem 'Bedienungshebel für zyklische Blattsteuerung'.

Die Bilder zeigen, wie das Drehmoment ausgeglichen wird. Ohne einen zweiten Rotor würde der Hauptrotor den Rumpf in eine gegensinnige Drehrichtung versetzen. Ein kleiner Heckrotor ist die gebräuchlichste Vorrichtung zum Drehmomentausgleich (unten). Das Gegendrehmoment kann auch mit zwei Hauptrotoren aufgehoben werden (o. und u. rechts). Koaxiales System (rechts Mitte).



Unten: Die Rotorblätter schlagen aufwärts, wenn sie sich zur Nase des Hubschraubers drehen (voreilen), und abwärts, wenn sie sich zum Heck bewegen (nachlaufen). Dadurch wird der Auftrieb an allen Seiten gleichmäßig. Die Blätter sind auf dem höchsten Punkt, wenn sie gerade nach vorn zeigen, und auf ihrem niedrigsten Punkt, wenn sie zum Heck zeigen.



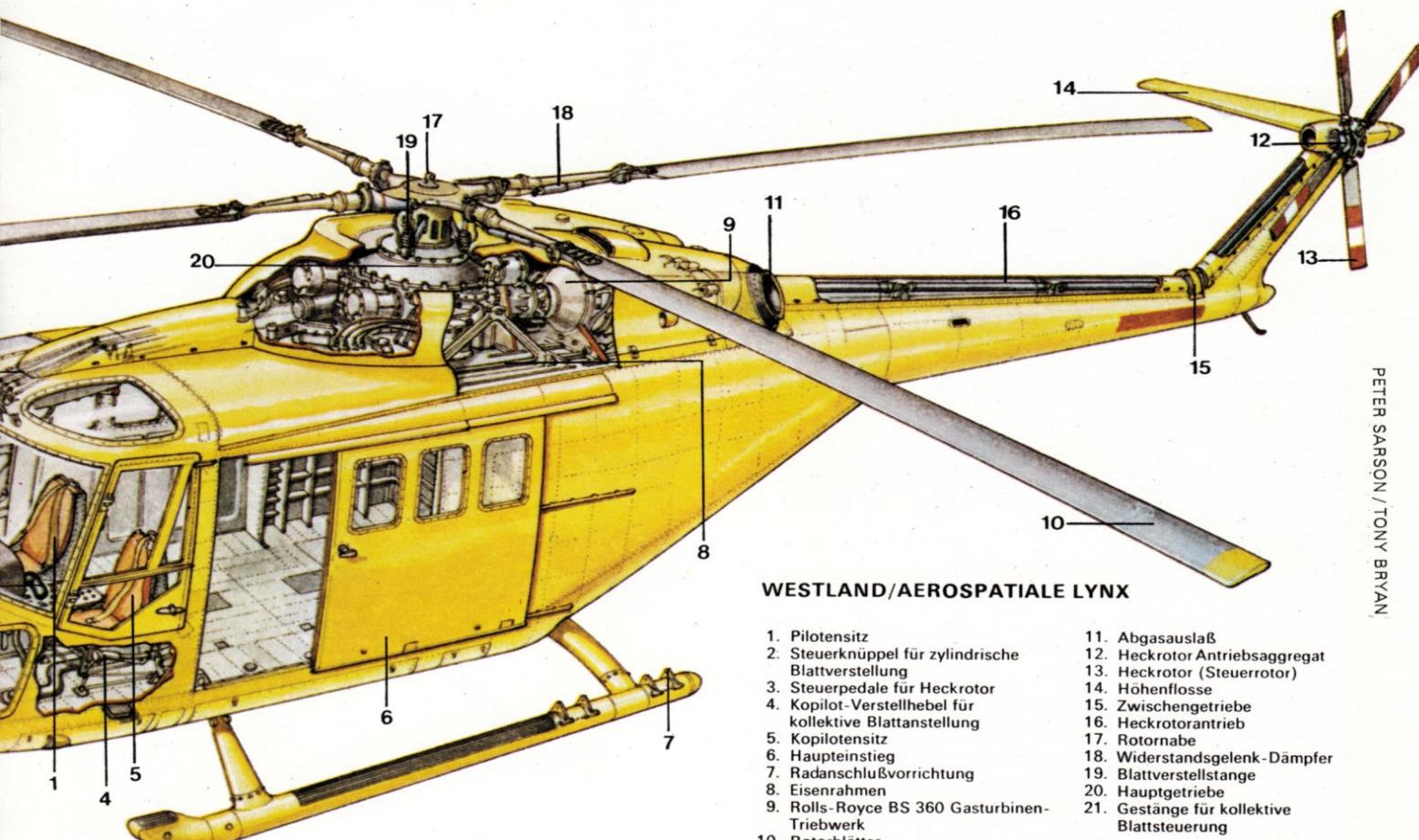


Links: Hauptrotornabe und Blattverstellrichtung eines Hubschraubers.



Rechts: Verkleideter Heckrotor des Hubschraubers 'Gazelle'.

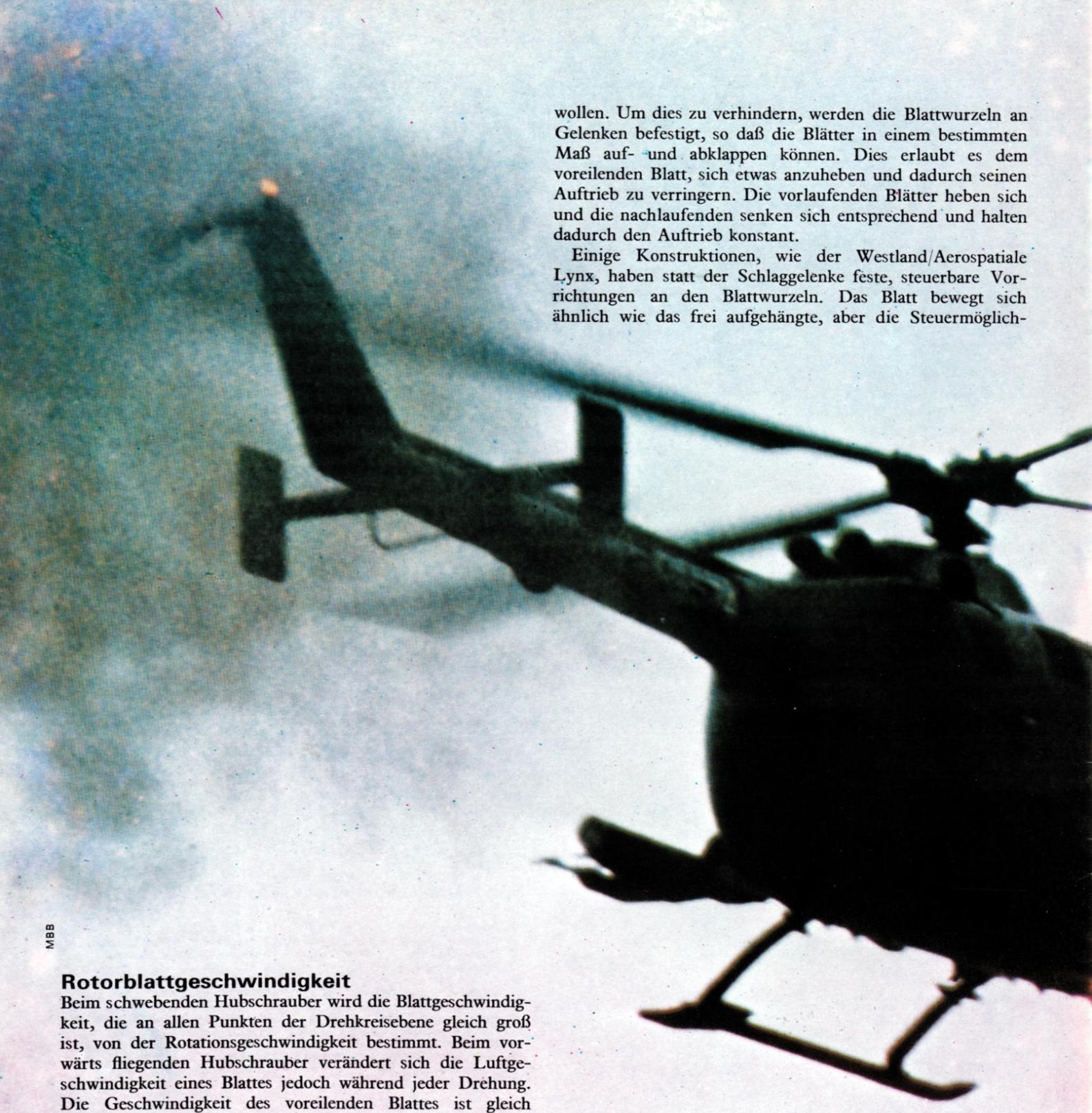
Unten: Der Westland/Aerospatiale Lynx hat gelenklose Rotorblätter. Er wird von zwei Rolls-Royce BS-360 'Gem' Turbowellen angetrieben, die ihm eine Höchstgeschwindigkeit von 300 km/h geben. Der Durchmesser des Hauptrotors ist 12,8 m, die Gesamtlänge ist 15,2 m. Im Bild der militärische Hubschraubertyp.



