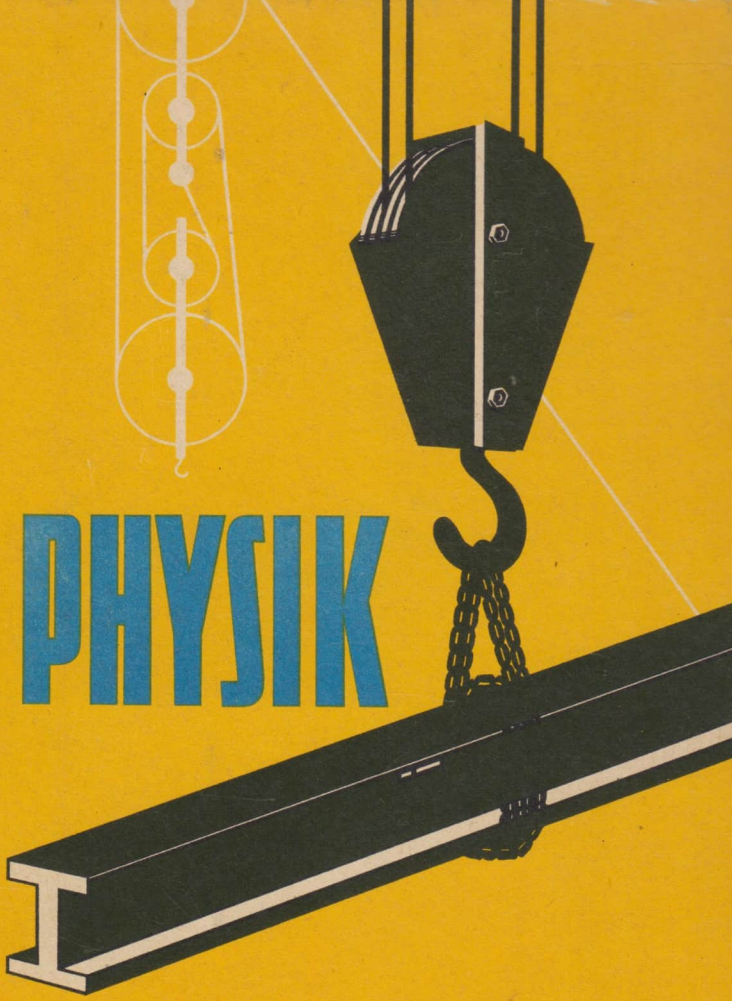


PHYSIK

KLASSE 7

PHYSIK

EIN LEHRBUCH FÜR DIE OBERSCHULE

KLASSE 7

Mit 300 Abbildungen · Ausgabe 1959

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1962

Verfaßt von Josef Fischer, Rolf Grabow und Heinrich Paucker

Vom Ministerium für Volksbildung
der Deutschen Demokratischen Republik
als Lehrbuch für die zehnklassige
allgemeinbildende polytechnische
Oberschule bestätigt

Vierte, durchgesehene Auflage

Redaktionsschluß: 1. April 1962

Zeichnungen: Kurt Dornbusch
Einband: Günther Klaus

ES 11 H · Bestell-Nr. 02 705-4 · 1,90 DM · Lizenz-Nr. 203 · 1000/62 (DN)

Satz und Druck: VEB Graphische Werkstätten Leipzig

INHALTSVERZEICHNIS

I. Mechanik der festen Körper

1. Gewicht und Masse eines Körpers 5
2. Die Wichte und die Dichte 13
3. Der Hebel — Das Hebelgesetz 16
4. Die Hebelwaagen 22
5. Rollen und Flaschenzüge..... 28
6. Wellrad; Riemen-, Ketten- und Zahntrieb.... 34
7. Die schiefe Ebene 43
8. Die Schraube 49
9. Der Keil 55
10. Das Fahrrad..... 62
11. Die Reibung 65
12. Einige Maschinen für die spanabhebende Formung 67
13. Die Bedeutung des Werkzeugmaschinenbaus in unserer Deutschen Demokratischen Republik . 75
14. Einige Maschinen der landwirtschaftlichen Produktion 80
15. Arbeit und Leistung 88

II. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

16. Druckausbreitung in Flüssigkeiten 94
17. Der Schweredruck in Flüssigkeiten 103
18. Auftrieb und Schwimmen 109
19. Der Druck in Gasen 119
20. Geschwindigkeit und Druck in strömenden Stoffen 131
21. Körper in strömenden Stoffen 136
22. Das Flugzeug..... 142
23. Wasserkraftmaschinen 151

Formelzeichen 157

Namen- und Sachverzeichnis 158

I. Mechanik der festen Körper

1. Gewicht und Masse eines Körpers

1. Die gleichförmige Bewegung. Alle Körper sind in ständiger *Bewegung*. Dies gilt auch für solche Körper, die sich gegenüber der Erde in Ruhe befinden, beispielsweise ein parkendes Auto. Die Erde mit allen auf ihr befindlichen Körpern dreht sich um ihre eigene Achse und bewegt sich außerdem um die Sonne. Aber auch die Sonne und alle anderen Gestirne sind in Bewegung.

Die verschiedenen Bewegungen, die von den Körpern ausgeführt werden, unterscheiden sich durch die *Richtung* und durch die **Geschwindigkeit.** So bewegt sich beispielsweise ein Kraftfahrzeug im allgemeinen schneller, das heißt mit einer größeren Geschwindigkeit, als ein Fußgänger. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit eines Körpers muß man den Weg, den er zurücklegt, und die Zeit, die er dafür benötigt, messen. *Je größer der Weg und je kürzer die Zeit ist, desto größer ist die Geschwindigkeit.*

Die Geschwindigkeit ist der Quotient aus dem Weg und der Zeit.

Man kann auch kürzer sagen:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}.$$

Bezeichnet man den zurückgelegten Weg mit s und die dabei verflossene Zeit mit t, so ergibt sich für die Geschwindigkeit v die Gleichung:

$$\boxed{v = \frac{s}{t}} \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

Mißt man den Weg in Metern und die Zeit in Sekunden, so erhält man als Maßeinheit der Geschwindigkeit **Meter je Sekunde** $\left(\frac{m}{s}\right)$. Für die Angabe der Geschwindigkeit von Fahrzeugen wird meist eine andere Maßeinheit benutzt, nämlich **Kilometer je Stunde** $\left(\frac{km}{h}\right)$. Man kann diese Einheiten ineinander umrechnen:

$$1\,\frac{km}{h} = \frac{1000\,m}{3600\,s} \approx 0{,}278\,\frac{m}{s}, \quad 1\,\frac{m}{s} = \frac{0{,}001\,km \cdot 3600}{1\,h} = 3{,}6\,\frac{km}{h}.$$

Die Geschwindigkeit kann nur dann als Quotient aus Weg und Zeit berechnet werden, wenn sie sich während der Messung nicht ändert. In diesem Falle handelt es sich um eine *gleichförmige Bewegung.*

Bei einer gleichförmigen Bewegung ändert sich die Geschwindigkeit nicht. In gleichen Zeiten werden gleiche Wege zurückgelegt.

Ein Schnellzug auf gerader Strecke, ein Kraftfahrzeug auf der Autobahn und ein Verkehrsflugzeug mit Reisegeschwindigkeit bewegen sich während längerer Zeiträume mit annähernd gleichbleibender Geschwindigkeit.

Ändert sich ständig die Geschwindigkeit eines Körpers, so führt er eine *ungleichförmige Bewegung* aus. Der Schnellzug beim Anfahren und beim Bremsen, das Auto im Stadtverkehr und das Flugzeug beim Start und bei der Landung bewegen sich ungleichförmig.

Bei einer ungleichförmigen Bewegung ändert sich ständig die Geschwindigkeit. Zu gleichen Zeiten werden unterschiedliche Wege zurückgelegt.

Berechnet man bei einer ungleichförmigen Bewegung die Geschwindigkeit, indem man den Weg durch die Zeit dividiert, so erhält man die *Durchschnittsgeschwindigkeit.*

Reisegeschwindigkeit einiger Verkehrsmittel

(zum Vergleich die Geschwindigkeit eines Fußgängers)

Verkehrsmittel	$\frac{m}{s}$	$\frac{km}{h}$
Fußgänger	1,4	5
Radfahrer	5,5	20
Ozeandampfer	10...15	36...54
Kraftwagen	19,5...27,8	70...100
Schnellzug	22,2	80
Flugzeug IL 14	90	324
Flugzeug TU 114	222	800

2. Die Kraft. Für die Ausführung vieler Tätigkeiten muß man seine Muskeln anspannen; man benötigt eine **Kraft.** Man wendet die Muskelkraft an, wenn man einen Fahrradschlauch aufpumpt,

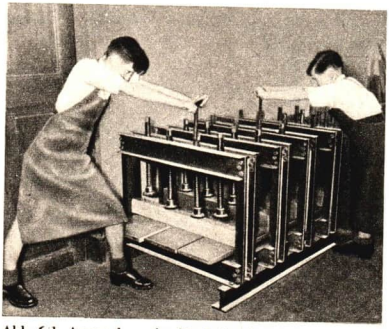


Abb. 6/1. Anwendung der Muskelkraft
a) beim Anziehen einer Schraube a)
b) beim Spannen der Feder eines Luftgewehrs b)

eine Schraube anzieht, einen Zweig abschneidet oder eine Feder spannt (Abb. 6/1). Beim Aufpumpen des Fahrradschlauches wird die Form des Schlauches und beim Spannen der Feder ihre Form verändert. Mit Hilfe der Muskelkraft können Körper *verformt* werden.

Abb. 7/1
Durch die Strohpresse wird das Stroh zusammengedrückt

Körper werden aber auch durch Kräfte verformt, die von Maschinen ausgeübt werden. So benutzt man Schmiedepressen, um Blechen die gewünschte Gestalt zu geben. Stroh wird mit der Strohpresse zu rechteckigen Ballen zusammengedrückt (Abb. 7/1). Die Ursache der Formgebung ist auch in diesen und in vielen anderen Fällen eine Kraft.

Durch eine Kraft kann ein Körper verformt werden.

Man muß aber auch eine Kraft aufwenden, um eine Lore in *Bewegung zu setzen* oder eine rollende Lore *abzubremsen*. Ebenso ist eine Kraft erforderlich, um einen ruhenden Fußball fortzuschießen oder einen heranfliegenden Ball zu stoppen.

Durch eine Kraft kann ein Körper in Bewegung gesetzt oder seine Bewegung abgebremst werden.

Durch eine Kraft können somit zwei verschiedene Wirkungen hervorgerufen werden. Kräfte können einerseits Körper formen und andererseits die Bewegung eines Körpers verändern. Da die Größe dieser Wirkungen in beiden Fällen von der Größe der Kräfte abhängig ist, kann sowohl die Verformung als auch die Bewegungsänderung zum *Messen von Kräften* ausgenutzt werden.

3. Kraftmessung durch Verformen elastischer Körper. Zieht man beispielsweise an einer Schraubenfeder, so wird sie verlängert (Abb. 7/2). Je stärker man zieht, *je größer also die Kraft ist, desto größer ist die Verlängerung* der Feder. Wie Versuche ergeben haben, stehen die Verlängerung der Feder und die Zugkraft in direktem Verhältnis. Dies gilt jedoch nur bis zur Elastizitätsgrenze; denn die Zugkraft darf nicht so groß werden, daß die Feder ihre Elastizität verliert.

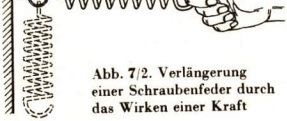


Abb. 7/2. Verlängerung einer Schraubenfeder durch das Wirken einer Kraft

Als Kraftmesser werden häufig *Federwaagen*, auch *Dynamometer* genannt, verwendet. Auf dem mit der Feder verbundenen Zylinder ist eine Skale angebracht, an der die Zugkraft abgelesen werden kann (Abb. 8/1).

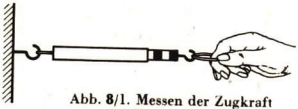


Abb. 8/1. Messen der Zugkraft mit einer Federwaage

Kräfte können mit Federwaagen gemessen werden.

Die *Grundeinheit der Kraft* ist das **Kilopond** (kp). Abgeleitete Krafteinheiten sind das **Megapond** (Mp), das **Pond** (p) und das **Millipond** (mp).

$$1\ \text{Mp} = 1000\ \text{kp},$$
$$1\ \text{kp} = 1000\ \text{p},$$
$$1\ \text{p} = 1000\ \text{mp}.$$

Außer der zahlenmäßigen Größe einer Kraft muß auch die *Richtung* angegeben werden, in der sie wirkt. Kräfte werden deshalb meist als *Pfeile* gezeichnet. Die Richtung des Pfeils veranschaulicht die *Kraftrichtung* und die Länge des Pfeils die *Größe der Kraft*. In der Abb. 8/2 ist an einigen Beispielen gezeigt, wie Kräfte als Pfeile dargestellt werden können.

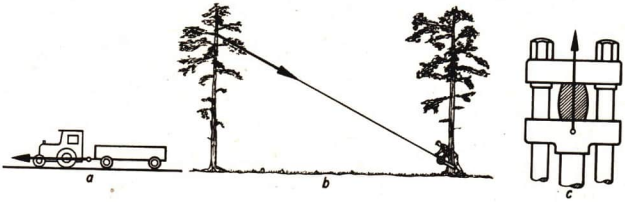


Abb. 8/2. Veranschaulichung von Kräften durch Pfeile
a) Zugkraft eines Traktors, b) Zugkraft einer Winde beim Fällen von Bäumen, c) Druckkraft einer Presse

4. Das Gewicht. Jeder Körper wird von der Erde angezogen und hat deshalb ein bestimmtes **Gewicht.** Infolgedessen drückt ein stehender Körper auf seine Unterlage, während ein hängender Körper an seiner Aufhängung zieht. Stellt man zum Beispiel ein Wägestück auf eine Leiste, die nur an ihren Enden unterstützt ist, so biegt sie sich etwas durch (Abb. 8/3a). Die gleiche Verformung erreicht man auch mit Hilfe

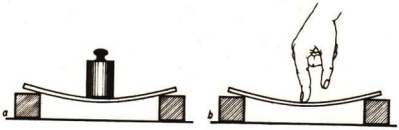


Abb. 8/3. Verformung einer Holzleiste
a) durch ein Wägestück, b) durch Muskelkraft

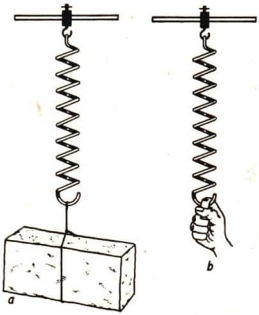


Abb. 9/1. Verlängerung einer Feder
a) durch das Gewicht eines Ziegelsteines
b) durch Muskelkraft

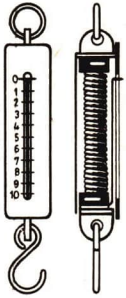
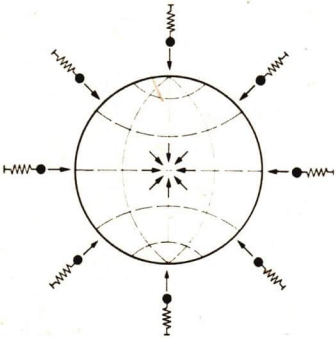


Abb. 9/2
Lumpenwaage

Abb. 9/3 Technisches Dynamometer

der Muskelkraft (Abb. 8/3b). Eine Feder kann sowohl durch das Gewicht als auch durch die Muskelkraft gespannt werden (Abb. 9/1). Aus den Versuchen ergibt sich, daß *das Gewicht eines Körpers eine Kraft ist.* Man kann daher das Gewicht mit einer Federwaage messen. In Sammelstellen für Altmaterial wird hierfür häufig eine *Lumpenwaage* verwendet (Abb. 9/2).

Das Gewicht eines Körpers ist eine Kraft und kann mit einer Federwaage gemessen werden.



Zum Messen großer Kräfte werden Federwaagen von der in Abbildung 9/3 wiedergegebenen Form verwendet. Bei Belastung werden die beiden Federn gestreckt. Die Verformung der Federn wird auf ein Zeigerwerk übertragen.

Das Gewicht aller Körper ist auf der Erde nach dem Erdmittelpunkt hin gerichtet (Abb. 9/4). *Es ist jedoch für einen bestimmten Körper nicht an allen Orten gleich groß.*

Abb. 9/4. Die Richtung des Gewichts verläuft auf der Erde überall zum Erdmittelpunkt hin.

da das Gewicht von der Entfernung vom Erdmittelpunkt abhängig ist. Je weiter man sich vom Erdmittelpunkt entfernt, um so geringer wird das Gewicht. In größeren Höhen über der Erdoberfläche, beispielsweise auf einem hohen Berg oder in einem hoch fliegenden Flugzeug, ist das Gewicht des Körpers geringer als in der Tiefebene.

Da die Erde an den Polen etwas abgeplattet ist, befindet sich ein Körper hier näher dem Erdmittelpunkt als am Äquator. Jeder Körper hat infolgedessen an den Polen ein etwas größeres Gewicht. Es nimmt vom Äquator zum Pol um 0,5% zu. So hat ein Sack Zucker, der am Pol ein Gewicht von 100,0 kp hat, am Äquator ein Gewicht von 99,5 kp.

Auf der Oberfläche des Mondes wirkt auf einen Körper die Anziehungskraft des Mondes ein. Sie ist viel geringer als die der Erde. Auf dem Mond würde ein Körper infolgedessen nur $\frac{1}{6}$ seines Gewichtes auf der Erde haben.

Das Gewicht eines Körpers ist vom Ort abhängig.

Da das Gewicht eine Kraft ist, wird es in Kilopond angegeben.

5. Die Trägheit. Setzt man einen ruhenden Körper in Bewegung oder bremst man einen bewegten Körper ab, so muß man hierzu eine Kraft aufwenden. In beiden Fällen spürt man einen Widerstand. Diesen Widerstand eines Körpers gegen eine Bewegungsänderung bezeichnet man als seine **Trägheit.** Sie tritt bei allen Körpern auf und ist infolgedessen eine *Eigenschaft aller Körper.* Der bedeutende englische Physiker *Isaac Newton* faßte im Jahre 1687 die Ergebnisse seiner Untersuchungen und die anderer Forscher in dem **Trägheitsgesetz** zusammen.

Jeder ruhende Körper bleibt in Ruhe, solange keine Kraft auf ihn einwirkt. Jeder in Bewegung befindliche Körper bewegt sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit geradlinig weiter, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

Diese Zusammenhänge zwischen Kräften und Bewegungen gelten nicht nur auf der Erde, sondern für alle Körper im gesamten Weltall. Sie bestanden schon, bevor sie von den Menschen überhaupt erkannt worden waren, und werden auch in Zukunft bestehenbleiben. Einen solchen stets gültigen Zusammenhang bezeichnet man als ein **Naturgesetz.** *Niemand kann ein Naturgesetz verändern.* Die Aufgabe der Naturwissenschaften, wie der Physik, der Chemie und der Biologie, ist es, die Naturgesetze zu erforschen und sie zum Nutzen der Menschheit anzuwenden. Auf Grund der Kenntnis und der Anwendung der Naturgesetze entstand die Technik und entwickelte sich weiter.

An vielen Beispielen kann die Trägheit der Körper beobachtet werden:

Man bedeckt die Öffnung eines Standzylinders mit einem Kartonblatt und legt darauf eine Münze. Wird das Blatt ruckartig fortgezogen, so fällt die Münze infolge ihrer Trägheit in den Zylinder.

Trägt man eine Tasse, die mit Kaffee gefüllt ist, so muß man plötzliche Bewegungsänderungen vermeiden, da sonst die Flüssigkeit infolge ihrer Trägheit über den Gefäßrand schwappt.

Abb. 11/2
Befestigen
einer Feile
im Heft

Abb. 11/3
Lockern eines Hobeleisens

Abb. 11/1. Befestigen eines Axtstieles

Man kann den Stiel einer Axt dadurch befestigen, daß man ihn frei in der Hand hält und durch kräftige Schläge in das Blatt hineintreibt (Abb. 11/1). Auf Grund der Trägheit bewegt sich dabei das Blatt selbst kaum. Abb. 11/2 zeigt, in welcher Weise man eine Feile in ihrem Heft befestigt. Ebenso nutzt man die Trägheit aus, wenn man ein Hobeleisen durch Schläge auf den Schlagknopf des Hobels lockert (Abb. 11/3).

Fährt ein Fahrzeug, zum Beispiel eine Straßenbahn oder ein Autobus, plötzlich an, so kann ein stehender Fahrgast nach hinten kippen. Beim plötzlichen Bremsen dagegen fällt man leicht in Fahrtrichtung. In beiden Fällen ist wiederum die Trägheit die Ursache. Damit sich Fahrzeuge, die auf Güterwagen transportiert werden, beim Anfahren oder Bremsen nicht lösen können, müssen sie gut verkeilt und mit Drähten verspannt werden.

6. Die Masse. Eine Kugel aus Holz und eine gleich große Kugel aus Eisen werden nacheinander mit der gleichen Kraft angestoßen (Abb. 11/4). Die Holzkugel rollt mit größerer Geschwindigkeit fort als die Eisenkugel. Die Eisenkugel hat eine größere Trägheit. Die Ursache für die Trägheit eines Körpers ist seine **Masse.** Mithin haben die beiden gleich großen Kugeln unterschiedliche Massen. Die Eisenkugel hat die größere Masse.

Die *Grundeinheit der Masse* ist das **Kilogramm** (kg). Weitere Masseneinheiten sind die **Tonne** (t) und das **Gramm** (g).

1 t = 1000 kg,
1 kg = 1000 g,
1 g = 1000 mg.

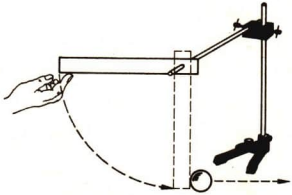


Abb. 11/4. Vergleich der Trägheit verschiedener Kugeln

Um ein einheitliches Maß für die Masse zu haben, wurde nach der französischen bürgerlichen Revolution (1792) beschlossen, hierfür die *Masse eines Liters Wasser* von 4 °C zu wählen. Das *Urmaß* muß aufbewahrt werden können, ohne daß

es sich verändert. Es muß auch jederzeit mit der größten Genauigkeit wieder herstellbar sein. Wasser ist aus diesen Gründen als Urmaß wenig geeignet. Daher wurde ein Zylinder aus Platin-Iridium mit einem Durchmesser von 39 mm und einer Höhe von 39 mm angefertigt. Dieser Zylinder wird in Sèvres bei Paris aufbewahrt und als *Urkilogramm* bezeichnet. Seine Masse beträgt 1 kg. Die Masse des Platin-Iridium-Zylinders war aber etwas größer als die Masse eines Liters Wasser von 4 °C ausgefallen. Infolgedessen ist die Masse von 1 l Wasser bei 4 °C etwas kleiner als 1 kg. Die meisten Staaten der Erde haben das Kilogramm als Maßeinheit der Masse übernommen. Sie erhielten eine Nachbildung des französischen Urmaßes. Auch unsere Deutsche Demokratische Republik besitzt eine Nachbildung des Urmaßes, die beim Deutschen Amt für Meßwesen in Berlin aufbewahrt wird.

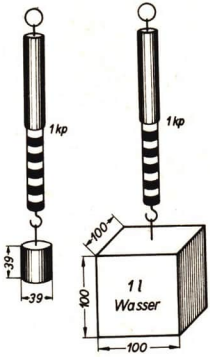


Abb. **12**/1. Der in Sèvres bei Paris aufbewahrte Platin-Iridium-Zylinder hat etwa dasselbe Gewicht wie ein Liter Wasser. Der Unterschied beträgt ungefähr 0,00028 p.

Ein Kilogramm ist die Masse des in Sèvres bei Paris aufbewahrten Platin-Iridium-Zylinders.

Das Gewicht des Urkilogramms beträgt 1 kp (Abb. **12**/1).

Die Einheit des Gewichts ist das Kilopond.

Die Masse eines Körpers ist im Gegensatz zum Gewicht vom Ort unabhängig. Nicht nur überall auf der Erde, sondern an jedem beliebigen Ort des Weltalls hat der Körper die gleiche Masse und damit auch die gleiche Trägheit.

Die Masse eines Körpers ist vom Ort unabhängig.

Die Masse eines Körpers darf nicht mit seinem Gewicht verwechselt werden. Ein Ziegelstein wird an einer Federwaage aufgehängt (vgl. Abb. **9**/1a). Das Gewicht des Steines und die Spannkraft der Federwaage halten sich das Gleichgewicht. Stößt man den Ziegelstein von der Seite her an, so nimmt man trotz der Aufhängung einen Widerstand wahr. Dieser ist eine Folge der Trägheit und damit der Masse des Körpers. In größerer Entfernung vom Erdmittelpunkt würde die Federwaage zwar ein geringeres Gewicht anzeigen, aber beim seitlichen Anstoßen des aufgehängten Steines wäre nach wie vor die gleiche Kraft erforderlich, um ihn zu bewegen. Die Masse des Steines hat sich nicht verändert.

Jeder Körper hat eine bestimmte Masse und infolgedessen auch eine bestimmte Trägheit. Außerdem hat er infolge der Anziehungskraft der Erde ein bestimmtes Gewicht. Dieses Gewicht ist von der Masse des Körpers und von seinem Abstand

vom Erdmittelpunkt abhängig. *Zwei Körper mit gleicher Masse haben an demselben Ort auch das gleiche Gewicht.*

Die Masse eines Körpers kann mit Hilfe einer *Balkenwaage* bestimmt werden, indem man sie mit der Masse von Wägestücken vergleicht. An jedem beliebigen Ort erhält man das gleiche Ergebnis.

Die Masse eines Körpers kann durch Vergleich mit bekannten Massen auf der Balkenwaage bestimmt werden.

Da ein Körper mit einer Masse von 1 kg überall auf der Erde annähernd ein Gewicht von 1 kp hat, so kann man die Balkenwaage auch zur Gewichtsbestimmung verwenden. Man muß nur darauf achten, daß für das Gewicht stets die richtige Maßeinheit, nämlich Millipond, Pond, Kilopond oder Megapond, angegeben wird.

7. Fragen und Aufgaben:

1. Der Sieger der XII. Internationalen Radfernfahrt für den Frieden 1959, Gustav Adolf Schur, benötigte für die 2057 km lange Strecke 54 Stunden, 48 Minuten und 59 Sekunden. Wie groß war seine Durchschnittsgeschwindigkeit in $\frac{km}{h}$ und in $\frac{m}{s}$?
2. Nenne die Wirkungen einer Kraft und gib Beispiele dafür an!
3. Woran erkennt man, daß das Gewicht eine Kraft ist?
4. Wie verändern sich die Masse und das Gewicht eines Meßgerätes in einem künstlichen Erdsatelliten bis zum Erreichen seiner Flugbahn?

2. Die Wichte und die Dichte

1. Die Wichte. Das Gewicht eines Körpers hängt nicht nur von seinem Rauminhalt, sondern auch von dem *Stoff* ab, aus dem er besteht. So ist zum Beispiel eine Holzschraube aus Aluminium bedeutend leichter als eine gleich große aus Eisen. Das Holzmodell eines Gußstückes ist meist wesentlich leichter als das Gußstück selbst. Ein mit Kies gefüllter Wagen hat ein viel größeres Gewicht als ein gleicher, der ebenso hoch mit Dung beladen ist.

Hängt man gleich große Würfel aus Holz, Aluminium und Eisen nacheinander an eine Federwaage, so zeigt sie verschieden große Gewichte an. Die Würfel haben zwar gleichen Rauminhalt, sie unterscheiden sich aber in ihrem Stoff. Um den Einfluß des Stoffes auf das Gewicht zum Ausdruck zu bringen, bildet man den Quotienten aus dem Gewicht (G) des Körpers und seinem Rauminhalt (V). Man erhält so eine Größe, die für den betreffenden Stoff kennzeichnend ist, die **Wichte** (γ).

Die Wichte eines Stoffes ist der Quotient aus dem Gewicht des Stoffes und seinem Rauminhalt.

$$\textbf{Wichte} = \frac{\textbf{Gewicht}}{\textbf{Rauminhalt}}.$$

$$\boxed{\gamma = \frac{G}{V}}$$

Da die Wichte aus den Größen Gewicht und Rauminhalt abgeleitet ist, setzt sich die *Maßeinheit der Wichte* aus den Maßeinheiten des Gewichtes und des Raum-

inhaltes zusammen. Gibt man das Gewicht in Pond und den Rauminhalt in Kubikzentimetern an, so erhält man als Maßeinheit für die Wichte **Pond je Kubikzentimeter** $\left(\frac{\text{p}}{\text{cm}^3}\right)$. In der Technik benutzt man auch häufig die Maßeinheit **Kilopond je Kubikdezimeter** $\left(\frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}\right)$. Die Maßzahl ist bei beiden Einheiten die gleiche; denn

$$1\ \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3} = \frac{1000\ \text{p}}{1000\ \text{cm}^3} = 1\ \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}.$$

Vergleicht man Würfel aus verschiedenen Stoffen, die alle einen Rauminhalt von 1 cm³ haben, mit Hilfe einer Federwaage, so zeigt sich, daß jeder Würfel ein anderes Gewicht hat (Abb. **14**/1). So wiegen beispielsweise 1 cm³ Aluminium etwa 2,7 p und 1 cm³ Eisen 7,8 p. Die gleichen Zahlenwerte erhält man bei der Berechnung der Wichte. Man bezeichnet sie als *Wichtezahlen*. Die Wichtezahl gibt an, wieviel Pond ein Kubikzentimeter bzw. wieviel Kilopond ein Kubikdezimeter eines bestimmten Stoffes wiegt.

Abb. **14**/1. Die Gewichte von Würfeln verschiedener Stoffe mit einem Rauminhalt von je 1 cm³

Die Wichte eines festen Körpers kann man dadurch bestimmen, daß man sein Gewicht an einer Federwaage und seinen Rauminhalt durch Wasserverdrängung in einem Meßzylinder oder durch Rechnung ermittelt und den Quotienten bildet.

Ein Eisenkörper habe ein Gewicht von 74 p und einen Rauminhalt von 9,5 cm³. Die Wichte des Eisens beträgt demzufolge

$$\gamma = \frac{G}{V},$$

$$\gamma = \frac{74\ \text{p}}{9{,}5\ \text{cm}^3} \approx 7{,}8\ \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}.$$

Die Wichte ist ebenso wie das Gewicht vom Ort abhängig. Der Unterschied ist jedoch auf der Erde so gering, daß man ihn im allgemeinen nicht zu berücksichtigen braucht.

In der Tabelle auf S. 15 sind die Wichten einiger Stoffe zusammengestellt.

Mit Hilfe der Wichte kann man bei bekanntem Volumen das Gewicht eines Körpers berechnen. Auf diese Weise ermittelt beispielsweise der Konstrukteur das Gewicht einer Maschine oder Brücke, bevor diese hergestellt werden. Auch beim Beladen von Fahrzeugen muß man die Wichte des Ladegutes beachten. Die Tragfähigkeit darf nicht überschritten werden. Bei Stoffen hoher Wichte kann der Laderaum häufig nicht voll ausgenutzt werden, da bereits vorher die Tragfähigkeit erreicht ist.

Im Bauwesen kommt es darauf an, Bauten von möglichst großem Rauminhalt, aber geringem Gewicht zu bauen. Auch für den Maschinenbau ist die Leichtbau-

Wichten einiger Stoffe

$\left(\text{in } \frac{\text{p}}{\text{cm}^3} \text{ bzw. } \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}\right)$

Stoff	Wichte	Stoff	Wichte
Aluminium	2,7	Sandstein	2,3
Blei	11,3	Kunstharz	1,4...1,8
Grauguß	7,2	Perlon	1,1
Gold	19,3	glasfaserverstärkter	
Kupfer	8,9	Polyester	1,5
Magnesium	1,7	Graphit	2,2
Platin	21,4	Hochofenschlacke	2,5...3
Quecksilber	13,6	Holz (trocken)	0,5...0,9
Silber	10,5	Kohle	1,2...1,5
Stahl	7,8	Kork	0,2...0,4
Titan	4,5	Stroh (gepreßt)	0,1...0,2
Uran	18,7	Heu (gepreßt)	0,2
Zirkon	6,5	Dung	0,7...1
Beton	1,8...2,8	Alkohol	0,8
Glas	2,5	Benzin	0,7
Granit	2,8	Schmieröl	0,9
Mauerwerk, Ziegel	1,4...1,5	Wasser	1
Sand	2,1	Eis	0,9

weise von großer Bedeutung. Ganz besonders gilt dies für den Flugzeugbau und die Raketentechnik. Hier ist man bemüht, soviel wie möglich an Gewicht einzusparen. Daher werden in der gesamten Technik Metalle mit geringer Wichte, wie Magnesium und Aluminium, sowie neue Werkstoffe, insbesondere Plaste oder Schaumglas, immer mehr verwendet (Abb. **15**/1).

2. Die Dichte. Körper gleichen Rauminhaltes, die aus verschiedenen Stoffen bestehen, haben im allgemeinen unterschiedliche Massen. Diese Eigenschaft der Körper bezeichnet man als **Dichte** (ϱ).

Abb. **15**/1. Eine Badewanne aus glasfaserverstärktem Polyester, einem Plastwerkstoff, kann von einem Mann auf einer Hand getragen werden. Bei einer Badewanne aus Metall wäre dies nicht möglich.

Die Dichte eines Stoffes ist der Quotient aus seiner Masse und seinem Rauminhalt.

$$\textbf{Dichte} = \frac{\textbf{Masse}}{\textbf{Rauminhalt}}.$$

$$\boxed{\varrho = \frac{m}{V}}$$

Die *Maßeinheit der Dichte* ist **Gramm je Kubikzentimeter** $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$ bzw. **Kilogramm je Kubikdezimeter** $\left(\frac{kg}{dm^3}\right)$. Die Maßzahlen sind auch hier wieder gleich groß.

$$1\,\frac{g}{cm^3} = 1\,\frac{kg}{dm^3}.$$

Da die Masse vom Beobachtungsort unabhängig ist, ist *die Dichte eines Stoffes an jedem Ort gleich groß.* Die Dichte wird vor allem für Massenberechnungen, für chemische Berechnungen und für die Physik der Gase benötigt.

Am 45. Breitengrad und in Meeresspiegelhöhe sind die Dichte und die Wichte eines Stoffes zahlenmäßig gleich groß. An allen anderen Orten der Erde sind die Unterschiede der Zahlenwerte so gering, daß sie praktisch vernachlässigt werden können. Im Weltall dagegen können die Unterschiede sehr groß werden. So hat auf dem Mond das Eisen die Wichte $\gamma = 1{,}3\,\frac{p}{cm^3}$, aber wie auf der Erde die Dichte $\varrho = 7{,}8\,\frac{g}{cm^3}$. Die Dichte bleibt auch die gleiche, wenn sie auf dem Jupiter bestimmt wird. Auf diesem Planeten hat die Wichte aber etwa den Wert $\gamma = 19{,}5\,\frac{p}{cm^3}$.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Eine Badewanne aus glasfaserverstärktem Polyester wiegt 21 kp. Was würde eine Badewanne aus Eisen wiegen, wenn sie die gleichen Abmessungen hat?
2. Warum ist die Dichte eines Stoffes an allen Orten gleich, aber seine Wichte nicht?

3. Der Hebel — Das Hebelgesetz

1. Der Hebel. Einen Stab, der um eine Achse drehbar ist und zum Übertragen von Kräften verwendet wird, nennt man **Hebel.** Den Teil des Hebels zwischen dem Angriffspunkt der Kraft und dem Drehpunkt bezeichnet man als *Kraftarm*, den Teil zwischen dem Drehpunkt und dem Angriffspunkt der Last als *Lastarm*. Liegen die beiden Hebelarme so, wie es die Abbildung **17**/1 zeigt, so spricht man von einem *zweiseitigen Hebel.* Bilden die beiden Hebelarme einen Winkel miteinander, der ungleich 180° ist, so bezeichnet man diesen Hebel als *Winkelhebel* (Abb. **17**/2). Liegen die beiden Hebelarme von der Drehachse aus gesehen auf der gleichen Seite, wie es bei dem in Abbildung **17**/3 wiedergegebenen Hebel der Fall ist, so spricht man von einem *einseitigen Hebel.*

Ein Hebel ist ein Stab, der um eine Achse drehbar ist und zum Übertragen von Kräften benutzt wird.

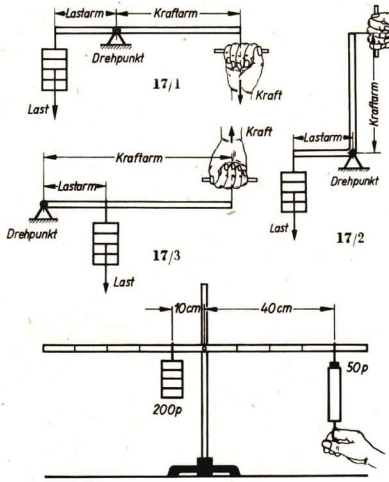


Abb. **17**/1. Zweiseitiger Hebel
Abb. **17**/2. Winkelhebel
Abb. **17**/3. Einseitiger Hebel

2. Das Hebelgesetz. An einem Stab, der in seiner Mitte gelagert ist, hängt 10 cm vom Drehpunkt entfernt eine Last von 200 p. Am anderen Hebelarm läßt man eine Kraft nach unten wirken. Mit Hilfe einer Federwaage wird die Größe der Kraft gemessen, durch die der Hebel ins Gleichgewicht gebracht wird (Abb. **17**/4). Führt man die Messungen in verschiedenen Abständen vom Drehpunkt aus, so erhält man die in der folgenden Tabelle wiedergegebenen Werte.

Abb. **17**/4. Zweiseitiger Hebel im Gleichgewicht. Die Kraft wird mit einer Federwaage gemessen.

Tabelle zur Ableitung des Hebelgesetzes

Last (F_2) p	Lastarm (b) cm	Last mal Lastarm ($F_2 \cdot b$) pcm	Kraft (F_1) p	Kraftarm (a) cm	Kraft mal Kraftarm ($F_1 \cdot a$) pcm
200	10	2000	200	10	2000
200	10	2000	125	16	2000
200	10	2000	100	20	2000
200	10	2000	50	40	2000

Die Versuchsreihe zeigt: *Die erforderliche Kraft wird um so kleiner, je länger der Kraftarm ist.* Aus der Tabelle ist weiterhin zu entnehmen, daß bei jedem Versuch *das Produkt aus Kraft und Kraftarm gleich dem Produkt aus Last und Lastarm ist.*

Führt man ähnliche Versuche mit einem einseitigen Hebel durch, so gelangt man zu dem gleichen Ergebnis (Abb. **18**/1). Sowohl für den einseitigen als auch für den zweiseitigen Hebel gilt das **Hebelgesetz.**

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Kraft und Kraftarm gleich dem Produkt aus Last und Lastarm ist.

Dafür kann man auch sagen:

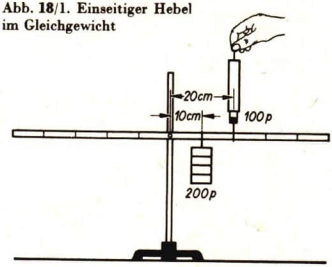
Kraft · Kraftarm = Last · Lastarm.

Bezeichnet man die Kraft mit F_1, die Last mit F_2, den Kraftarm mit a und den Lastarm mit b, so kann das Hebelgesetz durch eine Gleichung ausgedrückt werden (Abb. **18**/2).

$$\boxed{F_1 \cdot a = F_2 \cdot b}$$

Das Hebelgesetz ist ebenso wie das Trägheitsgesetz ein Naturgesetz. Es kann nicht verändert werden. Die Menschen wenden es aber an, um Kraft zu sparen. So kann man mit Hilfe eines Hebels einen schweren Stein ohne großen Kraftaufwand anheben, den man sonst kaum oder gar nicht bewegen könnte (vgl. Abb. **19**/2 und **19**/3)

Abb. **18**/1. Einseitiger Hebel im Gleichgewicht



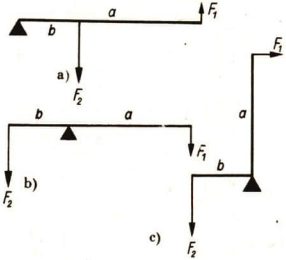


Abb. **18**/2. Verschiedene Hebel im Gleichgewicht
a) zweiseitiger Hebel
b) einseitiger Hebel
c) Winkelhebel

Sind in der Gleichung $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$ die Last und die Hebelarme bekannt, so kann die Kraft F_1 berechnet werden. Zu diesem Zweck löst man die Gleichung nach F_1 auf, indem man sie durch a dividiert:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot b}{a}.$$

Sind der Kraftarm 1,5 m und der Lastarm 0,1 m lang, so braucht man zum Heben einer Last von 300 kp eine Kraft von

$$F_1 = \frac{300 \cdot 0{,}1}{1{,}5}\ \text{kp},$$

$$F_1 = 20\ \text{kp}.$$

Ebenso kann mit Hilfe der Gleichung $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$ die Last oder einer der Hebelarme berechnet werden, wenn jeweils die anderen drei Größen bekannt sind.

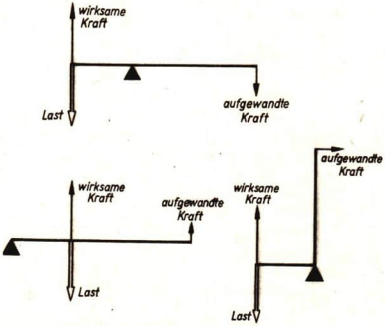


Abb. **18**/3. Hebel als kraftumformende Vorrichtung

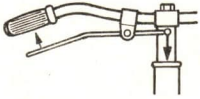


Abb. 19/1. Hebelbremse am Fahrrad

Abb. 19/2. Benutzung der Brechstange als zweiseitiger Hebel

3. Die Anwendung des Hebels als kraftsparende Einrichtung. Aus dem Hebelgesetz folgt: *Je länger der Kraftarm im Vergleich zum Lastarm ist, um so kleiner ist die Kraft, die einer Last das Gleichgewicht hält.* Da mit dem Hebel der Betrag der Kraft, der Angriffspunkt und die Richtung geändert werden können, bezeichnet man ihn als *kraftumformende Vorrichtung* (Abb. **18**/3). Wird der Hebel so angewandt, daß die Kraft kleiner ist als die Last, so ist er eine *kraftsparende Vorrichtung.*

Der Hebel wird in den verschiedensten Formen benutzt. So ist die *Handbremse* am Fahrrad ein zweiseitiger Hebel (Abb. **19**/1). Die *Brechstange* kann sowohl als zweiseitiger (Abb. **19**/2) als auch als einseitiger Hebel (Abb. **19**/3) benutzt werden. Im letzteren Falle wird sie im allgemeinen als *Hebebaum* bezeichnet. Sollen Eisenbahnwagen zum Be- bzw. Entladen etwas verschoben werden, so bedient man sich

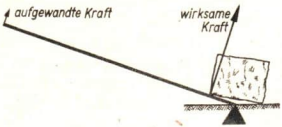


Abb. 19/3. Benutzung der Brechstange als einseitiger Hebel

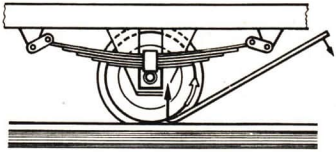
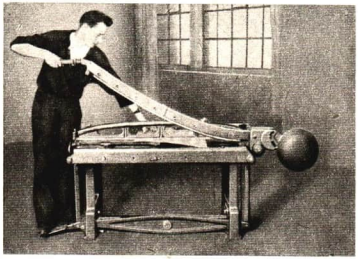


Abb. **20**/1. Zwickeisen



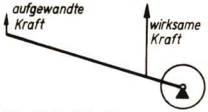


Abb. **20**/3. Schubkarre

Abb. **20**/4. Bedienungshebel der Vorderradbremse am Moped

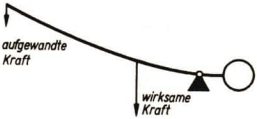
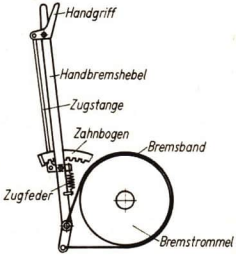


Abb. **20**/2. Papierschneidemesser

des *Zwickeisens* (Abb. **20**/1). Das *Papierschneidemesser* des Buchbinders (Abb. **20**/2) und die *Schubkarre* (Abb. **20**/3) wirken als einseitiger Hebel. Der *Bowdenzug* der Vorderradbremse am Moped wird durch einen Winkelhebel bedient (Abb. **20**/4). Mit einem Winkelhebel wird auch die *Handbremse* am Traktor und an anderen Kraftwagen entriegelt (Abb. **21**/1). Die meisten landwirtschaftlichen Maschinen sind ebenfalls mit ein- bzw. zweiseitigen Hebeln zur Bedienung ausgerüstet (Abb. **21**/2). Während bei den bisher beschriebenen Beispielen stets nur ein Hebel wirksam war, gibt es eine Reihe von Werkzeugen, die mit zwei Hebeln ausgerüstet sind. So bestehen die *Schere* und die *Beißzange* aus zwei zweiseitigen Hebeln (Abb. **21**/3). Die Wirkungsweise des *Nußknackers* beruht auf zwei einseitigen Hebeln (Abb. **21**/4).

Bei allen beschriebenen Anwendungen ist der Kraftarm größer als der Lastarm und damit die wirksame Kraft größer als die aufgewandte. Bei diesen Beispielen wird somit Kraft gespart, aber die aufgewandte Kraft muß einen größeren Weg zurücklegen als die wirksame.



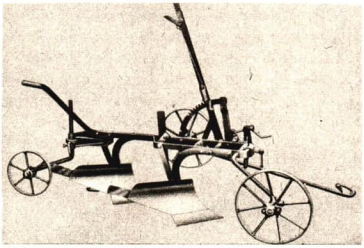
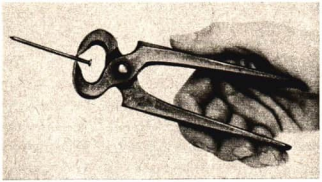
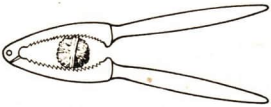


Abb. **21**/1. Handbremse an einem Traktor. Durch Betätigung des Winkelhebels wird die Sperrklinke hochgezogen

Abb. **21**/2. Schalthebel an einem Pflug





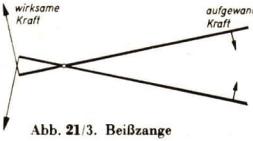


Abb. **21**/3. Beißzange

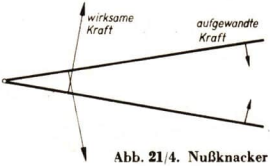


Abb. **21**/4. Nußknacker

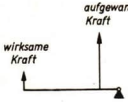


Abb. **21**/5. Wurfhebel. Der Kraftarm ist kürzer als der Lastarm.

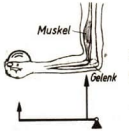


Abb. **21**/6. Der Unterarm als Wurfhebel

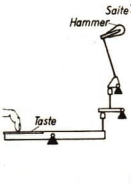


Abb. **21**/7. Hammerwerk des Klaviers

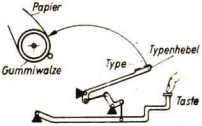


Abb. **21**/8. Typenhebel der Schreibmaschine

4. Der Wurfhebel. *Ist der Kraftarm kürzer als der Lastarm, dann ist die aufgewandte Kraft größer als die am Lastarm wirkende Kraft.* Bei der Betätigung eines solchen Hebels legt aber das Ende des langen Hebelarmes einen größeren Weg mit größerer Geschwindigkeit zurück als der Kraftarm (Abb. **21**/5). Solche Hebel bezeichnet man als *Wurfhebel* oder *Geschwindigkeitshebel*. Zu dieser Hebelart zählen die *Glieder der Menschen* und der Tiere. So ist zum Beispiel der *Unterarm* des Menschen ein Wurfhebel (Abb. **21**/6). Weitere Beispiele für solche Hebel sind das *Hammerwerk des Klaviers* (Abb. **21**/7) und der *Typenhebel der Schreibmaschine* (Abb. **21**/8).

5. Fragen und Aufgaben:

1. Zwei Kinder sitzen auf einer Wippe. Das Gewicht des einen Kindes sei G_1. Wie kann man mit Hilfe der Wippe das Gewicht G_2 des anderen Kindes angenähert bestimmen? Fertige dazu eine Skizze!
2. Nenne Hebel, die man im Haushalt und in der Industrie benutzt! Ordne sie nach ein- und zweiseitigen Hebeln!
3. Inwiefern ist der Unterarm eines Hockeyspielers mit dem Schläger zusammen ein Wurfhebel?

4. Die Hebelwaagen

1. Allgemeines über Hebelwaagen. Ein großer Teil der verschiedenen Waagenarten sind *Hebelwaagen*. Der *Waagebalken* ist meist ein zweiseitiger Hebel. Die Gewichte der auf den beiden Waagschalen liegenden Körper wirken auf die Hebelarme ein. Sind die Hebelarme der Waage gleich lang, so herrscht Gleichgewicht, wenn an den beiden Hebelarmen die gleichen Kräfte angreifen, das heißt, wenn die Körper auf

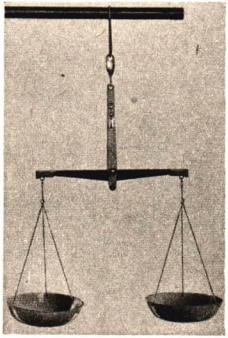


Abb. **22**/1. Schalenwaage

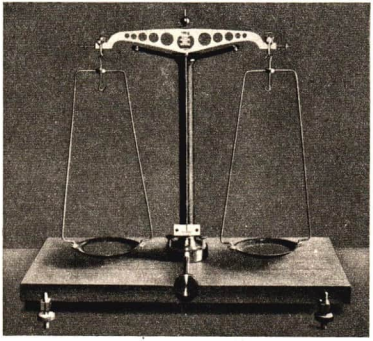


Abb. **22**/2. Präzisionswaage

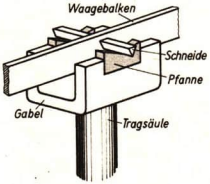


Abb. **23**/1. Schneidenlagerung eines Waagebalkens. Durch den Waagebalken ragt eine keilförmige Schneide aus Stahl. Sie ruht auf zwei stählernen Pfannen.

den beiden Waagschalen das gleiche Gewicht haben. Da Körper mit den gleichen Gewichten an ein und demselben Ort auch die gleichen Massen haben, so kann man mit einer Hebelwaage die Massen zweier Körper vergleichen.

Haben zwei Körper an ein und demselben Ort das gleiche Gewicht, so sind auch ihre Massen gleich groß. Durch den Vergleich der Gewichte zweier Körper kann man mit einer Hebelwaage auch ihre Massen vergleichen.

2. Waagen mit einem gleicharmigen Hebel als Waagebalken. Die *Schalenwaage* hat als Waagebalken einen gleicharmigen Hebel (Abb. **22**/1). Der Name dieser Waage rührt von den beiden Waagschalen her. Der Waagebalken ist in der Mitte drehbar gelagert und wird im Drehpunkt von der *Schere* getragen. Am Waagebalken ist ein Zeiger, die *Zunge*, befestigt. Sie kann zwischen den beiden Schenkeln der Schere schwingen. Ist die Waage im Gleichgewicht, so steht der Waagebalken waagerecht. Bei Gleichgewicht spielt die Zunge auf eine Marke in dem Fenster der Schere ein. Dieser Zustand tritt dann ein, wenn auf den beiden Waagschalen gleiche Massen liegen.

Auch bei der *Präzisionswaage* ist der Waagebalken ein gleicharmiger zweiseitiger Hebel (Abb. **22**/2). Der Zeiger ist nach unten gerichtet und spielt vor einer Skale. Zur Verringerung der Reibung sind der Waagebalken und die Aufhängevorrichtungen der Schalen auf *Schneiden* gelagert (Abb. **23**/1). Da man mit Präzisionswaagen im allgemeinen auf 1 mg genau wägen kann, sind diese Waagen für Laboratorien und Apotheken geeignet. Vor Benutzung muß diese Waage mit Hilfe von Stellschrauben justiert werden, damit die Säule der Waage genau lotrecht steht.

