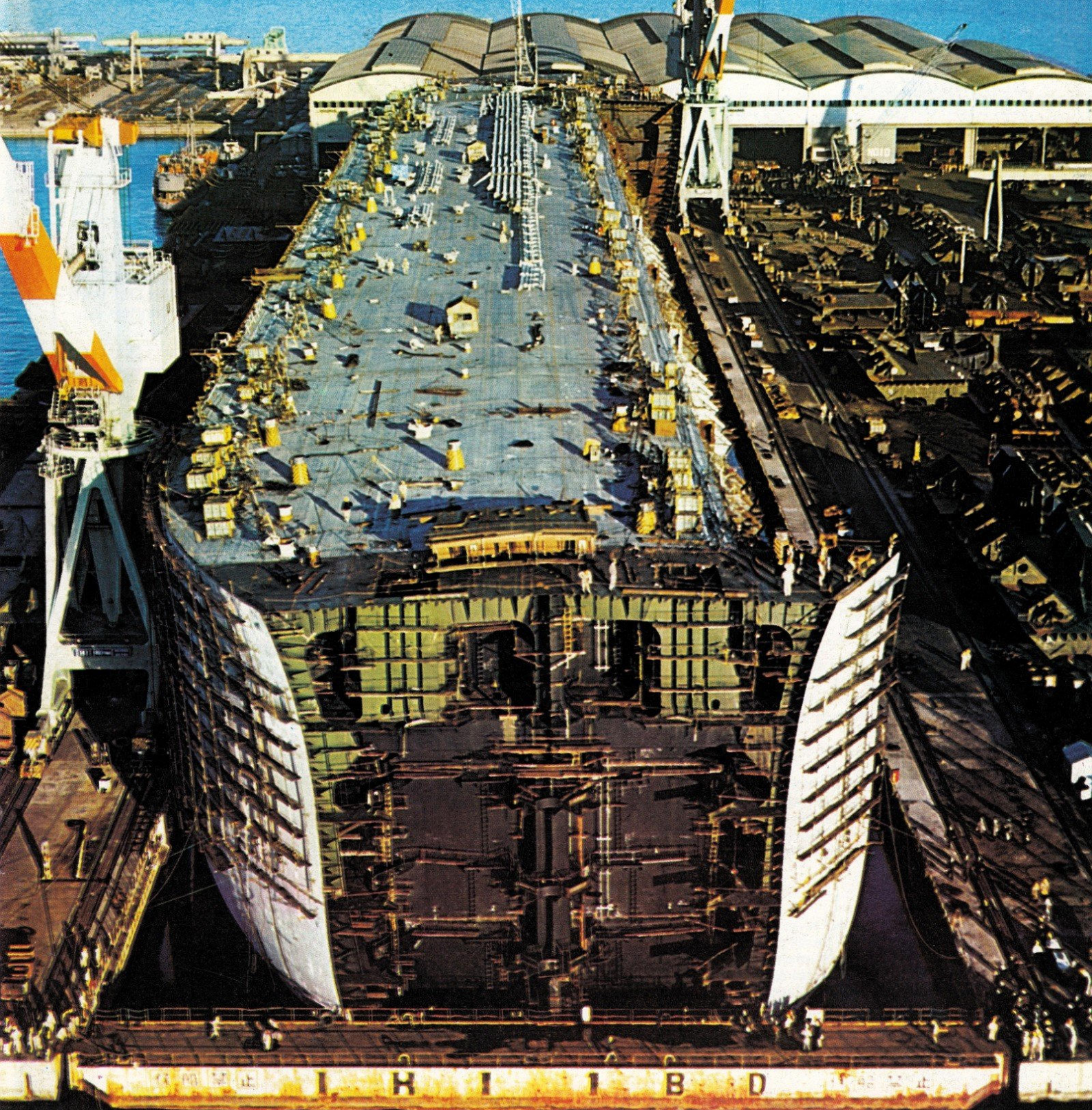


WIE GEHT DAS

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



scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Schall	1289
Schalldämpfer (Handfeuerwaffen)	1294
Schallplatten- herstellung	1295
Schieblehre	1299
Schiffe	1300
Schiffsantrieb	1309
Schiffsschraube	1311
Schlaginstrumente	1314

WIE SIE REGELMASSIG JEDE WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

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

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

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

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

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

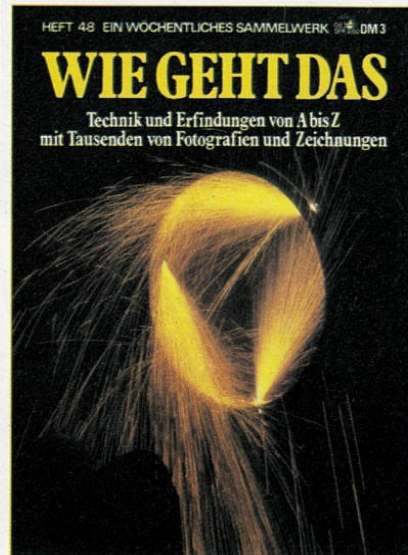
Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

INHALTSVERZEICHNIS

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

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

In Heft 48 von Wie Geht Das



Seit über 25 000 Jahren werden Schleifmaterialien dazu benutzt, Metalle und Steine zu säubern und zu polieren. Welche Schleifmittel heute zur Verfügung stehen und wie sie eingesetzt werden, können Sie in Heft 48 von Wie Geht Das nachlesen.

Tausende von Piloten konnten sich abstürzenden Flugzeugen retten, indem sie einen Schleudersitz benutzten. Im nächsten Heft von Wie Geht Das wird erklärt wie diese lebensrettenden Anlagen arbeiten.

SAMMELORDNER

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

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

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

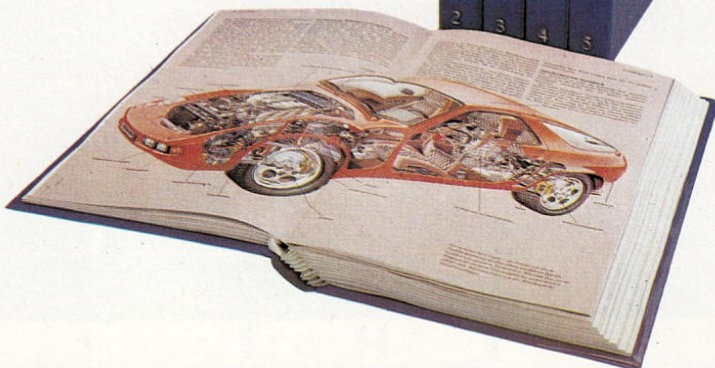
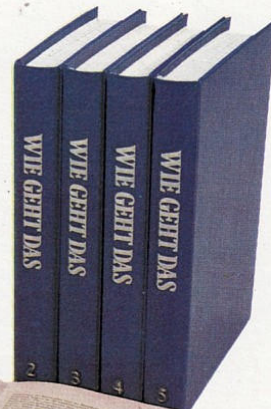
2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202 Kennwort: SAMMELORDNER.

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

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

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

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



SCHALL

Schall wird nicht allein zur Kommunikation gebraucht. Seine Anwendungen reichen heute vom Fischfang über die Ölsuche bis hin zur Werkstoffprüfung von Gußteilen und zur Oberflächenreinigung.

Schall breitet sich in Form einer Welle von der Quelle zum Beobachter aus. Zu seiner Ausbreitung ist ein Medium erforderlich, das untereinander wechselwirkende Teilchen enthält. Diese Anforderungen werden durch Gase, Flüssigkeiten und Festkörper erfüllt. Im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen können Schallwellen nicht im Vakuum übertragen werden.

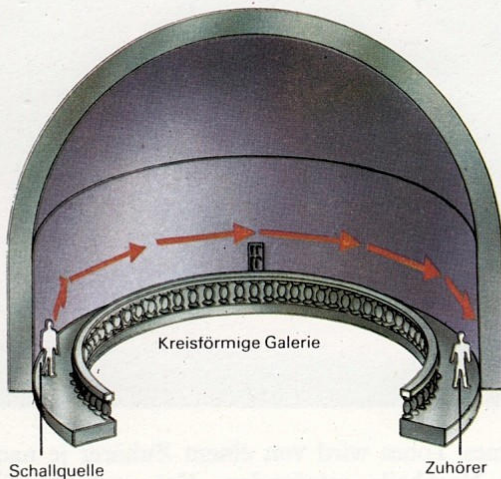
Die Untersuchung solcher Phänomene wird Akustik genannt, und genau genommen sind Schallwellen der Teil akustischer Wellen, die vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden können. Das Ohr kann aber keine akustischen Wellen mit Schwingungsfrequenzen unter 20 Hz (1 Hz = 1 Hertz entspricht einer vollen Schwingung pro Sekunde) — Infraschall genannt — und oberhalb 20 000 Hz — Ultraschall genannt — wahrnehmen.

Erzeugung und Übertragung von Schall

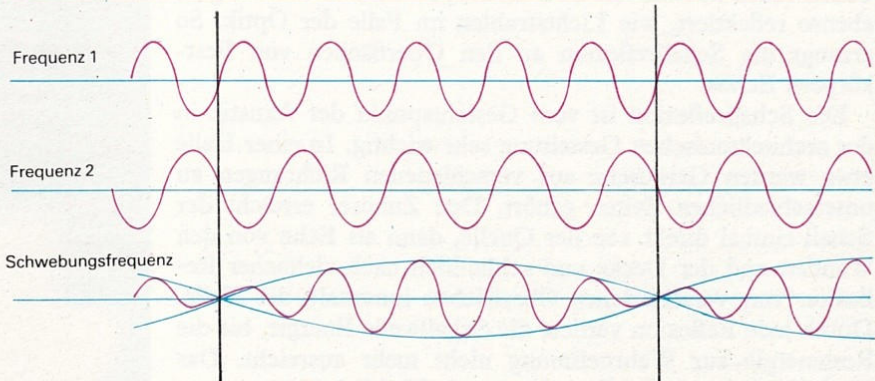
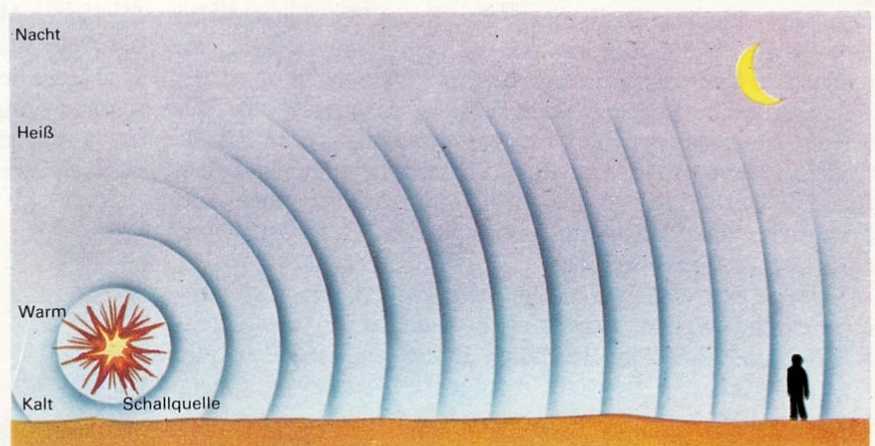
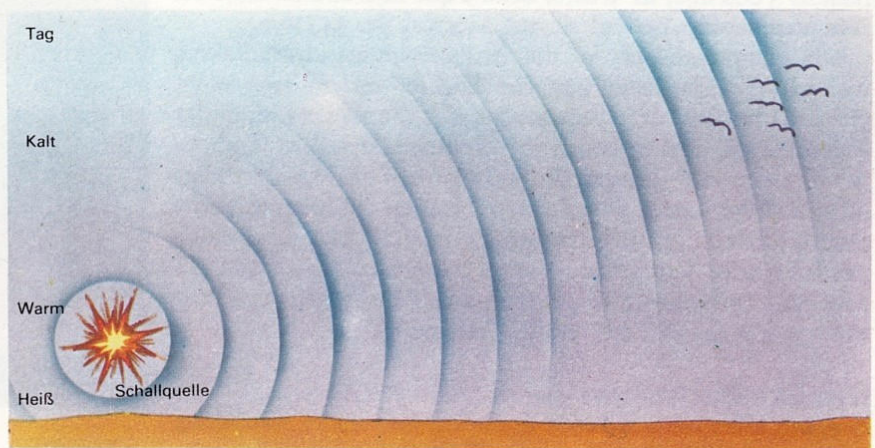
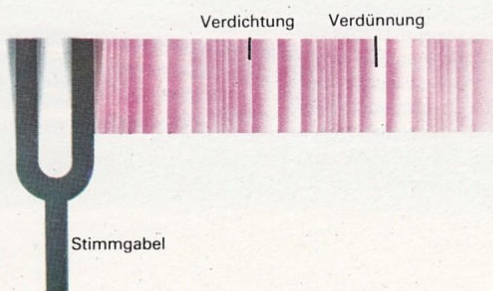
Schwingt ein Gegenstand in Luft, werden die Luftmoleküle in der Nachbarschaft zur Oberfläche abwechselnd zusammengedrückt und auseinandergezogen, d.h. komprimiert und expandiert. Bei dieser Vor- und Rückwärtsbewegung stoßen sie mit benachbarten Molekülen zusammen, die deshalb auch komprimiert und verdünnt werden. So wird eine Folge von Kompressionen und Expansionen übertragen.

Liegt die Häufigkeit (d.h. die Frequenz), mit der diese übertragenen Schwingungen auftreten, in einem bestimmten Bereich (dem 'hörbaren' Bereich), induzieren die an das Trommelfell angrenzenden Luftschichten darin eine gleichartige Schwingung. Durch das Hörorgan des Ohres werden diese Schwingungen an das Gehirn 'weitergemeldet', wo diese als Schall interpretiert werden.

Besteht das Medium zwischen dem schwingenden Objekt und dem Ohr bzw. dem Detektor aus einer Flüssigkeit oder einem Festkörper, wird der Schall in einer etwas unterschiedlichen Art übertragen. In Festkörpern und Flüssigkeiten werden die Moleküle durch Kräfte gebunden, deren Größe von den Elastizitätseigenschaften des Materials abhängen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit jeder Kompressionswelle



Wiederholte Reflexionen an der Oberfläche einer Kuppel erzeugen den Effekt einer 'Flüstergalerie'. Die Brechung des Schalles durch Luft unterschiedlicher Temperatur bewirkt, daß Geräusche bei Nacht weiter getragen werden als bei Tage. Ein schwingendes Objekt, wie etwa eine Stimmgabel, sendet longitudinale Wellen aus, die sich in periodischen Luftverdichtungen und Verdünnung äußern. Überlagern sich zwei Wellen leicht unterschiedlicher Frequenz, ergibt dies eine Schwebung, d.h. ein periodisches Anschwellen und Abflauen der Lautstärke.



hängt hier davon ab, wie schnell die verschobenen Teilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückkehren. Diese Rückkehrgeschwindigkeit wird durch die 'Rückstellkraft' bestimmt und wächst mit dem Elastizitätsmodul des Materials. Somit wächst die Schallgeschwindigkeit in einem Medium mit dem Elastizitätsmodul, d.h. wenn das Medium weniger elastisch wird. Die Geschwindigkeit, mit der die Teilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückkehren (und damit die Schallgeschwindigkeit) wird durch die Trägheit des Mediums, d.h. durch Interferenzen zwischen den Molekülen des Materials, verzögert. Dies wird durch die Dichte wirksam beschrieben. Es kann gezeigt werden, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer durch irgendein Medium übertragenen Schallwelle als die Quadratwurzel aus dem Verhältnis des Elastizitätsmoduls zur Dichte gegeben ist.

Im allgemeinen breiten sich Schallwellen schneller durch Festkörper und Flüssigkeiten, als durch Gase aus; hier wird zusätzlich Zeit für die zur Ausbreitung nötigen Zusammenstöße zwischen den Molekülen benötigt (Gase sind elastischer und haben somit einen geringeren Elastizitätsmodul). Da weiterhin Festkörper starrer als Flüssigkeiten sind, breiten sich Schallwellen in festen Körpern schneller aus, als in flüssigen Medien. Die Schallgeschwindigkeit in Stahl ist nahezu 5 000 m/s, in Wasser etwa 1 400 m/s und in Luft bei Raumtemperatur beträgt sie auf Meereshöhe 344 m/s.

Die Haupteinflüsse auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit, nämlich die Elastizität und die Dichte, ändern sich nicht gleichmäßig mit der Temperatur der Festkörper und der Flüssigkeiten. Daher haben in solchen Materialien Temperaturänderungen geringen Einfluß auf die Schallgeschwindigkeit. Aber bei Gasen beeinflussen Temperaturänderungen die Schallgeschwindigkeit beträchtlich, da sich die Gasmoleküle mit steigender Temperatur immer rascher von Stoß zu Stoß bewegen. So steigt z.B. in Luft die Schallgeschwindigkeit von 331 m/s bei 0°C auf 386 m/s bei 100°C.

Die Eigenschaften der Schallwellen

Hörbare Töne werden durch Tonhöhe, Lautstärke und Klang gekennzeichnet und nach diesen Kriterien miteinander verglichen. Die Tonhöhe kennzeichnet, analog zur Farbe des sichtbaren Lichtes, die Frequenz der diesen Ton erzeugenden Schallwelle. Die Lautstärke ist ein vom Hörer abhängiger, subjektiver Sinneseindruck; sie ist eine Funktion der durch die Schallwelle übertragenen Energie (siehe LÄRMMESSUNG). Der Klang charakterisiert die Frequenzverteilung in der Schallwelle und ermöglicht dem Zuhörer, zwischen einer auf dem Piano gespielten Note und dem Ton gleicher Höhe und Lautstärke einer Violine zu unterscheiden. Der Klang wird auch als 'Timbre' bezeichnet.

Ebenso wie andere Formen von Wellen, etwa elektromagnetische Wellen, zeigen auch Schallwellen die Eigenschaften der Reflexion, Brechung, Interferenz und Beugung.

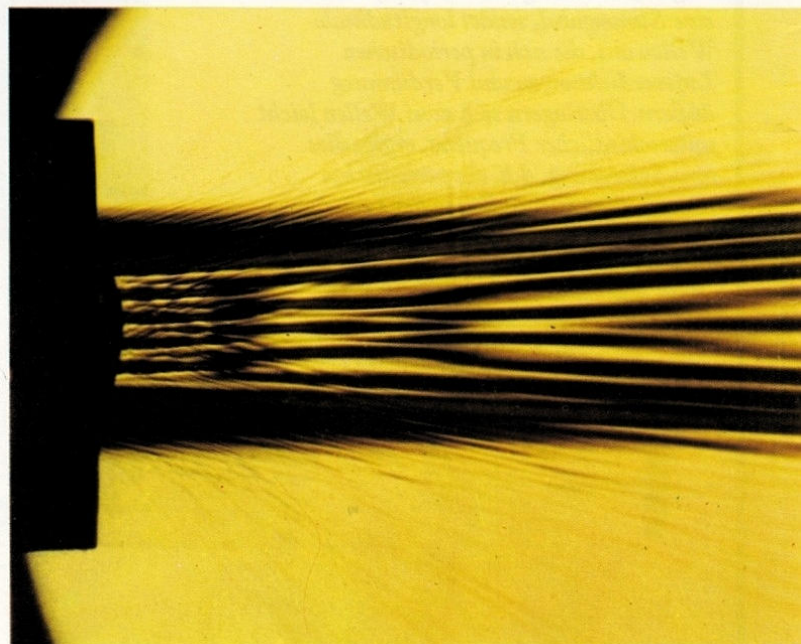
Reflexion

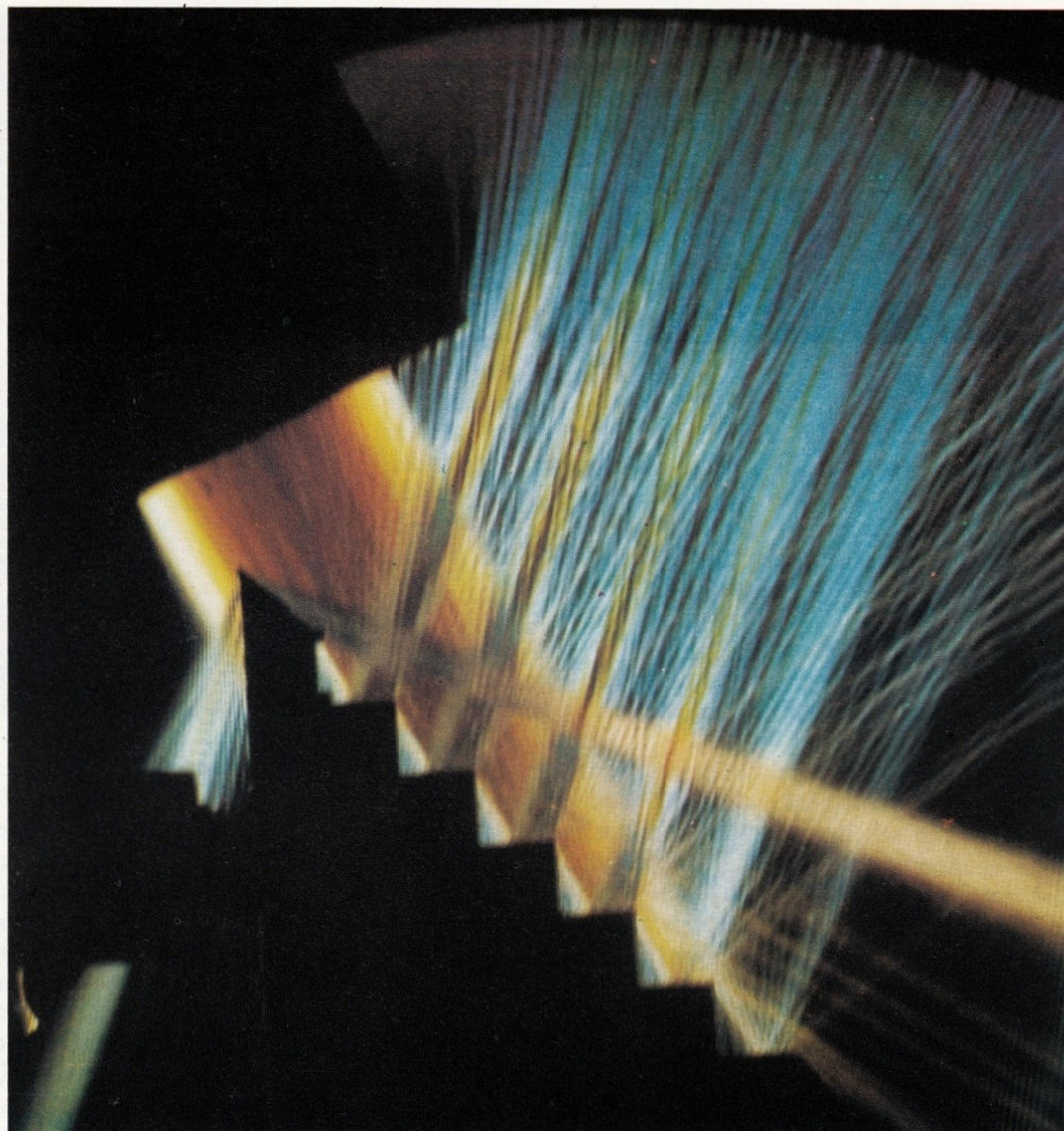
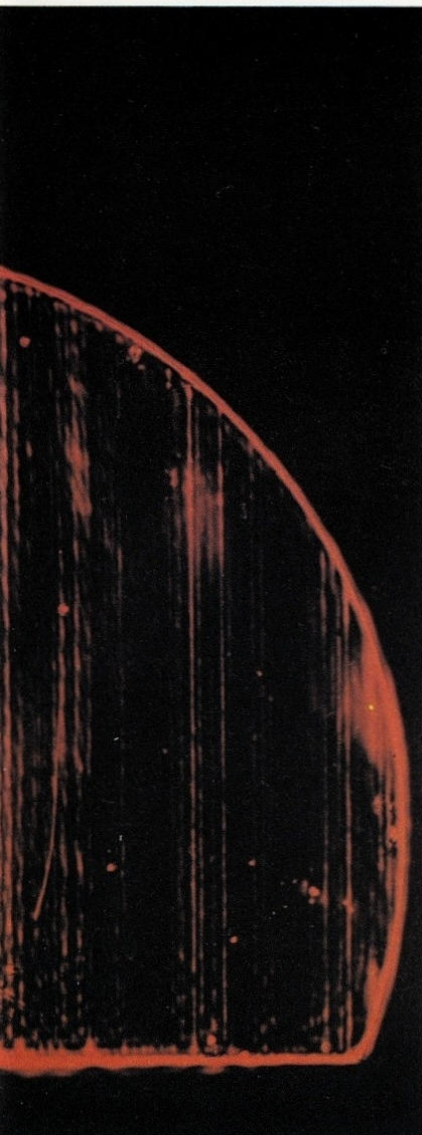
Schallwellen werden von Oberflächen, die in ihrer Bahn liegen, ebenso reflektiert, wie Lichtstrahlen im Falle der Optik. So erzeugt die Schallreflexion an den Oberflächen von Festkörpern Echos.

