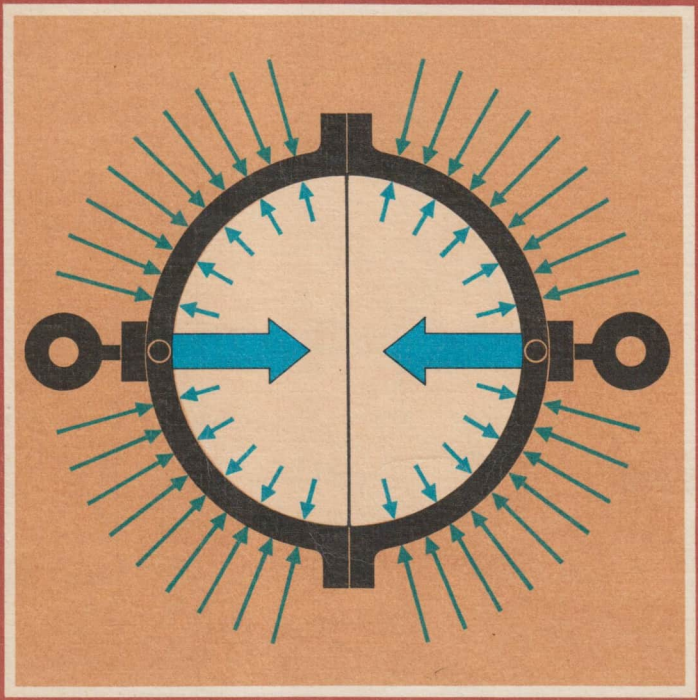
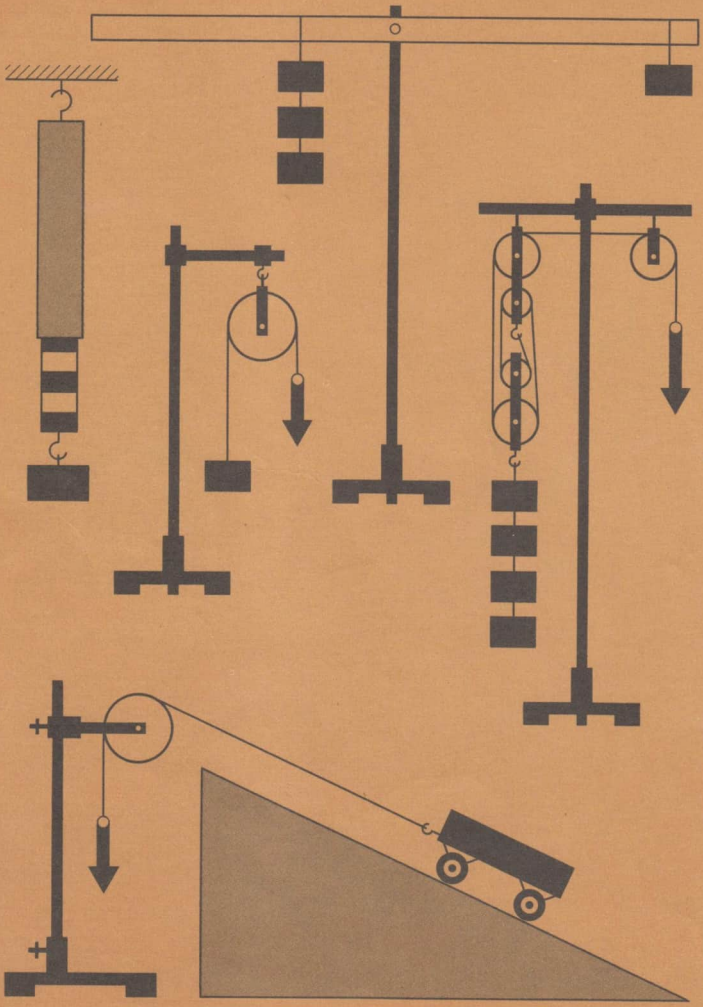


# PHYSIK 7



# PHYSIK

Lehrbuch für Klasse 7

Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1984

Autoren

Dr. Horst Bienioschek (Abschnitte 1, 2, 3, 6, 12, 13, 14, 15, 16, 18)
Dr. sc. Klaus Liebers (Abschnitte 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
Dipl.-Päd. Günter Meyer (Abschnitte 17, 18)
Leiter des Autorenkollektivs: Dr. Horst Bienioschek
Redaktion: Günter Meyer

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Schulbuch bestätigt.

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1984
1. Auflage
Ausgabe 1984
Lizenz-Nr. 203/1000/84 (E 02 07 08–1)
LSV 0681
Zeichnungen: H. Linkwitz, R. Schüler
Illustrationen: W. Gröschke
Einband: M. Behrend
Typografische Gestaltung: Hansmartin Schmidt
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Schrift: 10/11 p Gill Monotype
Redaktionsschluß: 25. 6. 1983
Bestell-Nr.: 730 934 7
Schulpreis DDR: 2,00

# Inhalt

**Kräfte, Arbeit und Leistung in der Mechanik** 5

1 Kräfte 7
2 Rollen, Flaschenzug, geneigte Ebene 19
3 Hebel 31
4 Mechanische Arbeit 37
5 Mechanische Leistung 46
6 Wiederholung und Übung 52

**Energie in Natur und Technik** 57

7 Energie, Energieformen, Energieträger 58
8 Umwandlung und Übertragung von Energie 64
9 Wirkungsgrad 70
10 Gesetz von der Erhaltung der Energie 74
11 Wiederholung und Übung 77

**Mechanik der Gase und Flüssigkeiten** 79

12 Druck der Gase in geschlossenen Gefäßen 81
13 Druck der Flüssigkeiten in geschlossenen Gefäßen 90
14 Hydraulische Anlagen 94
15 Auflagedruck und Schweredruck 100
16 Auftrieb in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen 112
17 Strömende Gase und Flüssigkeiten 121
18 Wiederholung und Übung 136

**Lösungen** 142

**Register** 144

**Quellenverzeichnis der Abbildungen**

R. Daum, Riesa: 134/3 · Deutsche Fotothek, Dresden: 121/2 · R. Funk, Markkleeberg: 134/2 · R. Grabow, Halle: 64/1 · L. Kleymann, Magdeburg: 70/1 · H. Krabbes, Leipzig: 90/1 · Kl. Liebers, Potsdam: 37/1 · MFZ/Tessmer, Berlin: 120/2 · M. Raschke, Leipzig: 18/1 · M. Seifert, Berlin: 10/2, 10/3, 10/4, 10/5, 32/2, 32/3, 32/4, 74/1 · G. Senkel, Eisenhüttenstadt: 7/1, 19/1, 46/1, 81/1, 94/1 · VWV/Archiv: 5/1, 5/2, 6/1, 6/2, 6/3, 9/1, 17/1, 17/2, 19/2, 22/2, 23/2, 29/2, 32/5, 40/2, 58/2, 58/3, 61/1, 78/1, 80/2, 82/1, 108/1 · ZB: 29/1, 31/1, 57/1, 58/1, 60/2, 61/3, 79/1, 79/2, 80/1, 80/3, 100/1, 102/1, 110/1, 112/1, 116/1, 120/1, 121/1 · W. Wunderlich, Berlin: 107/2 ·

Im Lehrbuch verwendete Symbole

▼ Experiment

▼ Schülerexperiment

▶ Merksätze

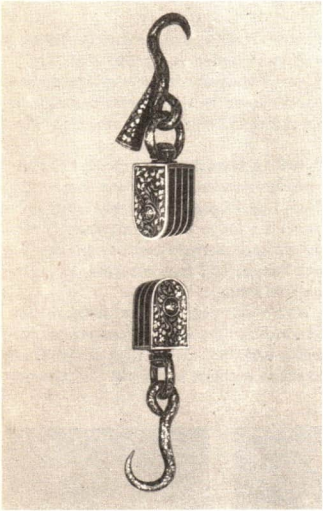
■ Beispiele

ⓘ Fragen und Aufträge

/ siehe

Bei den Bildnummern bedeutet die erste Zahl die Seite. Die zweite Zahl gibt an, das wievielte Bild von oben gemeint ist.

# Kräfte, Arbeit und Leistung in der Mechanik



Die Menschen setzen ihre Muskelkraft ein, um durch Arbeit die Umwelt zu verändern.

Diese Kraft ist aber gering im Vergleich zu den gewaltigen Kräften der Natur. Der Sturm entwurzelt Bäume, das Wasser trägt schwere Schiffe, strömendes Wasser treibt Maschinen an. Das Streben der Menschen war und ist es daher, die eigenen, geringen Muskelkräfte zu vervielfachen. Dazu bedienen sie sich einfacher mechanischer **Vorrichtungen zur Kraftumformung,** wie zum Beispiel Hebel und Rolle mit Seil. Bereits bei den Völkern vergangener Jahrtausende wurden solche Vorrichtungen benutzt. Diese haben die Menschen zur Erleichterung der Arbeit erfunden und durch viele Erfahrungen immer weiter verbessert. An einem altertümlichen Flaschenzug und einem modernen Eisenbahnkran ist diese Entwicklung erkennbar.

Der Gelehrte Archimedes von Syrakus (287 bis 212 v. u. Z.) war der erste, der einfache **kraftumformende Einrichtungen** beschrieben hat. Ihm wird die Erfindung von Hebekranen, Flaschenzügen und Schrauben zur Wasserförderung zugeschrieben. Für Hebel, die man schon lange zur Kraftumformung nutzte, fand Archimedes ein Ge-

setz, dessen Anwendung sich noch heute bewährt. Bekannt ist ein Ausspruch, der von Archimedes stammen soll: „Gib mir einen festen Punkt, und ich hebe die Erde aus den Angeln." Damit wollte er ausdrücken, daß man mit einem Hebel Kräfte vervielfachen kann.

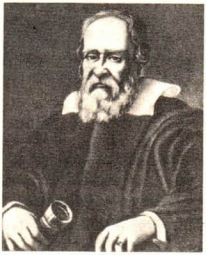
Als Syrakus im Jahre 214 v. u. Z. vom römischen Heer belagert wurde, stellte Archimedes sein Wissen und Können in den Dienst der sich verteidigenden Syrakuser. Mit Kriegsmaschinen, die nach seinen Plänen gebaut wurden, konnte zwei Jahre lang jeder Angriff der Römer abgewehrt werden.

Bereits bei Archimedes ist erkennbar, wie Physik, Technik und praktische Tätigkeit zusammenwirken. Aufgabenstellungen für die Physik werden von praktischen Bedürfnissen der Menschen (z. B. aus der Produktion, dem Transport, der Landesverteidigung) abgeleitet. Erkenntnisse der Physik werden genutzt, um technische Geräte und Anlagen zu entwickeln. Diese setzt der Mensch bei der praktischen Tätigkeit ein, um seine Arbeit zu erleichtern und sein Leben zu verbessern. ① ②

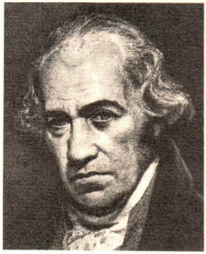
Im 18. Jahrhundert begann in England die industrielle Revolution. Durch die Erfindung von Web- und Spinnmaschinen konnte mehr produziert werden. Für den Antrieb dieser Maschinen reichten die Kräfte von Menschen und Pferden nicht mehr aus. James Watt (1736 bis 1819) erfand eine Dampfmaschine, die lange Zeit wichtigstes Antriebsmittel für Textilmaschinen, Wasserpumpen und Aufzüge in Bergwerken war. Im 19. Jahrhundert erfaßte die industrielle Revolution ganz Europa und Nordamerika. Es kamen immer neue und immer mehr Maschinen in der Produktion zum Einsatz.

Einfache kraftumformende Einrichtungen, die bereits seit dem Altertum bekannt sind, finden auch heute noch Anwendung. Zur Verwirklichung unseres Wohnungsbauprogramms werden Wohnhäuser in Plattenbauweise errichtet. Dabei sind große Krane im Einsatz. Bei ihnen sind Seile, Rollen, Flaschenzüge wichtige Mittel, um die schweren Platten zu heben. ③

6/1 Archimedes
(287 bis 212 v. d. Z.)



6/2 Galileo Galilei
(1564 bis 1642)



6/3 James Watt
(1736 bis 1819)

---

① Berichte über Beispiele, wie durch Anwendung der Physik Menschen ihre körperliche Arbeit erleichtern und ihr Leben verbessern!

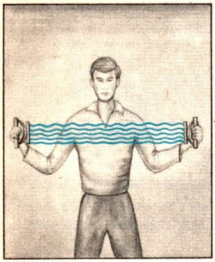
② Erkunde bei der produktiven Arbeit, wie physikalische Erkenntnisse bei der Herstellung wichtiger Erzeugnisse des Betriebes angewandt werden!

③ Welche kraftumformenden Einrichtungen kann man auf einer Baustelle beobachten?

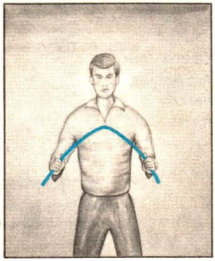
Ein Kraftfahrer hebt den schweren Kraftwagen seitlich an, um ein Rad zu wechseln. Wenn er an der Kurbel des Wagenhebers dreht, wird durch den Wagenheber die Muskelkraft umgeformt und vervielfacht. Dadurch ist es möglich, daß der Kraftfahrer allein das Fahrzeug anhebt, obwohl eigentlich hierfür vier oder fünf starke Männer notwendig wären. Beim Heben des Kraftwagens sind Kräfte wirksam.
Was versteht man in der Physik unter einer Kraft?

## Physikalische Bedeutung der Kraft

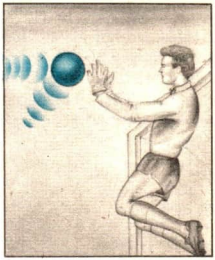
Durch eine Kraft kann man einen Expander dehnen (Bild 7/2), eine Holzleiste verbiegen (Bild 7/3), die Geschwindigkeit eines Fahrrades oder die Flugrichtung eines Balles ändern (Bild 7/4). Diese Beispiele machen deutlich:
**Durch eine Kraft können die Form oder die Bewegung oder Form und Bewegung von Körpern geändert werden.**



7/2

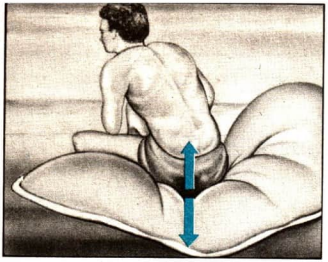


7/3

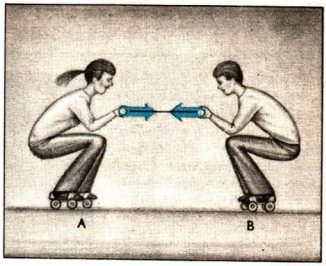


7/4

Man schließt auch umgekehrt: Ändern sich die Form oder die Bewegung oder Form und Bewegung eines Körpers, so greift an dem Körper eine Kraft an.
Setzt man sich auf eine Luftmatratze, dann sieht man, wie diese verformt wird. Unser Körper übt eine Kraft auf die Luftmatratze aus. Zugleich geht von der verformten Matratze eine Kraft aus, die an unserem Körper angreift (Bild 8/1).



8/1




8/2

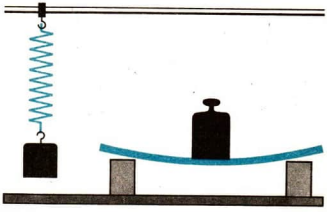
Wir kennen weitere Beispiele, die verdeutlichen, daß Kräfte auftreten, wenn zwei Körper A und B gegenseitig aufeinander wirken. Die von Körper A ausgehende Kraft greift an Körper B an. Zugleich geht eine Kraft von Körper B aus und greift an Körper A an. Diese beiden Kräfte haben entgegengesetzte Richtungen (Bild 8/2).

**Wenn zwei Körper gegenseitig aufeinander einwirken, treten Kräfte auf.** ① ②

Oft interessiert nur das Verhalten eines der beiden Körper, und man betrachtet dann allein die Kraft, die an diesem Körper angreift.

▶ **Die Kraft gibt an, wie stark ein Körper auf einen anderen Körper einwirkt.**

**Gewichtskraft.** Körper werden von der Erde angezogen. Ist ein Körper frei beweglich, so fällt er mit zunehmender Geschwindigkeit auf die Erde. Wird er durch eine Unterlage oder durch eine Aufhängung am Fallen gehindert, so werden Unterlage oder Aufhängung verformt (Bild 8/3).



8/3 Dehnen einer Feder durch die Gewichtskraft und Verbiegen einer Holzleiste durch die Gewichtskraft

Wir wissen bereits:

**Die Gewichtskraft ist annähernd die Kraft, mit der ein Körper von der Erde angezogen wird.**

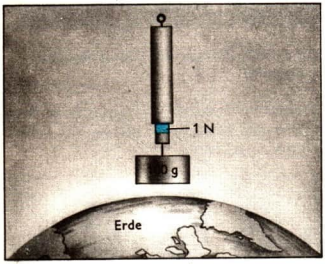
Vereinfachend spricht man auch von der Gewichtskraft eines Körpers.

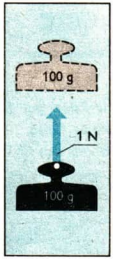
**Formelzeichen und Einheit der Kraft.** Das Formelzeichen für die Kraft ist $F$. Häufig werden verschiedene Kräfte durch Anfügen eines Indexes an das Formelzeichen voneinander unterschieden. Die Gewichtskraft hat das Formelzeichen $F_G$.

Als Einheit ist international **ein Newton** (gesprochen: njutn; abgekürzt N) festgelegt. Mit der Benennung der Einheit der Kraft werden die wissenschaftlichen Leistungen des englischen Physikers Isaac Newton gewürdigt, die er auf dem Gebiet der Mechanik vollbracht hat (Bild 9/1).

9/1 Isaac Newton (1643 bis 1727)

Um eine Vorstellung über den Betrag einer Kraft von 1 N zu erhalten, kann man folgende Vergleiche anstellen:




9/2
1 N ist annähernd so groß wie die Kraft, mit der ein Körper, dessen Masse 100 g beträgt, in Erdnähe lotrecht an einer Feder zieht.
9/3
Um einen Körper mit einer Masse von 100 g zu heben, ist eine Hubkraft von annähernd 1 N erforderlich.

Große Kräfte werden in Kilonewton (kN) oder Meganewton (MN) angegeben.
Es gilt:

1 kN = 1 000 N
1 MN = 1 000 000 N

■ 150 kN = 150 000 N
2,5 MN = 2 500 000 N

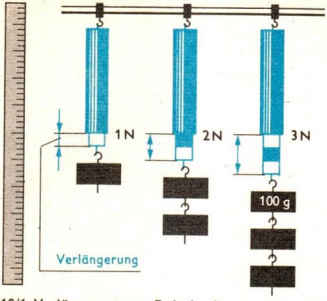
③ ④

## Messung von Kräften

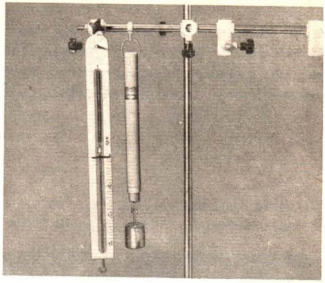
Belastet man eine Feder, so kann man feststellen, daß die Verlängerung der Feder in einem bestimmten Bereich der angreifenden Kraft proportional ist. Weiß man, um wieviel sich eine Feder beim Einwirken einer bestimmten Kraft verlängert, dann kann man aus der doppelten (dreifachen) Verlängerung auf eine doppelt (dreifach) so große Kraft schließen (Bild 10/1). Dieses Prinzip wird zur Kraftmessung genutzt.

---

① Gib Beispiele dafür an, wie durch Kräfte a) die Form und b) die Bewegung von Körpern geändert wird!
② Erläutere: Kräfte treten auf, wenn zwei Körper gegenseitig aufeinander wirken!
③ Wie groß sind die Gewichtskräfte, wenn Körper folgende Massen haben: 500 g; 1 500 g; 5 kg; 6,5 kg; 2 t?
④ a) Rechne in kN um: 5000 N; 15000 N; 3500 N; 800 N!
b) Rechne in MN um: 6000000 N; 4500000 N; 7000000 N!
c) Rechne in N um: 3 kN; 4 MN; 1,5 kN; 0,3 MN!

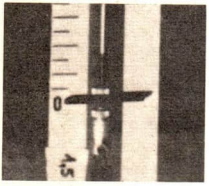



10/1 Verlängerung von Federkraftmessern durch Kräfte



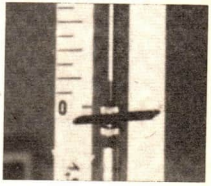
10/2 Federkraftmesser (aus SEG, Hülsenfederkraftmesser)

Federn mit geeichten Skalen werden zur Kraftmessung benutzt. Man bezeichnet diese Meßgeräte als **Federkraftmesser** (Bild 10/2). Vor den Messungen müssen die Federkraftmesser auf Null eingestellt werden (Bilder 10/3, 10/4, 10/5).



10/3 richtig
auf Null eingestellt

10/4 falsch
Zeiger über Null



10/5 falsch
Zeiger unter Null

1 Miß für einige Körper die Gewichtskraft mit verschiedenen Federkraftmessern! Schätze vor jeder Messung, wie groß die Gewichtskraft sein könnte!

Bei Benutzung der Federkraftmesser treten **Meßfehler** auf. Diese können durch die Meßgeräte selbst (z. B. zu stark gedehnte oder schleifende Feder, zu grob geteilte Skale) oder durch den Messenden (z. B. ungenaues Ablesen, Verwendung des Meßgerätes in unzweckmäßiger Gebrauchslage) bedingt sein. Man spricht von *Fehlern des Meßgerätes* und *persönlichen Fehlern*. Selbst mit hochwertigen Meßgeräten sind Meßfehler nicht vermeidbar. Sie müssen jedoch möglichst klein gehalten werden. Wegen der unvermeidlichen Meßfehler sind Meßwerte immer Näherungswerte. ① ②

## Richtung und Angriffspunkt einer Kraft

Mit einer großen Kraft kann man einen Expander stärker dehnen als mit einer kleineren Kraft (Bild 11/1). Verschieden große Kräfte gleicher Richtungen üben also verschieden große Wirkungen auf ein und denselben Körper aus.

Das bedeutet:

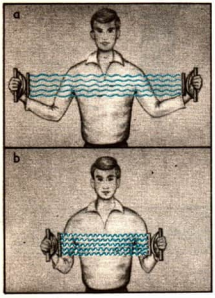
**Die Wirkung einer Kraft hängt von ihrem Betrag ab.**

Ein Haken läßt sich nur aus der Wand ziehen, wenn man wie in Bild 11/2b angreift. Das bedeutet:

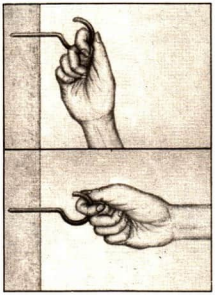
**Die Wirkung einer Kraft hängt von der Kraftrichtung ab.**

Eine Kiste kippt nur, wenn der Arbeiter wie in Bild 11/3b angreift. Das bedeutet:

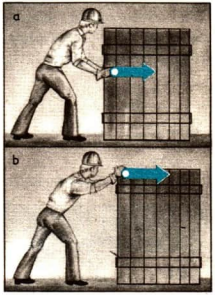
**Die Wirkung einer Kraft hängt vom Angriffspunkt der Kraft am Körper ab.**




11/1

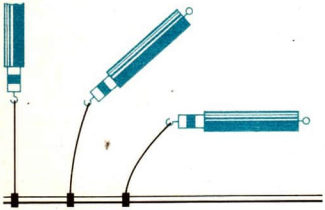


11/2

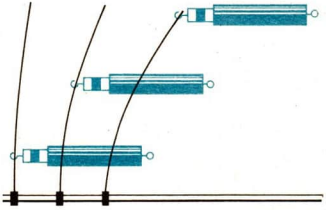



11/3

Am Beispiel der Verformung einer eingespannten Blattfeder kann man im Experiment die Abhängigkeit der Wirkung einer konstanten Kraft von ihrer Richtung (Bild 11/4) und von ihrem Angriffspunkt am Körper (Bild 11/5) überprüfen. ③



11/4 Gleich große Kräfte unterschiedlicher Richtungen greifen jeweils an der gleichen Stelle der Blattfeder an.
Diese wird unterschiedlich gebogen.



11/5 Gleich große Kräfte gleicher Richtungen greifen jeweils an anderen Stellen der Blattfeder an. Diese wird unterschiedlich gebogen.

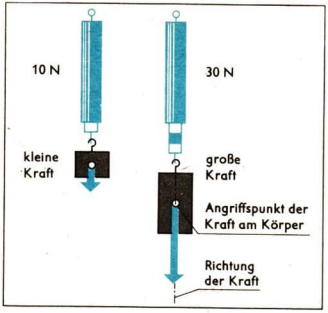
---

① Warum werden Federkraftmesser vor dem Gebrauch auf Null gestellt?

② Nenne Fehler des Meßgerätes und persönliche Fehler, die beim Messen der Gewichtskraft mit Federkraftmessern auftreten!

③ Gib Beispiele dafür an, daß die Wirkung einer Kraft nicht nur vom Betrag der Kraft abhängt!