Rechts: Hubschrauber, die wie der Lynx halbstarre Rotoren ohne Blattgelenke haben, sind beweglicher. Mit ihnen kann man Rückenflüge und viele andere Manöver machen, die mit weniger flexiblen Hubschraubern unmöglich wären.

Ganz rechts: Ein Westland Whirlwind HAR 10. Er wird für den Küstenrettungsdienst verwendet. Der Hubschrauber wird von einem Turbowellen-Triebwerk angetrieben.





Rotorblattgeschwindigkeit

Beim schwebenden Hubschrauber wird die Blattgeschwindigkeit, die an allen Punkten der Drehkreisebene gleich groß ist, von der Rotationsgeschwindigkeit bestimmt. Beim vorwärts fliegenden Hubschrauber verändert sich die Luftgeschwindigkeit eines Blattes jedoch während jeder Drehung. Die Geschwindigkeit des voreilenden Blattes ist gleich der Rotationsgeschwindigkeit plus der Vorwärtsgeschwindigkeit des Hubschraubers. (Dies ist mit einer von einem fahrenden Zug aus einem Gewehr nach vorne abgefeuerten Kugel vergleichbar, deren Geschwindigkeit sich ebenfalls aus der Anfangsgeschwindigkeit der Kugel und der Geschwindigkeit des Zuges zusammensetzt.)

Die Anströmgeschwindigkeit des rücklaufenden Blattes wird dagegen durch die Differenz von Blattdrehgeschwindigkeit und Vorwärtsgeschwindigkeit des Hubschraubers bestimmt, da beide Komponenten genau entgegengesetzt verlaufen.

Da die Auftriebskräfte eines Blattes sich mit der Anströmgeschwindigkeit verändern, erzeugt das voreilende Blatt mehr Auftrieb als das nachlaufende.

Wäre der Rotor eine völlig starre Konstruktion, würden diese Auftriebsunterschiede den Rotor ständig nach der Seite des nachlaufenden Drehkreisabschnitts kippen lassen; der Hubschrauber würde ständig in diese Richtung fliegen

wollen. Um dies zu verhindern, werden die Blattwurzeln an Gelenken befestigt, so daß die Blätter in einem bestimmten Maß auf- und abklappen können. Dies erlaubt es dem voreilenden Blatt, sich etwas anzuheben und dadurch seinen Auftrieb zu verringern. Die vorlaufenden Blätter heben sich und die nachlaufenden senken sich entsprechend und halten dadurch den Auftrieb konstant.