Die Schallreflexion ist vom Gesichtspunkt der Akustik in der architektonischen Gestaltung sehr wichtig. In einer Halle etwa werden Geräusche aus verschiedenen Richtungen zu unterschiedlichen Zeiten gehört. Den Zuhörer erreicht der Schall einmal direkt von der Quelle, dann als Echo von den Wänden und der Decke und schließlich nach vielfacher Reflexion von verschiedenen Oberflächen innerhalb der Halle. Durch jede Reflexion verliert die Schallwelle Energie, bis die Restenergie zur Wahrnehmung nicht mehr ausreicht. Das Nachklingen nach der Emission ist als Hall bekannt.



Der Klang eines Tones wird von einem Zuhörer je nach der Dauer des Nachhalls empfunden. Hat zum Beispiel Orchester-Musik eine sehr kurze Nachhalldauer von etwa 0,5 Sekunden, klingt sie dünn und leblos; eine zu lange Halldauer jedoch läßt Musik gedämpft klingen. Die technischen Fragestellungen des akustisch besten Designs wurden im Jahre 1906 in Amerika erstmals systematisch durch W. C. Sabine untersucht.





Er fand, daß die Nachhallzeit vom Volumen des Raumes, der Oberflächengröße und der Schallabsorptionsfähigkeit der Oberfläche abhängt. Poröse Materialien wie Kork, Polystyrenschaum und weiche Möbel absorbieren im allgemeinen Schall gut, während harte und glatte Oberflächen wie Glas und Kacheln sowie Materialien hoher Dichte wie etwa Ziegelmauerwerk, Mörtel und Beton den Schall schlecht absorbieren.

Schallwellen ändern ihre Ausbreitungsrichtung, sobald sie in

ein Gebiet mit einer anderen Schallgeschwindigkeit eintreten. Da sich mit der Temperatur eines Gases die Schallgeschwindigkeit ändert, können sich atmosphärische Temperaturschwankungen in Änderungen der Schallgeschwindigkeit und somit auch der Schallausbreitungsrichtung bemerkbar machen. Diese Richtungsänderung wird Brechung genannt und ist direkt mit der optischen Brechung von Licht vergleichbar.

Dieser Effekt ist auch der Grund dafür, daß bei Nacht Geräusche weiter getragen werden und leichter zu hören sind, als bei Tage. Am Tage sind im allgemeinen die oberen Luftschichten kälter als die Luftschichten auf dem Erdboden, weshalb die Schallwellen von der Erdoberfläche weg gebrochen werden. In der Nacht tritt gewöhnlich die umgekehrte Situation ein; die kälteren Luftschichten liegen in der Nähe der Erdoberfläche. Dann wird der Schall zur Erdoberfläche zurückgebrochen und kann über weite Entfernungen mit starker Intensität gehört werden.

Interferenz

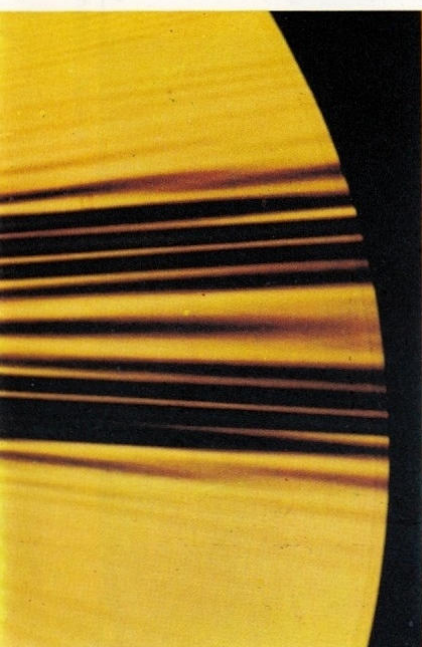
Zwei Schallwellen derselben Frequenz überlagern sich, wenn sie auf verschiedenen Wegen an demselben Punkt ankommen.

Sind die an einem Punkt ankommenden Wellen so geartet, daß die maximalen Auslenkungen zusammentreffen, verstärken sich diese Wellen und erzeugen ein lautes Geräusch. Dies ist die sogenannte konstruktive Interferenz. Trifft bei der Überlagerung ein Maximum der Auslenkung auf ein Minimum der anderen Welle, tritt Auslöschung oder destruktive Interferenz auf; die Lautstärke wird vermindert.

Interferenz zweier Schallwellen ist auch dann leicht erkennbar, wenn diese nur geringfügig unterschiedliche Frequenzen

Fotografische Schallfiguren. Die durch eine links am Bildrand sichtbare Schallquelle erzeugte Schallwelle durchläuft ein Gitter, das aus drei in einer Reihe stehenden, zylindrischen Objekten besteht. Die Schallwellen hoher Intensität sind im Bild blau (oben rechts).

Oben links: Ein ebener Ultraschall-Strahl (von 3 MHz Frequenz) in Laserlicht betrachtet. Diese komplexe Klangfigur wird durch Schallreflexion an einer treppenförmigen Struktur hervorgerufen. Die großen Intensitäten sind rot gekennzeichnet.



besitzen. Die Interferenzen erzeugen hier ein 'Schwebung' genanntes Phänomen; der Beobachter hört hierbei einen periodisch anschwellenden und wieder abfallenden Ton über einem konstanten, leisen Hintergrundton. Die Zahl dieser Lautstärkenschwankungen pro Sekunde, die Schwebungsfrequenz, entspricht dem Frequenzunterschied zwischen den erzeugenden Schallwellen.

Beugung

Normalerweise breiten sich Wellen gerade aus; sie können aber um Hindernisse gebeugt werden, wenn deren Abmessungen in der Größenordnung der Wellenlänge der Strahlung liegt. Da die Wellenlängen der Schallwellen meist in der Größenordnung von Zentimetern bis zu einigen Dezimetern liegen, wird Schall um die meisten in Betracht kommenden Objekte gebeugt, während Licht mit seiner kurzen Wellenlänge durch gewöhnliche Gegenstände nicht gebeugt wird. Es ist somit möglich, Geräusche von Quellen zu hören, die der Beobachter nicht sehen kann.

Der Doppler-Effekt

Bewegen sich die Schallquelle und der Zuhörer relativ zueinander, wird eine deutliche Änderung der Tonhöhe beobachtet.

Ein alltägliches Beispiel dafür ist das Geräusch, das man auf dem Erdboden von einem dicht darüber fliegenden Flugzeug hört. Der Ton scheint plötzlich tiefer zu werden, wenn das Flugzeug über den Beobachter wegfiegt. Die tatsächliche Frequenz der ausgesendeten Schallwelle bleibt konstant. Jedoch erreichen den Beobachter während der Annäherungsphase mehr als in einer Zeiteinheit vom Flugzeug ausgesendete Schallwellen. Dies äußert sich beim Beobachter in der Wahrnehmung eines Tones höherer Frequenz.

Hat sich die Schallquelle am Beobachter vorbeibewegt und wächst der Abstand zwischen Schallquelle und Beobachter, erreichen den Beobachter in einer vorgegebenen Zeit weniger Schallwellen, als in dieser Zeit emittiert wurden. Der Beobachter hört somit ein plötzliches Absinken der Tonhöhe.

Infraschall und Ultraschall

Druckwellen, deren Frequenzen für das menschliche Ohr nicht mehr wahrnehmbar sind, werden Infra- und Ultraschall genannt. Schwingungen unter 20 Hz gehören zum Infraschall-Bereich, während Ultraschallwellen Frequenzen von mehr als 20 000 Hz haben.



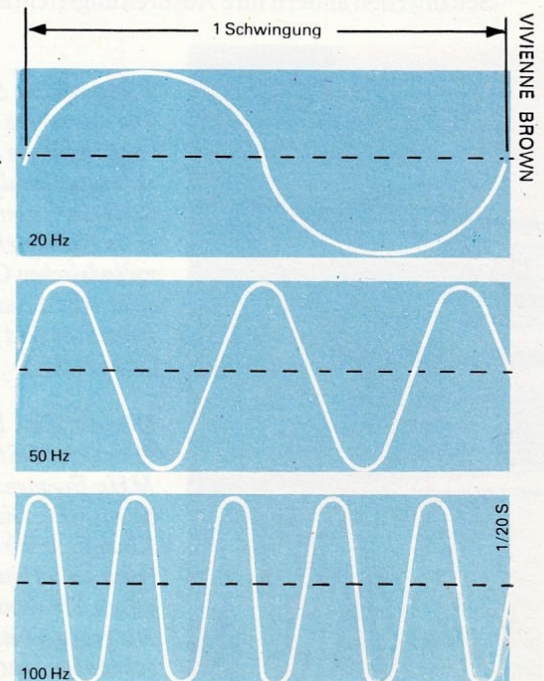
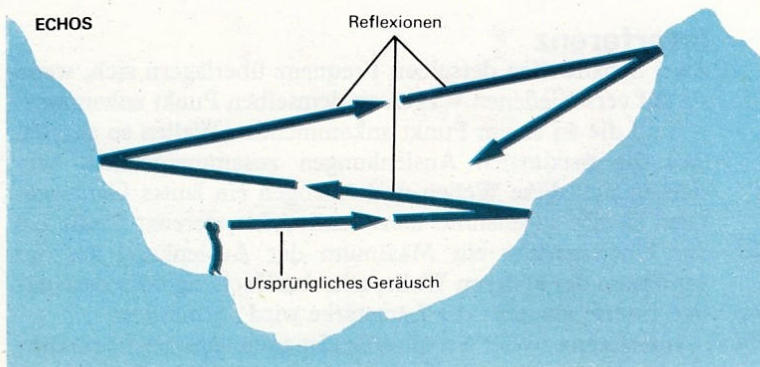
Jede Schwingung, die langsame Veränderungen des Luftdruckes oder des elastischen Verhaltens anderer, zur Wellenübertragung fähiger Materialien verursacht, kann als Infraschall betrachtet werden. In diese Kategorie fallen Vibrationen der Erdkruste durch Erdbeben.

Für Ultraschall typische Hochfrequenzschwingungen werden allgemein durch Quarzkristall-Oszillatoren erzeugt. Wird ein Quarzkristall, das in einer bestimmten Kristallrichtung geschnitten wurde, zusammengedrückt oder auseinandergezogen, wird auf einander gegenüberliegenden Seiten entgegengesetzte elektrische Ladung beobachtet. Der umgekehrte Effekt wird durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Kristall bewirkt. Dies ist der bekannte piezoelektrische Effekt. Legt man eine elektrische Wechselspannung am Quarzkristall an, kontrahiert und dehnt sich dieser Kristall mit der Frequenz der äußeren Wechselspannung.

Stimmt die Frequenz der Wechselspannung mit der Eigenfrequenz überein, mit der der Kristall freie Schwingungen ausführen kann, wird die Amplitude der erzwungenen Schwingung durch Resonanz sehr groß. Diese Schwingungen

Unten: Echo tritt auf, wenn Schall von einer festen Oberfläche reflektiert wird und eventuell zur Schallquelle zurückkehrt.

Rechts: Schallwellen lassen sich graphisch in einem Koordinatensystem darstellen, dessen vertikale Achse die Intensität oder Amplitude und dessen horizontale Achse die Zeit in Sekunden angibt. Die Frequenz 1 Hz kennzeichnet eine volle Schwingung pro Sekunde.



Links: Dieser Traktor wird in einem hallfreien Raum getestet, der eine genaue Messung und Analyse des erzeugten Lärmpegels ermöglicht. Die schallabsorbierenden, keilförmigen Blocks an der Innenseite sind so ausgelegt, daß sie alle Echos eliminieren, die die Messungen verfälschen könnten.

Rechts: Die schallabsorbierenden Blocks kann man auch in diesem Bild von dem Aufzeichnungs- und Abhörstudio des Opernhauses in Sydney, Australien, erkennen.



können als Quelle von Druckwellen benutzt werden, deren Frequenz von den Abmessungen des Schwingquarzes abhängt, aber normalerweise weit oberhalb der menschlichen Hörschwelle und somit im Ultraschall-Bereich liegt.

Anwendungen akustischer Schwingungen

Neben den offensichtlichen Anwendungen in Sprache und Musik gibt es viele technische Anwendungen von Druckwellen. Von der Erdrinde übertragene Kompressionswellen können durch Siesmographen registriert werden und ermöglichen es, geophysikalische Bewegungen zu lokalisieren und zu klassifizieren. Darüber hinaus geben sie Auskunft über die Gesteinsschichten, die sie durchlaufen haben (siehe SEIS-

der Schmelze vor dem Gießvorgang angewendet.

Löcher jeder Form lassen sich bohren, indem man Ultraschallwellen auf einen Stab wirken läßt, der die anzubohrende Oberfläche berührt. Das Bohren wird durch Schmirlgeln bewirkt; das entstehende Loch hat dann die Form des schwingenden Stabes. Die Gesetzmäßigkeiten der Reflexion von Ultraschall sind die Grundlage der zerstörungsfreien Entdeckung von Rissen, Hohlräumen und anderen Unregelmäßigkeiten in großen metallischen Gußteilen.

Unten: Komplizierte Chladnische Klangfiguren im Quarzsand auf einer rechteckigen Stahlplatte, die durch eine Schwingung der Frequenz 15,2 kHz erzeugt werden.

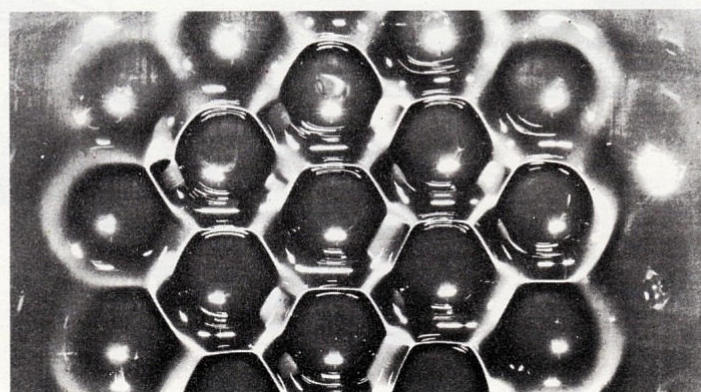
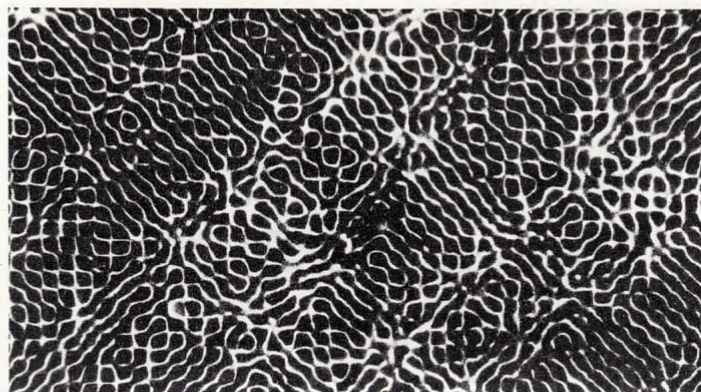
Ganz unten: Eine hochfrequente Schallwelle regt eine Flüssigkeit zu Schwingungen an, die in ihr eine sechseckige Struktur erzeugen.



Links: Ultraschall-Desintegrator zum Zersetzen von Tierkörperzellen.

MOLOGIE). Die Suche nach Rohstoffen wie Öl und Erdgas beruht weitgehend auf der durch Reflexion akustischer Wellen an Gesteinsformationen erhaltenen Information. Auch zur Messung der Tiefe und Lage von Funden auf dem Meeresgrund wird die Reflexion von Schallwellen benutzt (siehe SONAR).

Ultraschall findet weitverbreitete Anwendung. Die bedeutendste ist wohl die Reinigung, das Bohren und die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung von Gußteilen durch Ultraschall. Werden solche hochfrequenten, akustischen Wellen in Flüssigkeiten erzeugt, zeigt sich 'Kavitation' durch das Auftreten winziger Hohlräume in der Flüssigkeit. Dieser Vakuum-Effekt in der Flüssigkeit ist höchst wirkungsvoll bei der Entfernung von Schmutz und Staubteilchen von zu reinigenden Oberflächen. Dieses Verfahren wird auch zur Herstellung von Emulsionen aus nicht mischbaren Flüssigkeiten (Flüssigkeiten, die sich normalerweise nicht vermischen, wie Öl und Wasser) und zur Entfernung von Luftblasen aus



SCHALLDÄMPFER (HANDFEUERWAFFEN)

Wird an den Lauf einer Selbstladepistole ein Schalldämpfer angesetzt, ertönt ihr Schußknall nicht lauter als der eines Luftgewehres.

Der beim Abfeuern einer Schusswaffe auftretende Knall rührt daher, daß die durch die Explosion des hinter dem Geschöß befindlichen Pulvers erzeugten Gase entweichen. Durch eine Verlangsamung der entweichenden Gase kann der Schußknall von Handfeuerwaffen wirksam gedämpft werden.

Im Jahre 1908 erfand der Amerikaner Hiram Percy Maxim (1896 bis 1936) einen Schalldämpfer für Handfeuerwaffen. (Hiram Percy Maxim war der Sohn von Sir Hiram Stevens Maxim, der ein Maschinengewehr erfand, und der Neffe von Hudson Maxim, der das häufig im Ersten Weltkrieg benutzte rauchlose oder rauchschwache Pulver entwickelte.) Beim Maxim-Schalldämpfer handelte es sich um einen am Pistolenschaft befestigten Zylinder mit mehreren Kammern, die durch mit einer Zentralbohrung versehenen Staubleche getrennt waren (Dämmung durch Reflexion). Die Kugel (Geschöß) wurde durch die Bohrungen der Staubleche hindurchgeführt, während sich die hinter dem Geschöß entweichenden Gase in den einzelnen Kammern ausdehnten. Hierdurch wurde ihre Geschwindigkeit so stark herabgesetzt, daß sie nicht mit der Gewalt einer Explosion in die Umgebungsluft ausgestoßen wurden.

Die U.S.-Armee setzte die Maxim-Schalldämpfer bei Gewehren für Scharfschützen versuchsweise ein, wobei

Rechts: Eine Sterling Schnellfeuer-Kolbenpistole, bei der durch Anbringung eines Schalldämpfers Bohrungen im Lauf freigegeben werden, und die Selbstladevorrichtung ausgeklippt wird. Bei der benutzten Munition handelt es sich um Serienmunition. Die sich hinter in dem Geschöß ausdehnenden Gase entweichen durch die Bohrungen in den Staublechen des Schalldämpfers wodurch die Fluggeschwindigkeit des Geschosses unter die Schallgrenze verlegt wird.

Unten: Für die deutsche Luger Selbstlade-Pistole aus dem Jahre 1908 wird bei Verwendung mit Schalldämpfer Munition mit verringerter Pulverladung verschossen.



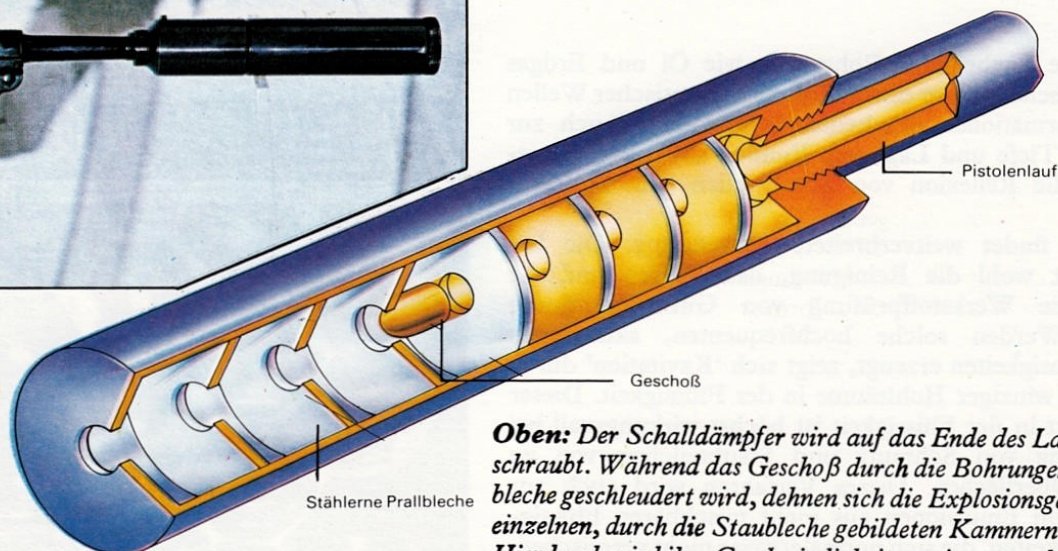
festgestellt wurde, daß die über der Schallgeschwindigkeit liegende Fluggeschwindigkeit des Geschosses einen Eigenknall erzeugte, weshalb diese Schalldämpfer für die Gewehre von Scharfschützen nicht geeignet waren. Der Schalldämpfer ist nur für niedrige Geschwindigkeiten erreichende Geschosse, deren Fluggeschwindigkeit unter der Schallgrenze liegt, geeignet. (Bei Revolvern zeigt der Schalldämpfer keine Wirkung, da er das Entweichen der Gase um die als Magazin für die Patronen ausgebildete Trommel nicht verhindert.)

Während des Zweiten Weltkrieges wurde der Schalldämpfer sowohl von der deutschen als auch der sowjetischen Armee für Geschosse mit niedrigen Geschwindigkeiten benutzt. Bei diesen Geschossen handelte es sich um Patronen für Handfeuerwaffen vom normalen Militärkaliber mit reduzierter Pulverladung. Im allgemeinen waren die Schalldämpfer nach dem Prinzip von Maxim gebaut. Eine Ausnahme war während des Krieges ein einfaches, mit Entlüftungsbohrungen versehenes Rohr, das am Ende mit Gummischeiben verschlossen war. Das Geschöß ging durch die Gummischeiben hindurch, die häufig ersetzt werden mußten, während die Gase langsamer durch die Entlüftungsbohrungen entweichen konnten.

Im Jahre 1932 wurde in den USA infolge zahlreicher Banküberfälle und allgemeiner Mißachtung der Gesetze als Folge der Inflation und der Änderung des Gesetzes über das Alkoholverbot aus dem Jahre 1917 das 'nationale Schusswaffengesetz' verabschiedet. Beispielsweise wurden Schrotflinten mit abgesägtem Lauf, die sich leicht verbergen lassen und auf kurze Entfernungen eine schreckliche Wirkung haben, gesetzlich verboten, während Schalldämpfer registriert und versteuert werden mußten. Hierdurch wurde der Absatz von Schalldämpfern eingeschränkt.



COLONEL WEEKS



TOM MCARTHUR

Oben: Der Schalldämpfer wird auf das Ende des Laufes geschraubt. Während das Geschöß durch die Bohrungen der Staubleche geschleudert wird, dehnen sich die Explosionsgase in den einzelnen, durch die Staubleche gebildeten Kammern aus. Hierdurch wird ihre Geschwindigkeit verringert und der laute Schußknall aufgehoben.