Die *oberschalige Tafelwaage* hat an Stelle der Waagschalen zwei Platten, die *Tafeln*. Der Waagebalken ist ebenfalls ein gleicharmiger Hebel, der unter den beiden Platten in einem Gehäuse angebracht ist. Mit Hilfe einer besonderen Hebelvorrichtung wird erreicht, daß die Platten stets waagerecht bleiben, auch wenn die Waage schwingt (Abb. **23**/2). Die

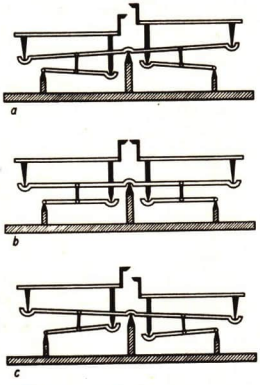


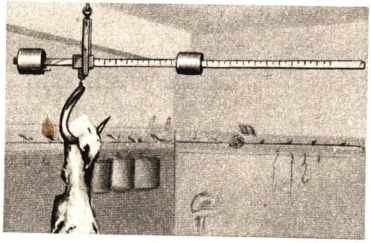
Abb. **23**/2. Hebelvorrichtung einer oberschaligen Tafelwaage (stark schematisiert)

Lage des zu wägenden Körpers und der Wägestücke auf den Tafeln hat auf das Ergebnis der Wägung keinen Einfluß.

3. Waagen mit ungleicharmigen Hebeln als Waagebalken. Der Waagebalken der *römischen Schnellwaage* ist ein ungleicharmiger Hebel (Abb. **24**/1). Die Last hängt an einem sehr kurzen Hebelarm. Als Wägestück wird ein sogenanntes *Laufgewicht* verwendet. Es wird auf dem langen Hebelarm so weit verschoben, bis die Waage im Gleichgewicht ist. Der lange Hebelarm des Waagebalkens ist mit einer Skale versehen, auf der das Ergebnis der Wägung abgelesen werden kann.

Die *Dezimalwaage* wird vorwiegend in der Landwirtschaft benutzt. Sie ist so konstruiert, daß zum Herstellen des Gleichgewichtes nur ein Zehntel der Last an Wägestücken notwendig ist. Wird auf der Dezimalwaage beispielsweise ein Sack mit 50 kg Kartoffeln gewogen, so wird das Gleichgewicht durch ein 5-kg-Stück hergestellt (Abb. **24**/2).

Die Dezimalwaage oder Brückenwaage (Abb. **24**/2 u. **24**/3) besteht aus mehreren ungleicharmigen Hebeln. Der Waagebalken *AB* ist ein un-



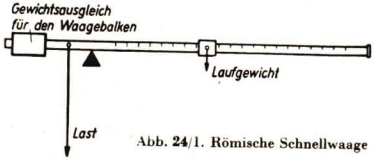


Abb. **24**/1. Römische Schnellwaage

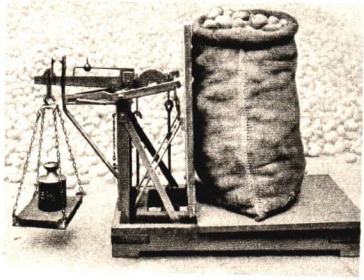


Abb. **24**/2. Wägen eines Kartoffelsackes mit einer Dezimalwaage

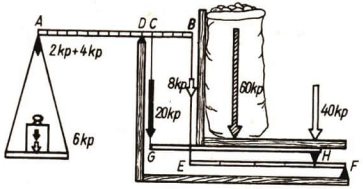


Abb. **24**/3. Schematische Zeichnung einer Dezimalwaage
AB Waagebalken, *D* Drehpunkt, *EF* einseitiger Hebel, *GH* Brücke

gleicharmiger Hebel, bei dem der Kraftarm *DA* doppelt so lang ist wie der Lastarm *DB*. Bei *C* ist er durch eine Zugstange mit der Brücke *HG*, bei *B* durch eine Zugstange mit dem einseitigen Hebel *FE* verbunden. Auf diesem ruht die Brücke im Punkte *H*. Die Abmessungen sind so gewählt, daß

$$DA : DC = 10 : 1,$$
$$DB : DC = 5 : 1 \text{ und}$$
$$FE : FH = 5 : 1 \text{ ist.}$$

Auf die Brücke stellen wir beispielsweise eine Last von 60 kp. Dann zerlegt sich die Last in zwei Teillasten, wobei die eine z. B. mit 20 kp bei *G* und damit an *C* (fetter, schwarzer Pfeil), die andere mit 40 kp bei *H* wirkt (langer, hohler Pfeil). Für die Teillast, die am Waagebalken bei *C* angreift, braucht man bei *A* den zehnten Teil der Last von 20 kp als Teilkraft, also

$$1. \text{ Teilkraft} = 2 \text{ kp},$$

weil der dazugehörige Kraftarm *DA* zehnmal länger ist als der Lastarm *DC* (kurzer, hohler Pfeil). Für die Teillast von 40 kp, die an dem einseitigen Hebel bei *H* wirkt, braucht man bei *E* den fünften Teil als Kraft, also 8 kp, weil der Kraftarm *FE* fünfmal länger ist als der Lastarm *FH*. Diese 8 kp greifen als Last bei *B* an. Da der Kraftarm *DA* doppelt so lang ist wie der Lastarm *DB*, braucht man in *A* die Hälfte der Last, also

$$2. \text{ Teilkraft} = 4 \text{ kp}.$$

Die beiden Teilkräfte betragen

$$2 \text{ kp} + 4 \text{ kp} = 6 \text{ kp}.$$

Das ist aber der zehnte Teil der Gesamtlast von 60 kp. Das Gewichtstück auf der Wiegeschale entspricht dem zehnten Teil der Last (daher „Dezimal"-waage).
Das Ergebnis ist unabhängig davon, an welcher Stelle die Last auf der Brücke liegt und in welche Teillasten sich die Gesamtlast zerlegt.

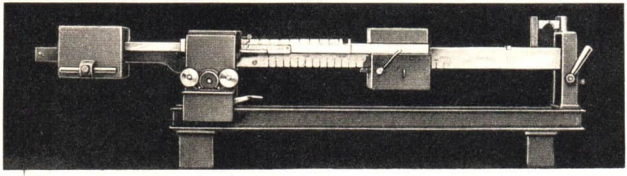


Abb. **25**/1. Waagebalken einer Zentesimalwaage. Die Grobeinstellung erfolgt durch Verschieben eines großen Gewichtsstückes, die Feineinstellung durch Verstellen von Stahlstäben.

Ähnlich wie die Dezimalwaage wirkt auch die *Zentesimalwaage*, die zum Wägen von Fahrzeugen benutzt wird. Bei ihr sind die Hebelarme so geteilt, daß beim Wägen nur ein Hundertstel der Last benötigt wird (Abb. **25**/1). Bei diesen Waagen wird an

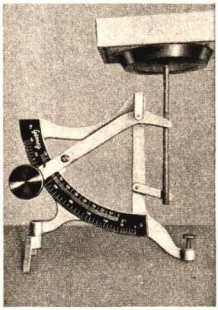
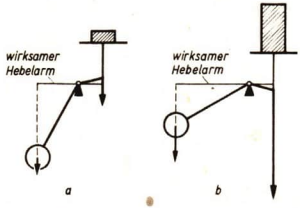


Abb. **26**/1. Briefwaage

Abb. **26**/2. Wirkungsweise der Briefwaage
a) Bei kleiner Belastung ist der wirksame Hebelarm kurz,
b) bei großer Belastung ist der wirksame Hebelarm lang.



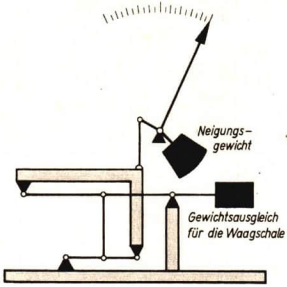
Stelle von Wägestücken wie bei der römischen Schnellwaage ein Laufgewicht verwendet. Aus diesem Grunde werden die Zentesimalwaagen auch als *Laufgewichtswaagen* bezeichnet.

4. Die Neigungswaagen. Bei den *Neigungswaagen* wird das Gleichgewicht dadurch hergestellt, daß die Neigung eines belasteten Hebels verändert wird.

Bei der *Briefwaage* wirkt die Last auf einen ungleicharmigen Winkelhebel (Abb. **26**/1). An dem langen Hebelarm ist ein scheibenförmiges Massenstück befestigt.

Abb. **26**/3. Einschalige Zeiger-Schnellwaage

Abb. **26**/4. Schematische Zeichnung einer Zeiger-Schnellwaage



Je nach der Größe der Last auf der Waagschale wird die Neigung des langen Hebelarmes verändert und dabei das Massenstück angehoben. Da es hierbei auch nach der Seite bewegt wird, wirkt es ähnlich wie das Laufgewicht an der römischen Schnellwaage (Abb. **24**/1). Das Massenstück wird so weit angehoben. bis Gleichgewicht herrscht. Die Masse des gewogenen Körpers wird an einer Skale abgelesen.

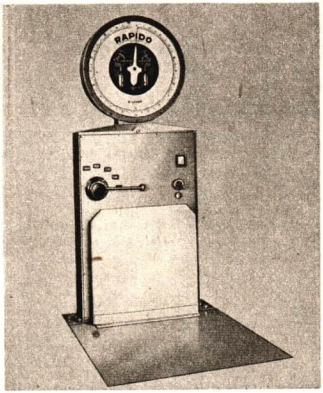


Abb. **27**/1. Waage in einer Güterabfertigung der Deutschen Reichsbahn

Auch die viel verwendeten *Zeiger-Schnellwaagen* sind Neigungswaagen (Abb. **26**/3). Ihre Wirkungsweise ist aus der Abbildung **26**/4 zu ersehen. Am Waagebalken ist ein Massenstück angebracht, das dem Gewicht der unbelasteten Waagschale das Gleichgewicht hält. Wird eine Last auf die Waagschale gelegt, so wird das Neigungsgewicht angehoben. Seine Wirkungsweise ist die gleiche wie die des Massenstückes der Briefwaage. Die Masse des zu wägenden Körpers wird von einem Zeiger auf einer Skale angezeigt.

Ähnlich wie die Zeiger-Schnellwaage wirken auch die Waagen, die in den Güterabfertigungen der Reichsbahn, in den Paketannahmestellen der Deutschen Post und bei unseren Handelsorganen verwendet werden (Abb. **27**/1).

Neigungswaagen werden mit Meßbereichen von 0,5 kg bis 10000 kg gebaut. Die *Meßgenauigkeit* für Waagen bis 0,5 kg beträgt 0,5 g. Bei einem Meßbereich von 10000 kg hat die Meßgenauigkeit den Wert 10 kg. Allgemein beträgt bei Neigungswaagen die Meßgenauigkeit $\frac{1}{1000}$ der jeweiligen Masse. Mit Hilfe von Laufgewichtswaagen können Massen bis zu 300000 kg gemessen werden. Sehr kleine Massen werden mittels *Analysenwaagen* bestimmt. Bei einem Meßbereich von 10 mg können noch Körper mit einer Masse von 0,1 mg gewogen werden.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne Waagen mit ungleicharmigen Hebeln und beschreibe ihre Wirkungsweise!
2. Warum ist bei einer Dezimalwaage die Aufteilung der Last auf die an verschiedenen Hebelarmen wirkenden Teile für das Ergebnis der Wägung ohne Bedeutung?
3. Gib die Vorteile der Zeiger-Schnellwaagen an!

5. Rollen und Flaschenzüge

1. Mittel zur Kraftübertragung. Zur Kraftübertragung auf größere Entfernungen benutzt man *Seile* aus Hanf, Dederon u. a., *Drahtseile* oder einzelne *Drähte*, *Ketten* und *Riemen*. Da diese Übertragungsmittel biegsam sind, können mit ihnen nur Zugkräfte übertragen werden.

Seile, Drähte, Ketten und Riemen werden zur Übertragung von Zugkräften verwendet.

2. Die feste Rolle. Eine *Rolle*, die mittels einer festen Achse drehbar gelagert ist, nennt man eine **feste Rolle.** Mit ihr kann die Richtung einer Zugkraft geändert werden. Sie wirkt entweder wie ein zweiseitiger gleicharmiger Hebel (Abb. **28**/1) oder wie ein gleicharmiger

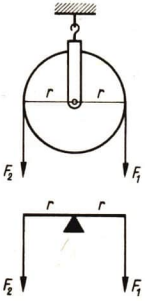


Abb. **28**/1. Feste Rolle zur Umkehrung der Kraftrichtung. Sie wirkt wie ein zweiseitiger gleicharmiger Hebel.

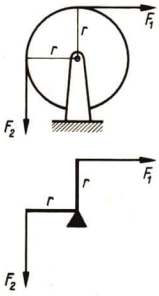


Abb. **28**/2. Feste Rolle zur Änderung der Kraftrichtung um 90°. Sie wirkt wie ein gleicharmiger Winkelhebel.

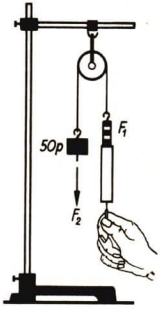


Abb. **28**/3. Versuchsanordnung zur Bestätigung der Gleichgewichtsbedingungen an einer festen Rolle

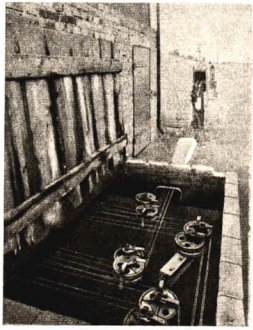


Abb. **28**/4. Umlenkrollen im Rollenkasten eines mechanischen Stellwerkes der Deutschen Reichsbahn

Abb. **28**/5. Sackaufzug an einem Getreidespeicher

Winkelhebel (Abb. **28**/2). Wie jeder gleicharmige Hebel ist auch die feste Rolle im Gleichgewicht, wenn die Kraft F_1 gleich der Last F_2 ist.

Mit einer festen Rolle kann die Richtung einer Zugkraft geändert werden. An der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist.

$$\boxed{F_1 = F_2}$$

Die Richtigkeit dieser Gleichgewichtsbedingung wird durch den in Abbildung **28**/3 wiedergegebenen Versuch bestätigt.

Die feste Rolle wird überall dort angewandt, wo die Richtung einer Zugkraft geändert werden soll. So werden zum Beispiel bei der Eisenbahn die Drahtseile, die zum Stellen von Signalen und Weichen dienen, über feste Rollen geführt (Abb. **28**/4). Außerdem benutzt man die feste Rolle zum Erleichtern der Arbeit. So ist es bekanntlich leichter, an einem Seil mit großer Kraft nach unten als nach oben zu ziehen. Die feste Rolle wird zum Heben von Lasten verwendet. Man befestigt beispielsweise an einem vorstehenden Balken über der Luke eines Speicherbodens eine feste Rolle. An einem Seil, das über diese Rolle geführt ist, kann man Getreidesäcke hochziehen und durch die Luke auf den Schüttboden bringen (Abb. **28**/5).

3. Die lose Rolle. Die **lose Rolle** hängt in einer Seilschleife. Ihr Drehpunkt kann durch Ziehen am Seil gehoben werden. Die nach unten hängende Schere trägt die Last. Befestigt man die beiden Seilenden an zwei Federwaagen, so zeigen sie den gleichen Wert an. Daraus folgt, daß *die Last gleichmäßig auf beide Seilenden verteilt ist* (Abb. **29**/1), und zwar wirkt auf jedes Seilende nur die halbe Last. Befestigt man daher eines der beiden Seilenden an einem Balken oder einem Haken, so braucht man an dem freien Ende nur die Hälfte der Last als Kraft aufzuwenden.

Befindet sich die lose Rolle im Gleichgewicht, so kann man sie mit einem einseitigen Hebel vergleichen, dessen Kraftarm doppelt so lang wie sein Lastarm ist (Abb. **29**/2). Die Kraft ist deshalb nur halb so groß wie die Last.

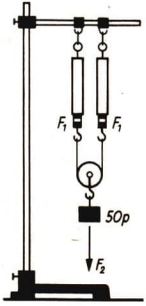


Abb. **29**/1. Zwischen zwei Federwaagen hängende lose Rolle. Jede Federwaage nimmt die Hälfte der Last auf.

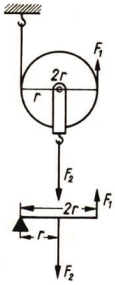


Abb. **29**/2. Lose Rolle im Gleichgewicht. Ihre Wirkungsweise gleicht der eines einseitigen Hebels, dessen Kraftarm doppelt so lang wie sein Lastarm ist.

An einer losen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die am freien Seilende angreifende Kraft halb so groß wie die Last ist.

$$\boxed{F_1 = \frac{F_2}{2}}.$$

Abb. 30/1

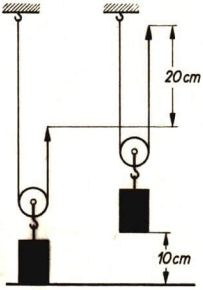
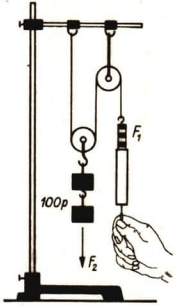


Abb. 30/2



Da auch die lose Rolle ein Gewicht hat, das vom Seil getragen wird, muß bei genauen Berechnungen das Gewicht G der Rolle zur Last F_2 addiert werden. Die Gleichung lautet dann

$$F_1 = \frac{F_2 + G}{2}.$$

Durch eine lose Rolle wird Kraft gespart. Soll eine Last mit Hilfe einer losen Rolle um eine bestimmte Strecke gehoben werden, so muß das freie Ende des Seiles um den doppelten Betrag höher gezogen werden (Abb. **30**/1). *Mit einer Kraftersparnis ist somit eine Vergrößerung des Weges verbunden.* Soll die Last um 10 cm gehoben werden, so muß das freie Seilende um 20 cm nach oben gezogen werden.

Die lose Rolle wird häufig in Verbindung mit einer festen Rolle benutzt (Abb. **30**/2). Durch die feste Rolle wird die Kraft nicht vermindert. Man erreicht aber durch die Änderung der Kraftrichtung eine Erleichterung der Arbeit.

4. Der Flaschenzug. Schwere Lasten werden meist mit **Flaschenzügen** gehoben. Diese bestehen aus losen und festen Rollen, die durch ein Seil oder eine Kette miteinander verbunden sind. Die in Abbildung **30**/2 wiedergegebene Versuchsanordnung ist bereits ein Modell der einfachsten Form eines Flaschenzuges. Seine Wirkung kann dadurch erhöht werden, daß man die Anzahl der Rollen vergrößert. Die losen und die festen Rollen werden in je einem *Block*, in der *Flasche*, vereinigt. Das in Abbildung **30**/3 wiedergegebene Flaschenzugmodell besteht aus zwei festen und zwei losen Rollen. Der besseren Übersichtlichkeit wegen sind im Modell die Rollen in den beiden Flaschen übereinander angeordnet. Die lose Flasche und mit ihr die Last hängen an vier Seilstücken. Somit nimmt

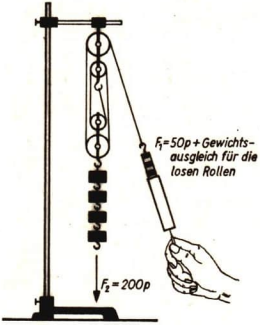


Abb. **30**/3. Modell eines Flaschenzuges. Er besteht aus zwei festen und zwei losen Rollen, $F_1 = \frac{F_2}{4}$.

jedes Seil ein Viertel der Last auf. Am freien Seilende muß daher eine Kraft aufgewendet werden, die gleich einem Viertel der Last ist.

$$F_1 = \frac{F_2}{4}.$$

Besteht der Flaschenzug aus drei festen und drei losen Rollen, so hängt die Last an sechs Seilstücken. Die Kraft ist dann nur ein Sechstel der Last.

$$F_1 = \frac{F_2}{6}.$$

Hat der Flaschenzug n Seilstücke, so ist

$$\boxed{F_1 = \frac{F_2}{n}}.$$

Mit Hilfe dieser Gleichung kann jedoch die Kraft nur annähernd ermittelt werden, da das Gewicht (G) der losen Flasche und der Seilstücke nicht berücksichtigt wird. Eigentlich müßte die Gleichung lauten:

$$F_1 = \frac{F_2 + G}{n}.$$

Da aber im allgemeinen die zu hebende Last wesentlich größer ist als das Gewicht der losen Flasche und der Seilstücke, so genügt meist die Gleichung

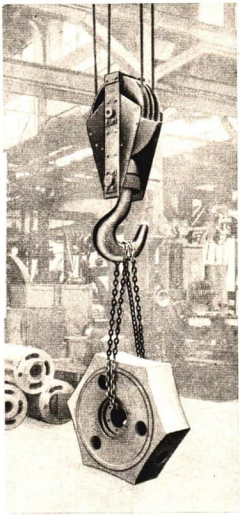
$$F_1 = \frac{F_2}{n}.$$

Flaschenzüge dienen im allgemeinen dazu, mit geringem Kraftaufwand große Lasten zu heben. Sie bestehen aus losen und festen Rollen, die durch ein Seil oder eine Kette miteinander verbunden sind. An einem Flaschenzug herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich dem Quotienten aus der Last und der Anzahl der Seilstücke zwischen den Rollen ist.

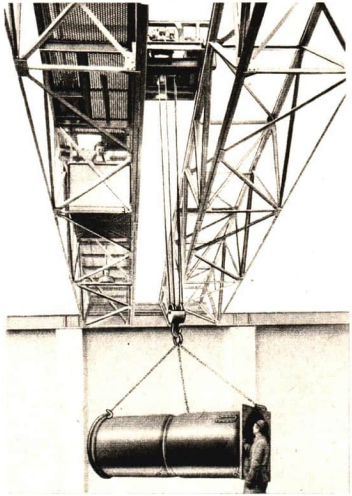
Bei der technischen Ausführung des Flaschenzuges liegen die Rollen nicht wie in dem abgebildeten Modell übereinander, sondern nebeneinander (Abb. **32**/1). Die Wirkungsweise dieser Flaschenzüge ist jedoch die gleiche wie die des Modells.

Flaschenzüge werden in der Technik vielseitig verwendet. Hochspannungsleitungen, Telephonleitungen und Fahrdrähte der elektrischen Bahnen werden beim Verlegen mit Flaschenzügen gespannt (Abb. **32**/2). Die Fahrdrähte dehnen sich wie auch alle anderen Körper beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen zusammen. Damit sie im Sommer nicht durchhängen und im Winter nicht reißen, befestigt man ihre Enden häufig an einfachen Flaschenzügen (Abb. **32**/3). Die Drähte sind dann im Sommer wie im Winter gleich straff gespannt.

In Industriebetrieben werden mit Hilfe von Flaschenzügen schwere Werkstücke verladen oder auf Drehmaschinen, Fräsmaschinen usw. gehoben. Die Flaschenzüge sind dann meist an *Laufkatzen* aufgehängt und können auch nach den Seiten bewegt werden. In großen Maschinenhallen werden *Laufkräne* verwendet, mit denen große Maschinenteile transportiert werden können (Abb. **32**/4). Solche Laufkräne werden auch in Kraftwerken bei der Montage und bei Reparaturen von Turbinen und



2



4

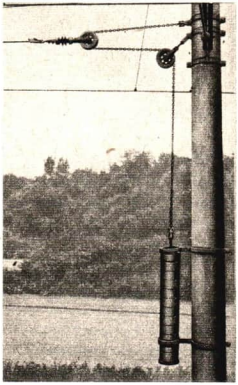


Abb. **32**/1. Unterer Block eines großen Flaschenzuges mit Traghaken und Last
Abb. **32**/2. Spannen des Fahrdrahtes einer Straßenbahn. Die beiden Arbeiter stehen auf der Plattform eines Turmwagens. Von den sechs Verbindungsseilen werden drei durch die davorliegenden verdeckt.
Abb. **32**/3. Einfacher Flaschenzug als Halte- und Spannvorrichtung
Abb. **32**/4. Laufkran beim Transport eines Kesselgehäuses. Tragfähigkeit 5000 kp

Abb. **33**/1. Turmdrehkran

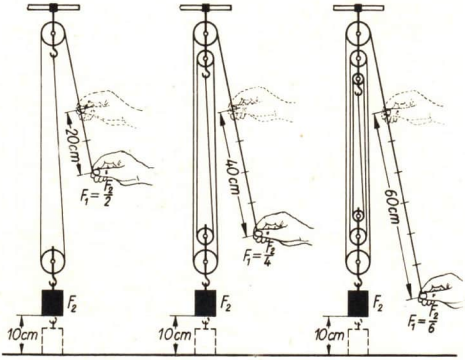


Abb. **33**/2 Vergleich der Wege von Last und Kraft bei verschiedenen Flaschenzugmodellen

Generatoren verwendet. Auch an den Auslegern von *Kränen* sind meist Flaschenzüge befestigt, mit denen die Last gehoben wird (Abb. **33**/1).

5. Die Goldene Regel der Mechanik. Wie bei der losen Rolle, ist auch bei den Flaschenzügen *die Kraftersparnis mit einer Verlängerung des Weges der Kraft verbunden.* Ein Versuch mit verschiedenen Flaschenzugmodellen zeigt, daß der Weg der Kraft um so länger ist, je weniger Kraft man zum Heben der gleichen Last braucht (Abb. **33**/2). Diese Tatsache heißt die **Goldene Regel der Mechanik.**

Was man an Kraft spart, muß man an Weg zusetzen.

Die Goldene Regel der Mechanik ist ein Naturgesetz und kann daher nicht verändert werden. Sie gilt nicht nur für Rollen- und Flaschenzüge, sondern auch für alle anderen kraftsparenden Vorrichtungen, wie Hebel, Wellrad, schiefe Ebene, Keil und Schraube.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Wozu dient das Seil bei festen Rollen, losen Rollen und Flaschenzügen?
2. Erkläre die unterschiedliche Wirkungsweise einer festen und einer losen Rolle!
3. Nenne Anwendungen von Flaschenzügen in der Technik!

6. Wellrad; Riemen-, Ketten- und Zahntrieb

1. Achse und Welle. Die Rollen der Flaschenzüge sind auf *Achsen* drehbar gelagert. Die Achsen stehen dabei fest (Abb. **34**/1). Ebenso sind die Räder eines Fahrrades, eines Handwagens und eines Ackerwagens auf Achsen gelagert.

Wellen sind stets fest mit einem Rad oder einer Kurbel verbunden (Abbildungen **34**/2 und **35**/1). Sie drehen sich mit und dienen zur *Übertragung von Kräften.* Die beiden Pedalarme des Fahrrades und das Kettenrad sind durch eine Welle

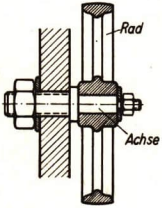


Abb. **34**/1. Lagerung eines Rades auf einer Achse. Die Achse steht fest und dreht sich nicht mit.

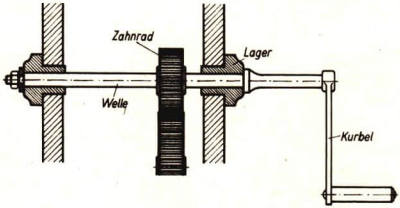


Abb. **34**/2. Welle mit Kurbel und Zahnrad. Kurbel und Zahnrad sind fest mit der Welle verbunden. Die Kraft wird von der Kurbel durch die Welle auf das Zahnrad übertragen.

miteinander verbunden. Die Kraft eines Elektromotors wird vom Anker über eine Welle auf die Riemenscheibe übertragen.

Achsen werden zur Lagerung drehbarer Maschinenteile verwendet. Wellen sind fest mit Rädern oder Kurbeln verbunden. Sie drehen sich mit und dienen zur Übertragung von Kräften.

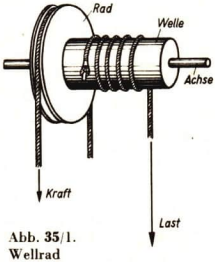


Abb. **35**/1.
Wellrad

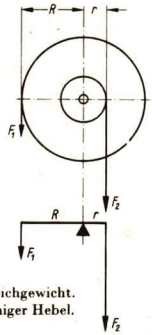


Abb. **35**/2. Wellrad im Gleichgewicht. Es wirkt wie ein ungleicharmiger Hebel.

2. Das Wellrad. Die feste Verbindung eines Rades mit einer Welle nennt man ein **Wellrad** (Abb. **35**/1). Es wird in verschiedenen Formen zur Übertragung von Kräften verwendet und ist häufig eine *kraftsparende Einrichtung*. Im Gleichgewichtszustand kann die Wirkungsweise eines Wellrades mit der eines ungleicharmigen Hebels verglichen werden (Abb. **35**/2). Die Hebelarme sind der Radius des Rades (R) und der Radius der Welle (r). Auf Grund des Hebelgesetzes gilt:

$$\boxed{F_1 \cdot R = F_2 \cdot r}\ .$$

Das Wellrad ist die feste Verbindung eines Rades mit einer Welle. Am Wellrad herrscht Gleichgewicht, wenn das Produkt aus der Kraft und dem Radius des Rades gleich dem Produkt aus der Last und dem Radius der Welle ist.

Wellräder werden häufig zum Antrieb von Maschinen verwendet. So zeigt die Abbildung **35**/3 die *Riemenscheibe* an einem großen Kompressor. Da der Radius der Riemenscheibe sehr viel größer ist als der der Welle, wird die Antriebskraft um ein Vielfaches vergrößert auf die Welle übertragen.

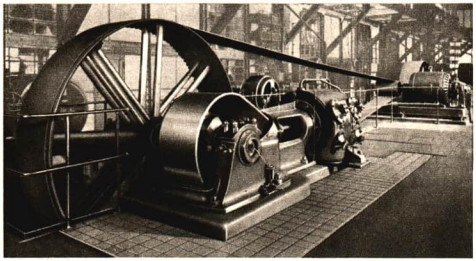


Abb. **35**/3
Riemenscheibe an einem großen Kompressor

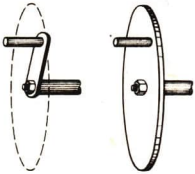


Abb. **36**/1. Vergleich von Kurbel und Wellrad

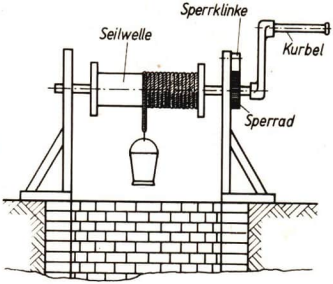


Abb. **36**/2. Einfache Seilwinde als Hebevorrichtung über einem offenen Brunnen

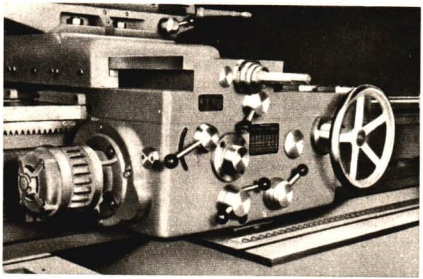
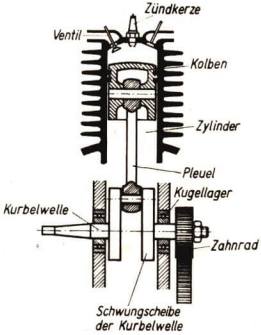


Abb. **36**/3. Support einer Drehmaschine. Durch Betätigung der Kurbeln können die Spindeln ein- bzw. ausgeschaltet werden.

Abb. **36**/4. Kurbelwelle eines Viertaktmotors. Die Hin- und Herbewegung des Kolbens wird durch das Pleuel auf die Kurbelwelle übertragen und in eine Drehbewegung verwandelt.



3. Die Kurbel. Statt eines Rades kann zum Antrieb einer Welle auch eine *Kurbel* benutzt werden. Man kann sich die Kurbel aus einem Wellrad entstanden denken (Abb. **36**/1). Sie wirkt ebenso wie ein Wellrad.

Kurbeln verwendet man beispielsweise an verschiedenen Küchenmaschinen, wie am *Fleischwolf*, an der *Brotschneidemaschine* und an der *Kaffeemühle*. Jeder *Pedalarm* des Fahrrades ist eine Kurbel. Auch zum *Antrieb von Seilwinden* werden Kurbeln verwendet (Abb. **36**/2). Am *Support der Drehmaschinen* werden die Spindeln durch kleine Kurbeln betätigt (Abb. **36**/3). Bei Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren wird die Kraft des

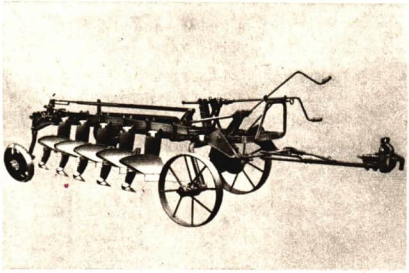


Abb. **37**/1. Kurbel an einem Fünfscharpflug. Durch ihre Betätigung können die Pflugschare tiefer oder höher gestellt werden.

Dampfes bzw. der Verbrennungsgase über den Kolben, die Pleuelstange und eine Kurbel auf eine Welle, die *Kurbelwelle*, übertragen (Abb. **36**/4). Auch an landwirtschaftlichen Maschinen werden vielfach Kurbeln verwendet (Abb. **37**/1).

4. Riementrieb. Viele Maschinen werden vom Motor aus über einen Riemen angetrieben. Diese Art der Kraftübertragung findet man besonders bei landwirtschaftlichen Maschinen. Sie wird als **Riementrieb** bezeichnet. Auf die Welle des Antriebsmotors ist eine *Riemenscheibe* aufgeschoben und durch einen Keil fest mit ihr verbunden. Mit Hilfe des *Treibriemens* wird die Drehung der Riemenscheibe des Motors auf die Riemenscheibe der Maschine, zum Beispiel einer Dreschmaschine, übertragen (Abb. **37**/2).

Sind beide Riemenscheiben gleich groß, so drehen sie sich gleich schnell. Haben sie jedoch eine unterschiedliche Größe, dann sind auch ihre Drehzahlen verschieden.

Unter der Drehzahl versteht man die Anzahl der Umdrehungen je Minute.

Bei einer Umdrehung der treibenden Riemenscheibe wird der Treibriemen um ein Stück weiterbewegt, das gleich dem Umfang der treibenden Scheibe ist. Ist der Durchmesser der angetriebenen Scheibe doppelt so groß wie der der treibenden, dann hat die angetriebene Scheibe auch den doppelten Umfang. Damit sie eine ganze Umdrehung vollführt, muß die treibende Scheibe zwei volle Umdrehungen ausführen (Abb. **37**/3). Die Drehzahl der größeren Scheibe ist dann halb so groß

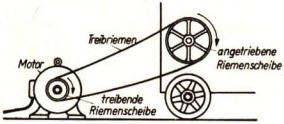


Abb. **37**/2. Riementrieb

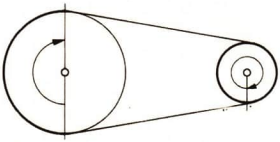


Abb. **37**/3. Riementrieb mit Riemenscheiben verschiedener Größe. Der Durchmesser der getriebenen Scheibe ist doppelt so groß wie der Durchmesser der treibenden. Soll die große Scheibe eine Umdrehung vollführen, muß die kleine zwei Umdrehungen ausführen.

wie die der kleineren. Bei einem solchen Riementrieb wird also die Drehzahl vermindert. Ist jedoch der Durchmesser und damit der Umfang der getriebenen Scheibe kleiner als der der treibenden, so wird die Drehzahl erhöht.

Ist beim Riementrieb der Umfang der getriebenen Riemenscheibe größer als der der treibenden, so wird die Drehzahl vermindert. Ist der Umfang der getriebenen Scheibe kleiner als der der treibenden, so wird die Drehzahl vergrößert.

Den Quotienten aus der Drehzahl n_1 der treibenden Scheibe und der Drehzahl n_2 der getriebenen Scheibe bezeichnet man als das **Übersetzungsverhältnis** i:

$$\boxed{i = \frac{n_1}{n_2}}$$

Das Übersetzungsverhältnis kann auch aus den Umfängen der Riemenscheiben berechnet werden. Da der kleineren Drehzahl der größere Umfang entspricht und umgekehrt, gilt die Gleichung

$$\boxed{i = \frac{U_2}{U_1}}$$

Sind das Übersetzungsverhältnis und die Drehzahl der treibenden Scheibe bekannt, so kann die Drehzahl der getriebenen Scheibe berechnet werden. Man dividiert dann die Drehzahl der treibenden Scheibe durch das Übersetzungsverhältnis:

$$n_2 = \frac{n_1}{i}.$$

Beispiel:

Hat die treibende Riemenscheibe einen Umfang von $U_1 = 30$ cm, die getriebene einen Umfang von $U_2 = 120$ cm, so ist das Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{U_2}{U_1} = \frac{120}{30} = 4\,.$$

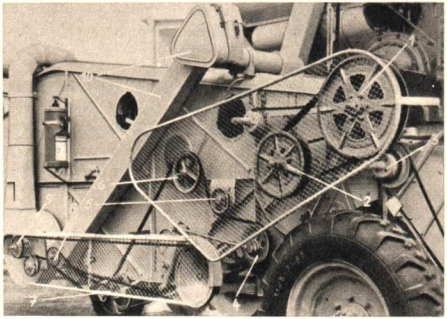
Ist die Drehzahl der treibenden Scheibe $n_1 = 300 \frac{\text{U}}{\text{min}}$, so hat die getriebene Scheibe die Drehzahl

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{300}{4} \frac{\text{U}}{\text{min}} = 75 \frac{\text{U}}{\text{min}}\,.$$

In der Industrie wendet man den Riementrieb nur noch selten an. Dort ist der Zahntrieb meist vorteilhafter. In der Landwirtschaft ist er jedoch für verschiedene Maschinen besser geeignet als der Zahntrieb. Wird beispielsweise eine Dreschmaschine durch zu starkes Einlegen kurzzeitig überbelastet, so kann der Riemen rutschen, ohne daß der Motor zu stark abgebremst wird, was zu Schäden führen würde. Man bezeichnet diesen Vorgang als *Schlupf*.

An landwirtschaftlichen Maschinen sind häufig mehrere Riementriebe vorhanden. So wird beim *Mähdrescher* die Kraft vom Motor auf die einzelnen Teile der Maschine mit Treibriemen übertragen. Durch die Verwendung von Riemenscheiben verschiedener Größen werden die Drehzahlen vergrößert oder vermindert (Abb. **39**/1).

Abb. **39**/1.
Kraftübertragung beim Mähdrescher
1 Riemenscheibe des Motorvorgeleges
2 Riemenscheibe der Trommelwelle
3 Schräger Kettenförderer und Messerantrieb
4 Kurbelantrieb für die Siebe
5 Spannrolle
6 Schüttlerkurbelwelle
7 Körnerschnecke
8 Ährenschnecke
9 Streugebläse
10 Ährenelevator



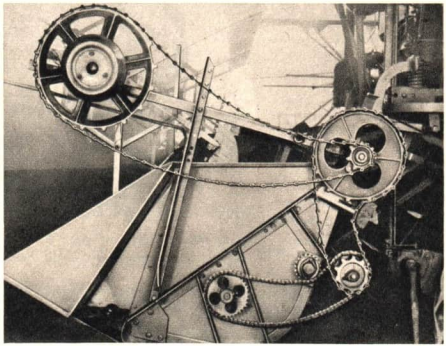


Abb. **39**/2
Frontschneidwerk eines Mähdreschers

5. Kettentrieb. Ähnlich dem Riementrieb wirkt der **Kettentrieb.** Hierzu verwendet man statt der Riemenscheiben *Kettenräder* und statt des Treibriemens eine *endlose Kette.* Im Gegensatz zum Riementrieb hat der Kettentrieb keinen Schlupf. Das bekannteste Beispiel für den Kettentrieb ist die Übertragung der Kraft am Fahrrad. Sie erfolgt mit Hilfe der Fahrradkette von den Tretkurbeln über das Kettenrad zum Hinterrad (vgl. Abb. **62**/1). Auch am Mähdrescher werden Kettentriebe verwendet (Abb. **39**/2). Eine besondere Art des Kettentriebes ist die *Antriebsvorrichtung des Raupenschleppers.* Bei ihm werden zwei breite Gliederketten zum Antrieb benutzt (Abb. **40**/1). Durch die breiten Auflageflächen sinkt er in lockerem

Boden nicht so tief ein wie ein Radschlepper. Sein Einsatz lohnt jedoch nur auf großen Ackerflächen; er kann also nur in der sozialistischen Landwirtschaft voll genutzt werden.

6. Der Druck. Bei Schleppern, die mit Raupenketten versehen sind (Abb. **40**/1 und **40**/2), verteilt sich das Gewicht auf eine große Fläche. Sie sinken infolgedessen weniger tief ein als ein gleich schwerer Radschlepper. Von den Schleppern wird infolge ihres Gewichts auf den Erdboden ein **Druck** ausgeübt. Dieser Druck ist von der Kraft, mit der auf die Unterlage gedrückt wird, der **Druckkraft,** und der Größe der gedrückten Fläche abhängig.

Je größer die Druckkraft ist, desto größer ist auch der Druck. Die Druckkraft F und der Druck p stehen im geraden Verhältnis:

$$p \sim F.$$

Je größer andererseits die gedrückte Fläche ist, desto kleiner ist der Druck. Die Fläche A und der Druck p stehen im umgekehrten Verhältnis:

$$p \sim \frac{1}{A}.$$

Auf Grund dieser Ergebnisse wurde festgelegt:

Der Druck ist der Quotient aus der Druckkraft und der gedrückten Fläche.

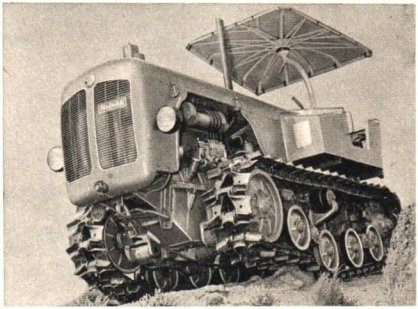


Abb. **40**/1. Raupenschlepper. Er ist besonders als Zugmaschine für die Landwirtschaft und die Forstwirtschaft geeignet.

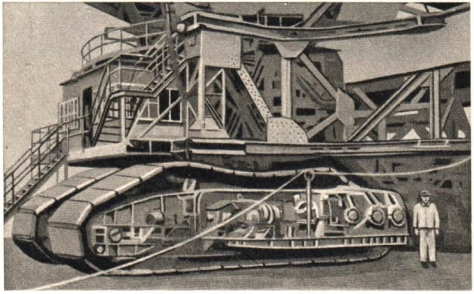


Abb. **40**/2. Fahrgestell eines Schaufelradbaggers. Der Bagger ruht auf den Raupenketten, die von Elektromotoren angetrieben werden. Im Vordergrund ist das Kabel zu sehen, das den Bagger mit Strom versorgt.

Kürzer kann man sagen:

$$\text{Druck} = \frac{\text{Druckkraft}}{\text{Fläche}},$$

$$\boxed{p = \frac{F}{A}}$$

Die *Maßeinheit des Druckes* wird von der Krafteinheit und der Flächeneinheit abgeleitet. Im allgemeinen benutzt man als Druckeinheit das **Kilopond je Quadratzentimeter** $\left(\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}\right)$. Da diese Einheit etwa dem atmosphärischen Luftdruck entspricht, nennt man sie auch **technische Atmosphäre** (at).

$$1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}.$$

In der Landwirtschaft werden eisenbereifte Ackerwagen immer mehr durch gummibereifte Ackerwagen ersetzt. Bei diesen haben die Räder breitere Auflageflächen. Sie sinken bei gleicher Belastung nicht so tief in den Boden ein wie Eisenräder, denn der Druck ist infolge der größeren Fläche geringer. An den Treibrädern von Traktoren und Mähbindern befestigt man oftmals Gitterräder (Abb. **41**/1). Auch durch sie wird der Druck verringert. Infolgedessen können sie auch auf weichem Boden eingesetzt werden.

Abb. **41**/1. Radschlepper „Pionier" mit Gitterrädern

In Werkhallen und Lagerräumen muß der zulässige Druck auf den Fußboden beachtet werden. Beim Aufstellen von schweren Maschinen oder anderen Lasten darf dieser Druck nicht überschritten werden. Man gibt ihn hier oft in $\frac{\text{kp}}{\text{m}^2}$ an (Abb. **41**/2).

$$1 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ kp}}{10\,000 \text{ cm}^2} = \frac{1}{10\,000} \text{ at}.$$

Abb. **41**/2. Schild in einem Werkraum, auf dem der zulässige Druck auf den Fußboden angegeben wird.

7. Der Zahntrieb. Eine der wichtigsten Arten der Kraftübertragung in der Industrie ist der **Zahntrieb.** Bei ihm gibt es keine Übertragungsmittel, wie Seile, Riemen und Ketten. Es werden *Zahnräder* verwendet, deren Zähne ineinandergreifen (Abb. **42**/1).

Auch beim Zahntrieb kann das Übersetzungsverhältnis wie beim Riementrieb nach der Gleichung

$$i = \frac{U_2}{U_1}$$

berechnet werden. Meist ist es jedoch einfacher, die Anzahl der Zähne für die Berechnung des Übersetzungsverhältnisses zu verwenden. Bezeichnet man die Anzahl der Zähne des treibenden Rades mit Z_1 und die des getriebenen Rades mit Z_2, so ist das Übersetzungsverhältnis:

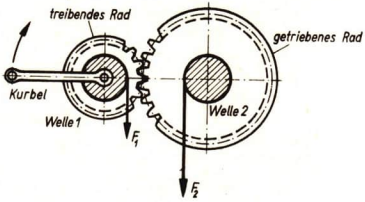


Abb. **42**/1. Schema einer Zahnradübertragung. Das auf der Kurbelwelle sitzende Zahnrad greift in ein größeres Zahnrad ein, das ebenfalls mit einer Welle fest verbunden ist.

$$\boxed{i = \frac{Z_2}{Z_1}}$$

Das Übersetzungsverhältnis zweier Zahnräder ist der Quotient aus der Anzahl der Zähne des getriebenen Rades und der Anzahl der Zähne des treibenden Rades.

Ist F_1 die treibende Kraft und F_2 die übertragene Kraft, so ist

$$\boxed{F_2 = i \cdot F_1}$$

Auch für das Wellrad, den Riementrieb, den Kettentrieb und den Zahntrieb gilt die Goldene Regel der Mechanik. Für den Zahntrieb bedeutet das:

Wird durch eine Zahnradübertragung Kraft gespart, so wird dabei die Drehzahl vermindert.

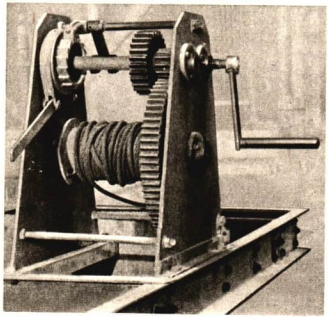


Abb. **42**/2. Seilwinde mit Zahntrieb

Die Möglichkeit, mit Hilfe des Zahntriebes Kraft zu sparen, macht man sich beispielsweise bei den *Seilwinden* zunutze, die auf vielen Baustellen verwendet werden (Abb. **42**/2).

Häufig ist es zweckmäßig, mehrere Zahnradwellen hintereinander zu schalten, um eine noch größere Kraftersparnis zu erreichen. Man erhält dadurch ein *Zahnradgetriebe*. Solche Zahnradgetriebe sind das *Räderwerk der Uhr* und das *Getriebe eines Kraftwagens* (Abb. **43**/1). Ähnliche

Getriebe wie im Kraftwagen sind im Traktor, in der Bohrmaschine, in der Drehmaschine, in der Drillmaschine und in vielen anderen Maschinen der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion eingebaut.

8. Fragen und Aufgaben:

1. Wodurch unterscheiden sich Achsen und Wellen? Nenne Beispiele!
2. Warum wirkt die Kurbel wie ein Wellrad? Nenne Beispiele von Kurbeln!
3. Die Umdrehung einer Welle soll mit Hilfe eines Zahntriebes vervierfacht auf eine andere Welle übertragen werden. Das treibende Rad hat einen Durchmesser von $d_1 = 24$ cm und enthält 160 Zähne. Welchen Durchmesser und wieviel Zähne muß das getriebene Rad haben?

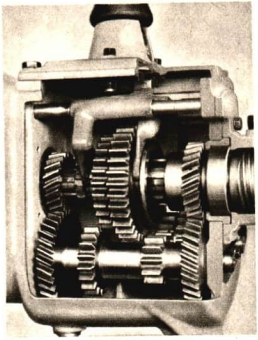


Abb. **43**/1. Getriebe eines Kraftwagens. Die umhüllende Kapsel ist zum Teil abgenommen.

7. Die schiefe Ebene

1. Das Gesetz der schiefen Ebene. Eine Ebene, die gegen die Waagerechte geneigt ist, wird als **schiefe Ebene** bezeichnet. Sie ist ein einfaches Hilfsmittel zum Befördern von Lasten an einen höher (Abb. **44**/1) oder tiefer gelegenen Ort (Abb. **44**/2).

Jede schiefe Ebene hat eine bestimmte *Steigung* (k). Darunter versteht man den Quotienten aus der Höhe (h) und der Länge (l) der schiefen Ebene (Abb. **44**/3).

Die Steigung einer schiefen Ebene ist der Quotient aus ihrer Höhe und ihrer Länge.

$$\textbf{Steigung} = \frac{\textbf{Höhe}}{\textbf{Länge}}.$$

$$\boxed{k = \frac{h}{l}}.$$

Da die Länge der schiefen Ebene stets größer als ihre Höhe ist, muß die Steigung immer kleiner als 1 sein:

$$k < 1.$$

Eine waagerechte Ebene hat die Steigung Null, da in diesem Falle die Höhe und somit der Zähler des Bruches den Wert Null hat. Je stärker die schiefe Ebene geneigt ist, desto größer ist auch die Steigung. Beträgt beispielsweise die Länge einer schiefen Ebene 50 m und ihre Höhe 6 m, so ist ihre Steigung

$$k = \frac{h}{l} = \frac{6}{50} = 0{,}12\,.$$

Abb. 44/1. Heben von Baumstämmen auf einen Wagen

Abb. 44/2. Rollgänge für Kugellager

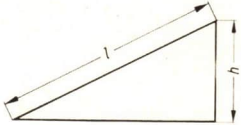
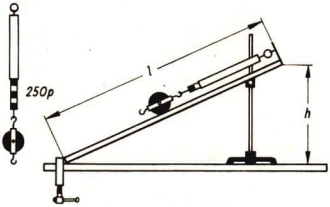


Abb. 44/3. Höhe und Länge einer schiefen Ebene

Zur Untersuchung der Größe der Kräfte an einer schiefen Ebene wird zunächst das Gewicht einer kleinen Walze bestimmt. Sodann legt man sie auf eine schiefe Ebene und mißt mit Hilfe einer Federwaage bei verschiedenen Steigungen die Kraft. die parallel zur



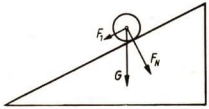


Abb. **45**/2. Gewicht, Normalkraft und Hangabtriebskraft auf einer schiefen Ebene

Abb. **45**/1. Versuchsanordnung zum Nachweis des Gesetzes der schiefen Ebene

schiefen Ebene wirkt (Abb. **45**/1). Diese Kraft treibt den Körper abwärts und wird daher als *Hangabtriebskraft* (F_1) bezeichnet (Abb. **45**/2). Die Spannkraft der Feder hält der Hangabtriebskraft das Gleichgewicht; beide Kräfte sind entgegengesetzt gerichtet. Diese Kraft muß überwunden werden, wenn man Körper die schiefe Ebene hinaufrollt.