**Darstellung von Kräften.** Bereits in Bild 8/1 wurden Kräfte durch Pfeile dargestellt. Mit solchen Kraftpfeilen kann man veranschaulichen, ob eine Kraft groß oder klein ist und welche Richtung sie hat. Durch den Kraftpfeil kann auch der Angriffspunkt einer Kraft am Körper gekennzeichnet werden. Es ist in vielen Fällen zweckmäßig, den Anfang des Kraftpfeiles in den Angriffspunkt der Kraft am Körper zu legen (Bild 12/1). ① ②




12/1

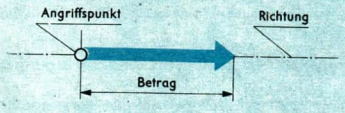
*Kräfte in Natur und Technik*

| Gewichtskraft | Hubkraft | Zug-, Schub-, Druckkraft |
|---|---|---|
| 100 N | 500 N | 600 N |
| 25 kN | 2 kN | 750 N |
| 50 kN | 3,5 kN | 40 kN |
| 1 MN | 70 kN | 130 kN |

## Zusammenfassung

| Physikalische Größe | Bedeutung | Formelzeichen | Einheit | Meßgerät |
|---|---|---|---|---|
| Kraft | Kraft gibt an, wie stark ein Körper auf einen anderen Körper einwirkt. | $F$ | 1 N (ein Newton) | Federkraftmesser |

**Wirkung von Kräften: Änderung der Form und der Bewegung von Körpern. Die Wirkung einer Kraft hängt vom Betrag, von der Richtung und vom Angriffspunkt der Kraft am Körper ab.**




## Reibungskraft

Ein Radfahrer strengt sich auf einer glatten Straße weniger als auf einem sandigen Waldweg an. Beim Radfahren und bei anderen Bewegungen tritt Reibung zwischen den Berührungsflächen der Körper auf.

**Die Reibung hemmt die Bewegung der Körper.**

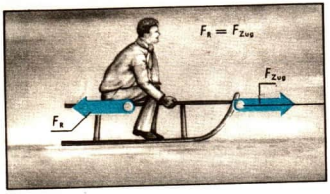
Wie stark die Reibung ist, wird durch die Reibungskraft $F_R$ ausgedrückt. ③ ④

▶ **Die Reibungskraft $F_R$ ist eine bewegungshemmende Kraft. Sie gibt an, wie stark die Reibung ist.**

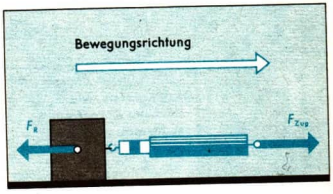
---

① Weshalb sind Pfeile zur grafischen Darstellung von Kräften geeignet?
② Gib Beispiele für Kräfte in Natur und Technik an! Vergleiche diese Kräfte mit den in der Übersicht auf Seite 12 genannten Kräften!
③ Welchen Einfluß hat die Reibungskraft auf die Bewegung eines Körpers?
④ Obwohl die Reibungskraft als bewegungshemmende Kraft gekennzeichnet wird, ermöglicht sie die Bewegung von Fahrzeugen. Warum ist das kein Widerspruch?

**Arten der Reibung.** Wenn ein Schlitten auf festem Schnee gleiten soll, dann muß er ständig durch eine Zugkraft in gleichförmiger Bewegung gehalten werden. Die Zugkraft $F_{Zug}$ in Bewegungsrichtung ist dabei so groß wie die entgegengesetzt gerichtete Reibungskraft $F_R$ (Bild 14/1).




14/1




14/2

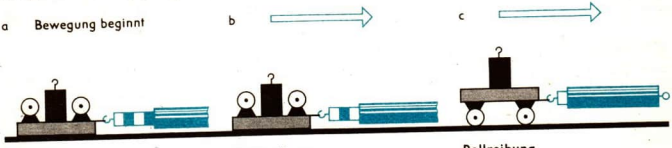
2 ▼ Zum Messen von Reibungskräften benutzen wir im Experiment anstelle des Schlittens einen Wagen, der mit einem Hakenkörper belastet ist. Den Wagen kann man in zwei verschiedenen Lagen auf dem Tisch bewegen. Gleitet der Wagen auf dem Tisch, so tritt **Gleitreibung** auf. Bei rollendem Wagen tritt **Rollreibung** auf. Mit einem Federkraftmesser messen wir die Zugkraft am gleichförmig bewegten Wagen. Zur Überwindung der Gleitreibung ist eine größere Zugkraft als zur Überwindung der Rollreibung notwendig (Bi.d 14/3).

**Die Gleitreibungskraft ist größer als die Rollreibungskraft.**

Bei dem Experiment fällt auf, daß der auf der Unterlage haftende Wagen erst zu gleiten beginnt, wenn die Zugkraft groß genug ist. Die Bewegung beginnt dann plötzlich mit einem Ruck. Durch die **Haftreibung** wird die Bewegung des Wagens verhindert, solange die Zugkraft kleiner als die **Haftreibungskraft** ist. ①

**Die Haftreibungskraft ist größer als die Gleitreibungskraft.**

Bei gleichen Bedingungen gilt:

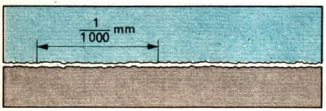



14/3 Haftreibung Gleitreibung Rollreibung

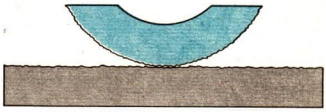
**Haftreibungskraft** > **Gleitreibungskraft** > **Rollreibungskraft**

**Ursachen der Reibung.** Reibung erfolgt an den Berührungsflächen fester Körper. Diese weisen Unebenheiten auf, die bei starker Vergrößerung erkennbar sind (Bild 15/1). Beim Verschieben zweier Körper werden die Unebenheiten verformt oder abgerieben, oder einer der beiden Körper muß jeweils angehoben werden, um die Unebenheiten zu überwinden. Rollt jedoch ein Körper auf dem anderen ab, dann werden die Un-

ebenheiten leichter als beim Gleiten überwunden (Bild 15/2). Deshalb ist bei gleichen Bedingungen die Rollreibungskraft kleiner als die Gleitreibungskraft.




15/1 Stark vergrößerte Darstellung der Oberfläche zweier Körper

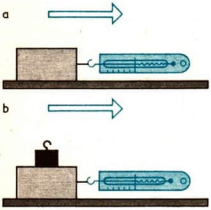


15/2 Stark vergrößerte Darstellung eines auf einer Unterlage abrollenden Rades

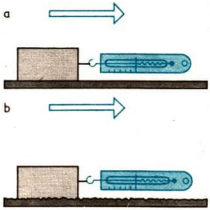
## Abhängigkeit der Gleitreibungskraft von physikalischen Größen

Wir wissen aus Erfahrung, daß sich ein Schrank leichter verschieben läßt, wenn man Tücher unterlegt oder wenn man den Schrank ausräumt. Wir stellen folgende Frage: Wovon hängt die Gleitreibungskraft ab, die beim Verschieben von Körpern auftritt? Um diese Frage beantworten zu können, führen wir ein Experiment durch.

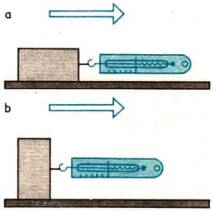
3 Untersuche für die in den Bildern 15/3 bis 15/5 dargestellten Fälle, wovon die Gleitreibungskraft abhängt, die bei gleichförmiger Bewegung eines Körpers auftritt!




15/3




15/4




15/5

**Vorbereitung**

1. Übertrage die Tabelle (/ S. 16)!
2. Stelle Vermutungen über die Abhängigkeit der Gleitreibungskraft auf, und trage diese Vermutungen in die Tabelle ein! Ein Beispiel ist in der Tabelle im Lehrbuch bereits angegeben.
3. Begründe die Vermutungen!

**Durchführung**

1. Ziehe den Quader jeweils (wie in den Bildern 15/3 bis 15/5 angegeben) mit einem Federkraftmesser über die Unterlage, und bestimme dabei die Gleitreibungskraft!
   Achte darauf, daß die Geschwindigkeit des Quaders bei allen Messungen annähernd gleich ist und sich beim Ziehen nicht ändert!
2. Trage die Meßwerte in die übertragene Tabelle (/ S. 16) ein!

---

① Nenne Beispiele aus Natur und Technik für Haft-, Gleit- und Rollreibung!

| | | Gewichtskraft | | Beschaffenheit der Berührungsflächen | | Flächeninhalt der Berührungsflächen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kleiner | größer | glatt | rauh | größer | kleiner |
| Gleitreibungskraft | Vermutung | | | klein | groß | | |
| | Messung | ... N | ... N | ... N | ... N | ... N | ... N |

**Auswertung**

1. Vergleiche die Meßwerte für die Gleitreibungskräfte mit den Vermutungen!
2. Beantworte die Frage: Wovon hängt die Gleitreibungskraft ab?
3. Wodurch treten bei diesem Experiment Fehler auf?

Berücksichtigt man die Fehler, die beim Messen der Gleitreibungskraft auftreten, so ist zu erkennen:

**Die Gleitreibungskraft hängt von der Gewichtskraft und der Beschaffenheit der Berührungsflächen ab. Sie ist unabhängig vom Flächeninhalt der Berührungsflächen.**

Die Reibungskraft hängt auch noch von den Stoffen ab, aus denen die Körper bestehen. Dies wird durch die Reibungszahlen ausgedrückt. ① ②

Die Reibungszahl gibt an, das Wievielfache der Gewichtskraft als Reibungskraft wirkt, wenn ein Körper auf einer horizontalen Unterlage bewegt wird. Gleitet ein Stahlkörper mit einer Gewichtskraft von 500 N auf einer Unterlage aus Stahl, so beträgt die Reibungskraft 50 N.

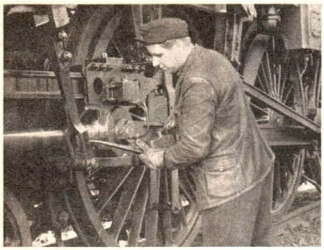
| Beispiel | Gleitreibungszahl |
|---|---|
| Leder auf Metall | 0,25 |
| Metall auf Holz | 0,35 |
| Stahl auf Stahl | 0,10 |

## Reibung in der Technik und im täglichen Leben

Reibungskräfte sind oft notwendig und erwünscht. Sie ermöglichen das Fahren und Bremsen von Fahrzeugen. Ohne Reibung würden sich Gewebe, Seile, Knoten von selbst lösen. Im Winter werden Streumittel auf glatte Straßen und Gehwege aufgebracht, um die Reibungskräfte zu vergrößern und ein Rutschen zu verhindern.

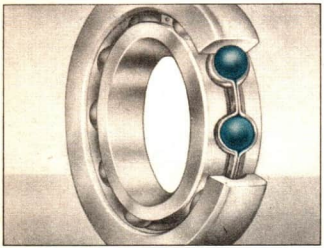
Häufig sind Reibungskräfte unerwünscht. In solchen Fällen versucht man, sie zu verkleinern. Auch aus dem polytechnischen Unterricht sind dafür Beispiele bekannt. Durch Schmieren mit Öl oder Fett werden Berührungsflächen geglättet und dadurch die Reibungskräfte verringert (Bild 17/1).

Die praktische Erfahrung der Menschen, daß die bewegungshemmende Reibungskraft bei einem rollenden Körper kleiner als bei einem gleitenden Körper ist, führte in der Geschichte der Technik zur Erfindung des Rades (Bild 17/2). Zwischen Rad und Straße tritt Rollreibung, zwischen feststehender Achse und dem sich drehenden Rad jedoch Gleitreibung auf. Fügt man aber zwischen Achse und Rad Rollkörper (Kugel- oder Rollenlager) ein, so wird auch dort die Gleitreibung durch die Rollreibung (Bilder 17/3, 17/4) ersetzt.

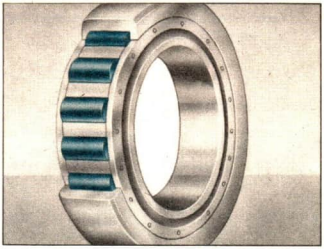


17/1 Alle beweglichen Teile an Maschinen müssen abgeschmiert werden, um Reibungskräfte und Verschleiß zu verringern.

17/2 Altertümliches Relief eines römischen Wagenrennens mit deutlicher Darstellung des Rades als Fortbewegungsmittel.



17/3 Kugellager (aufgeschnitten)

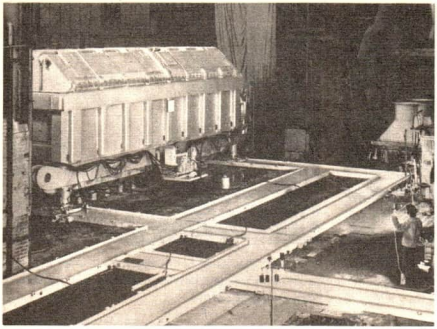


17/4 Rollenlager (aufgeschnitten)

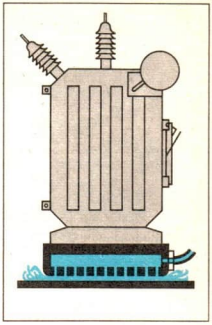
Ein modernes Verfahren zur Verringerung der Reibungskraft beim Verschieben schwerer Körper besteht darin, die Körper auf einem Luftkissen gleiten zu lassen (Bild 18/1, 18/2). Die Gleitreibungskraft zwischen Körper und fester Unterlage wird durch die wesentlich kleinere Gleitreibungskraft zwischen Körper und Luft ersetzt. Dadurch wird das Verschieben schwerer Körper erleichtert.
Durch Reibung erwärmen sich die Körper. Früher erzeugte man Feuer mit einem Reibholz. Die Bremsen von Fahrzeugen erwärmen sich beim Bremsen. Beim Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen wird eine zu starke Erwärmung der Werkzeuge verhindert, indem die Wärme durch Kühlmittel abgeleitet wird. ③ ④

---

① Ein unbelasteter Schlitten wird auf festgefahrenem Schnee gezogen. Wie verändert sich die Reibungskraft, wenn der Schlitten belastet wird?
② Ein Skilangläufer probiert Ski mit gleichem Flächeninhalt der Laufflächen, aber unterschiedlichen Belägen. Was ist damit beabsichtigt?
③ Die Rollreibungskraft zwischen Eisenbahnrad und Schiene ist sehr klein. Worin liegt der Vorteil?
④ Welche technische Bedeutung hat die hohe Reibungskraft, die zwischen Keilriemen und Riemenscheibe auftritt?



18/1 Verschieben eines Großtransformators mit einer Masse von 450 t auf einem Luftkissen



18/2 Prinzip der Erzeugung eines Luftkissens

## Zusammenfassung

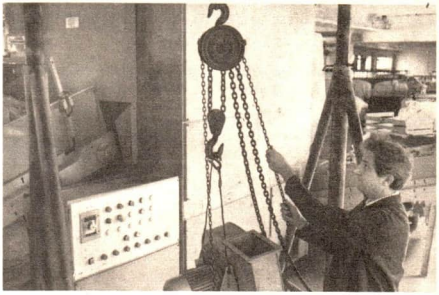
**Haft-, Gleit- und Rollreibung hemmen die Bewegung von Körpern. Bei gleichen Bedingungen gilt:**

**Haftreibungskraft > Gleitreibungskraft > Rollreibungskraft.**

**Die Reibungskraft hängt von der Gewichtskraft, von der Beschaffenheit der Berührungsflächen und von den Stoffen ab, aus denen die Körper bestehen. Reibung ist nicht vermeidbar. Eine unerwünschte Reibungskraft wird z. B. durch Schmiermittel verringert, eine erwünschte Reibungskraft z. B. durch Reibbeläge vergrößert.**

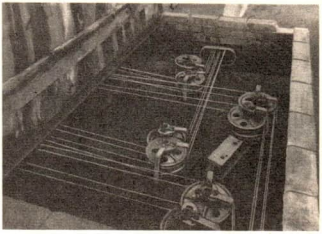
| | Haftreibungskraft | Gleitreibungskraft | Rollreibungskraft |
|---|---|---|---|
| erwünscht | bei Kurvenfahrten von Fahrzeugen | beim Bremsen von Fahrzeugen | bei Reibradkupplungen |
| unerwünscht | beim Start eines Rennschlittens | in Gleitlagern | in Kugellagern |

In einem Betrieb soll eine Maschine gehoben werden. Dafür muß die Hubkraft größer als die Muskelkraft des Monteurs sein. Der Monteur verwendet deshalb zum Heben einen Flaschenzug. Die Muskelkraft greift als Zugkraft an der Kette des Flaschenzuges an. Sie wird mit Rollen umgelenkt und umgeformt.
Wie groß ist die Zugkraft, die zum Heben von Körpern mit einem Flaschenzug aufgewandt werden muß?

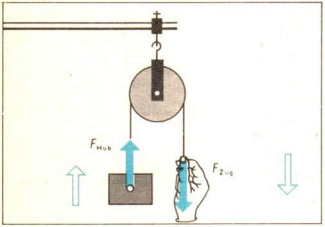


## Kräfte bei Rollen

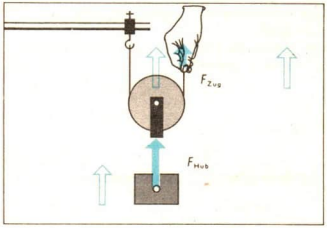
Eine Kraft soll mit einem Seil übertragen werden. Mit einer Rolle ist eine **Änderung der Richtung der Kraft** möglich (Bild 19/2). Rollen werden auch zur **Verringerung von Reibungskräften** eingesetzt. Man unterscheidet zwei Arten von Rollen: die **feste Rolle** (Bild 19/3) und die **lose Rolle** (Bild 19/4).



19/2 Umlenkrollen zur Änderung der Richtung der Kraft




19/3 Eine feste Rolle dreht sich um eine feststehende Achse.

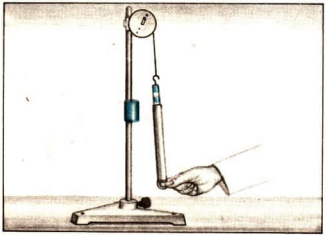



19/4 Eine lose Rolle dreht sich um eine in Kraftrichtung verschiebbare Achse.

**Feste Rolle.** Wir wissen bereits, wie groß die Hubkraft sein muß, um einen Körper zu heben, dessen Masse bekannt ist. Verwendet man eine feste Rolle und ein Seil zum Heben eines Körpers, so muß am freien Seilende eine **Zugkraft $F_{Zug}$** angreifen. Diese wird auf den Körper übertragen und greift an ihm als **Hubkraft $F_{Hub}$** an (Bild 19/3). In welchem Zusammenhang diese beiden Kräfte stehen, untersuchen wir in einem Experiment.

① ② ③

4 ▼ Mit einer festen Rolle und einem Seil werden verschiedene Körper gehoben. Wie groß muß jeweils die Zugkraft $F_{Zug}$ am freien Seilende sein, damit am Körper die notwendige Hubkraft $F_{Hub}$ angreift?



| Hubkraft $F_{Hub}$ in N | Zugkraft $F_{Zug}$ in N |
|---|---|
| 0,2 | 0,2 |
| 0,5 | 0,5 |
| 1,0 | 1,0 |

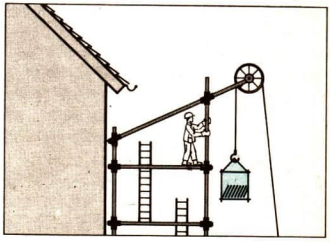
20/1 Experimentieranordnung

Bei Verwendung einer *festen Rolle* und eines Seils zum Heben von Körpern erkennt man:

▶ **Feste Rolle:**
**Hubkraft und Zugkraft haben bei der festen Rolle verschiedene Richtungen. Die Zugkraft $F_{Zug}$ ist so groß wie die Hubkraft $F_{Hub}$.**

$$F_{Zug} = F_{Hub}$$

■ Um eine Palette mit Dachziegeln zu heben, verwendet man ein Seil und eine feste Rolle. Damit ist es möglich, von der Straße aus zu ziehen (Bild 20/2). Das ist bequemer und vor allem sicherer, als wenn vom Dachboden aus gezogen würde. Eine Einsparung an Zugkraft wird mit dieser Vorrichtung jedoch nicht erreicht. ④

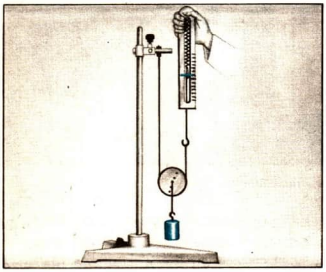


20/2 Feste Rolle zum Heben von schweren Körpern

**Lose Rolle.** Gilt auch beim Heben von Körpern mit losen Rollen und Seil, daß Zugkraft und Hubkraft gleich groß sind?

5 Miß Hub- und Zugkräfte, die beim Heben von Körpern mit einer losen Rolle und einem Seil auftreten! Vergleiche die gemessenen Kräfte!

**Vorbereitung**
Übertrage die Tabelle!



| Hubkraft $F_{Hub}$ in N | Zugkraft $F_{Zug}$ in N |
|---|---|
| 0,2<br>0,5<br>1,0 | |

21/1 Experimentieranordnung

**Durchführung**
1. Hebe die Hakenkörper wie in Bild 21/1! Miß mit dem Federkraftmesser beim Heben die Zugkraft $F_{Zug}$! Die beiden Seilstücke an der losen Rolle müssen bei der Kraftmessung parallel sein.
2. Trage die Meßwerte in die Tabelle ein!

**Auswertung**
Vergleiche die Zugkräfte mit den Hubkräften! Beantworte die Frage: Wie groß ist jeweils die Zugkraft, wenn der Körper gehoben wird?

Bei Anwendung einer *losen Rolle* und eines Seils zum Heben von Körpern erkennt man:

**Lose Rolle:**
**Hubkraft und Zugkraft haben bei der losen Rolle bei paralleler Seilführung die gleiche Richtung. Die Zugkraft $F_{Zug}$ ist halb so groß wie die Hubkraft $F_{Hub}$.**

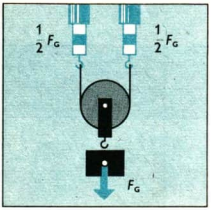
$$F_{Zug} = \frac{1}{2} F_{Hub} \text{ (parallele Seilführung)}$$

Die Krafteinsparung bei der losen Rolle kann man so erklären: Die Gewichtskraft des zu hebenden Körpers ist auf zwei tragende Seilstücke verteilt (Bild 22/1). Dadurch wird jedes Seilstück nur mit der halben Gewichtskraft belastet.

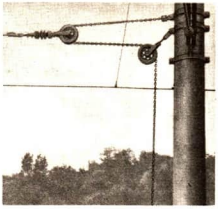
---

① Welche beiden Arten von Rollen werden unterschieden?
② Was will man durch die Verwendung von festen Rollen zur Kraftübertragung erreichen?
③ Erläutere Beispiele für die Anwendung von festen Rollen!
④ Welche Zugkraft ist erforderlich, um mit einer festen Rolle einen Sack zu heben, dessen Masse 50 kg beträgt?

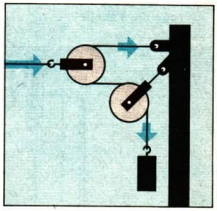
■ Nutzt man die lose Rolle beim Spannen von Fahrleitungen (Bild 22/2), dann braucht die Gewichtskraft der angehängten Betonkörper nur halb so groß wie die zum Spannen erforderliche Kraft zu sein. ①




22/1



22/2 Spannen einer Fahrleitung



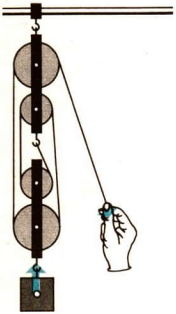
**Fehlerbetrachtung.** Bei der Durchführung des Experiments 5 tritt neben den Fehlern des Meßgerätes und persönlichen Fehlern ein weiterer Meßfehler auf. Die gemessene Zugkraft ist stets etwas mehr als halb so groß wie die Hubkraft am Körper, da die lose Rolle auch gehoben werden muß und die Reibungskraft zu überwinden ist. Diese Art Fehler bezeichnen wir als *Fehler durch die Experimentieranordnung.* Es ist möglich, durch sehr leichte und gut gelagerte Rollen diesen Fehler zu verringern, völlig vermeiden läßt er sich jedoch nicht. ②

| Fehler des Meßgerätes | Fehler durch die Experimentieranordnung | Persönliche Fehler |
|---|---|---|
| Abweichungen der Meßgeräte | Nicht völlig zu vermeidender Einfluß der Experimentieranordnung auf die Messung | Ungenaues Ablesen, falsche Ausführung der Messung |
| z. B. zu stark gedehnte Feder beim Federkraftmesser | z. B. Gewichtskraft der losen Rolle Reibung | z. B. nicht auf Null gestellter Zeiger am Federkraftmesser |

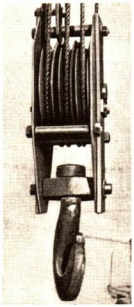
## Kräfte beim Flaschenzug

Als Flaschenzug bezeichnet man eine Kombination mehrerer fester und loser Rollen. Flaschenzüge wendet man zum Heben schwerer Körper an (Bild 23/1).
Bei technischen Ausführungen des Flaschenzuges werden meist alle festen Rollen auf einer Achse und alle losen Rollen auf einer zweiten Achse angebracht (Bild 23/2). Eine solche Rollengruppe heißt **Flasche**.
Bei einem Flaschenzug aus zwei festen und zwei losen Rollen hängt der zu hebende Körper an vier tragenden Seilstücken. Die Gewichtskraft des zu hebenden Körpers wird auf diese vier Seilstücke verteilt. Folglich ist die Zugkraft $F_{Zug}$ am freien Seilende nur ein Viertel

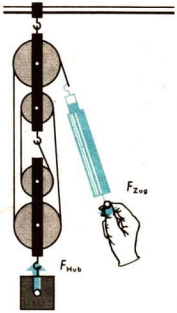
der Hubkraft $F_{Hub}$, die am Körper angreift. Zu dem gleichen Ergebnis kommt man beim Messen der Hub- und Zugkräfte im Experiment (Bild 23/3). ③



23/1 Flaschenzug



23/2 Beim Flaschenzug sind die Rollen in einer Flasche untergebracht



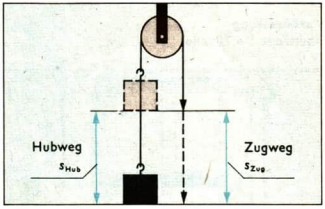

23/3 Experimentieranordnung

**Flaschenzug:**
**Die Zugkraft $F_{Zug}$ ist beim Flaschenzug mit vier tragenden Seilstücken ein Viertel der Hubkraft $F_{Hub}$.**

$$F_{Zug} = \frac{1}{4} F_{Hub} \text{ (vier tragende Seilstücke)}$$

## Wege bei Rollen und beim Flaschenzug

Wenn Körper mit Rollen und Seil gehoben werden sollen, dann muß das Seil genügend lang sein. Beim Heben des Körpers um den **Hubweg $s_{Hub}$** muß der Angriffspunkt der Kraft am freien Seilende den **Zugweg $s_{Zug}$** zurücklegen (Bild 23/4).
In welchem Zusammenhang stehen Hub- und Zugweg?