SCHALLPLATTENHERSTELLUNG

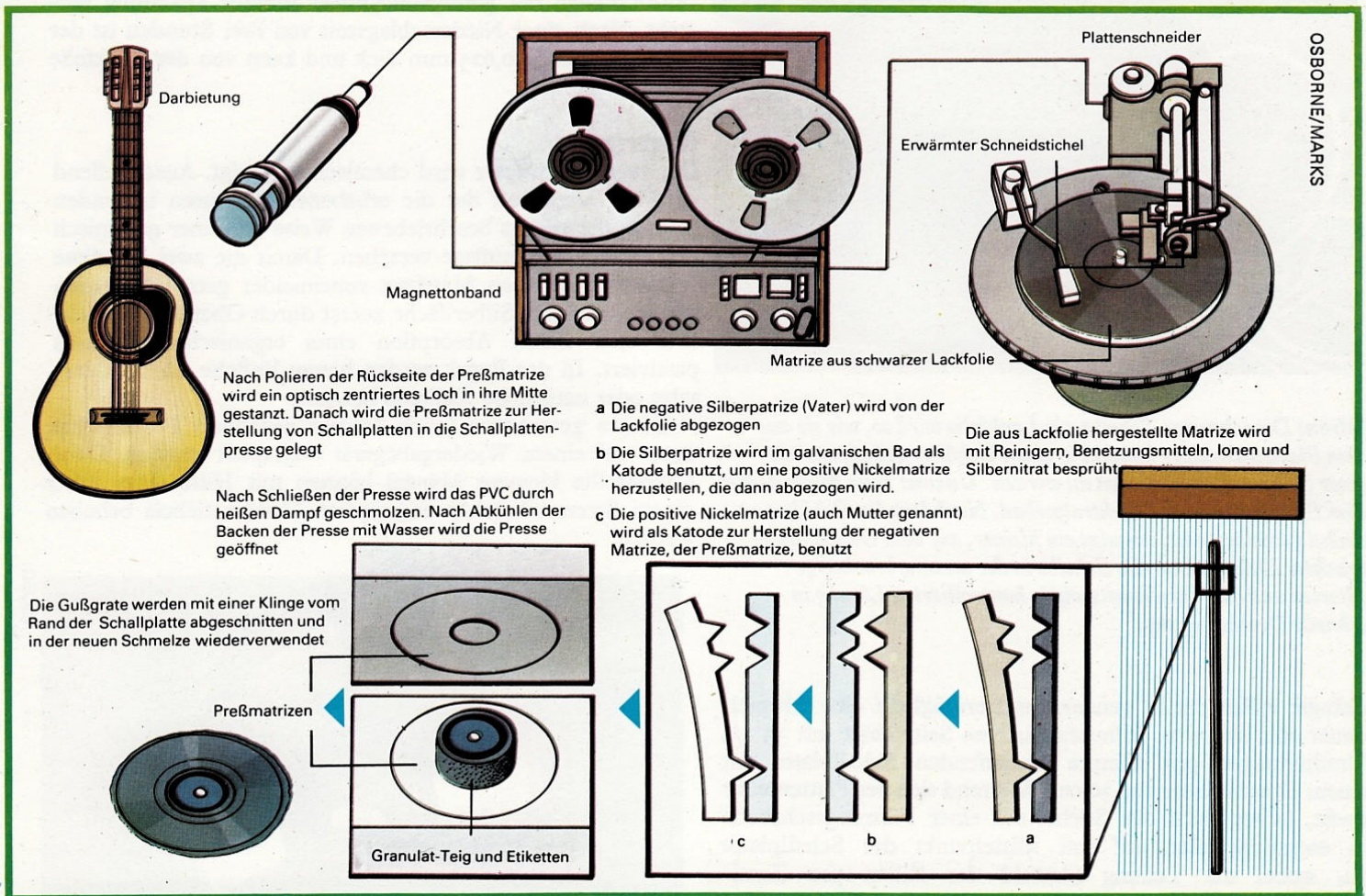
Die Herstellung von Schallplatten ist ein komplizierter, mehrstufiger Fertigungsverfahren, bei dem strenge Qualitätskontrollen während jeder Produktionsstufe durchgeführt werden müssen, damit Schallplatten mit wirklich einwandfreier Wiedergabe der Tonaufzeichnungen entstehen.

Töne werden durch Druckwellen am Ohr hervorgerufen, deren Intensität und Frequenz vom Hörenden als Lautstärke und Tonhöhen interpretiert werden. Melodische Klänge besitzen harmonische, auf einer wellenförmigen Grundlinie

Magnettonband übertragen werden. Die Aufzeichnungen werden in kurzen Teilabschnitten aufgenommen. Das Mutterband ist das Ergebnis eines Aufzeichnungsvorganges, an dem neben den Künstlern auch der Produzent und die Toningenieure beteiligt sind.

Matrize (Schallrillen-Lackfolie)

Die Produktion von Schallplatten wird durch die Herstellung einer Lackfolie eingeleitet. Die magnetisch aufgezeichneten Schwingungen der Töne und Tonfolgen werden in elektrische Pulse zurückverwandelt, die ihrerseits auf eine das Schallrillen-Gravierwerkzeug (ein Saphir- oder Rubin-Schneidstichel) tragende elektromechanische Vorrichtung einwirken. Der Präzisions-Plattenschneider besteht aus einem schweren, mit gleichbleibender Geschwindigkeit umlaufenden Plat-



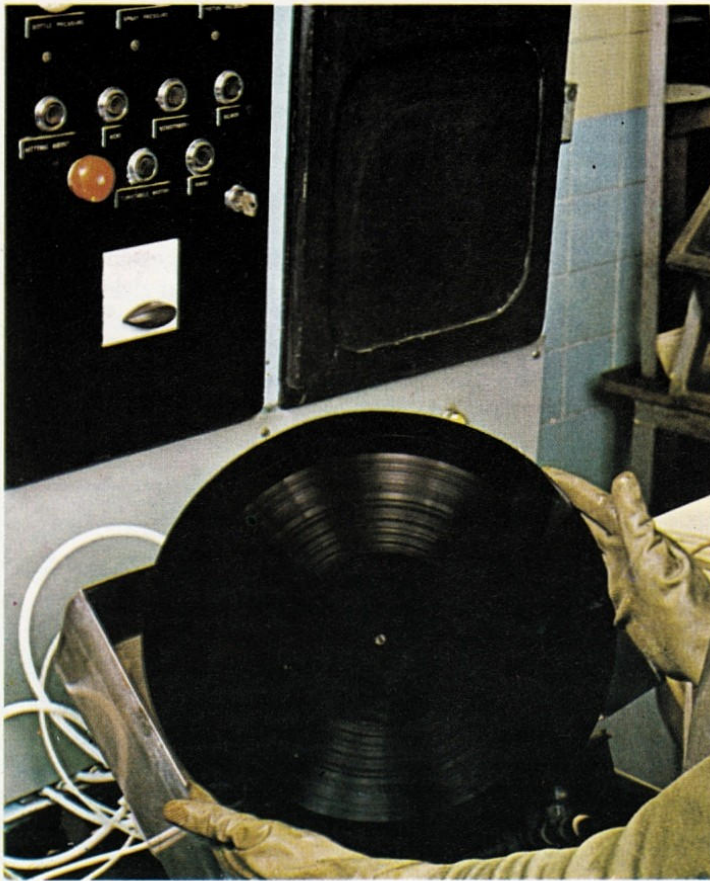
angeordnete Obertöne. Bei der Tonaufzeichnung werden diese Druckabweichungen über das Mikrophon in elektrische Energie umgewandelt, verstärkt und über einen Frequenzbereich von 30 Hz bis 20 000 Hz auf einem Magnettonband aufgezeichnet. Es müssen zahlreiche elektrische Angleichungsvorgänge durchgeführt werden, um den Frequenzbereich in den einzelnen Rillen der fertigen Schallplatte unterzubringen und das Bandrauschen zu unterdrücken. Diese Angleichungen werden im Wiedergabe-Verstärker umgekehrt und müssen einer international vereinbarten Norm entsprechen, damit sich die Endaufzeichnung mit jedem Wiedergabegerät einwandfrei anhört.

Bei modernen Stereo-Aufzeichnungsverfahren werden mehrere Mikrophone zur Aufzeichnung auf bis zu 24 Kanälen bei einer Geschwindigkeit von 38 cm/s auf einem 50 mm breiten Magnettonband eingesetzt. Beim Mischen fließen die Aufzeichnungen aller Kanäle ineinander, um den gewünschten Tonausgleich zu erzielen, wobei sie gleichzeitig auf ein 6,2 mm breites, Mutterband genanntes Doppelspur-

Oben: Die Reihenfolge der Vorgänge bei der Herstellung von Schallplatten. Die erste Aufzeichnung erfolgt auf einem Mutterband. Seit 1948 wird hierzu ein Tonband benutzt.

tenteller. Bei der Kunststoff-Folie, in die die in mechanische Schwingungen umgesetzten Schallschwingungen eingeschnitten werden, handelt es sich um gleichmäßig auf eine Aluminiumplatte aufgetragenen Nitrozelluloselack.

Eine einstellbare, auf Mikro-Gewichtsveränderungen reagierende Vorrichtung garantiert, daß die Rille mit gleichbleibender Tiefe geschnitten wird, während der Schneidstichel gleichzeitig auf seine Bewegung in senkrechter und waagerechter Ebene abgestimmt wird, wobei er die im Jahre 1931 patentierte 45/45-Stereorille (siehe PLATTENSPIELER) schneidet. Der Plattenschneider arbeitet fast vollständig automatisch und regelt z.B. den Abstand der Spirallrillen entsprechend der Modulationsaussteuerung. Dieses Verfahren wird das Verfahren der variablen Mikrograde (ge-



Oben: Die schwarze Scheibe aus Lackfolie wird so, wie sie aus dem Plattenschneider kommt, in einen Behälter gelegt, um mit einer Silberauflage versehen zu werden. **Unten:** Eine Matrize vor dem Eintauchen in das Elektrolysebad. Nachdem der Behälterdeckel geschlossen ist, versetzt ein kleiner, auf dem Deckel angebrachter Elektromotor die Scheibe in der ununterbrochen gefilterten und auf Verschmutzungen kontrollierten Lösung in schnelle Drehbewegung.

drängte Rillenschrift) genannt und ermöglicht eine Abspieldauer von bis zu 35 Minuten für eine Seite einer mit 33 $\frac{1}{3}$ Umdrehungen pro Minute umlaufenden Schallplatte mit einem Durchmesser von 30 cm. Während sich der Plattenteller dreht, bewegt sich der Stichel auf einer Führungsschraube in engen Spiralen auf den Mittelpunkt der Schallplatte zu, wobei die Teilung (Anzahl der Rillen pro Zentimeter) zwischen 50 und 150 Rillen schwankt. Die durch den Stichel abgetragenen Kunststoff-Fäden oder Schneidspäne werden unaufhörlich durch dicht an der Schneidstelle ange-setzte Saugluft abgehoben. Eine glatte Oberfläche der Rillenwandungen wird durch die Qualität der Lack-Zusammensetzung sowie durch die geometrische Gestaltung des Schneidstichels und seiner vorschriftsmäßigen Erwärmung erreicht.

Die geschnittenen Rillen haben eine mittlere Tiefe von 0,05 mm bei einem Öffnungswinkel von 90° und einem Bodenradius von 0,005 mm. Bei der Abspielnadel beträgt der Öffnungswinkel 59° und der Spitzenradius 0,015 mm. (Der Ausdruck 'Nadel' trifft auf die Tonkopfnadel zur Wiedergabe eigentlich nicht zu, da sie nicht 'spitz' ist. Die 'Spitze' ist kugelförmig, so daß die in der Tonrille geführte Nadel nicht auf dem Boden der Rille aufliegt, sondern ihre beiden Seiten berührt.)

Patrize

Die Lackplatte wird chemisch gereinigt, wobei die Oberfläche durch Behandlung mit speziellen Tensiden (grenzflächenak-

tive Stoffe) hydrophil (wasseranziehend) gemacht wird. Auf der Oberfläche der Patrize (Vater) werden Zinn-Ionen adsorbiert, die als Kern für das Silber dienen, das sich infolge gleichzeitigen Besprühens mit einer Ammoniaksilbernitrat-Lösung und einer Reduktionslösung bildet.

Obgleich die Silberglanz-Auflage äußerst dünn ist, leitet sie doch so stark, daß sich auf ihr als Katode (negative Elektrode) in einem löslichen Nickel (Nickelsulfamat) als Anode (positive Elektrode) enthaltenden Elektrolysebad eine als galvanischer Niederschlag gebildete Nickelauflage absetzt. Dieser Vorgang wird über eine kurze Zeit mit niedriger Temperatur (35°C) eingeleitet, worauf dann eine längere Reaktionszeit bei 60°C folgt. Die Temperatur, andere in die Lösung eingebrachte Chemikalien und der Säuregrad werden genauestens überwacht, damit eine reine, galvanisch gebildete Nickelauflage mit geringstmöglicher innerer Spannung entsteht. Nach einer Niederschlagszeit von drei Stunden ist der 'Vater' ungefähr 0,625 mm dick und kann von der Lackfolie getrennt werden.

Matrize

Der versilberte Vater wird chemisch gereinigt. Anschließend wird der Vater auf der die erhabenen Konturen tragenden Seite in der bereits beschriebenen Weise mit einer galvanisch gebildeten Nickelauflage versehen. Damit die zwei auf diese Weise entstandenen Matrizen voneinander getrennt werden können, wird die Silberfläche zuerst durch Oberflächenoxidation oder durch Absorption eines organischen Kolloids passiviert. In der Regel werden hierzu lösliche Chromsäuresalze oder natürliche Kolloide benutzt.

Die so gewonnene (auch Mutter genannte) Folgematrize kann auf einem Wiedergabegerät abgespielt werden. Dabei festgestellte kleinere Mängel können mit Hilfe eines unter einem Stereomikroskop angesetzten Gravierstichels behoben werden.





RAY DUNS

Preßmatrize

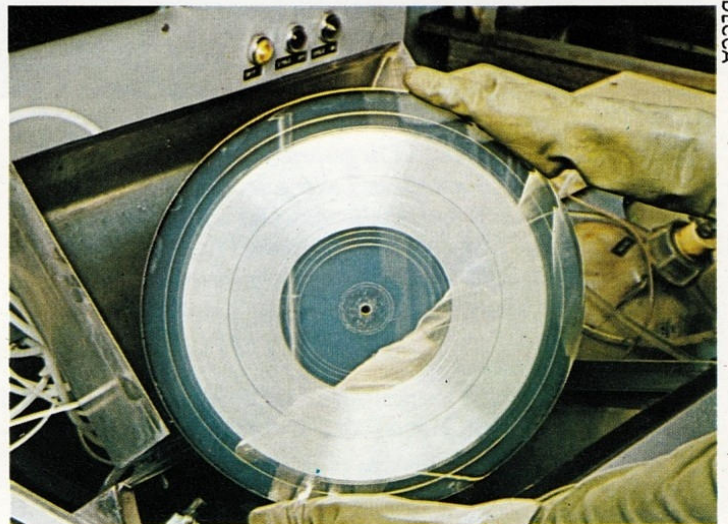
Nach dem gleichen Verfahren, durch das die Mutter vom Vater gewonnen wird, wird auch die Preßmatrize mit Hilfe der Mutter hergestellt. Die Preßmatrize ist nur 0,25 mm dick. Da ihre Rückseite vollkommen glatt sein muß, wird sie poliert und erhält ein bestimmtes Profil, das den Formbacken der Schallplattenpresse entspricht. In der Mitte der Preßmatrize wird ein optisch mittig ausgerichtetes Loch angebracht. (Liegt das Loch nicht genau in der Mitte, kommt es beim Abspielen der mit der Preßmatrize hergestellten Schallplatte zu wellenförmigem Verlauf der Tonrillen. Im Verhältnis zum Rand der Schallplatte ist das Loch zwar in der Mitte — im Verhältnis zum Tonarm des Plattenspielers jedoch wandern die Tonrillen mit jeder Umdrehung der Scheibe hin und her.)

Kunststoffe zur Herstellung von Schallplatten

Zur Herstellung von mit 45 Umdrehungen pro Minute umlaufenden Schallplatten (Pop Singles) werden Polystyrol und Acryl-Polymerisate verwendet. Bei dem im allgemeinen zur Herstellung von Schallplatten mit 33 1/3 Umdrehungen pro Minute verwendeten Polymerisat handelt es sich um Polyvinylchlorid (PVC), und zwar normalerweise in Form seines Copolymerisates mit ungefähr 14% Vinylacetat, da dieser Werkstoff den Anforderungen des Verhältnisses zwischen Nadel und Mikrorille, den physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Schallplatte und den normalerweise beim Formvorgang anzutreffenden Bedingungen am besten entspricht. Das PVC enthält Zusätze wie Gleitmittel, deren Anteil in der Regel ein Prozent nicht überschreitet, damit sich die Schallplatte ohne Schwierigkeiten aus der Form nehmen läßt, und zur Gewährleistung einer möglichst hohen Verschleißfestigkeit der Tonrillen beim Abspielen, Ruß als Farbstoff und einen Wärme-Stabilisator zum Erreichen einer hohen Alterungsfestigkeit des PVC. Bei dem Stabilisator handelt es sich um eine organische Verbindung eines Metalles wie z.B. Zinn, Blei oder Calcium. Auch ist es heute üblich, dem Werkstoff zur Verbesserung der Schmelzen-Elastizität ein oder mehrere PVC-Polymerisate als Zuschlag beizugeben, wodurch eine verbesserte Formfüllung erreicht wird.

Das Polymerisat und die Zusätze werden in einer mit 1500 U/min umlaufenden Mischmaschine gründlich vermischt. Hierbei kommt es zu Temperaturen bis zu 100°C, weshalb das Pulver durch einen Kühltunnel geleitet wird, um eine frei fließende 'trockene Mischung' zu bilden, die anschließend mit einer elektrisch beheizten Schneckenstrang-

presse in ein mechanisch geformtes und anschließend mit Wasser gekühltes Granulat verwandelt wird. Dieses heute immer stärker in den Vordergrund tretende Verfahren besteht darin, die trockene Mischung in eine kleine, an jede Schallplattenpresse ange setzte Strangpresse einzufüllen. Der



DECCA



Ganz oben: Die aus Lackfolie hergestellte und mit einer Silberauflage versehene Platte wird aus dem Elektrolysenbad herausgenommen. Im Bild oben sieht man, wie die positive Matrize von der künftigen Preßmatrize getrennt wird. Die Rückseite der Preßmatrize wird glattpoliert.



Oben: Schallplattenpresse. Die gespritzte PVC-Masse und die Etikette werden auf den unteren Teller gelegt, ein Schutzdeckel wird heruntergedrückt und schaltet automatisch die dampfbeheizte Presse ein. Nach 40 Sekunden ist die Platte fertig und wird auf der rechts abgebildeten Vorrichtung von überschüssigem Kunststoff, dem 'Gußgrat' befreit.

von der Strangpresse ausgestoßene heiße Werkstoff wird bei ungefähr 160°C von Hand oder maschinell in die Schallplattenpresse eingebracht.

Formpressen von Schallplatten

Noch immer werden halbautomatische Pressen zur Herstellung von Schallplatten eingesetzt; jedoch zielt die Entwicklung in immer stärkerem Maße auf die vollautomatische Schallplattenproduktion hin, bei der sogar das Einführen der Schallplatte in die Schallplattenmühle eingeschlossen ist.

Besonders bei 30-cm-Langspielplatten wird die Herstellung mit Hilfe von Schallplattenpressen bevorzugt. Der erwärmte 'Teig' des granulatförmigen Kunststoffes wird gemeinsam mit den Etiketten zwischen den beiden, durch eingebaute Kanäle mit Dampf beheizten und mit Wasser gekühlten Backen der Schallplattenpresse angebrachten Preßmatrizen zusammengedrückt. Der an den Preßflächen entwickelte hydraulische Druck liegt bei 157 kg/cm², während der Dampf- und Wasserdruck mit 10 kg/cm² angegeben wird. Der vollständige Formpreß-Zyklus wird entweder elektromechanisch oder elektronisch auf automatischem Wege gesteuert. Die Zykluszeit liegt für 17,5-cm-Schallplatten bei ungefähr 15 Sekunden und für 30-cm-Schallplatten bei etwa 25 Sekunden. Nach dem Formpressen wird die Schallplatte aus der Presse herausgenommen. Der abstehende Gußgrat (überschüssiger Kunststoff) wird durch Drehen der Schallplatte gegen ein heißes Messer vom Rand entfernt.

Viele 17,5-cm-Schallplatten werden im Spritzgußverfahren hergestellt, d.h. der heiße Kunststoff wird unter Beibehaltung

des Zusammenpreßdruckes in die Formen gespritzt. Es ist möglich, mit zwei Formhöhlungen gleichzeitig zu arbeiten; dies ermöglicht die Herstellung von zwei Schallplatten pro Zyklus. Ein anderes Verfahren besteht im Spritzgießen mit anschließendem Pressen, wobei beide Vorgänge fast gleichzeitig stattfinden.

Qualitätskontrolle

Bei der Herstellung von Schallplatten läßt sich die Qualitätskontrolle nicht einfach durchführen, weil nicht jede Schallplatte durch Abspielen geprüft werden kann. Bei der Prüfung des von einer Presse ausgestoßenen Schallplattenschubes bedient man sich statistischer Verfahren. Die tatsächliche Qualitätskontrolle jedoch muß in jeder Produktionsstufe durchgeführt werden.

Ganz zu Beginn muß der für das Schneiden der Lackfolie verantwortliche Ingenieur die Schnelle (Geschwindigkeit der Wechselbewegung, die die Abtastnadel des Plattenspielers oder der Schneidstichel des Plattenschneiders ausführt) festlegen, mit der die Schallplatte geschnitten werden soll. Ist die Schnelle zu groß, müssen die Rillen weiter auseinanderliegen, wodurch es nicht nur zur Verkürzung der Abspieldauer, sondern auch zur Verzerrung und zu ungleichmäßigem Lauf der Abspielnadel in den fertigen Plattenrillen kommt. Zu geringe Schnelle führt zu einem mangelhaften Impuls/Ton-Verhältnis. Zwischen den einzelnen Windungen der spiralförmig geschnittenen Tonrille muß eine ausreichend breite Trennfläche liegen. Berühren sich die Rillen (Rillenkuß), springt die Nadel beim Abspielen der Schallplatte von der einen Rille in die andere über. Liegen gleichförmig geschnit-



tene Rillen zu dicht an starke Tonveränderungen darstellenden Rillen, kommt es zum Vor- oder Nachhall (Überleitung des Tones von der einen Rille in die andere infolge von Verziehlungen der Rillenwandungen). Mögliche Schwierigkeiten dieser Art werden durch einen Computer verringert, der das Mutterband eine Sekunde vor der Schneidbewegung des Stichels abhört und die erforderlichen Einstellungen für das Schneiden verschiedenartiger Tonhöhen vornimmt.

Wie oben bereits erwähnt, müssen Patrizie und Matrizen sorgfältig kontrolliert und eventuelle Mängel in jeder Fertigungsstufe behoben werden; vor allem müssen sie sauber sein. Sie können viele Male benutzt werden, müssen aber ständig kontrolliert und bei Anzeichen von Verschleiß erneuert werden. Mit einem Paar Preßmatrizen können mehrere Tausend — oder auch nur einige Hundert — Schallplatten hergestellt werden, was von der gewünschten Qualität und einer Reihe anderer Faktoren abhängig ist. Eine mit abgenutzten Preßmatrizen hergestellte Schallplatte wird beim Abspielen abgenutzt klingen.

SCHIEBLEHRE

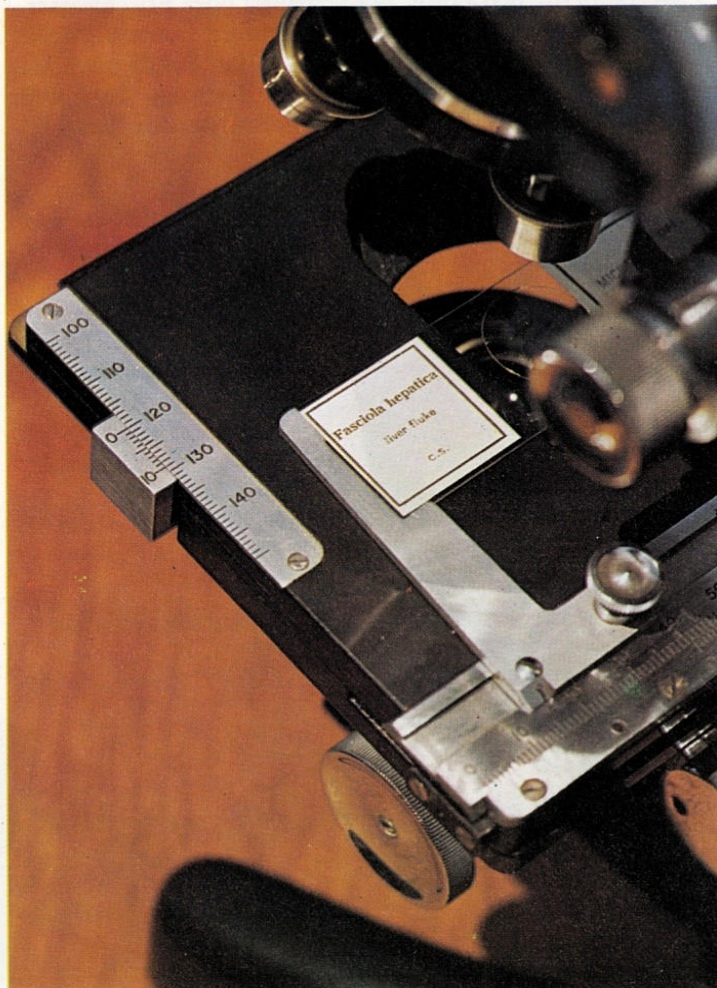
Mit einer Schieblehre sind Messungen um ein vielfaches genauer ausführbar, als dies mit einem einfach geteilten Meßgerät möglich ist.