Wie aus Versuchen hervorgeht, ist die Hangabtriebskraft stets kleiner als das Gewicht des Körpers. Ein Teil dieses Gewichts muß somit von der schiefen Ebene getragen werden. Man bezeichnet diesen Teil des Gewichts als *Normalkraft* (F_N), da sie in Richtung der *Normale*, das heißt senkrecht auf die schiefe Ebene wirkt.

Die Ergebnisse einer Versuchsreihe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Versuchsreihe zum Nachweis des Gesetzes der schiefen Ebene

Länge der schiefen Ebene (l) cm	Höhe der schiefen Ebene (h) cm	Steigung $\left(k = \frac{h}{l}\right)$	Last (F_2) p	Hangabtriebskraft (F_1) p	$\frac{\text{Hangabtriebskraft}}{\text{Last}}$ $\left(\frac{F_1}{F_2}\right)$
100	20	0,2	250	50	0,2
100	40	0,4	250	100	0,4
100	60	0,6	250	150	0,6
100	80	0,8	250	200	0,8

Bei jedem Versuch hat *der Quotient aus Höhe und Länge der schiefen Ebene, die Steigung, den gleichen Wert wie der Quotient aus Kraft und Last.* Die Versuchsreihe bestätigt somit das **Gesetz der schiefen Ebene:**

An einer schiefen Ebene ist der Quotient aus Hangabtriebskraft und Last gleich dem Quotienten aus Höhe und Länge der schiefen Ebene.

$$\frac{\text{Hangabtriebskraft}}{\text{Last}} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Länge}},$$

$$\boxed{\frac{F_1}{F_2} = \frac{h}{l}}.$$

Multipliziert man diese Gleichung mit F_2, so erhält man:

$$F_1 = \frac{h}{l} \cdot F_2 \quad \text{bzw.}$$

$$F_1 = k \cdot F_2 .$$

Diese Gleichung ist eine andere Form des Gesetzes der schiefen Ebene.

An einer schiefen Ebene ist die Hangabtriebskraft gleich dem Produkt aus Last und Steigung.

Hangabtriebskraft = Steigung · Last,

$$\boxed{F_1 = k \cdot F_2} .$$

Da k stets kleiner als 1 ist, ist F_1 immer kleiner als F_2. Beim Heben von Lasten mit Hilfe einer schiefen Ebene wird somit Kraft gespart. Je steiler die schiefe Ebene, das heißt, je größer ihre Steigung ist, desto mehr Kraft ist erforderlich, um einen Körper auf der schiefen Ebene im Gleichgewicht zu halten. *Die Kraftersparnis ist um so größer, je kleiner die Steigung der schiefen Ebene ist.* Nach der Goldenen Regel der Mechanik ist aber dafür der Weg um so länger.

2. Die schiefe Ebene als kraftsparende Einrichtung. Die *Laderampen* der Deutschen Reichsbahn dienen zum Ein- und Ausladen von Fahrzeugen, Vieh und schweren Lasten. Man erreicht sie von der Straße her meist durch schräge Auffahrten, die schiefe Ebenen sind. Auch die *Einfahrten in Garagen* sind häufig schiefe Ebenen.

Schiefe Ebenen werden auch bei der Anlage von *Förderbahnen* sowie *Schrägaufzügen* in Tongruben, Braunkohlengruben und Steinbrüchen zum Überwinden von Höhenunterschieden eingebaut (Abb. **46**/1). An vielen Hochöfen befinden sich ebenfalls Schrägaufzüge, durch die das Erz und der Koks auf die Gichtbühne transportiert werden. *Bergbahnen* mit großen Steigungen sind die Zahnradbahnen und die Seilbahnen (Abb. **47**/1).

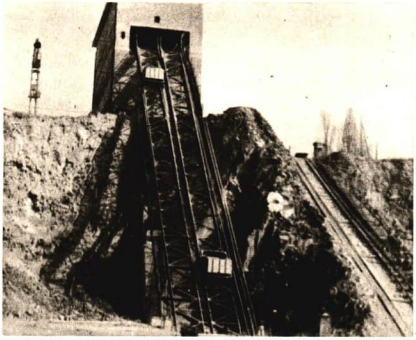


Abb. **46**/1. Schrägaufzug

Auch die von Motoren getriebenen *Transportbänder*, wie sie zum Umlagern von Sand, Kohle, Steinen, Heu und Stroh benutzt werden, sind

schiefe Ebenen (Abb. 47/2). An die Strohpresse einer Dreschmaschine wird oft eine schiefe Ebene angefügt, um die Strohballen ohne menschlichen Kraftaufwand auf den Strohstapel zu befördern (vgl. Abb. 7/1).

Auch jede *berganführende Straße*, jeder *ansteigende Fußweg* und jede *Treppe* ist eine schiefe Ebene. Je geringer die Steigung einer Straße ist, desto geringer ist auch

Abb. 47/1. Schrägaufzug der Deutschen Reichsbahn bei Obstfelderschmiede im Thüringer Wald
Abb. 47/2. Transportband zum Befördern von Stroh in einen Speicher
Abb. 47/3. Serpentinen der Stilfser-Joch-Straße in den Ortleralpen (Norditalien)

der Kraftaufwand, der zum Überwinden des Höhenunterschiedes erforderlich ist. Die zurückzulegenden Wege sind bei gleichem Höhenunterschied jedoch um so länger, je geringer die Steigung ist. In Gebirgen werden aus Gründen der Kraftersparnis Straßen und Wege oft in *Serpentinen* angelegt (Abb. **47**/3).

3. Die schiefe Ebene als Ablaufbahn. Schiefe Ebenen werden vielfach auch dazu benutzt, kleinere oder größere *Gegenstände abwärts zu befördern*. Die Körper rollen oder gleiten infolge der Hangabtriebskraft an den gewünschten Ort.

So werden *Schrägrutschen* für Säcke, Getreide oder Kohle benutzt (Abb. **48**/1). Auf einem Verschiebebahnhof läßt man die abgekoppelten Güterwagen vom *Ablaufberg* auf die einzelnen Gleise rollen, um so Güterzüge für bestimmte Richtungen zusammenzustellen (Abb. **48**/2). Die Lokomotive braucht dabei nicht ständig hin und her zu fahren. Unter Benutzung eines Ablaufberges kann ein Zug von 50 Güterwagen im allgemeinen in etwa 5 min zerlegt werden.

Bei der Kugellagerfabrikation wurden früher die fertigen Lager durch einen Arbeiter von den einzelnen Arbeitsplätzen abgeholt und zur Gütekontrolle gebracht. Dort wurden die Lager überprüft. Wurde nun hierbei festgestellt, daß eine Maschine nicht mehr richtig eingestellt war, so waren inzwischen alle an diesem Arbeitsplatz angefertigten Kugellager unbrauchbar, bzw. sie mußten noch einmal nachgearbeitet werden. Auf Grund eines Verbesserungsvorschlages wurden *Rollgänge* eingebaut, die direkt zum Gütekontrolleur führen (vgl. Abb. **44**/2). Dadurch werden nicht nur Arbeitskräfte für wichtigere Arbeiten frei, sondern der Kontrolleur kann viel schneller überprüfen, ob alle Maschinen noch einwandfrei arbeiten. Auftretende Fehler können schneller behoben und der Ausschuß kann gesenkt werden. Dieses Beispiel zeigt, wie die Anwendung physikalischer Gesetze zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität führt.

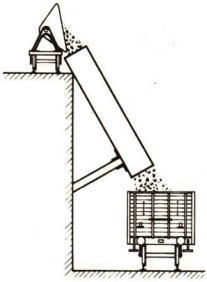


Abb. **48**/1. Schrägrutsche für Kohle

Abb. **48**/2. Ablaufberg der Deutschen Reichsbahn

Die Abwärtsbewegung entlang einer schiefen Ebene wird auch im Wintersport ausgenutzt. Beim *Rodeln* wird der Schlitten und beim *Bobfahren* der Bob infolge der Hangabtriebskraft abwärts bewegt. Skifahrer gleiten beim *Abfahrtslauf* und beim *Slalom* (Torlauf) mit großer Geschwindigkeit zu Tal, wobei sie eine bestimmte abgesteckte Bahn einhalten müssen. Bei den genannten Sportarten ist im allgemeinen die Steigung der schiefen Ebene nicht auf der ganzen Bahn gleich groß. Größere und geringere Steigungen wechseln miteinander ab. Abgesehen von dem Absprungtisch haben dagegen die *Sprungschanzen*, auf denen der Sprunglauf ausgetragen wird, auf ihrer ganzen Länge die gleiche Steigung (Abb. **49**/1). Für kleinere Schanzen wird zum Teil die natürliche Steigung des Hanges als Anlauf ausgenutzt. Bei neueren Schanzen wird jedoch die Schanze meist aus Stahlbeton gebaut. Auch der Auslauf ist eine schiefe Ebene.

Abb. **49**/1. Große Aschbergsprungschanze bei Klingenthal (Erzgebirge)

4. Fragen und Aufgaben:

1. Die Brockenbahn im Harz steigt auf 14 km Länge um 440 m. Wie groß ist die Steigung? Welchen Höhenunterschied überwindet eine 2,5 km lange Bahnstrecke bei einer Steigung von 0,012?
2. Welche schiefen Ebenen hast du selbst schon benutzt?
3. Eine Förderbahn überwindet 20 m Höhenunterschied auf einer 120 m langen Strecke. Welche Zugkraft ist zum Emporziehen einer Lore mit einem Gewicht von 2580 kp erforderlich?

8. Die Schraube

1. Die Wirkungsweise der Schraube. Ein Papierstück in Form eines rechtwinkligen Dreiecks soll einen Schnitt durch eine schiefe Ebene veranschaulichen. Wickelt man es um einen runden Stab, so erhält man das Modell einer *Schraubenlinie* (Abb. **50**/1). Schneidet man entlang dieser Linie eine Kerbe in den Stab, so entsteht eine **Schraube.**

Die Schraube ist eine Anwendung der schiefen Ebene.

Abb. **50**/1
Papiermodell
einer Schraubenlinie

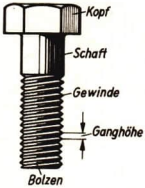


Abb. **50**/2
Schraube

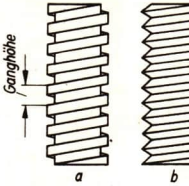


Abb. **50**/3. Die häufigsten Gewindeformen
a) Trapezgewinde b) Spitzgewinde

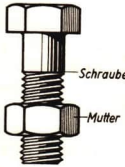


Abb. **50**/4
Schraube
und Mutter

An den Schrauben unterscheidet man den *Schraubenkopf* und den *Schraubenbolzen* mit dem *Gewinde* (Abb. **50**/2). Die einzelnen Windungen werden als *Gänge* der Schraube bezeichnet. Den Abstand je zweier aufeinanderfolgender Gänge, gemessen parallel zur Schraubenachse, nennt man die *Ganghöhe*. Je größer die Steigung der schiefen Ebene ist, aus der man sich die Schraube entstanden denken kann, desto steiler sind auch die Gänge. Die am häufigsten verwendeten Gewindeformen sind das *flachgängige* Gewinde oder *Trapezgewinde* und das *scharfgängige* Gewinde oder *Spitzgewinde* (Abb. **50**/3).

Zur Schraube gehört ein *Muttergewinde*. Das ist ein zum Außengewinde der Schraube passendes Innengewinde. Dieses Innengewinde kann in eine Bohrung eines Werkstückes oder in eine *Schraubenmutter* eingeschnitten sein (Abb. **50**/4 und **51**/2). Für *Holzschrauben* braucht kein Muttergewinde vorhanden zu sein. Sie schneiden das Muttergewinde beim Hineindrehen in das Holz selbst.

Dreht man eine Schraube in ihr Muttergewinde, so bewegt sich entweder die Schraube oder die Mutter vorwärts. Dies ist davon abhängig, welcher Teil in Richtung der Achse verschiebbar ist. Die Bewegung entspricht der auf einer schiefen Ebene, wobei mit geringer Kraft eine große Last überwunden wird.

Durch die Drehbewegung einer Schraube wird eine geradlinige Bewegung in Richtung der Achse hervorgerufen. Die Schraube ist eine einfache kraftumformende Vorrichtung.

2. Die verschiedenen Schraubenarten und ihre Verwendung. Nach ihrem Verwendungszweck unterscheidet man folgende wichtige Schraubenarten (Abb. **51**/1).

a) Befestigungsschrauben. Durch *Befestigungsschrauben* können zwei Werkstücke fest, aber lösbar miteinander verbunden werden. Zum Verbinden dünner Werkstücke, beispielsweise aus Blech, benutzt man Metallschrauben mit Muttern. Haben die Werkstücke dagegen eine größere Dicke, so wird häufig in die Bohrung des einen Werkstückes ein zur Schraube passendes Innengewinde geschnitten (Abb. **51**/2). Zieht man die Schraube an, so werden die Werkstücke einander genähert und mit großer Kraft zusammengepreßt. Infolge der Reibung klemmen sich die Gänge des

	Kopfschrauben		Senkschrauben		Mutterschrauben		Klemmschrauben			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kopfform	Halbrund	Zylinder	Kegel	Linse	Sechskant	Vierkant	Rändel	Flügel	Kreuzloch	Gewindestift
a Metallschrauben										
b Holzschrauben										

Abb. 51/1
Die wichtigsten Schraubenarten

Abb. 51/2. Verbinden zweier Metallstücke durch eine Schraube

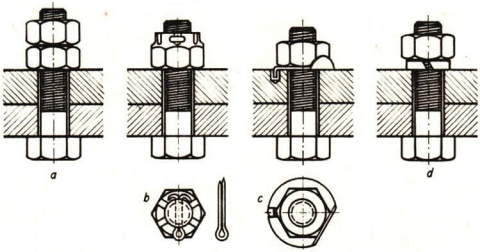


Abb. 51/3. Schraubensicherungen
a) Gegenmutter, b) Kronenmutter mit Splint, c) Sicherungsblech, d) Sprengring

Schrauben- und des Muttergewindes fest aneinander. Diese Wirkung ist um so größer, je geringer die Steigung ist. Als Befestigungsschrauben eignen sich am besten Schrauben mit Spitzgewinde.

Trotz der starken Reibung können sich Schrauben an Maschinenteilen infolge starker und lang andauernder Erschütterung von selbst lockern. Daher werden solche Schrauben noch besonders gesichert. Als *Schraubensicherungen* werden *Gegenmuttern*, *Kronenmuttern mit Splint*, *Sicherungsbleche* und *Sprengringe* verwendet (Abb. 51/3).

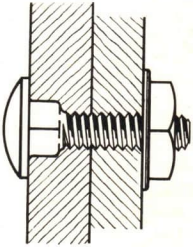
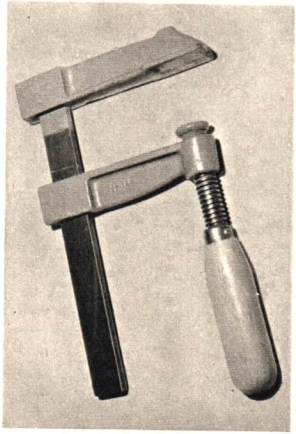


Abb. **52**/1
Verbinden zweier Holzteile durch eine Flachrundschraube

Zum Verbinden von Holzteilen verwendet man vor allem *Holzschrauben*. Damit die Gewindegänge beim Einschrauben gut in das Holz eindringen können, sind die Holzschrauben vorn zugespitzt und haben außerdem ein Spitzgewinde. Die Holzschrauben müssen fest in den Fasern des Werkstoffes halten und dürfen diese beim Einschrauben nicht zerstören. Daher sind die Gänge der Holzschrauben steiler als die der Metallschrauben. Außer den normalen Holzschrauben werden zum Verbinden großer Holzteile auch *Flachrundschrauben mit Muttern* verwendet (Abb. **52**/1).

b) Druck- und Zugschrauben. *Druckschrauben* größeren Durchmessers haben meist ein Trapezgewinde. Bei der Drehung der Schraube wird das Ende des Schaftes mit



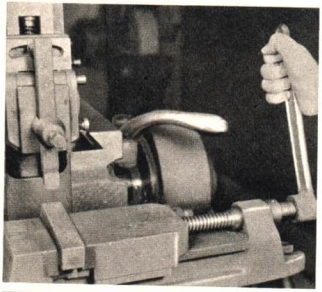


Abb. **52**/2. Schraubzwinge

Abb. **52**/3. Schraubspindel an einem Maschinenschraubstock

Abb. **52**/4. Bremsspindel am Ackerwagen

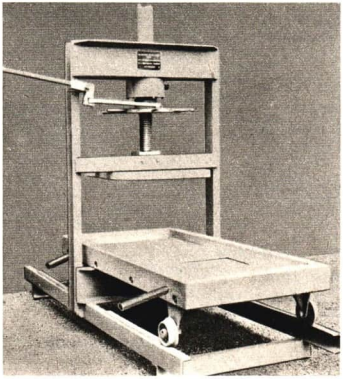


Abb. **53**/1. Obstpresse

Abb. **53**/2. Spannschloß

großer Kraft gegen ein Widerlager gepreßt. Infolge der starken Reibung haften die Schraubengänge des Bolzens fest an den Schraubengängen der Bohrung, so daß sich die Schrauben nicht von selbst lockern können. Beispiele für die Anwendung von Druckschrauben sind die *Schraubzwinge* in der Tischlerei (Abb. **52**/2), die *Schraubspindel* am Schraubstock (Abb. **52**/3) und die *Bremsspindel* am Ackerwagen (Abb. **52**/4) sowie die *Obstpresse* (Abb. **53**/1).

Zwei Zugschrauben, eine rechtsgängige und eine linksgängige, sind im *Spannschloß* miteinander verbunden (Abb. **53**/2). Man benutzt es beispielsweise bei den Kupplungen der Deutschen Reichsbahn und zum Spannen von Halteseilen an Turnrecks.

c) Bewegungsschrauben. Bei den *Bewegungsschrauben* werden infolge der Drehung der Schraubenspindel Maschinenteile bewegt. So wird durch die *Leitspindel* an einer Drehmaschine der Drehmeißel an dem Werkstück entlanggeführt (Abb. **53**/3). Bewegungsschrauben haben meist ein Trapezgewinde.

d) Stellschrauben. Zum genauen Einstellen von Meßgeräten, von Mikroskopen und von Fernrohren werden *Einstellschrauben* verwendet (vgl. S. 23). Man kann dadurch Geräteteile genauer einstellen, als dies durch Heben oder Senken möglich ist. Zum genauen Messen der Dicke von Werkstücken werden *Feinmeßschrauben* verwendet (Abb. **54**/1). Durch Drehen an der Gefühlsschraube verschiebt man die Meßspindel, bis

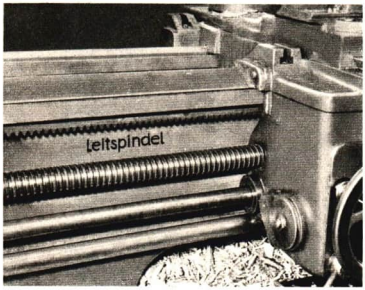
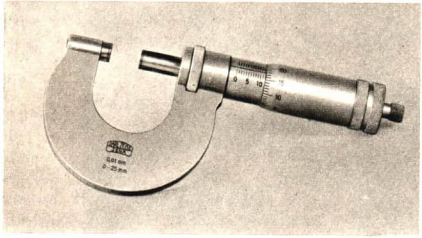


Abb. **53**/3. Leitspindel einer Drehmaschine

sie gegen das Werkstück stößt. Ist die Ganghöhe der Spindel 1 mm groß, so bewegt sich bei einer Umdrehung die Spindel und mit ihr die Trommel um 1 mm vorwärts. Teilt man den Umfang der Trommel in 100 Teile, so können an dieser Skale noch die hundertstel Millimeter abgelesen werden.

e) Schnecken. Zum Heben von Getreide, Stroh, Sand, Zement und dergleichen verwendet man häufig *Förderschnecken*. Diese ist ein schraubenförmig gewundenes Blech, das sich in einem Rohr oder in einem Trog dreht (Abb. **54**/2).



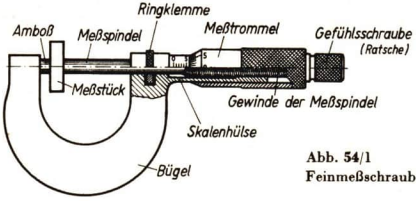


Abb. 54/1
Feinmeßschraube

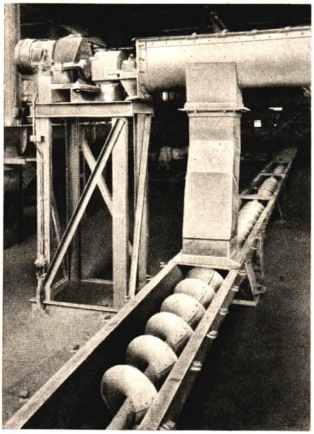


Abb. 54/2
Förderschnecke

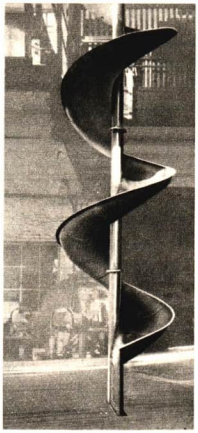


Abb. 54/3
Sackwendelrutsche

Abb. **55**/1. Schneckengetriebe

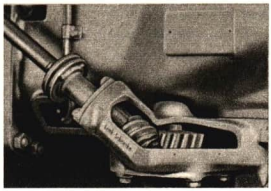


Abb. **55**/2. Schneckengetriebe an der Lenkung eines Kraftwagens

Auch verschiedene Haushaltsmaschinen enthalten Förderschnecken, so zum Beispiel der *Fleischwolf*. Die von einem *Spiralbohrer* abgehobenen Späne werden ebenfalls entlang einer Schraubenlinie aus der Bohrung herausgehoben. Zum Abwärtsbefördern von Säcken werden häufig Sackwendelrutschen benutzt (Abb. **54**/3).

Eine sehr große Übersetzung erzielt man mit Hilfe eines *Schneckengetriebes* (Abb. **55**/1). Es besteht aus einer *Schraube* und einem *Zahnrad*, die ineinander greifen. Dreht sich die Schraube (Schnecke) einmal herum, so rückt das Zahnrad (Schneckenrad) um einen Zahn weiter. Hat das Zahnrad zum Beispiel 50 Zähne, so beträgt das Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{50}{1} = 50\,.$$

Schneckenräder werden beispielsweise bei der *Lenkung* eines Kraftwagens oder eines Traktors angewandt (Abb. **55**/2). Mit Hilfe von Schneckenrädern werden große Kräfte übertragen.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Wovon hängt die kraftsparende Wirkung einer Schraube ab?
2. Sieh dir die Verwendung von Schrauben an Geräten und Maschinen an und ordne sie nach ihrem Verwendungszweck!
3. Wie wirkt eine Feinmeßschraublehre? Welche Meßgenauigkeit erreicht man mit ihr?

9. Der Keil

1. Der Keil als ältestes Werkzeug der Menschen. Das älteste Werkzeug der Menschen ist der **Keil.** Er wurde zuerst in der Form des *Faustkeils* verwendet (Abb. **55**/3). Der Faust-

Abb. **55**/3. Faustkeil

keil ist ein Stein, der an der einen Seite durch Behauen zugespitzt ist und den man in die Hand nehmen kann. Mit diesem Faustkeil wurden früher Tiere getötet, Äste abgeschlagen und andere Arbeiten verrichtet. Im Laufe der Entwicklung lernten es die Menschen, auch andere keilförmige Werkzeuge aus Stein herzustellen, zum Beispiel Steinäxte, Steinmesser und Schaber. Auch heute noch ist der Keil eine der wichtigsten einfachen kraftumformenden Vorrichtungen. Er wird besonders als Werkzeug vielfältig angewandt.

2. Der Keil als kraftübertragendes Werkzeug. Zum Anheben einer schweren Last wird oft ein *einseitiger Keil* verwendet, den man unter die Last treibt. Wie aus der Abbildung **56**/1 hervorgeht, gleitet sie *an dem Keil wie auf einer schiefen Ebene empor*. Daraus folgt, daß der Keil wie eine schiefe Ebene wirkt. Mit verhältnismäßig geringer Kraft kann man eine wesentlich größere Last heben.

Ein Keil ist eine kraftumformende Vorrichtung. Er wirkt wie eine schiefe Ebene.

Einen Keil, wie er in Abbildung **56**/1 wiedergegeben ist, bezeichnet man als einseitigen Keil. Er wird unter anderem zum *Befestigen* der Räder von Dreschmaschinen (Abb. **56**/2) und zum *Festkeilen* von Stützbalken an Mauern (Abb. **56**/3) benutzt.

Neben dem einseitigen Keil wird sehr häufig ein *zweiseitiger Keil* verwendet. Er ist symmetrisch gebaut. Sein Querschnitt ist ein gleichschenkliges Dreieck (Abb. **56**/4). Man kann sich den zweiseitigen Keil aus zwei einseitigen Keilen zusammengesetzt denken. *Somit beruht auch der zweiseitige Keil auf der Wirkungsweise der schiefen Ebene.* Die beiden schrägen Seitenflächen des Keiles heißen *Wangen*. Sie bilden miteinander die *Schneide*. Die beiden Wangen schließen den *Keilwinkel* ein. Die der Schneide gegenüberliegende Fläche ist der *Rücken des Keils*. Auf diesem läßt man die treibende Kraft, die *Rückenkraft*, einwirken. Sie wird durch den Keil übertragen und in Form der *Wangenkräfte* wirksam. Diese stehen auf den beiden Wangen

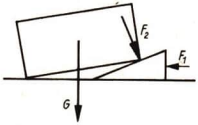


Abb. **56**/1. Verwendung eines Keils zum Heben einer Last

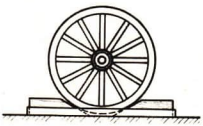


Abb. **56**/2. Verwendung einseitiger Keile zum Befestigen der Räder einer Dreschmaschine

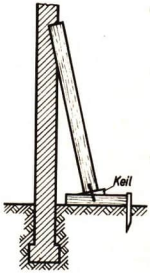


Abb. **56**/3. Abstützen einer Mauer

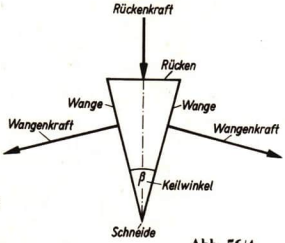


Abb. **56**/4 Querschnitt durch einen zweiseitigen Keil

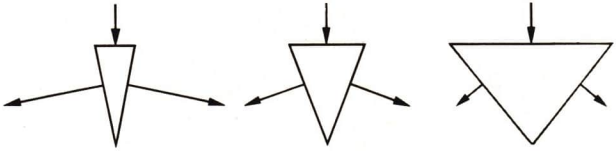


Abb. 57/1. Abhängigkeit der Wangenkräfte vom Keilwinkel bei gleicher Rückenkraft
a) kleiner Keilwinkel, b) mittlerer Keilwinkel, c) großer Keilwinkel

senkrecht. Die Wangenkräfte sind bei flachen Keilen erheblich größer als die Rückenkraft. *Je kleiner der Keilwinkel ist, um so größer sind bei gleicher Rückenkraft die Wangenkräfte* (Abb. **57**/1).

3. Der Keil als Trenn- oder Spaltwerkzeug. Ist der Keil und folglich auch die Rückenkraft senkrecht zur Oberfläche des Werkstücks gerichtet, so dringt der Keil in dieses ein und trennt es in zwei Teile. In diesem Falle wird der Keil als *Trennkeil* bezeichnet. Da sich längs der Schneide ein Spalt bildet, nennt man den Keil auch *Spaltkeil*. Trenn- oder Spaltwerkzeuge sind

> *die Axt, der Holzspaltkeil, der Meißel* (Abb. **57**/2), *das Stemmeisen* (Abb. **57**/3), *der Stechbeitel* (Abb. **57**/4), *das Messer, die Hacke, der Spaten* (Abb. **57**/5), *der Häufelkörper* (Abb. **58**/1), *die Scheibe an der Scheibenegge und an der Kartoffellegemaschine* (Abb. **58**/2), *die Haken an der Bodenfräse, die Messer am Messerbalken des Grasmähers* (Abb. **58**/3).

Ist der Keil und damit auch die Rückenkraft schräg gegen die Oberfläche des Werkstückes gerichtet, so dringt der Keil in das Werkstück ein, spaltet es aber nicht, sondern hebt einen Span ab (Abb. **58**/4). Die Späne gleiten dabei an der vorderen

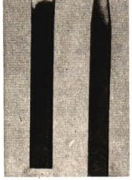


Abb. 57/2. Meißel

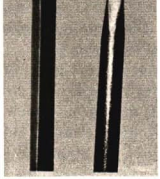


Abb. 57/3. Stemmeisen

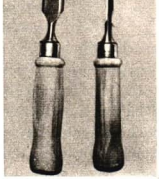


Abb. 57/4. Stechbeitel

Abb. 57/5. Spaten

Abb. 58/1
Häufelkörper

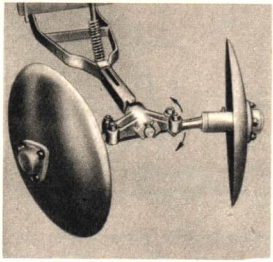
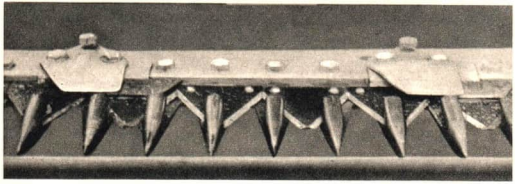


Abb. 58/2. Zudeckscheiben an der Kartoffellegemaschine

Abb. 58/3
Messerbalken eines Grasmähers (Ausschnitt)



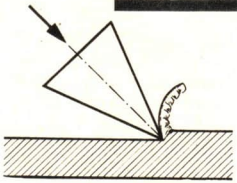


Abb. 58/4. Anheben eines Spanes durch einen Keil

Wange empor. Sie heißt deshalb auch *Spanfläche*. Die andere Wange darf beim Gebrauch des Keiles nicht auf der Oberfläche des Werkstückes entlanggleiten. Es würde sonst infolge der Reibung unnötigerweise Wärme entstehen und dadurch ein Teil der aufgewandten Kraft für die Nutzung verlorengehen.

Je kleiner der Keilwinkel ist, desto mehr Kraft wird gespart, desto größer ist somit die Wirkung des Keils. Die Größe des Keilwinkels ist aber auch vom Stoff des Werkstücks abhängig. So darf bei einem harten Werkstück der Keilwinkel nicht zu klein sein, da sonst die Schneide nicht widerstandsfähig genug ist und zu schnell abgenutzt werden würde. Außerdem wäre die Wärmeableitung bei einem Meißel mit kleinem Keilwinkel schlechter als bei einem solchen mit größerem Keilwinkel. Ein Drehmeißel mit einem kleinen Keilwinkel müßte außerdem sehr oft zum Nachschleifen ausgewechselt werden, das heißt, die Standzeit des Werkzeuges wäre sehr kurz. Man versteht unter der *Standzeit* eines Werkzeuges die Zeit, die es ohne Nachbearbeitung fortlaufend in Gebrauch sein kann.

Ein *Messer* hat einen sehr kleinen Keilwinkel (Abb. **59**/1). Es soll den Werkstoff im allgemeinen glatt durchschneiden und ihn nicht zerstören. Außerdem wird das Messer für verhältnismäßig weiche Werkstoffe verwendet, so daß die Abnutzung wesentlich geringer als bei Drehmeißeln ist.

Abb. **59**/1. Gegenüberstellung des Keilwinkels eines Drehmeißels und eines Messers

Der wirksame Keilwinkel kann auf sehr einfache Art verkleinert werden, ohne daß der Querschnitt des Werkzeuges selbst verringert wird. Man stellt die Schneide des Keils nicht senkrecht zur Bewegungsrichtung, sondern *schräg* zu ihr. So ist zum Beispiel das Messersech eines Pfluges schräg eingestellt, wodurch man einen kleineren wirksamen Keilwinkel erhält (Abb. **59**/2). Das Sech darf jedoch auch nicht zu flach eingestellt werden. Um nämlich die erforderliche Tiefe zu erreichen, müßte das Sech dann sehr lang sein. Bei gleicher Dicke würde aber ein sehr langes Messersech leicht abbrechen. Man wählt aus diesem Grunde eine mittlere Schrägstellung.

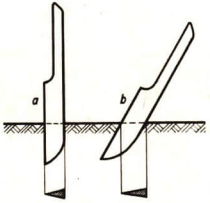


Abb. **59**/2. Keilwinkel am Messersech des Pfluges a) bei senkrechter Stellung des Sechs, b) bei schräger Stellung des Sechs

4. Die spanabhebende Formung. Eines der wichtigsten Verfahren der Metall- und Holzbearbeitung ist die *spanabhebende Formung*. Zu ihr gehören:

das Meißeln, das Feilen, das Sägen, das Schleifen, das Drehen, das Hobeln, das Fräsen, das Bohren, das Gewindeschneiden.

Zum Abheben der Späne verwendet man Meißel, die je nach der Art des Werkstoffes und des Arbeitsverfahrens sehr verschieden geformt sind. Sie unterscheiden sich außerdem oft sehr stark in der Richtung, die der Meißel gegenüber dem Werkstück hat (Abb. **59**/3 und Abb. **59**/4).

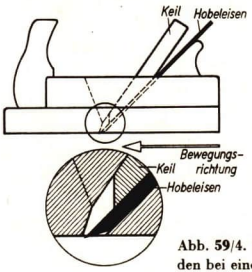


Abb. **59**/3 Stellung des Eisens in einem Schlichthobel

Ein wichtiges Kennzeichen der verschiedenen spanabhebenden Werkzeuge ist die Anzahl ihrer Meißel. So hat ein Stemmeisen nur eine Schneide, während bei einem Sägeblatt viele

Abb. **59**/4. Stellung der Schneiden bei einem Sägeblatt

Meißel hintereinander angeordnet sind (Abb. **60**/1). Den gleichen Unterschied findet man auch bei anderen Werkzeugen und Maschinen für die Holz- und Metallbearbeitung. So haben

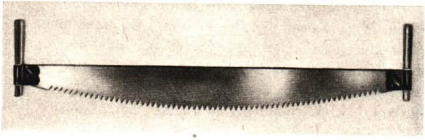


Abb. **60**/1. Schrotsäge

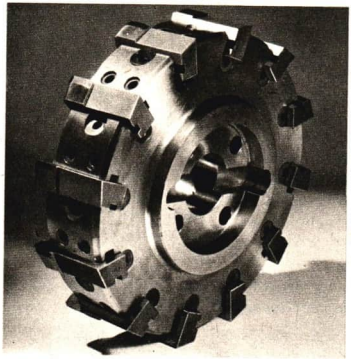
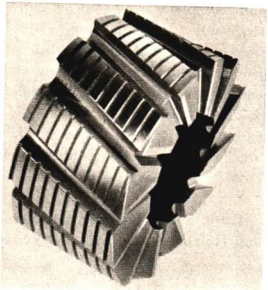


Abb. **60**/2. Fräskopf

Abb. **60**/3. Walzenfräser



der Drehmeißel und der Hobelmeißel nur eine Schneide, während der Fräskopf (Abb. **60**/2) und der Walzenfräser (Abb. **60**/3) mit mehreren Meißeln ausgerüstet sind. Die Wirksamkeit bestimmter Holzbearbeitungsmaschinen, zum Beispiel der Sägegatter, wird noch dadurch erhöht, daß mehrere Sägeblätter nebeneinander angeordnet werden und so einen Stamm in einem Arbeitsgang in viele Bretter teilen (Abb. **61**/1). Auch die Feile ist ein spanabhebendes Werkzeug. Durch den Hieb ist ihre Oberfläche mit vielen kleinen, regelmäßig angeordneten Keilen bedeckt (Abb. **61**/2).

Der Vorteil der Werkzeuge mit mehreren Schneiden, die entweder hintereinander oder kreisförmig angeordnet sind, besteht darin, daß immer mehrere Keile gleichzeitig Späne vom Werkstück abheben.

Die Schneiden der Bohrer sind ebenfalls keilförmig (Abb. **61**/3). Jeder Bohrer ist im allgemeinen mit zwei Schneiden ausgerüstet, die symmetrisch zueinander liegen.

5. Die weitere Verwendung des Keils. Außer den Spaltkeilen gibt es noch *Haltekeile*, *Befestigungskeile* und *Verbindungskeile*.

Mit Haltekeilen werden Hammer- und Hackenstiele befestigt (Abb. **61**/4).

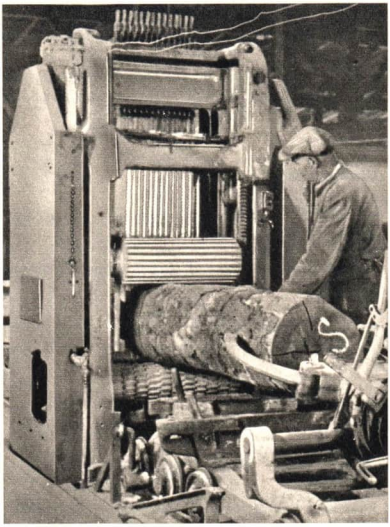


Abb. **61**/1. Sägegatter

Abb. **61**/2. Oberfläche einer Feile (vergrößert)

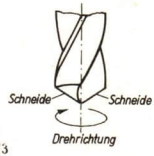


Abb. **61**/3
Spitze eines Spiralbohrers

Befestigungskeile werden besonders zum Festklemmen von Stützen, Maschinenteilen und Schienen verwendet (Abb. **61**/5).

Als Verbindungskeile benutzt man im Maschinenbau flache Keile, mit denen Schwungräder, Riemenscheiben und Zahnräder fest mit der umlaufenden Welle verbunden werden (Abb. **61**/6)

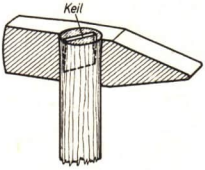


Abb. **61**/4. Befestigung eines Hammerstiels mit einem Haltekeil

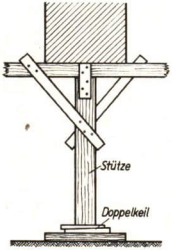


Abb. **61**/5. Festkeilen einer Stütze

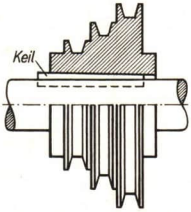


Abb. **61**/6. Verbindungskeil

6. Fragen und Aufgaben:

1. Erkläre anhand einer Skizze, warum der Keil ein kraftübertragendes und kraftumformendes Werkzeug ist!
2. Welche Keile hast du selbst schon benutzt? Ordne sie nach ihrer Verwendungsart!
3. Teile spanabhebende Werkzeuge in Werkzeuge mit einer Schneide und solche mit mehreren Schneiden ein! Wozu werden diese Werkzeuge verwendet?

10. Das Fahrrad

1. Die Maschinen. Mit Hilfe einfacher kraftumformender Vorrichtungen kann man Kräfte oder Bewegungen umformen. Zu diesen Vorrichtungen gehören

der Hebel, die Rolle in Verbindung mit einem Seil, das Wellrad, die schiefe Ebene, der Keil und die Schraube.

Aus den einfachen kraftumformenden Vorrichtungen sind die *Maschinen* aufgebaut. Im allgemeinen kann man an einer Maschine drei *Hauptteile* unterscheiden:

1. **Antriebsmechanismus,**
2. **Übertragungsmechanismus,**
3. **Arbeitsmechanismus.**

Diese Einteilung ist bereits von *Karl Marx* in seinem Werk *Das Kapital* vorgenommen worden.

Einfache Maschinen sind das *Fahrrad* (Abb. **62**/1) und das *Moped* (Abb. **63**/1). Der Antriebsmechanismus des Mopeds besteht aus dem *Motor mit dem Ketten-*

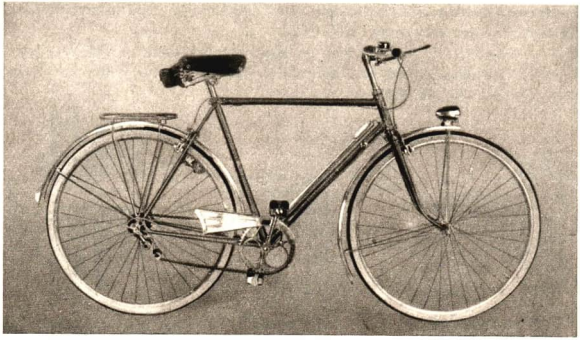


Abb. **62**/1. Fahrrad aus dem volkseigenen Fahrradwerk Elite-Diamant, Karl-Marx-Stadt

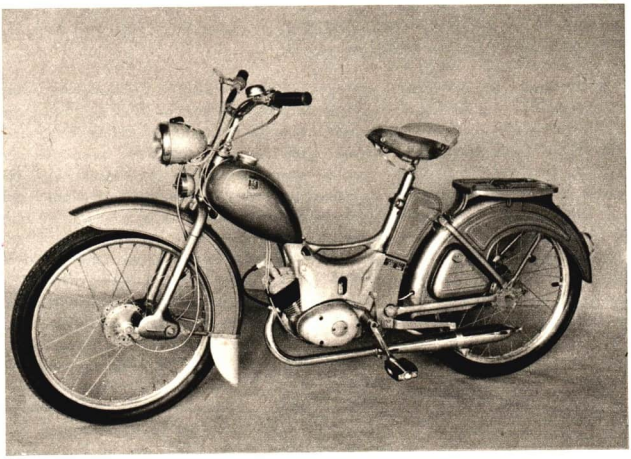
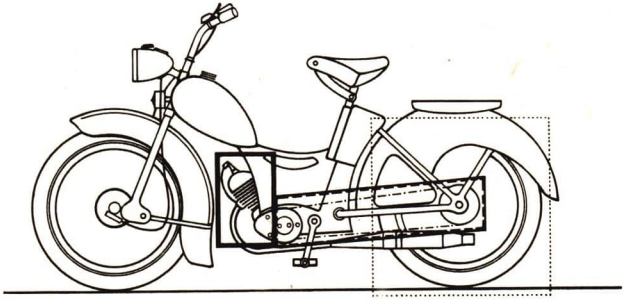


Abb. 63/1. Moped SR 2, hergestellt vom VEB Fahrzeug- und Gerätewerk Simson, Suhl



Antriebsmechanismus *Übertragungsmechanismus* *Arbeitsmechanismus*

Abb. 63/2. Das Moped als zusammengesetzte Maschine

rad. Sein Übertragungsmechanismus ist der *Kettentrieb* und sein Arbeitsmechanismus das *Hinterrad* (Abb. **63**/2). In ähnlicher Weise setzt sich auch das Fahrrad aus den drei Hauptteilen zusammen.

2. Die Kraft- und Bewegungsübertragung beim Fahrrad. Die *Tretkurbel* des Fahrrades und das mit ihr fest verbundene *Kettenrad* bilden ein Wellrad. Durch die Tretkurbel wird die auf die Pedale ausgeübte Kraft verstärkt und auf das Kettenrad übertragen. Es ist durch eine *Kette ohne Ende* mit einem *Zahnkranz* verbunden, der auf der Welle des Hinterrades sitzt. Das Zusammenwirken von Kettenrad, Kette und Zahnkranz bezeichnet man als *Kettentrieb.* Seine Wirkungsweise ist ähnlich der des Zahntriebes. Da der Durchmesser des Kettenrades größer ist als der des Zahnkranzes, so ist das Übersetzungsverhältnis stets kleiner als 1. Dadurch ist die Drehzahl des Hinterrades größer als die der Tretkurbel. Der Zahnkranz bildet mit dem Hinterrad ein Wellrad. Hierbei wird die Kraft von der kleineren Welle, dem Zahnkranz, auf die größere Welle, das Hinterrad, übertragen. In diesem Falle tritt keine Kraftersparnis ein. Infolge des größeren Umfanges des Hinterrades erhält man aber eine größere Geschwindigkeit.

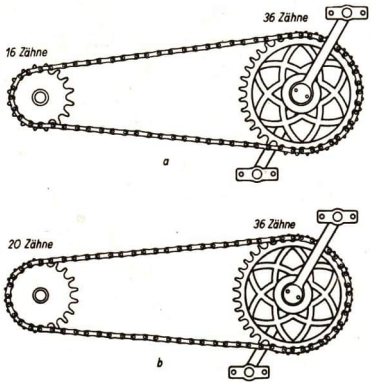


Abb. **64**/1. Kettentrieb beim Fahrrad

Das Übersetzungsverhältnis i des Kettentriebes wird wie das eines Zahntriebes berechnet. Es ist der Quotient aus der Zähnezahl des getriebenen Rades, des Zahnkranzes (Z_2), und der Zähnezahl des treibenden Rades, des Kettenrades (Z_1):

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}.$$

Das Übersetzungsverhältnis eines Fahrrades kann auch ermittelt werden, indem man den Quotienten aus der Anzahl der Umdrehungen der Tretkurbel (n_1) und der Anzahl der dabei erfolgten Umdrehungen des Hinterrades (n_2) bildet:

$$i = \frac{n_1}{n_2}.$$

Die Umdrehungszahl des Hinterrades ist somit um so größer, je kleiner das Übersetzungsverhältnis ist.

Treten zwei Radfahrer, deren Räder unterschiedliche Übersetzungsverhältnisse haben, im gleichen Rhythmus, so bewegt sich das Fahrrad mit dem kleineren Übersetzungsverhältnis schneller als das andere. Der Fahrer mit dem kleineren Übersetzungsverhältnis muß aber mehr Kraft aufwenden als der mit dem großen Über-

setzungsverhältnis (Abb. **64**/1). Deshalb ist ein *kleines Übersetzungsverhältnis für eine ebene, glatte Straße*, bei der nur eine kleine Gegenkraft zu überwinden ist, besser geeignet als ein großes. *Beim Berganfahren jedoch und auf sandigen Wegen, wo eine große Gegenkraft zu überwinden ist, ist ein großes Übersetzungsverhältnis vorteilhafter.* Moderne Fahrräder sind aus diesem Grunde mit einer *Gangschaltung* ausgestattet (Abb. **65**/1). Durch diese Vorrichtung ist es möglich, wahlweise zwei, drei oder vier verschiedene Übersetzungsverhältnisse einzuschalten. Manche Rennräder haben außer den vier Zahnkränzen noch zwei Kettenräder. Dadurch kann man bis zu acht verschiedene Übersetzungsverhältnisse einschalten. Die Gangschaltung ist ein Teil der Übertragungseinrichtung.

Abb. **65**/1. Gangschaltung eines Fahrrades

3. Fragen und Aufgaben:

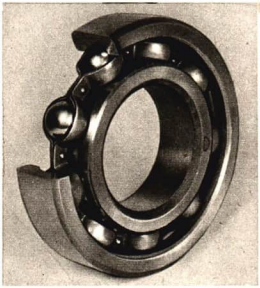
1. Erkläre die drei Hauptteile einer Maschine am Beispiel des Motorrades und des Personenkraftwagens!
2. Erkläre die Wirkungsweise der einfachen kraftumformenden Vorrichtungen, die am Fahrrad verwendet werden!
3. Warum haben moderne Fahrräder eine Gangschaltung? Worauf beruht ihre Wirkung?

11. Die Reibung

1. Die Ursachen der Reibung. Trotz des Freilaufes wird die Geschwindigkeit des Fahrrades auch auf ebener Strecke geringer, sobald man zu treten aufhört. Dies hat seine Ursachen in dem Luftwiderstand und besonders in der **Reibung** zwischen der Reifendecke und der Straße sowie an den Achsen der Räder.

Alle Körper haben an ihrer Oberfläche mehr oder weniger große Unebenheiten. Gleiten zwei Körper aufeinander entlang, so hemmen diese Unebenheiten die Bewegung. Man bezeichnet diese Art der Reibung als *Gleitreibung*. Weit geringer als die Gleitreibung ist die *Rollreibung*. Rollt ein Körper am anderen entlang, so nähern sich die Unebenheiten einander, ähnlich den Zähnen von Zahnrädern, und heben sich wieder voneinander ab. Infolgedessen werden beim Rollen die Unebenheiten leichter überwunden. Zum Überwinden der Reibung ist eine zusätzliche Kraft erforderlich, die für die Fortbewegung des Rades nicht ausgenutzt werden kann.

2. Mittel zum Verringern der Reibung. Zum Verringern der Reibung verwendet man *Schmiermittel*, wie Schmieröl und Schmierfett. Durch sie werden die Unebenheiten der Gleitflächen ausgefüllt, so daß die Maschinenteile wie auf einem Polster gleiten.



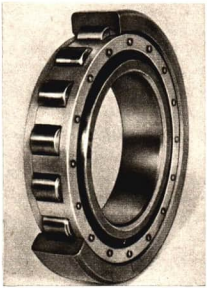


Abb. 66/1
Kugellager
aus dem
VEB Thüringer
Kugellagerfabrik
Zella-Mehlis

Abb. 66/2
Rollenlager
aus dem
VEB Leipziger
Kugellagerfabrik

Außerdem kann die Reibung dadurch verringert werden, daß *Kugel-* bzw. *Rollenlager* eingebaut werden (Abb. **66**/1 und **66**/2). Durch diese Lager wird die *gleitende Reibung in eine rollende Reibung umgewandelt.* Um auch die Rollreibung noch weiter herabzusetzen, werden Kugel- bzw. Rollenlager geschmiert. Sie werden heute in vielen Größen hergestellt und sind praktisch an allen Maschinen zu finden. Auch die beiden Räder, die Pedale, das Mittellager und die Lenkstange des Fahrrades sind mit Kugellagern ausgestattet.

3. Mittel zum Vergrößern der Reibung. In vielen Fällen ist die Reibung unbedingt notwendig. Gäbe es keine Reibung zwischen den Rädern und der Straße, so könnte man mit dem Fahrrad überhaupt nicht fahren. Beim Treten würden die Räder über die Oberfläche der Straße gleiten, ohne von der Stelle zu kommen. Bei regennassen bzw. vereisten Straßen können Fahrzeuge beim Anfahren, beim Bremsen sowie bei Richtungsänderungen rutschen. Um das weitgehend zu vermeiden, sind die Auto- bzw. Fahrradreifen nicht glatt, sondern mit *Profilen* versehen. Schienenfahrzeuge, wie die Triebwagen der Straßenbahn und die Lokomotiven, haben *Sandstreuer*, damit die Reibung, wenn erforderlich, vergrößert werden kann.

Auch zum Bremsen ist Reibung erforderlich. Deswegen werden beispielsweise die Felgenbremsen mit *Bremsbelägen* aus Gummi versehen, die eine besonders große Reibung verursachen. Ist eine Straße sehr glatt, so kann die Reibung zwischen den Rädern und der Straße kleiner sein als die Reibung an der Bremse des Fahrzeuges. Bremst man plötzlich sehr stark, so werden die Räder des Fahrzeuges blockiert. Es rutscht die Straße entlang und kann infolge der blockierten Räder nicht gelenkt werden. Deshalb darf man nie ruckartig, sondern nur allmählich bremsen.

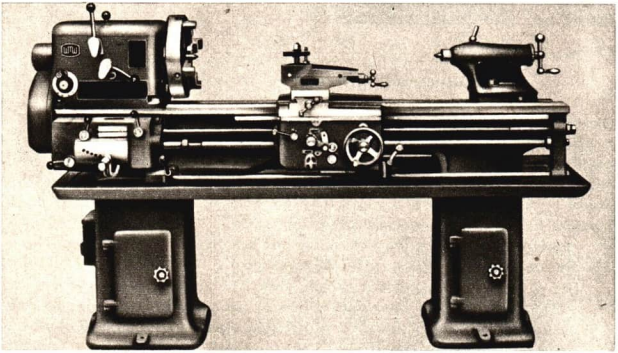
4. Fragen und Aufgaben:

1. Nenne Vorgänge, bei deren Ablauf die Reibung erforderlich ist!
2. Welche Mittel zur Verringerung der Reibung werden in der Technik angewandt?
3. Warum darf ein Fahrzeug nicht plötzlich stark gebremst werden?