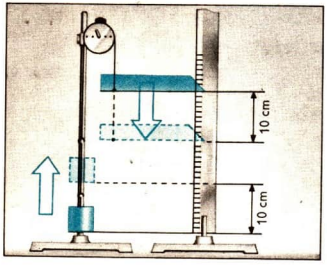



23/4

① Ein Arbeiter ist in der Lage, eine Zugkraft von 800 N aufzubringen. Wie groß kann die Masse eines Körpers sein, wenn dieser vom Arbeiter mittels loser Rolle gehoben werden soll?
② Welche Meßfehler muß man beim Experimentieren mit losen Rollen beachten und möglichst verringern?
③ Mit einer Zugkraft von höchstens 600 N soll ein Körper gehoben werden, dessen Masse 100 kg beträgt. Entscheide, ob eine lose Rolle oder ob ein Flaschenzug notwendig ist!

**Feste Rolle.** Zunächst messen und vergleichen wir Hub- und Zugweg bei der festen Rolle.

6 ▼ Mit einer festen Rolle und einem Seil wird ein Körper in verschiedene Höhen gehoben. Wie groß ist der Zugweg $s_{Zug}$, wenn der Körper den Hubweg $s_{Hub}$ zurücklegt (Bild 24/1)?




| Hubweg $s_{Hub}$ in cm | Zugweg $s_{Zug}$ in cm |
|---|---|
| 10 | 10 |
| 20 | 20 |
| 30 | 30 |

24/1 Experimentieranordnung

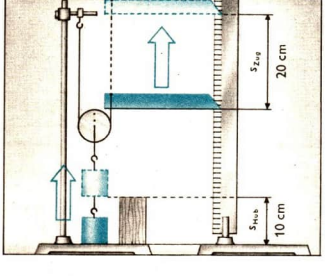
▶ **Feste Rolle:**
**Der Zugweg $s_{Zug}$ ist bei der festen Rolle gleich dem Hubweg $s_{Hub}$.**

$$s_{Zug} = s_{Hub}$$

**Lose Rolle.** Gilt auch beim Heben von Körpern mit losen Rollen und Seil, daß Hubweg und Zugweg gleich groß sind?

7 ▼ Miß Hub- und Zugwege, die beim Heben eines Körpers mit einer losen Rolle und einem Seil auftreten! Vergleiche die gemessenen Wege!

**Vorbereitung**
Übertrage die Tabelle!




| Hubweg $s_{Hub}$ in cm | Zugweg $s_{Zug}$ in cm |
|---|---|
| 3 | |
| 5 | |
| 10 | |

24/2 Experimentieranordnung

**Durchführung**

1. Hebe einen Hakenkörper wie in Bild 24/2 in verschiedene Höhen! Miß am freien Seilende die Zugwege $s_{Zug}$!
2. Trage die Meßwerte in die übertragene Tabelle ein!

**Auswertung**

1. Vergleiche die Zugwege mit den Hubwegen! Beantworte die Frage: Wie groß ist der Zugweg, wenn der Körper um einen bestimmten Hubweg gehoben wird?
2. Welche Meßfehler treten bei diesem Experiment auf?

▶ **Lose Rolle:**

**Der Zugweg $s_{Zug}$ ist bei der losen Rolle bei paralleler Seilführung doppelt so groß wie der Hubweg $s_{Hub}$.**

$s_{Zug} = 2\, s_{Hub}$ (parallele Seilführung)

**Flaschenzug.** Wenn man beim Heben von Körpern mittels Flaschenzug und Seil Hubwege $s_{Hub}$ und Zugwege $s_{Zug}$ vergleicht, so erkennt man: ① ② ③

▶ **Flaschenzug:**

**Der Zugweg $s_{Zug}$ ist beim Flaschenzug mit vier tragenden Seilstücken viermal so groß wie der Hubweg $s_{Hub}$.**

$s_{Zug} = 4\, s_{Hub}$ (vier tragende Seilstücke)

## Goldene Regel der Mechanik

Benutzt man zum Heben von Körpern mit einem Seil eine lose Rolle oder einen Flaschenzug, so gilt:
Die Einsparung an Kraft ist mit einer Vergrößerung des Weges verbunden.

---

① Mit einer losen Rolle, die an einem Kran befestigt ist, soll eine Betonplatte mit einer Masse von 1 t um 20 m gehoben werden. Welche Kraft ist dazu notwendig? Wieviel Seil muß auf der Seiltrommel aufgewickelt werden?
Wie würden sich Zugkraft und Länge des aufzuwickelnden Seils ändern, wenn statt der losen Rolle ein Flaschenzug mit 4 tragenden Seilstücken eingesetzt würde?

② Zeige mit einem einfachen Experiment, daß eine Krafteinsparung zu einer Vergrößerung des Weges führt! Als Geräte stehen zur Verfügung: feste Rolle, lose Rolle, Flaschenzug. Wähle ein geeignetes Gerät aus!

③ Formuliere in Worten die Gesetze, die bei Rollen und beim Flaschenzug a) für die Kräfte und b) für die Wege gelten!

| Kraftumformende Einrichtung | Feste Rolle | Lose Rolle (parallele Seilführung) | Flaschenzug (4 tragende Seilstücke) |
|---|---|---|---|
| | | | |
| Kräfte | $F_{Zug} = F_{Hub}$ | $F_{Zug} = \frac{1}{2} F_{Hub}$ | $F_{Zug} = \frac{1}{4} F_{Hub}$ |
| Wege | $s_{Zug} = s_{Hub}$ | $s_{Zug} = 2\, s_{Hub}$ | $s_{Zug} = 4\, s_{Hub}$ |

Aus der Tabelle ist zu erkennen, daß für diese kraftumformenden Einrichtungen gilt:
**Kraft und Weg sind einander umgekehrt proportional.**
Eine sehr vereinfachte Formulierung dieses Gesetzes bezeichnet man als

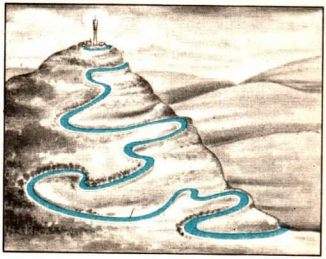
**Goldene Regel der Mechanik:**

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

Die Goldene Regel der Mechanik wurde vom italienischen Physiker Galileo Galilei formuliert. ① ②

## Geneigte Ebene

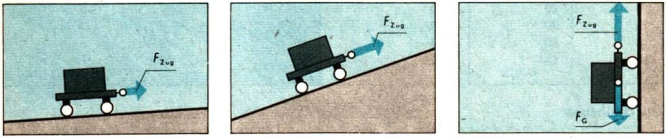
Die Bergstraße von Bad Frankenhausen zum Fernsehturm am Kyffhäuser überwindet etwa 280 m Höhenunterschied. Diese Straße hat mehr als 30 Kurven. Warum führt sie nicht auf kürzestem Wege zum Gipfel?
Ähnliche Einrichtungen wie eine Straße, die einen Berg hinaufführt (Bild 26/1), bezeichnet man in der Physik als **geneigte Ebene.** Auch ein gegenüber der Tischplatte geneigtes Brett ist eine geneigte Ebene.



26/1

**Kräfte an der geneigten Ebene.** Zunächst untersuchen wir, ob man an der geneigten Ebene Kraft sparen kann.

8 ▼ Auf einer geneigten Ebene wird ein beladener Wagen gleichförmig nach oben gezogen. Die Zugkraft $F_{Zug}$ ist parallel zum Brett gerichtet (Bild 27/1).




27/1 Brett in verschiedenen Neigungen als geneigte Ebene

**Die am Wagen angreifende Zugkraft ist um so größer, je steiler die geneigte Ebene ist.** Bei lotrechtem Ziehen ist die Zugkraft am größten. Es gilt: $F_{Zug} = F_G$. Die geneigte Ebene ist eine kraftumformende Einrichtung. Die Abhängigkeit der Zugkraft von der Steilheit der geneigten Ebene ist auch der Grund für die kurvenreich angelegte Straße am Kyffhäuser. ③

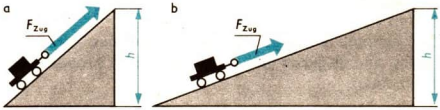
**Goldene Regel der Mechanik für die geneigte Ebene.** Mit einer geneigten Ebene kann man Kraft sparen. Gilt dabei die Goldene Regel der Mechanik?

9 ▼ Untersuche, ob die Goldene Regel der Mechanik auch für die geneigte Ebene gilt!

**Planung des Experiments**
Auf geneigten Ebenen unterschiedlicher Länge können wir einen kleinen Wagen jeweils auf gleiche Höhe ziehen. Es können Bretter unterschiedlicher Längen als geneigte Ebenen benutzt werden (Bild 27/2). Wir nehmen an, daß die Goldene Regel der Mechanik an der geneigten Ebene gilt, berechnen die Zugkräfte und messen diese im Experiment. Durch Vergleich der gemessenen mit den berechneten Zugkräften ist es möglich, die Gültigkeit der Goldenen Regel der Mechanik zu überprüfen.

**Vorbereitung**
Bei diesem Experiment fertigen wir ein Protokoll an, das wie folgt gegliedert wird:

**Name:**__ **Klasse:**__ **Datum:**__
**Aufgabe:** _____
**Meßwerttabelle:** _____
**Auswertung der Meßwerte:**
__ _____
**Nennen der Fehler:** _____




27/2

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Berechne die Zugkräfte, und trage diese in die Meßwerttabelle des vorbereiteten Protokolls ein!

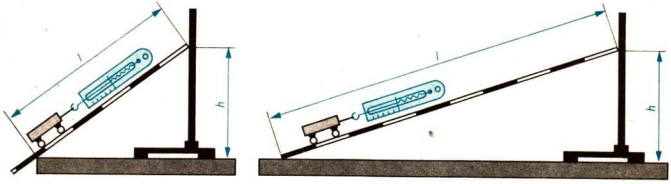
---

① Wie lautet die Goldene Regel der Mechanik?
② Erläutere die Goldene Regel der Mechanik an Beispielen für die Anwendung von loser Rolle und von Flaschenzügen!
③ Was wird erreicht, wenn man eine Straße in vielen Kurven auf einen Berg führt?

| Höhe $h$ in cm | Länge $l$ in cm | Gewichtskraft $F_G$ in N | Berechnete Zugkraft $F_{Zug}$ in N | Gemessene Zugkraft $F_{Zug}$ in N |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 10 | 0,50 | 0,50 | |
| 10 | 20 | 0,50 | .... | |
| 10 | 30 | 0,50 | 0,17 | |
| 10 | 40 | 0,50 | .... | |
| 10 | 50 | 0,50 | .... | |

**Durchführung**

1. Baue die Experimentieranordnung auf, und stelle die Länge der geneigten Ebene jeweils wie in Bild 28/1 ein!
2. Ziehe den Wagen jeweils gleichförmig auf der geneigten Ebene! Miß dabei die Zugkräfte mit dem Federkraftmesser, und trage diese in die Meßwerttabelle ein!




28/1 Experimentieranordnung

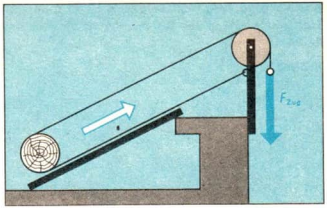
**Auswertung**

1. Vergleiche die berechneten mit den gemessenen Zugkräften!
2. Beantworte die Frage: Gilt die Goldene Regel der Mechanik für die geneigte Ebene?
3. Wodurch treten bei diesem Experiment Meßfehler auf?
4. Vervollständige abschließend das Protokoll!

Wurde die Berechnung der Zugkräfte richtig durchgeführt, und beachten wir die Meßfehler, so können wir feststellen:
Die gemessenen Zugkräfte stimmen mit den berechneten überein. Bei der geneigten Ebene sind Zugkraft und Länge umgekehrt proportional. Es gilt die Goldene Regel der Mechanik. ① ② ③

## Anwendungsbeispiele für die geneigte Ebene

**Verladeeinrichtung.** (Bild 29/1) Mit dieser Einrichtung werden Fahrzeuge mit Langholz beladen, wenn der Einsatz eines Kranes nicht möglich ist. Bei der Verladeeinrichtung wird die Goldene Regel der Mechanik angewendet.
Hauptteile der Verladeeinrichtung sind eine geneigte Ebene und eine lose Rolle, die durch den Baumstamm selbst gebildet wird. Durch die kombinierte Anwendung von loser Rolle und geneigter Ebene wird erreicht, daß die notwendige Zugkraft wesentlich kleiner als die Gewichtskraft des Baumstammes ist. Der Weg auf der geneigten Ebene und der Zugweg am Seil sind größer als der senkrechte Hubweg vom Erdboden auf das Fahrzeug.



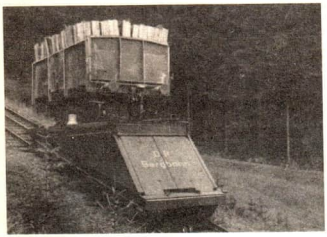

29/1 Verladeeinrichtung

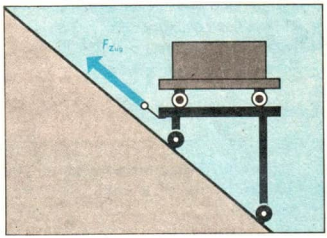
Mit der Verladeeinrichtung haben wir ein technisches Gerät kennengelernt. Bei der **Beschreibung des technischen Gerätes und der Erklärung der Wirkungsweise** sind wir auf folgende Fragen eingegangen:

- Wie wird das technische Gerät bezeichnet?
- Wozu wird das technische Gerät verwendet?
- Welches physikalische Gesetz wird angewendet?
- Aus welchen Teilen besteht das technische Gerät?
- Wie wirkt das technische Gerät?

Es ist zweckmäßig, beim Beschreiben technischer Geräte diese Fragen in der angegebenen Reihenfolge zu beantworten.

**Schrägaufzug.** Bei der Bergbahn in Oberweißbach (Thüringen) wird mit einem Schrägaufzug ein Höhenunterschied von 320 m überwunden (Bild 29/2). Das Bahngleis ist eine geneigte Ebene. Die notwendige Zugkraft der Seilwinde ist kleiner als die Gewichtskraft des jeweils beförderten Wagens.






29/2 Schrägaufzug

---

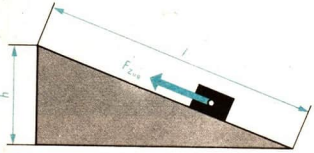
① Welchen Vorteil bringt die Anwendung geneigter Ebenen gegenüber dem lotrechten Heben beim Transportieren schwerer Körper? Mit welchem Nachteil ist dieser Vorteil verbunden?

② Erläutere die Goldene Regel der Mechanik an Beispielen für die praktische Anwendung geneigter Ebenen!

③ Zum Erreichen des Gipfels eines Berges wählt ein Tourist statt des steilsten Aufstiegs einen weniger steilen, der jedoch länger ist. Was hat er damit beabsichtigt?

■ Der Schrägaufzug bei der Bergbahn in Oberweißbach überwindet auf einer Länge von 1 400 m einen Höhenunterschied von 320 m. Welche Zugkraft muß am Wagen angreifen, wenn dieser eine Masse von 12 t hat?

*Analyse:*




Gesucht:
$F_{Zug}$ in N

Gegeben:
Länge $l$ = 1 400 m
Höhe $h$ = 320 m
Masse $m$ = 12 t

30/1

*Plan zur Lösung:*
Die Gewichtskraft kann aus der Masse des Wagens berechnet werden (1 kg ≙ 10 N; 1 t ≙ 10 kN).

*Lösung:*
Die Gewichtskraft beträgt $F_G = 120$ kN
Die Länge des Schrägaufzuges ist etwa viermal so groß wie der Höhenunterschied. $l = 4h$

Folglich muß die Zugkraft ein Viertel der Gewichtskraft sein. $F_{Zug} = \frac{1}{4} F_G$

Da die Gewichtskraft 120 kN beträgt, muß die Zugkraft betragen: $F_{Zug} = 30$ kN

*Ergebnis:*
Die Zugkraft am Wagen muß etwa 30 kN betragen.

Warum ist aber in Wirklichkeit die Zugkraft noch größer als berechnet? ① ②

Beim **Lösen mathematisch-physikalischer Aufgaben** wenden wir immer die gleichen Schritte an.

- Analysieren der Aufgabe; dazu gehören Anfertigen einer Skizze, Aufsuchen der gesuchten und gegebenen Größen,
- Planen des Lösungsweges,
- Lösen der Aufgabe,
- Formulieren des Ergebnisses.

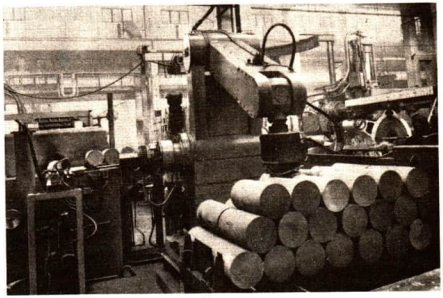
## Zusammenfassung

**Bei losen Rollen, Flaschenzügen, geneigten Ebenen und anderen kraftumformenden Einrichtungen sind Kraft und Weg einander umgekehrt proportional.**
**Für kraftumformende Einrichtungen gilt die**
**Goldene Regel der Mechanik:**
**Was man an Kraft spart, muß man an Weg zusetzen.**

---

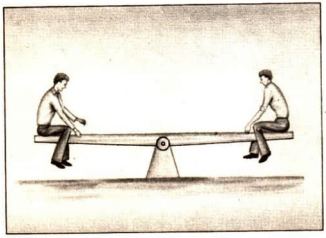
① Beschreibe einen Schrägaufzug für Eisenbahnwaggons!
② Bei einem Schrägaufzug wird auf 120 m Länge ein Höhenunterschied von 20 m überwunden. Die Zugkraft beträgt 6000 N. Wie groß darf die Masse der Körper im Höchstfall sein, damit sie mit diesem Schrägaufzug noch emporgezogen werden können?

Niemand weiß, wer den Hebel erfunden hat. Aber der Grabstock der Menschen im Altertum, die Türklinke, das Pedal am Fahrrad, die Brechstange, aber auch der Greifarm eines Industrieroboters sind Hebel. Diese Beispiele zeigen, daß der Hebel eine wichtige Erfindung der Menschen ist. Für alle Hebel gilt ein Gesetz, das Hebelgesetz. Kennt man dieses Gesetz, so ist der Ausspruch von Archimedes (↗ S. 6) zu verstehen.
Wie lautet das Hebelgesetz?

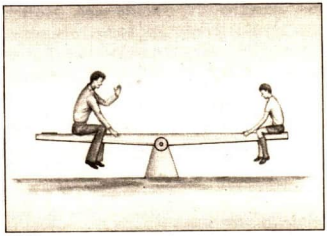


## Gerader Hebel im Gleichgewicht

Wippen bestehen aus einem Balken, einem Brett oder einer Stange, die drehbar gelagert sind (Bild 31/2). Die Wippe ist physikalisch gesehen ein **Hebel**. Eine waagerechte Wippe ist im **Gleichgewicht**. Das Gleichgewicht ist einfach herzustellen, wenn die beiden wippenden Personen etwa gleich schwer sind. Aber auch verschieden schwere Personen können das Gleichgewicht herstellen. Die leichtere Person muß einen größeren Abstand von der Drehachse der Wippe als die schwerere haben (Bild 31/3).



31/2 Wippe (gleich schwere Personen)

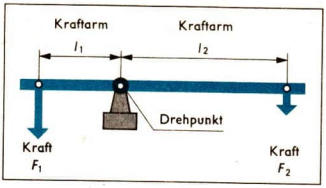


31/3 Wippe (verschieden schwere Personen)

Für das Wippen ist es günstig, wenn sich der Balken, das Brett oder die Stange bei Belastung nicht biegen. Sie sollen *starr* sein.

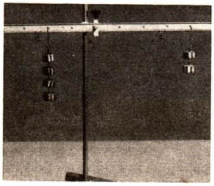
**Gerade Hebel sind drehbar gelagerte, gerade, starre Stangen, Bretter, Maschinenteile und dergleichen.**

Als **Drehpunkt** bezeichnet man die Stelle, an der der Hebel drehbar gelagert ist.
Als **Kraftarme** bezeichnet man die Abstände zwischen dem Drehpunkt und den Angriffspunkten der Kräfte am geraden Hebel (Bild 32/1).

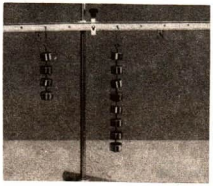



32/1 Teile eines Hebels

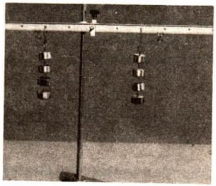
Soll ein Hebel in das Gleichgewicht gebracht werden, so muß am kürzeren Kraftarm die größere und am längeren Kraftarm die kleinere der beiden Kräfte angreifen.



32/2
$l_1 < l_2$
$F_1 > F_2$



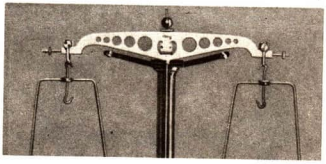
32/3
$l_1 > l_2$
$F_1 < F_2$



32/4
$l_1 = l_2$
$F_1 = F_2$

**Wenn ein Hebel im Gleichgewicht ist, dann greift am kürzeren Kraftarm die größere Kraft an.**

Bei gleichlangen Hebelarmen müssen gleichgroße Kräfte am Hebel angreifen, damit dieser im Gleichgewicht ist. Das ist bei einer Balkenwaage der Fall (Bild 32/5). ①



32/5

## Hebelgesetz

Wie kann der Zusammenhang zwischen den Kräften und den Längen der Kraftarme am Hebel noch genauer ausgedrückt werden?

10 ▼ Untersuche den Zusammenhang zwischen den Kräften und den Längen der Kraftarme am Hebel!

**Vorbereitung**
Übertrage die Tabelle!

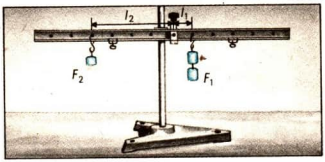
**Durchführung**

1. Baue eine Experimentieranordnung gemäß Bild 33/1 auf!
2. Bringe den Hebel mit den Schiebern in das Gleichgewicht!
3. Befestige Hakenkörper so am Hebel, daß er im Gleichgewicht ist! Miß die Kräfte $F_1$ und $F_2$ und die Längen der Kraftarme $l_1$ und $l_2$!
4. Trage die Meßwerte in die übertragene Tabelle ein!

**Auswertung**

1. Suche eine Gleichung für die gemessenen Kräfte und die Längen der Kraftarme!
2. Wodurch treten bei diesem Experiment Meßfehler auf?

| $F_1$ in N | $F_2$ in N | $l_2$ in cm | $l_1$ in cm |
|---|---|---|---|
| | | | |




33/1 Experimentieranordnung

Vergleichen wir für jede Messung das Verhältnis der angreifenden Kräfte mit dem Verhältnis der Längen der Kraftarme, so erkennen wir das

**Hebelgesetz.**

**Ein Hebel ist dann im Gleichgewicht, wenn das Verhältnis der Kräfte gleich dem umgekehrten Verhältnis der Längen der Kraftarme ist.**

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Welche der beiden am Hebel angreifenden Kräfte mit $F_1$ oder $F_2$ bezeichnet wird, ist beliebig. Wichtig ist jedoch, daß der Kraftarm, dessen Länge mit $l_1$ bezeichnet wird, der Kraft $F_1$ zugeordnet ist.
Das Gleichgewicht des Hebels kann durch die Masse der Hebelarme beeinflußt werden. Wäre der Hebel masselos, dann würde das Gleichgewicht durch den Hebel selbst nicht beeinflußt werden. Einen masselosen Hebel gibt es in der Wirklichkeit nicht. Ein solcher Hebel ist eine Idealisierung. Die Tatsache, daß sich praktische Anwendungen des Hebelgesetzes seit Jahrtausenden an allen Orten auf der Erde bewähren, bestätigt, daß dieses Gesetz die Natur richtig widerspiegelt. ② ③

---

① Nenne Beispiele für die Anwendung des Hebels! Kennzeichne bei diesen Beispielen jeweils den Drehpunkt und die Kraftarme!

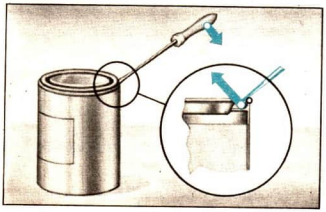
② Von einem Hebel, der im Gleichgewicht ist, sind folgende Größen bekannt: $F_1 = 1$ N; $F_2 = 0{,}5$ N; $l_2 = 20$ cm. Wie lang ist der Kraftarm $l_1$? Prüfe das Ergebnis in einem Experiment!

③ Bei einem Hebel wird eine der beiden angreifenden Kräfte verdoppelt. Welche Möglichkeiten gibt es, das Gleichgewicht wieder herzustellen?

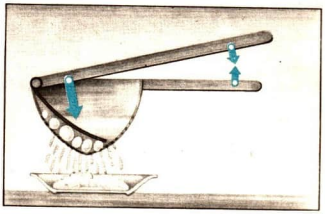
## Anwendung des Hebelgesetzes

Mit dem Hebelgesetz kann man die *Wirkungsweise* des Hebels *erklären*.