Eine Schieblehre (auch Schublehre genannt) ist ein Gerät, das genauere Messungen ergibt, als sie durch ein Instrument mit einer einfachen, regelmäßig geteilten Skala erreicht werden können. Solche Anordnungen werden in Mikrometerschrauben und Präzisionsmaschinen — etwa in Drehbänken — benutzt, also immer dann, wenn eine Feineinstellung oder eine Genauigkeitskontrolle erforderlich ist. Das Prinzip wurde im Jahre 1631 von dem Mathematiker Pierre Vernier erfunden.

Die Meßgenauigkeit einer gewöhnlichen Meßskala ist durch die Zahl der Unterteilungen begrenzt, die in einem bestimmten Raum angebracht werden können. Eine Skala für Längenmessungen kann in Meter und Millimeter geteilt sein. Schwierig wäre es, kleinere Teilungen, z.B. ein Zehntel von einem Millimeter, auf den Maßstab aufzubringen und abzulesen.

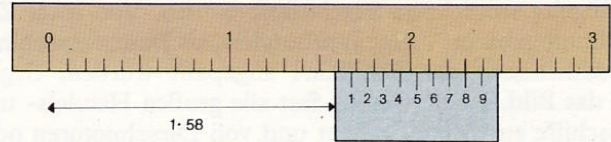
Um diese Begrenzung der Genauigkeit zu überwinden, wird eine zweite, danebenliegende Skala von leicht unterschiedlicher Größe benutzt; dies ist der Nonius. Durch Benutzung dieser Skala können Messungen bis zur Genauigkeit von einem Zehntel Millimeter durchgeführt werden.

Unten: Schieblehre auf einem Mikroskopisch. Jeder Teilstrich auf dem Nonius entspricht $9/10$ der Hauptskalenteilung; folglich wird die Nonius-Skala in der gleichen Richtung numeriert wie die Hauptskala. Die gezeigte Messung ist genau 120, da die Null-Marke des Nonius mit dem Wert 120 der Hauptskala übereinstimmt.



Das Prinzip

Die Wirkung der Schieblehre beruht auf dem Unterschied zwischen der kleinsten Einteilung auf der Hauptskala und auf der Hilfsskala (d.h. dem Nonius). Der Einfachheit halber wird dieser Unterschied als bequeme Dezimalzahl gewählt, z.B. als ein Hundertstel Zentimeter (0,01 cm). Es ist also üblich, den Nonius um diesen Betrag kleiner auszuführen, obgleich auch ein größerer Nonius benutzt werden kann, wenn die Zahlenreihenfolge auf dem Nonius umgekehrt wird, wie später erklärt wird.



OSBORNE/MARKS

Man betrachte ein Zeigerpaar, das auf der Hauptskala eine Messung zwischen 1,5 cm und 1,6 cm anzeigt. Gesucht ist der Wert der nächsten Dezimalstelle. Er wird dadurch gefunden, daß man die Null-Marke des Nonius an die Anzeigestelle auf der Hauptskala anlegt und ermittelt, welcher Teilstrich des Nonius mit einer Hauptskalenteilung zusammenfällt. Im obigen Beispiel ist dies der Wert 8. Die Präzisionsablesung ergibt somit 1,58 cm.

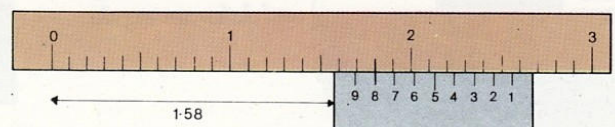
Dies läßt sich folgendermaßen begründen: Jede Nonius-Teilung ist um $1/10$ kleiner als die Teilung der Hauptskala; d.h. zehn Noniusteile entsprechen neun Hauptskala-Einteilungen (0,9 cm). Wäre umgekehrt die 'wahre' Meßgröße 1,51 cm, dann wäre auf der Hauptskala 0,09 cm Abstand von der 'wahren' Ablesung zur nächsten Hauptskalenteilung (1,6), und 0,09 cm entsprechen (aus dem obigen Grunde) genau einer Teilung auf der Nonius-Skala.

Wäre der 'wahre' Meßwert 1,52 cm, so wäre er 0,18 cm von der 1,7-cm-Marke entfernt; 0,18 cm sind aber zwei Teilstriche auf der Nonius-Skala. In der gleichen Weise erhält man im gezeigten Beispiel mit dem 'wahren' Meßwert 1,58 cm einen Abstand von 0,72 cm zur Marke 2,3; diese 0,72 cm entsprechen acht Teilungen auf dem Nonius.

Da die Skalen leicht unterschiedlich sind, stimmt stets nur ein Teilstrich des Nonius mit einer Marke auf der Hauptskala überein; das Ergebnis ist somit eindeutig.

Die umgekehrte Nonius-Teilung

Wird die Nonius-Teilung $1/10$ größer als die der Hauptskala gewählt, entsprechen 10 Nonius-Teilstriche 1,1 cm bzw. ein Teilstrich 0,11 cm. In diesem Fall muß die Numerierung der Skala umgekehrt werden.



Ist die 'wahre' Ablesung 1,59 cm, dann beträgt der Abstand 0,11 cm von der 1,7-Marke auf der Hauptskala. Doch 0,11 cm entspricht einer Teilung auf dem Nonius vom Zeiger aus. Da jedoch die Nonius-Skala rückwärts numeriert ist, trägt der mit der Hauptteilung übereinstimmende Nonius-Teilstrich die Kennzeichnung 9. Gleichweise gilt für den 'wahren' Meßwert 1,58 cm. Der Abstand zu 1,8 auf der Hauptskala beträgt dann 0,22 cm. Dieser Wert entspricht zwei Teilstrichen des Nonius. Aufgrund der umgekehrten Numerierung fällt der Wert 1,8 auf der Hauptskala mit dem Wert 8 des Nonius zusammen.

SCHIFFE

Schiffe, die früheste Form von Fernverkehrsmitteln, werden auch heute noch in großem Umfang zum Transport von Lasten auf der ganzen Welt eingesetzt. Der Versand auf dem Seewege ist mehr als zwanzigmal billiger als auf dem Luftwege und mehr als sechzigmal billiger als auf der Straße.

Boote und Schiffe sind seit Jahrtausenden bekannt. Es ist sicher, daß schon die Ägypter um 2500 v. Chr. bereits ziemlich ausgeklügelte seetüchtige Segelschiffe bauten. Von jener Zeit an bestimmten bis ins vorige Jahrhundert, als Dampfmaschinen den Bedürfnissen der Schifffahrt angepaßt wurden, Segelschiffe das Bild. Heute werden fast alle großen Handels- und Kriegsschiffe aus Metall gebaut und von Dieselmotoren oder Dampfturbinen angetrieben (siehe SCHIFFSANTRIEB).

Dieser Artikel beschäftigt sich mit modernen Handelsschiffen, die man in folgende Gruppen einteilen kann: Trockengutfrachter, Massengutfrachter, Containerschiffe, Schwimmcontainerschiffe (auch Huckepackschiffe genannt, weil sie beladene Leichter an Bord nehmen), Passagierschiffe, Öltanker und LPG-Tanker (Tanker für flüssiges Ölgas).

Trockengutfrachter

Die übliche Grundkonstruktion eines Trockengutfrachters sieht einen Doppelboden vor, verschiedene Laderäume, einen mittschiffs liegenden Motorraum sowie einen Vorpicktank und einen Achterpicktank. Gewöhnlich haben diese Schiffe ein oder zwei Decks und drei Hauptaufbauten, nämlich die Back, die Brücke und den Hinterdecksaufbau, die jeweils im Vorderschiff, mittschiffs und im Heck liegen und sich bis an die Seiten des Schiffes erstrecken. Das Schiff wird durch stählerne Schotte unterteilt, die vom Boden bis hinauf zum Festigkeitsdeck wasserdichte Abteilungen herstellen. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, bei einer Beschädigung des Rumpfes ein Vollaufen des Schiffes zu verhindern. Sie tragen aber zugleich das Deck und verhindern, daß der Rumpf sich durch Einwirkungen von der Fracht oder der See verzieht.

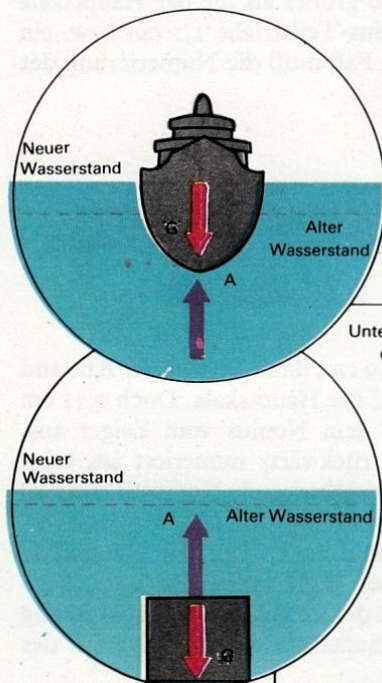
Der Doppelboden ist eine Sicherheitsmaßnahme für den



Fall, daß der Flachboden beschädigt wird. Außerdem bietet er Lagerraum für Betriebsöl, Wasserballast oder Frischwasser. Der Vorpick- und Achterpicktank nimmt normalerweise ausschließlich Wasserballast auf, damit das Schiff auch im unbeladenen Zustand hinreichenden Tiefgang hat und gegebenenfalls die Trimmung ausgeglichen werden kann.

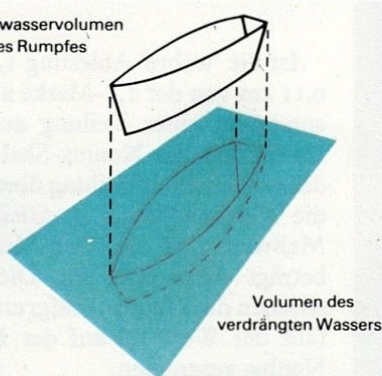
FLOTATION

Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers

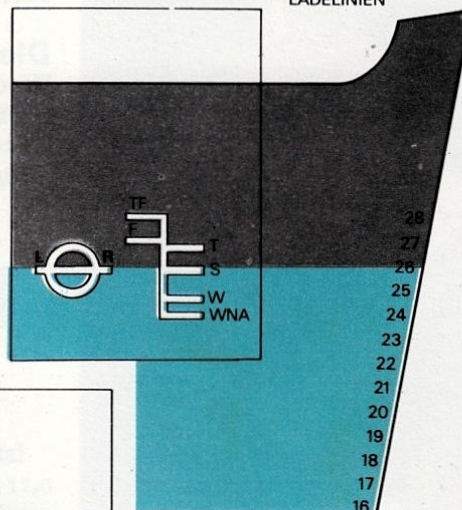


Links: Ein Schiff schwimmt auf dem Wasser, weil es so viel Wasser verdrängt, wie es wiegt, während ein massiver Stahlklotz nur einen Bruchteil seines Gewichtes verdrängt und daher untergeht.

Unterwasservolumen des Rumpfes



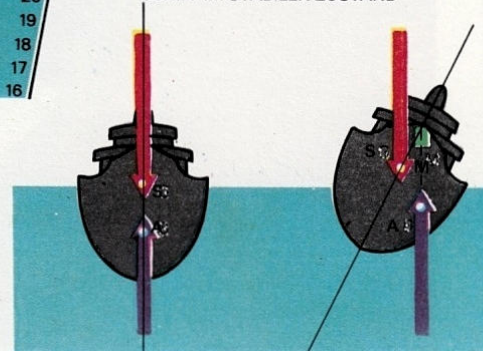
LADELINIEN



Links: Das Unterwasservolumen des Rumpfes entspricht dem Volumen des verdrängten Wassers.

Links: Ladelinien oder Freibordmarken, die auf die Seiten von Schiffen aufgemalt sind, zeigen die Tiefe, bis zu der sie in verschiedenen Klimazonen und Meeren beladen werden dürfen. Die Zahlen am Schiffsbug geben den Tiefgang in Fuß an.

SCHIFF IM STABILEN ZUSTAND





Links: Ein 276 000 t Supertanker im Bau. Das Schiff wurde auf einer japanischen Werft im Trockendock gebaut, das zum Stapellauf einfach geflutet wurde.

unter dem Rudermaschinenraum befindet sich der Ruderkoker mit dem oberen Ruderstock, der das Ruder 'legt'. Hinterdecksaufbau und Brücke enthalten Besatzungsunterkünfte und Vorratsräume, letztere teilweise als Kühlräume.

Da Dieselmotoren einen höheren thermischen Wirkungsgrad als andere Kraftmaschinen haben, dienen sie oft als Antrieb für Trockengutfrachter. Die Schraube wird unmittelbar von einem langsamlaufenden Reihomotor angetrieben. Die Schraubenwelle geht durch einen Wellentunnel nach achtern. Der Tunnel schützt die Welle vor Beschädigung durch die Fracht in den Laderäumen und ermöglicht Zugang zur Welle, damit sie und die Lager gewartet werden können.

Neben der Hauptmaschine enthält der Maschinenraum noch Hilfsmaschinen wie beispielsweise Generatoren mit Dieselantrieb, Ölreiniger, Luftpresser, Ballast-, Bilge- und Kühlwasserpumpen sowie viele andere wesentliche Ausrüstungsstücke. Unmittelbar vor dem Maschinenraum liegen die Setz- oder Klärtanks, die Bunker für Brennöl und jeweils an Steuerbord und Backbord ein Tieftank, der Flüssigladingen oder auch solche Trockenladungen wie Getreide oder Zucker aufnehmen kann. Es befinden sich praktisch alle Besatzungsunterkünfte mittschiffs, wobei die Offiziere auf dem Brückendeck oder dem Bootsdeck untergebracht sind. Ruderhaus, Navigations- und Funkraum liegen gewöhnlich zusammen; mitunter hat der Kapitän seinen Aufenthaltsraum, Schlafraum, sein Büro und seine Toilette auf demselben Deck. Kombüsen, Anrichten, Waschräume und Aufenthaltsräume für die Besatzung sind so angelegt, daß möglichst geringe Geräuschentwicklung auftritt und die Freiwachen nicht unnötig belastigt werden.

Bei Trockengutfrachtern der jüngeren Zeit liegt der Maschinenraum mehr nach achtern. Dadurch wird die Länge der Schraubenwelle verkürzt, und vor der Brücke bleibt freier Decksraum zur Arbeit mit der Ladung. Auf vielen Schiffen sind inzwischen statt der einfachen Ladebäume, die von Winden betätigt wurden, Deckskräne zum Laden und Löschen der Ladung installiert. Auf bestimmten Schiffen finden sich sogar spezielle Hebezeuge für Schwerlasten.

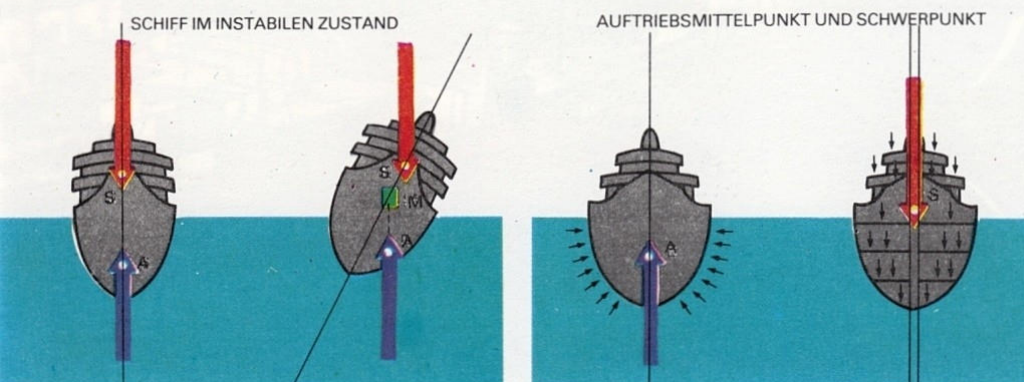
Massengutfrachter

Bei Massengutfrachtern handelt es sich um Schiffe mit einem einzigen Deck und einer Schraube. Sie befördern große Mengen an Massengütern, wie beispielsweise Getreide, Zucker, Bauxit oder Eisenerz. Die Maschinen liegen achtern, damit im Rumpf möglichst günstige Raumverhältnisse für die Ladung herrschen. Alle Besatzungsunterkünfte befinden sich achtern über dem Maschinenraum, so daß alle Dienste und sanitären Einrichtungen in einem Bereich des Schiffes zusam-

Die Zwischendecks auf der Back enthalten das Kabelgatt, Drahtseile und sonstige Ausrüstungsteile sowie Farben und Lampen. Auf dem Backdeck geht jeweils eine Ankerkette über das Ankerspill (siehe WINDE) durch eine Decksklüse zum Kettenkasten, wo die Enden der Kette am Vorpiekschott mit einem Kettenstich befestigt sind.

Achtern liegt der Rudermaschinenraum. Von hier aus wird das Ruder über einen Hydraulikmechanismus betätigt. Die Übertragung der Ruderimpulse auf das Ruder erfolgt vom Ruderhaus aus über eine Ruderfernsteuerung. Unmittelbar

Unten: Wenn ein Schiff krängt (seitlich überholt), bewegt sich die Auftriebslinie zur Seite und trifft an einer Stelle auf die Mittelachse des Schiffes, die Metazentrum oder Schwankpunkt genannt wird. Neigt ein Schiff sich im stabilen Zustand zur Seite, zieht S in der Mitte nach unten, während A seitlich verschoben wird. Mithin wirken die beiden zusammen, um das Schiff aufzurichten. Bei einem Schiff in instabilem Zustand liegt S weiter zur Seite A — das Schiff kentert.



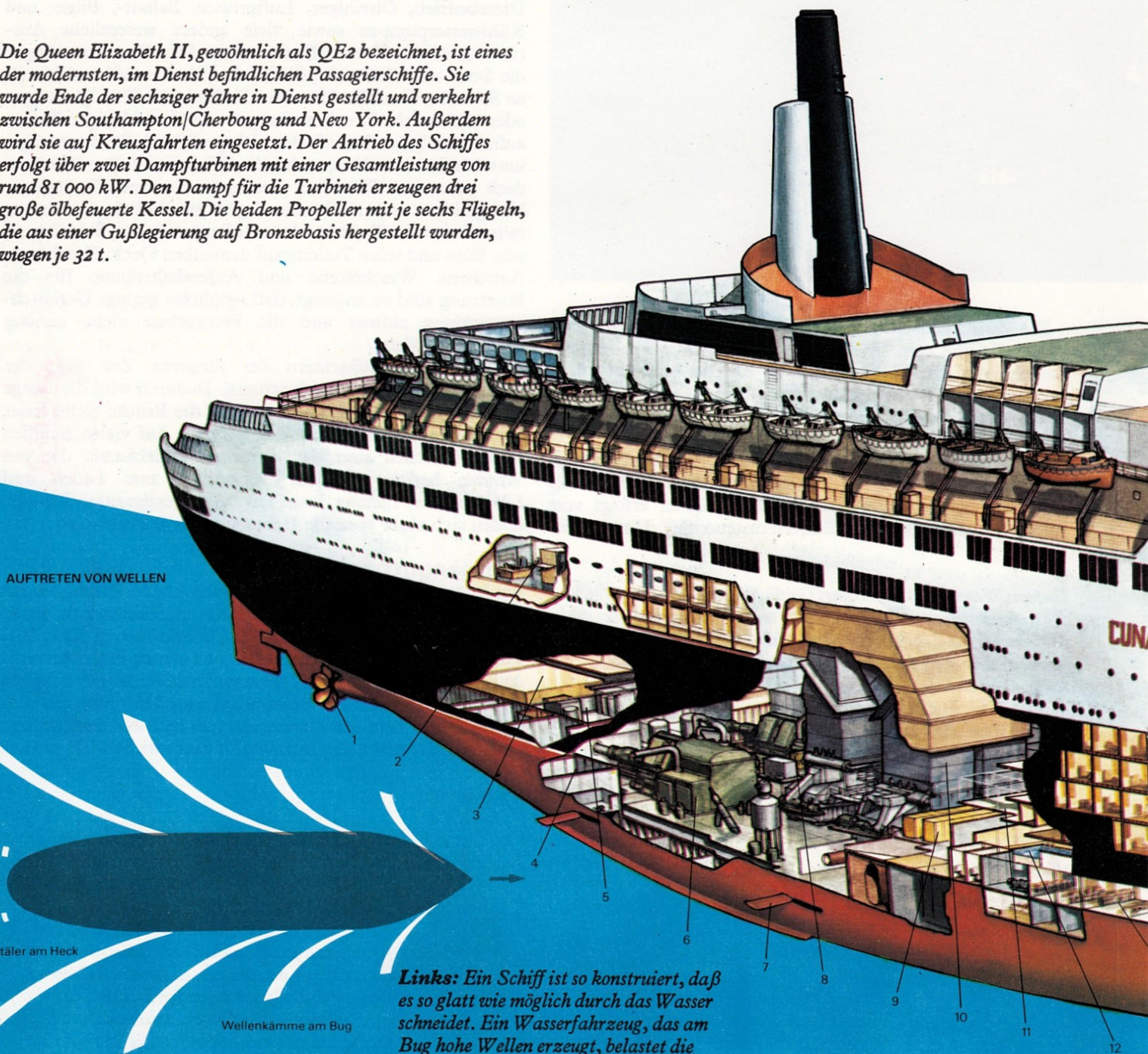
Links: Der Auftrieb wirkt an allen Stellen des Rumpfes im Wasser ein. Man kann ihn sich auch als eine einzelne Kraft vorstellen, die durch den Auftriebsmittelpunkt A einwirkt. Ähnlich kann man das Gewicht des Schiffes als eine Kraft ansehen, die durch den Schwerpunkt S nach unten wirkt. Die Lage dieser beiden Punkte bestimmt die Stabilität des Schiffes. Sie ist seine Fähigkeit, im Wasser aufrecht zu bleiben.

mengefaßt sind. Kimm tanks oben und unten ziehen sich über die gesamte Länge der Laderäume hin und nehmen Wasserballast auf, wenn das Schiff unbeladen oder mit leichter Ladung fährt. Hierdurch wird ein Tiefgang gewährleistet, der zum Eintauchen genügt und die Handhabung des leeren Schiffes bei rauher See erleichtert. Die Neigung des oberen Kimm tanks ist so berechnet, daß Verlagerungen einer Getreideladung eingedämmt werden, die sonst die Stabilität des Schiffes gefährden könnten. Der Tank im Doppelboden enthält Brennöl oder Wasserballast, auch kann mit seiner Hilfe die Trimm lage des Schiffes beeinflusst werden. Einige Massengutfrachter verfügen über eigene Ladebäume oder Deckskräne, viele hingegen sind zum Löschen und Laden ausschließlich auf die Kaianlagen angewiesen. Die Konstruktion des Rumpfes ist bei diesen Schiffen eine Kombination aus zwei Bspantungsarten, nämlich Längs- und Querbspannung. Mit ihr sollen die besten Festigkeitseigenschaften beider Systeme erzielt werden: Deck, Kimm tank und Doppelboden sind längsgespannt, während die Außenhaut quergespannt ist.

Die Queen Elizabeth II, gewöhnlich als QE2 bezeichnet, ist eines der modernsten, im Dienst befindlichen Passagierschiffe. Sie wurde Ende der sechziger Jahre in Dienst gestellt und verkehrt zwischen Southampton/Cherbourg und New York. Außerdem wird sie auf Kreuzfahrten eingesetzt. Der Antrieb des Schiffes erfolgt über zwei Dampfturbinen mit einer Gesamtleistung von rund 81 000 kW. Den Dampf für die Turbinen erzeugen drei große ölbefeuerte Kessel. Die beiden Propeller mit je sechs Flügeln, die aus einer Gußlegierung auf Bronzebasis hergestellt wurden, wiegen je 32 t.