12. Einige Maschinen für die spanabhebende Formung

1. Die Werkzeugmaschinen. Alle Maschinen, bei denen Werkstücke mit Hilfe eines Werkzeuges maschinell bearbeitet werden, bezeichnet man als *Werkzeugmaschinen*. Zu ihnen gehören alle Maschinen für die spanabhebende und die spanlose Formung von Werkstücken, wie *Drehmaschinen*, *Fräsmaschinen*, *Kurzhobelmaschinen*, *Bohrmaschinen*, *Sägemaschinen*, *Schleifmaschinen* und viele andere mehr.

2. Die Drehmaschine. Eine der wichtigsten Maschinen der spanabhebenden Formung ist die *Drehmaschine* (Abb. 67/1). Sie wird vor allem zum Bearbeiten zylindri-



a

b

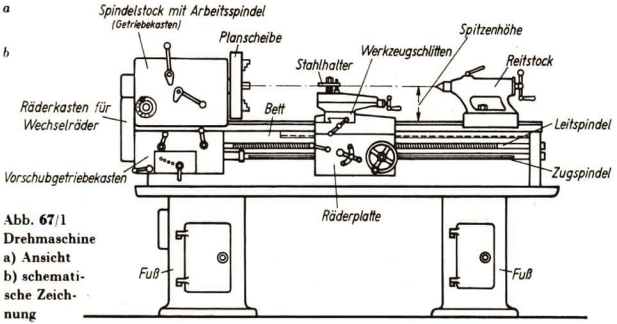


Abb. 67/1
Drehmaschine
a) Ansicht
b) schematische Zeichnung

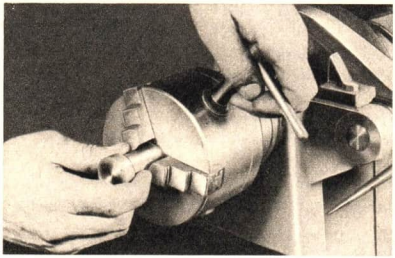


Abb. **68**/1. Dreibackenfutter

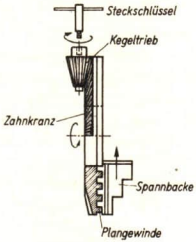
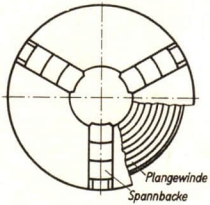


Abb. **68**/2
Schnitt durch ein Dreibackenfutter



scher Werkstücke eingesetzt. Kennzeichnend für die Drehmaschine ist, daß *das Werkzeug, der spanabhebende Meißel, feststeht, während sich das Werkstück dreht. Dazu ist es mit der* Hauptwelle, *der Arbeitsspindel*, verbunden, die durch einen Elektromotor angetrieben wird. Als Verbindungsglied zwischen der Arbeitsspindel und dem Werkstück dient im allgemeinen ein *Dreibackenfutter* (Abb. **68**/1). Dieses läßt sich mit Hilfe von drei Schneckengängen eng und weit stellen, so daß das Werkstück genau konzentrisch eingespannt werden kann (Abb. **68**/2). Lange Werkstücke werden durch den *Reitstock* unterstützt, dessen Spitze gegen das Werkstück gepreßt wird.

Der *Drehmeißel* wird von der Seite her an das rotierende Werkstück herangeführt. Er ist am *Werk-*

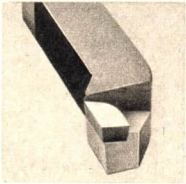
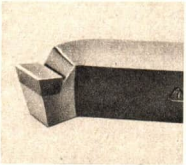
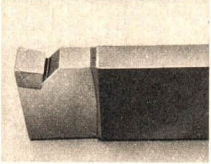


Abb. **68**/3
Drehmeißel mit aufgelötetem Hartmetallplättchen





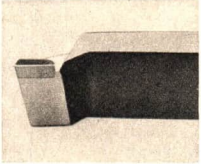


Abb. **68**/4. Verschiedene Formen von Drehmeißeln

zeugschlitten festgespannt und kann mit Hilfe einer Schraube und einer Kurbel dem Werkstück so weit genähert werden, daß er in dieses einschneidet und Späne abhebt. Drehmeißel haben einen großen Keilwinkel, damit die Schneide nicht ausbricht und die beim Spanabheben entstehende Wärme gut abgeführt wird. Bei den Arbeitsgängen, bei denen die Wärmeableitung durch den Stahl allein nicht ausreicht, wird der Drehmeißel zusätzlich mit Hilfe von *Bohrwasser* gekühlt. Bohrwasser ist ein Gemisch von Wasser und Bohröl.

Drehmeißel werden aus Stahl angefertigt. Die Haltbarkeit der Schneide wird häufig dadurch erhöht, daß man ein *Plättchen aus Hartmetall* auflötet (Abb. **68**/3). Es besteht aus einer Legierung von Wolfram, Kohlenstoff und Kobalt. Eine noch größere Festigkeit haben Plättchen aus *keramischen Werkstoffen*. Sie werden daher immer mehr angewandt. Die Formen der Drehmeißel, insbesondere die *Keilwinkel*, sind sehr unterschiedlich und richten sich nach der Arbeit, die ausgeführt werden soll, und nach dem zu bearbeitenden Werkstoff (Abb. **68**/4). Die Abbildung **69**/1 veranschaulicht das *Langdrehen* mit einem geraden Drehmeißel. Während das Werkstück rotiert (*b*), wird der Drehmeißel am Werkstück entlang bewegt (*c*). Die durch die Spanabnahme entstehende Fläche wird als *Arbeitsfläche* (*a*) bezeichnet.

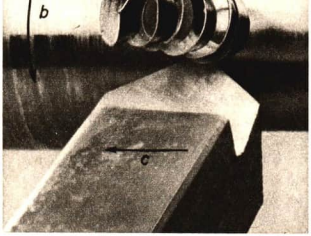


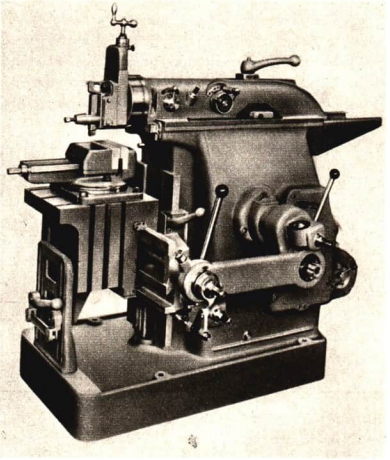
Abb. **69**/1. Langdrehen mit einem geraden Drehmeißel. *a* Arbeitsfläche, *b* Schnittbewegung, *c* Vorschubrichtung

Die Drehzahl der Arbeitsspindel muß verändert werden können, da mit einer Drehmaschine Werkstücke mit unterschiedlichen Durchmessern und auch aus verschiedenartigen Werkstoffen bearbeitet werden. Harte Werkstoffe können nicht so schnell abgedreht werden wie weiche. Ebenso muß bei Werkstücken mit großem Durchmesser eine geringere Drehzahl verwendet werden als bei Werkstücken mit kleinem Durchmesser. Zum Regeln der Geschwindigkeit der Arbeitsspindel ist deshalb zwischen dem Antriebsmotor und der Spindel ein *verstellbares Zahnradgetriebe* eingebaut, das meist im Spindelstock untergebracht ist. Das Getriebe wird durch Hebel geschaltet, die man in der Abbildung **67**/1 am oberen Teil des Getriebekastens erkennt.

Ein zweites Getriebe dient zum Regeln des *Vorschubs*. Darunter versteht man bei der Drehmaschine die Bewegung des Werkzeugschlittens längs des rotierenden Werkstückes. Mit diesem Getriebe ist die *Zugspindel* verbunden, durch deren Drehung der Werkzeugschlitten bewegt wird. Beim *Gewindeschneiden* wird statt der Zugspindel die genauer arbeitende *Leitspindel* eingeschaltet (vgl. Abb. **53**/3).

Auch an der Drehmaschine sind die drei Hauptteile jeder Maschine gut zu erkennen. Der Antriebsmechanismus ist der Elektromotor. Der Übertragungsmechanismus besteht aus den Getrieben, den Spindeln, dem Spannfutter und dem Werkzeugschlitten. Der Arbeitsmechanismus ist der Drehmeißel.

3. Die Kurzhobelmaschine. Eine andere viel verwendete Maschine der spanabhebenden Formung ist die *Kurzhobelmaschine*, vielfach auch *Stoßmaschine* oder *Shapingmaschine* genannt (Abb. **70**/1). Mit ihr werden vor allem kurze ebenflächige Werkstücke bearbeitet. Im Gegensatz zur Drehmaschine *steht bei der Kurzhobelmaschine das Werkstück fest, während das Werkzeug, der Hobelmeißel, hin und her bewegt wird.* Er ist mit der Schneide nach unten an einen *Schlitten* festgeklemmt. Dieser wird von einem Elektromotor angetrieben und gleitet auf dem Unterbau hin und her. Der Hobelmeißel kann in seiner Höhe verstellt werden. Bei jedem Vorlauf des Schlittens schneidet er in das Werkstück ein und hebt einen Span ab. Man bezeichnet den Vorlauf daher als *Arbeitshub*. Beim Rücklauf, dem *Leerhub*, gleitet der Hobelmeißel frei über das Werkstück hinweg (Abb. **71**/1). Die Zeit für den Leerhub ist kürzer als für den



a

b

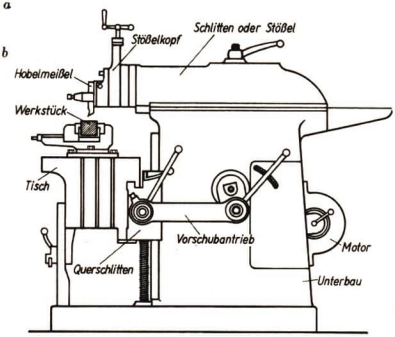


Abb. **70**/1. Kurzhobelmaschine
a) Ansicht b) schematische Zeichnung

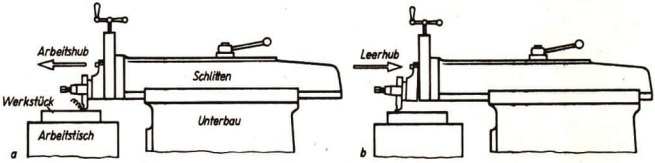


Abb. 71/1. Wirkungsweise der Kurzhobelmaschine

Arbeitshub. Nach jedem Arbeitshub rückt der Arbeitstisch mit dem Werkstück um die Breite des Spans weiter. Diese Bewegung wird auch bei der Kurzhobelmaschine als Vorschub bezeichnet. Er erfolgt im allgemeinen automatisch.

Zum Antrieb des Schlittens wird *die Drehbewegung des Motors in eine geradlinige Bewegung des Schlittens umgewandelt.* Hierzu wird durch den Motor eine große *Kurbelscheibe* in Umdrehung versetzt. Ein an dieser Scheibe befestigter *Kurbelzapfen* greift in den Schlitz eines Hebels, der *Schwinge.* Durch den Kurbelzapfen wird die Schwinge und damit der Schlitten hin- und herbewegt (Abb. 71/2). Zum Regeln der Geschwindigkeit des Schlittens hat die Kurzhobelmaschine ein *verstellbares Getriebe.* Der Hub der Kurzhobelmaschine kann ebenfalls verstellt werden (Abb. 71/3). Er richtet sich nach der Länge des zu bearbeitenden Werkstückes und wird jeweils nur so groß eingestellt, wie es für das Werkstück erforderlich ist.

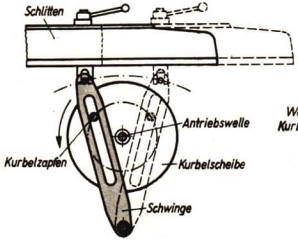


Abb. 71/2. Stark vereinfachte Wiedergabe der Bewegungsvorrichtung einer Kurzhobelmaschine

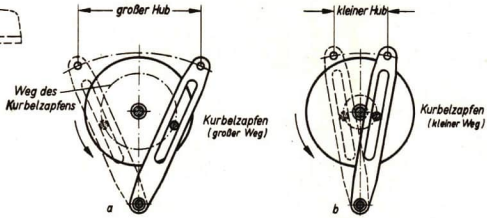
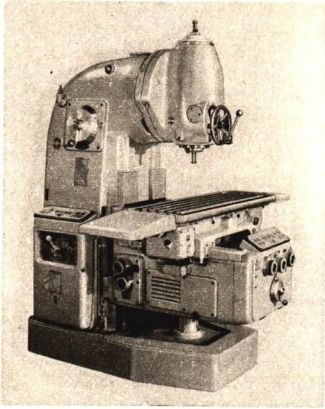


Abb. 71/3
Veränderung des Hubs einer Kurzhobelmaschine

4. Die Fräsmaschinen. Ebene Flächen werden heute vorwiegend mit *Fräsmaschinen* bearbeitet. Beim Fräsen wird das Werkstück wie beim Hobeln auf dem Maschinentisch aufgespannt. *Das Werkstück führt den Vorschub aus, während das Werkzeug, der Fräser, rotiert.* Die *Arbeitsspindel* ist entweder senkrecht oder waagerecht angeordnet. Danach unterscheidet man *Senkrecht-* und *Waagerecht-Fräsmaschinen.*



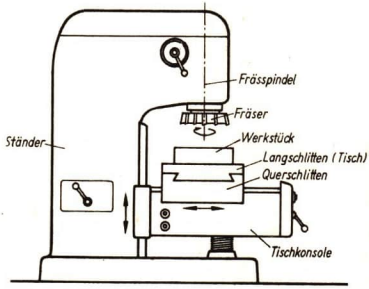
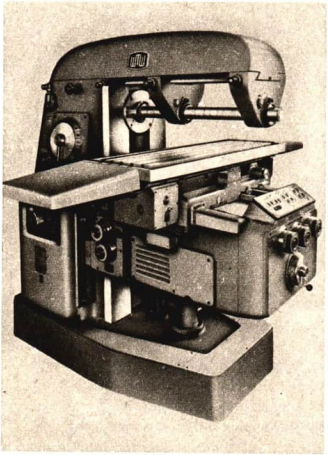
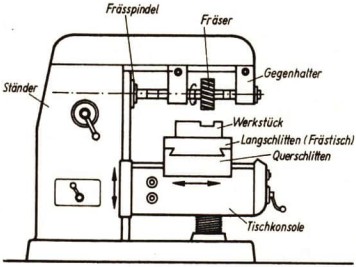


Abb. 72/1. Senkrecht-Fräsmaschine

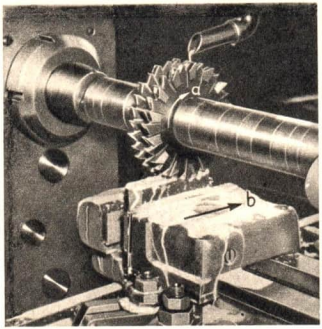
Abb. 72/2. Waagerecht-Fräsmaschine





(Abb. **72**/1 und **72**/2). Während sich der Maschinentisch mäßig langsam vorwärtsbewegt, heben die Meißel des Fräsers Späne vom Werkstück ab (Abb. **73**/1 und **73**/2).

Die Fräsmaschine wird auch häufig zum Fräsen von *Nuten* angewendet. Solche Nuten werden beispielsweise



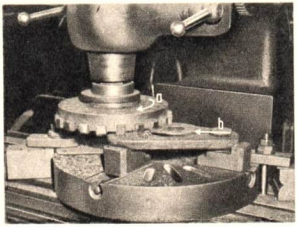
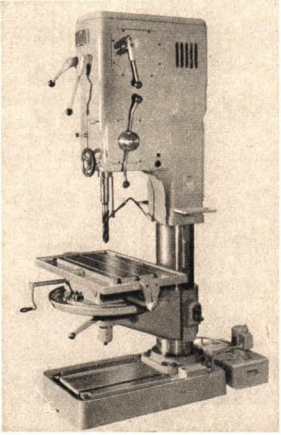


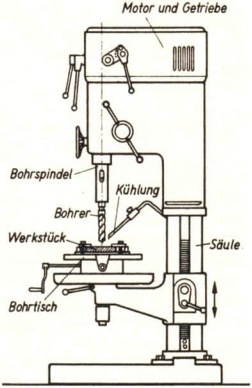
Abb. **73**/2. Stirnfräsen mit der Senkrecht-Fräsmaschine, *a* Schnittbewegung, *b* Vorschubbewegung

Abb. **73**/1. Walzenfräsen mit der Waagerecht-Fräsmaschine, *a* Schnittbewegung des Fräsers, *b* Vorschubbewegung

in Wellen und Bohrungen von Rädern eingearbeitet, damit sie mit Hilfe von Verbindungskeilen fest miteinander verbunden werden können (vgl. Abb. **61**/6).



a



b

Abb. **73**/3. Ständerbohrmaschine. a) Ansicht b) schematische Zeichnung

5. Die Ständerbohrmaschine. Mit Hilfe von *Bohrmaschinen* werden zylindrische Löcher in Werkstücke aus Metall, Holz und Plasten gebohrt. Eine häufig verwendete Form der Bohrmaschine ist die *Ständerbohrmaschine* (Abb. **73**/3). Als Antriebsmaschine wird ein Elektromotor verwendet. Zwischen den Motor und die Bohrspindel ist als Übertragungseinrichtung ein Getriebe geschaltet, so daß verschiedene Drehzahlen eingestellt werden können. Wie bei der Kurzhobelmaschine und Fräsmaschine *bewegt sich auch bei der Bohrmaschine das Werkzeug, während die Werkstücke in Ruhe sind.* Bei der Bohrmaschine wird auch der Vorschub von der Bohrspindel ausgeführt. Er erfolgt über ein Getriebe, das in eine Zahnstange an der Bohrspindel eingreift. Der Vorschub kann von Hand oder automatisch betätigt werden.

Die Bohrspindel trägt eine *Spannvorrichtung für die Aufnahme der Bohrer.* Die Späne werden von dem sich drehenden Bohrer abgehoben. Gleichzeitig führt der Bohrer den Vorschub in Richtung seiner Achse aus, wobei er ins Werkstück eindringt. Mit Hilfe eines Bohrers können *Grundbohrungen* (Abb. **74**/1a) und *Durchgangsbohrungen* (Abb. **74**/1b) ausgeführt werden.

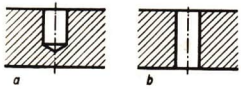


Abb. **74**/1. Bohrungen
a) Grundbohrung
b) Durchgangsbohrung

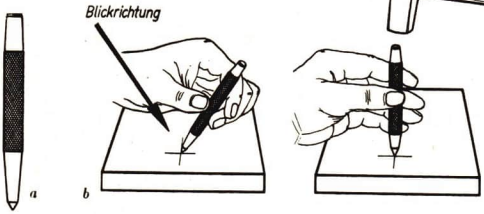


Abb. **74**/2 Ankörnen des Mittelpunktes einer Bohrung
a) Körner
b) Ankörnen durch Hammerschlag

Damit der Bohrer bereits beim Aufsetzen auf das Werkstück eine bestimmte Führung hat, wird der Mittelpunkt der Bohrung mit Hilfe eines Körners *angekörnt* (Abb. **74**/2). Sollen Bohrungen erweitert werden oder eine besondere Form erhalten, so werden *Senker* verwendet. Die Abbildung **74**/3 zeigt zwei verschiedene Arten von Senkern. Die Bohrungen haben meist eine rauhe Wandung. Wird jedoch eine glatte Bohrung benötigt, so werden die vorgebohrten Löcher mit

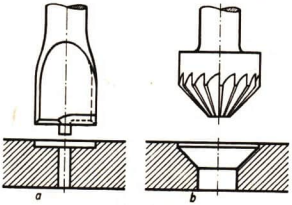


Abb. **74**/3. Senker
a) Flachsenker b) Spitzsenker

Abb. 75/1. Reibahle

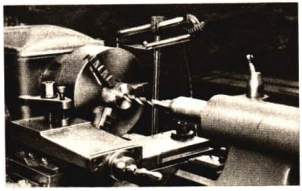


Abb. 75/2
Bohren mit Hilfe einer Drehmaschine

Hilfe von *Reibahlen* geglättet (Abb. 75/1). Dadurch erreicht man für die Bohrungen auch ein genaueres Maß.

Mit einer Drehmaschine können ebenfalls Bohrungen ausgeführt sowie angesenkt oder aufgerieben werden. Zu diesem Zweck wird der Bohrer in das Futter des Reitstockes eingespannt. Den Vorschub erreicht man mit Hilfe der Spindel des Reitstockes (Abb. 75/2). Das Bohren an der Drehmaschine wird dann angewandt, wenn das Werkstück mit der Drehmaschine bereits vorher bearbeitet wurde und die Bohrung im Mittelpunkt des Werkstückes auszuführen ist. Man erspart dadurch einen weiteren Arbeitsgang mit der Bohrmaschine.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Vergleiche die Arbeitsweise einer Fräsmaschine mit der einer Kurzhobelmaschine!
2. Welche Aufgabe haben die Getriebe einer Bohrmaschine?
3. Nenne weitere Maschinen der spanabhebenden Formung!

13. Die Bedeutung des Werkzeugmaschinenbaus in unserer Deutschen Demokratischen Republik

1. Der Maschinenbau. Das Leben der Menschen wäre heute ohne Maschinen undenkbar. Im Bergbau, in den Industriebetrieben, in der Landwirtschaft, im Bauwesen, im Verkehrswesen, im Handwerk und im Haushalt werden Maschinen gebraucht. Maschinen, Geräte, Apparate und Werkzeuge werden von einem besonderen Industriezweig, dem *Maschinenbau*, hergestellt.

Der Maschinenbau erzeugt sehr verschiedenartige Produkte. Ein Teil von ihnen ist vor allem für den *persönlichen Bedarf* bestimmt, zum Beispiel Staubsauger, Waschmaschinen, Fahrräder und Kraftfahrzeuge. Von größerer Bedeutung sind aber die Maschinen, die für die *Produktion* benötigt werden. Hierzu gehören Motoren, Turbinen, Pressen, spanabhebende Bearbeitungsmaschinen, Fördereinrichtungen, Maschinen für die Landwirtschaft und viele andere mehr. Diese Maschinen haben die Menschen geschaffen, um sich die Arbeit zu erleichtern. Sie werden ständig weiterentwickelt und verbessert.

Der Maschinenbau stellt Maschinen für die Produktion und für den persönlichen Bedarf her.

Auf Grund der vielseitigen Verwendung von Maschinen aller Art ist der Maschinenbau von größter Bedeutung für die anderen Industriezweige und für die Landwirtschaft. Sie können sich nur dann gut entwickeln, wenn ihnen der Maschinenbau moderne Maschinen in ausreichender Anzahl liefert.

Unter kapitalistischen Verhältnissen ist dies jedoch nicht der Fall. Da jeder Unternehmer nur an den eigenen Profit denkt, produziert er nur solche Maschinen, die den größten Gewinn versprechen. Er stellt seine Produktion auf andere Maschinen um, wenn er hofft, mit ihnen ein besseres Geschäft machen zu können. Andererseits kaufen andere Unternehmer keine Maschinen, wenn sie einen höheren Profit ohne Maschinenarbeit aus den Arbeitern herauspressen können. Dies gilt vor allem für solche Länder, die noch in kolonialer Abhängigkeit leben. Im Kapitalismus entwickelt sich der Maschinenbau insgesamt gesehen planlos und ungleichmäßig.

Anders ist es in den sozialistischen Ländern. *Hier wird der Maschinenbau planmäßig entwickelt.* Ein gutes Beispiel dafür bietet der Aufbau des Maschinenbaus in der Deutschen Demokratischen Republik. Die Werktätigen in unserer Republik studierten die Erfahrungen ihrer sowjetischen Freunde und werteten sie aus, als sie unter der Führung der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands den Aufbau des Sozialismus begannen. Sie stellten zuerst vor allem schwere Werkzeugmaschinen her. Diese wurden gebraucht, um neue Maschinen für den Bergbau, die Metallverarbeitung, die Kraftwerke und die chemische Industrie zu produzieren. Erst nachdem die Schwerindustrie mit den notwendigsten Maschinen versorgt war, konnte der Maschinenbau in größerem Maße auch Maschinen für die Leichtindustrie herstellen. Dadurch konnte der persönliche Bedarf der Bevölkerung besser als bisher befriedigt werden. Diese gesunde Entwicklung des Maschinenbaus war nur durch die aktive Unterstützung der gesamten Bevölkerung möglich. Alle Werktätigen setzten sich dafür ein, die gesteckten Ziele zu erreichen. In einem sozialistischen Staat ist der Mensch nicht der Sklave der Maschine, sondern ihr Beherrscher.

Ein beträchtlicher Teil der bei uns hergestellten Maschinen wird ins Ausland exportiert und gibt uns die Möglichkeit, von dort Rohstoffe, Lebensmittel und andere Waren einzuführen.

In sozialistischen Staaten wird der Maschinenbau planmäßig entwickelt. Dagegen entwickelt er sich in kapitalistischen Staaten planlos und ungleichmäßig.

Der stürmische, dabei aber planmäßig geordnete Aufbau ist kennzeichnend für die Entwicklung in den sozialistischen Ländern. Er vollzieht sich nicht nur im Maschinenbau, sondern auf allen Gebieten. Infolgedessen werden die sozialistischen Länder in wenigen Jahren die kapitalistischen in allen Produktionszweigen in der Pro-Kopf-Produktion überholt haben.

2. Die Werkstoffe des Maschinenbaus. Für die Herstellung von Maschinenteilen werden verschiedene *Werkstoffe* benötigt. Die Auswahl der Werkstoffe richtet sich nach ihrer Verwendung.

Eine besondere Bedeutung haben im Maschinenbau die verschiedenen *Eisenarten*. *Gußeisen*, auch *Grauguß* genannt, enthält mehr als 1,7% Kohlenstoff. Es ist hart,

aber spröde. Beansprucht man es durch Druck oder Schlag zu stark, bricht es leicht. Gußeisen wird daher nur für wenig beanspruchte Maschinenteile verwendet.

Enthält das Eisen weniger als 1,7% Kohlenstoff, so bezeichnet man es als *Stahl*. Er ist ebenfalls hart, aber elastisch. Man kann ihn schmieden, walzen und pressen. Stahl wird auch in Formen gegossen. In kaltem Zustand ist Stahl elastischer und widerstandsfähiger als Gußeisen.

Besonders wichtig für den Maschinenbau sind *Edelstähle*. Das sind Legierungen von Stahl mit anderen Metallen. Setzt man dem Stahl beispielsweise Chrom zu, so erhält man den nichtrostenden *Chromstahl*. Für Maschinenteile wird häufig auch der zähe *Nickelstahl* verwendet. Sehr hart ist der *Wolframstahl*, den man für Werkzeuge, wie Dreh- und Hobelmeißel, Bohrer und dergleichen, benutzt.

Auch *Leichtmetalle*, insbesondere *Aluminium*, finden im Maschinenbau vielseitige Verwendung. Wegen ihrer geringen Wichte sind sie, meist in Form einer der vielen *Aluminiumlegierungen*, besonders für die Fahrzeug- und Flugzeugindustrie, für den Motorenbau und die Elektrotechnik geeignet.

Als *Buntmetalle* bezeichnet man alle Schwermetalle außer Eisen. Hierzu gehören *Kupfer*, *Zink*, *Zinn* und *Blei*. Aus ihnen werden sehr verschiedenartige Legierungen hergestellt. Besonders wichtig für den Maschinenbau sind die sogenannten *Lagermetalle*, aus denen man die Lagerschalen für Gleitlager herstellt. Lagermetalle haben eine geringe Reibung und einen geringen Verschleiß. Sie sind außerdem bei Erwärmung sehr widerstandsfähig. Als Lagermetalle verwendet man beispielsweise *Rotguß*, der aus Kupfer, Zink und Zinn besteht, und *Bronze*, eine Legierung aus Kupfer und Zinn.

In neuerer Zeit werden im Maschinenbau auch immer mehr *Nichtmetalle* an Stelle von Metallen verwendet. So werden die *Plaste* vielseitig verarbeitet. Man stellt aus ihnen nicht nur Gehäuse, Schutzvorrichtungen und Fahrzeugkarosserien („Trabant") her, sondern fertigt aus bestimmten Preßstoffen auch Zahnräder und Lagerschalen. Solche Zahnräder zeichnen sich durch einen ruhigen und geräuscharmen Lauf aus.

3. Die Herstellung von Maschinenteilen. Jeder Teil einer Maschine muß eine bestimmte Form mit genauen Maßen haben. Bei der Herstellung der Maschinenteile werden drei Hauptarten der *Formung* angewandt:

1. die Urformung durch das Gießen,
2. das Umformen durch Schlag oder Druck,
3. das Trennen durch Abheben von Spänen.

Während bei dem zuletzt genannten Verfahren, der *spanabhebenden Formung*, ein Teil des Werkstoffes als Späne vom Werkstück abgetrennt wird, gehören die ersten beiden Verfahren zur *spanlosen Formung*.

Durch das *Gießen* erhält das Werkstück seine erste bleibende Gestalt, die im allgemeinen noch weiter bearbeitet wird. Der durch Erhitzen verflüssigte Werkstoff wird in Formen gegossen, die nach dem Erkalten des Gußstückes entweder als sogenannte verlorene Formen zerstört werden müssen oder als Dauerformen für die

Herstellung weiterer gleicher Teile verwendet werden können. Die durch das Gießen hergestellten Teile sind meist nicht so fest wie geschmiedete, gewalzte oder gepreßte Teile. Man kann Gußstücke daher nur für bestimmte Maschinenteile verwenden. Meist werden sie außerdem nach anderen Verfahren weiter bearbeitet.

Bei der Umformung werden die *plastischen Eigenschaften* der Werkstoffe ausgenutzt. Man spricht von *warmplastischer Umformung*, wenn die Werkstücke vor Beginn der Formung erwärmt werden müssen, wie beim *Schmieden* und beim *Warmpressen*. Dagegen sind *Biegen*, *Ziehen* und *Kaltpressen* Arten der *kaltplastischen Umformung*. Die verschiedenen spanlosen Verfahren der Umformung ergeben im allgemeinen genauer gearbeitete Werkstücke als das Gießen. Oft gewinnt man auf diese Weise bereits Fertigteile, die man ohne weitere Bearbeitung in die Maschinen einbauen kann.

Da mit Hilfe der spanlosen Formung in vielen Fällen nicht die erforderliche Genauigkeit erreicht werden kann, so wendet man die verschiedenen Verfahren der spanabhebenden Bearbeitung an. Zu ihnen gehören das *Bohren*, das *Drehen*, das *Fräsen* und das *Hobeln*. Die spanabhebende Formung hat jedoch zwei wesentliche Nachteile. Bei diesen Verfahren entstehen verhältnismäßig viel Abfälle, und man braucht eine bedeutend längere Arbeitszeit als für die plastische Umformung.

Vergleicht man einige Maschinen für die spanabhebende Bearbeitung miteinander, so erkennt man, daß sie sich in ihrer Arbeitsweise grundsätzlich unterscheiden. Während beispielsweise bei der Kurzhobelmaschine der Stößel nur bei der Vorwärtsbewegung Arbeit verrichtet, bei der Rückwärtsbewegung dagegen leerläuft, werden bei der Drehmaschine infolge der rotierenden Bewegung des Werkstückes ständig Späne abgenommen. Infolgedessen entstehen bei der Drehmaschine nur sehr geringe *Leerlaufzeiten*. Bei der Kurzhobelmaschine werden die Leerlaufzeiten weitgehend dadurch herabgesetzt, daß der Leerhub schneller als der Arbeitshub erfolgt. Auch bei der Fräsmaschine entstehen nur geringe Leerlaufzeiten, da infolge der Rotation des Werkzeuges ebenfalls ständig Späne abgehoben werden.

Neben der Senkung der Leerlaufzeiten sind unsere Arbeiter auch bemüht, die *Bearbeitungszeiten* zu verkürzen. Den richtungweisenden Weg hierfür beschritt der sowjetische Dreher *Pawel Bykow*. Er bewies, daß durch Erhöhen der Drehzahl und durch Vergrößern des Vorschubs die Bearbeitungszeiten herabgesetzt werden können. *Pawel Bykow* wurde durch seine Initiative zum Begründer des *Schnelldrehverfahrens*. Inzwischen wurde dieses Verfahren durch wissenschaftliche Untersuchungen weiter entwickelt. Man spricht heute vom *wirtschaftlichen Zerspanen*. Ständig sind unsere Wissenschaftler und Arbeiter bemüht, die Arbeitsmethoden zu verbessern, um noch größere Erfolge zu erringen.

Die Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit bringt eine wesentlich stärkere Erwärmung des Drehmeißels mit sich. Die bisher verwendeten Drehmeißel hielten dieser starken Erwärmung aber nur kurze Zeit stand und mußten daher recht oft gegen neue ausgewechselt werden. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wurde nicht nur die Form der Meißelschneiden verbessert, sondern es wurden auch für die Anfertigung von Drehmeißeln neue Metallzusammensetzungen erprobt. Es wurden sogar Stoffe untersucht, die bisher für solche Werkzeuge überhaupt nicht verwendet worden waren.

So wurden sehr gute Erfolge mit Drehmeißeln erzielt, bei denen als Schneiden Plättchen aus *keramischen Werkstoffen* verwendet werden. Die Widerstandsfähigkeit dieser keramischen Werkstoffe ist größer als die der bisher für Drehmeißel verwendeten Metalle. Außerdem sind die Rohstoffe für die keramischen Plättchen in genügender Menge in unserer Republik vorhanden.

Unsere Arbeiter wurden bei der Weiterentwicklung des Schnelldrehverfahrens ständig von sowjetischen Fachleuten unterstützt. Eine solche enge Zusammenarbeit ist nur zwischen sozialistischen Ländern möglich, da sie ihre Erfahrungen einander uneigennützig zur Verfügung stellen. Im Kapitalismus dagegen besteht sowohl zwischen den Unternehmern eines Landes als auch zwischen den Unternehmern verschiedener Länder ein rücksichtsloser Konkurrenzkampf. Verbesserungen der Produktionsverfahren oder neue Erfindungen werden nach Möglichkeit geheimgehalten oder durch Patente so geschützt, daß andere Betriebe sie nur gegen hohe Zahlungen übernehmen können.

4. Die weitere Entwicklung des Maschinenbaus. Der Maschinenbau in der Deutschen Demokratischen Republik hat beim Aufbau des Sozialismus große Aufgaben zu erfüllen. Die Leistungen des Maschinenbaus müssen unter anderem durch Einsparen von Material und Bearbeitungszeit erreicht werden.

Aus dem Vergleich der Bearbeitungsverfahren erkennt man, daß *für die spanlose Formung im allgemeinen weniger Zeit gebraucht wird und daß sie weniger Abfall ergibt als die spanabhebende Formung.* Man wird daher in Zukunft versuchen, immer mehr Maschinenteile durch spanlose Formung herzustellen. Dabei kommt es auch darauf an, die Verfahren der spanlosen Formung so zu verbessern, daß mit ihnen eine größere Genauigkeit erzielt werden kann.

Zwei Beispiele zeigen, wie die spanlose Formung schon jetzt teilweise die spanabhebende Formung ersetzt. Kegelräder wurden früher stets gedreht und gefräst. Das erforderte viel Zeit und ergab viel Abfall. Heute stellt man Kegelräder durch Präzisionsschmieden her. Eine andere Arbeit, für die sehr viel Zeit gebraucht wird, ist das Gewindeschneiden mittels der Drehmaschine. Dieses spanabhebende Verfahren kann in bestimmten Fällen durch das Gewindewalzen ersetzt werden. Hierbei ergeben sich keine Späne, und die Bearbeitungszeit ist wesentlich kürzer.

Es gilt nun, die spanlose Formung immer stärker anzuwenden. Manche Techniker und Arbeiter hängen aber aus Bequemlichkeit und Gewohnheit noch an den alten Methoden. Die Neuerer der Produktion führen jedoch Verbesserungen und neue Verfahren ein, sie klären ihre Kollegen auf und teilen ihnen ihre Erfahrungen mit. So entwickelt sich das Neue stets im Kampf gegen das Alte.

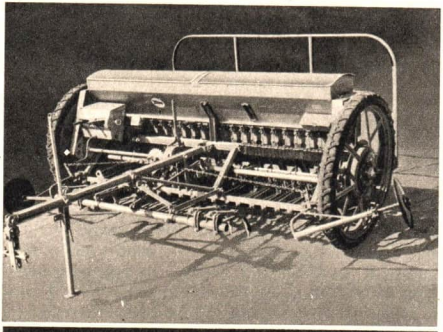
5. Fragen:

1. Worin unterscheidet sich der Maschinenbau in sozialistischen Ländern von dem in kapitalistischen Ländern?
2. Was versteht man unter Buntmetallen, und wozu werden sie verwendet?
3. Welche Bearbeitungsverfahren werden bei der Herstellung von Maschinenteilen hauptsächlich angewandt?

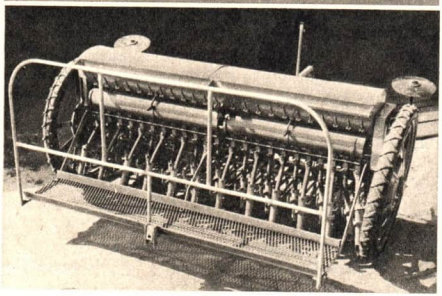
14. Einige Maschinen der landwirtschaftlichen Produktion

1. Die Drillmaschine. Eine der wichtigsten Maschinen der landwirtschaftlichen Produktion ist die *Drillmaschine* (Abb. **80**/1). Sie dient zum Einbringen des Saatgutes in den Boden. Über die ganze Breite der Maschine erstreckt sich der *Saatkasten*. Er wird mit dem auszusäenden Getreide gefüllt. Sein Querschnitt ist V-förmig, so daß das Saatgut leicht nachrutschen kann. Eine im unteren Teil des Kastens umlaufende *Rührwelle* verhindert das Festsetzen des Saatgutes.

Vom Saatkasten gelangt das Saatgut in einzelne Gehäuse, in denen die *Säräder* drehbar gelagert sind (Abb. **81**/1). Jedes Särad hat an seinem Umfang Vertiefungen. Diese nehmen immer nur eine bestimmte Menge des Saatgutes auf und geben sie an die *Saatleiter* weiter (Abb. **81**/2). Dadurch wird eine gleichmäßige Aussaat der erforderlichen Saatgutmenge erreicht. Die Säräder werden über die *Säwelle* vom Hinterrad der Maschine angetrieben. Die Drehzahl der Säwelle und damit der Sä-



a



b

Abb. **80**/1. Drillmaschine
a) Ansicht von vorn
b) Ansicht von hinten

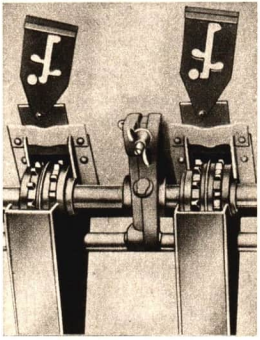


Abb. **81**/1
Säräder einer
Drillmaschine

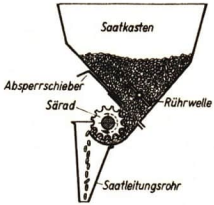
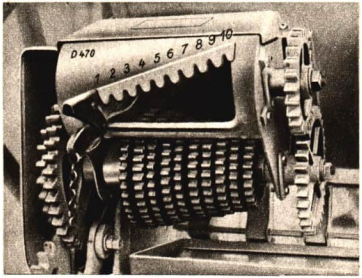


Abb. **81**/2
Die Wirkungsweise
der Säräder

räder ist regelbar, damit die zur Aussaat gelangende Saatgutmenge je nach der Art des Saatgutes geändert werden kann. So werden beispielsweise auf 1 ha nur 1 kg Mohn, aber 250 kg Lupine ausgesät.

Die Drehzahl der Säwelle wird durch ein *Vielstufengetriebe* geregelt, das zwischen dem Antriebsrad und der Säwelle eingebaut ist (Abb. **81**/3). Über die Saatleiter gelangt das Saatgut in den *Drillscharrumpf* (Abb. **82**/1). Das *Drillschar* zieht die Saatrille, in die die Körner fallen. Danach wird die Rille durch den *Zustreicher* wieder eingeebnet.

Von Zeit zu Zeit muß kontrolliert werden, ob die Drillmaschine noch die richtige Körnermenge abgibt. Diese Kontrolle erfolgt durch das *Abdrehen*. Dazu wird die Maschine aufgebockt. Mit den Hinterrädern wird nun eine vorher festgesetzte Anzahl von Umdrehungen ausgeführt und die dabei abgegebene Körnermenge gemessen. Hat beispielsweise eine Drillmaschine eine Arbeitsbreite von



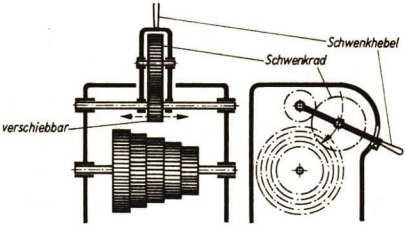


Abb. **81**/3. Vielstufengetriebe einer Drillmaschine

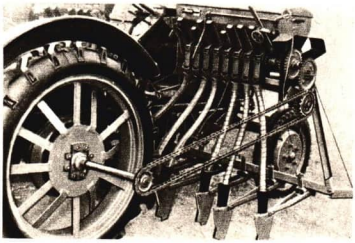


Abb. **82**/1. Saatleiter einer Drillmaschine. Darunter die Drillschare

2,5 m und einen Hinterradumfang von 4,4 m, so wird bei einer Raddrehung eine Fläche von

$$A = 2{,}5 \cdot 4{,}4\ \mathrm{m}^2 = 11\ \mathrm{m}^2$$

gedrillt. Zum Drillen einer Fläche von 1 ha sind somit

$$\frac{10\,000}{11} \approx 909$$

Umdrehungen erforderlich. Dreht man die Hinterräder der aufgebockten Maschine 45mal, so entspricht dies etwa dem 20. Teil von 909. Die Maschine muß infolgedessen den 20. Teil der für 1 ha vorgesehenen Körnermenge abgeben. Auf diese Weise hat man eine Kontrolle, ob das Getriebe der Maschine richtig eingestellt ist und ob die richtigen Säräder eingesetzt sind. Die Geschwindigkeit, mit der die Maschine beim Drillen fährt, ist auf die Körnermenge ohne Einfluß.

Mit Hilfe der Drillmaschine kann das Saatgut viel gleichmäßiger in den Boden gebracht werden als durch das Säen mit der Hand. Infolgedessen gehen die Saaten auch gleichmäßiger auf. An einen Traktor können außerdem mehrere Drillmaschinen angehängt werden, wodurch die Arbeit wesentlich beschleunigt wird. Während früher zum Säen mit der Hand bei einer Fläche von 1 ha 4 Arbeiter etwa 2 Stunden benötigten, werden für die gleiche Arbeit unter Verwendung eines Traktors und drei angehängter 3 m breiter Sämaschinen nur 0,4 Stunden benötigt. Somit sind für das Säen von Hand 8 Arbeitsstunden notwendig, während zum Drillen der gleichen Fläche 1,6 Arbeitsstunden gebraucht werden.

2. Die Förderketten-Kartoffellegemaschine. Das Kartoffellegen mit der Hand ist eine zeitraubende und körperlich anstrengende Arbeit. Während diese Arbeit früher nur mit der Hand ausgeführt wurde, werden in den volkseigenen Gütern und in den landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften heute in immer stärkerem Maße *Kartoffellegemaschinen* eingesetzt. Mit Hilfe dieser Maschinen wird die Arbeit wesentlich beschleunigt und erleichtert.

Eine vollautomatische Kartoffellegemaschine ist die *Förderkettenmaschine* (Abb. **83**/1). Sie wird von einem Schlepper gezogen und legt gleichzeitig vier Reihen Kartoffeln im Abstand von je 62,5 cm. Die vier Furchen werden mit Hilfe von Scharen oder Scheiben gezogen. In diese Furchen werden die Kartoffeln aus den *Aufnahmebehältern* durch *Legevorrichtungen* befördert. Jede Legevorrichtung besteht aus einer *endlosen Kette*, an der in bestimmten Abständen *löffelartige Becher* befestigt sind (Abb. **83**/2). Die Förderkette wird von den Bodenrädern über ein Zahnrad und ein Kettengetriebe in Bewegung gesetzt. Jeder Becher hebt eine Kartoffel aus dem Aufnahmebehälter. Sie fällt im oberen Wendepunkt der Förderkette aus dem Becher

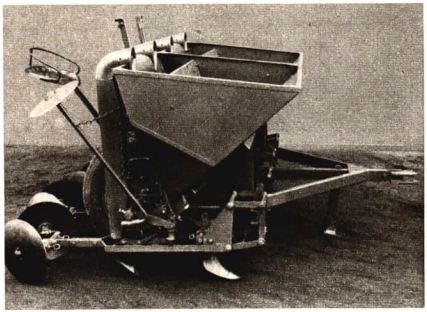


Abb. **83**/1
Förderketten-Kartoffellegemaschine

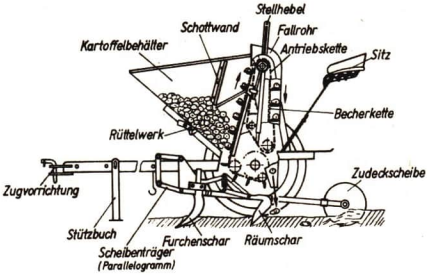


Abb. **83**/2
Aufnahmebehälter und Förderkette mit Bechern

auf den Rücken des vorhergehenden Bechers. Die Kette bewegt sich durch das *Legerohr* hindurch abwärts. Am unteren Wendepunkt fällt die Kartoffel in die Furche. Zwei *Zudeckscheiben* bedecken jede Kartoffelreihe mit Erde und häufeln einen Damm an (vgl. Abb. **58**/2).

Damit die Kartoffellegemaschine gleichmäßig arbeitet, müssen die Kartoffeln möglichst einen Durchmesser von etwa 4 cm bis 5 cm haben. Zu große oder längliche Kartoffeln würden aus den Bechern fallen, so daß beim Legen *Fehlstellen* entstehen. Auch dürfen die Keime nicht zu lang sein, da sie sonst in der Maschine abbrechen.

3. Der Kartoffel-Schleuderradroder. In kleineren landwirtschaftlichen Betrieben werden zum Ernten der Kartoffeln häufig *Schleuderradroder* verwendet (Abb. **84**/1). Sie werden von Tieren gezogen.

Ein flach gewölbtes *Rodeschar* schneidet unterhalb der Kartoffelknollen den Erddamm ab und hebt ihn etwas an. Dicht hinter dem Schar dreht sich mit großer

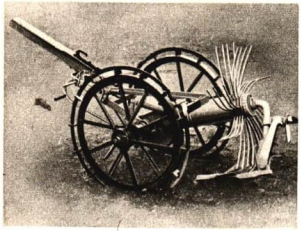


Abb. **84**/1 Schleuderradroder

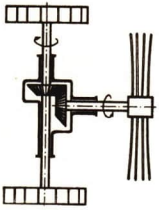


Abb. **84**/2 Kegelradgetriebe eines Schleuderradroders

Geschwindigkeit der *Schleuderstern*. Seine *Förderzinken* erfassen den Boden mit den Kartoffeln und schleudern alles zur Seite. Die Kartoffeln bleiben auf einem 1 m bis 2 m breiten Erdstreifen liegen und müssen sofort aufgelesen werden, damit sie beim Roden des nächsten Dammes nicht zugeschüttet werden.

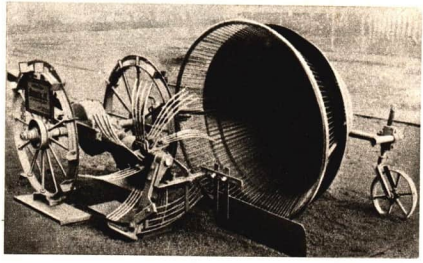


Abb. **84**/3. Schleuderradroder mit Siebtrommel

Der Schleuderstern wird über ein *Kegelradgetriebe*, das auf der Achse des Fahrgestells angebracht ist, in Bewegung gesetzt (Abb. **84**/2). Durch das Kegelradgetriebe wird die Drehbewegung der Radachse um 90° umgelenkt. Die Welle des Schleudersternes und seine Zinken bilden ein Wellrad. Gegenüber der sonst üblichen Verwendung des Wellrades wirkt hier die Kraft an der Welle mit dem kleineren Radius und die Last an der Welle mit dem größeren Radius. Durch den Schleuderstern wird somit keine Kraft gespart, sondern die Geschwindigkeit erhöht. Seine Wirkungsweise ist ähnlich der eines Wurfhebels.

Damit die Kartoffeln durch den Roder nicht zu weit geschleudert werden, koppelt man ihn oft mit einer großen *Siebtrommel* (Abb. **84**/3). Sie rollt neben dem Schleuderstern auf dem Boden mit. Erde und Knollen werden in die Trommel geschleudert. Während die Erde durch das Sieb fällt, rollen die Kartoffeln aus der Trommel heraus und bleiben in einer schmalen Reihe auf dem Boden liegen. Dadurch können die Knollen wesentlich leichter und schneller aufgelesen werden.

4. Die Kartoffel-Vollerntemaschine. Die Kartoffelernte wird durch die Anwendung der *Kartoffel-Vollerntemaschine* weitgehend mechanisiert (Abb. **85**/1). Diese

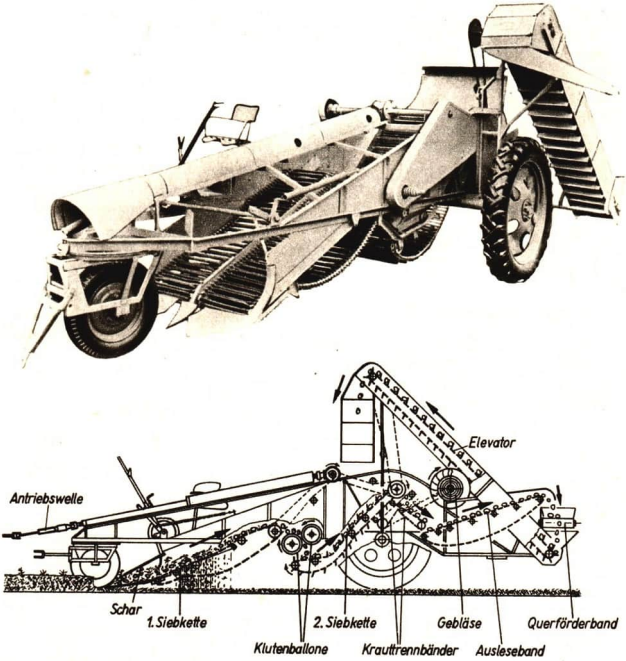


Abb. **85**/1. Kartoffel-Vollerntemaschine

Maschine nimmt die Erddämme einschließlich der Kartoffeln auf, trennt die Knollen von der Erde und vom Kraut und erspart schließlich auch das mühevolle Auflesen der Kartoffeln.