■ Eine Farbbüchse ist zu öffnen. Mit der Hand allein geht es nicht, mit einem Schraubendreher als Hebel geht es leichter (Bild 34/1), da bei längerem Kraftarm die aufzuwendende Kraft kleiner ist.
Mit dem Kartoffelquetscher kann man mit einer kleinen Muskelkraft eine große Preßkraft auf die Kartoffeln ausüben (Bild 34/2).



34/1 Öffnen einer Farbbüchse



34/2 Kartoffelquetscher als Hebel

Diese Beispiele machen deutlich: **Hebel sind kraftumformende Einrichtungen.**

Mit dem Hebelgesetz kann man *Kräfte und Längen der Kraftarme berechnen*. Die berechneten Größen können auch im Experiment bestätigt werden.

11 ▼ Berechne mit dem Hebelgesetz Kräfte und Längen von Kraftarmen! Überprüfe die berechneten Größen im Experiment!

**Vorbereitung**

1. Bereite nach dem Muster von S. 27 ein Protokoll mit folgenden Tabellen vor!

**Tabelle 1**

| $F_1$ in N | $l_1$ in cm | $l_2$ in cm | $F_2$ (berechnet) in N | $F_2$ (gemessen) in N |
|---|---|---|---|---|
| 1,0 | 10 | 20 | | |
| 1,0 | 10 | 5 | | |

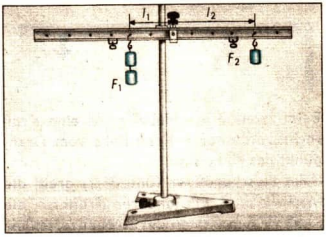
**Tabelle 2**

| $F_1$ in N | $F_2$ in N | $l_1$ in cm | $l_2$ (berechnet) in cm | $l_2$ (gemessen) in cm |
|---|---|---|---|---|
| 1,2 | 0,6 | 5 | | |
| 1,2 | 0,3 | 5 | | |
| 0,2 | 0,4 | 20 | | |
| 0,2 | 0,6 | 20 | | |

2. Berechne mit dem Hebelgesetz die Kräfte $F_2$ (Tabelle 1)!
3. Berechne mit dem Hebelgesetz die Längen $l_2$ der Kraftarme (Tabelle 2)!
4. Trage die berechneten Größen in die vorbereiteten Tabellen ein!

**Durchführung**

1. Baue die in Bild 35/1 dargestellte Experimentieranordnung auf!
2. Bringe den Hebel mit den Schiebern in das Gleichgewicht, bevor Hakenkörper angehängt werden!
3. Bringe den Hebel durch Anhängen von Hakenkörpern entsprechend Tabelle 1 und 2 in das Gleichgewicht!
4. Trage die gemessenen Kräfte $F_2$ in Tabelle 1 und die gemessenen Längen $l_2$ der Kraftarme in Tabelle 2 ein!



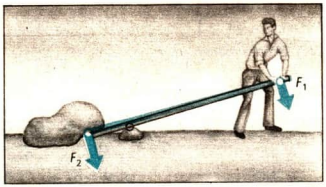

35/1 Experimentieranordnung

**Auswertung**

1. Vergleiche die gemessenen Kräfte $F_2$ (in Tabelle 1) und die gemessenen Längen $l_2$ der Kraftarme (in Tabelle 2) mit den berechneten Größen!
2. Welche Fehler können die Ergebnisse des Experiments beeinflussen?
3. Vervollständige abschließend das Protokoll!

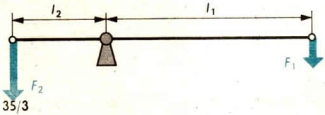
Wenn du keine Rechenfehler gemacht hast und die gemessenen mit den berechneten Größen übereinstimmen, hast du das Hebelgesetz verstanden.

■ Zum Anheben eines schweren Steins steht eine lange Stange zur Verfügung, die als Hebel verwendet werden soll. Der Stein greift beim Anheben mit einer Kraft von 2000 N an einer Stelle des Hebels an, die sich 0,5 m vom Drehpunkt entfernt befindet. Der Angriffspunkt der Muskelkraft ist 2 m vom Drehpunkt entfernt (Bild 35/2). Welche Muskelkraft ist erforderlich, um den angehobenen Stein bei waagerechtem Hebel im Gleichgewicht zu halten?




35/2

*Analyse:*




35/3

Gesucht:
$F_1$ in N

Gegeben:
$F_2 = 2\,000$ N
$l_2 = 0{,}5$ m
$l_1 = 2$ m

*Lösung durch Kopfrechnung:*
$l_1$ ist viermal so lang wie $l_2$. Deshalb ist $F_1$ ein Viertel von $F_2$. $F_1$ beträgt 500 N.

*Lösung durch Anwendung der Gleichung:*

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{oder} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\frac{F_1}{2\,000\text{ N}} = \frac{0{,}5\text{ m}}{2\text{ m}} \qquad F_1 = \frac{l_2}{l_1} \cdot F_2$$

$$F_1 = \frac{0{,}5\text{ m}}{2\text{ m}} \cdot 2\,000\text{ N}$$

$$F_1 = 500\text{ N} \qquad F_1 = 500\text{ N}$$

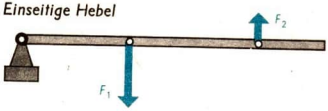
*Ergebnis:*
Eine Muskelkraft von 500 N ist erforderlich, um den Hebel im Gleichgewicht zu halten.

**Ein- und zweiseitige Hebel.** Bei der praktischen Anwendung des Hebels unterscheidet man zwei Möglichkeiten für das Angreifen der Kräfte.

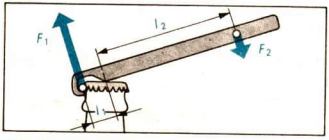
*Zweiseitige Hebel*

Beim zweiseitigen Hebel greift eine Kraft rechts, die andere Kraft links vom Drehpunkt des Hebels an.
Beim Flaschenöffner (Bild 36/1) greift die Muskelkraft $F_2$ am längeren Kraftarm, die Kraft $F_1$ zum Öffnen des Kronenverschlusses am kürzeren Kraftarm an. Die Kraft zum Öffnen ist deshalb größer als die Muskelkraft.

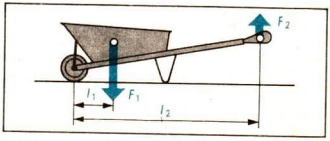
*Einseitige Hebel*




Beim einseitigen Hebel greifen beide Kräfte entweder rechts oder links vom Drehpunkt des Hebels an.
Bei der Schubkarre (Bild 36/2) greift die Gewichtskraft $F_1$ des Transportgutes am kürzeren, die Muskelkraft $F_2$ am längeren Kraftarm an. Deshalb kann die Muskelkraft kleiner als die Gewichtskraft des Transportgutes sein. ① ② ③




36/1 Flaschenöffner

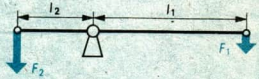



36/2 Schubkarre

## Zusammenfassung

**Man unterscheidet zwei- und einseitige Hebel.**
**Bei allen Hebeln sind die Kräfte und die Längen der Kraftarme einander umgekehrt proportional.**
**Es gilt das Hebelgesetz:**

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$ **(Bedingung: masseloser Hebel)**




**Mit dem Hebelgesetz kann man die Wirkungsweise des Hebels erklären sowie Kräfte und Längen der Kraftarme berechnen.**

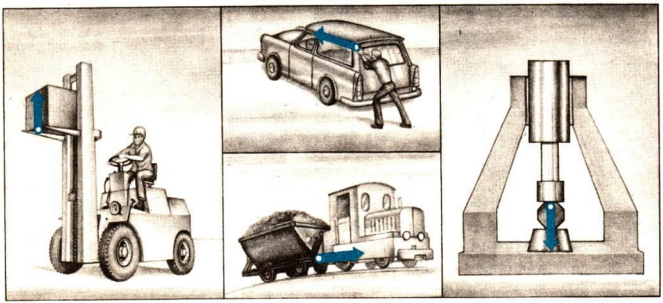
---

① Warum hat eine Papierschere lange und eine Handblechschere kurze Schneiden?
② Welche Hebel hast du bereits im Werkunterricht, bei der produktiven Arbeit, in eurer Wohnung oder im Garten kennengelernt? Ordne diese Beispiele nach ein- und zweiseitigen Hebeln! Erkläre die Wirkungsweise!
③ Bei einer Beißzange ist der Abstand von der Drehachse bis zur Schneide 4 cm, bis zum Angriffspunkt der von der Hand ausgeübten Kraft 20 cm. Wie groß ist die Kraft an der Schneide, wenn die Hand eine Kraft von 100 N ausübt?

Ohne die Anwendung von kraftumformenden Einrichtungen ist das Heben schwerer Gegenstände eine schwere körperliche Arbeit. Durch die Anwendung von kraftumformenden Einrichtungen wird die dazu erforderliche Kraft wesentlich verkleinert und die zu verrichtende Arbeit erleichtert. Wir betrachten das jetzt physikalisch: Kann durch die Anwendung von kraftumformenden Einrichtungen Arbeit gespart werden? Was versteht man in der Physik unter Arbeit?

## Physikalische Bedeutung der mechanischen Arbeit

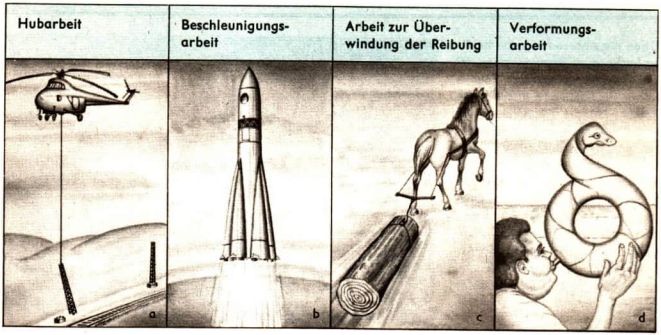
In den Bildern 37/2 bis 37/4 sind verschiedene Vorgänge dargestellt. Bei allen diesen Vorgängen greift eine Kraft an einem Körper an. Durch diese Kräfte werden die Körper bewegt oder verformt. In der Physik sagt man: An den Körpern wird eine **mechanische Arbeit** verrichtet.



37/2 37/3 37/4

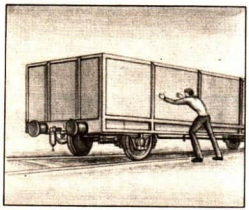
▶ **Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn ein Körper durch eine Kraft bewegt oder verformt wird.**

Man unterscheidet verschiedene Arten von mechanischen Arbeiten:

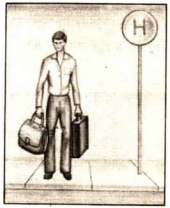



① ② ③ ④

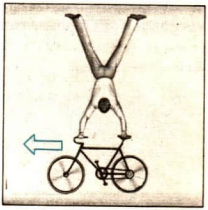
In den Bildern 38/2 bis 38/4 sind Beispiele dargestellt, bei denen im physikalischen Sinne keine mechanische Arbeit verrichtet wird.



38/2 Der Waggon wird durch die Kraft nicht bewegt.




38/3 Die Kraft dient nur zum Halten der Koffer.

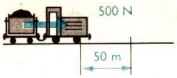


38/4 Das Fahrrad rollt nicht durch eine Kraft, sondern als Folge seiner Trägheit weiter.

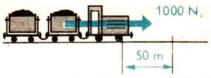
Im täglichen Leben wird das Wort „Arbeit" häufig für jede Art von Tätigkeit benutzt. So spricht man zum Beispiel von der Arbeit des Arztes, des Kraftfahrers oder der Schüler. Physikalisch gesehen wird bei diesen nützlichen Tätigkeiten des Menschen jedoch keine oder nur ganz wenig mechanische Arbeit verrichtet.

## Definitionsgleichung der mechanischen Arbeit

Wir suchen eine Möglichkeit, die bei verschiedenen Vorgängen verrichtete mechanische Arbeit zu berechnen. Dann können wir verschiedene mechanische Arbeiten miteinander vergleichen und dadurch physikalische Gesetze erkennen. Hierzu betrachten wir die mechanische Arbeit, die von einer Kleinlok beim Ziehen von Loren verrichtet wird (Bilder 39/1 bis 39/3).



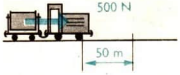

39/1 Die Kleinbahn verrichtet eine mechanische Arbeit. Die Lore wird mit einer Kraft von 500 N einen Weg von 50 m gezogen.



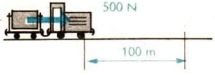

39/2 Es wird eine doppelt so große mechanische Arbeit verrichtet, denn es werden gleichzeitig zwei Loren gezogen. Dafür muß die Kraft doppelt so groß sein.

39/3 Es wird eine dreimal so große mechanische Arbeit verrichtet, denn es werden gleichzeitig drei Loren gezogen.

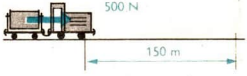
Das heißt: **Die verrichtete mechanische Arbeit ist um so größer, je größer die angreifende Kraft ist.**




39/4 Die Kleinbahn verrichtet die gleiche mechanische Arbeit wie im Bild 39/1.




39/5 Es wird eine doppelt so große mechanische Arbeit verrichtet, denn die Lore wird den doppelten Weg gezogen.




39/6 Es wird eine dreimal so große mechanische Arbeit verrichtet, denn die Lore wird den dreifachen Weg gezogen.

Die Bilder 39/4 bis 39/6 zeigen: **Die verrichtete mechanische Arbeit ist um so größer, je länger der zurückgelegte Weg ist.**

Die Beispiele zeigen:
**Die mechanische Arbeit ist um so größer, je größer die angreifende Kraft und je länger der zurückgelegte Weg ist.**

Zur Angabe der mechanischen Arbeit hat man daher die *Definitionsgleichung* festgelegt:
**mechanische Arbeit = angreifende Kraft · zurückgelegter Weg**

Bezeichnen wir die Arbeit mit dem Formelzeichen $W$, dann können wir diese Gleichung auch so schreiben:

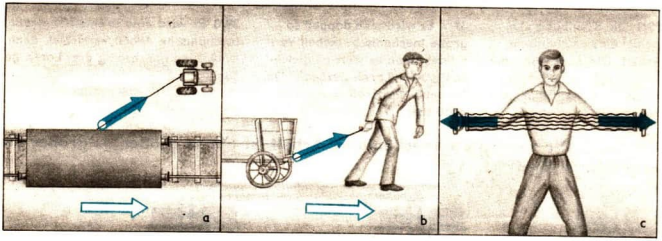
$$W = F \cdot s.$$

Bei den betrachteten Beispielen haben wir zwei Bedingungen vorausgesetzt.
*1. Bedingung:* Die Richtung der an dem Körper angreifenden Kraft und die Richtung der Bewegung des Körpers stimmen überein.
*2. Bedingung:* Die Kraft ist konstant.

---

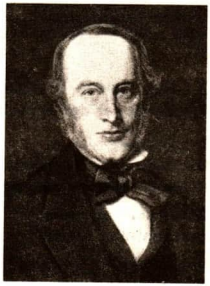
① Nenne die Kräfte, durch die in den Bildern 37/2 bis 37/4 mechanische Arbeiten verrichtet werden!
② Gib zu jeder Art von mechanischer Arbeit ein weiteres Beispiel aus der Praxis an!
③ Definition: „Arbeit zur Überwindung der Reibung wird verrichtet, wenn ein Körper durch eine Kraft in gleichförmiger Bewegung gehalten wird."
Formuliere entsprechende Definitionen für
a) „Hubarbeit", b) „Beschleunigungsarbeit" und c) „Verformungsarbeit"!
④ Welche Arten von mechanischen Arbeiten werden bei den folgenden Vorgängen verrichtet?
a) Bei einem Pkw wird die Geschwindigkeit von 40 km/h auf 60 km/h erhöht.
b) Ein Frachter fährt auf dem Ozean mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit von 40 km/h.
c) Ein Kind steigt eine Treppe hinauf.

Häufig sind diese Bedingungen nicht erfüllt, dann können wir die mechanische Arbeit nicht nach dieser einfachen Gleichung berechnen. Beispiele hierfür sind in den Bildern 40/1 dargestellt. ① ②




40/1

**Einheit der mechanischen Arbeit.** Bei der Berechnung der mechanischen Arbeit ergibt sich die Einheit 1 N · m (ein Newtonmeter). Hierfür wurde international die Einheit ein Joule (gesprochen: dschuhl) festgelegt. Damit wird der in England geborene Physiker J. P. Joule (Bild 40/2) geehrt. Er hatte etwa 1840 als erster Physiker versucht, bei verschiedenen physikalischen Vorgängen die jeweils verrichteten Arbeiten zahlenmäßig zu bestimmen und miteinander zu vergleichen.



40/2 J. P. Joule (1818 bis 1889)

Als Abkürzung für die Einheit ein Joule benutzt man 1 J.
Es gilt: **1 J = 1 N · m**

▶ **Eine mechanische Arbeit von 1 J wird verrichtet, wenn zum Bewegen eines Körpers über eine Strecke von 1 m eine Kraft von 1 N aufgebracht werden muß.**

Ein Joule ist eine sehr kleine Einheit. In der Technik wirken häufig sehr große Kräfte, vielfach werden auch sehr lange Wege zurückgelegt. Deshalb benutzt man meistens die größeren Einheiten ein Kilojoule (1 kJ) und ein Megajoule (1 MJ).

Es gilt:

**1 000 J = 1 kJ**
**1 000 000 J = 1 MJ**

■ 7 000 J = 7 kJ
12 300 000 J = 12,3 MJ

## Zusammenfassung

**Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn ein Körper durch eine Kraft bewegt oder verformt wird.**
**Die verrichtete mechanische Arbeit ist um so größer, je größer die angreifende Kraft und je länger der zurückgelegte Weg ist.**

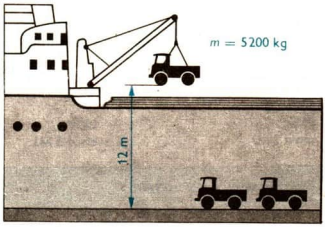
**Definitionsgleichung:**
$W = F \cdot s$

**Einheiten:**
$1\,J = 1\,N \cdot m$

**Darin bedeuten:**
**W: die verrichtete mechanische Arbeit,**
**F: die in Wegrichtung angreifende Kraft,**
**s: den zurückgelegten Weg.**

■ Auf ein Schiff werden Lkw verladen. Durch den Kran werden die Lkw auf eine Höhe von 12 m gehoben. Die Masse eines Lkw beträgt 5200 kg. Wie groß ist die mechanische Arbeit, die beim Heben eines Lkw verrichtet wird?

*Analyse:*
Gesucht: W in J
Gegeben: $s = 12$ m, $m = 5\,200$ kg




41/1

*Plan zur Lösung:*
Die mechanische Arbeit wird nach der Gleichung $W = F \cdot s$ berechnet. Die Bedingungen für die Anwendung dieser Gleichung sind erfüllt: Die Kraft ist konstant, und sie wirkt in Wegrichtung.
Die Größe s ist gegeben, die Größe F ist nicht gegeben. Die Kraft kann aber aus der Angabe der Masse bestimmt werden (1 kg ≙ 10 N).
Insgesamt sind somit zwei Berechnungen erforderlich:
1. Berechnung der Kraft F,
2. Berechnung der mechanischen Arbeit W.

---

① Begründe für diese Beispiele, weshalb die Gleichung $W = F \cdot s$ nicht zur Berechnung der mechanischen Arbeit angewendet werden kann!

② Begründe, für welche der nachfolgenden Vorgänge die verrichtete mechanische Arbeit nach der Formel $W = F \cdot s$ berechnet werden kann und für welche Fälle das nicht möglich ist:
a) Ziehen eines Schlittens,
b) Anschieben eines Autos,
c) Spannen eines Luftgewehres,
d) Herausschleppen eines großen Schiffes aus einem Hafen mit Hilfe zweier Schlepper, die seitlich ziehen,
e) Ziehen eines Anhängers durch ein Auto.

*Lösung:*

Zu 1.: $F = 52\,000$ N. Warum?

Zu 2.: $W = F \cdot s$

$W = 52\,000\ \text{N} \cdot 12\ \text{m}$

$W = 52\,000 \cdot 12\ \text{N} \cdot \text{m}$

$W = 624\,000\ \text{N} \cdot \text{m}$

$W = 624\,000\ \text{J}$

$W = 620\ \text{kJ}$

*Überschlag:*

$50\,000 \cdot 10 = 500\,000$
(sinnvolle Genauigkeit:
nur erste und zweite Ziffer)

*Ergebnis:*

Beim Heben eines Lkw wird von dem Kran eine mechanische Arbeit von 620 kJ verrichtet.

① ② ③ ④

*In Natur und Technik vorkommende mechanische Arbeiten*

| **Hubarbeiten** | |
|---|---|
| Heben einer Betonplatte ($m = 5$ t) durch einen Kran um 20 m: 1 MJ | 4 m Seilklettern eines Schülers ($m = 50$ kg): 2 kJ |

| **Arbeiten zur Überwindung der Reibung** | | |
|---|---|---|
| Gleichförmige Fahrt auf einer ebenen Strecke von 1 km Länge mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h: | | |
| Pkw: etwa 2 MJ | Lkw: etwa 5 MJ | Güterzug: etwa 40 MJ |

| **Beschleunigungsarbeiten** | | |
|---|---|---|
| Beschleunigen eines Fahrzeuges auf ebener Strecke aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit von 60 km/h: | | |
| Pkw: etwa 150 kJ | Lkw: etwa 1 MJ | Güterzug: etwa 100 MJ |

⑤ ⑥

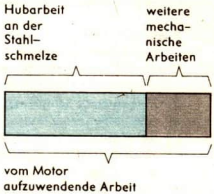
## Arbeit bei der Benutzung von Maschinen

Bei allen Maschinen und technischen Anlagen setzt sich die vom Motor verrichtete mechanische Arbeit aus verschiedenen Arbeiten zusammen.

Das können wir uns am Beispiel des Hebens einer Stahlschmelze in einer Gießerei verdeutlichen.
Für die vom Motor des Kranes verrichtete Arbeit gilt:

$$W_{\text{Motor}} = \underset{\text{Schmelze}}{W_{\text{Hub}}} + \underset{\text{Gießpfanne}}{W_{\text{Hub}}} + \underset{\text{Kranhaken}}{W_{\text{Hub}}} + \underset{\text{Rollen}}{W_{\text{Reibung}}}$$

Dieser Zusammenhang ist im Bild 42/1 schematisch dargestellt.




42/1

Die Konstrukteure von Maschinen und die Arbeiter bemühen sich, die aufzuwendende Arbeit möglichst zu verkleinern. Hierzu ist es notwendig, die Maschinenteile möglichst leicht zu bauen, die Reibung in den Lagern durch regelmäßiges Schmieren klein zu halten und die Maschinen zweckmäßig einzusetzen.
Auch bei der Benutzung von kraftumformenden Einrichtungen setzt sich die aufzuwendende Arbeit aus mehreren Arbeiten zusammen.

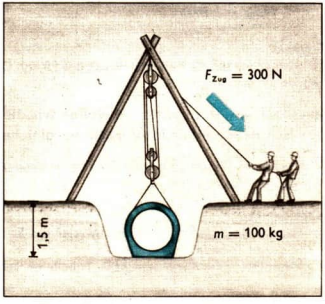
Das wollen wir uns in der folgenden Aufgabe durch eine Berechnung am Flaschenzug verdeutlichen:

■ Mit Hilfe eines Flaschenzuges (4 tragende Seilstücke) wird eine Betonröhre ($m = 100$ kg) aus 1,5 m Tiefe gehoben. Die Arbeiter ziehen am Seil mit einer Zugkraft von 300 N. Berechne die an der Betonröhre verrichtete Hubarbeit und die dafür von den Arbeitern aufzuwendende Arbeit!
Vergleiche anschließend die zwei Arbeiten!

*Analyse:*

Gesucht:
$W_{Hub}$ in J
$W_{aufzuw}$ in J

Gegeben:
$F_{Zug} = 300$ N
$s_{Zug} = 6{,}0$ m
$s_{Hub} = 1{,}5$ m
$m_{Röhre} = 100$ kg

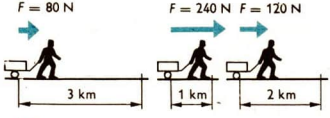



43/1

---

① Berechne für die in den Bildern 39/1 bis 39/6 dargestellten Vorgänge jeweils die von der Kleinlok verrichtete mechanische Arbeit!

② Mit einem Fahrradanhänger werden nach Bild 43/2 verschieden viel Altpapier und Flaschen transportiert. Der Weg bis zur Sammelstelle ist ebenfalls unterschiedlich lang.
a) Berechne die jeweils verrichtete mechanische Arbeit!
b) Was erkennst du aus den Ergebnissen?




43/2

③ Ein Schlitten wird von 2 Jungen mit einer Kraft von 100 N auf einer waagerechten Strecke von 3 m angeschoben. Danach rutscht der Schlitten noch 15 m weiter. Dann bleibt er stehen.
Wie groß ist die von den Jungen verrichtete mechanische Arbeit?

④ 70 Mauerziegel sollen durch einen Aufzug 10 m hoch gehoben werden. Ein Mauerziegel hat eine Masse von 3,5 kg. Berechne die Hubarbeit, die verrichtet werden muß!

⑤ Erkläre die Unterschiede in den Angaben der Arbeiten zur Überwindung der Reibung bei einem Pkw, einem Lkw und einem Güterzug!

⑥ Begründe die Unterschiede zwischen den Werten der angegebenen Beschleunigungsarbeiten!