Containerschiffe

Diese Schiffe stellen eine vergleichsweise neue Entwicklung auf dem Frachtgutsektor dar. Gegenüber herkömmlichen Schiffen haben sie eine stark verkürzte Liegezeit im Hafen. Da Container bereits eine fertige Ladung für Straßen- und Schienenfahrzeuge sind, ist nach dem Löschen eine Umladung nicht erforderlich. Von der Bundesrepublik Deutschland aus verkehren normalerweise Containerschiffe für 20-Fuß-Container. Sie lassen sich aber im gegebenen Falle zur Aufnahme von 40-Fuß-Containern umrüsten. Die Laderaumlänge ist auf die Länge und die Anzahl der im Rumpf unterzubringenden Container abgestimmt und läßt außerdem hinreichend Platz für Kühleinrichtungen und Anschlußsysteme für Container mit verderblicher Ladung. Unterkünfte und Maschinenanlagen liegen auf solchen Schiffen gewöhnlich achtern, damit zur Arbeit mit der Ladung freier Deckraum bleibt und der große Kran ein ungehindertes Arbeitsfeld hat. Der Uferkran kann mit seinem Hubspreder lediglich Normcontainer und Lukendeckel mit den dafür vorgesehenen automatischen Container-Eckverschlüssen



AUFTRETEN VON WELLEN

Links: Ein Schiff ist so konstruiert, daß es so glatt wie möglich durch das Wasser schneidet. Ein Wasserfahrzeug, das am Bug hohe Wellen erzeugt, belastet die Maschinen zusätzlich und verringert damit seine Antriebsleistung.

Wellenkämme am Bug

heben. In allen Laderäumen sind senkrechte Führungen angebracht, die die Container halten. Dies gilt vor allem für die Container in der untersten Reihe, die sich sonst durch die von oben einwirkende Kraft verziehen könnten. Die Container werden in Längsrichtung gestaut, weil die Fracht in dieser Lage weniger von den Bewegungen des Schiffes beeinträchtigt wird; auf diese Weise können sie beim Löschen auch leichter auf Straßen- und Schienenfahrzeuge umgesetzt werden. Ein Vorteil des Containerschiffes besteht darin, daß es Container auch als Decksladung befördern kann. Allerdings hängt die Zahl der möglichen Stapelreihen von der Festigkeit der Lukendeckel ab; außerdem ist sie dadurch begrenzt, daß man vom Ruderhaus freien Ausblick haben muß. Die Stabilität eines Schiffes mit Decksladung muß stets besonders gut beachtet werden, weil sich sein Massenschwerpunkt nach oben verlagert. Dabei kann ein Zustand auftreten, in dem das Schiff in aufrechter Lage instabil, bei Neigung aber stabil ist. In extremen Fällen kann es sogar

kentern. Alle auf Deck beförderten Container werden mit Hilfe von stählernen Stangen oder Stahlseilen, die über Haken und Zurrvorrichtungen verfügen, an den Lukendeckeln festgezurt, damit sie auf See nicht über Bord gehen.

Schwimmcontainerschiffe

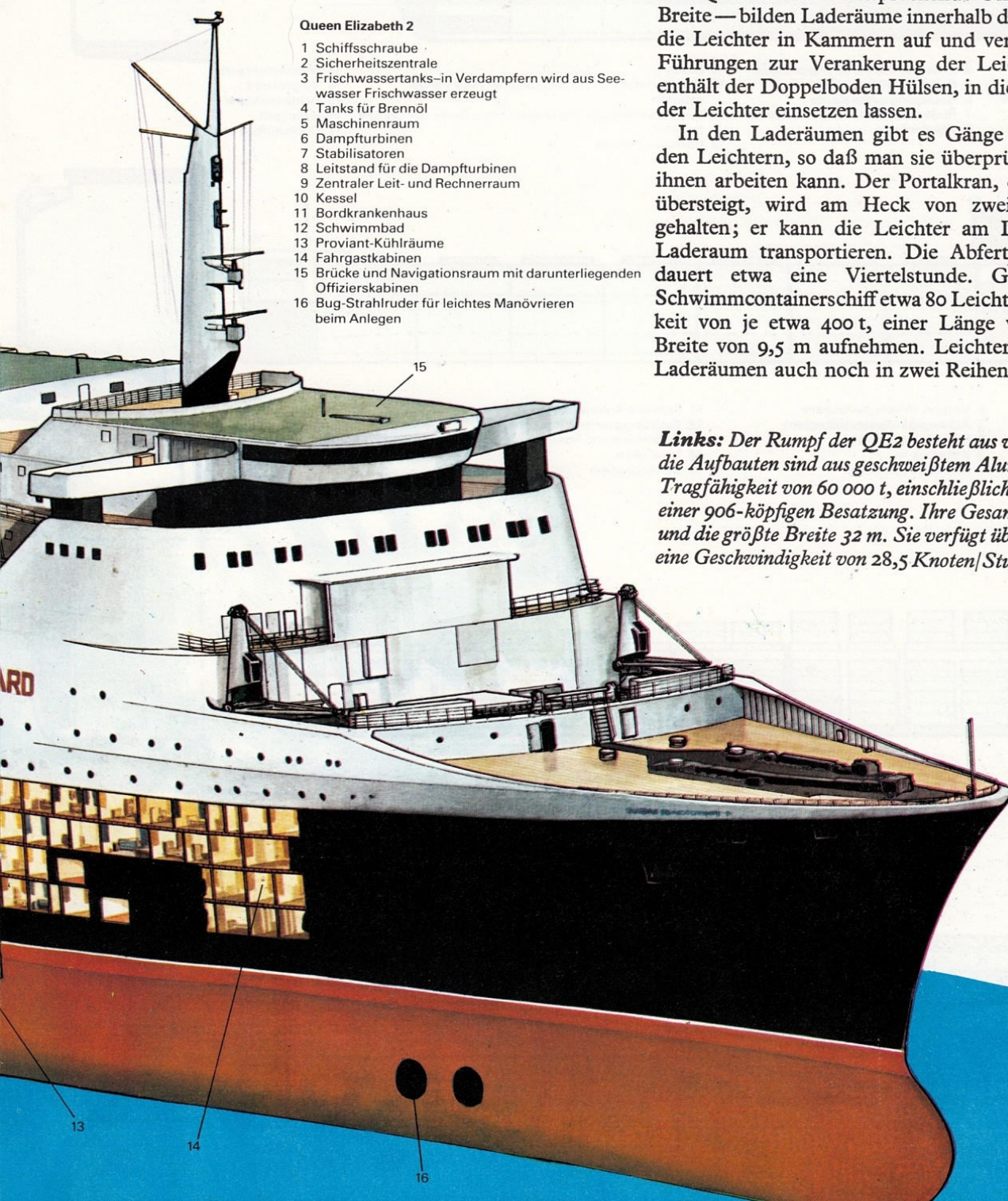
Ein Leichter ist ein kleiner Lastkahn. Ein Schwimmcontainerschiff ist ein Mutterschiff, das beladene Leichter am Heck aufnehmen und in großen Laderäumen transportieren kann. Bei diesem System werden verschiedene beladene Leichter gleichzeitig mit dem Schwimmcontainerschiff zu einem Treffpunkt beordert, von wo aus sie nach Übersee versendet werden.

Das Schwimmcontainerschiff hat ein einziges Festigkeits- oder Hauptdeck, die Unterkünfte liegen vorne und der Maschinenraum ist halb nach achtern versetzt. Der Schornsteinhals liegt jeweils seitlich, damit der große Portalkran über Schienen auf dem Deck entlangfahren kann. Längsschotte, stählerne Unterteilungen über die Länge des Schiffes, und Querschotte — entsprechende Unterteilungen über seine Breite — bilden Laderäume innerhalb des Schiffes. Sie nehmen die Leichter in Kammern auf und verfügen über senkrechte Führungen zur Verankerung der Leichter. Darüber hinaus enthält der Doppelboden Hülsen, in die sich die Eckbeschläge der Leichter einsetzen lassen.

In den Laderäumen gibt es Gänge und Leitern zwischen den Leichtern, so daß man sie überprüfen und bei Bedarf an ihnen arbeiten kann. Der Portalkran, dessen Hubkraft 500 t übersteigt, wird am Heck von zwei großen Kragträgern gehalten; er kann die Leichter am Deck entlang bis zum Laderaum transportieren. Die Abfertigung eines Leichters dauert etwa eine Viertelstunde. Gegenwärtig kann ein Schwimmcontainerschiff etwa 80 Leichter mit einer Ladefähigkeit von je etwa 400 t, einer Länge von 18,8 m und einer Breite von 9,5 m aufnehmen. Leichter können außer in den Laderäumen auch noch in zwei Reihen übereinander auf den

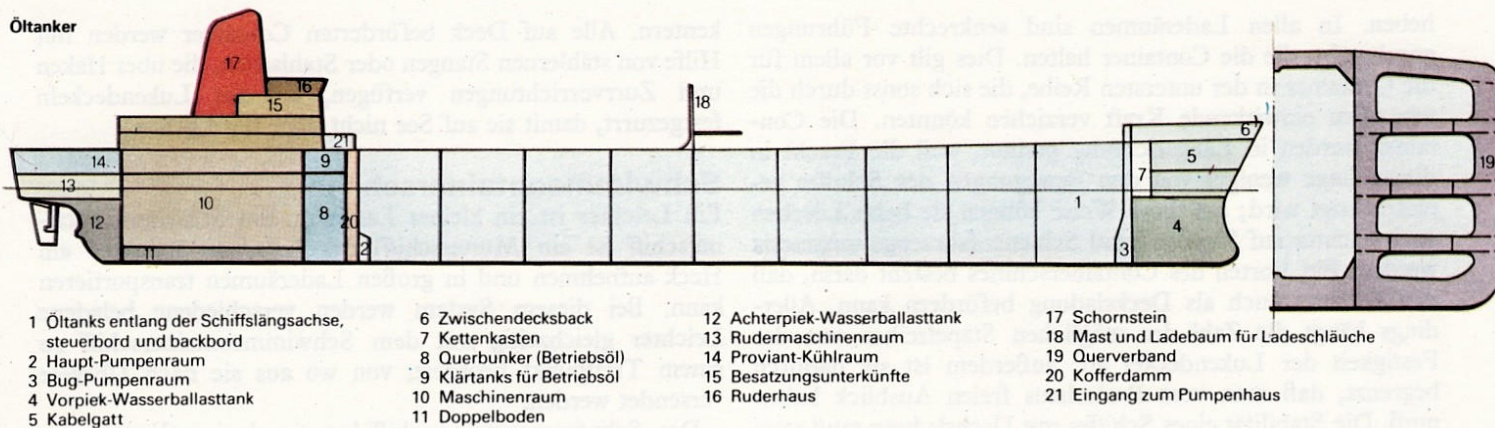
Queen Elizabeth 2

- 1 Schiffsschraube
- 2 Sicherheitszentrale
- 3 Frischwassertanks—in Verdampfern wird aus Seewasser Frischwasser erzeugt
- 4 Tanks für Brennstoff
- 5 Maschinenraum
- 6 Dampfturbinen
- 7 Stabilisatoren
- 8 Leitstand für die Dampfturbinen
- 9 Zentraler Leit- und Rechneraum
- 10 Kessel
- 11 Bordkrankenhaus
- 12 Schwimmbad
- 13 Proviant-Küchlräume
- 14 Fahrgastkabinen
- 15 Brücke und Navigationsraum mit darunterliegenden Offizierskabinen
- 16 Bug-Strahlruder für leichtes Manövrieren beim Anlegen

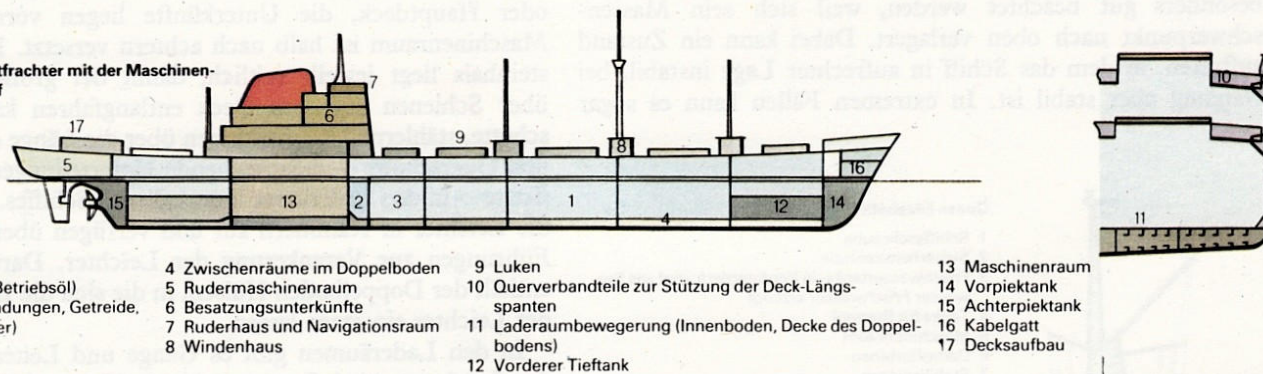


Links: Der Rumpf der QE2 besteht aus verschweißtem Stahl; die Aufbauten sind aus geschweißtem Aluminium. Sie hat eine Tragfähigkeit von 60 000 t, einschließlich 2 000 Fahrgästen und einer 906-köpfigen Besatzung. Ihre Gesamtlänge beträgt 293,7 m und die größte Breite 32 m. Sie verfügt über 13 Decks und erreicht eine Geschwindigkeit von 28,5 Knoten/Stunde.

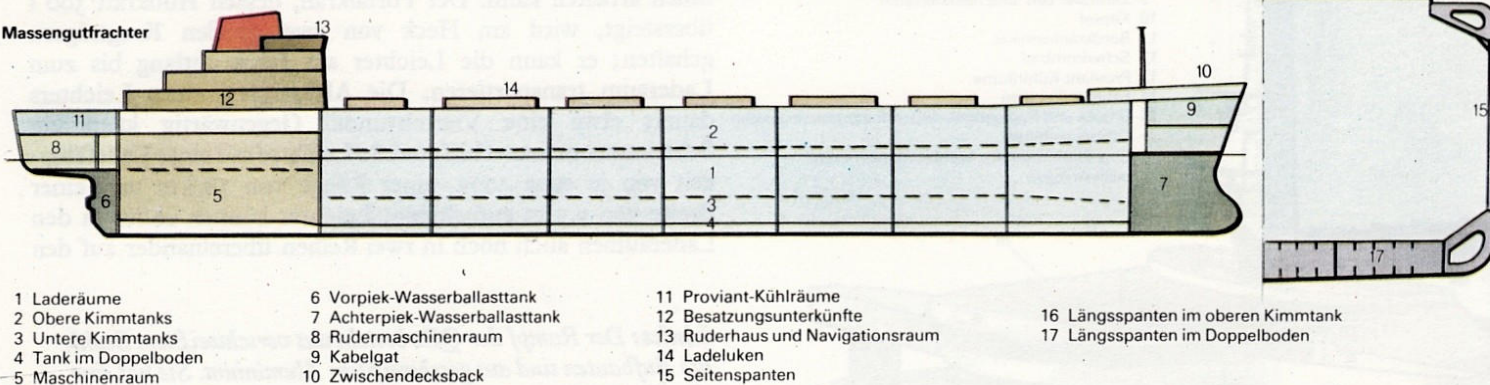
Öltanker



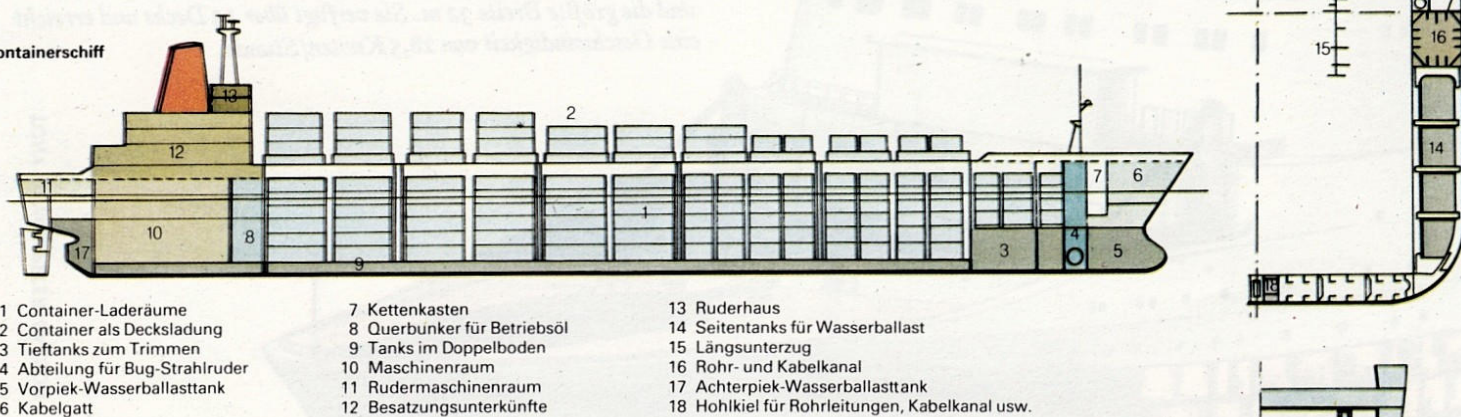
Moderner Trockengutfrachter mit der Maschinenanlage im Hinterschiff



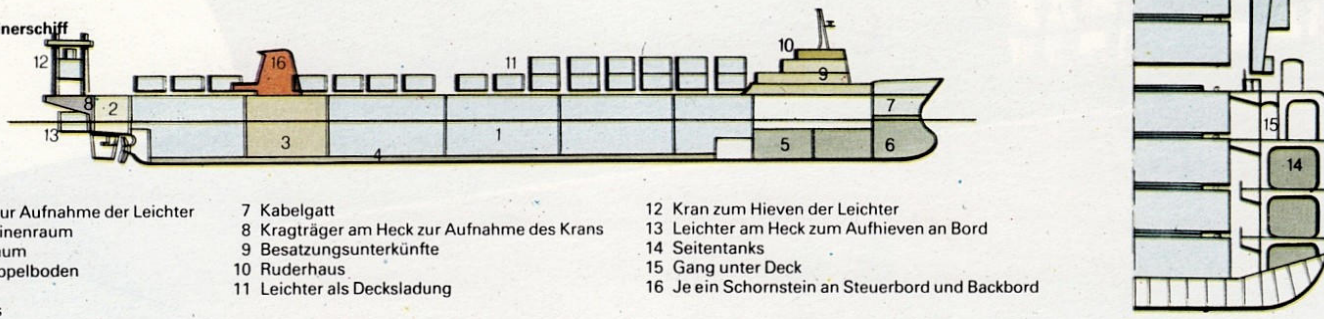
Massengutfrachter

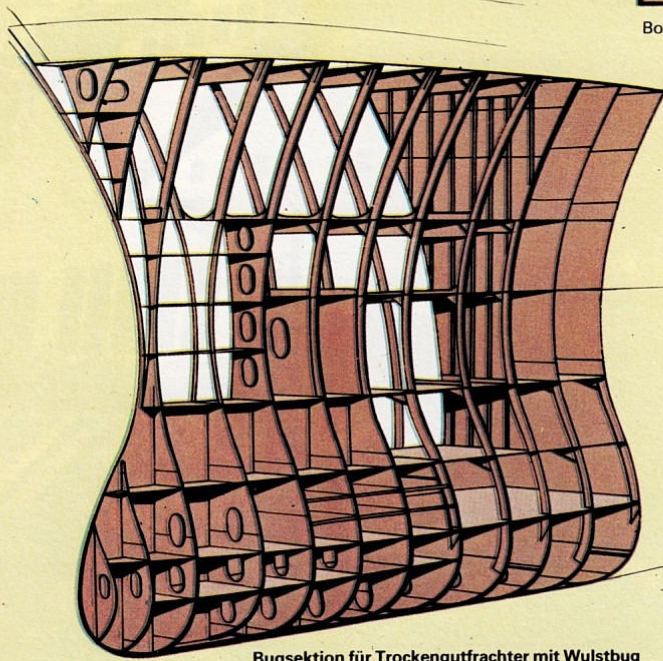
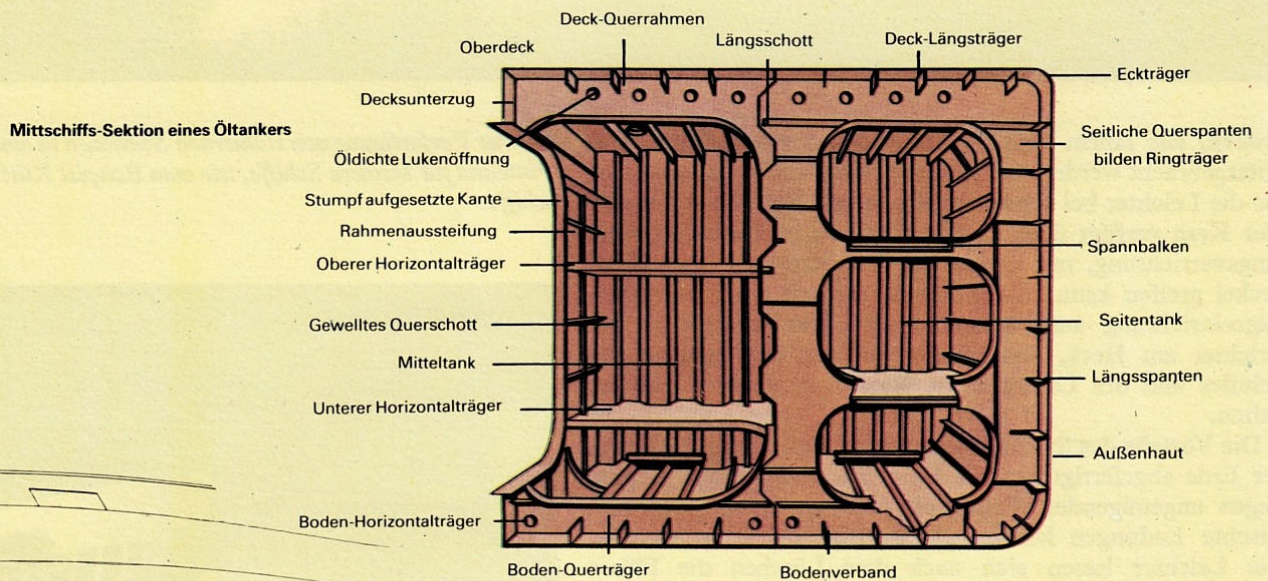
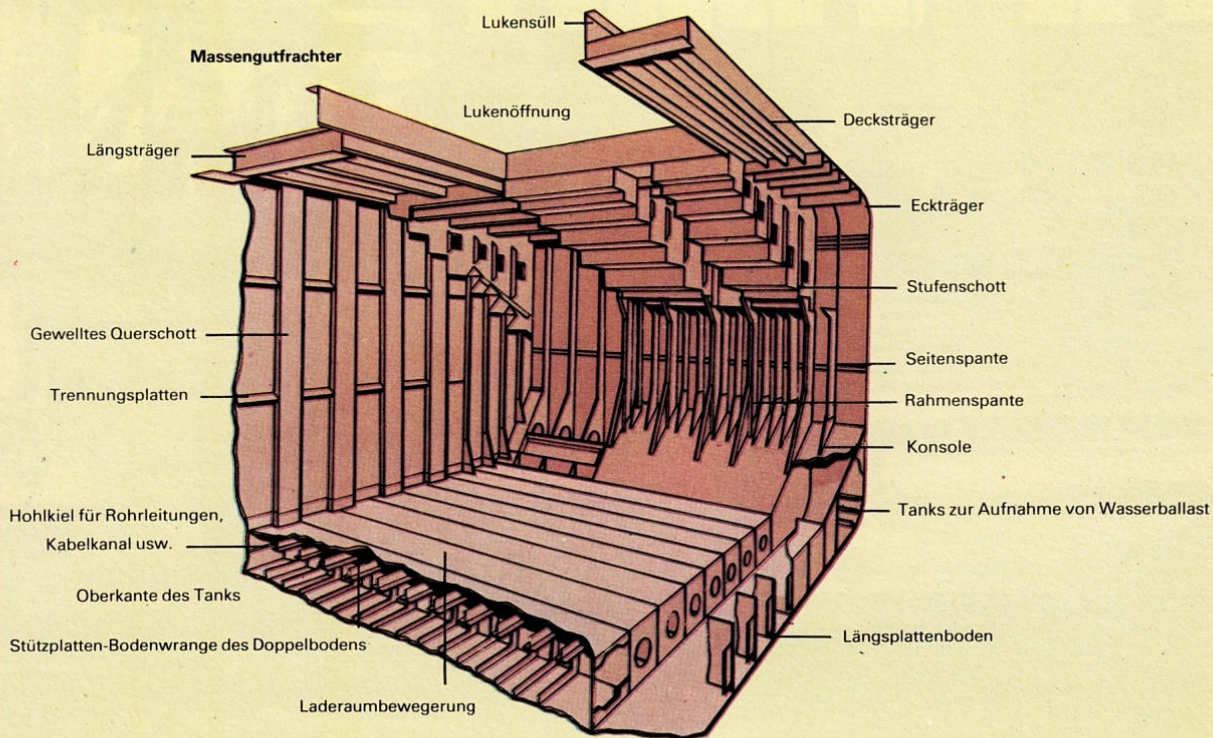