Die Vollerntemaschine wird von einem Schlepper gezogen. Flache Schare schneiden zwei benachbarte Erddämme ab und heben sie auf je eine *Siebkette*. Diese endlose Kette besteht aus nebeneinanderliegenden Stahlstäben. Die Erde mit den Kartoffeln wird durch die schwach ansteigenden Siebketten wie auf einer schiefen Ebene emporgehoben (Abb. **86**/1). Dabei fällt die lockere Erde durch die Siebketten hindurch. Das übrige Rodegut gelangt am oberen Ende der Siebketten zwischen zwei *elastische Gummiwalzen*, durch die noch vorhandene Erdklumpen zerdrückt

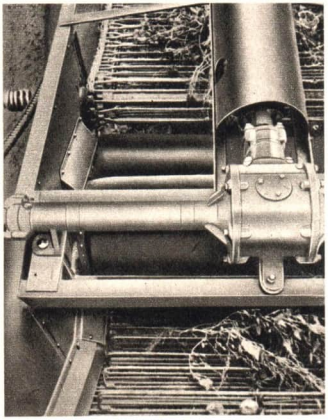
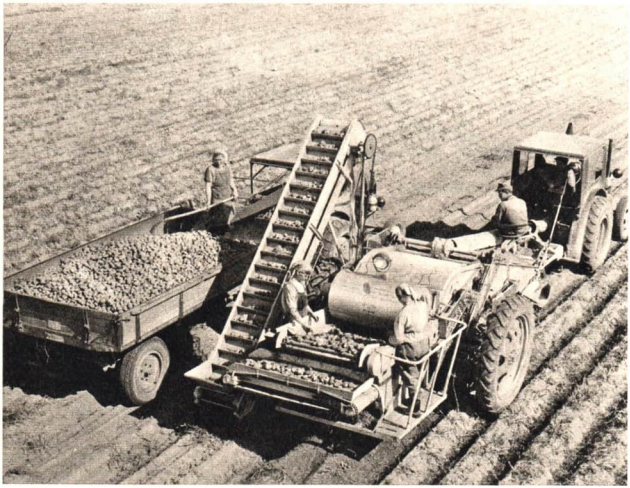


Abb. **86**/1. Siebketten, Gummiwalzen und Krauttrennbänder (Blick von hinten oben in die Maschine)

werden. Das Rodegut fällt nun auf die *Krauttrennbänder*. Durch den kräftigen Luftstrom eines Gebläses wird das Kraut gegen ein *Gummiförderband* gedrückt, das das Kraut mitnimmt und oben auswirft. Die Knollen und die Steine fallen auf ein *Ausleseband*, wo die Steine und die Mutterkartoffeln ausgelesen werden (Abb. **86**/2). Für diese Arbeit sind je nach der Art des Bodens und dem Knollenansatz zwei bis vier

Abb. **86**/2
Verlesen der Kartoffeln



Arbeitskräfte erforderlich. Die sauberen Knollen werden mit Hilfe eines Förderbandes auf einen neben der Vollerntemaschine fahrenden Wagen geladen.

5. Die Mechanisierung der Landwirtschaft. In unserer Deutschen Demokratischen Republik werden immer mehr landwirtschaftliche Arbeiten, die bisher mit der Hand verrichtet wurden, von Maschinen ausgeführt. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Mechanisierung der Landwirtschaft.* Durch den Einsatz von Maschinen werden *Arbeitskräfte eingespart.* So braucht man beispielsweise zum Bestellen von 2,5 ha Kartoffeln von Hand hinter dem Pflug bei drei Gespannen und insgesamt neun Arbeitskräften acht Stunden. Dagegen wird die gleiche Arbeit mit Hilfe einer einfachen vierreihigen Legemaschine mit Schlepper und drei Arbeitskräften in etwa 4 Stunden geschafft. Durch den Einsatz von Maschinen kann in diesem Falle die Arbeitszeit von 72 Stunden auf 12 gesenkt werden.

Ein weiterer Vorteil der Mechanisierung der Landwirtschaft ist die *Erleichterung der körperlichen Arbeit.* Besonders deutlich wird dies, wenn man die verschiedenen Arbeitsverfahren bei der Kartoffelernte miteinander vergleicht. Die schwere körperliche Arbeit beim Kartoffelroden wurde bereits durch die Verwendung des Schleuderradroders erleichtert. Dabei braucht man nur noch die Kartoffeln in Körbe zu sammeln, auf Wagen zu laden und einzufahren. Durch den Einsatz der Vollerntemaschine schließlich fällt jedes Bücken, Heben und Tragen ganz fort. Vom Roden bis zum Verladen werden alle Arbeiten mechanisch ausgeführt.

Weiterhin werden durch die Mechanisierung der Landwirtschaft die *Erträge gesteigert.* Dies wird beispielsweise beim Vergleich von Handsaat und Maschinensaat deutlich. Bei der Maschinensaat wird das Saatgut regelmäßig verteilt. Die Saatkörner kommen in die richtige Tiefe, und es wird die jeweils für die Pflanze günstigste Bestandsdichte erreicht. Infolgedessen wird ein hoher Ertrag erzielt, der größer als bei der Handsaat ist. Bei ihr kann das Saatgut nicht regelmäßig verteilt werden. Auch können die Körner durch das Eggen nicht in eine gleichmäßige Tiefe gebracht werden.

Durch die Mechanisierung der Landwirtschaft werden die Erträge gesteigert. Es werden Arbeitskräfte eingespart, und die körperliche Arbeit wird erleichtert.

Diese Vorteile können jedoch nur in einem sozialistischen Staate für die gesamte Bevölkerung von Nutzen sein. In einem kapitalistischen Staate können die Klein- und Mittelbauern sich nicht die großen Maschinen anschaffen. Sie arbeiten weiterhin nach überholten Arbeitsmethoden. Der Großgrundbesitzer dagegen kann die moderne Landtechnik ausnutzen. Er erzielt infolgedessen größere Erträge und damit größere Einnahmen. Diese dienen jedoch nur zur Erhöhung seines eigenen Profits. Die von ihm ausgebeuteten Landarbeiter haben durch die Anwendung der Maschinen keine Vorteile, sondern nur Nachteile. Da durch die Mechanisierung Arbeitskräfte eingespart werden, entläßt der Großgrundbesitzer immer mehr Landarbeiter. Viele von ihnen finden als ungelernte Arbeitskräfte keine andere Beschäftigung und gehören dann zu der großen Zahl der Arbeitslosen.

In unserer Deutschen Demokratischen Republik dagegen und in anderen sozialistischen Ländern ist die Mechanisierung der Landwirtschaft für alle Werktätigen

von großer Bedeutung. Die Steigerung der Ernteerträge dient der Verbesserung der Lebenshaltung des gesamten Volkes. Je mehr landwirtschaftliche Produkte im eigenen Land erzeugt werden, desto weniger brauchen eingeführt zu werden. Dadurch können andere wichtige Produkte, wie Rohstoffe, Maschinen, Südfrüchte, importiert werden.

Die Erleichterung der körperlichen Arbeit und die Einsparung von Arbeitskräften kommen allen zugute, die in der Landwirtschaft tätig sind. Der Arbeitstag auf dem Lande wird verkürzt werden. Die Arbeiter unserer volkseigenen Güter und die Genossenschaftsbauern können sich weiterbilden. Das kulturelle Leben auf dem Lande verstärkt sich immer mehr.

Diese Veränderungen können jedoch nur dann erreicht werden, wenn alle in der Landwirtschaft Tätigen auf sozialistische Weise arbeiten. Die Erfahrung zeigt, daß nur große Flächen rationell mechanisch bearbeitet werden können. Dies erkannten auch die Einzelbauern, die noch individuell wirtschafteten, und traten landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften bei. So wurden unsere Dörfer sozialistisch umgestaltet.

Die Mechanisierung der Landwirtschaft stellt aber auch allen Schülern auf dem Lande besondere Aufgaben. Sie müssen ein wesentlich größeres Wissen erwerben, als dies in den früheren Landschulen möglich war, damit sie später die neuen Maschinen bedienen und die Landtechnik weiterentwickeln können. Daher werden auch auf dem Lande immer mehr Schüler die allgemeinbildende zehnklassige polytechnische Oberschule besuchen. Viele dieser Schüler werden nach dem Abschluß ihrer Oberschulbildung einen landwirtschaftlichen Beruf erlernen, sich in landwirtschaftlichen Berufsschulen weiterbilden oder an der Hochschule studieren. Die sozialistische Landwirtschaft braucht viele gute Facharbeiter.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Beschreibe die Kontrolle einer Drillmaschine durch Abdrehen!
2. Nenne einfache kraftumformende Einrichtungen, die an der Kartoffel-Vollerntemaschine verwendet werden!
3. Schildere am Beispiel der Kartoffellegemaschine und der Kartoffel-Vollerntemaschine die Vorteile der Mechanisierung der Landwirtschaft!
4. Wozu führt die Mechanisierung der Landwirtschaft in einem sozialistischen und in einem kapitalistischen Land?

15. Arbeit und Leistung

1. Die Arbeit. Im täglichen Leben wird das Wort *Arbeit* für sehr unterschiedliche Tätigkeiten gebraucht. Man spricht von körperlicher und geistiger Arbeit, von Hand- und Maschinenarbeit, von Lernarbeit usw. Hiervon muß der *physikalische Begriff Arbeit* deutlich unterschieden werden.

In der Mechanik spricht man von Arbeit, wenn durch eine Kraft ein Körper bewegt wird. Ein Bauarbeiter, der Ziegelsteine auf einer Treppe emporträgt, ver-

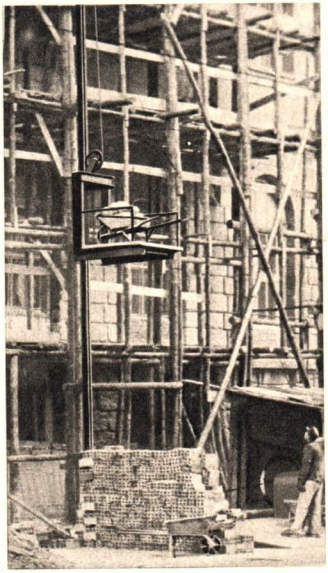


Abb. **89**/1. Lastenaufzug. An einer Führungsschiene gleitet eine Plattform, die die Last trägt. Hat die Plattform die bestimmte Höhe erreicht, so wird sie auf das Gerüst zum Hause hin eingeschwenkt und entladen

richtet mechanische Arbeit. Das gleiche ist auch bei Lastenaufzügen der Fall (Abb. **89**/1), die ebenso wie Transportbänder und Kräne den Menschen die Arbeit erleichtern. Eine Wasserpumpe verrichtet Arbeit, wenn sie Wasser in einen höher gelegenen Behälter pumpt.

Zum Verrichten einer Arbeit ist somit einmal eine Kraft erforderlich, und zum anderen muß durch diese Kraft der Körper bewegt werden. Über den Zusammenhang von Kraft und Weg wird in der *Goldenen Regel der Mechanik* ausgesagt, daß man an Kraft nur auf Kosten des Weges einsparen kann und umgekehrt. Bildet man bei dem in Abbildung **33**/2 wiedergegebenen Versuch das Produkt aus Kraft und Weg, so ist dieses konstant. Dies gilt auch für alle anderen kraftumformenden Einrichtungen. Es hat sich daher als zweckmäßig erwiesen, das Produkt aus Kraft und Weg als Maß für die **Arbeit** zu verwenden.

Die Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg.

Man kann auch kurz sagen

Arbeit = Kraft · Weg.

$$\boxed{A = F \cdot s}\ .$$

Da die Arbeit das Produkt aus Kraft und Weg ist, muß die *Maßeinheit der Arbeit* gleich dem Produkt aus Krafteinheit und Längeneinheit sein.

Die Maßeinheit der Arbeit ist das Kilopondmeter (kpm).

Hebt ein Lastenaufzug eine Karre mit Ziegelsteinen ($F = 130$ kp) zum zweiten Stockwerk ($s = 7$ m) hoch, so beträgt die Arbeit

$$A = F \cdot s = 130 \cdot 7 \text{ kpm},$$
$$A = 910 \text{ kpm}.$$

2. Die Leistung. In der Produktion kommt es nicht nur darauf an, wie groß die Arbeit ist, die eine Maschine verrichtet, sondern auch auf die Zeit, in der diese Arbeit ausgeführt wird. Je kürzer die Zeit ist, in der eine bestimmte Arbeit verrichtet wird, desto mehr kann produziert werden. Da also beim Vergleich verschiedener Arbeiten die Zeiten berücksichtigt werden müssen, in der die Arbeiten durchgeführt werden, war es notwendig, einen neuen Begriff einzuführen, die **Leistung.**

Eine Leistung ist um so größer, je größer die verrichtete Arbeit ist. Leistung (P) und Arbeit (A) stehen also in geradem Verhältnis.

$$P \sim A.$$

Eine Leistung ist außerdem um so größer, je geringer die Zeit (t) *ist*, in der die betreffende Arbeit verrichtet wird.

$$P \sim \frac{1}{t}.$$

Da *die Leistung um so größer ist, je größer die verrichtete Arbeit und je kleiner die dafür erforderliche Zeit ist*, wurde festgelegt:

Die Leistung ist der Quotient aus der Arbeit und der Zeit.

$$\textbf{Leistung} = \frac{\textbf{Arbeit}}{\textbf{Zeit}}.$$

$$\boxed{P = \frac{A}{t}}.$$

Die *Maßeinheit der Leistung* ergibt sich aus den Maßeinheiten der Arbeit und der Zeit.

Die Maßeinheit der Leistung ist das Kilopondmeter je Sekunde $\left(\frac{\text{kpm}}{\text{s}}\right)$.

In der Technik wird häufig eine andere Maßeinheit für die Leistung verwendet, nämlich das **Watt** (W) bzw. das **Kilowatt** (kW). Zwischen diesen Einheiten bestehen folgende Beziehungen:

$$1\ \text{kW} = 1000\ \text{W},$$

$$1\ \text{kW} = 102\,\frac{\text{kpm}}{\text{s}},$$

$$\frac{1\ \text{kpm}}{\text{s}} = 9{,}81\ \text{W}.$$

Früher wurde als Leistungseinheit vor allem die **Pferdestärke** (PS) benutzt, da man die Leistung der ersten Maschinen mit der Leistung der Pferde verglich.

$$1\ \text{PS} = \frac{75\,\text{kpm}}{\text{s}}.$$

Heute wird die Einheit PS nur noch bei Motoren für Kraftfahrzeuge und bei Dampfmaschinen verwendet.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige Leistungen.

Leistungsträger	Leistung $\frac{kpm}{s}$	Leistung kW
Fahrraddynamo	0,2	0,002
Mensch (Dauerleistung)	7,5	0,075
Pferd (Dauerleistung)	50	0,5
Personenkraftwagen (Wartburg)	2775	27,2
Straßenbahnwagen	10200	100
Dampflokomotive BR 01	150000	1470
Elektrische Lokomotive (6achsig)	324000	3180
Dampfturbine	8160000	80000
Kraftwerk Klingenberg	27500000	270000
Wasserkraftwerk Kuibyschew	204000000	2000000

3. Der Wirkungsgrad. Keine Maschine gibt wieder die gleiche Leistung ab, die man ihr zugeführt hat. Stets wird ein Teil der Antriebsleistung in Wärme umgewandelt und geht damit der Nutzung verloren. So ist *die Nutzleistung jeder Maschine stets kleiner als ihre Antriebsleistung.* Das Verhältnis der Nutzleistung (P_2) zur Antriebsleistung (P_1) bezeichnet man als den **Wirkungsgrad** η (sprich: eta) der Maschine. Er ist immer kleiner als 1.

Der Wirkungsgrad ist der Quotient aus der Nutzleistung und der Antriebsleistung.

$$\boxed{\eta = \frac{P_2}{P_1} < 1} \; .$$

Der Wirkungsgrad wird meist in Prozenten angegeben. So liegt der Wirkungsgrad einer Drehmaschine zwischen 0,7 und 0,85 oder in Prozenten ausgedrückt 70 bis 85 %.

Der Wirkungsgrad einer Maschine ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Je größer er ist, mit desto größerem Nutzen arbeitet die Maschine. Daher müssen Maschinen regelmäßig gepflegt werden. Durch rechtzeitiges und richtiges Ölen und Schmieren sorgt man dafür, daß die Verluste infolge der Reibung gering bleiben und infolgedessen die Maschine eine möglichst große Leistung abgibt.

4. Die mechanische Energie. In vielen Betrieben wird Druckluft verwendet. Durch die zusammengepreßte Luft werden beispielsweise Drucklufthämmer angetrieben. *Mit Hilfe der zusammengepreßten Luft kann Arbeit verrichtet werden.* Ebenso können Maschinen durch Winde, also durch bewegte Luft, angetrieben werden. *Somit kann auch bewegte Luft Arbeit verrichten.* Das Arbeitsvermögen eines Körpers bezeichnet man als **Energie.**

Energie ist das Arbeitsvermögen eines Körpers.

Wird ein Körper an einen höher gelegenen Ort gehoben, so ist dazu eine ganz bestimmte Arbeit erforderlich. Sie ergibt sich aus dem Gewicht des Körpers und

dem Höhenunterschied, um den er gehoben wird. Diese Arbeit ist dann in dem Körper als Energie vorhanden. Durch die höhere Lage kann nun der Körper wieder Arbeit verrichten. Man bezeichnet diese Energieform als **Lageenergie** oder **potentielle Energie.** Die potentielle Energie kann wieder als Arbeit gewonnen werden, wenn der Körper an den ursprünglichen Ort zurückfällt, zurückgleitet oder zurückrollt. So besitzt beispielsweise ein gehobener Rammbär potentielle Energie. Das gleiche gilt für ein hochgezogenes Uhrgewicht und für das in einer Talsperre gestaute Wasser.

Als Maß für die potentielle Energie eines Körpers dient die Arbeit, die zum Heben eines Körpers erforderlich war. Sie ist gleich der Arbeit, die auch beim Herabfallen des Körpers wieder verrichtet werden kann. Da die Arbeit das Produkt aus Kraft und Weg ist,

$$A = F \cdot s,$$

ist die potentielle Energie W_{pot} das Produkt aus dem Gewicht G des Körpers und der Höhe h.

$$\boxed{W_{pot} = G \cdot h} \; . \quad \boxed{E_{pot} = G \cdot h}$$

Die potentielle Energie eines Körpers ist gleich dem Produkt aus seinem Gewicht und der Höhe.

Die *Maßeinheit der potentiellen Energie* ist das **Kilopondmeter** (kpm).

Der Begriff der potentiellen Energie ist aber nicht nur auf solche Fälle beschränkt, in denen der Körper gehoben werden mußte. Auch gespannte Federn und Druckluft haben potentielle Energie.

Jeder bewegte Körper vermag ebenfalls Arbeit zu verrichten. So hält das Schwungrad einer Maschine diese noch längere Zeit in Tätigkeit, obwohl der Antrieb bereits ausgesetzt hat. Auch der herabfallende Rammbär verrichtet Arbeit. Strömendes Wasser treibt Turbinen. Diese Energieform wird als **Bewegungsenergie** oder **kinetische Energie** bezeichnet. *Sie ist um so größer, je größer die Masse des Körpers und je größer seine Geschwindigkeit ist.*

Sowohl die potentielle Energie als auch die kinetische Energie sind Formen der **mechanischen Energie.** Andere Energiearten sind beispielsweise die Wärmeenergie und die elektrische Energie.

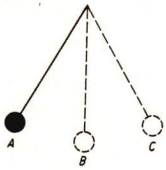


Abb. 92/1
Bewegung eines Pendels

Am Beispiel der Ramme erkennt man, daß sich *die potentielle Energie des Rammbärs beim Herabfallen in kinetische Energie umwandelt.* Eine ähnliche Umwandlung vollzieht sich auch in den Wasserkraftwerken. Die potentielle Energie des gestauten Wassers wandelt sich in kinetische Energie des strömenden Wassers um.

Bei der Bewegung eines Pendels (Abb. **92**/1) wird ständig die potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt und umgekehrt. Im Umkehrpunkt A seiner Bewegung ist das Pendel in Ruhe. Es hat nur potentielle Energie. Während sich das

Pendel von *A* nach *B* bewegt, nimmt die potentielle Energie ab und die kinetische Energie zu. In der tiefsten Lage *B* hat das Pendel nur kinetische Energie. Bei der Bewegung von *B* nach *C* nimmt die kinetische Energie ständig ab und die potentielle Energie zu. Im Umkehrpunkt *C* ist wiederum nur potentielle Energie vorhanden. Beim Rückgang des Pendels von *C* nach *A* vollziehen sich die gleichen Energieumwandlungen. Würde nicht durch Reibung ein Teil der Gesamtenergie in Wärme umgewandelt, so würde sich das Pendel unaufhörlich hin und her bewegen. Die Summe aus der potentiellen Energie und der kinetischen Energie bleibt, abgesehen von Verlusten durch Reibung, stets erhalten. Diese Erkenntnis wurde im **Gesetz von der Erhaltung der mechanischen Energie** zum Ausdruck gebracht.

Bei der Umwandlung potentieller Energie in kinetische Energie und umgekehrt bleibt die gesamte mechanische Energie erhalten, wenn man von Reibungsverlusten absieht.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Du trägst einen Korb mit Kartoffeln (15 kp) aus dem Keller zur Wohnung im 3. Stock (h = 16 m) empor und brauchst dazu 80 s. Dein Freund holt Kohlen (20 kp) aus dem Keller und bringt sie in den 2. Stock (h = 12 m). Die Zeit beträgt 60 s. Wie groß ist in jedem Falle die Arbeit und die Leistung?
2. Warum ist der Wirkungsgrad einer Maschine stets kleiner als 1?
3. Schildere Beispiele für die Umwandlung von potentieller in kinetische Energie! Welches Naturgesetz spielt dabei eine Rolle?

II. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

16. Druckausbreitung in Flüssigkeiten

1. Ausbreitung und Übertragung des Druckes — Der hydraulische Wagenheber. Mit Hilfe eines *hydraulischen Wagenhebers* können Kraftwagen so weit angehoben werden, daß der Kraftfahrzeugschlosser stehend Reparaturen an der Unterseite des Wagens ausführen kann (Abb. **94**/1). Man findet solche Wagenheber an vielen Tankstellen und besonders in Autoreparaturwerkstätten. Zur Betätigung des Wagenhebers ist nur eine geringe Kraft erforderlich, obwohl der Kraftwagen sehr schwer ist. Diese überraschende Tatsache muß offensichtlich ihre Ursache in der Konstruktion des Wagenhebers haben. Der Motor treibt eine Pumpe mit einem Kolben an, dessen Durchmesser im Verhältnis zum Durchmesser des Druckkolbens klein ist

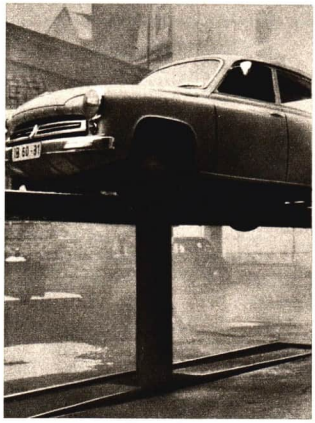
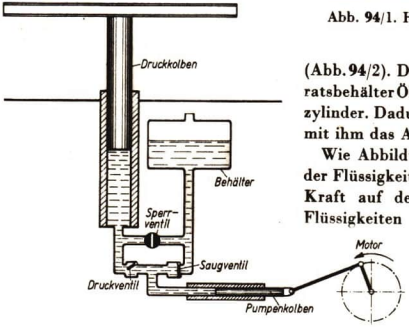


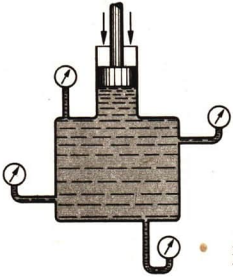
Abb. **94**/1. Hydraulischer Wagenheber



(Abb. **94**/2). Die Pumpe saugt aus einem Vorratsbehälter Öl an und drückt es in den Druckzylinder. Dadurch wird der Druckkolben und mit ihm das Auto angehoben.

Wie Abbildung **94**/2 zeigt, wird mit Hilfe der Flüssigkeit die von der Pumpe ausgeübte Kraft auf den Druckzylinder übertragen. Flüssigkeiten eignen sich für eine solche

Abb. **94**/2. Wirkungsweise eines hydraulischen Wagenhebers



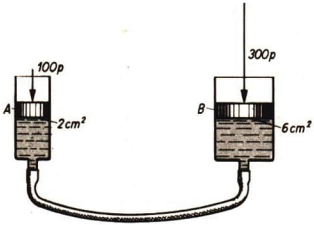


Abb. 95/2. Drucküberragung in Flüssigkeiten

Abb. 95/1
Druck eines Kolbens auf eine abgeschlossene Flüssigkeit

Kraftübertragung, da sie sich im Gegensatz zu Gasen kaum zusammendrücken lassen. Hält man die Öffnung einer Luftpumpe zu, so kann man trotzdem den Kolben sehr weit in den Zylinder hineindrücken. Würde man aber die Luftpumpe mit Wasser füllen, so wäre es nicht möglich, den Kolben merklich in den Zylinder hineinzudrücken. Versuche haben ergeben, daß sehr große Drücke erforderlich sind, um eine Flüssigkeit auch nur ein wenig zusammenzupressen. Es ist ein Druck von 100 at notwendig, um das Volumen von 1 l Wasser um 5 ml zu verringern.

Flüssigkeiten können nur sehr wenig zusammengedrückt werden.

Mit dem Pumpenkolben beim Wagenheber und dem Kolben der Luftpumpe wurde ein *Druck* auf eine abgeschlossene Flüssigkeit ausgeübt (Abb. **95**/1). Dieser Druck wird als **Kolbendruck** bezeichnet.

Mit Hilfe des folgenden Versuches soll erklärt werden, warum bei einem Wagenheber der Durchmesser des Pumpenkolbens wesentlich kleiner ist als der des Druckkolbens. Abbildung **95**/2 zeigt das Modell eines Wagenhebers. Zwei Glasröhren unterschiedlichen Durchmessers sind durch einen Gummischlauch miteinander verbunden und mit Wasser gefüllt. Die leicht beweglichen Kolben A mit der Fläche $A_A = 2\ \text{cm}^2$ und B mit der Fläche $A_B = 6\ \text{cm}^2$ schließen die Flüssigkeit nach oben ab. Es ist Gleichgewicht vorhanden, wenn beide Kolben den gleichen Druck auf die Flüssigkeit ausüben. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn der Kolben A mit $F_A = 100$ p und der Kolben B mit $F_B = 300$ p belastet wird. Das gleiche Ergebnis erhält man auch bei einer Belastung von A mit 200 p und B mit 600 p. Nach der Gleichung für den Druck $p = \frac{F}{A}$ lassen sich die Drücke auf die Kolben A und B berechnen:

$$p_A = \frac{100}{2}\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2} = 50\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}, \quad p_B = \frac{300}{6}\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2} = 50\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}$$

bzw.

$$p_A = \frac{200}{2}\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2} = 100\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}, \quad p_B = \frac{600}{6}\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2} = 100\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}.$$

Ein Vergleich der beiden Kräfte zeigt, daß die Druckkraft F_B den dreifachen Wert der Druckkraft F_A hat. Andererseits hat A_B den dreifachen Wert von A_A. Es gelten also die Proportionen:

$$100\ \text{p} : 300\ \text{p} = 2\ \text{cm}^2 : 6\ \text{cm}^2,$$
$$200\ \text{p} : 600\ \text{p} = 2\ \text{cm}^2 : 6\ \text{cm}^2$$

oder

$$\boxed{F_A : F_B = A_A : A_B}\ .$$

Die Kraft auf den Kolben *A* eines Wagenhebers kann um so kleiner sein, je geringer der Querschnitt des Kolbens *A* gegenüber dem Querschnitt des Kolbens *B* ist.

Daraus folgt, daß man bei entsprechender Größe der Kolbenflächen mit einer geringen Druckkraft am Kolben *A* eine große Druckkraft am Kolben *B* erreichen kann.

Die Versuche zeigen, daß die allgemeine Gleichung für den Druck $p = \frac{F}{A}$ auch zur Berechnung des Kolbendruckes verwendet werden kann.

$$\textbf{Kolbendruck} = \frac{\textbf{Kolbendruckkraft}}{\textbf{Kolbenfläche}},$$

$$\boxed{p = \frac{F}{A}}\ .$$

Der Kolbendruck ist der Quotient aus der Kolbendruckkraft und der Kolbenfläche.

Die Maßeinheit des Kolbendruckes ist

$$1\ \text{at} = 1\ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}.$$

Drückt man in den Zylinder einer Kugelspritze mit angesetzten Manometerröhrchen einen Kolben hinein, so steigt die Flüssigkeit in allen Manometerröhrchen gleich hoch (Abb. **96**/1). Daraus folgt, daß sich der Kolbendruck nach allen Seiten hin gleichmäßig ausbreitet.

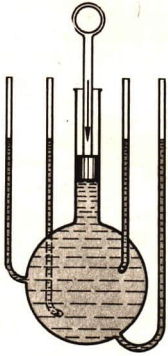


Abb. **96**/1. Kugelspritze mit angesetztem Manometerröhrchen

In Flüssigkeiten breitet sich der Druck nach allen Seiten gleichmäßig aus.

Zum Heben eines Kraftwagens muß eine bestimmte Arbeit verrichtet werden. Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg. Deshalb sind jetzt noch die Wege zu untersuchen, die von den Kolben *A* und *B* zurückgelegt werden.

Bewegt man bei dem Wagenhebermodell den Kolben *A* um 9 cm nach unten, so werden durch den Schlauch 18 cm³ Wasser in den rechten Zylinder verdrängt (Abb. **97**/1). Da dieser jedoch einen größeren Querschnitt hat, nämlich 6 cm², hebt die Wassermenge von 18 cm³ den Kolben *B* nur um 3 cm. Bildet man das Produkt aus Kolbenweg und Druckkraft für beide Seiten, so erhält man

$$100 \cdot 9\ \text{p cm} = 300 \cdot 3\ \text{p cm},$$
$$900\ \text{p cm} = 900\ \text{p cm}.$$

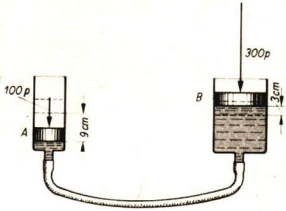


Abb. 97/1. Die Drucküberträgung in Flüssigkeiten ist eine kraftumformende Einrichtung

Für die Drucküberträgung in Flüssigkeiten gilt somit auch die Goldene Regel der Mechanik: **Was an Kraft gespart wird, muß an Weg zugesetzt werden. Bildet man das Produkt aus der Kraft (p) und dem Weg (cm), so erhält man die Arbeit (pcm). Wie die obige Gleichung zeigt, bleibt die Arbeit bei der Drucküberträgung gleich.**

Einrichtungen, die die Drucküberträgung in Flüssigkeiten ausnutzen, werden als *hydraulische Anlagen* bezeichnet. Alle diese Anlagen stimmen in ihrem grundsätzlichen Aufbau überein: Mit Hilfe eines meist von einem Motor angetriebenen Kolbens wird auf die Flüssigkeit ein Druck ausgeübt. Dieser wirkt auf einen zweiten Kolben und kann dort zum Verrichten von Arbeit ausgenutzt werden (Abb. 97/2). Verhalten sich bei einer hydraulischen Anlage die Kolbenflächen beispielsweise wie 1 zu 100, so wird am Kolben *B* eine Kraft ausgeübt, die einhundertmal so groß wie die antreibende Kraft ist.

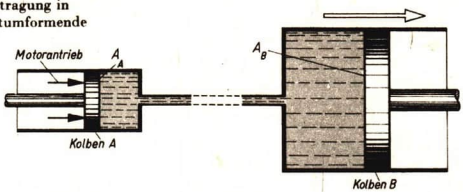


Abb. 97/2. Prinzipieller Aufbau einer hydraulischen Anlage

Damit der Kolben *B* um 1 m verschoben wird, müßte nach der Goldenen Regel der Mechanik der Kolben *A* um 100 m bewegt werden. Eine Maschine mit einem so langen Zylinder zu bauen, wäre jedoch aus technischen Gründen sinnlos. Der Kolben *A* ist daher bei vielen hydraulischen Anlagen der Kolben einer Pumpe. Durch diese Pumpe wird die Flüssigkeit aus einem Vorratsbehälter in den Arbeitszylinder gedrückt (Abb. 97/3). Soll sich der

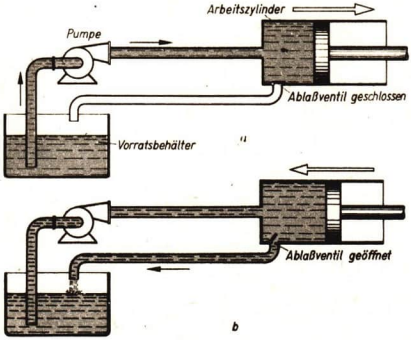
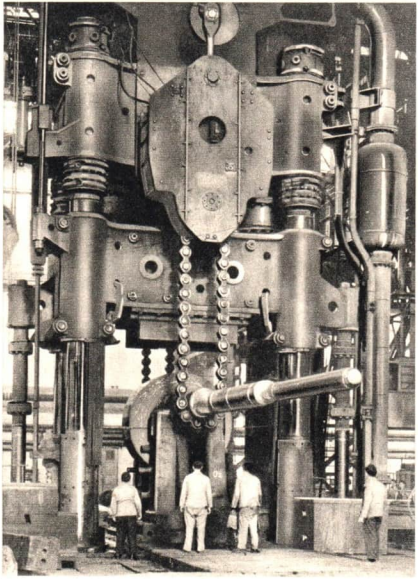


Abb. 97/3. Hydraulische Anlage mit Pumpe

Abb. **98**/1. Schmiedepresse im VEB Stahl- und Walzwerk Gröditz



Arbeitskolben in seine ursprüngliche Lage zurückbewegen, so strömt die Flüssigkeit durch ein Ventil wieder in den Vorratsbehälter zurück (Abbildung **97**/3b). Der nötige Kolbenweg von 100 m wird dabei als Summe vieler kleiner Kolbenhübe zurückgelegt.

Als Betriebsflüssigkeit wird bei hydraulischen Anlagen vorwiegend Öl verwendet. Öl verdunstet kaum, schmiert gleichzeitig die bewegten Teile und schützt sie außerdem gegen Rosten. Drucköle sind weitgehend frostsicher, so daß hydraulische Anlagen auch bei Frost einwandfrei arbeiten.

2. Anwendungen der Drucküberragung in Flüssigkeiten. Das Gesetz von der Druckausbreitung in Flüssigkeiten wird in vielen hydraulischen Anlagen angewandt. So haben die *hydraulischen Pressen* in unserer volkseigenen Industrie eine große Bedeutung. Mit ihnen können sehr große Druckkräfte ausgeübt werden. Zur spanlosen

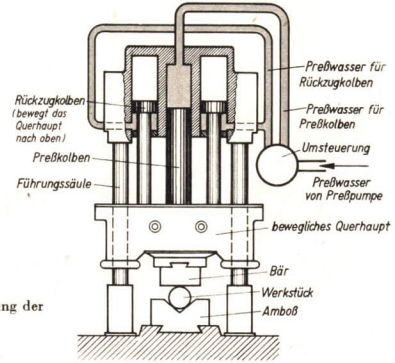


Abb. **98**/2. Schematische Darstellung der Schmiedepresse in Gröditz

Formung von Metallwerkstücken, wie Kurbelwellen und Pleuelstangen, werden daher *Schmiedepressen* verwendet, die meist hydraulisch angetrieben werden.

Eine der größten hydraulischen Schmiedepressen unserer Republik steht im volkseigenen Stahl- und Walzwerk Gröditz bei Riesa (Abb. **98**/1). Dieser Gigant der Technik wurde 1954 fertiggestellt. Er ist 16 m hoch und hat ein Gewicht von etwa 750 000 kp (Abb. **98**/2). Das gleiche Gewicht haben 6 Schnellzuglokomotiven. Bei dieser hydraulischen Schmiedepresse wird Preßwasser verwendet, auf das eine Druckkraft von 200 kp ausgeübt wird, während am Druckkolben eine Kraft von 6 000 000 kp hervorgerufen wird. Diese Kraft entspricht etwa dem Gewicht von 48 Schnellzuglokomotiven. Mit dieser Schmiedepresse kann man auch sehr große Schmiedestücke bearbeiten.

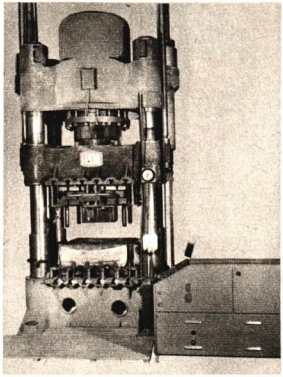


Abb. **99**/1. Plaststoffpresse für Karosserieteile

Außerdem werden hydraulische Pressen zum Beispiel verwendet zum *Zusammenpressen von Blechabfällen, Papier und Stroh; zum Auspressen von Ölen und Säften; zur Materialprüfung; zum Aufpressen von Buchsen und Spurkränzen; zum Zusammenpressen von Pulver zu Tabletten und zur Formung von Plasten* (Abb. **99**/1).

Abb. **99**/2. Lastkraftwagen „Sachsenring S 4000" mit Dreiachsenkipper

So wird zum Beispiel beim Pressen von Werkstücken aus Preßmassen der Werkstoff als Pulver oder als Tablette in die Preßform eingebracht und unter Druck gesetzt. Die Menge des eingebrachten Werkstoffes muß so bemessen werden, daß beim Pressen die gesamte Form ausgefüllt wird. Die Form wird zusätzlich beheizt, damit die Preßmasse zunächst plastisch und dann bei einer bestimmten Temperatur hart wird. Das Werkstück behält danach

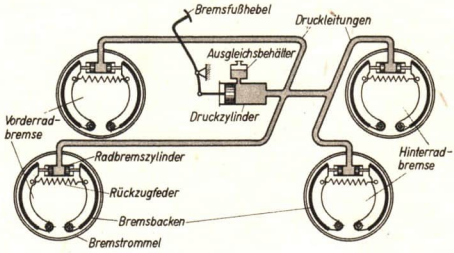


Abb. **100**/1. Hydraulische Bremse bei einem Kraftfahrzeug

auch bei erneuter Erwärmung seine Gestalt bei.

Bei Lastkraftwagen findet man Einrichtungen, die hydraulisch betätigt werden: *die hydraulische Kupplung*, den *hydraulischen Kipper* (Abb. **99**/2), die *hydraulische Bremse* u. a.

Die Wirkungsweise der *hydraulischen Bremse* geht aus Abb. **100**/1 hervor. Drückt man auf den Bremshebel, so wird in dem Druckzylinder ein Kolben bewegt. Dieser übt einen Druck auf die Bremsflüssigkeit aus. Die Bremsflüssigkeit leitet den Druck zu den Bremszylindern weiter. Infolgedessen wird im Bremszylinder ein Kolben bewegt. Dadurch werden die Bremsbacken gegen die Innenwandungen der Bremstrommeln gedrückt. Die Reibung zwischen den Bremsbacken und den Bremstrommeln bringt die Räder des Fahrzeugs zum Stehen. Die hydraulischen Bremsen sind einfach gebaut und sehr betriebssicher. Besondere Gestänge, die teilweise bei anderen Bremsen erforderlich sind und oft zu Störungen führen, sind bei ihnen nicht notwendig.

Viele Traktorentypen sind mit hydraulischen Einrichtungen versehen, mit deren Hilfe Anbaugeräte bewegt werden. So werden beispielsweise das *Planiergerät* und der *Überkopflader* des Kettenschleppers KT 50 hydraulisch betätigt (Abb. **100**/2). Planiergeräte werden zum Ebnen, zum Planieren, bei der Anlage von Straßen und Plätzen und bei anderen Erdarbeiten eingesetzt. Ein wichtiger Traktor, der insbesondere in unserer sozialistischen Landwirtschaft verwendet wird, ist der *Geräteträger RS 09*. Wie schon sein Name sagt, können an ihm verschiedene Geräte angebracht werden: Messerbalken zum Grasmähen, Häufelkörper, Sprüh- und Stäubegerät, Tellerdüngerstreuer u. a. Diese Geräte werden mit Hilfe der hydraulischen Anlage gehoben und gesenkt.

Moderne Flugzeuge besitzen vielerlei hydraulische Anlagen. Mit Hilfe hydraulischer Anlagen werden die *Steuerung*

Abb. **100**/2. Überkopflader

des Flugzeugs betätigt, das *Fahrwerk* ein- und ausgefahren, die *Räder* gebremst und selbst die *Scheibenwischer* angetrieben. Einen Gesamtüberblick über die hydraulischen Anlagen eines Turbinenverkehrsflugzeugs vermittelt Abb. **101**/1.

3. Hydraulische Werkzeugmaschinen. Wegen ihrer Vorteile werden hydraulische Anlagen immer mehr auch bei Werkzeugmaschinen verwendet. Hierbei kommt es auf ein gleichmäßiges stoßfreies Arbeiten an. So erfolgt bei verschiedenen Drehmaschinen der *Vorschub* hydraulisch (Abb. **101**/2). Zum schnellen Ein- und Ausspannen von Werkstücken dienen *hydraulische Spannvorrichtungen* (Abb. **101**/3).

Bei verschiedenen Spezialdrehmaschinen muß die Drehzahl der Arbeitsspindel stufenlos geregelt werden können, das heißt, man muß jede beliebige Drehzahl, die mit der Maschine erreichbar ist, einstellen können. Dies ist mit gewöhnlichen Zahnradgetrieben und Kettengetrieben nicht möglich. Mechanische Spezialgetriebe sind aber sehr teuer und kompliziert. Deshalb verwendet man dafür meist *hydraulische Getriebe* (Abb. **101**/4). Ein Motor treibt eine Ölpumpe an, durch die das Öl in einem Rohrsystem in Umlauf gesetzt wird. In diesem Rohrsystem befindet sich ein sogenannter *hydraulischer Motor*, der mit der Arbeitsspindel gekoppelt ist. Die Drehzahl dieses hydraulischen Motors läßt sich sehr einfach regeln. Durch das Flüssigkeitsgetriebe ist es daher möglich, die Drehzahl zwischen

Abb. **101**/1. Schematische Darstellung der gesamten hydraulischen Anlage eines Turbinenverkehrsflugzeugs. Alle gekennzeichneten Teile des Flugzeugs werden hydraulisch betätigt.

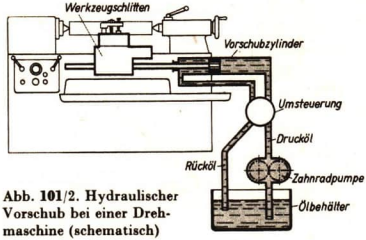


Abb. **101**/2. Hydraulischer Vorschub bei einer Drehmaschine (schematisch)

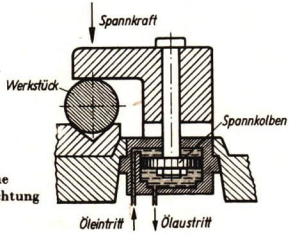


Abb. **101**/3 Hydraulische Spannvorrichtung

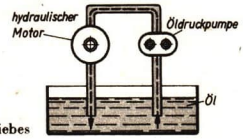


Abb. **101**/4 Schema eines Flüssigkeitsgetriebes

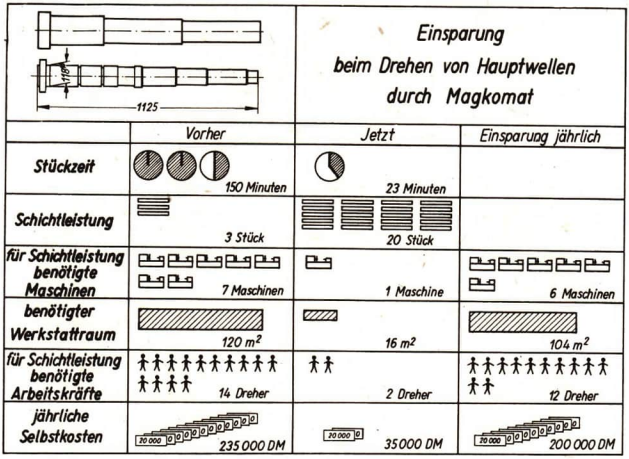


Abb. **102**/1. Vergleich der Kosten und des Aufwandes bei einer normalen Drehmaschine und bei der Kopierdrehmaschine MAGKOMAT des VEB Werkzeugmaschinenfabrik Magdeburg

Null und der jeweils höchsten Drehzahl stufenlos zu verändern. Flüssigkeitsgetriebe haben außerdem nur einen geringen Verschleiß, das heißt, sie nutzen sich wenig ab.

Drehstücke haben häufig eine komplizierte Form. Zur Bearbeitung solcher Werkstücke auf einer normalen Drehmaschine braucht man sehr viel Zeit. Infolgedessen ist die Arbeitsproduktivität hierbei gering. In neuerer Zeit wurden *automatische Drehmaschinen* entwickelt, bei denen der Drehmeißel hydraulisch gesteuert wird. Von dem Werkstück wird ein Musterstück oder eine Schablone hergestellt. Diese Schablone wird nun von einem Fühlhebel abgetastet. Die Bewegung des Fühlhebels wird hydraulisch auf den Drehmeißel übertragen. Dadurch vermeidet man komplizierte Gestänge und andere Übertragungseinrichtungen. Der Drehmeißel führt die gleichen Bewegungen wie der Fühlhebel aus, so daß das Werkstück die gleiche Form wie die Vorlage erhält; man sagt, es wird kopiert.

Den Vorteil solcher automatischer Maschinen zeigt die Abbildung **102**/1. Die Leistung steigt, während der Mensch von der schweren körperlichen Arbeit entlastet wird. Auch andere Maschinen, zum Beispiel Fräsmaschinen und Schleifmaschinen, haben *hydraulische Kopiereinrichtungen*. Die Automatisierung vieler Arbeitsgänge ist eine Grundvoraussetzung für die weitere Steigerung unserer Produktion. Durch den Ein-

satz neuer und besserer Maschinen wird die Produktion erhöht. Außerdem kann die wöchentliche Arbeitszeit weiter herabgesetzt werden. Unsere werktätigen Menschen erhalten dadurch mehr Zeit für Freizeit und Erholung. Sie können sich besser weiterbilden und sich auch mehr am gesellschaftlichen, kulturellen und sportlichen Leben beteiligen. Der Lebensstandard wird also weiterhin erhöht.

4. Fragen und Aufgaben:

1. Auf welchen physikalischen Tatsachen beruhen hydraulische Anlagen?
2. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Kolbendruck und der Kolbendruckkraft?
3. Beschreibe die Wirkungsweise eines hydraulischen Wagenhebers!
4. Erkläre die Wirkungsweise eines hydraulischen Getriebes! Welche Vorteile hat es gegenüber den Zahnradgetrieben?
5. Nenne Beispiele für die Anwendung hydraulischer Anlagen bei Landmaschinen!
6. Der Pumpenkolben eines hydraulischen Wagenhebers hat einen Querschnitt von 5 cm^2, die Kolbenfläche des Druckkolbens beträgt 500 cm^2. Der Flüssigkeitsdruck darf bei dieser Anlage höchstens 6 at betragen. Wie schwer kann bei diesem Druck ein Kraftwagen sein, und mit welcher Kraft muß dabei der Pumpenkolben bewegt werden?

17. Der Schweredruck in Flüssigkeiten

1. Das Tauchen. Versucht man, ohne jedes Hilfsmittel zu *tauchen*, so verspürt man einen Druck auf den Körper. Dieser Druck wird um so größer, je tiefer man taucht. Will ein Taucher daher Tauchtiefen über 20 m erreichen, so muß er mit einem Spezialanzug ausgerüstet werden (Abb. **104**/1).

Die Abhängigkeit des Wasserdrucks von der Tauchtiefe kann mit dem in Abbildung **104**/2 dargestellten Gerät nachgewiesen werden. Die Gummiblase ist mit gefärbtem Wasser gefüllt. Wird das Gerät in Wasser oder in eine andere Flüssigkeit eingetaucht, so steigt das Wasser im Glasrohr. Es steigt um so höher, je tiefer die Gummiblase eingetaucht wird. Das Wasser steigt, weil der Druck größer wird.

2. Das Gesetz des Schweredrucks. Die Ursache für den Druck in der Flüssigkeit ist ihr Gewicht. Man bezeichnet deshalb diesen Druck als **Schweredruck**. Je tiefer sich ein Taucher im Wasser befindet, desto größer ist das Gewicht der über ihm liegenden Wassermassen. Der Schweredruck nimmt mit der Tiefe zu. Jede Wasserschicht übt auf die unter ihr liegende Schicht infolge ihres Gewichtes eine Druckkraft aus.

Der Schweredruck in einer Flüssigkeit wächst mit zunehmender Tiefe.

Das Gewicht einer Wassersäule mit einer Höhe von $h = 1$ cm und der Grundfläche 1 cm^2 ist 1 p, da die Wichte des Wassers $\gamma = 1 \frac{p}{cm^3}$ beträgt. Eine Wassersäule von $h = 10$ m $= 1000$ cm und gleicher Grundfläche hat demnach ein Gewicht von

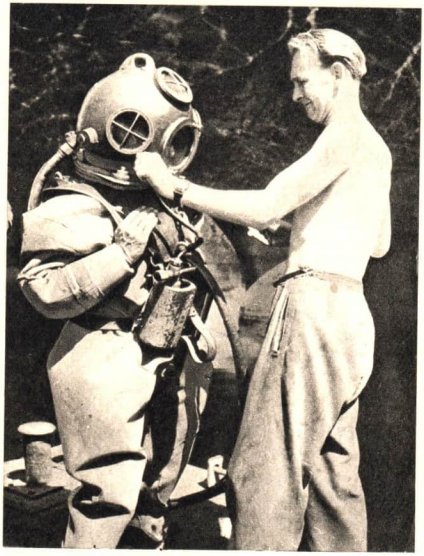


Abb. **104**/1. Taucher

1000 p = 1 kp. Da der Druck gleich dem Quotienten aus der Kraft und der Fläche ist, ergibt sich in 10 m Wassertiefe ein Schweredruck von

$$p_{10\,\mathrm{m}} = 1\,\frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{cm}^2} = 1\ \mathrm{at},$$

in 20 m Tiefe ein Schweredruck von

$$p_{20\,\mathrm{m}} = 2\,\frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{cm}^2} = 2\ \mathrm{at\ usw.}$$

Der Schweredruck des Wassers nimmt bei jeweils 10 m Tiefe um 1 at zu.

Vergleicht man den Schweredruck des Wassers mit dem in einem Gefäß mit Quecksilber, so stellt man fest, daß der Schweredruck in Quecksilber größer als der im Wasser von gleicher Tiefe ist. Der Schweredruck hängt also außer von der Tiefe der Flüssigkeit (h) auch noch von ihrer Wichte (γ) ab.

Versuche haben ergeben, daß der Schweredruck in einer Flüssigkeit nach der Gleichung

$$\boxed{p = h \cdot \gamma}$$

berechnet werden kann.

Auf die Oberfläche einer Flüssigkeit wirkt der auf ihr lastende Luftdruck. Daher setzt sich der Druck im Innern einer Flüssigkeit aus dem Schweredruck der Flüssigkeit und dem

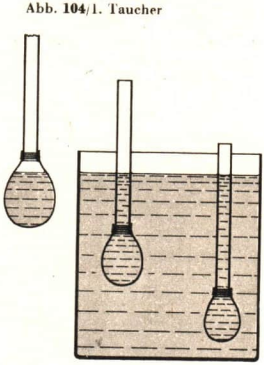


Abb. **104**/2. Nachweis der Druckzunahme in einer Flüssigkeit

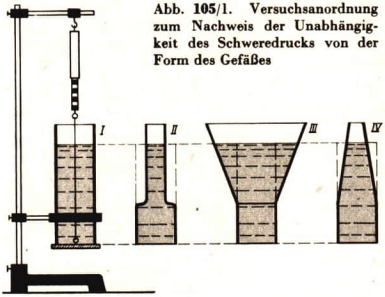


Abb. **105**/1. Versuchsanordnung zum Nachweis der Unabhängigkeit des Schweredrucks von der Form des Gefäßes

Luftdruck zusammen. Der Luftdruck beträgt in Meeresspiegelhöhe im Durchschnitt 1 at. Somit herrscht in 10 m Tiefe insgesamt ein Druck von 2 at, in 20 m Tiefe ein Druck von 3 at usw.

Aus der Gleichung $p = h \cdot \gamma$ geht hervor, daß der Druck an einer bestimmten Stelle in der Flüssigkeit nur von der Wichte und der Höhe der Flüssigkeit über dieser Stelle abhängt. Es wird aber nichts über die Form des Gefäßes ausgesagt. Durch den folgenden Versuch kann bewiesen werden, daß *der Schweredruck von der Form des Gefäßes unabhängig ist* (Abb. **105**/1). Der Zylinder (*I*) wird vorsichtig mit Wasser gefüllt. Sobald das Gewicht des Wassers größer als die Kraft der Federwaage ist, wird die Platte nach unten abgedrückt. Das überschüssige Wasser fließt aus. Die Höhe *h* der Wassersäule im Augenblick des Auslaufens wird an einem Maßstab abgelesen. Nun wird der Zylinder durch einen Trichter (*III*) gleicher Bodenfläche aber mit größerem Rauminhalt ersetzt. Wider Erwarten muß bei unveränderter Federspannung auch der Trichter bis zur Höhe *h* gefüllt werden, ehe das Wasser ausläuft. Ebenso hoch müssen auch die Gefäße *II* und *IV* gefüllt werden, obwohl sie einen kleineren Rauminhalt als der Zylinder haben.