*Plan zur Lösung:*
Für die zu berechnenden Arbeiten gelten die Gleichungen: $W_{Hub} = F_{Hub} \cdot s_{Hub}$ und $W_{aufzuw} = F_{Zug} \cdot s_{Zug}$.
Die Bedingungen für die Anwendung der Gleichungen sind erfüllt. (Warum?)
Außer $F_{Hub}$ sind alle Größen bekannt. $F_{Hub}$ kann aus der Masse der Röhre berechnet werden.
Insgesamt sind somit drei Berechnungen erforderlich:
1. Berechnung der Kraft $F_{Hub}$,
2. Berechnung der Hubarbeit $W_{Hub}$,
3. Berechnung der aufzuwendenden Arbeit $W_{aufzuw}$.

*Lösung:*
Zu 1.: $F_{Hub} = 1\,000$ N. Warum?
Zu 2.: $W_{Hub} = F_{Hub} \cdot s_{Hub}$
$W_{Hub} = 1\,000\ \text{N} \cdot 1{,}5\ \text{m}$
$\underline{\underline{W_{Hub} = 1\,500\ \text{J}}}$

Zu 3.: $W_{aufzuw} = F_{Zug} \cdot s_{Zug}$
$W_{aufzuw} = 300\ \text{N} \cdot 6\ \text{m}$
$\underline{\underline{W_{aufzuw} = 1\,800\ \text{J}}}$

*Ergebnis:*
Die Hubarbeit für die Betonröhre beträgt 1 500 J. Die am Flaschenzug aufzuwendende Arbeit ist um 300 J größer als die Hubarbeit. ① ②

In einem Schülerexperiment wollen wir die Hubarbeit und die aufzuwendende Arbeit bei der Benutzung einer losen Rolle vergleichen.

12 Überprüfe, ob für die lose Rolle die Ungleichung gilt:
$W_{aufzuw} < W_{Hub}$!

**Vorbereitung**
1. Bereite ein Protokoll nach dem Muster des Schülerexperimentes auf Seite 27 vor, und übertrage die folgende Tabelle!
2. Vervollständige die übertragene Tabelle an den durch Punkte gekennzeichneten Stellen!

| Körper | $F_{Hub}$ in N | $s_{Hub}$ in m | $W_{Hub}$ in N | $F_{Zug}$ in ... | $s_{Zug}$ in ... | $W_{aufzuw}$ in ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 g | 1 | 0,2 | | | | |
| 200 g | | 0,1 | | | | |
| | | | | | | |

3. Schreibe unter die Tabelle die Gleichungen, mit denen die Hubarbeit und die aufzuwendende Arbeit berechnet werden!
4. Berechne für den 2. Körper (200 g) die Hubkraft $F_{Hub}$, und trage diese in die Tabelle ein!
5. Überlege dir, wie du den Hubweg $s_{Hub}$ und den Zugweg $s_{Zug}$ messen willst!

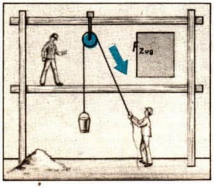
**Durchführung**
1. Baue eine Experimentieranordnung auf, bei der du mit Hilfe einer losen Rolle einen Körper hochheben kannst und den Hubweg, den Zugweg sowie die Zugkraft messen kannst!
2. Miß beim Heben der ersten zwei Körper (100 g bzw. 200 g) für den vorgegebenen Hubweg $s_{Hub}$ jeweils den Zugweg $s_{Zug}$ und die Zugkraft $F_{Zug}$! Trage die Werte in die Tabelle ein!
3. Bestimme die Hubkraft $F_{Hub}$ für einen dritten Körper, den dir der Lehrer gibt! Trage die Hubkraft und den vom Lehrer vorgegebenen Hubweg $s_{Hub}$ in die Tabelle ein! Führe anschließend für den dritten Körper dieselben Messungen durch wie für die vorhergehenden Körper!

**Auswertung**
1. Berechne für jeden Körper jeweils die Hubarbeit und die aufzuwendende Arbeit!

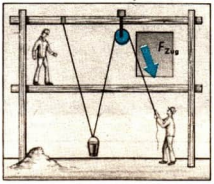
2. Vergleiche für jeden Körper die Hubarbeit und die aufzuwendende Arbeit! Formuliere das Ergebnis als Ungleichung!
3. Wie könnte in diesem Experiment die aufzuwendende Arbeit verkleinert werden?

## Bedingungen für die Gültigkeit der Goldenen Regel der Mechanik

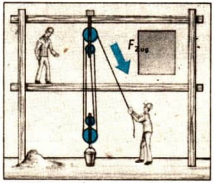
Aus der Aufgabe zum Flaschenzug und aus dem Schülerexperiment zur losen Rolle haben wir erkannt:
Bei der Benutzung einer losen Rolle oder eines Flaschenzuges ist die aufzuwendende Arbeit stets größer als die Hubarbeit. Außer dem Körper ist auch noch die lose Rolle bzw. die lose Flasche zu heben. Weiterhin ist noch Arbeit zur Überwindung der Reibung, z. B. zwischen den Achsen und an den Rollen, zu verrichten.




45/1 Feste Rolle
$F_{Zug} = F_{Hub} + F_{Reibung}$




45/2 Lose Rolle
$F_{Zug} = \frac{F_{Hub}}{2} + \frac{F_{G\ loseRolle}}{2} + F_{Reibung}$




45/3 Flaschenzug
$F_{Zug} = \frac{F_{Hub}}{4} + \frac{F_{G\ lose\ Flasche}}{4} + F_{Reibung}$

**Bei der Benutzung von kraftumformenden Einrichtungen kann keine mechanische Arbeit eingespart werden.**

$$W_{aufzuw} = W_{Hub\ Körper} + W_{Hub\ Rolle/Flasche} + W_{Reibung}$$ ③

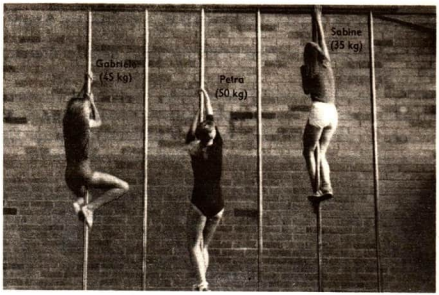
**Die Goldene Regel der Mechanik gilt für lose Rollen und Flaschenzug nur unter den folgenden zwei Bedingungen:**
**1. Die lose Rolle bzw. die lose Flasche und das Seil sind masselos.**
**2. Die Rollen bzw. die Flaschenzüge sind reibungslos.**

Beide Bedingungen sind in Wirklichkeit nicht zu erfüllen. Es wird jedoch angestrebt, durch das Verwenden leichter Rollen und durch das Schmieren der Achsen diese Bedingungen annähernd zu erreichen.

---

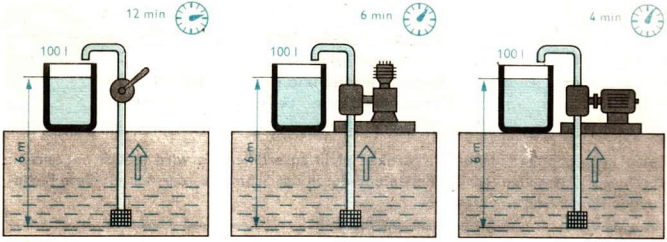
① Wie könnte die aufzuwendende Arbeit verkleinert werden?
② Eine leere Gießpfanne besitzt eine Masse von 18 t. In dieser kann eine Stahlschmelze mit einer Masse von 50 t transportiert werden. Die Gießpfanne soll mit der Schmelze auf eine Höhe von 4,0 m angehoben werden. Berechne für das Heben der Stahlschmelze die Hubarbeit und die aufzuwendende Arbeit!
③ Warum benutzt man kraftumformende Einrichtungen, obwohl bei diesen die aufzuwendende Arbeit größer als die Hubarbeit ist?

Beim Stangenklettern erreichen drei etwa gleich große Schülerinnen das Ende der Stangen unterschiedlich schnell. Sportlich gesehen vollbringt Sabine die größte Leistung, sie benötigt nur 6 Sekunden. Gabriele benötigt 9 Sekunden, für Petra werden 10 Sekunden gemessen. Hat Sabine aber auch physikalisch gesehen die größte Leistung vollbracht?
Was versteht man in der Physik unter Leistung?




## Physikalische Bedeutung der mechanischen Leistung

Nach Bild 46/2 werden drei gleich große Fässer mit Hilfe verschiedener Pumpen mit Wasser gefüllt. Die Pumpen verrichten an dem Wasser mechanische Arbeit in Form von Hubarbeit. Die mechanische Arbeit ist bei allen drei Pumpen gleich groß. Für die gleich großen mechanischen Arbeiten werden mit den verschiedenen Pumpen jedoch unterschiedliche Zeiten benötigt. Oder mit anderen Worten: In gleichen Zeiten wird von den verschiedenen Pumpen unterschiedlich viel mechanische Arbeit verrichtet.



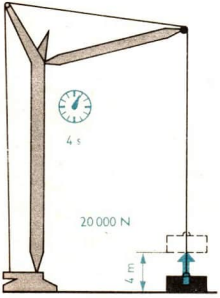

46/2 Handpumpe Motorpumpe Elektropumpe

Das gilt auch für andere Maschinen, wie Krane oder Traktoren. Immer wieder kann man feststellen: Von verschiedenen Maschinen wird eine bestimmte mechanische Arbeit unterschiedlich schnell verrichtet. In der Physik sagt man: Die Maschinen haben eine unterschiedliche **mechanische Leistung.** ① ②

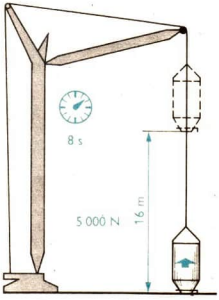
**Die mechanische Leistung gibt an, wie schnell die mechanische Arbeit verrichtet wird.**

## Definitionsgleichung der mechanischen Leistung

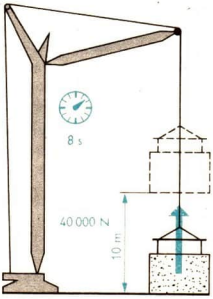
Wenn eine Pumpe aus einem Brunnen gleichmäßig Wasser fördert, dann wird in gleichen Zeiten jeweils eine gleich große Hubarbeit verrichtet. Für diese Pumpe und für andere gleichmäßig arbeitende Maschinen gilt: Die verrichtete mechanische Arbeit $W$ ist der Arbeitszeit $t$ der Maschine proportional ($W \sim t$).
Wie können wir unter Nutzung dieser Proportionalität die mechanische Leistung einer Maschine zahlenmäßig angeben? In den Bildern 47/1 bis 47/3 werden von drei verschiedenen Kranen mechanische Arbeiten verrichtet. Zum Vergleich der Leistung der drei Krane eignet sich die Angabe der jeweils in derselben Zeit verrichteten mechanischen Arbeit. Sehr einfach wird es, wenn man dafür die jeweils in 1 Sekunde verrichteten mechanischen Arbeiten vergleicht. Für Kran 1 ist das in der folgenden Tabelle berechnet. Für die Krane 2 und 3 ist die Berechnung noch durchzuführen.




47/1 Kran 1
$W = 80\,000$ J




47/2 Kran 2
$W = 80\,000$ J




47/3 Kran 3
$W = 400\,000$ J

| Kran | verrichtete mechanische Arbeit | benötigte Zeit | Leistung (Arbeit je 1 Sekunde) |
|---|---|---|---|
| Kran 1 | 80 000 J | 4 s | 20 000 J je 1 s |
| Kran 2 | 80 000 J | 8 s | ..... |
| Kran 3 | 400 000 J | 8 s | ..... |

① Von zwei Motoren werden gleich große mechanische Arbeiten verrichtet. Mit dem Motor 1 ist dafür eine Zeit von 30 s erforderlich. Mit dem Motor 2 wird eine Zeit von 60 s benötigt. Was kannst du über die mechanische Leistung der zwei Motoren aussagen?

② Vergleiche die mechanische Leistung der drei Pumpen im Bild 46/2!

Diese und weitere Beispiele zeigen:
**Die mechanische Leistung ist um so größer, je größer die in einer Sekunde verrichtete mechanische Arbeit ist.**
Zur Angabe der mechanischen Leistung hat man daher die folgende *Definitionsgleichung* festgelegt:

$$\textbf{mechanische Leistung} = \frac{\textbf{verrichtete mechanische Arbeit}}{\textbf{benötigte Zeit}}$$

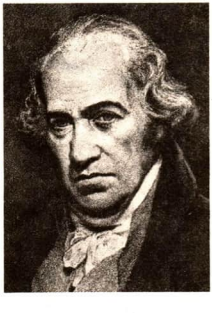
Bezeichnen wir die mechanische Leistung mit dem *Formelzeichen P*, dann können wir diese Definitionsgleichung auch so schreiben:

$$P = \frac{W}{t}.$$

Damit wir diese Gleichung anwenden können, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:
*1. Bedingung:* Die mechanische Arbeit muß gleichmäßig verrichtet werden.
*2. Bedingung:* Die mechanische Arbeit muß ohne Pausen verrichtet werden.

**Einheit der mechanischen Leistung.** Bei der Berechnung der mechanischen Leistung ergibt sich die Einheit $1\,\frac{J}{s}$ (ein Joule in einer Sekunde). Hierfür wurde international die Einheit ein Watt festgelegt. Damit wird der englische Physiker und Ingenieur James Watt (Bild 48/1) geehrt. Er hatte die ersten Dampfmaschinen gebaut, die sich in englischen Bergwerken zum Antrieb der Wasserpumpen bewährten. Als Abkürzung für die Einheit ein Watt benutzt man 1 W.
Es gilt:

$$1\,W = 1\,\frac{J}{s}.$$


48/1 James Watt (1736 bis 1819)

▶ **Eine Maschine hat eine mechanische Leistung von 1 W, wenn sie in 1 s eine mechanische Arbeit von 1 J verrichtet.**

Diese mechanische Leistung hat zum Beispiel ein Motor, der einen Körper mit einer Masse von 100 g in 1 Sekunde um 1 Meter hebt. Ein Watt ist eine sehr kleine Einheit. Deshalb benutzt man vielfach die größeren Einheiten ein Kilowatt (1 kW) und ein Megawatt (1 MW).

Es gilt:
**1 000 W = 1 kW**
**1 000 000 W = 1 MW**

■ 17 300 W = 17,3 kW
2 500 000 W = 2,5 MW

## Zusammenfassung

**Die mechanische Leistung gibt an, wie schnell die mechanische Arbeit verrichtet wird.**
**Die mechanische Leistung ist um so größer, je größer die in 1 Sekunde verrichtete mechanische Arbeit ist.**

**Definitionsgleichung:**

$$P = \frac{W}{t}$$

**Einheiten:**

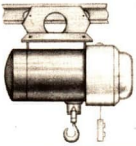
$$1\ \mathrm{W} = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

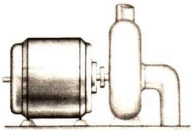
$$1\ \mathrm{kW} = 1\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{s}}$$

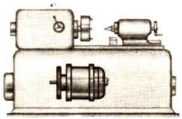
**Darin bedeuten:**
**$P$: die mechanische Leistung,**
**$W$: die verrichtete Arbeit,**
**$t$: die benötigte Zeit.**

*In Natur und Technik vorkommende mechanische Leistungen*

**Leistung von Elektromotoren:**







| *Krananlagen:* | *Pumpspeicherwerk Markersbach:* | *Großgeräte* in der Industrie |
|---|---|---|
| Montagebau bis 80 kW | 6 Wasserpumpen: | Elektromotoren |
| Gießereien bis 250 kW | 6 · 175 000 kW = 1 050 000 kW | bis 5 000 kW |

② ③

---

① Motor 1 hat eine Leistung $P_1 = 100$ W. Motor 2 hat eine Leistung $P_2 = 2$ kW.
a) Was bedeuten diese Angaben?
b) Bestimme in den folgenden Tabellen die fehlenden Werte!

| Motor 1 ($P_1 = 100$ W) | | Motor 2 ($P_2 = 2$ kW) | |
|---|---|---|---|
| ... ≙ 1 s | 400 J ≙ ... | . . ≙ 1 s | ... ≙ 10 s |
| ... ≙ 2 s | ... ≙ 20 s | 10000 J ≙ ... s | ... ≙ 4 s |

c) Begründe die unterschiedlichen Zeiten, die beide Motoren zum Verrichten einer mechanischen Arbeit von 2000 J benötigen!

② Begründe, weshalb die Motoren der angegebenen Fahrzeuge unterschiedliche mechanische Leistungen haben müssen (Tabelle S. 50)!

③ Notiere die mechanische Leistung der Motoren einiger Maschinen, die du aus dem polytechnischen Unterricht kennst! Begründe, weshalb von den Konstrukteuren die mechanische Leistung der Motoren unterschiedlich gewählt worden ist!

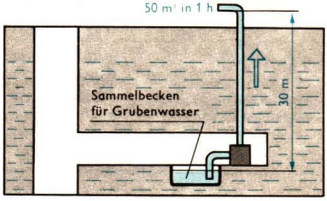
**Leistung der Motoren von Fahrzeugen:**

| *Kraftfahrzeuge:* | | *Schienenfahrzeuge:* | *Schiffe:* |
|---|---|---|---|
| Moped | 3 kW | Tatra-Straßenbahn | Atlantik-Trawler |
| Pkw Wartburg | 41 kW | $4 \cdot 40$ kW = 160 kW | 2 860 kW |
| Lkw W 50 | 92 kW | E-Lok (Güterzug) | Atomeisbrecher Arktis |
| Panzer | 400 kW | $4 \cdot 1\,350$ kW = 5 400 kW | 55 000 kW |

**Leistung von Mensch und Tier:**

| *Mensch:* | | *Pferd:* | *Grönland-Wal:* |
|---|---|---|---|
| Dauerleistung | etwa 70 W | Dauerleistung etwa 450 W | Antriebsleistung der Schwanzflosse bis 350 kW |
| kurzzeitige Höchstleistung eines Leistungssportlers | etwa 1 000 W | | |
| durchschnittliche Leistung des menschlichen Herzens | etwa 1,5 W | | |

■ Aus dem Schacht eines Bergwerkes werden durch eine Pumpe im Verlaufe von 1 h etwa 50 m³ Wasser gepumpt. Die Tiefe des Schachtes ist 30 m. Berechne die Leistung der Pumpe!




50/1

*Analyse:*

Gesucht:
$P$ in kW

Gegeben:
$s = 30$ m
$V = 50$ m³
$t = 1$ h
$t = 3\,600$ s

*Plan zur Lösung:*

Die mechanische Leistung wird nach der Gleichung $P = \frac{W}{t}$ berechnet. Es wird angenommen, daß die Pumpe gleichmäßig über die gesamte Zeit arbeitet, so daß die Bedingungen zur Anwendung der Gleichung erfüllt sind.

Die Zeit $t$ ist gegeben, sie ist jedoch sofort in Sekunden umgerechnet worden. Die Arbeit $W$ ist nicht gegeben. Sie kann aber aus der Gewichtskraft $F_G$ des hochgepumpten Wassers und dem Weg $s$ berechnet werden. Insgesamt sind somit drei Berechnungen durchzuführen.

1. Berechnung von $F_G$, 2. Berechnung von $W$, 3. Berechnung von $P$.

*Lösung:*

Zu 1.: $F_G = 500\,000$ N. Warum?
Zu 2.: $W = 15\,000\,000$ J. Warum?

Zu 3.: $P = \frac{W}{t}$, $P = \frac{15\,000\,000\ \text{J}}{3\,600\ \text{s}}$, $P = 4\,200\ \text{W}$, $\underline{\underline{P = 4{,}2\ \text{kW}}}$

*Ergebnis:*
Die Wasserpumpe hat eine mechanische Leistung von 4,2 kW. ① ② ③

## Zusammenfassung

| Physikalische Größe | Physikalische Bedeutung | Formelzeichen | Definitionsgleichung | Einheit |
|---|---|---|---|---|
| Kraft | Die Kraft gibt an, wie stark ein Körper auf einen anderen Körper einwirkt. | $F$ | | 1 N (ein Newton) |
| Mechanische Arbeit | Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn ein Körper durch eine Kraft bewegt oder verformt wird. | $W$ | $W = F \cdot s$ | $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot \text{m}$ (ein Joule) |
| Mechanische Leistung | Die mechanische Leistung gibt an, wie schnell die mechanische Arbeit verrichtet wird. | $P$ | $P = \frac{W}{t}$ | $1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}}$ (ein Watt) |

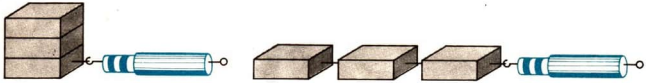
① Eine Pumpanlage fördert 50 l Wasser innerhalb von 5 s in einen 20 m höher gelegenen Behälter. Berechne die mechanische Leistung der Pumpe!

② Es soll ein Bauaufzug entwickelt werden, mit dem Lasten bis 200 kg innerhalb von 20 Sekunden bis auf eine maximale Höhe von 14 m gehoben werden können. Von der Elektroindustrie werden u. a. Motoren mit einer Leistung von 0,6 kW, 0,8 kW, 1,1 kW, 1,5 kW und 2 kW angeboten. Welchen Motor würdest du für den Aufzug vorschlagen?

③ Auf einer Baustelle befindet sich ein 30 m hoher Kran. Sein Ausleger ist 10 m lang. Der Kran hebt eine Montageplatte mit einer Masse von 6 t innerhalb von 75 s in eine Höhe von 15 m. Welche mechanische Leistung vollbringt der Kran?

## Kräfte

1. Stelle folgende Sachverhalte in einer Skizze dar, und trage in die Skizze die Kräfte als Pfeile ein!
   a) Gewichtskraft bei einem handelsüblichen Kartoffelsäckchen
   b) Kraft beim Anfahren eines Pkw
   c) Gewichtskraft bei einer vom Kran gehobenen Platte beim Wohnungsbau
   d) Anziehungskraft der Erde auf einen fallenden Apfel
   e) Gewichtskraft eines gefüllten Sackes, der auf einer Unterlage steht
   f) Zugkraft einer Lokomotive
   Lege jeweils Angriffspunkt und Richtung der Kraft in Übereinstimmung mit dem realen Sachverhalt fest!
2. Was versteht man unter der Gewichtskraft?
3. Welche Kräfte müssen aufgewendet werden, um Körper mit Massen von 50 g, 500 g, 1 500 g, 3 kg, 2 t zu heben?
4. Welche Reibungsarten treten bei folgenden Vorgängen auf: Gebremste Fahrt eines Motorrades, fahrender Güterzug, Skiläufer beim Abfahrtslauf, Aufwärtsklettern am Tau, Transport von Kohle mit Bandförderer?
5. Mehrere Körper gleiten gleichförmig über eine Unterlage. Einmal liegen die Klötze übereinander, beim zweiten Mal hängen sie aneinander (Bild 52/1). Vergleiche die Zugkräfte, die in beiden Fällen aufzuwenden sind!



52/1

6. Erläutere an Beispielen aus Natur und Technik, insbesondere auch aus der produktiven Arbeit, wie Reibungskräfte vergrößert oder verkleinert werden!
7. In Bild 52/2 werden jeweils gleiche Behälter auf verschiedene Art transportiert. Warum sind die Zugkräfte unterschiedlich groß?

52/2

8. In einem Zimmer soll ein schwerer Schrank verschoben werden. Warum kann man durch Unterlegen von Tüchern oder Kartoffelscheiben das Verschieben erleichtern?
9. Warum soll man an der Kletterstange und am Kletterseil nicht zu schnell hinabrutschen?
10. Bei welchen Sportarten ist Reibung erwünscht, bei welchen unerwünscht?

## Rollen, Flaschenzug, geneigte Ebene

1. Vervollständige die Tabellen an den mit Punkten gekennzeichneten Stellen!

a)

| Hubkraft | Zugkraft | | |
|---|---|---|---|
| | Feste Rolle | Lose Rolle (parallele Seilführung) | Flaschenzug (4 tragende Seilstücke) |
| 20 000 N<br>.....<br>.....<br>..... | 10 000 N<br>.....<br>..... | .....<br>10 000 N<br>..... | .....<br>.....<br>5 000 N |

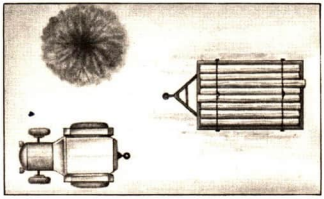
b)

| Hubweg | Zugweg | | |
|---|---|---|---|
| | Feste Rolle | Lose Rolle (parallele Seilführung) | Flaschenzug (4 tragende Seilstücke) |
| 20 m<br>....<br>....<br>.... | 15 m<br>....<br>.... | .....<br>.....<br>20 m<br>..... | .....<br>.....<br>.....<br>60 m |

c)

| Kraftumformende Einrichtung | Zugkraft | Hubkraft | Zugweg | Hubweg |
|---|---|---|---|---|
| Feste Rolle | ..... | 20 kN | ..... | 10 m |
| Lose Rolle (parallele Seilführung) | ..... | 20 kN | ..... | 10 m |
| Flaschenzug (4 tragende Seilstücke) | ..... | 20 kN | ..... | 10 m |

2. Mit Hilfe einer festen Rolle soll ein Körper gehoben werden. Die Zugkraft ist nicht größer als 400 N. Wie groß darf die Masse des Körpers höchstens sein, damit er gehoben werden kann?
3. Ein mit Holz beladener Hänger ist im morastigen Untergrund etwas eingesunken. Die Zugkraft des Traktors reicht nicht aus, um den Hänger ohne weitere Hilfsmittel herauszuziehen. Welche Möglichkeiten bieten sich dem Traktoristen, wenn er über ein Seil und eine Rolle verfügt?
Fertige eine Skizze an, und erkläre deine Aussagen! (Lageskizze Bild 53/1)

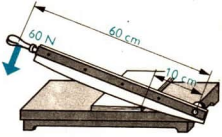


53/1

4. Eine Einrichtung zum Verladen von Langholz (Bild 29/1) ist etwa 3 m lang. Welche Zugkraft muß der Motor bei der Verladeeinrichtung aufbringen, wenn der Sattelauflieger 1,50 m hoch ist und ein Baumstamm die Masse 600 kg hat?