Containerschiff

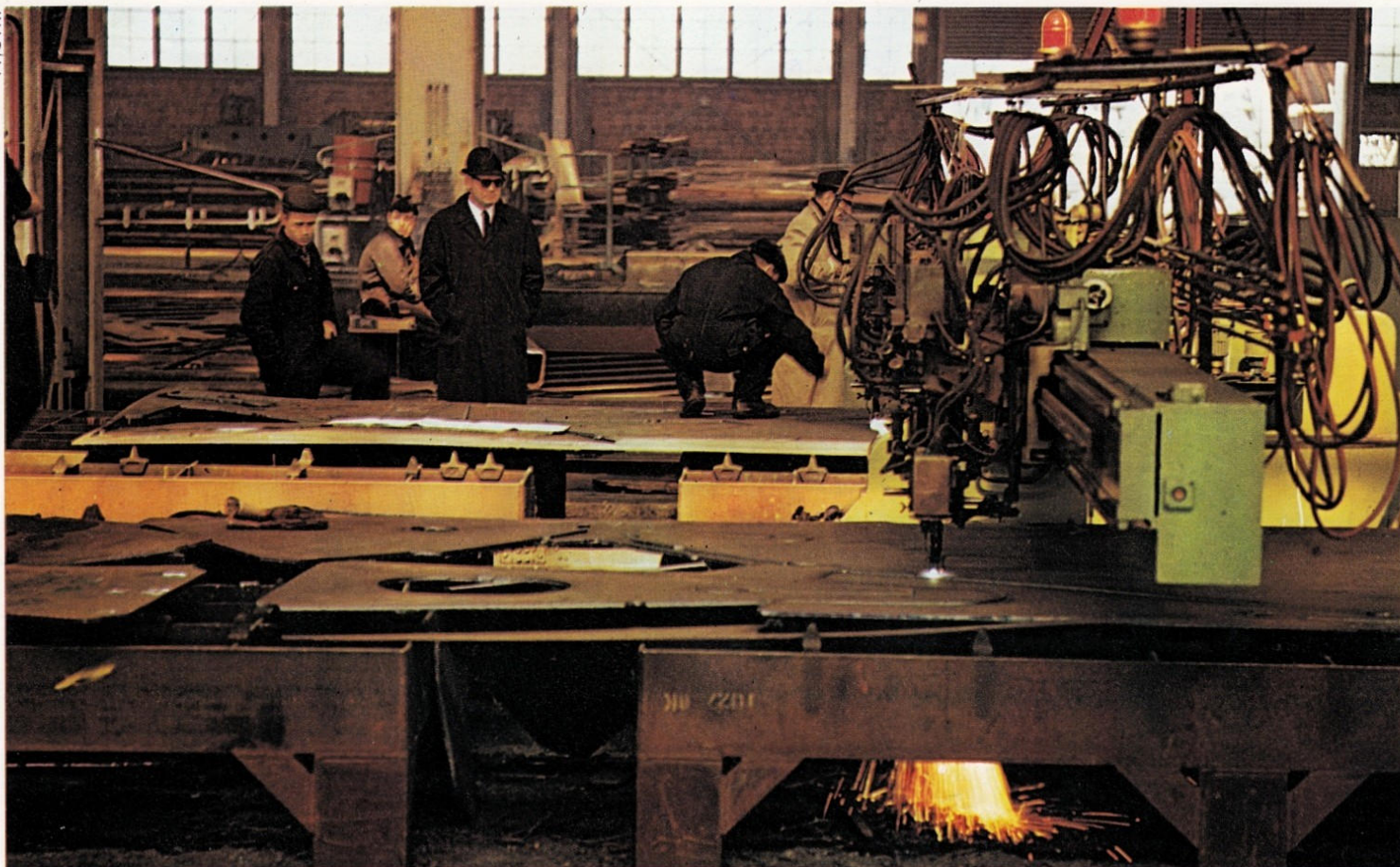


Schwimmcontainerschiff





Die hier abgebildeten Zeichnungen verdeutlichen die wichtigen Bau- und Verbandsteile verschiedener gebräuchlicher Handelsschiffe in Form von Längs- und Querschnitten, gezeigt an maßstäblichen Darstellungen für drei ausgewählte Schiffsbauweisen.



großen, aus einem Stück bestehenden Pontonlukendeckeln untergebracht werden. Sie sind mit Metallfittings ausgerüstet, die die Leichter bei schwerem Wetter auf See halten können. Der Kran verfügt über eine hydraulisch betätigte Verriegelungsvorrichtung, mit der er die Leichter und die Lukendeckel greifen kann. Außerdem ist er mit einer Seegangsfolgeeinrichtung ausgestattet, die es ihm ermöglicht, die Leichter am Heck, unabhängig von den Bewegungen des Schiffes und des Leichters im Wasser, in gerader Lage zu halten.

Die Vorteile des Systems liegen darin, daß Fracht in Teilen der Erde abgefertigt werden kann, in denen große Schiffe wegen ungenügender Wassertiefe nicht ankern können. Gemischte Ladungen können gleichzeitig abgefertigt werden. Die Leichter lassen sich nach dem Löschen die Flüsse hinaufschleppen, womit sie praktisch eine Haus-zu-Haus-Frachtverbindung ermöglichen.

Passagierschiffe

In jüngster Zeit ist die Zahl sehr großer Passagierschiffe zugunsten kleinerer Schiffe, die für Kreuzfahrten im Winter umgerüstet werden können, zurückgegangen.

Passagierschiffe sind weit mehr unterteilt als Handelsschiffe, so daß die Schiffe auch dann stabil und schwimmfähig bleiben, wenn mehrere nebeneinanderliegende Abteilungen unter Wasser stehen. Bei asymmetrischem Vollaufen kann mit Hilfe von Gegenflutungsrohren der Krängungswinkel vermindert werden.

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Feuersicherheit. Die Schiffe sind senkrecht mit stählernen Schotten in Brandabschnitte eingeteilt. In diesen Abschnitten müssen die Schotte bei einer genormten Feuerprüfung von 30 Minuten die Ausbreitung des Feuers verhindern. Außerdem müssen die Wohnbereiche mit automatischen Rauchmeldern und einer automatischen Feuermeldeanlage ausgerüstet sein.

Die meisten Passagierschiffe verfügen über nach dem Kreiselprinzip arbeitende Stabilisatoren oder Rolldämpfungs-

Oben: Vorfertigung von stählernen Sektionen in einer Werft in Finnland für kleinere Schiffe, wie zum Beispiel Küstenmotorschiffe.



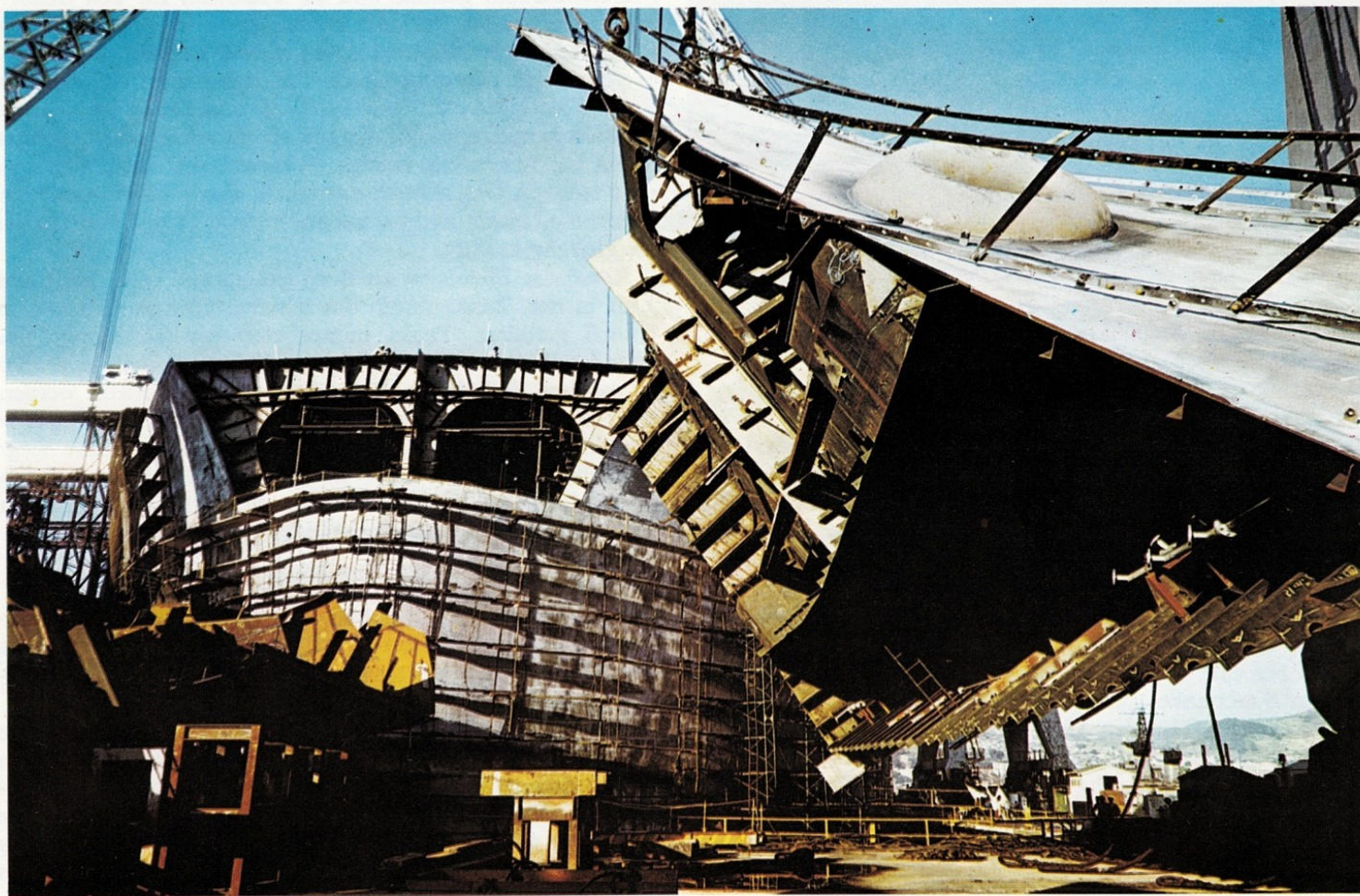
flossen, die das Rollen (Schlingern und gleichzeitiges Stampfen) eindämmen und eine angenehmere Fahrt ermöglichen sollen. Die Schiffe sind für die erforderlichen Rudermanöver oft mit Bugstrahlrudern ausgerüstet; ihr Antrieb erfolgt gewöhnlich über Doppelschrauben.

Die besseren Kabinen befinden sich auf den höhergelegenen und die gewöhnlichen Kabinen mit einem, zwei oder drei Betten auf den unteren Decks. Eine der wichtigsten Flächen im Fahrgastbereich ist das Foyer mit Empfangstisch, dem Büro des Zahlmeisters, der Haupttreppe und den Aufzügen. Dieser Bereich muß zentral liegen, damit die Passagiere gleich nach Anbordgehen ihre wichtigsten Anliegen erledigen können. Folgende Räume sind auf den meisten Schiffen anzutreffen: Restaurants, Tanzsaal, Kino, Diskothek, Ladengeschäfte, Bars, Salonräume, Bankschalter und Friseur. Für die Erholung stehen ein Schwimmbecken und eine Decksfläche

Öltanker

Öltanker haben ein einziges Hauptdeck. Lediglich im Maschinenraum verfügen sie über einen doppelten Boden. Da es auf Tankern verschiedene Abteilungen gibt, werden sie auch ohne doppelten Boden über die gesamte Schiffslänge als hinreichend sicher angesehen. Zur Verminderung der Explosionsgefahr liegen die Maschinen achtern. Dadurch braucht der Wellentunnel nicht durch die Öltanks zu gehen. An den äußersten Enden der Tankreihe liegt ein Kofferdamm oder ein Bunkerraum, der die Ladung von den anderen Teilen des Schiffes trennt. Kofferdämme sind quer über das Schiff sich hinziehende trockene Räume, die verhindern, daß Öl unmittelbar in eine danebenliegende Abteilung austreten kann.

Pumpen zum Löschen der Ladung sind in einem Pumpenraum am Boden des Schiffes untergebracht. Dieser Pumpenraum ist oft Teil des Kofferdammes. Die Pumpen



Oben: Ein großes vorgefertigtes Bauteil, das gerade zum Bau eines Handelsschiffes in Yokohama, Japan, eingeschwenkt wird. Alle Teile müssen sorgfältig ausgerichtet werden, damit sich der Boden des Schiffes nicht verzieht.

Links: Verlegen der hölzernen Decksplanken beim Bau des Cunard-Dampfers 'Queen Elizabeth II'.

für Spiele zur Verfügung; für kleinere Kinder gibt es einen Kindergarten, für größere Kinder Spielräume. Die Offiziere sind in der Nähe der Brücke untergebracht, während sich die Unterkünfte der übrigen Schiffsbesatzung und des Stewards auf einem tieferliegenden Deck befinden.

Normalerweise entspricht ein Passagierschiff dieser Art den Vorschriften aller seefahrenden Länder, einschließlich denen der Küstenwache der USA. Damit ist es möglich, ein solches Schiff jederzeit für Kreuzfahrten einzusetzen.

zum Löschen der Ladung werden gewöhnlich durch Wellenverlängerungen aus dem Hauptmaschinenraum angetrieben. Das Öl wird aus einem Tank gefördert, indem man es in Saugstutzen am Ende einer Rohrleitung saugt, die von den Hauptladungspumpen kommen. Dann wird es vom Pumpenraum senkrecht nach oben zum Hauptdeck gefördert, wo es durch die Decksleitungen läuft, bis es zum Querverbindungsrohr an Deck gelangt. Diese Querverbindungsrohre sind durch Schläuche, die der Uferkran an Bord hievt, mit den Pumpanlagen am Kai verbunden. Öltanker haben kleine, öldichte Luken mit Scharnierdeckeln, durch die man über lange Leitern, die bis zum Schiffsboden reichen, in die Tanks gelangen kann. Am Lukensüll führt ein Rohr senkrecht nach oben, durch das Gas, das sich im Tank bilden kann, unmittelbar an die Atmosphäre abgeleitet wird.

Die Öltanks sind jeweils durch zwei Längsschotte in einen Mitteltank sowie einen Steuerbord- und Backbord-Seitentank unterteilt. Diese Unterteilung der Öltanks schränkt Bewegun-



FOX FOTO

Oben: Ein Blick auf die im Bau befindliche QE2 in Clydebank, Schottland (1966).

gen der Ladung ein; außerdem wird damit verhindert, daß quer über das Schiff eine große freie Fläche verläuft, durch die es instabil werden könnte. Auch die Länge des Tanks ist wichtig, da das Öl in einem nur zum Teil gefüllten Tank durch die Bewegungen des Schiffes schwappen kann. Eine solche Welle kann sich im ganzen Tank fortpflanzen und Beschädigungen an den tragenden Teilen des Schiffes hervorrufen. Daher sorgen Schlingerschotts oder ein entsprechend kurzer Tank für eine Verminderung dieser Wellenbildung.

Ein Supertanker verfügt über eine sehr hohe Maschinenleistung, so daß für den Antrieb durch eine einzelne Schraube sechs Schraubenflügel erforderlich sind, damit der Schub ohne zu große Belastung des Schraubenmetalles übertragen werden kann. Gewöhnlich sitzt am Rumpf eines großen Tankers ein Wulstbug. Er ändert die Strömungsverhältnisse am Bug und vermindert damit den Leistungsbedarf für den Antrieb des Schiffes.

Tanker für flüssiges Ölgas

Diese Schiffe sind zum Transport von Propan, Butan, wasserfreiem Ammoniak und anderen verflüssigten Gasen in speziell dafür gebauten Tanks konstruiert. Solche Tanks können rechteckig oder halbkugelig sein. Ein typischer Gastanker ist ähnlich einem Massengutfrachter aufgebaut, nur daß in seinem Rumpf Gastanks auf festen Keilen ruhen. Zusätzlich werden die Tanks festgekeilt, so daß sie sich bei rollendem oder stampfendem Schiff nicht bewegen können. Die Temperatur des Flüssiggases in den Tanks kann durchaus unter 0°C liegen. Dies führt zu schwerer thermischer Belastung, wenn sich die Flüssigkeit bewegt. Daher sind die Tanks so ausgelegt, daß sich entsprechend den Temperaturänderungen auch ihre Form ändert. Ein Leerraum zwischen dem Gastank und dem Rumpf ist mit einem inaktiven Gas gefüllt, damit nicht aus einem undichten Tank austretendes Gas zusammen mit Luftsauerstoff eine explosive Mischung bildet. Eine Anlage zur Erzeugung von inaktivem Gas im

Maschinenraum liefert genug Gas zur Füllung dieses Hohlraums und kann bei etwaigen Gasverlusten den Vorrat auffüllen. Die Tanks bestehen aus einem unlegierten Stahl, der Schlagwirkungen bei tiefen Temperaturen standhalten muß und daher nicht anfällig für Sprödbbruch sein darf. Auf einigen Schiffen werden die Gastanks nicht gekühlt, sondern sind mit 10 cm Polyurethanschaum isoliert. Wenn das flüssige Gas verdampft, sammelt es sich in Kuppeln oben im Tank, wo es abgesaugt und durch eine Rückverflüssigungsanlage geleitet wird, von wo es in flüssiger Form durch Kondensatoren wieder in den Tank zurückgeht. Die Kuppeln am oberen Ende der Tanks ragen um jeweils einen Meter durch das Hauptdeck nach oben.

Es gibt auch Schiffe, die nicht über Kühl- oder Rückverflüssigungsanlagen verfügen und bei denen man das Gas verkochen (ausströmen) läßt. Der Dampf wird dann in den Maschinenraum geleitet und als Treibstoff für den Schiffsantrieb verwendet. Dadurch ist das Schiff weniger aufwendig und kommt mit billigeren Anlagen und Lagerbehältern aus; es verbraucht allerdings einen Teil der Fracht während der Reise. Flüssiggas wird vom Tankboden mit Hilfe von Tauchpumpen heraufgepumpt, die von einem mittschiffs liegenden Raum aus überwacht werden. Während des Pumpvorganges muß stets ein Gegendruck einwirken, damit das Gas nicht im Pumpenrad siedet und bei nahezu leerem Tank Dampf in der Steigleitung erzeugt.

Bevor das Flüssiggas an Bord genommen wird, bläst man Luft in den Tanks durch das inaktive Gas aus. Da sich in einmal gefüllten Tanks immer eine gewisse Menge Gas befindet, braucht dieser Vorgang nicht jedesmal wiederholt zu werden. Soll ein Tank gänzlich von Gas entleert werden, wird so lange inaktives Gas eingeblasen, bis das Ölgas so verdünnt ist, daß es unterhalb der Flammgrenze liegt. Anschließend kann Luft in den Tank geblasen werden, wodurch das verbleibende Gas durch die Entlüftungsstutzen an der Mastspitze abziehen kann.

Vorfertigung

Die Art, wie ein Schiff gebaut wird, hängt von seinem Verwendungszweck und von der auf der jeweiligen Werft üblichen Technik ab. Diese wiederum wird beeinflusst von den verfügbaren Maschinenanlagen und Kränen.

Ein Massengutfrachter beispielsweise wird von den meisten Werften gewöhnlich wie folgt gebaut. Zuerst werden der Flachboden und die Außenhaut-Längsspannten als eine Einheit nach der Vorfertigung in der Zusammenbauhalle auf die Bauhelling gelegt. Anschließend wird die Laderaumwegerung auf den Boden herabgelassen und festgeschweißt. Dann werden die Seitentanks eingeschwenkt, ausgerichtet und verschweißt und anschließend zwei Schotte im richtigen Abstand zueinander über die Längsrichtung des Rumpfes angebracht. Dabei wird eine gewisse Neigung zum Ausgleich der Ablaufbahnneigung, die für den Stapellauf erforderlich ist, berücksichtigt. Ein Außenhautpaneel kann dann am unteren Seitentank und an den Schotten angebracht werden, womit die Seiten des Laderaumes gebildet werden. Dann wird der obere Seitentank eingeschwenkt und mit der noch anzubringenden Decksplatte verschweißt. Damit ist die Mittschiffs-Sektion fertig. Das Schiff wird zur gleichen Zeit vor und hinter dem Mittschiff weitergebaut. Durch diese Technik, die allerdings nicht von allen Werften angewendet wird, kann eine größere Zahl von Arbeitskräften gleichzeitig am Schiff arbeiten. Dadurch, daß man mittschiffs mit der Arbeit beginnt, erhält man eine gute Bezugsstruktur, von der aus man während des Baues vermessen kann. Jedesmal, wenn ein schweres Bauteil auf die Helling gebracht wird, wird der Boden des Schiffes optisch auf seine Ausrichtung vermessen, da sonst ein Verziehen eintreten könnte.

SCHIFFSANTRIEB

Die Antriebskraft für ein Schiff stammt aus einer der drei folgenden Quellen: menschliche Muskelkraft, Wind oder Motor. Es gibt viele Möglichkeiten, eine Kraft, gleichgültig welchen Ursprungs sie ist, zu einer Antriebskraft für ein Schiff zu machen.

Riemen

Das älteste Verfahren zum Antrieb eines Wasserfahrzeuges bestand in der Verwendung von Stechpaddeln und später von Riemen. Beide sind einfache Hebel, die das Boot dadurch vorwärtsbewegen, daß sie gegenüber dem Wasser einen Widerstand ausüben, durch den das Boot nach vorn gedrückt wird.

Segel

Die Verwendung von Segeln, mit denen der Wind aufgefangen und das Schiff angetrieben wird (siehe SEGEL), ist beinahe ebenso lange bekannt wie das Rudern. Bereits in Homers Odyssee wird Segeltuch erwähnt.

Man kann Segel in zwei Hauptgruppen einteilen: Rahsegel und Schräg- (oder Schrat-)segel. Die viereckigen Rahsegel sind normalerweise quer zur Schiffslängsachse angebracht, so daß der Winddruck nur auf die rückwärtige (die nach achtern weisende) Segelfläche einwirken kann, um das Schiff durchs Wasser zu drücken. Die Schrägsegel sind in der Schiffslängsachse angeordnet. Entsprechend der Windrichtung werden beide Seiten dieser Segel zum Antrieb verwendet.