Einige Konstruktionen, wie der Westland/Aerospatiale Lynx, haben statt der Schlaggelenke feste, steuerbare Vorrichtungen an den Blattwurzeln. Das Blatt bewegt sich ähnlich wie das frei aufgehängte, aber die Steuermöglich-

keiten des Piloten sind erheblich größer und erlauben eine Vielfalt beweglicher Manöver.

Richtungsänderung

Nach dem dritten Newtonschen Gesetz erzeugt jede Kraft eine gleichgroße, in entgegengesetzter Richtung wirkende Gegenkraft. Anders ausgedrückt, wirkt eine Kraft auf einen Körper, so übt auch dieser eine Kraft aus, die der Größe der einwirkenden Kraft gleich ist, jedoch in entgegengesetzter Richtung. Aufgrund dieses Gesetzes löst ein von einem am Rumpf befindlichen Motor angetriebener Rotor die Gegenkraft aus, die den Rumpf in eine gegensinnige Drehbewegung zwingt. Um diese Drehbewegung zu verhindern, wird ein Drehmomentausgleichssystem eingebaut. Bei Hubschraubern mit einem Hauptrotor ist dies z.B. der kleine Gegendrehmomentrotor am Heck.

Richtungskontrolle wird durch die Veränderung der Stärke des Drehmomentausgleichs erreicht. Überkompensation bewirkt eine Drehung des Rumpfes in die Richtung des Hauptrotors, zu geringer Ausgleich läßt ihn in die Gegendrehrichtung des Hauptrotors wandern. Wenn der Drehmomentausgleich mit Hilfe eines Heckrotors geschieht,

Rotors schnell; er verliert Auftrieb. Der Pilot kann aber trotzdem mit Hilfe der 'Autorotation' sicher landen. Durch schnelles Herunterdrücken des Blattanstellwahlhebels (oder Leistungshebels) kann der Pilot die Blätter so verstehen, daß ihre Vorderkanten etwas unterhalb der Horizontale stehen. Weil der Hubschrauber sinkt, haben die Blätter in dieser neuen Stellung einen positiven Anstellwinkel zur aufwärtsströmenden Luft. Dies erzeugt Kräfte an den Blättern, wodurch sie in Rotation gehalten werden. Kurz bevor der Hubschrauber auf dem Boden aufsetzt, zieht der Pilot den Blattanstellwahlhebel leicht an. Dies erzeugt genug Auftrieb (Erhöhung des Anstellwinkels), so daß eine sichere, sanfte Landung erfolgen kann.

Geschwindigkeitsgrenzen

Der konventionelle Hubschrauber kann nicht schneller als etwa 400 km/h fliegen. Das voreilende Blatt gerät bei hoher Vorförwärtsgeschwindigkeit in die Nähe der Schallgeschwindigkeit, während das nachlaufende Blatt eine sehr geringe Geschwindigkeit hat. Der Widerstand am voreilenden Blatt wird

Für die 80er Jahre wird die Bundeswehr mit MBB B0105P Panzerabwehr-Hubschraubern ausgerüstet sein. Auf dem Foto wird eine HOT-Rakete vom Hubschrauber abgeschossen. Der Hubschrauber wird mit insgesamt sechs HOT-Raketen ausgerüstet sein und eine zweiköpfige Besatzung haben, von denen jeder in der Lage sein wird, die Raketen abzuschießen.



wird dies durch eine Veränderung des Schubs der Rotorblätter erreicht, deren Anstellwinkel verstellbar sind.

Triebwerke

Hubschrauber-Rotoren werden normalerweise durch Wellen angetrieben, die mit der Rotornabe verbunden sind (Wellenantrieb). Einige wenige sind mit Strahltrieb in jedem Rotorblatt (Blattspitzenantrieb) konstruiert worden.