Der Druck gegen den Boden eines mit einer Flüssigkeit gefüllten Gefäßes ist von der Form des Gefäßes unabhängig. Er hängt nur von der Höhe der Flüssigkeitssäule und der Wichte der Flüssigkeit ab.

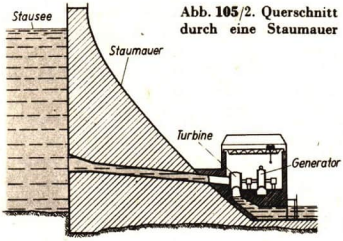


Abb. **105**/2. Querschnitt durch eine Staumauer

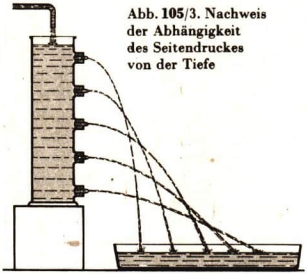


Abb. **105**/3. Nachweis der Abhängigkeit des Seitendruckes von der Tiefe

3. Bodendruck, Seitendruck, Aufdruck. Am Querschnitt durch eine *Staumauer* sieht man, daß die Mauer an ihrer Sohle dicker ist als an der Krone (Abb. **105**/2). Der Grund dafür ist die Tatsache, daß in Richtung der Mauer Kräfte wirksam sind, die mit zunehmender Tiefe größer werden. Aus einem Glaszylinder mit seitlichen Öffnungen kann das Wasser in verschiedener Höhe ausfließen (Abb. **105**/3). Auf Grund der Strahlweite erkennt man, daß *der Druck in waagerechter Richtung mit der Tiefe zunimmt.* Diesen Druck nennt man den **Seitendruck.**

Mit Hilfe einer *Druckkapsel* und eines *Manometers* können die in einer Flüssigkeit herrschenden Druckverhältnisse näher untersucht werden (Abb. **106**/1). Ist die Druckkapsel nach oben gerichtet, so zeigt sie den in einer bestimmten Tiefe herrschenden **Bodendruck** an. Richtet man in der gleichen Tiefe die Druckkapsel nach der Seite, so mißt man damit den **Seitendruck.** Es zeigt sich, daß in der gleichen Tiefe der Seitendruck ebenso groß wie der Bodendruck ist. Schließlich kann man auch die Druckkapsel nach unten richten, wodurch der **Aufdruck** gemessen wird. Wiederum erhält man in der gleichen Tiefe den gleichen Wert.

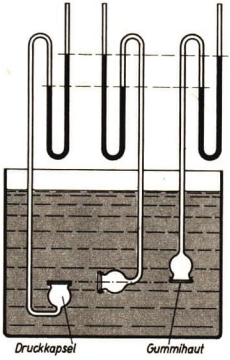


Abb. **106**/1. Das Manometer zeigt in der gleichen Tiefe den gleichen Druck an, unabhängig von der Richtung der Druckkapsel.

Der Druck in einer Flüssigkeit ist in gleicher Tiefe nach allen Seiten gleich groß.

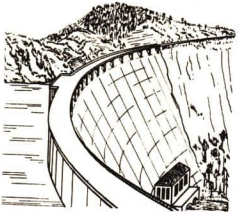


Abb. **106**/2. Bogenförmig gebaute Staumauer

Somit wirkt auf die Staumauer ein Seitendruck, *der von der Höhe des gestauten Wassers abhängig ist, nicht aber von der Staumenge.* Da die auf die Staumauer wirkenden Drücke sehr groß sind, wird die Staumauer sehr häufig bogenförmig gebaut (Abb. **106**/2). Bei der *Saaletalsperre am Bleiloch* bedeckt bei normaler Stauhöhe das Wasser eine Mauerfläche von 7500 m². Infolge des Seitendrucks beträgt die Gesamtdruckkraft gegen die Staumauer etwa 175 000 000 kp. Diese Kraft entspricht ungefähr dem Gewicht von 27 Frachtdampfern des Typs „Thälmann-Pionier".

In der Deutschen Demokratischen Republik sind in den letzten Jahren mehrere Talsperren fertiggestellt worden, zum Beispiel die *Talsperre des Friedens* bei Sosa (vgl. Tabelle auf S. 108). Im Harz entsteht zur Zeit ein ganzes System größerer Talsperren, durch die die Bode aufgestaut wird. Die größte Staumauer dieser Talsperren ist die der *Rappbodesperre* (Abb. **107**/1). Das gespeicherte Wasser dient in erster Linie der Versorgung unserer großen Industriegebiete und Städte mit Trink- und

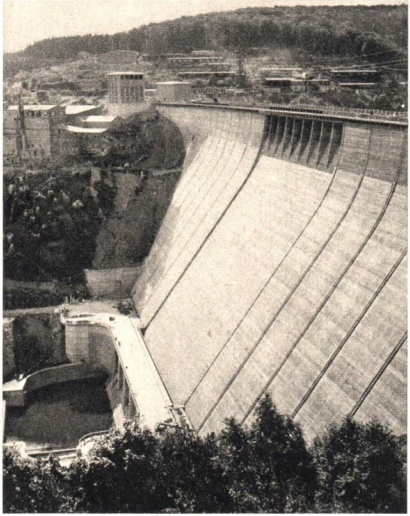


Abb. **107**/1. Staumauer der Rappbodesperre

Brauchwasser. Außerdem sind diese Talsperren ein Hochwasserschutz.

Abbildung **107**/2 zeigt eine Versuchsanordnung zum Nachweis des Aufdrucks in einer Flüssigkeit. Der Zylinder wird mit dem verschlossenen Ende bis zur Mitte in Wasser eingetaucht und die Schnur losgelassen. Die Scheibe fällt nicht ab, da auf sie infolge des Aufdrucks eine Kraft wirkt, die größer als das Gewicht der Scheibe ist. Die Größe dieser Kraft kann dadurch bestimmt werden, daß man Wasser in den Zylinder gießt. Die Scheibe fällt dann ab, wenn das Gewicht des eingefüllten Wassers größer als der Aufdruck ist. Der Wasserspiegel im Zylinder erreicht nicht ganz den äußeren Wasserspiegel, da ja die Glasscheibe auch ein Gewicht hat, das zusätzlich zum Gewicht der Wassersäule wirkt. Danach taucht man den Zylinder ganz ins Wasser ein. Jetzt muß fast der gesamte Zylinder mit Wasser gefüllt werden, bis die Scheibe abfällt. Diese Versuche beweisen wiederum, daß der Aufdruck mit der Höhe der Wassersäule wächst.

So wirkt auf jeden Menschen, der sich unter Wasser befindet, der Schweredruck von allen Seiten. Versuche haben ergeben, daß Menschen unter Wasser die Luft von der Oberfläche des Wassers nur bis zu einer Tiefe von 30 cm ohne körperliche Schäden atmen können. Will man in größeren Tiefen Oberflächenluft mit Hilfe eines Schlauches atmen, so treten schwere organische Schäden oder sogar der Tod

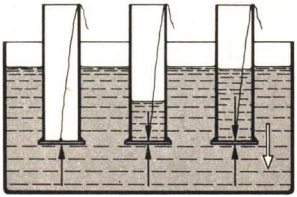


Abb. **107**/2. Versuchsanordnung zum Nachweis des Aufdrucks

Staudämme und Staumauern

Name	Höhe der Staumauer m	Länge der Mauer bzw. des Dammes m	Stauhöhe m	Staumenge m^3
Talsperre des Friedens	59	200	47	$6 \cdot 10^6$
Saaletalsperren				
Bleiloch	65	225	60	$225 \cdot 10^6$
Hohenwarte	75	412	67	$182 \cdot 10^6$
Rappbode-Talsperre	106	400	90	$110 \cdot 10^6$
Edertalsperre	50	400	42	$202 \cdot 10^6$
Staumauer von Zimljanskaja	31	500	26	$12 \cdot 10^9$
Wasserkraftwerk W. I. Lenin	45*	4800	27	$58 \cdot 10^9$

* Höhe der Stahlbetonmauer

ein. Die Atmungsmuskulatur des Menschen ist nämlich nicht in der Lage, eine größere Druckdifferenz zu überwinden, als 30 cm Wassersäule entspricht.

Bei größerer Tauchtiefe muß deshalb die Atmungsluft dem Taucher unter dem gleichen Druck zugeführt werden, wie er in seiner Umgebung herrscht. Dies geschieht entweder dadurch, daß man dem Taucher die Luft mittels Pumpen von der Oberfläche zuführt (Abb. **104**/1), oder daß man dem Taucher komprimierte Luft in Behältern mitgibt. Der Druck wird mit Hilfe eines Reglers dem Wasserdruck angeglichen.

Taucher helfen beim Bau neuer Häfen und Brücken, sie räumen in Zusammenarbeit mit Spezialschiffen die Fahrrinnen von gesunkenen Schiffen und anderen Hindernissen. Sie kontrollieren und reparieren die Unterwasserteile von Schiffen.

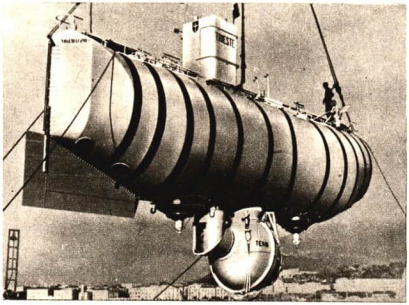


Abb. **108**/1. Tiefseetauchapparat

Für wissenschaftliche Untersuchungen wurden in den letzten Jahrzehnten besondere *Tieftauchgeräte* entwickelt. Im Jahre 1959 erreichten Forscher eine Tiefe von 11521 m. Sie benutzten einen Tauchapparat, dessen Hauptteil ein kugelförmiger Hohlraum aus bestem Stahl mit einem Durchmesser von 2 m ist (Abb. **108**/1). Die Kugel

wird von einem zigarrenförmigen Körper getragen, in dem sich Leichtbenzin befindet. Mit Hilfe des Tauchapparates konnten wertvolle Kenntnisse über die Lebensverhältnisse in großen Tiefen gewonnen werden. Auch dort leben noch Tiere und niedere Organismen. Sie haben sich entsprechend den veränderten Umweltbedingungen entwickelt, so daß sie dem hohen Wasserdruck angepaßt sind. In den oberen Wasserschichten könnten sie nicht leben. Bei dem geringen äußeren Druck werden ihre inneren Organe aus dem Körper herausgepreßt.

Diese Kenntnisse über die Tiefsee sind wie viele andere Forschungsergebnisse nur möglich geworden, weil die fortschreitende technische Entwicklung die Voraussetzungen dafür schuf.

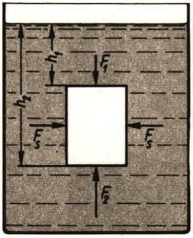
4. Fragen und Aufgaben:

1. Wie entstehen der Schweredruck und der Kolbendruck? Gib Beispiele für beide Druckarten!
2. Welcher Druck herrscht an der tiefsten Stelle der Ostsee (469 m) bzw. der Weltmeere (11 520 m)? Vergleiche diese Werte mit Drücken bei Maschinen!
3. Welcher Schweredruck herrscht in einer mit Quecksilber gefüllten Röhre in 75 cm Tiefe ($\gamma = 13{,}6\ \frac{p}{cm^3}$)?
4. Wie groß ist der Seitendruck auf die Mauer der Bleilochtalsperre am Boden (größte Stauhöhe 60 m) und 5 m unter der Wasseroberfläche?
5. Warum braucht bei hydraulischen Anlagen der Schweredruck nicht berücksichtigt zu werden?
6. Der Unterkasten einer Gußform muß fester gestampft sein, weil das flüssige Eisen einen Schweredruck ausübt. Wie groß ist dieser bei einer Gießhöhe von 50 cm ($\gamma = 7{,}8\ \frac{p}{cm^3}$)?

18. Auftrieb und Schwimmen

1. Das Archimedische Prinzip. Taucht man eine Gießkanne ganz in ein Wasserfaß ein, um sie zu füllen, so braucht man zum Herausheben der gefüllten Kanne eine größere Kraft als beim Halten der gefüllten Kanne im Wasser. Die Kraft zum Halten nasser Wäsche beim Spülen im Wasser ist ebenfalls kleiner als beim Herausziehen. Auch ein Schwimmer empfindet diesen Unterschied, wenn er aus dem Wasser steigt. Dabei kann sein Gewicht als die Kraft, mit der er von der Erde angezogen wird, nicht größer geworden sein.

Zur Erklärung dieser Beobachtungen muß man untersuchen, welche Kräfte im Wasser auf die Gießkanne, die Wäsche und den Schwimmer wirken. In Abbildung **109**/1 ist ein Quader dargestellt, der ganz in Wasser eintaucht.



$F_2 - F_1 = F_A$

Abb. **109**/1. Quader in einer Flüssigkeit

Der Seitendruck wirkt auf die Seitenflächen; die dadurch bedingten Druckkräfte sind gleich groß, entgegengesetzt gerichtet, und heben sich in ihrer Wirkung auf. Auf die obere Fläche des Quaders wirkt infolge des Bodendruckes eine Kraft, die von der Höhe h_1 der Wassersäule über der Deckfläche abhängig ist. Der Aufdruck wirkt auf die Unterseite des Quaders und verursacht eine nach oben gerichtete Kraft, die von der Höhe h_2 abhängt. Da h_2 stets größer als h_1 ist, so wirkt auf den Quader *eine Kraft in Richtung auf die Wasseroberfläche.* Man bezeichnet diese Kraft als **Auftrieb.** Er wirkt auf alle im Wasser befindlichen Körper dem Gewicht der eingetauchten Körper entgegen.

Auf jeden Körper wirkt beim Eintauchen in eine Flüssigkeit der Auftrieb. Er ist eine Kraft, die dem Gewicht des Körpers entgegengerichtet ist.

Der Auftrieb ist die Ursache für die Beobachtungen bei der Gießkanne, bei der Wäsche und beim Schwimmer. Die Größe des Auftriebs zeigt sich bei einem Taucher besonders deutlich. Zu jedem Taucheranzug gehören Bleischuhe und Bleiklötze, die am Taucheranzug befestigt werden, damit das Gewicht des Tauchers etwas größer als sein Auftrieb ist. Infolge des großen Gewichts des Taucheranzuges und der Bleikörper kann sich der Taucher über Wasser nur langsam bewegen. Ist er jedoch im Wasser untergetaucht, so behindern ihn diese Bleikörper nicht mehr.

Die *Größe des Auftriebs* kann mit Hilfe folgender Versuche ermittelt werden:

a) Das Gewicht einer Metallkugel wird mit einer Federwaage bestimmt (Abb. **110**/1a). Es beträgt zum Beispiel 100 p.

b) Die Kugel wird in ein Überlaufgefäß mit Wasser getaucht und das von der Kugel verdrängte Wasser in einem Meßzylinder aufgefangen. Nach dem Eintauchen zeigt die Federwaage nur noch 63 p an (Abb. **110**/1b). Da der Auftrieb dem Gewicht entgegenwirkt, hat er die Kraft, die an der Federwaage angreift, um 100 p—63 p = 37 p verringert. Der Auftrieb hat daher einen Wert von 37 p.

c) Das Gewicht des verdrängten Wassers wird bestimmt. Zu diesem Zweck kann man das Wasser wägen oder man schließt aus dem Volumen auf das Gewicht. Bei beiden Verfahren erhält man annähernd 37 p.

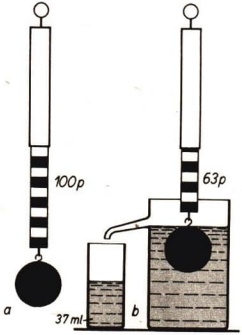


Abb. **110**/1. Größe des Auftriebs einer Metallkugel im Wasser
a) Bestimmen des Gewichts der Kugel
b) Vergleich ihres Gewichts mit dem Gewicht des verdrängten Wassers

Aus den Versuchen folgt, daß *der Auftrieb der Kugel genauso groß wie das Gewicht des von ihr verdrängten Wassers ist.* Auch bei Versuchen mit anderen Körpern und anderen Flüssigkeiten stellt man fest:

Der Auftrieb (F_A) ist gleich dem Gewicht (G) der von dem Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge.

$$\boxed{F_A = G}\ .$$

Das Gewicht einer Flüssigkeitsmenge ist bekanntlich gleich dem Produkt aus dem Volumen (V) und der Wichte (γ).

$$G = V \cdot \gamma.$$

Daher gilt auch:

$$\boxed{F_A = V \cdot \gamma}\ .$$

Da das Volumen der verdrängten Flüssigkeitsmenge gleich dem Volumen des eingetauchten Körpers ist, kann man *durch Messen des Auftriebs das Volumen des Körpers bestimmen* (vgl. Versuch auf S. 110). Man muß dazu die Wichte der Flüssigkeit (γ_{Fl}) kennen.

$$\boxed{V = \frac{F_A}{\gamma_{Fl}}}\ .$$

Da man ferner das Gewicht des Körpers kennt oder leicht ermitteln kann, läßt sich aus der Gleichung

$$G = V \cdot \gamma_k$$

die Wichte (γ_k) des Körpers berechnen:

$$\boxed{\gamma_k = \frac{G}{V}}\ .$$

2. Schwimmen, Schweben, Sinken. Zur Erforschung der Tier- und Pflanzenwelt im Meer hat man *Tauchboote* gebaut, die auf dem Wasser schwimmen, die sinken und in einer beliebigen Tiefe schweben können (vgl. Abb. **108**/1). Der folgende Versuch mit einem Fläschchen zeigt, unter welchen Voraussetzungen ein Körper schwimmt, sinkt oder im Wasser schwebt. Taucht man ein leeres, wasserdicht verschlossenes Fläschchen in Wasser, so steigt es sofort wieder an die Oberfläche, es *schwimmt*. Füllt man das Fläschchen mit Sand und verschließt es wieder, so *sinkt* es zu Boden. Bei einer bestimmten Füllung sinkt das Fläschchen nicht, steigt aber auch nicht an die Oberfläche, sondern *schwebt* in der Flüssigkeit. Die Kraft, die das Fläschchen nach unten zieht, ist sein Gewicht, während der Auftrieb nach oben wirkt. Daher ist das Verhalten eines Körpers, der vollständig in eine Flüssigkeit eintaucht, von dem Gewicht des Körpers und seinem Auftrieb in der Flüssigkeit abhängig.

a) *Ist das Gewicht des Körpers größer als sein Auftrieb, so sinkt er zu Boden.* Das mit Sand gefüllte Fläschchen ist schwerer als die Wassermenge, die es verdrängt.

b) *Ist das Gewicht kleiner als der Auftrieb, so steigt der Körper an die Oberfläche.* Das leere Fläschchen ist leichter als die Wassermenge, die es, völlig eingetaucht, verdrängt. Es schwimmt und ragt dabei so weit aus dem Wasser, daß sein Gewicht gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge ist.

c) *Ist das Gewicht des Körpers gleich seinem Auftrieb, so schwebt der Körper.* Das teilweise gefüllte Fläschchen wiegt genauso viel wie die verdrängte Wassermenge. Es schwebt daher im Wasser.

Diese drei Gesetzmäßigkeiten werden auch bei einem *Unterseeboot*, kurz U-Boot genannt, ausgenutzt. Es besteht aus dem druckfesten Hohlkörper, in dem sich die Aufenthalts- und Maschinenräume befinden, und den Tauchtanks. Zur Verringerung des Wasserwiderstandes sind der Druckkörper und die Tauchtanks von einer gemeinsamen Außenhülle umgeben.

Werden die Tauchtanks geflutet, das heißt mit Wasser gefüllt, so ist das Gewicht des gesamten U-Bootes größer als der Auftrieb. Daher sinkt es. Durch Verringerung des Wasserstandes in den Tauchtanks kann erreicht werden, daß das Gewicht des U-Bootes gleich seinem Auftrieb ist. Dann schwebt es. Wird das gesamte Wasser aus den Tauchtanks herausgedrückt, so wird das Gewicht kleiner als der Auftrieb. Das U-Boot steigt an die Oberfläche. Es taucht so weit aus dem Wasser auf, bis sein Gewicht gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge ist. Die Eintauchtiefe des Bootes ändert sich dann nicht mehr. Es schwimmt.

Das Gewicht eines schwimmenden Körpers ist gleich dem Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge. Das Gewicht des Körpers und der Auftrieb sind dabei gleich groß.

Ein Unterseeboot wurde erstmalig im Jahre 1851 von dem Ingenieur Wilhelm Bauer konstruiert. Später wurde das U-Boot von Militaristen als Kriegsmittel entwickelt und in den beiden Weltkriegen zur Zerstörung von anderen Schiffen eingesetzt.

3. Anwendungen des Schwimmens von Körpern. Das Gesetz über das Schwimmen eines Körpers wird bei allen *Schiffen* ausgenutzt. Das Schiff ist eines der ältesten Fahrzeuge des Menschen und hat im Laufe der Jahrtausende eine sehr große Entwicklung durchgemacht. Die älteste Form des Schiffes ist der Einbaum; das ist ein ausgehöhlter Baumstamm, in dem häufig nur ein Mensch Platz hatte. Mit der weiteren Entwicklung der Werkzeuge konnten immer bessere Boote und schließlich auch größere Schiffe gebaut werden. Die Grundlage für den Bau der Schiffe bildete zunächst die Erfahrung. Durch die genaue Erforschung der Naturgesetze war es schließlich möglich, die Schiffe immer weiter zu vervollkommnen und vor allen Dingen größere Schiffe zu bauen. Mit diesen Schiffen konnte man mit den Bewohnern anderer Länder Waren austauschen und Handel treiben. Das war möglich und notwendig, weil die Menschen inzwischen gelernt hatten, mehr zu produzieren, als sie zum unmittelbaren Lebensunterhalt brauchten. Während man bis zur Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert Segelschiffe baute, wurde im 19. Jahrhundert mit dem Bau von Dampfschiffen begonnen. Infolge der Verbesserung der Antriebsmittel wurden immer größere Schiffe hergestellt, die weite Reisen über die Weltmeere unternahmen. Aber auch der Antrieb mit Hilfe von Dampfmaschinen ist überholt. Moderne Schiffe werden mit großen Dieselmotoren ausgerüstet. Die Sowjetunion ist in dieser Entwicklung bereits noch einen Schritt weiter. Im August 1959 wurde der Eisbrecher *Lenin* fertiggestellt, der mit Atomenergie angetrieben wird. Der Vorteil dieses Antriebsmittels ist der geringe Brennstoffverbrauch. Solche Schiffe können über ein Jahr lang unterwegs sein, bevor der Treibstoffvorrat erneuert werden muß.

Die *Handelsflotte unserer Deutschen Demokratischen Republik* ist in den letzten Jahren sehr stark angewachsen. Sie bestand am 1. Januar 1959 bereits aus 31 Schiffen mit

Einige Schiffstypen

Typ	Wasserverdrängung im beladenen Zustand	Schattenriß (Abb. 113/1)
Motorgüterschiffe	913 t	
Binnenfahrgastschiffe	1300 t	
Küstenfahrgastschiffe	345 t	
Frachtschiffe	3000 . . . 15000 t	
Eisenbahnfähren	6700 t	
Fischereifahrzeuge		
Kutter	214 t	
Trawler	722 t	
Logger	388 t	
Fischerei-verarbeitungsschiffe	3570 t	

einer Gesamtverdrängung von 128591 t. Diese Schiffe sind zum großen Teil auf Werften unserer Deutschen Demokratischen Republik gebaut worden. Manche Schiffe unserer Handelsflotte wurden aber auch auf ausländischen Werften, vor allem in der Sowjetunion, gebaut. Während bei uns unter anderem Kohle-Erz-Frachter, Seefahr-

Abb. 113/2. Tankschiff Leuna I

gastschiffe und Binnenfahrgastschiffe für die Sowjetunion gebaut werden, liefert sie uns Tankschiffe für unsere Handelsflotte (Abb. **113**/2). Auf diese Schiffstypen sind sowjetische Werften spezialisiert.

Der Schiffbau zeigt die gute Zusammenarbeit der sozialistischen Länder. In ähnlicher Weise arbeiten die sozialistischen Staaten auch auf anderen Gebieten zusammen.

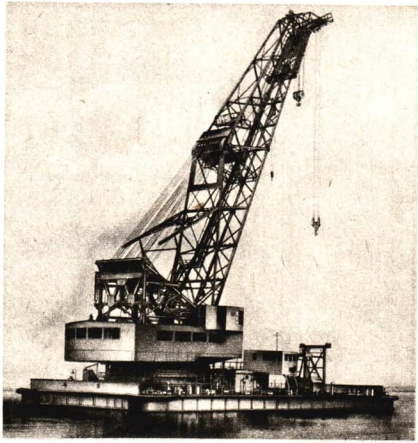


Abb. **114**/1. Schwimmkran

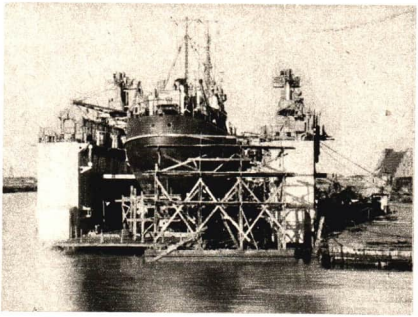


Abb. **114**/2. Schwimmdock

Aber auch durch die Initiative unserer werktätigen Menschen konnten wir Handelsschiffe ankaufen. Die Mitarbeiter des VEB *Steckenpferd* verpflichteten sich, den Export zu erhöhen, um für die zusätzlichen Devisen Schiffe ankaufen zu können. Der Steckenpferdbewegung schlossen sich in kurzer Zeit viele andere Betriebe an.

Außer den in der Tabelle genannten Schiffstypen gibt es noch viele Arten von kleinen Schiffen, die man meist als Boote bezeichnet: Paddel-, Ruder-, Segel-, Motor- und Schlauchboote. Sie dienen dem Sport und der Erholung der Menschen, werden aber auch für Sonderzwecke, wie zur Rettung Schiffbrüchiger oder Ertrinkender, benutzt.

Beim Bau von Behelfsbrücken werden häufig offene Schwimmkörper verwendet, die als *Pontons* bezeichnet werden. Zum Heben schwerer Lasten und zur Reparatur von Schiffen

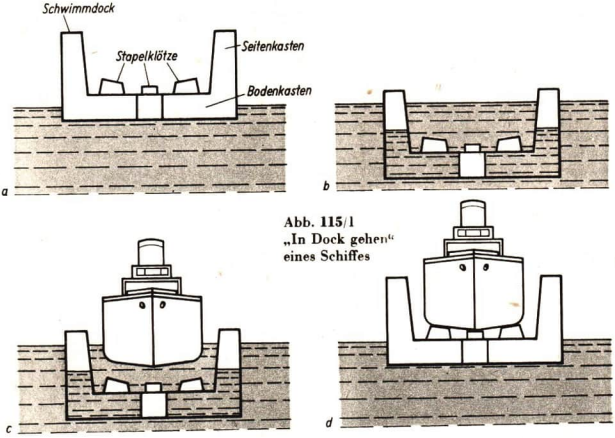
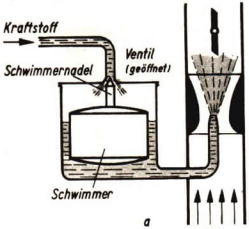
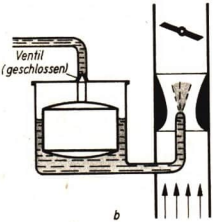


Abb. 115/1
„In Dock gehen" eines Schiffes





benutzt man *Schwimmkräne* (Abb. **114**/1). Sie haben eine sehr große Tragfähigkeit. Für Reparaturen an der Unterseite eines Schiffes verwendet man *Schwimmdocks* (Abb. **114**/2 und **115**/1). Teile dieses Schwimmdocks können geflutet werden, so daß es tiefer in das Wasser eintaucht. Das Schiff fährt nun in das geflutete Schwimmdock ein. Daraufhin wird das in seinen Flutkammern befindliche Wasser herausgepumpt, so daß das Schiff aus dem Wasser herausgehoben wird. Die Unterwasserteile sind jetzt zugänglich und können repariert werden.

Der Auftrieb schwimmender Körper wird auch zur Regelung des Wasserzulaufs in einem Spülkasten und zur Regelung der Kraftstoffzufuhr bei einem Vergaser ausgenutzt. Der *Schwimmer im Spülkasten* schließt bei einer bestimmten Wasserhöhe mit Hilfe eines Hebels den Wasserzufluß. Bei einem *Vergaser* kommt es darauf an, daß immer eine gleichmäßige, nicht zu große Kraftstoffmenge zugeführt wird. Der Auftrieb des Schwimmers ist deshalb so bemessen, daß der Kraftstoffspiegel im Schwimmergehäuse 2 . . . 3 mm unter der Öffnung der Vergaserdüse steht (Abb. **115**/2).

Abb. **115**/2. Die Wirkungsweise des Schwimmers im Vergaser

4. Die Schiffbauindustrie in der Deutschen Demokratischen Republik. Die Schiffbauindustrie in unserer Deutschen Demokratischen Republik ist in der Lage, vom Fischkutter bis zum Hochseefrachter alle Schiffstypen zu bauen. Allein von 1950 bis 1955 wurden 1384 Schiffe fertiggestellt. Die Abbildungen auf den Seiten 113 und 116 geben eine Übersicht über die wichtigsten Schiffstypen, die

Abb. **116**/1. Trawler

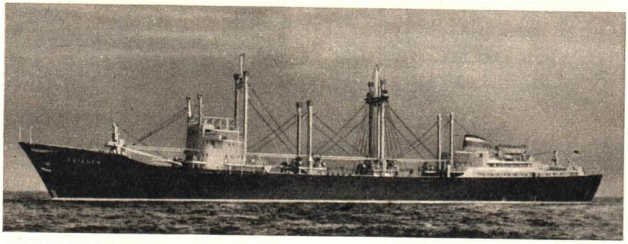


Abb. **116**/2. Hochseefrachtschiff „Frieden"

Abb. **116**/3. Binnenfahrgastschiff

auf den Werften der Deutschen Demokratischen Republik gebaut werden.

Auf unseren Werften werden moderne Arbeitsverfahren angewandt. So werden beispielsweise in der Schiffsbauhalle der Volkswerft Stralsund die Einzelteile verschweißt und zu großen Baugruppen, zu Sektionen, zusammengesetzt (Abb. **117**/1). Der Bau dieser Sektionen erfolgt auf drei Taktstraßen. Danach werden diese Sektionen zum fertigen Schiff zusammengeschweißt. 1959 wurden nach diesem Verfahren 170 Schiffe hergestellt.

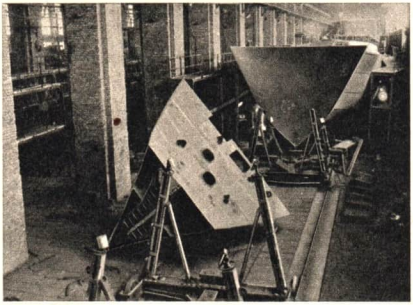


Abb. **117**/1. Sektionsbauweise von Trawlern in der Volkswerft Stralsund

Wenn man bedenkt, daß außer der Neptunwerft alle anderen Werften der Deutschen Demokratischen Republik erst in den Jahren nach 1948 entstanden sind, dann können wir sehr stolz auf unsere Schiffbauindustrie sein. Gerade hier zeigt sich, zu welchen Leistungen die Arbeiterklasse in einem sozialistischen Staate fähig ist.

5. Wichtebestimmung von Flüssigkeiten nach dem Archimedischen Prinzip. Fährt ein Hochseefrachter aus einem Hafen an der Mündung eines Flusses in einen Ozean, so kann man beobachten, daß der Tiefgang des Schiffes abnimmt. Das Schiff taucht im Wasser des Weltmeeres nicht so tief ein wie im Wasser des Flusses.

Der Auftrieb des eingetauchten Schiffsrumpfes muß stets gleich dem Gewicht des Schiffes sein. Bei gleicher Eintauchtiefe wird der Auftrieb größer, wenn die Wichte der Flüssigkeit zunimmt. Das ist bei Meerwasser der Fall, da es gelöste Salze enthält. Der Schiffsrumpf hebt sich daher so lange, bis Gewicht und Auftrieb wieder gleich groß sind.

Der unterschiedliche Salzgehalt unserer Meere, Ostsee 1,7%, Nordsee 3,3%, verändert nicht unwesentlich die Eintauchtiefe der Schiffe. Das Eintauchvolumen des „Thälmann-Pioniers" verringert sich zum Beispiel zwischen einem Hafen der Ostsee und einem Nordseehafen um rund 160 m^3. Der Schiffsrumpf hebt sich daher in der Nordsee um etwa 65 cm weiter aus dem Wasser als in der Ostsee. Ähnliche Unterschiede ergeben sich auch bei der Fahrt vom Mittelmeer ins Rote Meer. Daher muß bei der Beladung von Schiffen genau bekannt sein, welche Unterschiede der Eintauchtiefen bei einer Fahrt auftreten werden.

Die Eintauchtiefe eines schwimmenden Körpers ist ein Maß für die Wichte der Flüssigkeit. Unter Ausnutzung dieser Abhängigkeit von Eintauchtiefe und Wichte kann man ein Meßgerät zur Bestimmung der Wichte von Flüssigkeiten bauen.

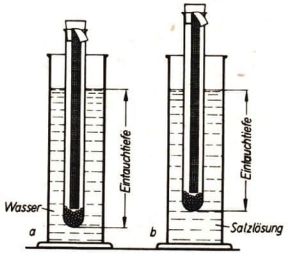


Abb. **118**/1. Die Eintauchtiefe des Reagenzglases ist von der Wichte der Flüssigkeit abhängig.

Abb. **118**/2. Aräometer

Man füllt in ein Reagenzglas einige Schrotkugeln und läßt es in einem Becherglas mit Wasser schwimmen. Die Eintauchtiefe wird an einem Streifen Millimeterpapier abgelesen (Abb. **118**/1). Schwimmt das Reagenzglas in einer Salzlösung, so ist seine Eintauchtiefe geringer. Verdünnt man die Salzlösung, so sinkt das Reagenzglas um so tiefer ein, je stärker die Lösung verdünnt wird. Aus der Eintauchtiefe kann man also auf den Salzgehalt der Flüssigkeit schließen.

Für genaue Messungen benutzt man *Aräometer*, die auch *Senkspindeln* genannt werden (Abb. **118**/2). Auf dem dünnen Glasrohr besitzen sie eine Teilung, an der die Wichte abgelesen werden kann. Die Skale eines Aräometers ist geeicht und gibt sofort die gewünschten Werte an, ohne daß eine Umrechnung aus der Eintauchtiefe nötig ist. Dadurch wird viel Zeit und Rechenarbeit gespart. Da bei Lösungen im allgemeinen nicht die Wichte, sondern der Prozentgehalt des gelösten Stoffes interessiert, gibt die Skale häufig den Prozentgehalt an. Die notwendige Rechenarbeit für die Umrechnung der Eintauchtiefe in den Prozentgehalt wurde bereits bei der Anfertigung der Skale erledigt. Das Aräometer kann auf Grund seiner speziellen Skale ohne mühselige Umrechnungen nur für den vorgesehenen Zweck verwendet werden. So kann man mit einem *Milchprüfer* den Fettgehalt der Milch, mit einem *Spirituspr*ü*fer* den Alkoholgehalt und mit einem *Säureprüfer* den Säuregehalt feststellen.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Belaste eine deckellose Blechschachtel allmählich, bis sie sinkt! Welche Beziehung besteht zwischen der zunehmenden Eintauchtiefe und dem Gewicht der Schachtel einschließlich der Belastung? Schneide die senkrechten Kanten mit einer Blechschere auf und biege die Seitenwände auf die Bodenfläche um! Lege diesen Körper auf die Wasserfläche! Erkläre, was geschieht!
2. Laß ein Spielzeugboot in warmem Wasser schwimmen und belade es so, daß es tief im Wasser liegt! Markiere den Wasserstand! Löse Salz im Wasser und erkläre den Unterschied der Eintauchtiefe!
3. Vergleiche die Wirkungsweise eines Schwimmdocks mit der eines U-Bootes! Beschreibe das „In Dock gehen" eines Schiffes!
4. Erläutere die verschiedenen Eintauchtiefen eines Frachtschiffes unserer Handelsflotte beim Befahren des Roten Meeres, des Mittelmeeres, der Nordsee und der Ostsee!

19. Der Druck in Gasen

1. Der Luftdruck und seine Messung. Langstreckenflugzeuge, wie die TU 114, fliegen wegen des geringen Luftwiderstandes und wegen besserer Wetterbedingungen meist in großen Höhen. Dabei müssen die Innenräume luftdicht abgeschlossen sein, damit die Fluggäste und die Besatzung die gleichen Lebensbedingungen wie auf der Erde haben. Der Grund für diese technischen Einrichtungen ist der Aufbau der Lufthülle, die die Erde umgibt. Da die Luft, wie alle Stoffe, von der Erde angezogen wird, hat sie ein Gewicht. Dieses Gewicht ist eine Kraft, die senkrecht auf die Erdoberfläche wirkt. Die höheren Luftschichten drücken mit ihrem Gewicht auf die tieferen; am Erdboden ist der Druck der über der Erde liegenden Luft am größten. Diesen Druck nennt man den **Luftdruck**. *Der Luftdruck entspricht also dem Schweredruck im Wasser.*

Wie der Versuch mit einer Luftpumpe (vgl. S. 95) zeigt, kann aber die Luft im Gegensatz zu Flüssigkeiten stark zusammengedrückt werden. Messungen in großen Höhen haben ergeben, daß die Dichte der Luft mit der Höhe abnimmt. Daraus erklärt sich, daß der Luftdruck nicht wie der Schweredruck im Wasser proportional der Höhe zu- bzw. abnimmt. Der Luftdruck kann durch Versuche nachgewiesen und mit besonderen Geräten, den *Barometern*, gemessen werden.

Der Magdeburger Bürgermeister *Otto von Guericke* wollte um 1650 einen luftleeren Raum herstellen und fand, daß die Luft einen Druck ausübt. Er ging von folgender Überlegung aus: Wird das Wasser aus einem vollständig gefüllten Faß ausgepumpt, so müßte ein luftleerer Raum entstehen. Als er das Faß mittels einer Feuerspritzenpumpe leeren wollte, strömte die Luft unter Pfeifen und Sausen durch die Fugen in das Faß. Das Faß war also nicht dicht genug. Er wiederholte daher den Versuch an einem Kessel aus Kupferblech. Anfangs gelang sein Vorhaben; doch plötzlich wurde der Kessel von der äußeren Luft zusammengedrückt. *Guericke* gewann dadurch eine Vorstellung von der ungeheuren Druckkraft, die die Lufthülle auf alle Körper ausübt.

Abb. **119**/1. Otto von Guerickes Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln"

Otto von Guericke (1602 bis 1686)

Im Jahre 1654 gelang es ihm, Gefäße auszupumpen. Auf dem Reichstag zu Regensburg zeigte er, daß zwei luftleer gepumpte Halbkugeln mit einem Durchmesser von 55 cm von je acht in entgegengesetzter Richtung ziehenden Pferden nicht voneinander getrennt werden konnten (Abb. **119**/1).

Guericke wollte auch den Luftdruck messen. Dazu stellte er ein Rohr von über 10 m Länge, das unten ins Wasser tauchte, senkrecht an der Außenseite seines Hauses auf. Oben endete das Rohr in einem Glasgefäß. Pumpte *Guericke* aus diesem Rohr die Luft aus, so stieg das Wasser etwa 10 m hoch. Diese Vorrichtung kann man als Wasserbarometer bezeichnen.

Der italienische Naturforscher *Evangelista Torricelli* (1608 bis 1647) untersuchte ebenfalls die Wirkungen des Luftdrucks und konstruierte das erste Quecksilberbarometer. Er überlegte sich, daß man mit einer viel kürzeren Röhre auskommen könnte, wenn man statt Wasser eine wesentlich schwerere Flüssigkeit verwendet. Torricellis Versuch wurde zum Ausgangspunkt für die Entwicklung der Barometer.

Ein ungefähr 1 m langes Glasrohr, das an einem Ende zugeschmolzen ist, wird vollständig mit Quecksilber gefüllt. Man verschließt die Öffnung und taucht das Rohr umgekehrt in eine mit Quecksilber gefüllte Schale. Gibt man die Öffnung frei, so fließt das Quecksilber nicht aus, sondern der Quecksilberspiegel sinkt nur etwas und bleibt in einer gewissen Höhe stehen (Abb. **120**/1). Im oberen Teil des Rohres entsteht ein luftleerer Raum, in dem sich lediglich etwas Quecksilberdampf befindet, der aber auf die Quecksilbersäule fast keinen Einfluß hat. Wiederholt man den Versuch mit Rohren anderen Durchmessers, so ändert sich die Höhe der Quecksilbersäule nicht. Der Querschnitt des Rohres spielt also keine Rolle. Das Quecksilber im Rohr fließt nicht aus, weil der Luftdruck auf die Oberfläche des Quecksilbers in der Schale wirkt (Abb. **120**/2). Dieser Druck breitet sich auch im Innern des Quecksilbers aus, wie er nach dem Gesetz über die Druckausbreitung in Flüssigkeiten sein muß. Der Schweredruck der Quecksilbersäule ist dem Luftdruck entgegengerichtet. Das Quecksilber im Rohr sinkt so weit, bis der Bodendruck des Quecksilbers

Abb. **120**/1. Torricellischer Versuch

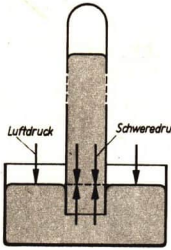


Abb. **120**/2. Die Wirkung des Luftdrucks auf die Quecksilberoberfläche

in der Röhre gleich dem Luftdruck ist. Dann herrscht Gleichgewicht. Ändert sich der Luftdruck, so sinkt oder steigt der Quecksilberspiegel im Rohr. Die Länge der Quecksilbersäule ist daher ein Maß für die Größe des Luftdrucks. Man bezeichnet den Druck, der einer 1 mm hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht hält, zu Ehren Torricellis als **1 Torr.**

In Meereshöhe hat die Quecksilbersäule im allgemeinen eine Länge von 760 mm. Der Luftdruck beträgt dann 760 Torr.

Der mittlere Luftdruck in Meereshöhe beträgt 760 Torr.

Der Schweredruck einer 760 mm = 76 cm langen Quecksilbersäule läßt sich nach der Gleichung $p = h \cdot \gamma$ berechnen:

$$p = 76 \cdot 13{,}6 \, \frac{\mathrm{p}}{\mathrm{cm}^2} \approx 1033 \, \frac{\mathrm{p}}{\mathrm{cm}^2},$$

$$p \approx 1{,}033 \, \frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{cm}_2} = 1{,}033 \text{ at}.$$

Für Luftdruckmessungen verwendet man daneben noch die Einheit **Millibar** (mb), die aus dem Wetterbericht bekannt ist.

1000 mb = 750 Torr,
1 mb = 0,75 Torr,
1 Torr = 1,33 mb.

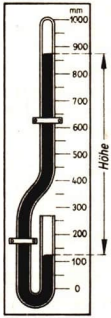
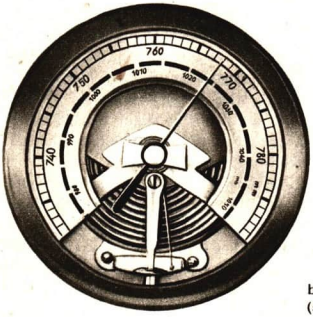
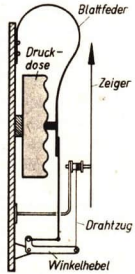


Abb. 121/1
Heberbarometer

Versieht man eine Torricellische Röhre mit einer in Torr oder in Millibar geteilten und geeichten Skale, so erhält man ein Gerät zur Messung des Luftdrucks, ein *Barometer* (Abb. **121**/1). Das Quecksilberbarometer ist ein Flüssigkeitsbarometer. Neben dem Quecksilberbarometer wird häufig das *Dosen-* oder *Aneroidbarometer* benutzt (**121**/2a). Es enthält keine Flüssigkeit und besteht aus einer Dose mit einem Deckel aus elastischem Wellblech, die fast luftleer gepumpt ist. Vergrößert sich der Luftdruck, so drückt er den Deckel der Dose etwas nach innen. Sinkt der Luftdruck, so wird der Druck auf die Dose geringer, und der Deckel bewegt sich nach außen, da er elastisch ist. Diese Bewegungen des Deckels werden durch ein Hebelwerk in die Drehbewegung eines Zeigers umgewandelt und in vergrößertem Maße über einer Skale sichtbar (Abb. **121**/2b).



a) Ansicht



b) Wirkungsweise
(schematisch)

Abb. **121**/2. Dosenbarometer

2. Flüssigkeitspumpen. Die Wirkung des Luftdrucks findet bei den *Pumpen* ihre Anwendung. Pumpen werden in verschiedenen Formen vielseitig in der Technik angewandt, beispielsweise dort, wo Gase oder Flüssigkeiten durch Rohrleitungen transportiert werden sollen. Der Vorgang beim Pumpen ähnelt dem beim Trinken durch einen Strohhalm. Die Lippen umschließen dicht den Halm. Durch Saugen wird die Luft in der Mundhöhle und im Strohhalm verdünnt. Der Schweredruck im Innern des Halms ist geringer als der Luftdruck, so daß die Flüssigkeit ins Röhrchen gedrückt wird.

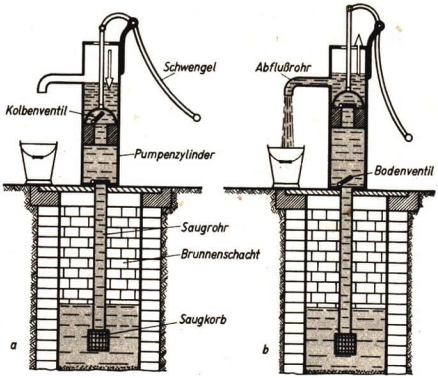


Abb. **122**/1. Saugpumpe (schematisch)

In ähnlicher Weise wird die Wirkung des Luftdrucks bei den Flüssigkeitspumpen ausgenutzt. Nach der Bauart unterscheidet man *Kolben-*, *Kapsel-* und *Membranpumpen*.

Eine einfache Kolbenpumpe ist die *Saugpumpe*, die man in Orten ohne Wasserleitung als Handpumpe benutzt (Abb. **122**/1). In einem Zylinder gleitet ein dicht anliegender Kolben. Beim Anheben des Kolbens wird unter ihm der Druck geringer. Infolge des äußeren Luftdrucks steigt das Wasser durch das sich selbsttätig öffnende Bodenventil in den Raum unter dem Kolben. Beim Senken des Kolbens schließt sich das Bodenventil, während sich das Kolbenventil öffnet. Das Wasser steigt in den Raum oberhalb des Kolbens. Beim nächsten Heben des Kolbens wird wieder Wasser angesaugt. Gleichzeitig wird bei geschlossenem Kolbenventil das Wasser oberhalb des Kolbens gehoben und fließt ab. Beim Senken des Kolbens schließt sich wieder das Bodenventil, und das Kolbenventil öffnet sich, so daß erneut Wasser in den Raum über den Kolben strömt.

Theoretisch könnte man das Wasser bis zu einer Tiefe von 10 m ansaugen, da der äußere Luftdruck das Wasser vom Brunnenschacht her durch das Saugrohr in die Pumpe treibt. Im Wasser ist aber stets Luft enthalten, und der Kolben schließt nicht vollkommen dicht ab, daher kann man das Wasser allein durch Saugwirkung kaum höher als 6 m bis 7 m heben. Die Saugpumpe ist ausschließlich für den Handbetrieb bestimmt und hat eine verhältnismäßig geringe Förderleistung.

Bei der *Druckpumpe* wird ebenfalls mit Hilfe eines Kolbens das Wasser aus dem Saugrohr angesaugt (Abb. **123**/1). Der Kolben enthält aber kein Ventil. Das ange-

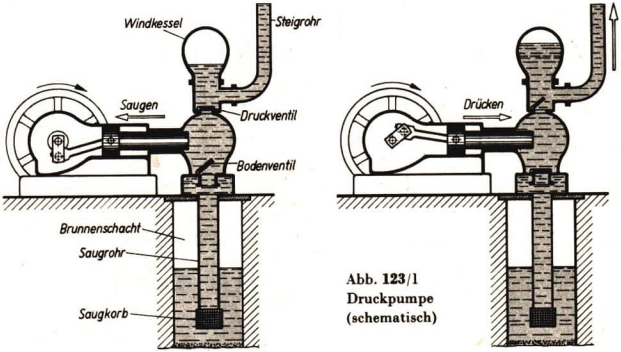


Abb. **123**/1
Druckpumpe
(schematisch)

saugte Wasser wird vielmehr bei der nächsten Kolbenbewegung aus dem Zylinder in ein Steigrohr gedrückt, wobei sich das Druckventil öffnet.

Infolge der Druckkraft des Kolbens können auf diese Weise Förderhöhen von beispielsweise 150 m erreicht werden. Damit ist der wesentlichste Nachteil der Saugpumpe beseitigt. Wie die Saugpumpe kann aber auch die Druckpumpe das Wasser nicht höher als 6 m bis 7 m über den Wasserspiegel ansaugen. Druckpumpen werden meist maschinell angetrieben. Damit das stoßweise Arbeiten der Pumpe ausgeglichen wird, haben Druckpumpen oft einen Windkessel. Die im Windkessel verdichtete Luft übt einen gleichmäßigen Druck auf das Wasser aus. Kolbenpumpen werden beispielsweise in Wasserwerken und chemischen Betrieben eingesetzt.

Die abgebildete Pumpe enthält statt eines Scheibenkolbens, wie er etwa in der Fahrradluftpumpe benutzt wird, einen *Tauchkolben* oder *Plunger*. Dieser bewegt sich frei im Zylinder. Eine gute Abdichtung erreicht man mit einer *Stopfbüchse* (Abb. **123**/2). Die Ausbohrung der Stopfbüchse wird mit *Hanfgarn* oder *Packungsringen* ausgefüllt und mit Hilfe der *Stopfbüchsenbrille* zusammengepreßt. Dadurch ist die Dichtung gesichert. Als Packungsmaterial wird neben Leder auch Metall verwendet.

Für den Schmierölumlauf und bei hydraulischen Antrieben benutzt man dagegen meist *Kapselpumpen*. Sie arbei-

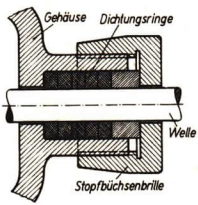


Abb. **123**/2. Stopfbüchse mit Lederpackung

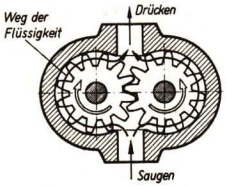


Abb. **123**/3. Zahnradpumpe

ten gleichmäßiger als Kolbenpumpen. Eine vielverwendete Kapselpumpe ist die *Zahnradpumpe*.

In einem Gehäuse werden zwei Zahnräder durch einen Motor angetrieben (Abb. **123**/3). Die Zahnräder greifen eng ineinander und liegen dicht an der Wand des Gehäuses an. An der Saugseite der Pumpe bewegen sich die Zähne auseinander. Infolge des dadurch vorübergehend vergrößerten Raumes entsteht ein Unterdruck, durch den das Öl angesaugt wird. Es wird dann in den Zahnlücken zur Druckseite transportiert. Beim erneuten Ineinandergreifen der Zähne wird das Öl aus den Zahnlücken verdrängt, wobei ein großer Druck entsteht. Trotz kleiner Abmessungen können Zahnradpumpen bis zu 125 Liter je Minute bei etwa 1500 $\frac{U}{min}$ fördern. Außer Öl werden mit Zahnradpumpen auch nichtschmierende Flüssigkeiten gefördert. Dazu gehört beispielsweise Viskose, mit der man künstliche Fasern spinnt.