## Hebel

1. Warum kann man die Ruder bei einem Boot als Hebel auffassen? Wo greifen die Kräfte an? Wo ist der Drehpunkt?
2. Mit einer Handhebelschere (Bild 54/1) soll Aluminiumblech geschnitten werden. Das Blech ist 10 cm vom Drehpunkt entfernt. 60 cm vom Drehpunkt entfernt ist eine Kraft von 60 N an der Schere wirksam. Welche Kraft greift am Blech an?

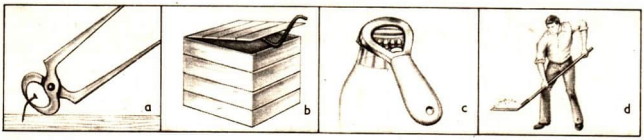


54/1

3. Vervollständige die Tabelle an den mit Punkten gekennzeichneten Stellen!

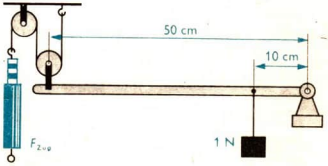
| $F_1$ | $l_1$ | $F_2$ | $l_2$ |
|---|---|---|---|
| 5 N | 40 cm | 20 N | ..... |
| 100 N | ..... | 20 N | 25 cm |
| 200 N | 30 cm | ..... | 10 cm |
| ..... | 50 cm | 100 N | 5 cm |

4. Ordne die abgebildeten Beispiele nach ein- und zweiseitigen Hebeln (Bild 54/2)!



54/2

5. Gib für folgende Geräte an, um welche Hebelarten es sich handelt: Nußknacker, Kartoffelquetsche, Türklinke, Handbremse am Fahrrad.
6. Mit einer 1,60 m langen Brechstange soll eine Steinplatte angehoben werden. Die Masse der Steinplatte beträgt 72 kg. Die Gewichtskraft greift an der Stange in 40 cm Abstand vom Drehpunkt an. Welche Kraft muß man aufwenden, wenn die Brechstange a) als zweiseitiger oder b) als einseitiger Hebel eingesetzt wird?
7. Mit welcher Kraft $F_{Zug}$ muß man am freien Seilende ziehen, damit der Hebel im Gleichgewicht ist (Bild 54/3)? Überprüfe das Ergebnis in einem Experiment!



54/3

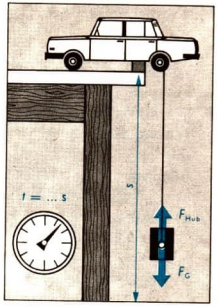
## Mechanische Arbeit

1. Wann spricht man in der Physik davon, daß mechanische Arbeit verrichtet wird?
2. Von welchen zwei physikalischen Größen ist die verrichtete mechanische Arbeit abhängig?
3. In welcher Einheit wird die mechanische Arbeit angegeben?
4. Welche Bedingungen müssen für die Anwendung der Gleichung $W = F \cdot s$ erfüllt sein?
5. Beantworte die zwei Fragen zu Bild 37/1!
6. Beim Ziehen eines Zuges verrichtet die Lokomotive mechanische Arbeit.
   a) Berechne die mechanische Arbeit, wenn die Lokomotive den Zug innerhalb einer Strecke von 4 km Länge mit einer Kraft von 3 MN auf eine Geschwindigkeit von 60 km/h beschleunigt!
   b) Berechne die mechanische Arbeit, wenn die Lokomotive den Zug auf den nächsten 4 Kilometern mit einer Kraft von 1 MN zieht, wobei sich die Geschwindigkeit des Zuges nicht weiter erhöht!
   c) Vergleiche die Beträge der mechanischen Arbeiten! Wie können diese Unterschiede erklärt werden?
7. Ein Radfahrer wird von einem Jungen mit einer Kraft von 80 N auf einer waagerechten Straße 10 m angeschoben. Danach rollt das Fahrrad noch 50 m weiter. Dann bleibt es wieder stehen. Wie groß ist die von dem Jungen am Radfahrer verrichtete mechanische Arbeit?
8. Ein Löffelbagger kann mit seinem Löffel auf einmal 2 m³ Gestein aufnehmen und auf eine Höhe von 5 m heben. Die Dichte des Gesteins ist 2,5 t/m³. Der Löffel hat eine Eigenmasse von 2 t.
   a) Wie groß ist dabei die Hubarbeit am Gestein, und wie groß ist die aufzuwendende Arbeit?
   b) Wie ändert sich die aufzuwendende Arbeit, wenn es den Konstrukteuren gelingt, die Eigenmasse des Löffels durch Verwendung anderer Werkstoffe und einer anderen Konstruktion auf 1,4 t zu verringern?

## Mechanische Leistung

1. Was gibt die mechanische Leistung einer Maschine an?
2. Von welchen zwei physikalischen Größen ist die mechanische Leistung einer Maschine abhängig?
3. In welcher Einheit wird die mechanische Leistung angegeben?
4. Welche Bedingungen müssen für die Anwendung der Gleichung $P = \frac{W}{t}$ erfüllt sein?
5. Beantworte die zwei Fragen zum Bild 46/1!
6. Bestimme experimentell deine Höchstleistung beim schnellen Treppensteigen!
   a) Welche Größen mußt du messen?
   b) Wie kannst du diese Größen messen?
   c) Führe die Messungen durch und bestimme deine Höchstleistung!
7. Bestimme die mechanische Leistung des Motors eines Metallbaukastens oder eines Spielzeugautos (mit einer Aufziehfeder)!

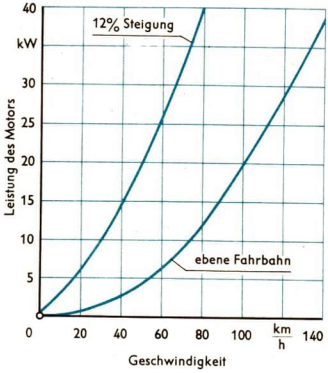
a) Befestige an der Welle des Motors oder an der Hinterradwelle des Autos einen Zwirnsfaden (Bild 56/1)!
b) Hänge an das freie Ende des Zwirnsfadens ein Wägestück, das der Motor gerade noch gleichförmig anheben kann! Dann miß Weg und Zeit!
c) Berechne zunächst die mechanische Arbeit und anschließend die mechanische Leistung!
d) Welche Fehler gehen in die Berechnung ein?
e) Angenommen, du hast die Zeit zu kurz gemessen. Ist dann die berechnete Leistung größer oder kleiner als die wirkliche Leistung? Begründe deine Antwort!



56/1

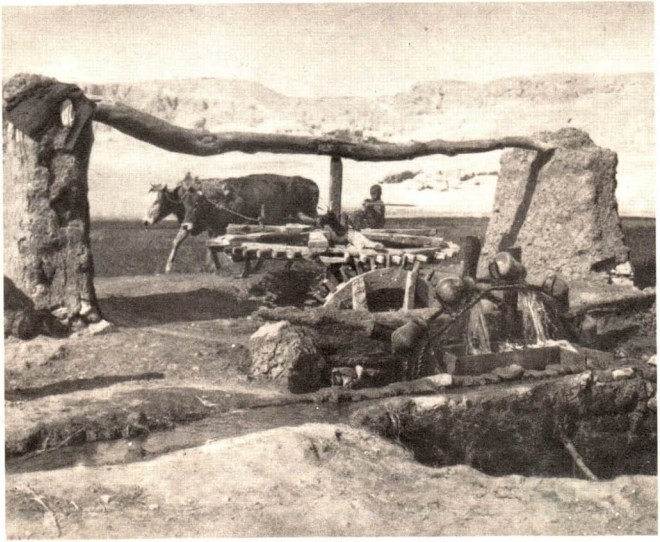
8. In einem Wasserwerk sollen fünf Brunnen gebaut werden. Aus diesen sollen je Stunde insgesamt mindestens 500000 l Wasser gepumpt werden. Die Tiefe der Brunnen soll 8,0 m sein. Jeder Brunnen soll zwei Pumpen erhalten. Von der Industrie werden unter anderem Pumpen mit einer mechanischen Leistung von 1 kW, 2 kW, 2,5 kW, 4 kW und 10 kW angeboten. Welche Pumpen würdest du bestellen?
9. Je schneller ein Pkw fahren soll, desto größer muß die vom Motor zu vollbringende mechanische Leistung sein. Die Leistung des Motors kann der Fahrer durch „Gasgeben" bis zu der maximalen Leistung verändern.
Die maximale Leistung des Motors eines Skoda S 105 ist 34 kW. Im Diagramm (Bild 56/2) ist dargestellt, wie die vom Motor dieses Pkw zu erbringende Leistung von der Geschwindigkeit und von der Steigung der Straße abhängt.

a) Welche Motorleistung ist für Geschwindigkeiten von 30 km/h und 60 km/h auf ebener Straße bzw. auf einer Bergstraße mit einer Steigung von 12% erforderlich?
b) Welche maximale Geschwindigkeit kann auf ebener Straße erreicht werden? Kann der Pkw die Steigung von 12% mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h hochfahren?
c) Warum ist auf ebener Fahrbahn die zu erbringende Leistung von der Geschwindigkeit abhängig? Gilt $F \sim v$ oder gilt ein anderer Zusammenhang?
d) Worin unterscheiden sich die zwei Graphen für die ebene Fahrbahn und für die Steigung? Wodurch ist der Unterschied zu erklären?



56/2 Leistungsbedarf des Pkw Skoda S 105

# Energie in Natur und Technik



Die meisten Maschinen werden heute mit elektrischer Energie betrieben. Diese Energie steht den Menschen jedoch erst seit Ende des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Am Anfang der Entwicklung der Menschheit war es den Menschen nur möglich, ihre eigene Muskelkraft und die von Tieren zu nutzen. Auch die im Altertum zur Erleichterung der Arbeit erfundenen Maschinen, wie die Töpferscheibe, der Pferdegöpel oder das Tretrad, durften nur so groß gebaut werden, daß sie noch von Menschen oder von Tieren angetrieben werden konnten.

Das Bedürfnis nach mehr Nahrung, Kleidung, Wohnraum und Bequemlichkeit sowie das Vorhandensein weitaus größerer Naturkräfte spornte die Menschen an, neue Maschinen zu erfinden und zu bauen, mit denen die Energie der Flüsse, des Windes und der Kohle genutzt werden konnte.

Auch in der Gegenwart werden Forschungen zur Nutzung weiterer Energien durchgeführt. Zugleich wird heute daran gearbeitet, die vorhandene Energie rationeller zu nutzen. Dazu können und müssen wir alle beitragen.

Bei Sonnenschein und Regen, bei Wind und Kälte, im Sommer und im Winter, sichern die Werktätigen in den Braunkohletagebauen, in den Kraftwerken und in den Gaswerken die Versorgung der Betriebe und Wohnungen mit Energie. Was ist Energie, und warum ist Energie so wichtig?

## Physikalische Bedeutung der Energie

Maschinen und Fahrzeuge bewegen sich nicht von allein.

■ Beim Transport von Gütern mit der Eisenbahn wird mechanische Arbeit verrichtet (Bild 58/2). Damit die Lokomotive die Güterwagen ziehen kann, muß durch die Motoren der Elektrolokomotive ein elektrischer Strom fließen.

Damit der Motor eines Kraftfahrzeuges mechanische Arbeit verrichten kann, muß ihm Benzin zugeführt werden (Bild 58/3).

Damit eine Ramme beim Einschlagen eines Pfahles mechanische Arbeit verrichten kann, muß der Rammbär zuvor gehoben werden.

58/2

58/3

Der elektrische Strom, Benzin und gehobene Körper besitzen die Fähigkeit, mechanische Arbeit zu verrichten. Sie besitzen **Energie**. Auch Druckluft besitzt Energie. Mit

Druckluft werden zum Beispiel die Türen der Berliner U-Bahn und von Omnibussen geöffnet und geschlossen.
Energie ist aber nicht nur zum Verrichten von mechanischen Arbeiten notwendig. Energie ist auch für die Erhöhung der Temperatur von Körpern sowie für die Beleuchtung von Räumen und Straßen erforderlich.

■ Die Sonne beleuchtet die Erde.

Durch Verbrennen von Kohle wird im Kraftwerk Wasser verdampft.

Die Gasflammen des Küchenherdes geben Wärme und Licht ab.

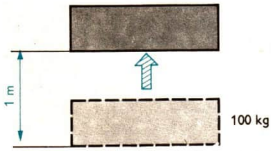
Die Sonne, Kohle und Gas besitzen die Fähigkeit, Wärme abzugeben und Licht auszustrahlen. Sie besitzen ebenfalls Energie. Oder mit anderen Worten: ①

▶ **Energie ist die Fähigkeit, mechanische Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben oder Licht auszustrahlen.**

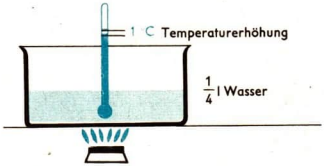
**Formelzeichen und Einheit der Energie.** Das Formelzeichen für die Energie ist *E*. Die Einheit der Energie ist wie bei der mechanischen Arbeit ein Joule (1 J). Meistens werden die größeren Einheiten ein Kilojoule (1 kJ) und ein Megajoule (1 MJ) benutzt. Die Übereinstimmung der Einheiten für die mechanische Arbeit und für die Energie ergibt sich aus dem Zusammenhang zwischen Energie und mechanischer Arbeit:

▶ **1 kJ ist die Energie, die erforderlich ist, um eine mechanische Arbeit von 1 kJ zu verrichten oder eine Wärme von 1 kJ abzugeben.**

In der Praxis wird die Energie auch in Kilowattstunden (kWh) oder Megawattstunden (MWh) angegeben.




59/1 Eine Energie von 1 kJ ist erforderlich, um einen Körper mit einer Masse von 100 kg um 1 m zu heben.




59/2 Eine Energie von 1 kJ ist erforderlich, um die Temperatur von etwa $\frac{1}{4}$ l Wasser um 1 °C zu erhöhen. ②

① Begründe, daß auch Wasser in einem Hochbehälter, Flüsse, Wind, fliegende Bälle und im Fluß treibende Baumstämme oder Eisschollen Energie besitzen!

② Wieviel Energie ist notwendig, um die Temperatur von 1 l Wasser von 20 °C auf 100 °C zu erhöhen?

*In Natur und Technik vorkommende Energiebeträge*

| Brennstoffe | | | |
|---|---|---|---|
| 1 kg Braunkohle | 9 000 kJ | 1 l Benzin | 67 000 kJ |
| 1 kg Brikett | 20 000 kJ | 1 l Dieselkraftstoff | 61 000 kJ |
| 1 kg Koks | 30 000 kJ | 1 m³ Erdgas | 35 000 kJ |

| Sonne | |
|---|---|
| Energie der Sonnenstrahlung, die in 1 s auf die gesamte Lufthülle der Erde gestrahlt wird: | 170 000 000 000 000 kJ |
| Energie der Sonnenstrahlung, die in 1 s auf eine Fläche von 1 m² der Lufthülle gestrahlt wird: | 1,4 kJ |

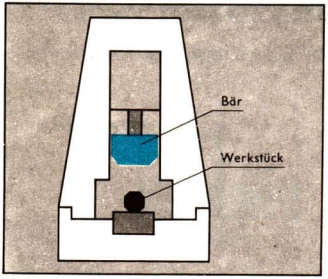
①

## Energieformen

Energie kommt in Natur und Technik in verschiedenen Formen vor:

**Potentielle Energie.** Gehobene Körper und elastisch verformte Körper besitzen Energie. Diese Form von Energie bezeichnet man als potentielle Energie ($E_{pot}$).

■ Bei einem Schmiedehammer wird durch den herunterfallenden Bär am Werkstück Verformungsarbeit verrichtet (Bild 60/1). Der gespannte Bogen verrichtet an dem Pfeil Beschleunigungsarbeit (Bild 60/2).




60/1

60/2

**Potentielle Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, aufgrund seiner gehobenen Lage oder seiner elastischen Verformung mechanische Arbeit zu verrichten.**

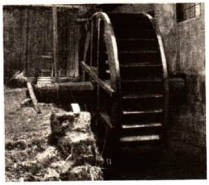
**Kinetische Energie.** Körper, die sich in Bewegung befinden, besitzen Energie. Diese Form von Energie bezeichnet man als kinetische Energie ($E_{kin}$).

■ Der Wind verrichtet an dem Segelschiff mechanische Arbeit (Bild 61/1).

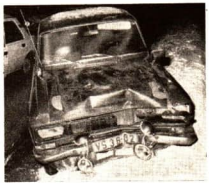
Das Wasser verrichtet an dem Wasserrad mechanische Arbeit (Bild 61/2).

Beim Aufprallen eines Pkw auf ein Hindernis wird Verformungsarbeit verrichtet (Bild 61/3).

61/1



61/2



61/3

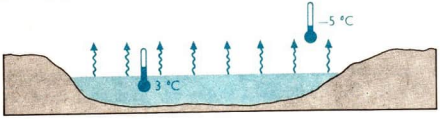
▶ **Kinetische Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, aufgrund seiner Bewegung mechanische Arbeit zu verrichten.**

Potentielle Energie und kinetische Energie werden auch als **mechanische Energie** ($E_{mech}$) bezeichnet. ②

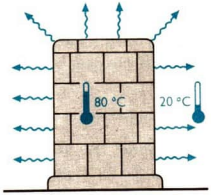
**Thermische Energie.** Alle Körper geben an eine kältere Umgebung Wärme ab. Besonders deutlich ist das bei Körpern mit einer hohen Temperatur festzustellen. Diese Form von Energie bezeichnet man als thermische Energie ($E_{therm}$).
Ist die Temperatur eines Körpers so hoch, daß er glüht, dann strahlt er auch Licht aus.

■ Das Wasser (auch kaltes) gibt Wärme ab, sobald die Temperatur der Umgebung niedriger ist als die des Wassers (Bild 61/4).

Geheizte Öfen und Heizkörper geben an die Umgebung Wärme ab (Bild 61/5).




61/4




61/5

① Berechne den Betrag der Energie, die von der Sonne im Verlauf eines Tages auf eine Fläche der Lufthülle eingestrahlt wird, die etwa so groß ist wie die Grundfläche eures Physikraums! Gib an, wieviel Braunkohle diesem Energiebetrag entspricht!

② Nenne weitere Beispiele dafür, daß Körper a) potentielle Energie und b) kinetische Energie besitzen!

▶ **Thermische Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, an die kältere Umgebung Wärme abzugeben.**

**Chemische Energie.** Bei vielen chemischen Reaktionen, insbesondere bei Oxydationsreaktionen, werden Wärme abgegeben und Licht ausgestrahlt. Diese Fähigkeit von Stoffen bezeichnet man als chemische Energie ($E_{chem}$). Bei einigen chemischen Reaktionen wird auch mechanische Arbeit verrichtet.

■ Beim Verbrennen von Kohle in einem Dauerbrandofen werden Wärme abgegeben und Licht ausgestrahlt.

Bei der Explosion von Sprengstoff wird an den Felsbrocken mechanische Arbeit verrichtet.

▶ **Chemische Energie ist die Fähigkeit eines Stoffes, bei bestimmten chemischen Reaktionen Wärme abzugeben oder Licht auszusenden.**

Die für den Menschen notwendigen Nahrungsmittel besitzen ebenfalls chemische Energie.

**Elektrische Energie.** Mit Hilfe von elektrischer Energie können Elektromotoren angetrieben werden, die mechanische Arbeit verrichten. Von elektrischen Heizgeräten wird Wärme abgegeben. Glühlampen strahlen Licht aus. Die elektrische Energie ($E_{el}$) wird mit Hilfe von Leitungen aus den Kraftwerken in Fabriken und Wohnhäuser übertragen. Elektrische Energie kann auch aus Batterien entnommen werden.

**Weitere Energieformen.** Energie kann in Natur und Technik noch in weiteren Formen auftreten. Hier soll nur noch die *Kernenergie* genannt werden, die in Klasse 10 behandelt wird. Die Kernenergie wird in Kernkraftwerken zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt.

## Energiequellen und Energieträger

**Die Sonne.** Die Sonne ist die natürliche Energiequelle für unsere Erde. Sie bestrahlt ständig die ihr zugewandte Hälfte der Erdoberfläche. Die von der Sonne zur Erde gelangende Sonnenstrahlung erwärmt die Erde. Hierdurch entstehen die Bedingungen für das Leben der Pflanzen, der Tiere und der Menschen. Die Erwärmung der Erde führt auch zur Entstehung des Wasserkreislaufs und zur Entstehung des Windes.

**Energieträger.** Die Energie der Sonne ist für den Menschen nicht immer nutzbar. Sie ist insbesondere nicht ohne weiteres für das Verrichten von mechanischer Arbeit geeignet. Deshalb lernte der Mensch, auch andere Energieformen zu nutzen. Diese Energien sind stets an bestimmte Energieträger gebunden. In der folgenden Übersicht sind wich-

tige Energieträger aus Natur und Technik aufgeführt. Außer den darin genannten Energieträgern gibt es weitere wichtige Energieträger. Zu diesen gehören: der elektrische Strom, Wasserdampf, Erdgas, Stadtgas, Biogas, Druckluft, Akkumulatoren und Batterien. ②

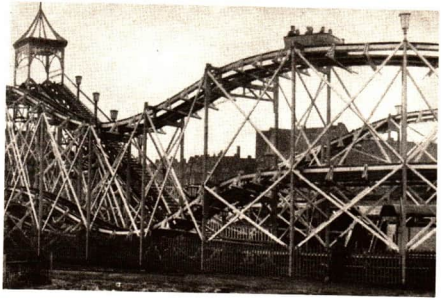
*Wichtige Energieträger in Natur und Technik*

| Energieträger | Energieform | Beispiele für die Anwendung und Nutzung der Energie |
|---|---|---|
| Braunkohle<br>Brikett<br>Koks | chemische Energie | – Verdampfen von Wasser<br>– Erwärmen von Werkstoffen, Räumen, Speisen und Getränken |
| Erdöl<br>Benzin<br>Dieselkraftstoff | chemische Energie | – Antreiben von Benzin- bzw. Dieselmotoren |
| Flüsse<br>Stauseen | mechanische Energie | – Antreiben von Wasserturbinen in Wasserkraftwerken<br>– Transport von Geröll und Flößen<br>– Abtragung der Flußufer |
| Meeresströmung (Golfstrom) | thermische Energie | – zusätzliche Erwärmung von Nord- und Mitteleuropa |
| Nahrungsmittel | chemische Energie | – Aufrechterhalten der Körpertemperatur<br>– Aufbau körpereigener Stoffe<br>– Ermöglichen der Körperbewegungen und der Verrichtung von mechanischer Arbeit |

③ ④

① Nenne weitere Beispiele für Körper, die thermische Energie besitzen!
② Aus welchen Beobachtungen beim Kochen kann man erkennen, daß Wasserdampf Energie besitzt?
③ Stelle eine solche Übersicht für die in eurer Wohnung benutzten Energieträger auf!
④ Stelle eine solche Übersicht für die Energieträger auf, die in dem Betrieb genutzt werden, in dem du zur produktiven Arbeit gehst!

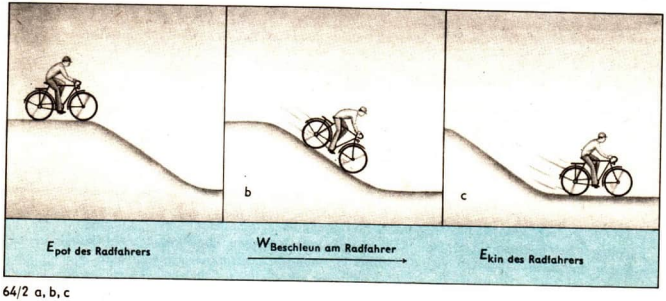
Bei einer Achterbahn werden die Wagen zunächst mit Hilfe einer Zugvorrichtung auf die Ausgangshöhe gezogen. Die Energie für diese Hubarbeit stammt vom elektrischen Strom. Danach fahren die Wagen bergab und anschließend bergauf und danach wieder bergab und bergauf. Woher stammt jetzt die Energie für die bei der Bergauffahrt verrichtete Hubarbeit?



## Umwandlung von Energie

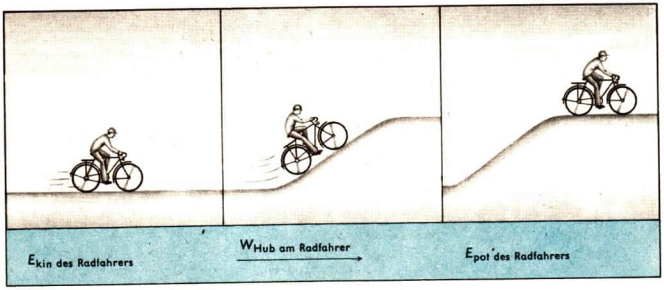
Auf einem Berg besitzt ein Radfahrer potentielle Energie (Bild 64/2a). Wenn er sich in das Tal rollen läßt, dann wird er immer schneller (Bild 64/2b). An ihm wird Beschleunigungsarbeit verrichtet. Im Tal besitzt er keine potentielle Energie mehr (Bild 64/2c). Ist die Energie des Radfahrers verschwunden?
Nein! Die potentielle Energie ist nur in eine andere Energieform umgewandelt worden, in kinetische Energie. Diese Energieumwandlung kann man schematisch so beschreiben:

$$E_{pot} \xrightarrow{W_{Beschleun}} E_{kin}\,.$$




64/2 a, b, c

Aus den nachfolgenden Bildern ist zu erkennen, daß umgekehrt auch kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt werden kann.