Wellengetriebene Rotoren können mit allen Flugmotoren ausgerüstet werden. Anfangs wurden alle Hubschrauber mit Kolbenmotoren angetrieben. Mit Ausnahme der kleinsten Hubschrauber werden heute aber ausschließlich Turbowellen- oder Gasturbinen-Triebwerke verwendet. Für die kleinen Hubschrauber könnten in Zukunft vielleicht Drehkolbenmotoren, wie der in Deutschland erfundene WANKELMOTOR, verwendet werden.

Triebwerkausfall

Bei Triebwerkausfall sinkt die Rotationsgeschwindigkeit des

erheblich vergrößert; es beginnt Auftrieb zu verlieren, weil die Strömung über dem Blatt abzureißen beginnt. Das nachlaufende Blatt verliert Auftrieb wegen seiner geringen Anströmgeschwindigkeit. Bei einer kritischen Geschwindigkeit, bei der das Blatt direkt zum Heck zeigt, reißt die Strömung ganz ab, weil die Luft von der Rotornabe zur Blattspitze strömt und nicht über das Blatt hinweg, um Auftrieb zu liefern.

Teilweise wurde dieses Problem von der Firma Sikorsky gelöst. Ihr sogenanntes 'Advancing Blade Concept' (ABC) benutzt zwei gleiche Rotoren, die übereinander montiert in gegensinniger Richtung drehen. Das System balanciert die Kräfte an der voreilenden Seite jedes Rotors aus. Hierdurch wird der Hubschrauber im Gleichgewicht gehalten, da der Auftriebsverlust an der nachlaufenden Seite jedes Rotors aufgehoben wird.

Verwendung

Hubschrauber sind in vielen Fällen unentbehrlich geworden. Als 'Flugtaxis' können sie Strecken von 160 km Länge innerhalb einer Stunde zurücklegen und dabei Passagiere von schwer zugänglichen Plätzen aufnehmen oder dort absetzen.

Beim Rettungsdienst leisten sie vielseitige Arbeit. Dies gilt besonders für den Seerettungsdienst. Jedes Jahr werden



Oben: Blick in die Pilotenkanzel einer Bell 206 A. Rechts vom Sitz befinden sich Steuernüppel, die Ruder und der Leistungshebel. **Rechts:** Verkehrsüberwachung vom Hubschrauber über der Autobahn Stuttgart.

BAVARIA

überall auf der Welt Hunderte von Schwimmern und Seeleuten gerettet. Die Hubschrauber haben die Arbeiten auf den Öl- und Gasbohrinseln erheblich unterstützt, da mit ihnen ohne Rücksicht auf den Zustand der See Besatzungen gewechselt, Ersatzbohrer und wichtiges Material transportiert werden können.

In unzugänglichen Gebieten der Welt werden sie zur Versorgung der Außenposten und zur Wartung von Telefon- und Stromleitungen verwendet.

Bei der Brandbekämpfung werden Hubschrauber oft zur Lösung von Wald- und Buschbränden herangezogen; in Großstädten werden mit ihnen Menschen aus hohen Gebäuden gerettet. Große Hubschrauber helfen oft in schwierigen Bausituationen. So werden mit ihnen zum Beispiel Kirchturmspitzen in die gewünschte Position gehoben.

Im Krieg erlauben sie taktische Beweglichkeit, indem sie Truppen, Waffen und Material schnell in die Kampfzone transportieren und Verwundete und Ausrüstung ausfliegen, die ohne sie zurückgelassen werden müßten. Sie können mit Kanonen- und Raketenwerfern ausgerüstet werden und so als "Kanonenboote" benutzt werden.