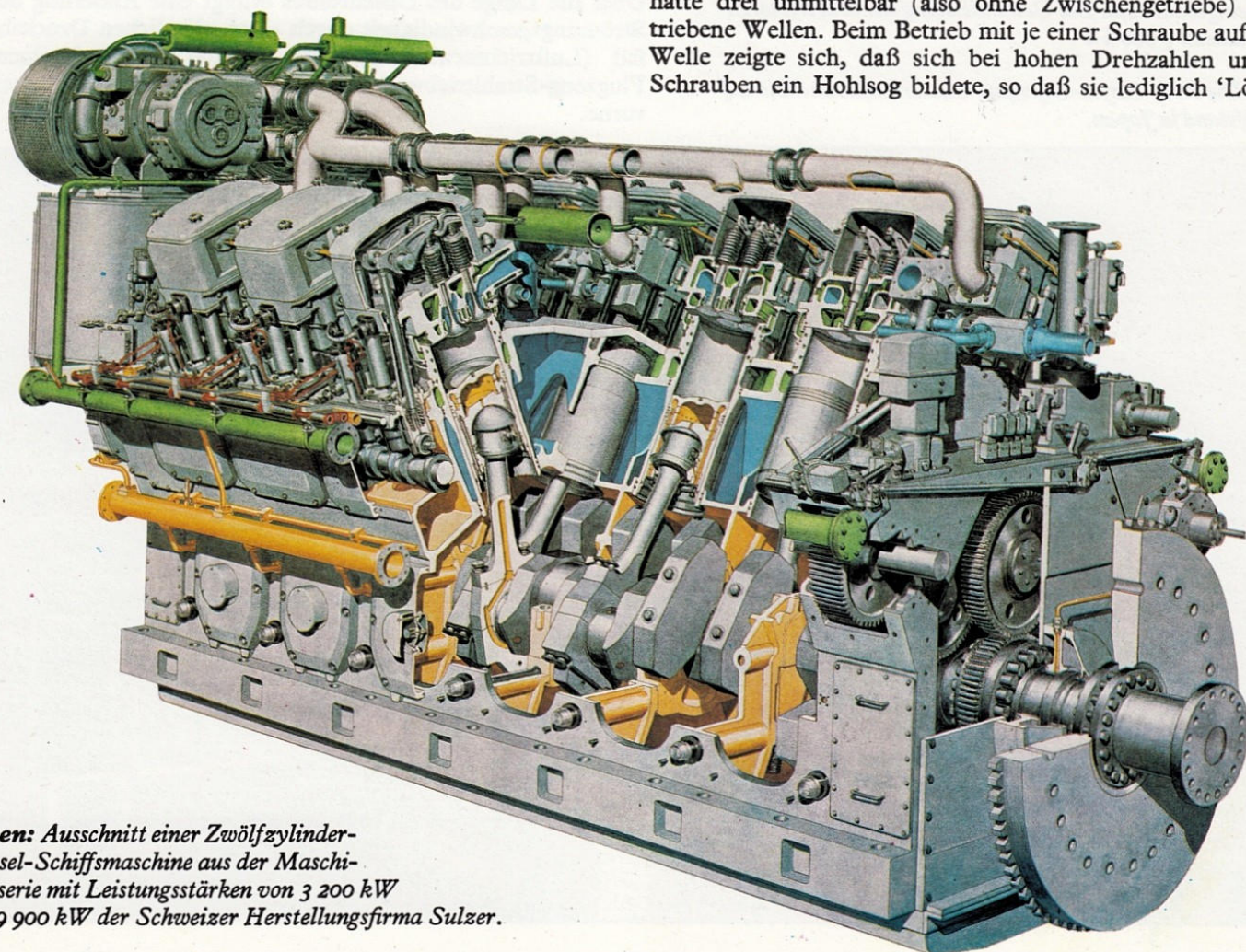
Man kann diese Segel als Tragflügel ansehen, und wenn beispielsweise gekreuzt (z.B. durch wiederholtes Überstaggehen gegen den Wind gesegelt) wird, übt der Winddruck am Segel eine rechtwinklig zu ihm wirkende Winddruck-

komponente und einen geringeren Luftwiderstand in der Segel-Längsrichtung aus. Die Resultierende aus diesen beiden Kräften kann aufgespalten werden in eine Kraft, die das Boot auf dem vorgesehenen Kurs nach vorne treibt und eine größere, senkrecht dazu einwirkende Kraft. Diese größere Kraft versucht, das Boot auf die Seite zu drücken und nach Lee (die dem Wind abgewandte Seite) abzuwandern. Bei kleinen Segelbooten wirkt die Besatzung dem so weit wie möglich entgegen, indem sie sich nach Luv (die dem Wind zugewandte Seite) über Bord hängen läßt. Außerdem sorgen an Rumpf und Kiel vorgesehene hydrodynamisch wirkende Einrichtungen für eine ähnliche Wirkung.

Mechanischer Antrieb

Der erste erfolgreiche Versuch, ein Schiff mit einem mechanischen Antrieb zu betreiben, bestand in der Verwendung des Schaufelrades. Demonstriert wurde dies am Schlepper Charlotte Dundas im Jahre 1802 auf dem 'Forth and Clyde Canal' in Schottland. Das Schaufelrad ist ein umlaufendes Rad mit einer Anzahl von Schaufeln, die um eine Mittelnabe angeordnet sind, so daß bei jeder Radumdrehung eine Schaufel nach der anderen gegen das Wasser wirkt und damit das Schiff nach vorne drückt. Archimedes (287 bis 212 v. Chr.) hatte bewiesen, daß eine schraubenförmig gebogene Schaufel Wasser bewegen kann (siehe ARCHIMEDISCHE SCHRAUBE). Entsprechend wurde das erste erfolgreich von einer Schraube angetriebene Dampfschiff im Jahre 1838 'Archimedes' genannt. Seine Kolben-Dampfmaschinen, die mit 26 U/min arbeiteten, waren so übersetzt, daß die Schraube mit etwa 139 U/min umlief. Die ursprüngliche Schraube war spiralförmig und hatte eine vollständige Windung.

Zum ersten Male wurde im Jahre 1894 ein Schiff mit der von Sir Charles Parsons (1854 bis 1931) erfundenen Dampfturbine angetrieben; es war die Dampfyacht 'Turbinia'. Sie hatte drei unmittelbar (also ohne Zwischengetriebe) angetriebene Wellen. Beim Betrieb mit je einer Schraube auf jeder Welle zeigte sich, daß sich bei hohen Drehzahlen um die Schrauben ein Hohlsoh bildete, so daß sie lediglich 'Löcher'

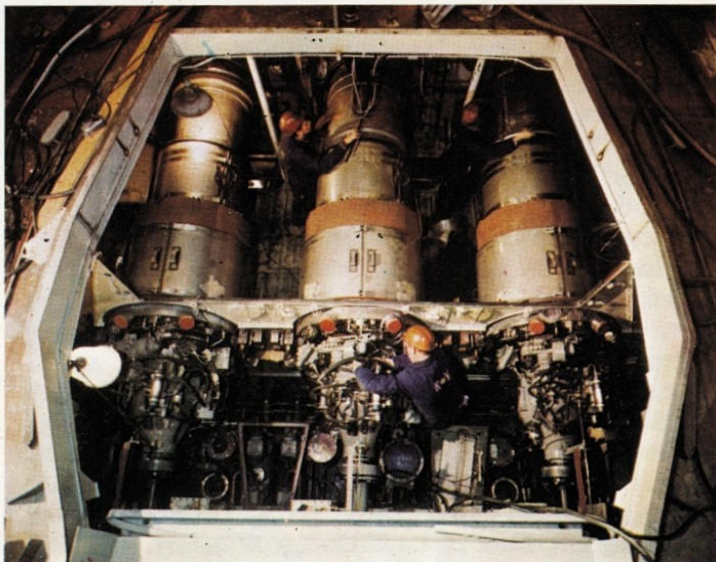


Oben: Ausschnitt einer Zwölfzylinder-Diesel-Schiffsmaschine aus der Maschinenserie mit Leistungsstärken von 3 200 kW bis 9 900 kW der Schweizer Herstellungsfirma Sulzer.

ins Wasser schlugen. Daher bekam die 'Turbinia' schließlich drei Schrauben an jede Welle.

Zu Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts wurde der Dieselmotor als Schiffsantrieb eingeführt. Da die Umkehrung der Drehrichtung bei Dieselmotoren Schwierigkeiten bereitete, erfand man den Verstellpropeller. Wie der Name schon sagt, können die Anstellwinkel der Propellerflügel während der Fahrt verstellt werden. Dies geschieht dadurch, daß man sie in der Propellernabe verdreht. Somit wird ein Verstellpropeller für Rückwärtsfahrt lediglich auf den entsprechenden Anstellwinkel gebracht; d.h. das Schiff fährt rückwärts, ohne die Drehrichtung der Maschine umkehren zu müssen.

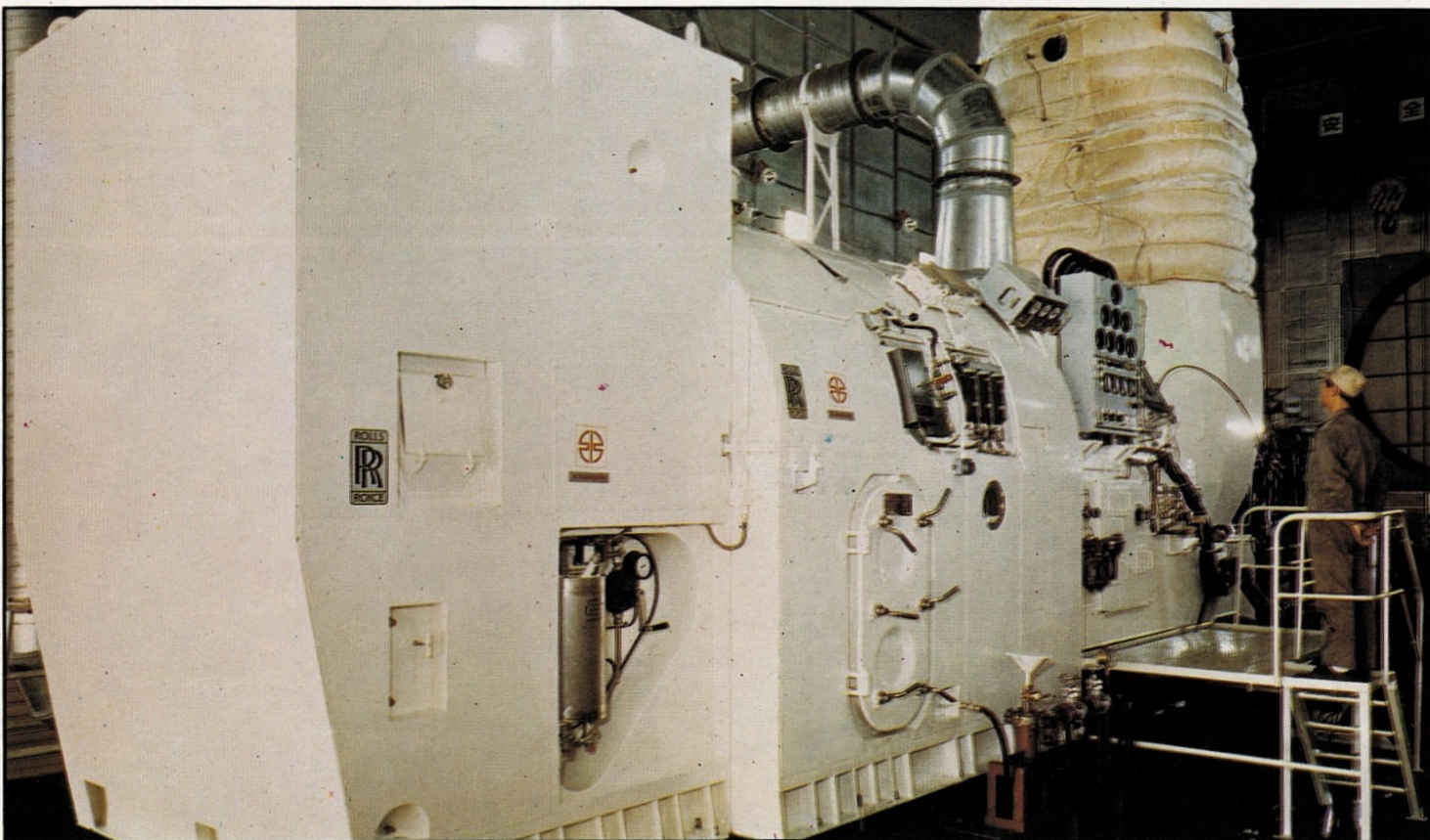
ROLLS-ROYCE



Oben: Drei Rolls-Royce-Schiffs-Gasturbinen vom Typ 'Proteus', die in ein schnelles Torpedoboot der schwedischen Marine eingebaut sind. Die Gesamtleistung der drei Motoren beträgt nahezu 9 600 kW.

Unten: Die Rolls-Royce-Olympus-Gasturbinenmaschine auf dem Prüfstand in Japan.

ROLLS-ROYCE



Moderne Antriebssysteme

Gewöhnlich arbeiten heutige Schiffe mit Diesel- oder Dampfmaschinen. Kleinere Boote haben oft Benzinmotoren, beispielsweise in Form von Außenborden. Nicht atomar angetriebene U-Boote verwenden bei Tauchfahrt Elektromotoren, weil für andere Antriebsverfahren große Mengen an Sauerstoff und eine aufwendige Auspuffanlage für den Unterwasserbetrieb erforderlich wären. Aufgetaucht oder auf Sehrohrtiefe beziehen die Elektromotoren ihre Antriebsenergie von dieselbetriebenen Generatoren. Bei diesem Betriebszustand erfolgt die Rohlufthansaugung und der Ausstoß der Abgase durch Schnorchel. Die Generatoren laden außerdem die Batterien auf. Als ideal zum Antrieb von U-Booten haben sich Kernreaktoren erwiesen, da sie weder Sauerstoff verbrauchen noch giftige Abgase produzieren. Das Kühlmittel vom Reaktor wird durch einen Wärmetauscher gepumpt. Dabei entsteht Dampf, dessen Energie die Antriebspropeller des U-Bootes in Umdrehung versetzt.

Im Ruhezustand oder bei geringen Geschwindigkeiten sieht ein Tragflügelboot so aus wie die meisten anderen Wasserfahrzeuge. Es ist aber vorne und achtern an seiner Rumpfunterseite mit einer Anordnung rippenähnlicher Flossen versehen, die als Gleitflächen dienen. Der Rumpf eines Tragflügelbootes muß so konstruiert sein, daß er für den nötigen Auftrieb sorgt. Die Flossen wirken bei schneller Fahrt durchs Wasser wie Flügel und verstärken den Auftrieb. Schließlich hebt sich bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Rumpf fast vollständig aus dem Wasser, so daß das Boot ausschließlich auf seinen Tragflügeln gleitet.

Das modernste Antriebssystem ist der Wasserstrahlantrieb. Er besteht aus einer einstufigen oder mehrstufigen Pumpe, die unmittelbar mit einer Gasturbine verbunden ist. Die Pumpe saugt durch eine Öffnung im Rumpf Wasser an und drückt es mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse am Schiffsheck. Über die Länge des Düsenrohres erfolgt eine Änderung der Strömungsgeschwindigkeit durch einen plötzlichen Druckabfall (Lufttrichterwirkung), und ähnlich wie bei einem Flugzeug-Strahltriebwerk treibt der Rückstoß das Schiff nach vorne.

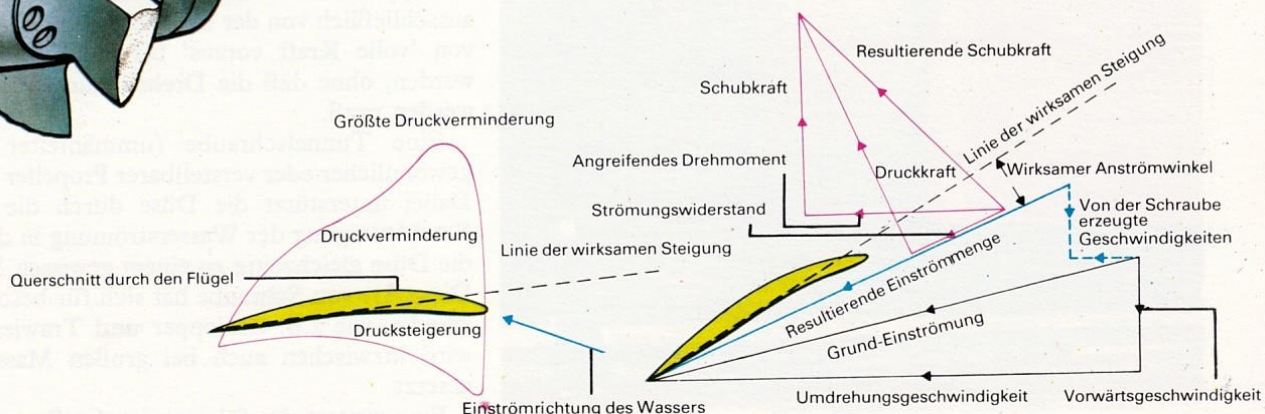
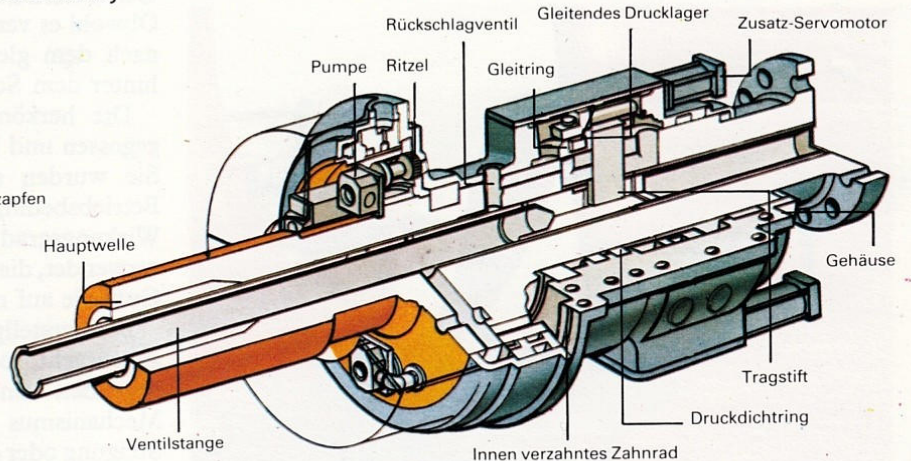
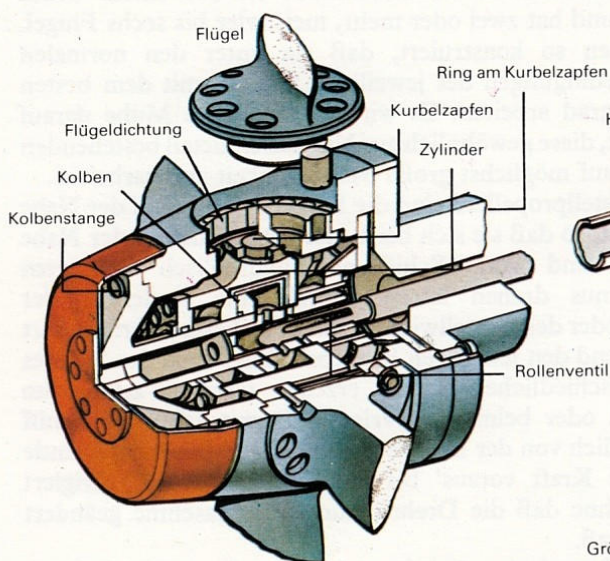
SCHIFFSSCHRAUBE

Die Schiffsschraube bleibt in ihren verschiedenen Formen das wirksamste Mittel zur Umwandlung der Leistung eines Antriebsmotors in den Schub, der das Schiff durch das Wasser vorwärtsbewegt.

Die Schiffsschraube beschleunigt das durch sie hindurchgehende Wasser und übt durch Rückstoß, der sich aus dem gesteigerten Impuls der beschleunigten Strömung ergibt, einen Vorwärtsschub aus. Dieser Impulsanstieg wird dadurch erzielt, daß man entweder viel Wasser wenig beschleunigt (große, langsam laufende Schiffsschrauben) oder wenig Wasser stark beschleunigt (kleine, schnelllaufende Schiffsschrauben). Das erstgenannte Verfahren ist wirksamer als das zweite, insgesamt entspricht es dem, was man gemeinhin als Strahlantrieb kennt.

Das Einströmen von Wasser in die Schiffsschraube wird stark von der Form des unmittelbar davor liegenden Rumpfes beeinflusst. Bei seiner Vorwärtsbewegung zieht das Schiff einen Teil des ihn umgebenden Wassers mit sich, so daß die relative Vorwärtsgeschwindigkeit des Propellers durch das Wasser geringer ist als die Geschwindigkeit des Schiffes. Der vom Schiffsrumpf vor der Schraube beeinflusste Strömungsbereich heißt Nachstrom.

Unten: Schnittzeichnung einer fortschrittlichen Konstruktion für einen Verstellpropeller. Bei dieser Ausführung ist die Verwendung von Hochdruck-Wellendichtungen im hydraulischen Verstellmechanismus dadurch überflüssig gemacht worden, daß man außen auf der Hauptwelle angebaute Hauptpumpen verwendet, die mit der Welle umlaufen. Der Pumpenantrieb erfolgt über Ritzel. Die beiden kleinen Zeichnungen a und b zeigen links das Druckfeld um den Querschnitt eines Schraubenflügels und rechts das Vektordiagramm der Geschwindigkeiten und Drücke, die auf das Profil eines Schraubenflügels einwirken.



Oben: Der Guß einer Schiffsschraube mit sechs feststehenden Flügeln. Festpropeller werden gewöhnlich aus hochfesten Nicht-Eisen-Legierungen hergestellt.

Hinzu kommt, daß sich die axiale Geschwindigkeit des Wassers über die Schrauben-‘Scheibe’ ändert. Damit geht jeder einzelne Flügel abwechselnd durch Gebiete mit rasch und mit langsam strömendem Wasser. Im allgemeinen ist die Wassergeschwindigkeit dort am geringsten, wo sich der Schraubenflügel in der ‘12 Uhr’-Stellung befindet, und am höchsten in der ‘6 Uhr’-Stellung. Entsprechend entwickeln die Schraubenflügel sich zyklisch verändernde Kräfte um den Mittelwert. Dies führt zu Schwierigkeiten hinsichtlich der Vibrationsfestigkeit, der allgemeinen Materialfestigkeit und der Kavitation.

Kavitation

Ein Schraubenflügel wirkt insofern ähnlich wie der Flügel eines Flugzeuges, als sein Querschnitt die Form eines Tragflügels hat. Der Durchgang des Wassers führt zu einer Druckverminderung auf der Vorderseite der Flügel und zu einer Druckerhöhung auf ihrer Rückseite. Der höchste Anteil an der Schubkraft der Schraube stammt aus dieser Druckverminderung. Wenn der Druck an irgendeiner Stelle auf den Wert abfällt, bei dem Wasser verdampft, entstehen Blasen im Wasser. Diese Erscheinung heißt Hohlsoog oder Kavitation. Sie kann die Wirksamkeit einer Schiffsschraube beeinträchtigen. Das nachfolgende Zusammenbrechen der Blasen kann darüber hinaus zu Geräuschentwicklung, zu Ausfressungen an den Propellerflächen und zu gesteigerter Vibration führen.

Die Gefahr der Kavitation ist der Hauptgrund dafür, daß eine Schiffsschraube bedeutend breitere Flügel als ein Flugzeugpropeller hat. Ein breiter Flügel hilft dabei, das Ausmaß der Druckverminderung und damit der Kavitation

zu begrenzen. Wegen der unterschiedlichen Einstömgeschwindigkeiten von Wasser in die Schiffsschraube läßt sich diese Gefahr dennoch nicht vollständig beseitigen.

Konstruktion

Zielvorstellung des Schraubenkonstruktors ist es, eine Schiffsschraube zu entwerfen, die die Leistung der Antriebsmaschinen mit dem höchstmöglichen Wirkungsgrad in Schub umsetzt. Dazu muß die Schiffsschraube so stark sein, daß sie allen auftretenden Kräften gewachsen ist, ohne zu brechen. Zugleich muß sie so geformt sein, daß die schädlichen Auswirkungen der Kavitation vermieden werden. Die Schiffsschraube muß dem Schiff, für das sie vorgesehen ist, ‘auf den Leib geschneidert’ werden. Das hierfür angewandte Konstruktionsverfahren ist eine Mischung aus Theorie, Experimenten am Modell und Erfahrung.

Eine sehr wichtige Anforderung bei der Konstruktion einer jeden Schiffsschraube besteht darin, daß die Antriebsleistung des Schiffes bei der vorgeschriebenen Umdrehungszahl in Schub umgewandelt werden muß. Dies hängt weitgehend von der Steigung der Schiffsschraube ab. Die Steigung ist das Maß, um das sich die Schraube bei einer vollständigen Umdrehung in einer festen Substanz nach vorne bewegen würde. Da Wasser jedoch eine Flüssigkeit ist, bewegt sich die Schraube um einen geringeren Wert nach vorne als das Maß der Steigung.

Da die Steigung einer Schraube den Winkel bestimmt, den ihre Flügel zur Strömung einnehmen, und damit den Schub und die von den Flügeln entwickelten Druckkräfte, ist sie zugleich ein wichtiges Maß für die Kavitation. Aus diesem Grunde verändert man die Steigung gewöhnlich über die Fläche eines Schraubenflügels in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Wassergeschwindigkeit beim jeweiligen Radius. Damit tritt man der Kavitationsgefahr entgegen.