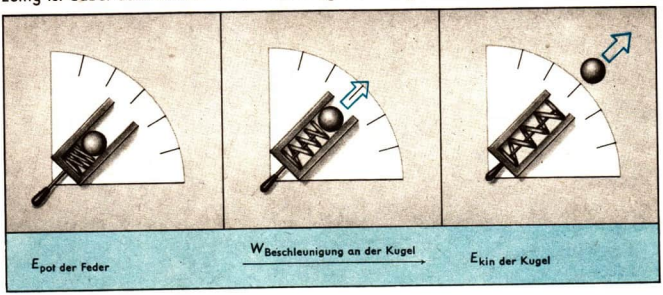

In dem folgenden Experiment wollen wir die Umwandlung von elektrischer Energie in andere Energieformen untersuchen:

13 ▼

1. Baue einen Stromkreis auf, in dem sich ein Motor und eine Lampe befinden!
2. Schreibe für den Motor und für die Lampe die auftretenden Energieumwandlungen auf, wenn der Motor läuft und die Lampe leuchtet!

## Übertragung von Energie

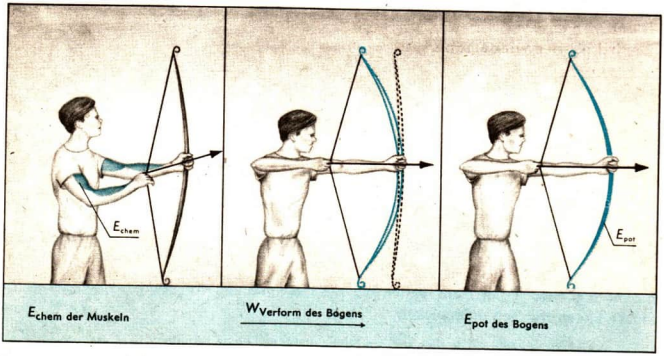
Die Bilder 65/2a bis 65/2c zeigen, wie mit Hilfe einer Feder eine Kugel abgeschossen wird. Am Anfang besitzt die gespannte Feder potentielle Energie (Bild 65/2a). Mit Hilfe dieser Energie wird an der Kugel eine Beschleunigungsarbeit verrichtet (Bild 65/2b). Am Ende dieses Vorganges ist die Feder entspannt, sie besitzt keine Energie mehr. Ist die Energie der Feder verlorengegangen? Nein! Bei der Beschleunigungsarbeit ist die Energie von der Feder auf die Kugel übertragen worden ($E_{Feder} \longrightarrow E_{Kugel}$). Gleichzeitig ist dabei auch noch eine Umwandlung der Energieform eingetreten.




65/2

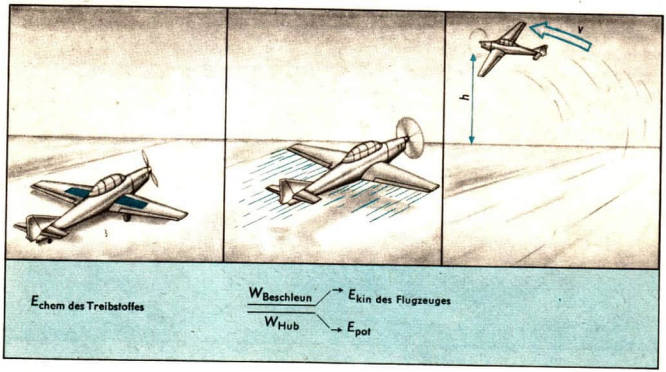
Auch in den folgenden Vorgängen finden gleichzeitig eine Übertragung und eine Umwandlung von Energie statt.

## Spannen eines Bogens




## Abbremsen eines Autos

## Start eines Flugzeuges



Diese und viele weitere Beispiele lassen erkennen:

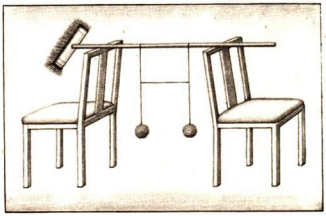
▶ **Beim Verrichten von mechanischer Arbeit wird Energie von einer Energieform in eine oder in mehrere andere Energieformen umgewandelt und von einem Körper auf einen anderen Körper übertragen. Aus Energie wird immer wieder Energie.**

Schematisch kann man schreiben:

$$E \xrightarrow{W_{mech}} E.$$ ①

Diese Erkenntnisse über die Umwandlung und Übertragung der Energie überprüfen wir zu Hause in einem Schülerexperiment.

▼ 1. Baue nach dem Bild 67/1 die Experimentieranordnung mit zwei Kartoffeln auf!
2. Stoße eine der zwei Kartoffeln einmal an! Sie beginnt zu schwingen.
3. Beschreibe deine weiteren Beobachtungen!
4. Versuche die Beobachtungen zu erklären!



67/1 Experimentieranordnung

②

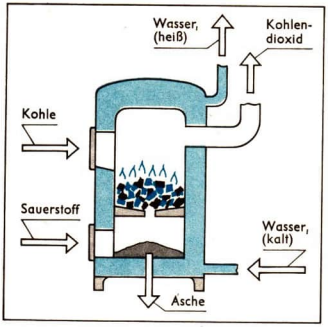
## Energieumwandlungen bei chemischen Reaktionen

Bei chemischen Reaktionen kommt es zu Stoffumwandlungen. Bei manchen chemischen Reaktionen wird hierbei Wärme abgegeben.
Wenn von der chemischen Energie der Ausgangsstoffe ein Teil als Wärme abgegeben wird, dann ist die chemische Energie des neu entstehenden Stoffes kleiner als die der Ausgangsstoffe. Ein Beispiel hierfür ist die Verbrennung von Kohle (Bild 68/1). Kohlenstoff und Sauerstoff verbrennen unter Wärmeabgabe zu Kohlendioxid. Kohlendioxid ist energieärmer als Kohlenstoff.
Bei anderen Reaktionen muß ständig Wärme zugeführt werden, damit die Stoffumwandlungen stattfinden. Die zugeführte Wärme wird dabei in dem neu entstehenden Stoff als chemische Energie gespeichert. Dieser ist dann energiereicher als seine Ausgangsstoffe. Ein Beispiel dafür ist die Roheisenherstellung (Bild 68/2). Eisenoxid und Kohlenstoff werden unter Wärmezufuhr zu Eisen und Kohlendioxid umgewandelt. Eisen ist energiereicher als Eisenoxid.

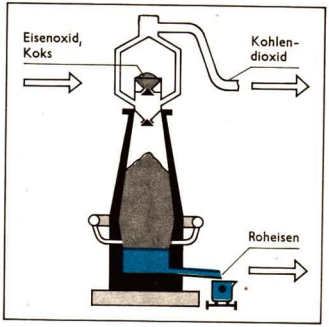
---

① Schreibe die Energieumwandlungen für folgende Vorgänge auf:
a) Spannen von Pfeil und Bogen,
b) Abschießen einer Rakete,
c) Springen mit dem Trampolin,
d) Radfahren auf ebener Straße,
e) Schlittenfahren,
f) Bergsteigen!

② Wo kannst du im täglichen Leben ähnliche Energieübertragungen beobachten wie in diesem Schülerexperiment?




68/1 Verbrennung von Kohle im Heizkessel




68/2 Vorgänge in einem Hochofen

## Energieumwandlungen in der Technik

Die chemische Energie der Kohle oder die kinetische Energie des Wassers können nicht unmittelbar für den Antrieb eines Staubsaugers, einer Bohrmaschine oder einer Melkanlage genutzt werden.
Im Verlaufe der letzten zwei Jahrhunderte wurden Maschinen und Anlagen entwickelt, mit denen die in der Natur vorkommenden Energieformen in eine für den Menschen nutzbare Energieform umgewandelt werden können.
In der folgenden Übersicht sind einige Maschinen und Anlagen für die Energieumwandlung dargestellt.

*Maschinen und Anlagen für die Energieumwandlung*

| Maschinen und Anlagen | Zugeführte Energie | Abgegebene Energie |
|---|---|---|
| Elektromotor | elektrische Energie | kinetische Energie |
| Benzin- bzw. Dieselmotor | chemische Energie von Benzin bzw. von Dieselkraftstoff | |
| Dampfturbine | Energie des Wasserdampfes (mit hohem Druck) | |
| Wasserturbine | kinetische Energie des Wassers | elektrische Energie |
| Generator | kinetische Energie der Turbinenwelle | |
| Solarzelle | Energie der Sonnenstrahlung | Energie von Wasserdampf |
| Dampfkessel | chemische Energie von Kohle oder Gas | |

①

## Kraftwerke

**Wasserkraftwerk.** Ein Wasserkraftwerk (Bild 69/1) dient zur Umwandlung der potentiellen Energie des angestauten Wassers in elektrische Energie. In den einzelnen Teilen eines Wasserkraftwerkes erfolgen nacheinander folgende Umwandlungen und Übertragungen der Energie:

im Druckrohr: in der Wasserturbine und im Generator:

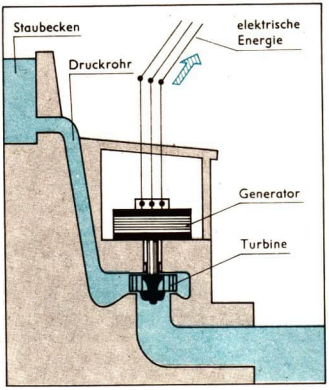
$$E_{pot} \xrightarrow[\text{des Wassers}]{} E_{kin} \xrightarrow[\text{des Wassers}]{} E_{kin} \xrightarrow[\text{des Wassers}]{} E_{el}$$

**Wärmekraftwerk.** Ein Wärmekraftwerk (Bild 69/2) dient zur Umwandlung der chemischen Energie der Kohle in elektrische Energie.

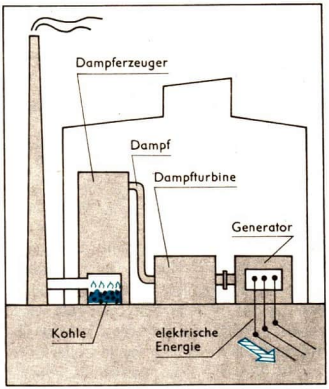
Im Dampferzeuger: In der Dampfturbine und im Generator:

$$E_{chem} \xrightarrow[\text{der Kohle}]{} E \xrightarrow[\text{des Dampfes}]{} E \xrightarrow[\text{des Dampfes}]{} E_{el}$$

②




69/1 Schematischer Aufbau eines Wasserkraftwerkes




69/2 Schematischer Aufbau eines Wärmekraftwerkes

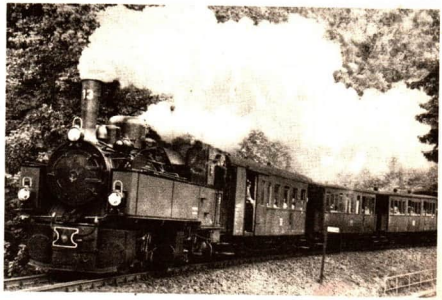
---

① Welche Geräte werden in eurer Wohnung zur Energieumwandlung benutzt? Stelle diese auch zu einer solchen Übersicht zusammen!

② Sammle aus Zeitungen Berichte über weitere Anlagen für die Energieumwandlung in der Technik! Sprich in einem Vortrag zu folgenden Fragen:

a) Wie heißt die Anlage?
b) Wozu wird die Anlage verwendet?
c) Welche in der Natur vorkommende Energie wird genutzt?
d) In welche Energieform wird diese Energie umgewandelt?
e) In welchen Ländern kann die Anwendung dieser Anlage eine volkswirtschaftliche Bedeutung erlangen?

Dampflokomotiven gehören immer mehr der Vergangenheit an. Seit langem werden Züge der Deutschen Reichsbahn von Diesellokomotiven und Elektrolokomotiven gezogen.
Warum werden bei der Deutschen Reichsbahn kaum noch Dampflokomotiven eingesetzt?

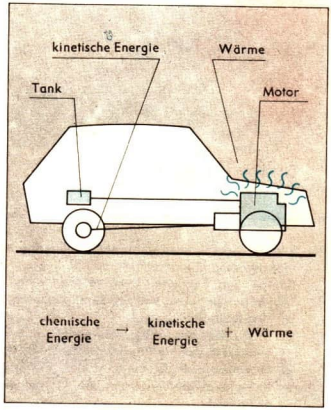


## Physikalische Bedeutung des Wirkungsgrades

Bereits nach kurzer Betriebszeit ist der Motorraum eines Pkw heiß. Im Motor kommt es nicht nur zu einer Umwandlung der chemischen Energie des Benzins in nutzbare kinetische Energie, sondern auch zu einer nicht nutzbaren Abgabe von Wärme (Bild 70/2). Dadurch geht ein Teil der chemischen Energie des Benzins für den Antrieb des Fahrzeugs verloren.

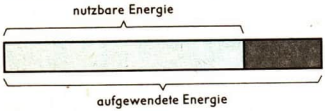
In der Technik spricht man dabei von einem „Energieverlust". Diese Bezeichnung ist physikalisch nicht ganz exakt, denn dieser Teil der Energie geht nicht verloren, sondern er wird als Wärme abgegeben, die meist nicht mehr weiter nutzbar ist. Diese Wärme bezeichnet man als Abwärme („Abfallwärme"). Entsprechendes gilt für Dieselmotoren in Pkw und Lkw, und das gilt auch für Elektromotoren in Elektrolokomotiven oder in Staubsaugern.

Diese Beispiele zeigen:
Bei einer Energieumwandlung ist die nutzbare Energie stets kleiner als die aufgewandte Energie. Für Anlagen zur Energieumwandlung gilt:



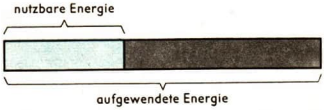

70/2 Energieumwandlungen in einem Kraftfahrzeug

wirtschaftlich günstige Anlagen:




71/1 Der größte Teil der aufgewendeten Energie wird in nutzbare Energie umgewandelt.

wirtschaftlich ungünstige Anlagen:




71/2 Nur ein kleiner Teil der aufgewendeten Energie wird in nutzbare Energie umgewandelt.

Man sagt: Die Anlagen zur Energieumwandlung haben einen unterschiedlichen **Wirkungsgrad.**

▶ **Der Wirkungsgrad einer Anlage zur Energieumwandlung gibt an, welcher Anteil der aufgewandten Energie in nutzbare Energie umgewandelt wird.**

## Definitionsgleichung des Wirkungsgrades

In der Tabelle sind für zwei Motoren jeweils die nutzbare Energie ($E_{nutz}$) und die aufgewandte Energie ($E_{aufgew}$) angegeben. Für jeden Motor wird daraus das Verhältnis der nutzbaren Energie zur aufgewandten Energie berechnet.

| Motor | nutzbare Energie $E_{nutz}$ | aufgewandte Energie $E_{aufgew}$ | Verhältnis $\frac{E_{nutz}}{E_{aufgew}}$ |
|---|---|---|---|
| Benzinmotor | 3 000 kJ | 10 000 kJ | $\frac{3\,000\text{ kJ}}{10\,000\text{ kJ}} = 0{,}3$ |
| Elektromotor | 3 000 kJ | 5 000 kJ | $\frac{3\,000\text{ kJ}}{5\,000\text{ kJ}} = 0{,}6$ |

Für den Benzinmotor kann man dieses Verhältnis auch so schreiben:

$$\frac{E_{nutz}}{E_{aufgew}} = 0{,}3 = \frac{0{,}3\text{ kJ}}{1\text{ kJ}}$$

Das heißt: Von 1 kJ aufgewandter Energie stehen nach der Energieumwandlung nur noch 0,3 kJ als nutzbare Energie zur Verfügung.

Zur Angabe des Wirkungsgrades einer Anlage zur Energieumwandlung hat man daher die folgende *Definitionsgleichung* festgelegt:

$$\textbf{Wirkungsgrad} = \frac{\textbf{nutzbare Energie}}{\textbf{aufgewandte Energie}}$$

Den Wirkungsgrad bezeichnet man mit dem *Formelzeichen* $\eta$ (Lies: éta).

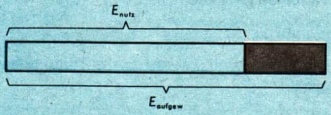
$$\eta = \frac{E_{nutz}}{E_{aufgew}}$$

**Der Wirkungsgrad ist stets kleiner als 1.** Er wird meistens in Prozent angegeben, z. B. $\eta = 0{,}73$ oder $\eta = 73\%$.

## Zusammenfassung

**Der Wirkungsgrad einer Anlage zur Energieumwandlung gibt an, welcher Anteil der aufgewandten Energie in nutzbare Energie umgewandelt wird.**

$$\eta = \frac{E_{nutz}}{E_{aufgew}}$$




**Für alle Maschinen und Anlagen gilt: $\eta < 1$.**

①

## Verbesserung des Wirkungsgrades

Physiker und Ingenieure bemühen sich, den Wirkungsgrad von Maschinen immer weiter zu verbessern. Sie möchten Maschinen bauen, deren Wirkungsgrad möglichst 100% beträgt. Dem sind jedoch physikalisch Grenzen gesetzt. Entscheidende Fortschritte sind meistens nur dann möglich, wenn man für die Umwandlung von Energie neue physikalische Entdeckungen und technische Lösungen anwendet.

*Entwicklung des Wirkungsgrades von einigen Maschinen und Anlagen*

| | |
|---|---|
| **Dampfmaschine** | |
| Dampfmaschine von J. Watt (1769) | 3% bis 4% |
| Moderne Dampfmaschine | bis 18% |
| **Dieselmotor** | |
| Diesels erster Motor (1897) | 24% |
| Moderner Dieselmotor | bis 40% |
| **Wärmekraftwerke** | |
| Erstes Wärmekraftwerk (1882) | 15% |
| Modernes Wärmekraftwerk | bis 40% |

*Entwicklung des Wirkungsgrades durch Nutzung neuer physikalischer Entdeckungen*

| | |
|---|---|
| **Dampfmaschine/Motoren** | |
| Dampfmaschine | bis 18% |
| Benzinmotor | bis 34% |
| Dieselmotor | bis 40% |
| Elektromotor | bis 90% |
| **Lokomotiven** | |
| Dampflokomotive | bis 8% |
| Diesellokomotive | bis 28% |
| Elektrolokomotive | bis 90% |

**Gesamtwirkungsgrad.** In der rechten Tabelle ist der Wirkungsgrad aus der nutzbaren kinetischen Energie der Lokomotiven und der dafür aus dem Fahrdraht entnommenen elektrischen Energie berechnet. Berechnet man jedoch den Gesamtwirkungsgrad für Elektrolokomotiven, dann erhält man nur etwa 20%. Bei dem Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt man folgendes:

- Für die Förderung der Braunkohle und deren Transport zum Kraftwerk ist Energie erforderlich.

- Bei der Umwandlung der chemischen Energie der Kohle in elektrische Energie treten im Kraftwerk Energieverluste auf.
- Bei der Übertragung der elektrischen Energie vom Kraftwerk bis zur Lokomotive treten in den Leitungen Energieverluste auf.

Entsprechend kann man auch den Gesamtwirkungsgrad von Diesellokomotiven (etwa 20%) und Dampflokomotiven (weniger als 1%) berechnen.

## Rationelle Nutzung der Energie

Der steigende Energiebedarf der Wirtschaft und der Haushalte in der DDR kann nicht allein durch den Bau weiterer Großkraftwerke gesichert werden. Das Bemühen vieler Ingenieure und Neuerer ist auf eine immer rationellere Nutzung der Energie gerichtet. Im Mittelpunkt stehen hierbei:

- Der Wirkungsgrad von Anlagen zur Energieumwandlung soll weiter verbessert werden. Dadurch wird aus der aufgewandten Energie ein größerer Anteil an nutzbarer Energie erhalten.
- Bei den Maschinen soll die aufzuwendende Arbeit verkleinert werden. Dadurch wird weniger Energie benötigt.
- Die nicht zu vermeidenden Verluste durch Abwärme sollen verkleinert werden. Die Abwärme soll möglichst auch noch für Heizzwecke ausgenutzt werden. ②
- Ein Leerlauf von Maschinen während Produktionspausen sollte ganz vermieden werden. ③

---

① Vervollständige die folgenden zwei Tabellen!

| Motor 1: $\eta = 50\%$ | |
|---|---|
| $E_{nutz}$ | $E_{aufgew}$ |
| ... | 100 kJ |
| 400 kJ | ... |
| ... | 1000 kJ |
| 160 kJ | ... |

| Motor 2: $\eta = 80\%$ | |
|---|---|
| $E_{nutz}$ | $E_{aufgew}$ |
| ... | 100 kJ |
| 400 kJ | ... |
| ... | 1000 kJ |
| 160 kJ | ... |

② Bei einem Dieselmotor erhält man aus 30000 kJ aufgewendeter Energie eine nutzbare kinetische Energie von 10000 kJ.
a) Berechne den Wirkungsgrad dieses Motors!
b) Die heißen Auspuffgase besitzen noch thermische Energie. Wie verbessert sich der Gesamtwirkungsgrad, wenn aus den Auspuffgasen eine Energie von 8000 kJ zur Erwärmung von Wasser genutzt wird?

③ Nenne Maßnahmen, mit denen du zusammen mit deiner Familie durch rationelle Nutzung der Energie zur Energieeinsparung beitragen kannnst!

Wenn wir beim Fahrrad keine Antriebskraft mehr aufwenden, dann rollt es auf ebener Straße noch etwas. Jemand hat aber ein Fahrrad „erfunden", das ständig von allein weiterfährt. An das Fahrrad werden ein Dynamo und ein Elektromotor angebaut. Wenn das Fahrrad in Bewegung versetzt worden ist, dann versorgt der Dynamo den Motor ständig mit Strom, und das Fahrrad kann dann ewig fahren. Was meinst du zu dieser „Erfindung"?

## Das unmögliche Perpetuum mobile

Es hat schon immer Menschen gegeben, die wollten eine Maschine erfinden, die ohne Energiezufuhr ständig mechanische Arbeit verrichtet. Eine solche Maschine wäre zum Beispiel ein Motor, der – einmal in Gang gebracht – ein Fahrzeug ohne Benzinverbrauch unbegrenzt bewegen könnte. Eine solche Maschine bezeichnet man als *Perpetuum mobile*. (Dieser Ausdruck kommt aus der lateinischen Sprache und bedeutet: das sich dauernd Bewegende.) Eine solche Maschine könnte, wenn sie erfindbar wäre, ständig einen Generator antreiben und so elektrische Energie aus dem Nichts erzeugen.
Viele Menschen glaubten im 17. und 18. Jahrhundert, ein Perpetuum mobile erfunden zu haben. Ein Beispiel hierfür ist im Bild 78/1 dargestellt. Diese „Erfinder" schickten ihre Pläne an die französische Akademie der Wissenschaften ein. Die Akademie in Paris beschloß jedoch bereits im Jahre 1755, solche Pläne nicht mehr zu prüfen. Jahrhundertelange Bemühungen und wissenschaftliche Überlegungen zeigten nämlich:

▶ **Ein Perpetuum mobile ist nicht möglich.**

Die bisher erkannten Zusammenhänge über die Energie faßt man zusammen zum **Gesetz von der Erhaltung der Energie.**

▶ **Bei keinem Vorgang kann Energie neu entstehen oder verschwinden. Energie kann jedoch durch mechanische Arbeit, Wärme oder Licht von einem Körper auf einen anderen übergehen und sich von einer Energieform in eine andere umwandeln.**

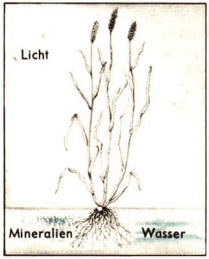
## Energieumwandlungen in der lebenden Natur

Auch für Pflanzen, Tiere und Menschen gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

**Pflanzen.** In Pflanzen wird das Licht der Sonne in den Blättern und Früchten zum Aufbau von körpereigenen Stoffen (wie Stärke) genutzt. Die chemische Energie dieser Stoffe ist größer als die der körperfremden Ausgangsstoffe (Wasser, Mineralien, Nährsalze). Die Energie der Sonne wird so in chemische Energie umgewandelt (Bild 75/1). Für das Wachstum der Pflanzen gilt:

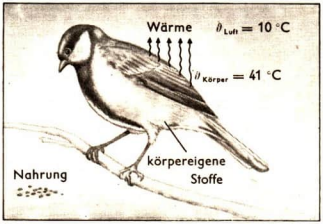
$$E_{\text{Sonne}} \xrightarrow{\text{Licht}} E_{\text{chem der Pflanzen}}$$

Wasser, Mineralien und Licht ergeben körpereigene, energiereiche Stoffe.




75/1

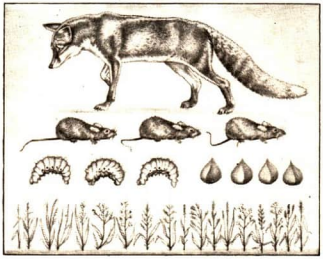
**Tiere und Menschen.** Tiere und Menschen nehmen als Nahrung körperfremde energiereiche Stoffe auf. Ein Teil der chemischen Energie dieser Nahrungsmittel dient zur Erzeugung von Wärme, wodurch die Körpertemperatur konstant gehalten werden kann (Bild 75/2). Ein anderer Teil der chemischen Energie der Nahrungsmittel dient zum Aufbau körpereigener energiereicher Stoffe (wie Stärke und Fett).




75/2

Mit Hilfe der chemischen Energie dieser körpereigenen Stoffe können Menschen und Tiere dann mit ihren Muskeln mechanische Arbeit verrichten. Insgesamt wird dabei die chemische Energie der körpereigenen Stoffe in verschiedene andere Energieformen umgewandelt.

②



75/3

---

① In Tageszeitungen spricht man oft von „Energieerzeugung". Warum ist dieser Ausdruck physikalisch falsch? Was meint man damit? Welcher Ausdruck wäre physikalisch korrekt?

② Bild 75/3 zeigt eine „Nahrungspyramide" des Waldes.
a) Beschreibe die stufenweise Übertragung von Energie!
b) Begründe an dieser „Nahrungspyramide", daß die Sonne die natürliche Energiequelle der Erde ist!