Die Entwicklungsarbeit ist im Moment vorwiegend auf die Erhöhung der Geschwindigkeit konzentriert. Dieses Ziel könnte durch Fortschritte in der Konstruktion von 'Verbundhubschraubern' erreicht werden. Wenn der Rotor ausreichend starr gemacht werden könnte, wäre es möglich, seine Drehgeschwindigkeit bei steigender Vorwärtsbewegung des Hubschraubers herabzusetzen, ohne ihn steuerlos zu machen. Der Auftrieb könnte dann von kleinen, am Rumpf auf konventionelle Art befestigten Tragflächen und der Schub von konventionellen Propellern oder Strahltriebwerken geliefert werden.

Erfindungen 20: STEINBRUCH UND BERGBAU

Obwohl der Mensch in der Jungsteinzeit, etwa um 8 000 v. Chr., begonnen hatte, mit Steinen zu bauen, brauchte er sein Baumaterial nicht aus Steinbrüchen zu gewinnen. Findlinge genügten ihm für seine Bedürfnisse. Als um 3 000 v. Chr. ägyptische Herrscher Monumentalbauwerke, wie Tempel und Pyramiden, errichten wollten, benötigten sie große, rechteckig behauene Steine.

Steinbrüche im alten Ägypten

Zuerst wurden die Abmessungen des herauszulösenden Quaders grob auf die Stirnfläche der Steinbruchwand gezeichnet. Entlang diesen gezeichneten Linien wurde mit ungeschärfeten Hacken aus hartem Gestein, wie beispielsweise Diorit, eine Zahl tiefer Einschnitte gezogen. In jede dieser Furchen trieb man einen Holzkeil, bis ein Riß auftrat. Wahrscheinlich erzeugte man Risse noch nach einem weiteren Verfahren, nämlich indem man die Holzkeile, nachdem man sie fest in die Einschnitte getrieben hätte, mit Wasser tränkte. Dadurch dehnte sich das Holz, und der Fels barst an der vorgesehenen Stelle.

Stand der Quader erst frei vor der Abbauwand, konnte er auf Holzkufen abtransportiert werden. Dazu verwendete man lange Holzbalken als Hebel. Dann wurden die Quaderflächen mit Hilfe harter Steinäxte begradigt und rechtwinklig zugehauen. Anschließend wurde der Quader an die Baustelle transportiert.

Eisen- und Stahlwerkzeug

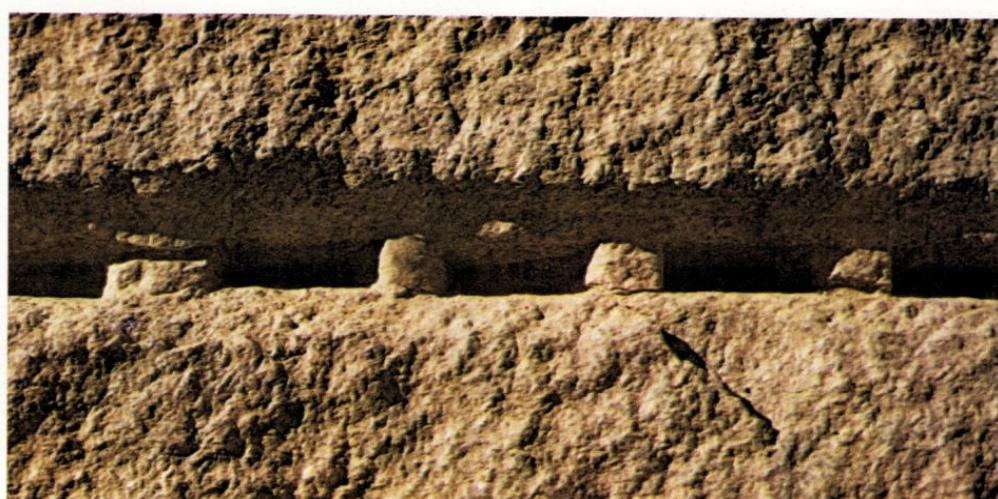
Bis zur Einführung von Werkzeugen aus Eisen und Stahl kurz nach 1 000 v. Chr. fand es im Vorderen Orient allgemeine Anwendung. Von diesem Zeitpunkt an trat stählernes Werkzeug an die Stelle von Stein und Holz, so daß der Steinbrucharbeiter über

Hauen, Keile, Hämmer und Meißel aus Stahl verfügte. Trotz des verbesserten Werkzeugs blieb die Art und Weise, wie ein Quader aus der Abbauwand gelöst wurde, die gleiche; sie wird auch heute noch vielfach verwendet.