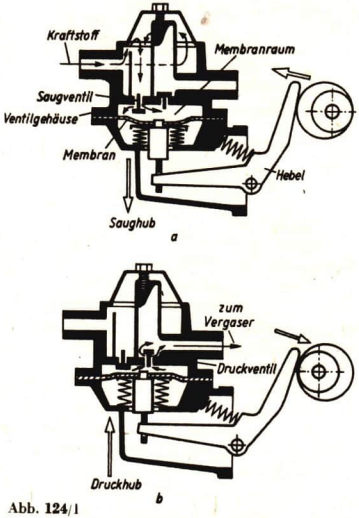


Abb. **124**/1
Schnitt durch eine Membranpumpe für Kraftstoff

Wird bei Kraftfahrzeugen der Kraftstoff aus einem Behälter entnommen, der tiefer als der Motor liegt, so benutzt man *Förderpumpen*. Man verwendet dazu vielfach *Membranpumpen* (Abb. **124**/1). Bei der im Schnitt dargestellten Kraftstofförderpumpe wird durch einen Hebel die Membran nach unten gezogen. Infolge des Unterdrucks im Membranraum wird Kraftstoff aus dem Behälter in die Pumpenkammer angesaugt. Der Kraftstoff fließt durch ein Filtersieb über das Saugventil in den Membranraum. Nach beendetem Saughub wird durch Federkraft die Membran nach oben gedrückt. Dadurch wird Kraftstoff über das Druckventil in den Anschlußstutzen zum Vergaser gedrückt.

Die Membranpumpen werden vielseitig, vorzugsweise in der chemischen Industrie, zum Fördern von ätzenden Flüssigkeiten und Laugen verwendet. In der Landwirtschaft benutzt man sie als Jauchepumpen.

3. Die Messung des Gasdrucks. Zum Schweißen braucht man Sauerstoff und ein brennbares Gas. Diese Gase und andere werden in *Druckgasflaschen* geliefert und können transportiert bzw. dort aufbewahrt werden, wo sie verwendet werden sollen.

Druckgasflaschen müssen fest gebaut sein. Würde die Festigkeit der Gefäßwand überschritten werden, so würde die Wand schlagartig zerreißen, das Gefäß würde explodieren. Explosionen müssen vermieden werden, da sie Menschen gefährden und Maschinen und Gebäude zerstören. Der Druck in Dampfkesseln, Druckgasflaschen und anderen Behältern muß daher ständig überwacht werden, damit er den zulässigen Höchstdruck nicht überschreitet. Als Druckmeßgeräte werden die *Manometer* verwendet. Man unterscheidet *Flüssigkeitsmanometer* und *flüssigkeitslose Metallmanometer*.

Flüssigkeitsmanometer wirken ähnlich wie Barometer. Man läßt den Druck, der gemessen werden soll, auf eine Flüssigkeitssäule wirken. Ein U-förmig gebogenes Rohr ist mit Quecksilber, Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt. Der eine Schenkel des Rohres ist offen, der andere ist mit dem Meßbehälter verbunden (Abb. **125**/1). Je nachdem, ob im Behälter ein Überdruck (Abb. **125**/1a) oder ein Unterdruck (Abb. **125**/1c) herrscht, steht die Flüssigkeit in den einzelnen Schenkeln verschieden hoch.

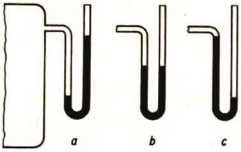


Abb. **125**/1. Druckmessung mit einem Flüssigkeitsmanometer
a) Überdruck b) Der Kesseldruck und der äußere Luftdruck sind gleich groß. c) Unterdruck

In der Industrie werden meist Metallmanometer benutzt, insbesondere zur Messung hoher Drücke, da Flüssigkeitsmanometer für diese Zwecke zu empfindlich sind. Beim Röhrenfedermanometer nutzt man die elastische Verformung einer kreisförmig gebogenen, elastischen Röhre aus, die einen elliptischen Querschnitt hat (Abb. **125**/2). Nimmt der Druck in dem angeschlossenen Behälter und damit auch im Innern der Röhre zu, so streckt sie sich etwas. Diese elastische Verformung wird durch ein Hebelwerk auf einen Zeiger übertragen. In den Röhrenfedermanometern spielt sich ein ähnlicher Vorgang ab wie bei den Luftschlangen. Bläst man Luft hinein, so wird der Druck im Innern der Papierröhre erhöht, und diese rollt sich auf.

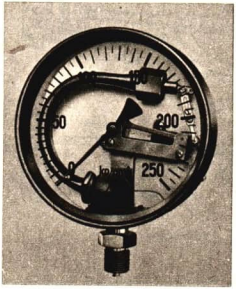


Abb. **125**/2. Röhrenfedermanometer

Einige Gasdrücke

Gasbehälter	Druck (at)
Stadtgasleitung	1,006 . . . 1,01
Fahrradschlauch	1,5
Autoreifen	2,5 9
Dampfdruck einer Lok	17 21
Hochdruckdampfkessel	bis 100
Druckgasflaschen	150 200

In der Technik ließ man den Luftdruck früher häufig unberücksichtigt und gab nur den über dem Luftdruck liegenden Gasdruck als Überdruck in atü an. Die Tabelle auf S. 125 enthält einige wichtige Druckangaben.

Damit beim Gebrauch der Druckgasflaschen keine Verwechslungen entstehen, hat man die Flaschen durch farbigen Anstrich gekennzeichnet. Außerdem unterscheiden sich die Gasflaschen auch durch das Gewinde am Anschlußstutzen.

Kennzeichnung von Gasflaschen

Gasflasche	Farbe	Gewinde
Sauerstoffflaschen	blau	Rechtsgewinde am Anschlußstutzen
Wasserstoffflaschen	rot	Linksgewinde am Anschlußstutzen
Acetylenflaschen	gelb	ohne Gewinde, Bügelverschluß

Druckgasflaschen sind stets sachgemäß zu behandeln. Sie müssen vor allem gegen Umfallen gesichert sein. Acetylenflaschen dürfen außerdem nicht der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt werden, da sonst die Flasche explodieren kann. Bei Sauerstoffflaschen dürfen die Flaschenventile und Druckminderventile nicht eingefettet werden, da sonst bei der Berührung mit Sauerstoff Brände und dadurch Explosionen entstehen können. Bei Beachtung aller Vorschriften werden aber, wie an allen Arbeitsplätzen, auch beim Arbeiten mit hochgespannten Gasen Unfälle vermieden.

4. Kolbenverdichter und Anwendungen der Druckluft. Die Gase für die Druckgasflaschen u. a. werden mit Hilfe von *Kolbenverdichtern* oder *Flügelverdichtern* zusammengepreßt. Man unterscheidet *Gebläse* und *Kompressoren*. Gebläse erzeugen Drücke bis zu etwa 3 at. Sie werden zum Beispiel zur Verdichtung der Verbrennungsluft bei Hochöfen verwendet. Man findet Gebläse aber auch bei landwirtschaftlichen Maschinen, wie bei der Dreschmaschine, dem Mähdrescher, der Häckselmaschine und dem Heugebläse. Die Heißluftdusche ist ebenfalls ein Gebläse. Durch rotierende Flügelräder wird ein gleichmäßiger Luftstrom erzeugt. Werkhallen großer Betriebe werden durch *Exhaustoren* entlüftet. Das sind große Ventilatoren zum Absaugen von Gasen, Dämpfen und staubiger Luft. Eine gründliche Entlüftung der Arbeitsräume ist für die Gesundheit unserer Werktätigen erforderlich.

Kompressoren verdichten Gase bis zu etwa 10 at. Die Abb. **126**/1 gibt einen schematischen Schnitt durch einen Kompressor wieder. Der Kompressor wird von

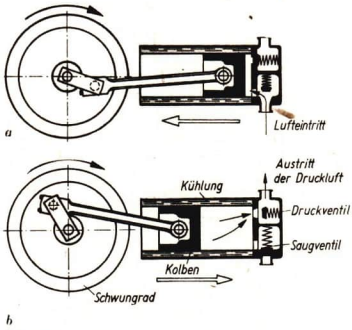


Abb. **126**/1. Schnitt durch einen Kompressor

einem Motor mit Hilfe eines Kurbeltriebes angetrieben. Den Zufluß und den Abfluß der Gase regeln zwei Ventile, von denen sich das eine beim Saugen (Abb. 126/1a), das andere beim Drücken (Abb. 126/1b) öffnet. Oft sind Kompressoren mit zwei Zylindern ausgerüstet, von denen jeweils der eine saugt und der andere drückt. Dadurch wird die Luft gleichmäßiger gefördert als mit einem Zylinder.

Kleine Kompressoren findet man in jeder Kraftfahrzeug-Reparaturwerkstatt zum Aufpumpen von Autoreifen und zum Betrieb von Lackspritzpistolen. Großkompressoren werden beispielsweise bei Ferngasleitungen eingesetzt. Sie halten dort den erforderlichen Druck aufrecht (Abb. **127**/1). In den großen chemischen Betrieben unserer Republik, zum Beispiel in den Leuna- und in den Bunawerken, müssen große Gasmengen transportiert und komprimiert werden. Bei der Benzinherstellung und bei vielen anderen chemischen Prozessen sind sehr hohe Drücke erforderlich. Hierzu werden *Hochdruckkompressoren* eingesetzt.

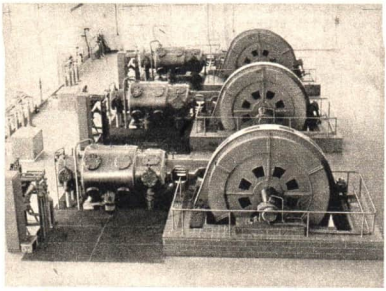


Abb. **127**/1. Dreistufiger Großkompressor

Komprimierte Gase haben potentielle Energie. So werden in Gießereien die Gußstücke mit einem Druckluftstrahl, dem feinste Quarzsandteilchen beigemischt sind, von dem anhaftenden Zunder und dem festgebackenen Formsand gereinigt. Die Arbeiter sind beim Arbeiten mit *Sandstrahlgebläsen* durch eine Maske und einen Spezialanzug vor den herumfliegenden Sandteilchen geschützt (Abb. **127**/2).

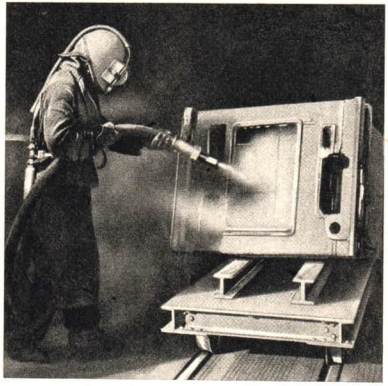


Abb. **127**/2. Arbeiten mit Sandstrahlgebläse

Eisenbahnzüge haben *Druckluftbremsen*. Mit Hilfe eines Verdichters auf der Lokomotive wird die Außenluft in einen Hauptbehälter gedrückt. Jeder Eisenbahnwagen hat außerdem einen Hilfsluftbehälter. Diese Behälter sind mit der Hauptleitung verbunden,

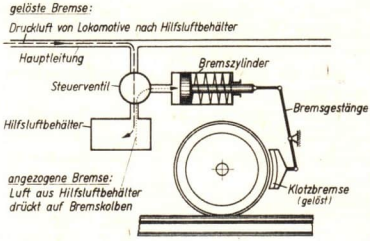


Abb. **128**/1. Schema einer Druckluftbremse

die zum Hauptbehälter führt (Abb. **128**/1). Alle Personenwagen und fast alle Güterwagen sind mit einer Druckluftbremse ausgerüstet. Beim Bremsen wird langsam der Druck in der Hauptleitung gesenkt. Dadurch wird die Druckluft des Hilfsbehälters wirksam. Sie drückt auf das Bremsgestänge und betätigt dadurch die *Klotzbremsen*, die den Wagen bremsen. Wird die Notbremse gezogen oder reißt ein Verbindungsschlauch zwischen den Wagen, so sinkt der Druck in der Hauptleitung sofort sehr stark. Dadurch tritt Vollbremsung ein. Die unter 6 at stehende Druckluft des Hilfsbehälters wirkt mit großer Kraft auf den Bremskolben ein. Notbremsen dürfen nur bei Gefahr benutzt werden. Infolge des starken Bremsens können Unfälle entstehen, können Fahrgäste verletzt und Gegenstände beschädigt werden. Der Mißbrauch von Notbremsen ist daher strafbar.

Ähnlich wie die Druckluftbremsen der Eisenbahn wirken auch die Druckluftbremsen bei schweren Lastkraftwagen und bei Omnibussen.

Abb. **128**/2. Preßluftmeißel

Preßluftbohrer, *Preßluftmeißel* und *Preßlufthämmer* sind vor allem Arbeitsgeräte des Bergmannes, des Steinbrucharbeiters und des Metallarbeiters (Abb. **128**/2 und Abb. **129**/1). Man wählt diesen Antrieb im Bergbau, weil bei Elektromotoren die Gefahr besteht, daß sich brennbare Gase durch Funken entzünden. Dadurch könnten schwere Bergwerksunglükke entstehen. Preßluftwerkzeuge werden auch für Straßenarbeiten und Abrißarbeiten eingesetzt. Derartige Werkzeuge belasten den Arbeiter infolge der Erschütterungen außerordentlich stark. In unseren Bergwerken und

beim Straßenbau werden deshalb im Zuge der Mechanisierung die Druckluftwerkzeuge immer mehr durch automatisch arbeitende Maschinen ersetzt. Durch sie wird nicht nur die Arbeit der Menschen erleichtert, sondern auch die Arbeitsproduktivität wesentlich gesteigert.

Abb. **129**/1. Mit Preßluft angetriebene Schleifmaschine

5. Anwendung von Vakuumpumpen. Mit *Vakuumpumpen* kann man ein Gas aus einem Behälter entfernen. Sie werden beispielsweise zum Leerpumpen von Glühlampenkolben und Fernsehröhren verwendet. Auch der Staubsauger wirkt wie eine Vakuumpumpe (Abb. **129**/2). Ein Gebläse erzeugt einen geringen Unterdruck, so daß die Außenluft wegen ihres höheren Druckes einströmt und dabei Staub mitnimmt.

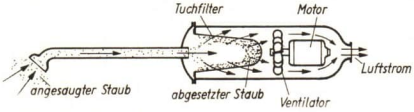


Abb. **129**/2. Schnittzeichnung durch einen Staubsauger

Mit modernen *pneumatischen Entladungsanlagen*, wie sie in den Häfen Rostock und Wismar stehen, kann zum Beispiel Getreide aus Schiffen durch Saugwirkung unmittelbar in Eisenbahnwagen umgeladen werden. Abbildung **130**/1 zeigt einen pneumatischen Getreideentlader, der wie ein Staubsauger wirkt. Durch mächtige Vakuumpumpen wird das Getreide von der abgesaugten Luft aus den Laderäumen mitgerissen und dann mit Hilfe von Becherwerken und Förderbändern weitertransportiert.

In landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften gibt es *elektrische Melkanlagen*. Bei einer Melkanlage wird der natürliche Saugvorgang des Kalbes künstlich nachgeahmt (Abb. **130**/2). Im Melkbecher entsteht durch eine elektrisch angetriebene Vakuumpumpe ein luftverdünnter Raum. Der Außendruck, der auch im Körper der Kuh wirkt, treibt die Milch aus der Zitze in den Innenraum des Melkbechers (*Saugtakt*). Danach strömt wieder Luft in den Außenraum des Melkbechers und preßt den Gummieinsatz gegen die Zitze. Dadurch wird der Milchstrom unterbrochen (*Entlastungstakt*). Saug- und Entlastungstakte wechseln gleichmäßig. Elektrische Melkanlagen können, wie viele andere Geräte, nur in Großbetrieben wirtschaftlich genutzt werden. Auch das ist einer der Vorteile beim Zusammenschluß unserer Bauern auf sozialistischer Grundlage.

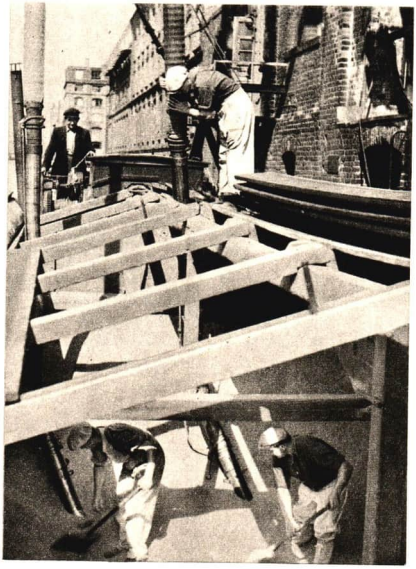


Abb. **130**/1. Pneumatische Getreideentlader

Die Geschichte der Pumpen reicht bis ins Altertum zurück. Schon um 180 v. u. Z. wurde in Alexandrien am unteren Nil die Druckpumpe erfunden und angewandt. Die Menschen wußten damals jedoch noch nicht, auf Grund welcher physikalischer Gesetze diese Pumpe arbeitet. Lange Zeit erklärte man alle Saugwirkungen daraus, daß „die Natur einen Abscheu vor leeren Räumen" habe. Man glaubte, daß die Natur deshalb jeden leeren Raum zu füllen suchte. Jedoch wußte man nicht, weshalb das Wasser in einer Saugpumpe nicht höher als etwa 8 m gehoben werden kann. Erst nach der Erklärung des Luftdrucks und seiner Wirkungen verstand man die Wirkungsweise der Pumpen und konnte die modernen Pumpen entwickeln.

6. Fragen und Aufgaben:

1. Bilde das Verhältnis der Längen der Flüssigkeitssäule eines Wasser- und eines Quecksilberbarometers und vergleiche es mit den Wichten der beiden Flüssigkeiten! Was stellst du fest? Erkläre!
2. Beschreibe die Wirkungsweise eines Flüssigkeitsbarometers und die eines Aneroidbarometers! Welche Vorteile hat ein Aneroidbarometer?
3. Guericke verwandte für seinen Versuch 16 Pferde. Wie hätte er mit der gleichen Anzahl von Pferden eine wesentlich größere Kraft auf die Halbkugeln ausüben können?
4. Welche Pumpenarten kennst du? Wie arbeiten sie? Wo hast du sie schon gesehen?
5. Warum werden die Anzüge der Weltraumfahrer ähnlich wie die der Taucher aussehen? Was muß man im Gegensatz zum Taucheranzug beachten?

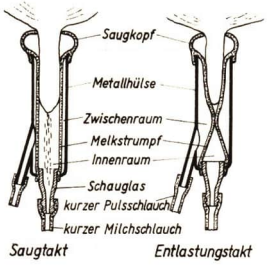


Abb. **130**/2. Schnitt durch den Melkbecher einer elektrischen Melkanlage

20. Geschwindigkeit und Druck in strömenden Flüssigkeiten und Gasen

1. Die Strömung — Die Stromlinien. Der Schweredruck, der Kolbendruck, der Auftrieb und das Schwimmen sind Erscheinungen, die in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen auftreten. Man bezeichnet das Gebiet der Physik, das sich mit den Vorgängen in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen beschäftigt, als **Hydro- und Aerostatik.** Im Gegensatz dazu werden in der **Hydro- und Aerodynamik** die Erscheinungen untersucht, die sich in strömenden Flüssigkeiten und Gasen abspielen. Dieses Gebiet nennt man daher auch *Strömungslehre.*

Das Wasser in Bächen, in Flüssen und im Meer ist eine strömende Flüssigkeit. Der Wind ist ein strömendes Gas. Solche Strömungen können entstehen, weil die Moleküle von flüssigen und gasförmigen Stoffen gegeneinander leicht verschiebbar sind. Die im folgenden behandelten Erscheinungen gelten im allgemeinen für Flüssigkeiten und Gase, auch wenn nicht besonders darauf hingewiesen wird. Nur bei hohen Geschwindigkeiten strömender Gase treten Abweichungen von strömenden Flüssigkeiten auf.

Bei vielen *Strömungsvorgängen* muß man den genauen Verlauf der Strömung kennen, damit man die Strömungen für technische Zwecke nutzbar machen kann. Zum Beispiel müssen die Ansaug- und Auspuffkanäle bei Motoren und die Leitungen hydraulischer Anlagen so geformt sein, daß beim Durchströmen der Flüssigkeiten bzw. Gase die Energie gut ausgenutzt wird.

Man spricht auch dann von einer *Strömung*, wenn, wie bei einem Schiff oder einem Flugzeug, die Flüssigkeit oder das Gas ruhen und ein Körper durch sie hindurchbewegt wird. Die Strömungsvorgänge wären nämlich die gleichen, wenn das Flugzeug beziehungsweise das Schiff ruhen und sich die Luft beziehungsweise das Wasser bewegen würde. Gerade bei den Strömungsvorgängen an Flugzeugen ist es für die Flugzeugkonstrukteure wichtig, den genauen Verlauf der Strömung zu kennen.

Oft erkennt man zwar, daß sich eine Flüssigkeit oder ein Gas bewegt; den Weg der einzelnen Teilchen und damit den Verlauf der Strömung kann man aber nur schwer genau verfolgen. Man macht ihn dadurch sichtbar, daß man beispielsweise der Luft Rauch oder dem Wasser Korkmehl beimischt. Auf einer fotografischen Aufnahme erkennt man die Bahnen der einzelnen Teilchen als kurze Striche (Abb. **131**/1a). Werden die einzelnen Striche in ihrer Verlängerung jeweils mit dem nächsten Strich verbunden, so erhält man den Verlauf der Strömung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Eine solche Abbildung bezeichnet man als *Stromlinienbild* (Abb. **131**/1b).

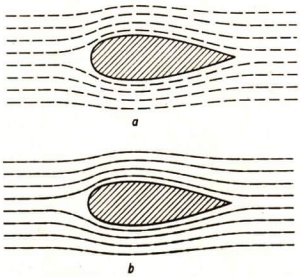


Abb. **131**/1. Strömungsverlauf
a) Zeichnerische Wiedergabe nach einer Fotografie b) schematische Zeichnung

In einem Fluß strömt in der Mitte das Wasser meist gleichmäßig dahin. Das

Stromlinienbild ist daher zu jedem Zeitpunkt gleich. Man bezeichnet eine solche Strömung als **stationäre Strömung.**

In einer stationären Strömung bleibt das Stromlinienbild immer gleich.

2. Strömungsgeschwindigkeit und Querschnitt. Aus einem Spritzschlauch, wie er zum Säubern von Kraftfahrzeugen und zum Sprengen des Gartens verwendet wird, strömt das Wasser mit großer Geschwindigkeit aus. Das entsprechende Stromlinienbild zeigt, daß die Stromlinien *an der Verengung* der Austrittsöffnung, an der Düse, *dichter zusammengedrängt* sind als vorher (Abb. **132**/1). Läßt man das Wasser dagegen aus einer *Rohrerweiterung* austreten, so sinkt die Strömungsgeschwindigkeit. In dem dazugehörigen Stromlinienbild liegen die Stromlinien in diesem Falle *weiter auseinander.* Somit kann man aus dem Stromlinienbild auf die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit schließen.

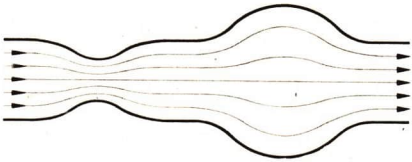


Abb. **132**/1. Strömungsverlauf bei Änderung des Querschnitts links: Rohrverengung, rechts: Rohrerweiterung

Je dichter die Stromlinien in einer Strömung verlaufen, desto größer ist die Strömungsgeschwindigkeit.

Die Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Rohrquerschnitt kann man auch mit Hilfe einer Überlegung ableiten: Eine Flüssigkeit strömt durch ein Rohr (Querschnitt A_1) mit der Geschwindigkeit v_1 (Abb. **132**/2). Die in 1 s durch das Rohr fließende Wassermenge Q_1 kann man dadurch berechnen, daß man das Produkt aus dem Strömungsquerschnitt A_1 und der Strömungsgeschwindigkeit v_1 bildet:

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1.$$

Bei $A_1 = 0{,}5\ \mathrm{m}^2$ und $v_1 = 5\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ ergibt sich:

$$Q_1 = 0{,}5 \cdot 5\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}} = 2{,}5\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}.$$

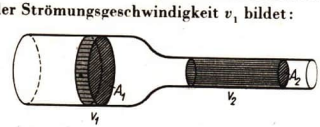


Abb. **132**/2. Strömungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Rohrquerschnitten

Es fließen also 2,5 m³ Flüssigkeit je Sekunde durch das Rohr.

Von einer bestimmten Stelle an verengt sich das Rohr auf den Querschnitt A_2. Da das zufließende Wasser auch wieder abfließen muß, strömt die Flüssigkeit im engen Rohr schneller. Die Geschwindigkeit im engen Rohr muß so groß sein, daß in einer Sekunde durch den Rohrquerschnitt die gleiche Flüssigkeitsmenge fließt wie in dem weiten Rohr. Für diese Durchflußmenge gilt entsprechend die Gleichung:

$$Q_2 = A_2 \cdot v_2.$$

Da die Durchflußmengen Q_1 und Q_2 gleich groß sein müssen, $Q_1 = Q_2$, gilt die Produktgleichung:

$$\boxed{A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2} \cdot \boxed{F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2}$$

Wenn A_2 kleiner als A_1 ist, muß v_2 größer als v_1 sein. Zu dem gleichen Ergebnis kommt man auf Grund des Stromlinienbildes. Verengt sich beispielsweise das Rohr auf $A_2 = 0{,}25\ \mathrm{m}^2$, also auf die Hälfte des ursprünglichen Querschnitts, so wächst die Geschwindigkeit auf $10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, also auf den doppelten Wert, an. Durch das enge Rohr fließt die Durchflußmenge

$$Q_2 = 0{,}25 \cdot 10\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} = 2{,}5\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}.$$

Die gleiche Menge strömte auch in einer Sekunde durch das weite Rohr. Umgekehrt nimmt bei einer Rohrerweiterung die Strömungsgeschwindigkeit ab. Allgemein gilt also für eine stationäre Strömung:

Bei einer stationären Strömung ist an jeder Stelle des Rohres das Produkt aus dem Querschnitt und der Strömungsgeschwindigkeit gleich groß. Je kleiner der Querschnitt des Rohres ist, desto größer ist die Strömungsgeschwindigkeit.

3. Der Druck in strömenden Flüssigkeiten und Gasen. Durch chemische Vorgänge an der Oberfläche von Metallen, beispielsweise durch Rost, entstehen für die Volkswirtschaft jährlich große Verluste. Zur Vermeidung solcher Schäden werden die Oberflächen metallischer Werkstücke oft mit einem Farb- oder Lacküberzug versehen. Die Farbe bzw. der Lack wird häufig mit einer *Spritzpistole* aufgetragen (Abb. **133**/1). Bei der Spritzpistole wird die an der Düse auftretende Saugwirkung ausgenutzt. Durch sie wird die Farbflüssigkeit angesaugt und gleichmäßig verstäubt.

Diese Saugwirkung muß, wie bei den Pumpen, auf einem Unterdruck beruhen. Durch den folgenden Versuch kann man nachweisen, daß *an der Stelle einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit ein Unterdruck entsteht.* Bläst man einen Luftstrom durch einen schmalen Spalt zwischen zwei Postkarten, die parallel zueinander gehalten werden, so werden sie nicht etwa auseinandergeblasen, sondern genähert. Der von außen wirkende Luftdruck ist größer als der Druck zwischen den Karten.

Abb. **133**/1. Farbspritzen von Geräteteilen unter einem Abzug

In einem zweiten Versuch sollen nun die verschieden großen

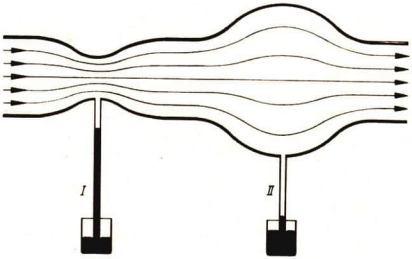


Abb. **134**/1. Glasrohr mit verschiedenen Rohrquerschnitten und zwei Manometern

Drücke gemessen werden. Durch ein Glasrohr wird ein Luftstrom geblasen (Abb. **134**/1). An den Meßstellen *I* und *II* sind Manometer angeschlossen. Mit ihnen kann der Druck, der senkrecht zur Strömungsrichtung wirkt, gemessen werden. Strömt die Luft durch das Rohr, so steigt im Manometer *I* der Flüssigkeitsspiegel. Der Druck der strömenden Luft ist daher an dieser Stelle wesentlich geringer als der äußere Luftdruck. Man nennt den Druck, der senkrecht zur Strömungsrichtung wirkt, den **statischen Druck,** während man den Druck in Richtung der Strömung als **dynamischen Druck** bezeichnet. Der statische Druck ist an einer Rohrverengung wesentlich kleiner als der Luftdruck. An der Meßstelle *II* ist der statische Druck dagegen nur wenig kleiner als der Luftdruck, denn die Flüssigkeit im Manometer steigt nur wenig. An der Stelle *I* herrscht jedoch ein starker Unterdruck, den man auch als Sog bezeichnet.

Senkrecht zu einer Strömung herrscht ein Unterdruck, der an einer Rohrverengung besonders groß ist (Sog).

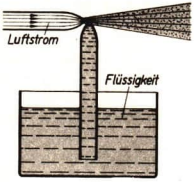
Wie die Versuche und die Überlegungen auf S. 132 zeigten, nimmt an einer Rohrerweiterung die Strömungsgeschwindigkeit ab, die Stromlinien liegen weiter auseinander. An einer Rohrverengung nimmt dagegen die Strömungsgeschwindigkeit zu, die Stromlinien liegen enger zusammen. Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Strömungsgeschwindigkeit und über den statischen Druck gehören zusammen, da beide Erscheinungen stets gleichzeitig auftreten.

Laufen die Stromlinien auseinander, so nimmt die Strömungsgeschwindigkeit ab und der statische Druck zu. Laufen die Stromlinien zusammen, so nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zu und der statische Druck ab.

Die Wirkungsweise der Farbspritzpistole beruht auf dem Sog an einer Rohrverengung. An der Düse sinkt der statische Druck so stark, daß durch den Luftdruck die Farbflüssigkeit bis an diese Stelle gedrückt, von dem Luftstrom mitgerissen und fein verstäubt wird. Dadurch wird sie gleichmäßig auf das Werkstück aufgetragen. Außerdem können in der gleichen Zeit größere Flächen mit Farbe überzogen werden, als dies mit Hilfe eines Pinsels möglich ist.

Der Sog an einer Rohrverengung wird auch bei verschiedenen anderen Geräten ausgenutzt. So können mit einem *Zerstäuber* Öl, Petroleum, Parfüm, Desinfektionsmittel und Wasser sehr fein verteilt werden. Ein Zerstäuber dieser Art besteht aus zwei zueinander senkrecht stehenden Röhrchen (Abb. **135**/1). Das waagerechte Röhrchen

Abb. **135**/1. Glasrohrzerstäuber mit Stromlinienverlauf



verengt sich am Ende. Dicht unter dieser Verengung, der Düse, endet das senkrechte Röhrchen, dessen unteres Ende in die zu zerstäubende Flüssigkeit taucht. Bläst man durch das waagerechte Röhrchen, so entsteht an der Düse ein Unterdruck. Infolgedessen wird die Flüssigkeit durch den Luftstrom in dem senkrechten Röhrchen hochgedrückt und von dem Luftstrom versprüht.

Auch im *Vergaser* der Otto-Motoren wird der Kraftstoff durch strömende Luft angesaugt, fein verstäubt und mit Luft vermischt. An der Verengung des Ansaugrohres ist die Luftgeschwindigkeit sehr groß, nämlich etwa $100\,\frac{m}{s}$ (vgl. Abb. **115**/2).

Im *Bunsenbrenner* strömt Stadtgas aus einer engen Öffnung aus. Durch den dabei entstehenden Unterdruck wird Luft angesaugt (Abb. **135**/2). Das Gas-Luft-Gemisch verbrennt mit sehr heißer Flamme. Die Luftzufuhr und damit die Temperatur der Flamme kann durch einen Ring geregelt werden.

Ähnlich wie ein Bunsenbrenner wirkt auch die *Wasserstrahlpumpe*. Während jedoch beim Bunsenbrenner und den anderen Anwendungsbeispielen ein Gas strömte und eine Flüssigkeit angesaugt wurde, strömt bei der Wasserstrahlpumpe eine Flüssigkeit. Mit einer Wasserstrahlpumpe können sowohl Flüssigkeiten als auch Gase angesaugt werden. Der Wasserstrahl strömt aus einer Düse aus (Abb. **135**/3). Wegen des Unterdrucks wird Luft oder auch ein Gas bzw. eine Flüssigkeit angesaugt. Mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe kann die Luft aus einem Gefäß so weit ausgepumpt werden, daß nur noch ein Druck von etwa 12 Torr herrscht.

Bei allen bisher genannten Beispielen wurde vor allem die *Saugwirkung* der Düse ausgenutzt. Geräte, bei denen es auf die *Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit* an der Düse ankommt, sind die Strahlrohre an den Feuerwehrschläuchen, die Rasensprenger, die Berieselungsanlagen und die Baumspritzen. Ebenso entströmt im *Strahltriebwerk* eines Flugzeuges das Gas einer Düse mit großer Geschwindigkeit (Abb. **135**/4). Solche Flugzeuge werden deshalb auch als Düsenflugzeuge bezeichnet.

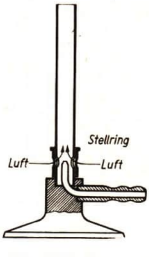


Abb. **135**/2. Bunsenbrenner (schematisch)

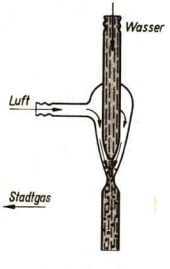


Abb. **135**/3 Wasserstrahlpumpe

Abb. **135**/4. Düse eines Strahltriebwerkes

4. Fragen und Aufgaben:

1. Was sagt ein Stromlinienbild über die Strömungsgeschwindigkeit und den statischen Druck aus?

2. Wie funktioniert eine Blumenspritze?
3. Schildere Geräte, bei denen die Düsenwirkung ausgenutzt wird!
4. Warum arbeitet ein nach Abbildung **136**/1 konstruierter Zerstäuber nicht?
5. Ein Tischtennisball schwebt im Luftstrom eines senkrecht nach oben gerichteten Fönapparates auf und ab. Neigt man den Luftstrom langsam, bis er einen Winkel von etwa 45° mit der Horizontalen bildet, so fällt der Ball nicht etwa herunter, sondern schwebt weiter an der Unterseite des Luftstromes. Führe den Versuch selbst durch und erkläre diese Erscheinung!

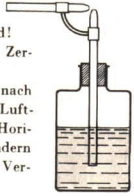


Abb. **136** 1

21. Körper in strömenden Stoffen

1. Der Strömungswiderstand. In der Schiffbauversuchsanstalt Berlin-Potsdam wird in einem 280 m langen Schleppkanal untersucht, wie sich Schiffe bei der Umströmung durch das Wasser verhalten (Abb. **136**/2). Die Schiffsmodelle aus Holz oder aus Hartparaffin werden langsam in der ruhenden Flüssigkeit bewegt. Dazu ist eine bestimmte Kraft erforderlich, weil die Bewegung durch eine Gegenkraft, den *Strömungswiderstand*, gehemmt wird. Der Strömungswiderstand tritt bei jedem in Wasser oder in Luft bewegten Körper auf. Man spürt diesen Widerstand auch beim Radfahren oder beim schnellen Laufen. In diesen Fällen bezeichnet man den Strömungswiderstand häufig als Luftwiderstand.

Abb. **136**/2. Schleppkanal der Schiffbauversuchsanstalt Berlin-Potsdam

Der Strömungswiderstand tritt auch dann auf, wenn der Körper ruht und die Luft oder das Wasser gegen den Körper strömt. Es kommt also nicht darauf an, *ob sich der Stoff oder der Körper bewegt.*

Die Kraft, die eine Strömung auf einen Körper in der Strömungsrichtung ausübt, nennt man Strömungswiderstand.

Da der Strömungswiderstand die Bewegung von Flugzeugen und von Fahrzeugen stark hemmt, sucht man ihn möglichst gering zu halten. Dazu muß aber bekannt sein, wovon der Strömungswiderstand abhängt. Bei Untersuchungen des Strömungswiderstandes in Flüssigkeiten wird im allgemeinen der zu untersuchende Körper durch das Wasser geschleppt.

Dieses Verfahren läßt sich jedoch bei Gasen praktisch nicht anwenden; denn bei Gasen sind größere Geschwindigkeiten erforderlich als bei den entsprechenden Untersuchungen in Flüssigkeiten. Größere Geschwindigkeiten lassen sich aber nur auf sehr langen Meßstrecken erreichen. Außerdem ist die Messung an schnell bewegten Gegenständen schwierig. Deshalb benutzt man zur Untersuchung des Strömungswiderstandes in Gasen meist *Windkanäle.* Der zu untersuchende Körper bleibt hierbei stehen, während die Luft durch ein starkes Gebläse in Bewegung gesetzt wird und den Körper umströmt (Abb. **137**/1). Der Körper, beispielsweise ein Tragflügel, ein Auto- oder ein Flugzeugmodell, befindet sich vor der Ausströmdüse. Empfindliche Waagen messen die Kräfte, die beim Umströmen der Modelle auftreten.

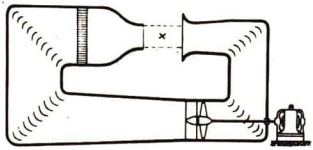


Abb. **137**/1. Windkanal mit offener Meßstrecke (×)

Welche gewaltige Entwicklung in der Größe der Windkanäle erreicht wurde, zeigt die folgende Übersicht.

Entwicklung der Windkanäle

Baujahr	Windgeschwindigkeit $\frac{m}{s}$	Windgeschwindigkeit $\frac{km}{h}$	Düsenöffnung ∅ in m	Antriebsleistung PS
1907	30	108	1,20	35
1931	52	187	etwa 12	8000
1957	110	396	18	150000

Mit Hilfe von *Großwindkanälen* können die Messungen unmittelbar an Kraftfahrzeugen und Flugzeugen durchgeführt werden. Solche Großanlagen sind jedoch sehr selten, da die Anlagekosten außerordentlich groß sind. Ein 150000-PS-Gebläse erfordert beispielsweise die gleiche Antriebsleistung wie etwa 80 Flugmotoren des Flugzeugtyps IL 14 P. *Windkanäle kleinerer und mittlerer Größe* findet man an vielen technischen Lehr- und Versuchsanstalten (Abb. **138**/1). Auch an der Technischen

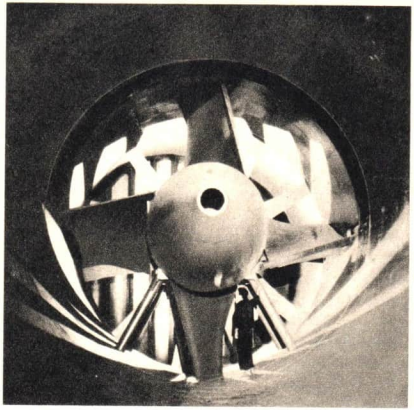


Abb. **138**/1. Windkanal für niedrige Geschwindigkeiten

Universität Dresden sind mehrere Windkanäle in Betrieb. Daneben haben unsere Wissenschaftler und Ingenieure die Möglichkeit, Großwindkanäle in der Sowjetunion zu benutzen, wie es im Vertrag über die wissenschaftliche Zusammenarbeit der sozialistischen Länder vorgesehen ist.

Flugzeugkonstrukteure müssen wissen, von welchen Größen der Strömungswiderstand eines Flugzeuges abhängt. Eine einfache Versuchsanordnung zum Messen des Strömungswiderstandes zeigt die Abbildung **138**/2. An dem waagerechten Stab der Versuchsanordnung werden verschiedene Versuchskörper, wie Scheiben, Kugeln, Stromlinienkörper, befestigt. Bläst man den Versuchskörper an, so kann man an der Federwaage die auf den Körper ausgeübte Druckkraft des Luftstromes ablesen. Diese Kraft ist gleich dem Strömungswiderstand.

Aus den Versuchen ergeben sich folgende Gesetzmäßigkeiten:

1. Erhöht man die Geschwindigkeit des Luftstromes, so zeigt die Federwaage einen größeren Wert an. Bei der zweifachen (dreifachen) Geschwindigkeit ergibt sich ein vierfacher (neunfacher) Wert des Strömungswiderstandes

Der Strömungswiderstand ist dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit proportional.

Soll beispielsweise ein Flugzeug statt einer Geschwindigkeit von 200 $\frac{km}{h}$ eine solche von 400 $\frac{km}{h}$ erreichen, dann ist der vierfache Strömungswiderstand zu überwinden. Daher müssen die Motoren die vierfache Leistung haben.

2. Eine kleine Pappscheibe hat einen geringeren Luftwiderstand als eine

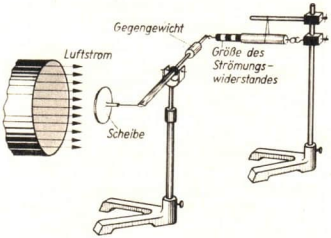


Abb. **138**/2. Versuchsanordnung zum Messen des Strömungswiderstandes

große Pappscheibe. Ist die Fläche der Scheibe doppelt so groß, dann treffen auch doppelt so viele strömende Teilchen auf ihre Oberfläche.

Der Strömungswiderstand ist der Größe der angeströmten Fläche proportional.

Der Widerstand eines Radfahrers ist in aufrechter Haltung größer als in Rennfahrerhaltung.

3. Der Strömungswiderstand hängt von der Dichte des strömenden Stoffes ab. Je geringer die Dichte ist, desto weniger Teilchen treffen in der gleichen Zeit auf den Körper.

Der Strömungswiderstand ist der Dichte proportional.

Verkehrsflugzeuge vom Typ TU 104 legen den größten Teil ihres Fluges in einer Höhe von über 10000 m zurück. Da die Dichte der Luft mit zunehmender Höhe abnimmt, ist auch der Strömungswiderstand in größeren Höhen geringer als dicht über dem Erdboden. Aber nur die mit besonderen luftdichten Kabinen, sogenannten Druckkabinen, ausgestatteten Flugzeuge können in großen Höhen fliegen.

4. Werden Versuchskörper verschiedener Form, aber gleich großen Querschnitts, mit gleicher Windgeschwindigkeit angeblasen, dann zeigt sich, daß der Strömungswiderstand von der Form des Körpers abhängt (Abb. **139**/1). Der sogenannte Stromlinienkörper hat den geringsten, die offene Halbkugel den größten Widerstand. Bei Körpern gleicher Form und gleichen Querschnitts ist der Strömungswiderstand eines rauhen Körpers größer als der eines glatten.

Der Strömungswiderstand hängt von der Form und von der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers ab.

2. Wirbelbildung. Hinter einem schnellfahrenden Kraftfahrzeug wird auf trockenen Straßen Staub und Papier aufgewirbelt. Hinter dem umströmten Fahrzeug bilden sich **Wirbel.** Beim Paddeln und Rudern kann man ebenfalls Wirbel beobachten, wenn die Paddel und Ruder quer zur Strömungs- bzw. Fahrtrichtung bewegt werden. Der folgende Versuch zeigt diese Wirbelbildung besonders deutlich.

Eine Holzplatte wird quer zur Bewegungsrichtung durch Wasser gezogen, dessen Oberfläche mit Kork-

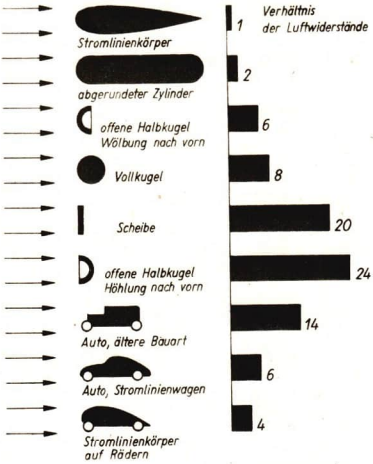


Abb. **139**/1. Strömungswiderstände von Körpern verschiedener Form, aber gleichen Querschnitts

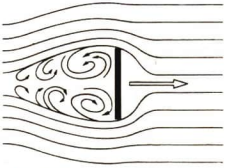


Abb. **140**/1. Wirbelbildung hinter einer Platte

mehl, Bärlappsporen oder anderen leichten Schwimmkörpern bestreut ist. Hinter der Platte entstehen kräftige Wirbel, durch die immer mehr Wasserteilchen in Bewegung geraten (Abb. **140**/1). Bewegt man dagegen die Platte parallel zur Bewegungsrichtung, so ist der Widerstand des Wassers nur gering. es kommt kaum zu einer Wirbelbildung.

Bei der quer gestellten Platte ist ein Teil ihrer kinetischen Energie auf die Wasserteilchen hinter der Platte übertragen worden, so daß diese in Bewegung geraten. Mit der Vergrößerung der kinetischen Energie der Wasserteilchen ist aber die kinetische Energie der Platte geringer geworden. Die Gesamtenergie der bewegten Platte und der bewegten Wasserteilchen bleibt unverändert. Auf Grund der Wirbelbildung wird die Bewegung der Platte gehemmt; ihre Geschwindigkeit sinkt. Soll aber die gleiche Geschwindigkeit beibehalten werden. so muß zusätzlich eine Kraft aufgewandt werden. Der Betrag dieser Kraft ist gleich dem Strömungswiderstand.

Schwimmer dürfen sich einem vorbeifahrenden Dampfer nicht zu sehr nähern. da sie sonst in dem Wirbelgebiet hinter dem Heck des Schiffes in die Schiffsschrauben hineingezogen werden können. Im Wirbelgebiet herrscht ein Sog in Richtung auf das Fahrzeug. Diesen Sog nutzen die Radrennfahrer bei den sogenannten *Steherrennen* aus (Abb. **140**/2). Im Windschatten eines Motorradfahrers, des Schrittmachers, können für längere Zeit Geschwindigkeiten zwischen 60 $\frac{km}{h}$ und 90 $\frac{km}{h}$ erzielt werden.

Den Sog hinter einem Auto würde mancher Radfahrer gern ausnutzen, indem er direkt hinter einem Auto fährt. Das darf aber nicht sein. da auf diese Weise leicht

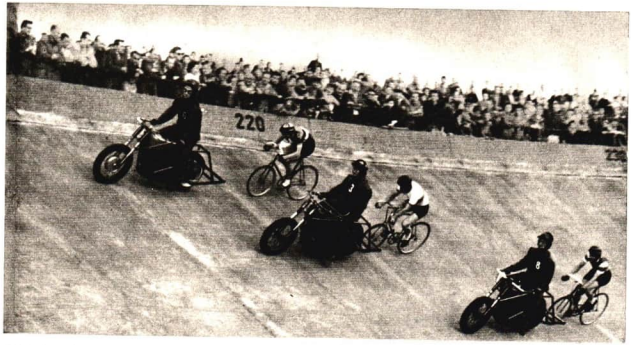


Abb. **140**/2. Steherrennen

Unfälle entstehen können und schon entstanden sind. Man darf niemals durch Leichtsinn das eigene und das Leben anderer Verkehrsteilnehmer gefährden.

Zur Erklärung der Sogwirkung muß man die Kenntnisse über die Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und statischem Druck anwenden. Im Wirbelgebiet haben die Flüssigkeitsteilchen eine verhältnismäßig große Geschwindigkeit; deshalb herrscht hier ein geringerer statischer Druck als in der Umgebung. Hinter einem Fahrzeug entsteht daher ein Unterdruckgebiet. Dies kann mit Hilfe der folgenden Versuche nachgewiesen werden.

1. Bläst man eine Pappscheibe mit einem starken Luftstrom an und mißt mit einem Manometer den Druck hinter der Scheibe, so stellt man einen Unterdruck fest.
2. Eine Pappscheibe wird an einem Draht befestigt, auf dem eine kleinere Pappscheibe gleiten kann (Abb. **141**/1). Bewegt man die große Scheibe in der angegebenen Richtung, so wird die kleinere Scheibe an die größere herangezogen. Der zweite Versuch verläuft anders, als man ohne Vorkenntnisse erwarten würde. Man bezeichnet daher diese Erscheinung als *aerodynamisches Paradoxon*.

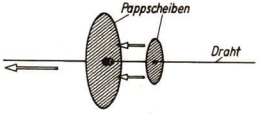


Abb. **141**/1. Pappscheiben, von denen sich die kleinere auf einem Draht bewegen kann

Fallschirmspringer nutzen die bremsende Wirkung der Wirbel aus. Der geöffnete Fallschirm bildet eine offene Halbkugel, die einen großen Strömungswiderstand hat (vgl. Tabelle auf S. 139). Die ersten Sprünge führen die jungen Fallschirmspringer der Gesellschaft für Sport und Technik von einem Sprungturm aus (Abb. **141**/2). Der Übungsschirm hängt an einem Stahlseil und wird durch einen Eisenreifen offengehalten. Außerdem kann mit Hilfe eines Führungsseils die Fallgeschwindigkeit reguliert werden.

Abb. **141**/2. Fallschirmspringer der GST beim Sprung vom Turm

Beim Sprung aus dem Flugzeug öffnet sich der Fallschirm entweder unmittelbar nach dem Verlassen des Flugzeuges mit Hilfe einer Aufzugleine, oder der Springer kann einen späteren Zeitpunkt für das Öffnen des Fallschirmes selbst bestimmen. Dies ist besonders für Sprünge aus großen Höhen wegen der Abkürzung der Sprungzeit notwendig. Der Fallschirmspringer öffnet dann seinen Schirm erst einige hundert Meter über dem Erdboden.

Beim *Bau von Fahrzeugen* bemüht man sich, das Wirbelgebiet hinter dem Fahrzeug möglichst klein zu machen. Dann kann nämlich mit dem gleichen Motor die Geschwindigkeit erhöht werden. Soll aber nur die gleiche Geschwindigkeit erreicht werden, so genügt ein Motor mit

einer geringeren Leistung. Nach der Tabelle auf S. 139 wäre für Fahrzeuge die Stromlinienform am günstigsten. Sie läßt sich jedoch aus bautechnischen Gründen nicht voll verwirklichen. Man vermindert aber bereits durch Abrunden der Kanten, vor allem an der Rückseite, den Luftwiderstand beträchtlich. Zur Zeit herrscht im Automobilbau die Pontonform vor, wie sie der *Wartburg* und der *Trabant* aufweisen. Der Luftwiderstand ist bei dieser Form des Kraftfahrzeuges gering. Außerdem ist die Straßenlage günstig, und der Innenraum kann zweckmäßig ausgenutzt werden.

In der Natur haben sich bei *Vögeln* und *Fischen* Formen herausgebildet, die einen geringen Strömungswiderstand haben. So hat der Körper der Vögel weitgehend die Form eines Stromlinienkörpers. Die Körper von Walen und Robben sind so geformt, daß sie das Wasser möglichst wirbelfrei durchschneiden. Auch die Tiere haben sich im Laufe ihrer Entwicklungsgeschichte den Umweltbedingungen angepaßt.

Bei den letzten Beispielen kam es darauf an, den Strömungswiderstand möglichst gering zu halten. Es gibt aber auch Beispiele, bei denen man den Strömungswiderstand bewußt ausnutzt. So wurden in der Sowjetunion und auch in unserer Republik Baumreihen und Hecken als *Windschutzstreifen* angepflanzt. Hinter diesen Streifen kommt es zu einer starken Wirbelbildung, so daß die kinetische Energie des Windes verringert wird. Dadurch kann vom Wind nicht mehr die Ackerkrume abgetragen werden, und der Boden trocknet weniger aus. Man erreicht auf diese Weise eine beträchtliche Ertragssteigerung.

3. Fragen und Aufgaben:

1. Von welchen Größen hängt der Strömungswiderstand ab?
2. Nenne Beispiele, die zeigen, wie man den Luftwiderstand herabzusetzen versucht!
3. Wie wird bei Rennmotorrädern der Luftwiderstand herabgesetzt?
4. Erkläre den Zusammenhang zwischen der Wirbelbildung und dem Strömungswiderstand!
5. Warum springen Fallschirmspringer aus großen Höhen mit Verzögerung?
6. Warum fahren Straßenrennfahrer bei Seitenwind gestaffelt?