Schraubenarten

Obwohl es verschiedene Schraubenarten gibt, arbeiten sie alle nach dem gleichen Prinzip, nämlich indem sie das Wasser hinter dem Schiff beschleunigen.

Die herkömmliche Schiffsschraube ist aus einem Stück gegossen und hat zwei oder mehr, meist vier bis sechs Flügel. Sie wurden so konstruiert, daß sie unter den normalen Betriebsbedingungen des jeweiligen Schiffes mit dem besten Wirkungsgrad arbeiten. Es wird beträchtliche Mühe darauf verwendet, diese gewöhnlich aus Nichteisenmetall bestehenden Gußteile auf möglichst große Maßhaltigkeit zu bearbeiten.


Bei Verstellpropellern sind die Flügel getrennt auf der Nabe angebracht, so daß sie sich bei Bedarf über einen in der Nabe liegenden und vom Schiff aus hydraulisch betätigten Mechanismus drehen lassen. Durch eine Änderung der Steigung oder des Anstellwinkels kann bei dieser Schraubenart entsprechend den jeweiligen Betriebsbedingungen des Schiffes ein unterschiedlicher Schub erzeugt werden, z.B. beim Schleppen oder beim Manövrieren. Damit kann das Schiff ausschließlich von der Brücke aus durch alle Betriebszustände von ‘volle Kraft voraus’ bis ‘volle Kraft zurück’ dirigiert werden, ohne daß die Drehrichtung der Maschine geändert werden muß.

Eine Tunnelschraube (ummantelter Propeller) ist ein gewöhnlicher oder verstellbarer Propeller in einem Düsenrohr. Dabei unterstützt die Düse durch die Tragflügelform die Beschleunigung der Wasserströmung in den Propeller, so daß die Düse gleichzeitig zu einem gewissen Schubanteil beiträgt. Diese Art von Schraube hat sich für besondere Anwendungszwecke, wie z.B. Schlepper und Trawler, sehr bewährt. Sie wird inzwischen auch bei großen Massengutfrachtern eingesetzt.

Eine weitere Ausführung ist das System mit gegenläufigen

Unten: Die größte Schiffsschraube der Welt mit einem Gewicht von etwa 72 t und einem Durchmesser von 9,4 m an einem 386 000-Tonnen-Tanker.





Schrauben, bei dem zwei herkömmliche Propeller hintereinander liegen, aber in entgegengesetzter Richtung laufen. Damit soll im allgemeinen die Belastung für die einzelne Schraube vermindert und zugleich mit der zweiten Schraube ein Teil der an der ersten Schraube entstandenen Umdrehungsverluste wieder hereingeholt werden.

Aufbau

Schiffsschrauben werden aus einer Vielzahl von Materialien gefertigt, normalerweise aus Nickel-Aluminium-Bronze oder Manganbronze. Für einen gewöhnlichen Propeller wird zuerst eine Gußform aus Sand mit Zementbeigabe hergestellt. Nach dem Guß läßt man das Material kontrolliert abkühlen und bearbeitet anschließend die Schraube. Der größte bisher hergestellte Festpropeller hat sechs Flügel, einen Durchmesser von 9,40 m und ein Gewicht von 74 t. Zu seiner Herstellung mußten etwa 100 t Metall geschmolzen werden. Wenn Schiffe weiterhin immer größer werden, werden wir möglicherweise noch Propeller erleben, die 150 t wiegen und für eine Leistung von knapp 60 000 kW ausgelegt sind.

Oben: Ein vierflügeliger Propeller an einem hölzernen Küstenfischereiboot. Dies ist ein einfacher, festverbundener Propellertyp.

SCHLAGINSTRUMENTE

Die Gruppe der Schlaginstrumente schließt sowohl einfache Kastagnetten ein, die nur ein paar unterschiedliche Töne erzeugen können, als auch Kesselpauken, die auf bestimmte Tonhöhen eingestimmt werden können, und westindische Stahlblechtrommeln, die über einen Tonbereich von vier chromatischen Oktaven reichen.

gener Hölzer im Grunde die gleichen sind, die auch der Steinzeitmensch kannte, haben sich die aus Metall hergestellten Schlaginstrumente, die Becken, im Laufe der Jahrhunderte sehr stark verändert. Die Becken des Mittelalters waren kleine, dickwandige, hochgewölbte Instrumente, die einen glockenähnlichen Ton erzeugten. Die Becken des 18. und des frühen 19. Jahrhunderts waren größer und dünnwandiger, unterschieden sich jedoch noch von den Becken unserer Zeit. Die modernen Becken werden aus Messing geschmiedet, dessen Zusammensetzung ein sorgfältig gehütetes Geheimnis bleibt.



Oben: Schlagzeug einer 'pop group' für ein Konzert aufgestellt.

Die Schlaginstrumente (Schlagzeug) lassen sich in zwei Gruppen einteilen: die Membranophone, bei denen eine Membran oder ein Fell in Schwingungen versetzt wird, und die Idiophone (Autophone), die aus so dichten und harten Stoffen hergestellt sind, daß sie beim Anschlagen hörbare Schwingungen hervorrufen. Instrumente beider Gruppen werden entweder unmittelbar oder durch einen Mechanismus angeschlagen oder erklingen infolge einer anderen Bewegung, beispielsweise wenn eine Bewegung des Spielenden oder seiner Kleidung oder die eines Tieres oder seines Geschirrs das betreffende Instrument schüttelt, wodurch es von innen oder außen am Instrument angebrachten Kügelchen oder Klöppeln angeschlagen wird. Solche ursprünglich aus Samenkapseln hergestellte Rasseln gehören zu den frühesten dem Menschen bekannten Instrumenten. Gleichfalls sehr alte Instrumente sind die aus niedergebrochenen oder hohlen Baumstämmen hergestellten Schlitztrommeln und einige Schlaginstrumente wie die Klappern, die in Form von zwei zusammengeschlagenen Steinen oder Holzstäben in Erscheinung traten. Alle diese Instrumente werden auch im heutigen Orchester eingesetzt, wobei sie infolge der sich wandelnden musikalischen Darstellungsformen ständiger Weiterentwicklung und Änderungen unterworfen sind.

Idiophone

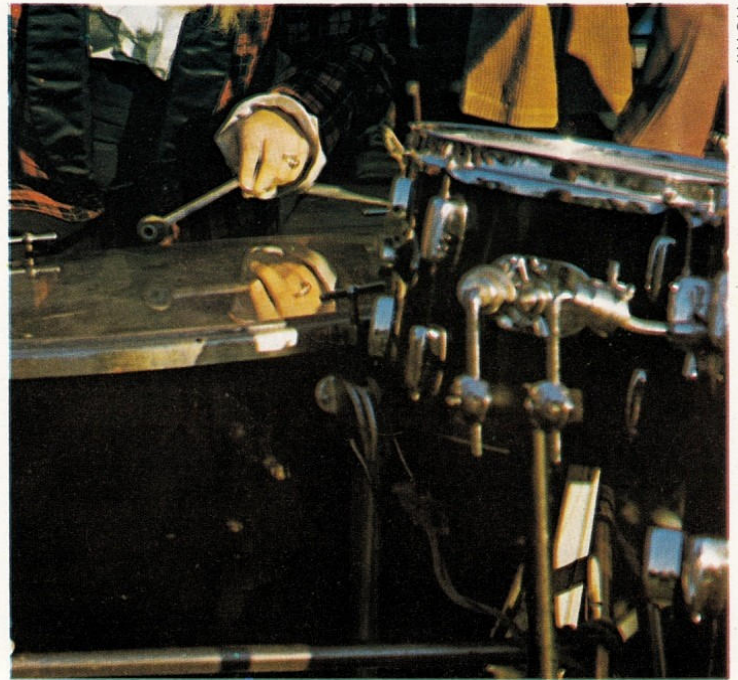
Während unsere Klappern in Form zweier zusammengeschla-

Sie werden unter Drehbewegungen mit einer sehr großen Meßgenauigkeit gehämmert, so daß Becken mit langen oder kurzen Schwingungszeiten hergestellt werden können — je nachdem, ob sie zum Erreichen von Theatereffekten, für Marschkapellen, Tanzkapellen oder Opernorchester bestimmt sind. Zum Beispiel benutzt der Schlagzeuger eines Tanzorchesters das Erste Becken zur Festlegung des Taktes, weshalb es eine kürzere Schwingungszeit als ein für Opernorchester bestimmtes Becken haben muß.

Holzstäbe unterschiedlicher Tonhöhen werden in Südostasien und in Afrika seit vorgeschichtlichen Zeiten benutzt und haben sich von dort aus über die ganze Welt verbreitet. Die Tonhöhe eines Stabes ist von seiner Dichte und Dicke abhängig. Wird das Holzteil unter dem mittleren Bereich abgetragen, läßt sich die Klangfülle verbessern und die Tonhöhe herabsetzen — ein Verfahren, das in Afrika seit langem bekannt ist, aber in der westlichen Welt erst in unserem Jahrhundert erkannt wurde. Eine einfache Form des Xylophons wurde in Europa vom 15. bis Anfang des 20. Jahrhunderts benutzt, als das moderne Xylophon mit seinen breiten Stäben und aus Metall hergestellten Klangröhren aus Amerika importiert wurde, wo es wiederum aus den mexikanischen und guatemaltekenischen Marimbas entwickelt worden war, die ihrerseits Nachahmungen von in der Neuen Welt von afrikanischen Sklaven gebauten Instrumenten darstellten. Es werden auch Instrumente ähnlicher Form benutzt, bei denen runde oder viereckige Metallstäbe zur Tonerzeugung benutzt werden, wie z. B. das Stabspiel, das auch mit hängenden Röhren im Orchester als Glockenspiel Verwendung findet,

und das Vibraphon, bei dem unter den aus Metall-Legierungen hergestellten, wie eine Klaviertastatur angeordneten länglichen Platten röhrenförmige Einzelresonatoren hängen. Diese Röhren werden von über einen Elektromotor angetriebenen Klappen ständig geöffnet und geschlossen, so daß der charakteristische Vibratoklang entsteht.

Weitere allgemein benutzte Schlaginstrumente aus Metall sind der Triangel, ein dreieckig gebogener, an einer Ecke unverbundener Metallstab, der Gong (Tamtam) und die Glocken. Der aus Westasien stammende Gong ist eine große, aus Bronze geschmiedete Scheibe mit umgebogenem Rand. Abgesehen vom Tischgong und Haustürgong kennt man in Europa nur den Tamtam genannten Orchestergong. Tamtams wurden zunächst aus China — hier wurden die besten Tamtams hergestellt — importiert, bis eine europäische Firma in den letzten dreißig Jahren das entsprechende Fertigungsverfahren herausfand. Seit dem Mittelalter wurden in Europa große Glocken gegossen, und zwar häufig durch wandernde Glockengießer, die den Glockenguß unmittelbar neben der Kirche vollzogen. Da sich eine so große Bronzemasse jedoch im Orchester als unpraktisch erweist, werden



Oben: Eine Orchesterpauke (Kesselpauke), die sich aus den Kesselpauken der von ungarischen Reitern nach türkischem Vorbild mitgeführten Kesselpauken entwickelte. Die zum Stimmen benutzten Spannvorrichtungen sind deutlich zu sehen.

Unten: Ein balinesisches Gamelan-Orchester (Metallophon-Orchester). Bambusflöten, Bogeninstrumente und die menschliche Stimme werden zum Tragen der Melodie eingesetzt. Der Rhythmus ist kompliziert und von einer hochentwickelten Polyphonie.



statt dessen Glockenspiele aus Stahlplatten oder Messingrohren benutzt.

Membranophone

Das erste Membranophon war wahrscheinlich die Kesselpauke — ursprünglich, wie der Name sagt, ein mit einer Tierhaut überzogener Kochkessel. Die auch Timpano genannte Orchesterpauke wurde im Ungarn des 15. Jahrhunderts bei der Kavallerie nach türkischer Manier zu beiden Seiten des Pferdes vor dem Sattel aufgehängt. Später wurde sie auch in Deutschland als Musikinstrument bei den Trompeterkorps der berittenen und bespannten Truppen bis zum Jahre 1939 verwendet. Orchestertrommeln werden auf bestimmte, jedoch veränderliche Tonhöhen eingestellt. Die jeweilige Tonhöhe hängt vom Durchmesser, von der Dicke und der Spannung der meist aus Kalbfell bestehenden Membran ab. Während die Membran der türkischen Pauken mit einer Anordnung von Schnüren gespannt wurde, wurde in Europa das Spannen der Membran durch Verschraubung eines Eisenreifens bald zum allgemeinen Brauch, der noch heute befolgt wird.

Die im 19. Jahrhundert erfundenen Maschinenpauken (Kurbel-, Pedal- und Drehkesselpauke) können auch während des Spiels umgestimmt werden, so daß eine solche Pauke streckenweise melodisch eingesetzt werden kann. Heute werden Pedalpauken allgemein eingesetzt und in Gruppierungen von zwei bis vier, gelegentlich auch mehr, Pauken zusammengefaßt. In der Regel werden mit weichem Material bespannte Schlegel benutzt. Das Schlagen einer Pauke mit diesen Schlegeln erfordert eine beträchtliche Geschicklichkeit,

denn je länger der Schlegel mit der Membran in Berührung bleibt, desto kürzer ist der angeschlagene Ton. Eine vollständige Entspannung der Handgelenke und sehr schnelles Reaktionsvermögen sind hierzu erforderlich.

Die flache kleine Trommel (Militär-, Schnarrtrommel) wurde ebenfalls im 15. Jahrhundert eingeführt, unterscheidet sich von der Pauke jedoch dadurch, daß sie einen zylindrischen Rahmen mit einem oder zwei straff darüber gespannten Fellen besitzt und nicht zur Erzeugung eines Tones bestimmter Höhe gedacht ist. Sie wird mit hölzernen Schlegeln gespielt und besitzt Schnarren, aus Draht oder Darm gedrehte Litzen, die unter dem unteren Trommelfell verlaufen und das trockene, schnarrende Geräusch erzeugen. Der Ton ist so kurz, daß es unmöglich ist, mit einzelnen Schlägen auf die Trommel ein ununterbrochenes Schnarren hervorzurufen, weshalb der Trommler seine Schlagfrequenz dadurch verdoppeln muß, daß er jeden Schlag so ansetzt, daß eine Rückschwingung entsteht.

Es werden auch andere Trommelgrößen benutzt: Die Wirbeltrommel, eine größere Ausführung der Militärtrommel, jedoch ohne Schnarren, und die noch umfangreichere große Trommel mit einem Durchmesser von ungefähr 1 m bis 2 m. Bei der volkstümlichen und Tanzmusik wird eine kleinere 'große Trommel' mit Pedalanschlag benutzt, die von verschieden großen, beidseitig bespannten Trommeln, ebenfalls ohne Schnarren, begleitet wird. Eine einseitig bespannte Trommel mit zylindrischem Rahmen ist das Tamburin, in dessen Rahmen kleine Metallbecken zur Erzeugung eines zusätzlichen, klingenden Rassels eingesetzt sind.

Zu den anderen, erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit durch die Volksmusik anderer Länder aus verschiedenen Teilen der Welt in unser Land eingeführten Instrumenten gehören Rasseln wie die Maracas (Rumbakugeln), die Kastagnetten, die Holzklötze, die Bongos, die Konga-Trommeln und die vor nicht allzu langer Zeit erfundenen Schlaginstrumente: Die westindischen, aus den Deckel- und Bodenteilen von Ölfässern hergestellten Stahlblechtrommeln.

Unten: Eine guatemaltekeische Marimba. Das moderne Xylophon ist ein ausgezeichnetes Beispiel für die Weiterentwicklung von Musikinstrumenten. Afrikanische Sklaven bauten in Amerika europäische Instrumente nach, die dann durch Guatemalteken weiterentwickelt und wieder in Europa eingeführt wurden.

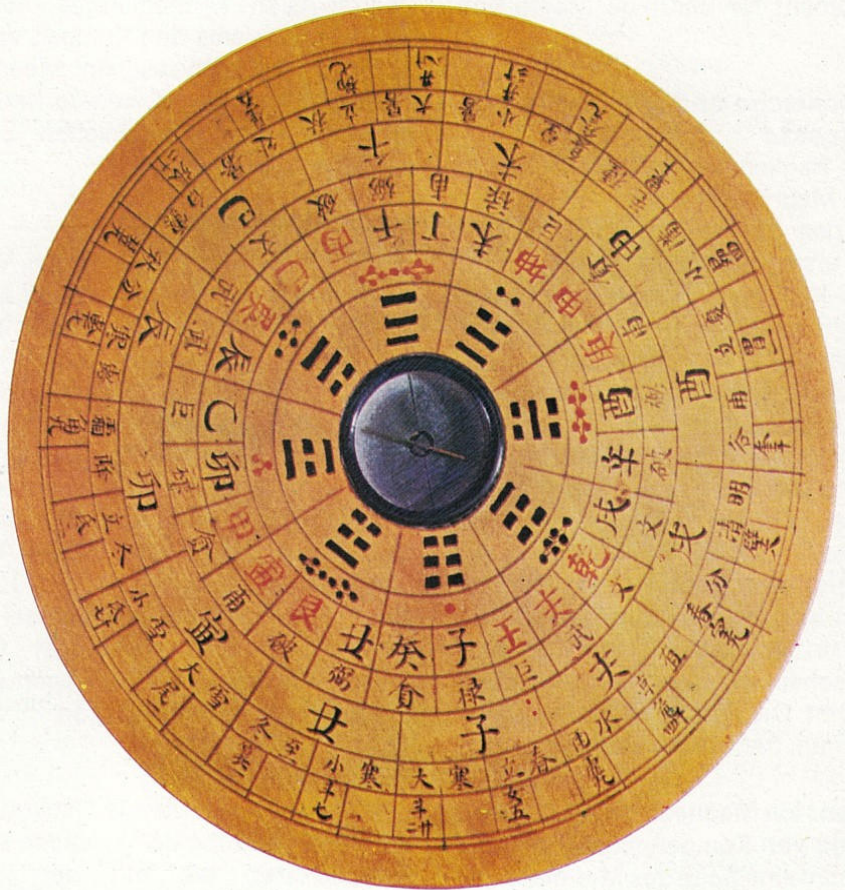


Erfindungen 43: MAGNETKOMPASS

Es besteht wenig Zweifel daran, daß der magnetische Kompaß in China erfunden wurde. Doch es ist nicht genau bekannt, wann er entwickelt wurde und wann er erstmals zur Navigation benutzt wurde. Dies liegt wahrscheinlich daran, daß die Chinesen den Magnetkompaß zunächst zur Weissagung künftiger Ereignisse benutzten. Die ersten klaren Hinweise auf die Herstellung eines Magnetkompasses enthält eine chinesische Enzyklopädie aus dem Jahre 1040, in der die Herstellung von Magnetnadeln beschrieben wird. Der Gebrauch zur See durch chinesische Seeleute wird erstmals im Jahre 1115 erwähnt.

Der chinesische Kompass

Ursprünglich bestand der chinesische Kompaß aus einem Stück Erz (magnetischem Eisenoxid), das wie eine Löffelschale geformt war und auf Wasser schwamm. Da der Erz-Schwimmer dem Magnetfeld der Erde ausgesetzt ist, zeigt er stets die gleiche Orientierung längs der magnetischen Nord-Süd-Achse an. Diese Tatsache muß den chinesischen



Oben: Dieser chinesische Kompaß aus dem 19. Jahrh. hat im Zentrum eine Magnetnadel, deren roter Endpunkt nach Süden zeigt. Er wurde nicht zur Navigation benutzt; vielmehr legten Geomantiker damit die Orientierung von Gebäuden oder das Begräbnis eines Toten fest. Die Karte trägt die Himmelsrichtungen symbolisierende Triagramme.

Links: Ein Navigationskompaß aus dem 18. Jahrh. mit einer frei drehbar gelagerten Nadel. Frühe Kompassse hatten keine Buchstaben, sondern Zeichnungen zur Kennzeichnung der Nord- und Ostrichtung.



Auguren (Zukunftsdeutern) bekannt gewesen sein, die — wie man annimmt — damit ihre Vorhersagen bequem untermauern konnten. Mit der Zeit lernten die Chinesen, daß Eisen durch Berührung mit Magneten oder durch Erhitzen und anschließendes störungsfreies Abkühlen magnetisiert werden kann.

Der anfängliche Erz-Schwimmer war eine Urform des Kompasses, denn schnell lernten die Chinesen, hölzerne Schwimmer — gewöhnlich wie Fische geformt — zu benutzen, in die ein Magnet eingebettet war. Die erste Form eines Kompasses zu Navigationszwecken, die wir kennen,

hatte einen Zeiger, noch immer in Form eines Fisches, der auf einem dünnen Zapfen balancierte. Diese Konstruktion war jedoch noch weit von einem idealen Navigationsinstrument für unruhige Meere entfernt.

Europäische und islamische Kompassse

Es ist fraglich, wie es zum Gebrauch von Magnetkompassen in Europa und den islamischen Ländern kam. Die erste bekannte Beschreibung eines Kompasses findet sich in den Schriften des Briten Alexander Neckam, Abt von Cirencester (1157 bis 1217). Gegen Ende des dreizehnten Jahrhunderts war der Navigationskompaß in Europa, Skandinavien und Island weit verbreitet. Für den Gebrauch durch islamische Seefahrer gibt es vor 1232 keine eindeutigen Beweise. Der diesem Gerät von den Arabern gegebene Name, al Konbas, ist kein arabisches Wort, sondern wahrscheinlich dem Italienischen entlehnt. Die frühen, von islamischen Schiffen benutzten Kompassse hat-

ten — wie die chinesischen — Fischform. Dies führte die meisten Historiker zur Annahme, daß die Europäer den Magnetkompaß durch ihre Kontakte zu den Chinesen über Zentral-Asien kennenlernten, während die Moslems den Kompaß wohl auf dem Südchinesischen Meer in Gebrauch sahen und weitere Kenntnisse von den europäischen Seeleuten erwarben.

Kardanische Aufhängung

Um 1300 wurden zwei große Verbesserungen am Magnetkompaß ausgeführt. Zunächst wurde der Kompaß kardanisch gelagert. Diese Aufhängung besteht aus einer Reihe konzentrischer Messingringe, die so miteinander verbunden sind, daß der Kompaß aufrecht bleibt, wenn das Schiff rollt und stößt. Es ist bekannt, daß eine derartige kardanische Aufhängung schon in Europa um 1230 als Träger für Weihrauchkessel in Kirchen benutzt wurde; der Gebrauch hat aber in Zentral-Asien und China noch ältere Tradition.

Die Windrose

Die zweite bedeutende Neuerung war die Einführung der Windrose oder Kompaßkarte, die mit den vier Himmelsrichtungen und ihren Unterteilungen gekennzeichnet wurde. Die Erfindung der Windrose um 1300 wird Flavio Gioia von Amalfi zugeschrieben. Dies kann wahr oder

unwahr sein; sicher ist jedoch, daß dies eine Neuerung aus Italien war. Vor der Einführung der Kompaßkarte konnte die Nadel nur als grober Hinweis auf die Schiffsrichtung benutzt werden. Der Seemann mußte sich noch stark auf andere Faktoren wie den Stand der Sonne, des Mondes und der Sterne verlassen. Mit Hilfe der Windrose konnte der Navigator dem Steuermann den Kurs vorgeben und diesen Kurs ständig kontrollieren. Dies erlaubte den Seefahrern auch, ihre Position auf See festzulegen, wenn Land in Sicht war, indem charakteristische Punkte längs der Küste, etwa Vorgebirge, in diese Karte eingetragen wurden. Die Windrose machte die Vielzahl von Entdeckungen möglich, die durch den portugiesischen Prinzen Heinrich den Seefahrer (1394 bis 1460) in Gang gesetzt wurden. Erst mit Hilfe der Windrose konnte das Kap der Guten Hoffnung umsegelt und damit der Weg zum Fernen Osten geöffnet werden. Dies führte schließlich zur Entdeckung der Neuen Welt.

Unten: Ein Magnetstein zur Magnetisierung von Kompaßnadeln. Hierzu rieb man eine Seite des Magneten in nur einer Richtung sanft über die Nadel hinweg und führte ihn danach mit großem Abstand von der Nadel zur Ausgangsposition zurück.

Unten: Aufklappbare Taschensonnenuhren dieser Art waren im 17. Jahrh. beliebt. Ein Kompaß war nötig, um die Sonnenuhr so passend auszurichten, daß der Schattenstab oder Gnomon — in diesem Fall ein Faden — in Nord-Süd-Richtung zeigt.