Feuersetzen

Die Bergleute der Frühzeit sahen sich, auch wenn sie weitgehend wie Steinbrucharbeiter ausgerüstet waren, gänzlich anderen Schwierig-

keiten gegenüber. Da die von ihnen abgebauten Metallerze vor dem Schmelzen in kleine Stücke zerschlagen werden mußten, kam es ihnen nicht auf den Abbau großer Einheiten an. Ein allgemein übliches Verfahren zur Bearbeitung einer Abtragwand war das 'Feuersetzen'. Vor der Abbauwand wurde ein großer Holz- oder Reisigstoß aufgeschichtet und entzündet. War die Wand hinreichend heiß, goß man rasch kaltes Wasser dagegen. An den durch die



Oben rechts: Keilfugen, die ägyptische Arbeiter in der Antike in einem Steinbruch bei Assuan in den Fels geschnitten haben—sie befinden sich noch an genau der selben Stelle.

Rechts: Der größte behauene Stein der Welt in der Nähe des riesigen römischen Ruinenfeldes bei Baalbek im Libanon.

rasche Abkühlung entstandenen Rißlinien konnte das Erz leicht mit Hauen abgebaut werden.

Untertagebau

Als nach der Zeit um 2 000 v. Chr. Kupfer in großen Mengen verwendet wurde, genügte es nicht mehr, wie vorher lediglich solche Erzvorkommen abzubauen, die bis an die Erdoberfläche reichten. Man mußte nach weiteren Möglichkeiten suchen und den Erzadern bis unter die Erdoberfläche folgen. Verlassene Bergwerke aus dieser Epoche auf Zypern zeigen, daß bereits Stempel zum Abstützen des Deckgestein bekannt waren, ebenso Bewetterungsschächte für tiefliegende Abbaustollen. Bis zur Einführung von wasserfördernden Rädern und Pumpen kurz vor Beginn unserer Zeitrechnung mußte eingedrungenes Wasser mit Eimern und Schöpfgeräten beseitigt werden.

Rechts: Die 'Säulen Salomons' bei Eilat in Israel. Diese Felsen sind reich an Kupfererz; es wurde dort in der Antike abgebaut.

Unten: Arbeiter im heutigen Ägypten, die einen Steinquader fast genauso transportieren wie ihre Vorfahren.

Goldgewinnung

Das Schürfen nach Gold bot andere Schwierigkeiten. Das Golderz (Quarz) mußte zerkleinert werden. Anschließend wurde das Gold mit reichlich Wasser aus dem Quarz herausgewaschen. Bis zum Beginn des Römischen Reiches hatte man Gold durch 'Waschen' von Flussand gewonnen (Goldstaub). Die Römer wandten das gleiche Verfahren in weit größerem Umfang an. Sie zerschlugen das Ausgangsgestein durch wiederholtes Hämmern zu Staub; anschließend wurde über den Staub, der in langen, leicht

geneigten Trögen untergebracht war, Wasser geleitet. Dabei wurde der Quarzstaub weggeschwemmt, während das schwerere Gold am Boden der Tröge liegenblieb. Folgt man in Spanien Überresten von Aquädukten, die eine Länge von 30 km oder mehr haben können, so kann man in einigen Fällen zur Quelle oder zum Staubecken gelangen, von wo aus frühere römische Goldminen mit Wasser versorgt wurden. Diese Aquädukte sind oft eindrucksvollere Zeugnisse der damaligen Technik als die eigentlichen Minen.