22. Das Flugzeug

1. Der Auftrieb bei Flugzeugen. In den Wetterdienststellen unserer Republik werden täglich *Wetterballons* aufgelassen. Sie tragen Geräte zur Messung der Temperatur, des Luftdruckes und der Luftfeuchtigkeit in der Erdatmosphäre bis zu einer Höhe von 25 km. Ein derartiger Ballon ist mit Wasserstoff gefüllt. Sein Gesamtgewicht einschließlich der Gasfüllung und der meteorologischen Geräte ist kleiner als das Gewicht der von ihm verdrängten Luftmenge. Er erfährt daher in der Luft einen Auftrieb und steigt nach oben. Da hierbei die Luft in Ruhe ist, bezeichnet man diesen Auftrieb als **statischen Auftrieb.**

Alle Flugzeuge, auch das kleine Reiseflugzeug Super-Aero, sind viel schwerer als die von ihnen verdrängte Luftmenge. Der statische Auftrieb reicht daher bei weitem nicht aus, das Flugzeug in die Luft zu heben. Trotzdem kann es fliegen.

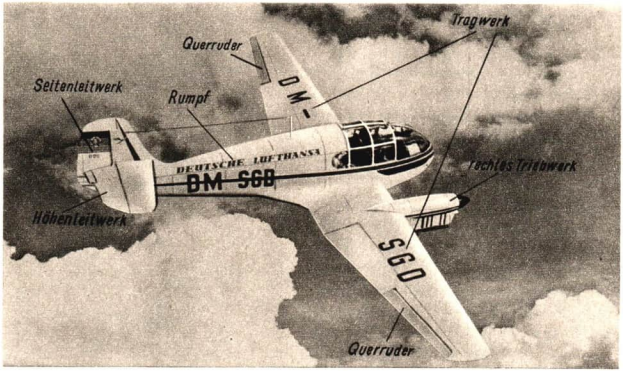


Abb. **143**/1. Super-Aero, gebaut in der CSSR

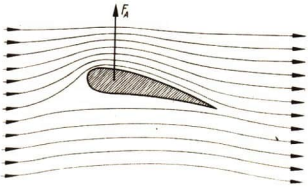
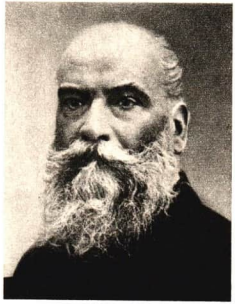


Abb. **143**/2
Stromlinienbild eines Tragflächenprofils

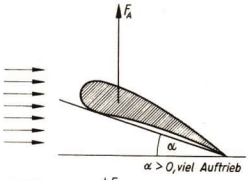
Das *Tragwerk* eines Flugzeuges besteht aus den beiderseits an den Rumpf angesetzten *Tragflächenhälften* (Abb. **143**/1). Sie haben einen besonderen Querschnitt, den man *Profil* nennt. Die Bedeutung des Profils erkannten als erste der russische Gelehrte *N. J. Shukowski* und der deutsche Flugpionier *Otto Lilienthal*.

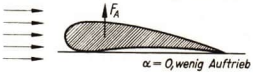
Das Stromlinienbild eines Profils zeigt, daß an seiner Oberseite die Stromlinien stark zusammengedrängt sind (Abb. **143**/2). An der Oberseite nimmt also die Strömungsgeschwindigkeit zu und der statische Druck ab. Es entsteht ein Sog. An der Unterseite des Profils sind die Abstände der Stromlinien dagegen vergrößert. Die Geschwindigkeit ist geringer als in der ungestörten Strömung. Daher steigt der statische Druck. Der *Druck an der Unterseite* und vor allem der *Sog an der Oberseite* der Tragfläche rufen eine Kraft hervor, die nach oben gerichtet ist. Man nennt diese Kraft den **dynamischen Auftrieb.**



N. J. Shukowski (1847 bis 1921)

An der Oberseite einer bewegten Tragfläche entsteht ein Sog und an ihrer Unterseite ein Druck. Sog und Druck rufen eine aufwärtsgerichtete Kraft, den dynamischen Auftrieb, hervor. Etwa $\frac{2}{3}$ des Auftriebs verursacht der Sog und $\frac{1}{3}$ der Druck an der Unterseite.





Der dynamische Auftrieb hängt von der Profilform und von dem Winkel ab, unter dem das Profil angeblasen wird, dem sogenannten *Anstellwinkel*. Bei großem Anstellwinkel ist der dynamische Auftrieb groß (Abb. **144**/1). Dieser Winkel darf jedoch einen bestimmten Wert nicht überschreiten, da sich sonst die Strömungserscheinungen verändern. Es bilden sich Wirbel. Damit ist ein Energieverlust verbunden; der Auftrieb sinkt stark ab. An diesem Beispiel

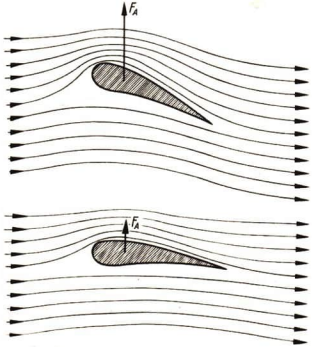


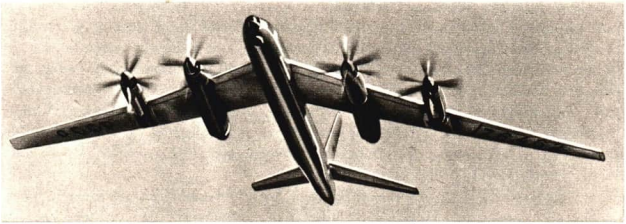
Abb. **144**/1 Abhängigkeit des dynamischen Auftriebs vom Anstellwinkel

Abb. **144**/2. Einige wichtige Profilformen

Otto Lilienthal (1848 bis 1896)

erkennt man, daß die Änderung einer Größe, einer Quantität, zu einer Änderung wesentlicher Eigenschaften, zu einer neuen Qualität, führen kann. In den aerodynamischen Versuchsanstalten wurden Tausende von verschiedenen Profilen vermessen, so daß man heute für jeden Zweck das günstigste Profil auswählen kann (Abb. **144**/2).

Der dynamische Auftrieb wirkt senkrecht nach oben, also dem Gewicht entgegen. Ist er größer als das Gewicht des Flugzeuges, so steigt es nach oben. Bei großen Motorflugzeugen erreicht der Auftrieb Werte von mehr als 100000 kp. Das sowjetische Flugzeug TU 114 hat beim Start einen dynamischen Auftrieb von mehr als 145000 kp (Abb. **145**/1).



2. Rumpf, Fahrwerk und Leitwerke. Im *Rumpf* des Flugzeuges werden die Besatzung, die Passagiere und die Zuladung untergebracht. Das *Fahrwerk* kann bei modernen Flugzeugen nach dem Start eingefahren werden, damit der Luftwiderstand vermindert wird. Der Luftwiderstand des Fahrwerkes beträgt zum Beispiel bei der IL 14 etwa $\frac{1}{5}$ des Gesamtluftwiderstandes. Infolgedessen erreicht dieses Flugzeug mit ausgefahrenem Fahrwerk nur eine Geschwindigkeit von $275\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$, während es bei eingefahrenem Fahrwerk mit $320\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ fliegt.

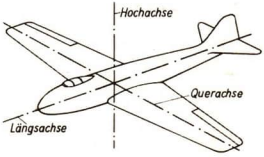


Abb. **145**/2 Die drei Achsen des Flugzeuges

Zur Steuerung und zum stabilen Flug sind die *Leitwerke* erforderlich. Man unterscheidet am Flugzeug drei Achsen: die *Längsachse*, die *Querachse* und die *Hochachse* (Abb. **145**/2). Soll sich das Flugzeug um die Hochachse drehen, so muß das *Seitenruder* verstellt werden. Es wird nach links ausgeschlagen, wenn das Flugzeug eine Linkskurve fliegen soll (Abb. **145**/3). Wegen der beim Fliegen von Kurven auftretenden Kräfte muß das Flugzeug aber gleichzeitig um die Längsachse gedreht werden. Diese Drehung wird mit Hilfe der *Querruder* erreicht, die jeweils entgegengesetzt ausschlagen (Abb. **145**/4).

Abb. **145**/3. Ausschlag des Seitenruders bei einer Linkskurve

Ein Ausschlag des *Höhenruders* führt zu einer Drehung des Flugzeuges um die Querachse. Die Nase des Flugzeuges hebt oder senkt sich dann.

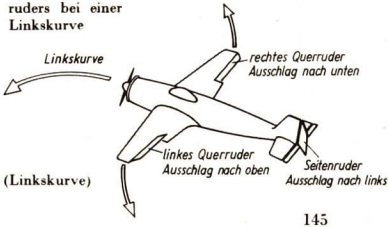


Abb. **145**/4. Kurvenflug eines Flugzeuges (Linkskurve)

3. Motorflug und Segelflug. Der dynamische Auftrieb entsteht nur dann, wenn die Luft um die Tragflächen strömt. Das Flugzeug muß sich daher gegenüber der Luft bewegen. Diese Bewegung wird beim *Motorflugzeug* mit Hilfe eines *Triebwerkes* erreicht. Bei vielen Flugzeugtypen ist das Triebwerk ein Kolbenmotor, der eine Luftschraube antreibt. Das Profil der Luftschraube ähnelt sehr dem Profil der Tragfläche (vgl. Abb. **150**/1). Dreht sich die Luftschraube, so entsteht an jedem ihrer Flügel eine Kraft, die mit dem dynamischen Auftrieb an einer Tragfläche verglichen werden kann. Diese Kraft wirkt in Flugrichtung. Infolgedessen wird *durch die Luftschraube eine Zugkraft* hervorgerufen.

Im Gegensatz zu Motorflugzeugen können *Segelflugzeuge* nicht aus eigener Kraft starten. Sie werden mit Hilfe einer Schleppwinde oder von einem Schleppflugzeug auf eine Höhe von 300 m bis 800 m gebracht und dann freigegeben. Durch entsprechende Stellung des Höhenruders wird nun erreicht, daß das Segelflugzeug unter einem bestimmten Winkel nach unten gleitet (Abb. **146**/1). Die Tragflächen werden infolgedessen von Luft umströmt, so daß ein dynamischer Auftrieb entsteht. Er ist aber stets kleiner als das Gewicht des Segelflugzeuges.

Den Winkel zwischen der Waagerechten und der Flugrichtung beim Gleitflug nennt man *Gleitwinkel*. Er ist bei Hochleistungs-Segelflugzeugen sehr klein, etwa 2°. Bei diesem Gleitwinkel gleitet das Segelflugzeug aus einer Höhe von 100 m ungefähr 3 km weit.

Obwohl das Segelflugzeug schwerer als sein dynamischer Auftrieb ist, kann es steigen, wenn es in eine *aufwärtsgerichtete Luftströmung* gerät. Luftströmungen, die im allgemeinen parallel zur Erdoberfläche verlaufen, werden an Bodenerhebungen nach oben abgelenkt. Auf diese Weise entstehen die *Hangaufwinde* (Abb. **146**/2). In einer Aufwindzone kann sich ein Segelflugzeug längere Zeit in der Luft halten.

Der Segelflieger kann aber noch eine andere Luftströmung ausnutzen, um an

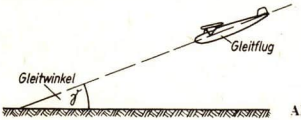


Abb. **146**/1. Gleitflug eines Segelflugzeuges

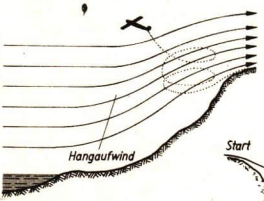


Abb. **146**/2
Entstehung von Aufwinden

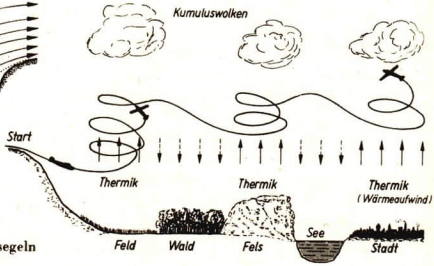


Abb. **146**/3. Thermiksegeln

Höhe zu gewinnen. Bei starker Sonneneinstrahlung werden gewisse Bodenteile, wie Sand, bebautes Gelände und Felder, besonders stark erwärmt. Daher ist auch die Luft über diesen Bodenteilen wärmer als über anderen, beispielsweise über Wasser. Da die Wichte dieser wärmeren Luft geringer ist als die der übrigen Luft, steigt die Luft nach oben, und es bilden sich aufwärtsgerichtete Luftströmungen. Der *Wärmeauftrieb*, *Thermik* genannt, wird von den Segelfliegern für Höhen- und Streckenflüge ausgenutzt (Abb. **146**/3).

4. Die Entwicklung des Flugwesens. In vielen Sagen und Märchen, wie „Ikarus", „Der fliegende Teppich", „Wieland, der Schmied", ist uns der uralte Wunsch der Menschen überliefert, sich in die Lüfte zu erheben. In alten Büchern und Schriften findet man Vorschläge und Beschreibungen von Flugapparaten (Abb. **147**/1). Schon vor 1000 Jahren bemühten sich die Menschen, das Problem des Fliegens zu lösen. Der Flug der Vögel war das Vorbild, das man nachahmen wollte. Nach der Erfindung von Land- und Seefahrzeugen sollte auch der Luftraum dem Menschen zugänglich sein. Aber alle diese Versuche blieben erfolglos. Erst 1731 gelang es in Rjasan in Rußland, mit Hilfe eines Ballons aufzusteigen.

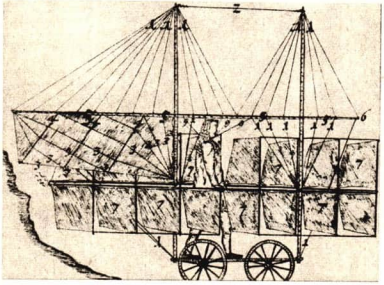


Abb. **147**/1. Flugapparat des Melchior Bauer

In den folgenden 100 Jahren gab es zwar Verbesserungen der Luftballons, aber alle diese Luftfahrzeuge konnten nur auf Grund ihres statischen Auftriebs emporsteigen. Der dynamische Auftrieb konnte noch nicht ausgenutzt werden. Die Gesetze des Fliegens waren damals nicht genügend erforscht. Durch Basteln und Probieren an Stelle systematischer Versuche wurde das Ziel nicht erreicht. Erst als die Naturwissenschaften die notwendigen Voraussetzungen geschaffen hatten, konnten die Probleme des Fliegens gelöst werden. Aber auch die Technik mußte einen bestimmten Entwicklungsstand erreicht haben. So gab es bis zum Jahre 1900 keine Antriebsmaschine, die leicht und trotzdem leistungsfähig genug war, um einem Flugzeug den erforderlichen dynamischen Auftrieb zu erteilen. Die bis dahin verwendete Dampfmaschine war für Flugzeuge vollkommen ungeeignet, da sie viel zu schwer war.

Der deutsche Flugpionier *Otto Lilienthal* unternahm als erster in größerem Umfange praktische Flugversuche mit selbstgebauten Hängegleitern (Abb. **148**/1). *Lilienthal* ahmte den Gleitflug der Vögel nach. Der *Hängegleiter* entspricht einem sehr einfachen Segelflugzeug. Der Pilot hing in Schlaufen und stieß sich mit den Füßen von einem Abhang ab. Im Gleitflug legte er dann Flugstrecken bis zu 200 m zurück. Die Steuerung des Flugapparates erfolgte durch Gewichtsverlagerung des Piloten. Lilienthal führte

Abb. 143/1. Lilienthals Flugapparat

über 2000 Gleitflüge aus, bis er 1896 tödlich abstürzte. Seine letzten Worte waren: „Opfer müssen gebracht werden."

Ein weiterer Schritt in der Entwicklung des Flugzeuges wurde mit der Verbesserung des Verbrennungsmotors erreicht. Er war die geeignete Antriebsmaschine für Flugzeuge. Die ersten Motorflieger bauten und erprobten ihre Flugzeuge unter großen persönlichen Opfern, oft unter Einsatz des Lebens. Von seiten der Industrie und der damals herrschenden Klasse erhielten sie keine Unterstützung. Die kapitalistischen Unternehmer waren ja nur daran interessiert, Profite zu erlangen. Sie wollten aber kein Geld für eine Entwicklung und Erprobung ausgeben, von der sie nicht wußten, welche Vorteile sie dabei haben könnten. Erst als die Flugleistungen in kurzer Zeit beachtliche Werte erreichten, entstanden die ersten Flugzeugwerke. Bereits 1910 erreichte ein Flugzeug eine Höhe von 3200 m. Einen großen Aufschwung nahm die Flugzeugindustrie im ersten Weltkrieg, als man die Bedeutung von Flugzeugen für die Kriegführung erkannte. Hierbei konnten die Kapitalisten riesige Gewinne erzielen. Wurden doch in den imperialistischen Ländern Tausende von Flugzeugen gebaut — und durch Kriegshandlungen zerstört und vernichtet.

Nach dem ersten Weltkrieg wurde das Flugzeug immer mehr auch für zivile Zwecke verwendet. Europa und Amerika waren bald von einem Netz von Fluglinien überzogen. Zu den führenden Ländern im Flugzeugbau gehörte um 1937 auch Deutschland. Die Hitlerfaschisten hatten große Beträge in die Flugzeugindustrie gesteckt, um Tausende von Kriegsflugzeugen für ihren geplanten Überfall auf andere Länder bereitzustellen. Die gleichen Unternehmer, die damals Hitlers Kriegsflugzeuge konstruierten und bauten, wie Heinkel, Dornier und Messerschmidt, sind heute in Westdeutschland wieder führend in der Flugzeugindustrie tätig und verdienen erneut am Bau von Militärflugzeugen.

Schon während des zweiten Weltkrieges und besonders nach dem Kriege zeigte es sich, daß die Sowjetunion zu dem führenden Land in der Entwicklung von Flugzeugen geworden ist. In weniger als 10 Jahren ist es den Arbeitern und Konstrukteuren des ersten sozialistischen Landes gelungen, den Vorsprung westlicher Länder nicht nur aufzuholen, sondern Flugzeuge zu entwickeln und zu bauen, die durch ihre Flugleistungen Anerkennung in der ganzen Welt gefunden haben. Dazu gehören das größte Flugzeug der Welt, die TU 114, weiterhin die TU 104, die IL 18 und die AN 10.

In unserer Republik werden Segelflugzeuge gebaut. So produzieren die Flugzeugwerke Lommatzsch den Doppelsitzer „Lehrmeister“ FES 530, das Segelflugzeug „Meise“ und die Hochleistungsmaschine „Libelle“ (Abb. **149**/1 und **149**/2).

Abb. **149**/1
Segelflugzeug „Meise“

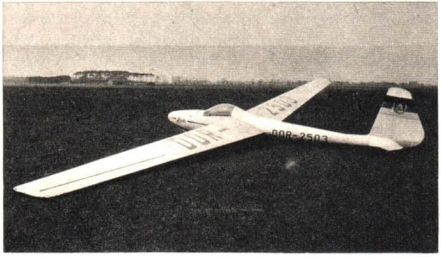


Abb. **149**/2
Segelflugzeug „Libelle“

5. Luftverkehr und Luftverteidigung. In den letzten 20 Jahren ist das Flugzeug immer mehr zu einem viel benutzten Verkehrsmittel geworden. Eine Flugreise bedeutet vor allem auf längeren Strecken eine große Zeitersparnis und auch eine größere Bequemlichkeit. Während man für die Eisenbahnfahrt von Berlin nach Moskau 38 Stunden benötigt, wird diese Strecke mit einem Flugzeug vom Typ IL 14 in einer reinen Flugzeit von $5^1/_2$ Stunden zurückgelegt. Beim Einsatz von Turbinen-Verkehrsflugzeugen Il 18 beträgt diese Zeit nur noch 3 Stunden. Auch im Frachtverkehr und im Postverkehr gewinnt das Flugzeug immer mehr an Bedeutung.

Der Luftverkehr der Deutschen Demokratischen Republik wird durch die „Deutsche Lufthansa“ und durch die „Interflug“ durchgeführt. Zwischen den größten Städten unserer Republik bestehen günstige Inlandverbindungen. Vom Zentralflughafen Berlin-Schönefeld können mit den Flugzeugen der Deutschen Lufthansa und anderer Fluggesellschaften die Hauptstädte und andere große Städte der meisten Länder der

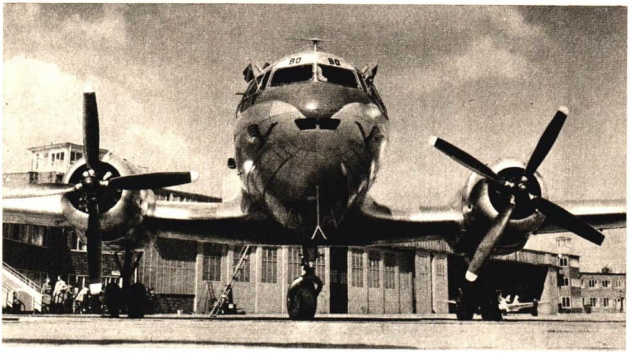


Abb. **150**/1. IL 14 P der Deutschen Lufthansa

Erde erreicht werden, soweit sie an das Weltflugnetz angeschlossen sind. Durch die Verbindung mit der größten Luftverkehrsgesellschaft der Welt, der sowjetischen „Aeroflot", kann man von Berlin aus in 14 Stunden reiner Flugzeit Peking erreichen. Im Gegensatz zu den kapitalistischen Fluggesellschaften gilt bei den Luftverkehrsunternehmen der sozialistischen Länder der Grundsatz: Flugsicherheit geht vor Flugleistung. Die von der Deutschen Lufthansa hauptsächlich geflogenen Flugzeugtypen IL 14 P und AN 2 gehören zu den sichersten Flugzeugen der Welt (Abb. **150**/1).

Welcher Wert auf Flugsicherheit gelegt wird, mögen folgende Beispiele zeigen: Beim Ausfall der Pumpen zum Antrieb der hydraulischen Anlage kann die gesamte Anlage von Hand betätigt werden. Sollte die Hydraulikanlage selbst nicht mehr betriebsfähig sein, dann kann das Fahrwerk durch Preßluft bzw. durch sein Eigengewicht ausgefahren werden. Die IL 14 hat für die Verständigung mit den Bodenstationen drei voneinander unabhängige Sende-

Abb. **150**/2. „Brigadyr" beim Einsatz in einer LPG

und Empfangsanlagen. Die Sichtscheiben der Pilotenkabine sind gegen Vereisen sogar vierfach gesichert: durch elektrische Beheizung, durch Warmluftbestrahlung, durch Aufsprühen einer Flüssigkeit, die das Vereisen verhindert, und durch hydraulische Scheibenwischer, die den Eisansatz wegkratzen. Auch die Tragflächen sind gegen das Vereisen dreifach gesichert.

Abb. **151**/1. Sowjetische Jäger vom Typ Mig 15

Neben dem Passagier- und dem Frachtverkehr hat die Deutsche Lufthansa auch noch andere Aufgaben. Maschinen vom Typ L 60 „Brigadyr" und AN 2 werden im agrochemischen Dienst zur Schädlingsbekämpfung und zum Düngerstreuen aus der Luft eingesetzt (Abb. **150**/2).

Solange durch die Imperialisten eine Bedrohung des sozialistischen Lagers besteht, müssen auch entsprechende Luftstreitkräfte zur Verteidigung der Grenzen bereitstehen. Selbst unsere Gegner müssen zugeben, daß die sowjetischen Konstruktionen den westlichen Flugzeugtypen nicht nur gleichwertig, sondern fast durchweg überlegen sind (Abb. **151**/1). Auch unsere Nationale Volksarmee ist mit schnellen Turbinenflugzeugen ausgerüstet und steht zur Verteidigung unseres Luftraumes auf Wacht.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten werden bei der Tragfläche, den Leitwerken und der Luftschraube ausgenutzt?
2. Beschreibe den grundsätzlichen Aufbau eines Flugzeuges, und nenne die Bedeutung der einzelnen Teile!
3. Welche Antriebsmöglichkeiten von Flugzeugen kennst du?
4. Welche Luftströmungen kann ein Segelflieger für seinen Flug ausnutzen? Wie entstehen sie?
5. Vergleiche die Abbildungen TU 114, Super-Aero und Libelle! Was haben diese Flugzeuge gemeinsam, worin unterscheiden sie sich?

23. Wasserkraftmaschinen

1. Energieumwandlungen bei strömenden Flüssigkeiten. Wie alle sich bewegenden Körper *besitzen auch strömende Flüssigkeiten kinetische Energie.* Sie hängt von der Menge der Flüssigkeit und ihrer Strömungsgeschwindigkeit ab.

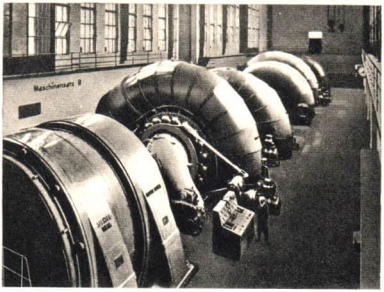


Abb. **152**/1. Turbinenhalle der Bleilochtalsperre

Abb. **152**/2. Wasserkraftwerk bei Ordshonikidse in der Sowjetunion

Schon seit Jahrhunderten nutzen die Menschen die Energie des Wassers mit Hilfe von *Wasserrädern* aus. Wasserräder benutzte man zum Antreiben von Mühlen, Sägewerken, Hammerschmieden, Pochwerken u.a.

Der Wirkungsgrad der Wasserräder war aber nur gering. Erst die Erfindung der *Wasserturbine* ermöglichte eine wirtschaftliche Ausnutzung der Wasserkräfte. Die erste einsatzfähige Wasserturbine konstruierte 1833 der Franzose *Fourneyron*. Seither sind verschiedene Arten von Turbinen entwickelt worden. Wasserturbinen benutzt man als leistungsfähige Antriebsmaschinen für verschiedene Arten von Maschinen, besonders aber für Elektrogeneratoren.

Das aufgestaute Wasser wird in Wasserkraftanlagen den Turbinen zugeführt und verrichtet dort Arbeit. Treiben die Turbinen Elektrogeneratoren an, so wird die mechanische Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt (Abb. **152**/1). Beim Flußkraftwerk liegt das Turbinenhaus meist am Rande des Flusses oder im Innern des Staudammes. Das Wasser kann aber auch durch einen besonderen Umleitungsgraben dem Turbinenhaus zugeführt werden.

Bei *Niederdruckanlagen*

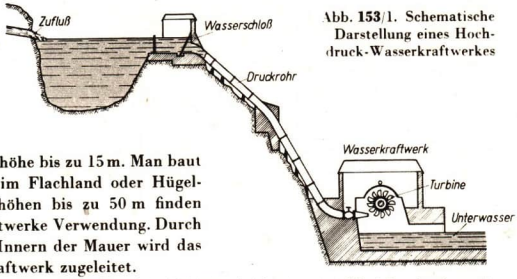


Abb. **153**/1. Schematische Darstellung eines Hochdruck-Wasserkraftwerkes

beträgt die Stauhöhe bis zu 15 m. Man baut solche Anlagen im Flachland oder Hügelland. Für Stauhöhen bis zu 50 m finden Mitteldruckkraftwerke Verwendung. Durch Druckrohre im Innern der Mauer wird das Wasser dem Kraftwerk zugeleitet.

Das sowjetische Wasserkraftwerk bei Ordshonikidse ist eine *Hochdruckanlage*, die ein Nutzgefälle von 160 m hat (Abb. **152**/2). Unter Nutzgefälle versteht man den Höhenunterschied zwischen dem Wasserschloß und der Turbine (Abb. **153**/1). Das Wasser wird den Turbinen durch Druckrohre zugeführt. Hochdruckanlagen sind in Europa vor allem im Alpengebiet zu finden. Das größte Nutzgefälle wird im Kraftwerk Chandoline in der Schweiz ausgenutzt und beträgt 1750 m.

2. Die Freistrahlturbine. Der Hauptteil der *Freistrahlturbine* ist das *Peltonrad*, das nach seinem Erfinder genannt ist (vgl. Abb. **153**/1). Dieses Laufrad hat eine waagerechte Achse und trägt an seinem Umfang Stahlschaufeln (Abb. **153**/2).

Das Laufrad ist von einem Stahlgehäuse umgeben, das als Spritzwasserschutz dient. Vom Staubecken wird das Wasser in Stahlrohren einer oder mehreren Düsen zugeführt, die gegen die Schaufeln gerichtet sind. In der Verengung der Düse erhält das Wasser eine sehr hohe Geschwindigkeit. Dadurch wird die potentielle Energie des Wassers vor dem Eintritt in das Laufrad zum größten Teil in kinetische Energie umgewandelt.

Beim Aufprall auf die Schaufeln wird der Strahl an der mittleren Schneide geteilt und um fast 180° umgelenkt (vgl. Abb. **153**/2). Durch entsprechende Konstruktion der Turbine kann erreicht werden, daß die Geschwindigkeit des Wassers beim Austritt aus den Schaufeln nahezu gleich Null ist. Dann ist fast die gesamte kinetische Energie des Wasserstrahls auf das Laufrad übertragen worden.

Den Wasserzufluß und damit das Arbeitsvermögen der Turbine kann man durch die *Düsennadel* regulieren. Sie wird durch ein Handrad oder einen Hilfsmotor der Düse genähert oder von ihr entfernt. Dabei müssen wegen der hohen Geschwindigkeit des Wassers besondere Vorsichtsmaßregeln beachtet werden. Beispielsweise hat im Wasserkraftwerk Fully (Schweiz) der aus der Düse austretende Wasserstrahl bei einem Durchmesser von 38 mm und einem Nutzgefälle

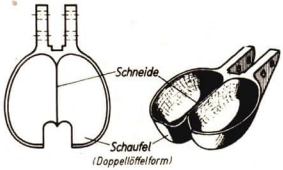


Abb. **153**/2. Die Wirkungsweise der Freistrahlturbine

von etwa 1700 m eine Geschwindigkeit von über 600 $\frac{km}{h}$. Diese Geschwindigkeit entspricht etwa der Reisegeschwindigkeit des Propellerturbinenflugzeuges AN 10.

Freistrahlturbinen benötigen geringe Wassermengen. Ein günstiger Wirkungsgrad wird jedoch nur bei einem Nutzgefälle über 300 m erreicht. Ihre Anwendung beschränkt sich daher fast ausschließlich auf Gebirgsländer.

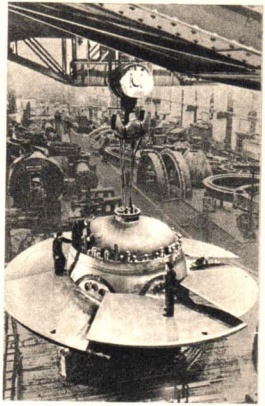


Abb. **154**/1. Kaplanturbine

Abb. **154**/2
Blick in ein Kraftwerk mit Kaplanturbinen

3. Die Rückstoßturbinen. Auch die *Rückstoßturbinen* bestehen aus einem Laufrad und einem Leitapparat. Die bekanntesten Ausführungsformen werden nach ihren Erfindern *Francisturbine* und *Kaplanturbine* genannt. Das Laufrad einer Kaplanturbine ähnelt einer Schiffsschraube und dreht sich um eine vertikale Achse (Abb. **154**/1). Das Wasser durchströmt das Laufrad in Richtung der Achse. Im Unterschied zur Freistrahlturbine sind das gesamte Gehäuse und das Abflußrohr mit Wasser gefüllt. Der Wasserdruck ist über dem Laufrad größer als unter ihm. Das Rad dreht sich, weil das Wasser einen Rückstoß auf die etwas schräg gestellten Flügel ausübt. Man spürt einen solchen Rückstoß, wenn man Wasser aus einem Gartenschlauch spritzt. Durch Verändern der Stellung der Flügel kann man die Drehzahl der Turbine der wechselnden Belastung oder der sich ändernden Fallhöhe anpassen. Die drei bis sechs Flügel können deshalb während des Betriebes hydraulisch verstellt werden.

Abb. **154**/3. Laufrad einer Francisturbine

Kaplanturbinen werden dort verwendet, wo große Wassermengen bei geringen Stauhöhen zur Verfügung stehen (Abb. **154**/2). Im sowjetischen Kraftwerk Tscherbakow (Rybinsk) an

der Wolga befinden sich Kaplanturbinen, von denen jede bei einem Laufraddurchmesser von 9 m ein Gesamtturbinengewicht von 1 300 000 kp hat. In jeder Sekunde fließen 500 000 l Wasser durch die Turbine, die eine Leistung von 70 000 kW hat. Wegen ihrer einfachen Bauweise werden Kaplanturbinen auch bei mittleren Stauhöhen eingesetzt.

Die Francisturbine ist ebenfalls eine Rückstoßturbine. Das spiralförmige Turbinengehäuse besteht aus Beton oder aus Stahlplatten. Das Wasser wird durch die Leitschaufeln gegen das Laufrad gelenkt und verläßt es wieder in Richtung der Achse (Abb. **154**/3). Der Leitschaufelkranz, der sich nicht mitdreht, kann hydraulisch verstellt werden, so daß die Leitschaufeln mehr oder weniger Wasser hindurchlassen (Abb. **155**/1). Francisturbinen werden bei Nieder- und bei Mitteldruckanlagen benutzt. In der folgenden Übersicht werden nochmals die Unterschiede zwischen den Turbinenarten gegenübergestellt.

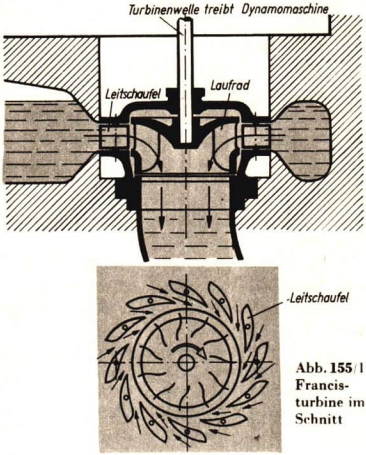


Abb. **155**/1 Francisturbine im Schnitt

Übersicht über die wichtigsten Turbinenarten

Freistrahlturbine (Peltonturbine)	(Francisturbine, Kaplanturbine)
Freier Wasserstrahl	Gesamtes Gehäuse ist mit Wasser gefüllt
Beim Eintritt in die Turbine ist nur Bewegungsenergie vorhanden. Durch Ablenkung des Wasserstrahls wird die Energie des Wassers weitgehend ausgenutzt	Beim Eintritt ist Bewegungs- und Lageenergie vorhanden. Das Laufrad wird durch Rückstoßwirkung angetrieben
Turbinenrad ist vom Unterwasser getrennt	Turbinengehäuse ist durch Saugrohr mit Unterwasser verbunden
Große Fallhöhen nötig	Kleine und mittlere Fallhöhen
Geringer Wasserverbrauch	Großer Wasserverbrauch
Großer Druck	Geringer Druck

4. Die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftanlagen. In den letzten Jahrzehnten ist der Energiebedarf sehr stark angestiegen. Dieser Anstieg ist besonders in den sozialistischen Ländern sehr groß, da nur mit Hilfe der Elektroenergie die großen Wirtschaftspläne erfüllt werden können. Die Elektroenergie wird zum größten Teil noch in Wärmekraftwerken erzeugt. Die Kohlen- und die Erdölvorräte sind jedoch nicht unbegrenzt. Kohle und Erdöl sind außerdem wertvolle Rohstoffe für die chemische Industrie. Die Energiegewinnung in Atomkraftwerken und in Wasserkraftwerken wird daher immer größere Bedeutung bekommen. Nach unterschiedlichen Schätzungen werden erst etwa ein Zehntel der vorhandenen Wasserkräfte der Erde genutzt. Die Betriebskosten nach Fertigstellung sind gering, während die Anlagekosten eines Wasserkraftwerkes meist hoch sind. Bei der Planung von Kraftwerken müssen also auch wirtschaftliche Fragen beachtet werden.

Die Deutsche Demokratische Republik verfügt nur über geringe Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Ausnutzung von Wasserkräften. Neben den Bodetalsperren werden zur Zeit auch *Pumpspeicherwerke* gebaut. Nachts wird mit „billigem" Strom Wasser in ein Staubecken gepumpt, das während der Spitzenbelastungszeit die Turbinen des Speicherwerkes antreibt. Dadurch wird zusätzlich Elektroenergie gewonnen.

Die Sowjetunion ist in den letzten Jahren auf dem Gebiet des Kraftwerkbaues besonders hervorgetreten. Im Jahre 1958 wurde eines der größten Kraftwerke der Welt, das Lenin-Kraftwerk bei *Kuibyschew* an der Wolga, in Betrieb genommen. 20 Kaplanturbinen erzeugen eine Leistung von über 2 000 000 kW, das entspricht dem dritten Teil der gesamten in unserer Republik gewonnenen Elektroenergie.

5. Fragen und Aufgaben:

1. Was versteht man unter Freistrahlturbinen? Welche Aufgaben haben die Düsen?
2. Berechne mit den auf S. 153/154 angegebenen Werten den stündlichen Wasserverbrauch einer Freistrahlturbine!
3. Nenne die wichtigsten Turbinenarten und gib an, unter welchen Bedingungen sie jeweils eingesetzt werden!

Formelzeichen

Die in Klammern stehenden Formelzeichen waren bisher üblich und dürfen benutzt werden. Der Ausschuß für Einheiten und Formelzeichen empfiehlt aber die an erster Stelle stehenden, da diese international benutzt werden.

	Geometrische Größen
l	Länge
h	Höhe
b	Breite
r, R	Radius
d, D	Durchmesser
U	Umfang
s	Weg
$A\,(F)$	Fläche
V	Rauminhalt, Volumen
	Zeit
t	Zeit
n	Drehzahl
v	Geschwindigkeit

	Masse, Kraft, Druck
m	Masse
ϱ	Dichte
$F\,(P)$	Kraft, Druckkraft
G	Gewicht
γ	Wichte
p	Druck
Q	Durchflußmenge
	Arbeit, Leistung, Energie
A	Arbeit
$P\,(N)$	Leistung
W	Energie
	Sonstige Formelzeichen
k	Steigung
i	Übersetzungsverhältnis
Z	Anzahl der Zähne

Müssen Formelgrößen, für die dasselbe Formelzeichen festgesetzt ist, voneinander unterschieden werden, so kann ein Index (Mehrzahl Indizes) zugesetzt werden.
In diesem Buch bedeuten zum Beispiel:

F_1	Kraft	A_A	Fläche des Kolbens A
F_2	Last	A_B	Fläche des Kolbens B
F_A	Auftrieb	p_{10m}	Druck in 10 m Wassertiefe
F_N	Normalkraft	W_{pot}	potentielle Energie

Namen- und Sachverzeichnis

Abdrehen 81 u. f.
Achse 34 u. f.
Anlagen, hydraulische 97 u. f.
Anstellwinkel 144
Antriebsmechanismus 62 u. f.
Aräometer 118
Arbeit 88 u. ff.
Arbeitshub 70
Arbeitsmechanismus 62 u. ff.
Atmosphäre, technische 41
Aufdruck 106 u. f.
Auftrieb 110 u. f.
—, dynamischer 143 u. f.
—, statischer 142 u. ff.

Barometer 119 u. ff.
Befestigungskeil 61
Befestigungsschraube 50 u. f.
Bewegung, gleichförmige 5
—, ungleichförmige 6
Bewegungsenergie 92 u. f.
Bodendruck 106
Bohrmaschine 67, 73 u. f.
Brechstange 19
Bremse, hydraulische 100
Briefwaage 26
Bunsenbrenner 135

Dezimalwaage 24 u. f.
Dichte 15 u. f.
Drehmaschine 67 u. ff.
Drehmeißel 68 u. f.
Drehzahl 37
Drillmaschine 80 u. ff.
Druck 40 u. f.
—, dynamischer 134
—, statischer 134
Druckluftbremse 127 u. f.
Druckgasflaschen 124 u. ff.
Druckpumpe 122 u. f.
Druckschraube 52 u. f.
Durchgangsbohrung 74
Durchschnittsgeschwindigkeit 6
Dynamometer 8 u. f.

Energie, kinetische 92 u. f.
—, mechanische 91 u. ff.
Erhaltung der mechanischen Energie, Gesetz von der 93

Fahrrad 62 u. ff.
Faustkeil 55
Federwaage 8 u. f.
Flasche 30
Flaschenzug 30 u. ff.
Förderketten-Kartoffellegemaschine 82 u. f.
Förderschnecke 54
Formung, spanabhebende 59, 77 u. f.
—, spanlose 77 u. f.
Fourneyron 152
Francisturbine 154 u. f.
Fräsmaschine 67, 71 u. ff.
Freistrahlturbine 153 u. f.

Gang 50
Ganghöhe 50
Gangschaltung 65
Gebläse 126
Geschwindigkeit 5
Geschwindigkeitshebel 22
Getriebe, hydraulische 101
Gewicht 8 u. ff.
Gewinde 50
Gleitreibung 65 u. f.
Gleitwinkel 146
Goldene Regel der Mechanik 34, 42, 89, 97
Gramm 11
Gramm je Kubikzentimeter 16
Grundbohrung 74
Guericke, Otto von 119 u. f.

Haltekeil 60 u. f.
Hangabtriebskraft 45 u. f.
Hebebaum 19
Hebel 16 u. ff.
—, einseitiger 16 u. ff.
—, zweiseitiger 16 u. ff.
Hebelgesetz 17, 35
Hebelwaagen 22 u. ff.
Holzschraube 50, 52

Kaplanturbine 154 u. f.
Kapselpumpen 124
Kartoffel-Schleuderradroder 83 u. f.
Kartoffel-Vollerntemaschine 84 u. ff.

Kegelradgetriebe 84
Keilwinkel 56, 58
Kettentrieb 39, 64
Kilogramm 11 u. f.
Kilogramm je Kubikdezimeter 16
Kilopond 8, 10, 12
Kilopond je Kubikdezimeter 14
Kilopond je Quadratzentimeter 41
Kilopondmeter 89
Kilopondmeter je Sekunde 90
Kilowatt 90
Kolbendruck 95 u. f.
Kompressor 126 u. f.
Kraft 6 u. ff.
Kraftarm 16 u. ff.
Kraftmessung 7 u. ff.
Kraftrichtung 8
Kraftumformende Vorrichtung 19 u. ff., 56
Kraftsparende Vorrichtung 19, 35
Kraftübertragung 28, 34
Kurbel 36 u. f.

Lageenergie 92 u. f.
Lastarm 16 u. ff.
Laufgewicht 24
Laufgewichtswaage 26
Leerhub 70
Leistung 90
Leitwerke 145
Lilienthal, Otto 143, 147 u. f.
Luftdruck 119 u. ff.
Lumpenwaage 9

Manometer 125
Maschine 62
Maschinenbau 75 u. ff.
Masse 11 u. ff.
Mechanisierung der Landwirtschaft 87 u. f.
Megapond 8
Melkanlage, elektrische 129
Membranpumpe 124
Millibar 121
Milligramm 11
Millipond 8
Moped 62 u. f.

Motor, hydraulischer 101
Muttergewinde 50

Naturgesetz 10, 18
Neigungswaage 26
Newton, Isaac 10
Normalkraft 23

Peltonrad 153 u.f.
Pferdestärke 90
Pond 8
Pond je Kubikzentimeter 14
Präzisionswaage 23
Pressen, hydraulische 98 u.f.
Preßluftbohrer 128
Preßlufthammer 128
Preßluftmeißel 128
Pumpen 122
Pumpspeicherwerk 156

Reibahle 74
Reibung 65 u.f.
Reisegeschwindigkeit 6
Riemenscheibe 35
Riementrieb 37 u.ff.
Rolle 28 u.ff.
—, feste 28 u.f.
—, lose 29 u.f.
Rollreibung 65 u.f.
Römische Schnellwaage 24
Rücken des Keils 56
Rückenkraft 56 u.f.
Rückstoßturbinen 154 u.f.

Säräder 80 u.f.
Saugpumpe 122
Schalenwaage 23
Schere 23
Schiefe Ebene 43 u.ff., 56
Schiefe Ebene, Gesetz der 45
Schlupf 38
Schmiedepressen 99
Schmiermittel 65 u.f.
Schneckengetriebe 55
Schneide 23, 56
Schraube 49 u.ff.
Schraubenbolzen 50
Schraubenkopf 50
Schraubenmutter 50
Schraubensicherung 51
Schweredruck 103 u.ff.
Schwimmdock 114
Seil 28
Seitendruck 106
Senker 74
Senkrecht-Fräsmaschine 71 u.ff.
Shapingmaschine 70
Shukowski, N. J. 143
Spaltkeil 57
Spanfläche 58
Spannvorrichtungen, hydraulische 101
Spitzgewinde 50
Spritzpistole 133
Ständerbohrmaschine 73 u.f.
Standzeit 58
Steigung 43, 45 u.f.
Stellschraube 23, 53
Stoßmaschine 70
Stromlinienbild 131 u.f.
Strömung 131 u.ff.
Strömungsgeschwindigkeit 132 u.f., 138
Strömungswiderstand 136 u.f.

Tafelwaage, oberschalige 23
Thermik 147
Tonne 11
Torricelli, Evangelista 120
Trägheit 10 u.f.
Trägheitsgesetz 10
Trapezgewinde 50
Trennkeil 57

Übersetzungsverhältnis 38, 42, 64 u.f.
Übertragungsmechanismus 62 u.ff.
Urkilogramm 12
Urmaß 11

Vakuumpumpen 129
Verbindungskeil 61
Vergaser 135
Vielstufengetriebe 81

Waagebalken 22 u.ff.
Waagerecht-Fräsmaschine 71 u.ff.
Wagenheber, hydraulischer 94 u.ff.
Wange 56
Wangenkraft 56 u.f.
Wasserstrahlpumpe 135
Wasserturbinen 152 u.ff.
Watt 90
Welle 34 u.f., 61
Wellrad 35 u.f.
Werften 157
Werkstoff 76 u.f.
Werkzeugmaschine 67
Wichte 13 u.ff.
Wichtezahl 14
Windkanal 137 u.f.
Winkelhebel 16 u.ff.
Wirbel 139 u.f.
Wirkungsgrad 91
Wurfhebel 22

Zahnradpumpe 124
Zahntrieb 41 u.f.
Zeigerschnellwaage 26 u.f.
Zentesimalwaage 25
Zerstäuber 134 u.f.

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Bauernbild, Berlin: Abbildung 41/1 · Werkfoto VEB Bodenbearbeitungsgeräte, Leipzig: Abbildungen 21/2, 37/1, 58/2 · Braunkohlenverwaltung, Merseburg: Abbildungen 28/4, 40/2 · Foto Brüggemann, Leipzig: Abbildungen 60/2, 60/3, 72/1, 73/3, 85/1 · Deutsche Reichsbahn, Bildstelle Halle: Abbildung 48/2 · Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel, Berlin: Abbildungen 47/1, 47/3 · Dewag-Werbung, Berlin: Abbildungen 39/2, 73/1, 73/2, 75/2 · Werkfoto VEB Fahrradwerk Elite-Diamant, Karl-Marx-Stadt: Abbildungen 62/1, 65/1 · Werkfoto VEB Fahrzeug- und Gerätewerk Simson, Suhl: Abbildung 63/1 · Helmut Fieweger, Berlin: Abbildungen 143/1, 150/1 · Gerhart Förster, Burgstädt: Abbildungen 59/4, 60/1, 61/1 · Bildarchiv „Freie Welt", Berlin: Abbildung 154/1 · Werkfoto VEB Hartmetallwerk, Immelborn: Abbildungen 68/3, 68/4 · Gerhard Hillmer, Potsdam: Abbildung 136/2 · Walter Hunger KG., Fahrzeugwerke, Frankenberg/Sa.: Abbildung 100/2 · Johannes Jäger, Klingenthal: Abbildung 49/1 · Heinz Krüger, Falkensee bei Berlin: Abbildungen 22/2, 121/2a · Photokino Krütgen, Halle: Abbildungen 20/2, 20/3, 21/3, 24/1, 24/2, 26/1, 32/1, 32/2, 32/3, 32/4, 53/3, 55/1, 66/1, 66/2 · Werkfoto VEB Landmaschinenbau, Falkensee bei Berlin: Abbildung 47/2 · Werkfoto VEB Landmaschinenbau, Bernburg: Abbildung 80/1 · Landtechnik, Fachkunde für landwirtschaftliche Berufe, 3. bearb. Neuauflage, Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag 1957: Abbildungen 52/4, 52/5, 58/3, 81/1, 81/3, 82/1, 84/1, 84/3, 86/1 · Werkfoto VEB Maschinen- und Apparatebau, Grimma: Abbildung 53/1 · Werkfoto Maschinenfabrik Herwarth Thieme, Magdeburg: Abbildung 46/1 · Werkfoto Maschinenfabrik VEB Matthias-Thesen-Werft, Wismar: Abbildung 116/3 · Werkfoto VEB Meßgeräte- und Armaturenwerk „Karl Marx", Magdeburg: Abbildungen 8/1, 125/2 Murza, Berlin: Abbildung 15/1 · Werkfoto VEB Niles Preßluftwerkzeuge, Berlin: Abbildungen 128/2, 129/1 · Werkfoto VEB Pressenwerk Freital: Abbildung 99/1 · Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin: Abbildungen 19/2, 19/3, 22/1 · Max Rothe, Plauen: Abbildung 6/1a · Werkfoto VEB Sachsenring Automobilwerke, Zwickau: Abbildung 99/2 · Archiv Heinz A. F. Schmidt, Berlin: Abbildungen 138/1, 148/1, 149/2 · Schwoch-Blume, „Das Bearbeiten der Metalle", Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1954: Abbildungen 68/1, 69/1 · Max Seifert, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin: Abbildungen 6/1b, 52/2, 55/3, 57/2, 57/3, 57/4, 57/5, 94/1 · Werkfoto VEB Spezialwaagenfabrik Rapido, Radebeul: Abbildung 27/1 · Werkfoto VEB Sprio-Werke Holzhausen/Sa.: Abbildung 133/1 · Werkfoto Stahl- und Walzwerk Gröditz: Abbildung 98/1 · B. G. Teubner, Leipzig: Abbildung 119/1 · E. Tiedemann, Leipzig: Abbildungen 114/1, 114/2 · Vieweg-Rosenkranz: „Handbuch des Genossenschaftsbauern", Band I. Deutscher Bauernverlag, Berlin: Abbildung 58/1 · Werkfoto VEB Volkswerft Stralsund: Abbildungen 116/1, 117/1 · Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, Bildarchiv: Abbildungen 35/3, 42/2, 43/1, 52/3, 67/1a, 70/1, 72/2, 75/2, 89/1 · Werkfoto VEB Waagenbau, Halle: Abbildung 25/1 · Werkfoto VEB Warnowwerft, Warnemünde: Abbildung 116/2 · Wego-Foto, Brandenburg: Abbildung 83/1 · Hans Werner, Dresden: Abbildung 26/3 · Werkfoto VVB Werkzeugmaschinen und Werkzeuge: Abbildung 36/3 · Werkfoto VEB Wutra-Werk, Wurzen: Abbildungen 54/2, 54/3 · Werkfoto VEB Carl Zeiss, Jena: Abbildung 54/1 · Zentralbild, Berlin: Abbildungen 7/1, 33/1, 40/1, 44/2, 86/2, 104/1, 107/1, 108/1, 113/1, 130/1, 140/2, 141/2, 145/1, 147/1, 150/2, 151/1, 152/1, 152/2, 154/2 · Heinz Zimmermann, Jüterbog: Abbildungen 39/1, 55/2 · VEB Zwickauer Maschinenfabrik, Zwickau: Abbildung 127/1 · VEB Flugzeugwerke Lommatzsch: Abbildung 149/1 · Physiker-Bildnisse: Zentralbild, Berlin: Otto von Guericke, N. J. Shukowski, Otto Lilienthal.

02 705-4
1,90 DM