## Zusammenfassung

1. **Energie ist die Fähigkeit, mechanische Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben oder Licht auszustrahlen.**
2. **Energie existiert in verschiedenen Energieformen:**

| Mechanische Energie | Energie im Inneren eines Körpers | elektrische Energie |
|---|---|---|
| $E_{pot}$<br>$E_{kin}$ | $E_{therm}$<br>$E_{chem}$<br>$E_{Kern}$ | $E_{el}$ |

3. **Für alle Vorgänge in Natur und Technik gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie:**
   **Bei keinem Vorgang kann Energie neu entstehen oder verschwinden. Energie kann jedoch durch mechanische Arbeit, Wärme oder Licht von einem Körper auf einen anderen übergehen und sich von einer Energieform in eine andere umwandeln.**

| | | |
|---|---|---|
| **Energie** | **mechanische Arbeit** → | **Energie** |
| | **Wärme** → | |
| | **Licht** → | |

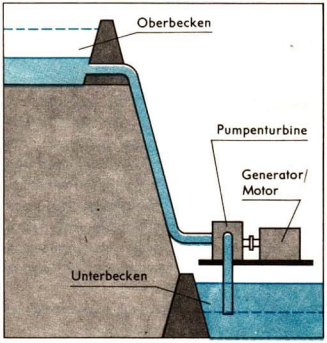
4. **Anlagen zur Energieumwandlung dienen dazu, die in der Natur vorkommenden Energieformen in eine für den Menschen nutzbare Energieform umzuwandeln.**
   **Die wichtigsten Anlagen zur Energieumwandlung sind:**

| Kraftwerke | Motoren | Turbinen |
|---|---|---|
| Heizkraftwerk<br>Wasserkraftwerk<br>Kernkraftwerk | Benzinmotor<br>Dieselmotor<br>Elektromotor | Wasserturbine<br>Dampfturbine<br>Gasturbine |

**Der Wirkungsgrad $\eta$ einer Anlage zur Energieumwandlung gibt an, welcher Anteil der aufgewandten Energie in nutzbare Energie umgewandelt wird.**

5. **Zur rationellen Nutzung der Energie gehören:**
   - **die Verbesserung des Wirkungsgrades von Anlagen zur Energieumwandlung,**
   - **die Verkleinerung der aufzuwendenden Arbeit bei Maschinen,**
   - **die Nutzung von Abwärme,**
   - **die Vermeidung des Leerlaufes von Maschinen.**

1. Beantworte die Fragen zum Bild 58/1!
2. Berechne die Energie, die erforderlich ist, um einen Güterzug 20 km weit mit einer Kraft von 40 kN zu bewegen. Wieviel Liter Dieselkraftstoff sind hierfür erforderlich?
   Nutze hierzu die Angaben in der Übersicht auf Seite 60!
3. Spielzeugautos können folgende Antriebe besitzen: Elektromotor mit Batterie, Motor mit Aufziehfeder oder Schwungscheibe. Ordne diesen Antrieben jeweils die entsprechende Energieform zu!
4. Beantworte die Frage zu Bild 64/1!
5. Schreibe für die in den Bildern 60/1 bis 61/5 dargestellten Vorgänge schematisch die entsprechenden Energieumwandlungen auf!
6. Warum sind in der Technik Maschinen und Anlagen zur Energieumwandlung erforderlich?
7. Überlege dir, aus welchen Teilen ein Kraftwerk bestehen müßte, das mit der Energie der Sonnenstrahlung betrieben werden soll!
8. Bereite anhand des Bildes 77/1 einen Vortrag über ein Pumpspeicherwerk vor! Sprich zu folgenden Fragen:
   a) Wozu dient ein Pumpspeicherwerk?
   b) Beschreibe den Aufbau eines Pumpspeicherwerkes!
   c) Beschreibe die Reihenfolge der Energieumwandlungen!
   d) Wo gibt es in der DDR solche Pumpspeicherwerke?
   e) Worin besteht der volkswirtschaftliche Vorteil solcher Pumpspeicherwerke?

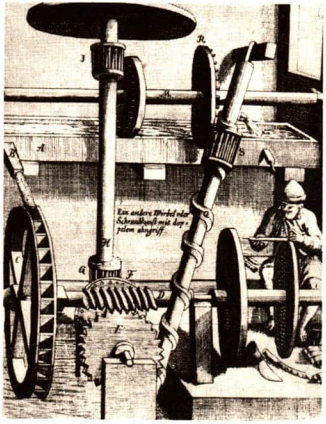



77/1 Schematische Darstellung eines Pumpspeicherwerkes

9. Was gibt der Wirkungsgrad einer Anlage zur Energieumwandlung an?
10. Begründe, warum der Wirkungsgrad einer Anlage zur Energieumwandlung stets kleiner als 1 ist!
11. Beantworte die Frage zum Bild 70/1!
12. Suche den Fehler! In welcher der Aufgaben a) bis c) können die Zahlen nicht stimmen?

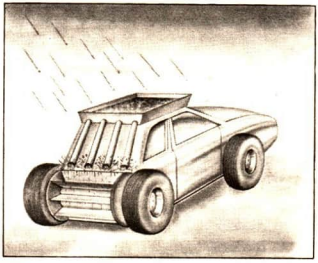
| | $E_{nutz}$ | $E_{aufgew}$ |
|---|---|---|
| a) Motor 1: | 300 kJ | 400 kJ |
| b) Motor 2: | 200 kJ | 300 kJ |
| c) Motor 3: | 300 kJ | 200 kJ |

13. In Aufgabe 2 hatten wir für die Diesellokomotive einen Verbrauch von 13 l Dieselkraftstoff für 20 km errechnet. Diese Zahl stimmt jedoch nicht! In Wirklichkeit benötigt die Lokomotive für das Verrichten dieser Reibungsarbeit etwa 46 l Dieselkraftstoff. Wie kommt dieser Unterschied zustande?
14. Berichte anhand einer Zeitungsmitteilung, wie in einem Betrieb versucht wird, auch noch die Abwärme zu nutzen!
15. Beobachte in einem Betrieb oder auch im Straßen- und Schienenverkehr, ob dort alle Möglichkeiten zur Energieeinsparung sinnvoll genutzt werden und berichte darüber!
16. Was ist ein Perpetuum mobile?
17. Nenne das Gesetz von der Erhaltung der Energie!
18. Bild 78/1 zeigt den Vorschlag eines Perpetuum mobile aus dem 17. Jahrhundert. Sein „Erfinder" begründet die Konstruktion folgendermaßen: Es wird einmal Energie zugeführt. Mit dieser Energie wird die Hubarbeit beim Füllen des Oberbeckens mit Wasser verrichtet. Mit der potentiellen Energie dieses Wassers wird das linke Wasserrad angetrieben. Dabei wird die potentielle Energie des Wassers in kinetische Energie des Wasserrades und der daran befindlichen Welle umgewandelt. An diese Welle ist eine Schleifscheibe gekoppelt, mit der beim Schleifen Reibungsarbeit und Verformungsarbeit verrichtet wird. Da sich an dieser Welle gleichzeitig noch eine Wasserschraube befindet, wird das Wasser aus dem unteren Becken gleichzeitig auch wieder in das obere Becken gehoben.
    Das heißt: der Ausgangszustand ist wieder hergestellt. Mit dieser Vorrichtung kann ohne neue Energiezufuhr ewig geschliffen werden.
    a) Was würde man feststellen, wenn man eine solche Vorrichtung wirklich bauen würde?
    b) Begründe deine Voraussage!



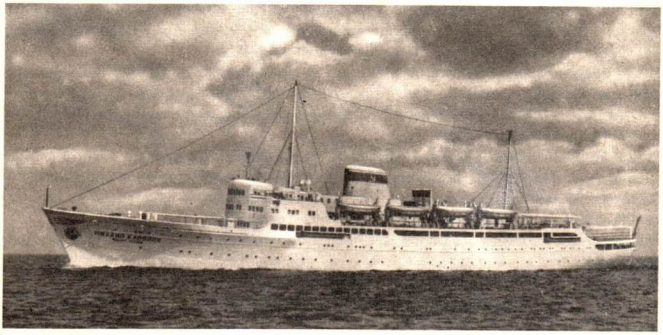
78/1 Vorschlag für ein Perpetuum mobile

19. Im Bild 78/2 ist ein „Regenauto" dargestellt! Könnte dieser Antrieb funktionieren?



78/2

# Mechanik der Gase und Flüssigkeiten



Im 17. und 18. Jahrhundert schufen Gelehrte – unter ihnen Otto von Guericke in Deutschland, Evangelista Torricelli in Italien und Blaise Pascal in Frankreich – die wissenschaftlichen Grundlagen für technische Anlagen, in denen Gase und Flüssigkeiten zur Kraftübertragung angewendet werden.
Die Idee vom pneumatischen Transport (*Pneumatik* – aus dem Griechischen – Lehre von der Luftbewegung) von Gegenständen wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in die Praxis überführt. Das geschah bei den Rohrpostanlagen in London, Berlin, Paris, Wien und New York.

Mit Druckluft können die Türen von Verkehrsmitteln betätigt werden. Mit Druckluft betriebene Werkzeuge erleichtern den Menschen die Arbeit beim Berg-, Straßen- und Schiffbau. Solche Arbeitserleichterungen helfen gleichzeitig, die notwendige Arbeitszeit zu verkürzen.

Mit hydraulischen Pressen (*Hydraulik* – aus dem Griechischen – Lehre von der Wasserbewegung) können Kräfte durch Flüssigkeiten, die unter Druck stehen, übertragen und dabei vervielfacht werden. Hydraulische Pressen wurden bereits um 1800 in englischen Fabriken zum Packen von Papier und Baumwolle sowie zum Auspressen von Wasser aus gefärbten Stoffen und von Öl aus Ölfrüchten eingesetzt.

Heute verwendet man hydraulische Pressen in der Industrie zum Umformen von Blechen und Maschinenteilen. Bei Pkw werden die Bremskräfte durch eine Bremsflüssigkeit auf die Räder übertragen. Eine solche Bremsanlage arbeitet nach dem Prinzip der hydraulischen Presse.

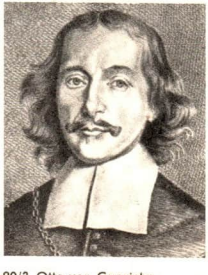
Im Laufe der Geschichte haben die Menschen auch gelernt, die Energie des strömenden Wassers und des Windes zu nutzen. Anfangs sind einfache Wasserräder und Windmühlen errichtet worden. Heute tragen Wasserkraftwerke und in einigen Ländern auch Windkraftwerke zur Sicherung der Energieversorgung bei.

Frühzeitig gelang es den Menschen, das Meer zu erobern. Vor Jahrhunderten beherrschten sie bereits den Bau einfacher Schiffe, die von der Auftriebskraft in ruhendem Wasser getragen und von der Kraft der strömenden Luft vorwärts bewegt wurden.

Wichtige Erkenntnisse für den Flugzeugbau wurden jedoch erst am Ende des vergangenen Jahrhunderts gewonnen. Seitdem ist es möglich, mit Flugzeugen, die von der Auftriebskraft in umströmender Luft getragen und von der Zugkraft eines Motors vorwärts bewegt werden, durch die Luft zu fliegen. Daraufhin entwickelten sich Flugzeugbau und Luftverkehr sehr rasch. ① ② ③

80/1 Evangelista Torricelli (1608 bis 1647)

80/2 Blaise Pascal (1623 bis 1662)



80/3 Otto von Guericke (1602 bis 1686)

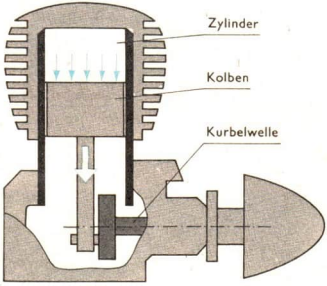
---

① Erläutere Beispiele für die Anwendung von Druckluft!
② Erkunde bei der produktiven Arbeit, ob Druckluft und Flüssigkeiten zur Kraftübertragung angewendet werden!
③ Erläutere Beispiele für die Nutzung der Energie strömender Gase und Flüssigkeiten!

Ein Fahrzeugreifen ist erst dann funktionstüchtig, wenn er mit Luft gefüllt ist. Warum muß man aber häufig kontrollieren, daß nicht zu viel oder zu wenig Luft im Reifen ist?

## Physikalische Bedeutung des Gasdrucks

Wird im Zylinder eines Motors (Bild 81/2) ein Gemisch aus Kraftstoff und Luft verbrannt, so entstehen Verbrennungsgase. Diese haben einen **Druck**. Durch den Druck greift eine Kraft am Kolben an und setzt ihn in Bewegung.
Im Motor, im Fahrradschlauch und auch in anderen gasgefüllten Gefäßen treten durch den Gasdruck Kräfte auf.

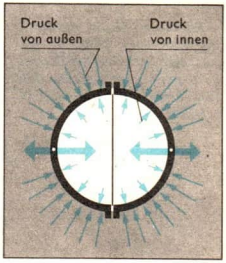



81/2 Flugmodellmotor

Im Jahre 1654 führte Otto von Guericke ein Experiment vor, das damals großes Erstaunen hervorrief: Er fügte zwei hohle Halbkugeln aus Kupferblech zusammen und entfernte daraus mit einer Pumpe die Luft weitgehend. Je acht Pferde, die an den beinahe luftleeren Halbkugeln zogen, vermochten diese nicht zu trennen (Bild 82/1). Das Versuchsergebnis kann man wie folgt erklären: Auf die beiden Halbkugeln (Bild 82/2) wirkt von außen der Druck der umgebenden Luft. Er wird als **Luftdruck** bezeichnet. Der Luftdruck ist größer als der Gasdruck im Innern der beinahe luftleeren Halbkugeln. Durch den Druckunterschied ist die Kraft, die von außen an den Halbkugeln angreift, größer als die innen angreifende Kraft und die Zugkraft der Pferde zusammen.
Im aufgepumpten Fahrradschlauch ist innen der Druck größer als der äußere Luftdruck.

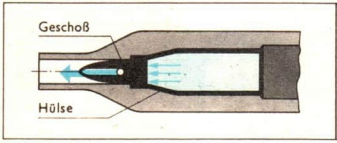
Die Druckdifferenz bezeichnet man als **Überdruck**. Ist der Überdruck zu groß, dann kann der Schlauch platzen.

82/1

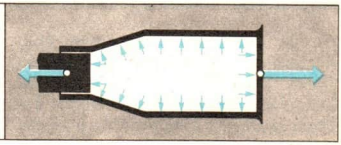



82/2

Beim Schießen wird das Pulver in der Patrone zur Explosion gebracht. Durch den Druck der Pulvergase greift am Geschoß eine Kraft an, wodurch dieses abgefeuert wird (Bild 82/3).




82/3



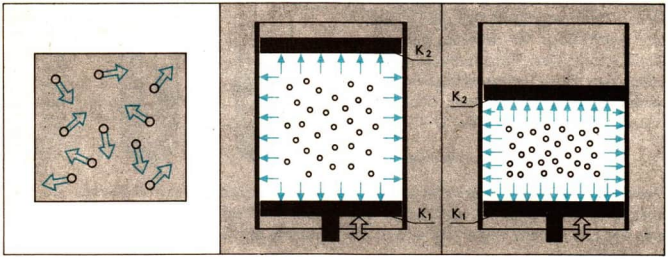
82/4

Diese und andere Beispiele aus Natur und Technik zeigen:

▶ **Der Druck ist eine Eigenschaft der Gase. Durch den Gasdruck treten Kräfte auf. Je größer der Gasdruck ist, desto größer sind die Kräfte.**

**Unterschied zwischen Gasdruck und Kraft.** Die Kraft ist eine physikalische Größe, die durch Betrag, Richtung und Angriffspunkt gekennzeichnet ist.
Der Gasdruck wirkt auch auf die Gefäßwände (Bild 82/4). Die an den Gefäßwänden angreifenden Kräfte wirken senkrecht auf diese.
Durch den Gasdruck allein können jedoch Betrag, Richtung und Angriffspunkt wirkender Kräfte nicht eindeutig angegeben werden.
**Kraft und Druck haben unterschiedliche Merkmale. In einem geschlossenen Gefäß wirkt der Gasdruck in alle Richtungen.**
**Infolge des Gasdrucks wirkende Kräfte greifen an den Oberflächen von Körpern senkrecht an.**

**Erläuterung des Gasdrucks mit den Vorstellungen vom Aufbau der Gase.** Die Moleküle eines Gases bewegen sich ungeordnet (Bild 83/1).
Die ungeordnete Bewegung der Gasmoleküle kann man mit einem Experiment veranschaulichen. Statt der Moleküle benutzt man kleine Kugeln, als Gasbehälter einen quaderförmigen Kasten.




83/1 83/2 83/3

15 ▼ Die ungeordnete Bewegung der Kugeln wird durch den auf und nieder schwingenden Kolben $K_1$ erzeugt (Bild 83/2).
Beim Betrieb des Apparats bewegen sich die Kugeln lebhaft hin und her, stoßen aneinander und an alle Wände. Ein Körper im Innern des Behälters wäre ebenfalls den ungeordneten Stößen der Kugeln ausgesetzt.
Erhöht man die Geschwindigkeit der Kugeln, so stoßen sie heftiger an die Gefäßwände. Verringert man das Volumen zwischen den Kolben, so stoßen die Kugeln häufiger an die Gefäßwände (Bild 83/3).

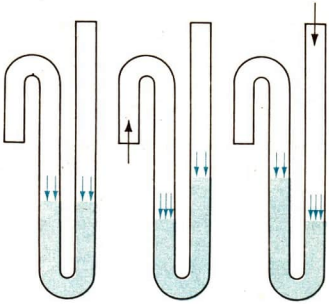
Ähnlich wie die Kugeln im Experiment verhalten sich die Gasmoleküle.
**Je heftiger und je häufiger die Moleküle an die Wände von Gefäßen stoßen, desto größer ist der Gasdruck.**
Befindet sich ein Gas in einem geschlossenen Gefäß, so stoßen die Moleküle des Gases gleich heftig und gleich häufig sowohl an die Gefäßwände als auch an die Oberflächen von Körpern im Innern des Gefäßes. Das bedeutet:
**Der Gasdruck ist in einem geschlossenen Gefäß überall annähernd gleich und wirkt in alle Richtungen.** ④

**Nachweis von Druckunterschieden mit einem U-Rohr-Manometer.** Meßgeräte für den Druck heißen *Manometer*.

---

① Blase einen Luftballon auf, bis er platzt! Beschreibe die beobachteten Erscheinungen! Erkläre diese mit den Begriffen Druck und Kraft!
② Erläutere an Beispielen aus Natur und Technik, daß durch den Gasdruck Kräfte auftreten!
③ Ein Autoreifen verformt sich, wenn das Auto über einen Stein oder über eine Kante fährt. Danach nimmt der Reifen wieder die ursprüngliche Form an. Wie ist das mit der Wirkung des Drucks der Luft im Reifen zu erklären?
④ Erläutere folgende Aussage mit den Vorstellungen über den Aufbau der Gase: Eine Vergrößerung des Gasvolumens führt zu einer Verringerung des Gasdrucks!
Warum gilt dies nur unter der Voraussetzung, daß die Temperatur konstant ist?

Eine Ausführungsform ist das U-Rohr-Manometer (Bild 84/1). Füllt man das U-Rohr mit Wasser, so steht es in beiden Schenkeln gleich hoch, wenn der Druck auf beiden Seiten der gleiche ist. Erhöht man auf einer Seite des U-Rohres den Druck, dann verschiebt sich die Flüssigkeit und weicht nach der Seite des geringeren Drucks aus. Der Höhenunterschied zwischen den Flüssigkeitsoberflächen in den beiden Schenkeln hängt vom Druckunterschied auf beiden Seiten des U-Rohres ab.



84/1 U-Rohr-Manometer

**Veränderung des Gasdrucks in geschlossenen Gefäßen.** Verschließt man die Öffnung einer Luftpumpe mit dem Finger und schiebt den Kolben hinein, so wird das Volumen der Luft in der Pumpe verkleinert. Die Erhöhung des Gasdrucks ist am Finger durch eine größere Kraft zu spüren.
Ist ein Fahrzeugreifen längere Zeit einer sehr starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt, so steigt der Druck im Reifen erheblich an.
Die beiden Möglichkeiten, den Gasdruck durch Verkleinerung des Gasvolumens oder durch Erhöhung der Temperatur zu vergrößern, können wir im Experiment überprüfen.

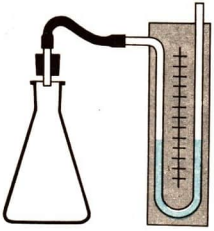
16 Erhöhe auf zwei Arten den Druck der Luft in einem Erlenmeyerkolben (Bild 84/2)!

**Durchführung**

1. Drücke den Stopfen in den Hals des Erlenmeyerkolbens! Was verändert sich im U-Rohr-Manometer?
2. Erwärme den Erlenmeyerkolben mit der Hand! Beobachte auch dabei das U-Rohr-Manometer!

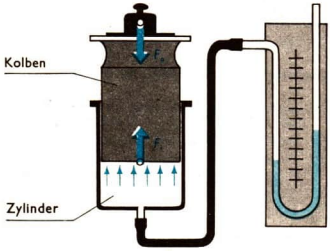
**Auswertung**

1. Beschreibe, wie Du das Experiment durchgeführt, und was Du jeweils im U-Rohr-Manometer beobachtet hast!
2. Erkläre das Verhalten des Wassers im U-Rohr-Manometer!



84/2 Experimentieranordnung

17 Ein luftgefüllter Kolbenprober wird an ein U-Rohr-Manometer angeschlossen. Durch den beweglichen Kolben besteht die Möglichkeit, das Luftvolumen und damit auch den Druck der Luft im Zylinder des Kolbenprobers zu verändern (Bild 84/3).
Wenn der bewegliche Kolben ruht, dann ist die infolge des Gasdrucks angreifende Kraft $F_i$ so groß wie die außen am Kolben angreifende, entgegengesetzt gerichtete Kraft $F_a$. Ist eine der beiden Kräfte größer als die andere, dann bewegt sich der Kolben, bis beide Kräfte gleich groß sind.
① ②

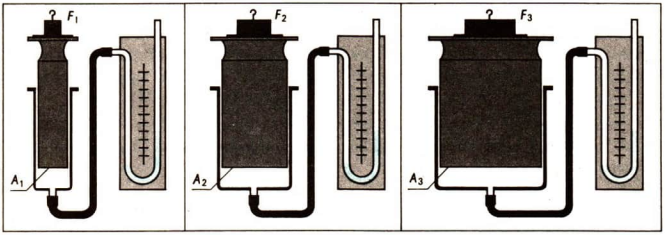



84/3 Kolbenprober und U-Rohr-Manometer

## Definitionsgleichung des Drucks

Die Kraft, die durch den Gasdruck auf einen Körper wirkt, hängt nicht allein vom Druck ab. Sie ist auch vom Flächeninhalt der Oberfläche des Körpers abhängig. Davon können wir uns in einem Experiment überzeugen:

18 ▼ Luftgefüllte Kolbenprober mit Kolben verschieden großen Querschnittsflächen sind an U-Rohr-Manometer angeschlossen. In allen Kolbenprobern ist der Druck gleich (Bild 85/1).




85/1

Die Meßwerte für die Kräfte, die senkrecht an den Kolben angreifen, und für die Querschnittsflächen der Kolben sind in der Tabelle angegeben. Die Tabelle enthält auch die Quotienten der Kräfte und der jeweiligen Querschnittsflächen der Kolben.

| Kolbenprober | $F$ in N | $A$ in cm² | $A$ in m² | $\frac{F}{A}$ in $\frac{N}{m^2}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,04 | 1,2 | 0,00012 | 330 |
| 2 | 0,10 | 3,0 | 0,00030 | 330 |
| 3 | 0,20 | 6,0 | 0,00060 | 330 |

Wir erkennen:
Die bei gleichem Druck senkrecht an den Kolben angreifenden Kräfte hängen vom Betrag der Querschnittsflächen der Kolben ab. Bei doppelt so großer Querschnittsfläche des Kolbens ist die senkrecht angreifende Kraft auch doppelt so groß.
Bei ähnlichen Experimenten ist ebenfalls zu erkennen:
Die bei gleichem Druck senkrecht am Kolben angreifende Kraft ist dessen Querschnittsfläche proportional. Bei gleichem Druck stimmen die Quotienten dieser beiden Größen überein. Diese Quotienten sind zur Berechnung des Drucks geeignet.

---

① Beschreibe, wie man mit einem U-Rohr-Manometer Druckunterschiede nachweisen kann!
② Ein schwach aufgeblasener Luftballon befindet sich unter einer Glasglocke. Wenn man die Luft zwischen Ballon und Glasglocke auspumpt, bläht sich der Ballon auf. Erkläre diesen Vorgang!

Der Druck wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \quad \textbf{(Kraft senkrecht zur Fläche gerichtet)}$$

Bei dem beschriebenen Experiment sind Fehler unvermeidlich. Sie treten auf als *Fehler durch die Experimentieranordnung* (Reibung zwischen Kolben und Zylinder), *Fehler der Meßgeräte* (ungenaue Angaben auf Hakenkörpern) und *persönliche Fehler* (ungenaue Bestimmung der Querschnittsflächen der Kolben). ① ② ③
Durch diese Fehler kann das Ergebnis des Experiments erheblich beeinträchtigt werden. Man kann diese Fehler klein halten, indem zum Beispiel der Kolben gefettet wird und die Angaben auf den Hakenkörpern mit einem Kraftmesser überprüft werden.

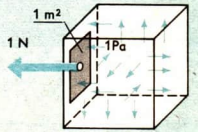
**Formelzeichen und Einheit des Drucks.** Der Druck wird mit dem Formelzeichen $p$ bezeichnet. Damit kann die Gleichung zur Berechnung des Drucks kürzer geschrieben werden.

$$p = \frac{F}{A} \quad (F \perp A)$$

Bei der Berechnung des Drucks erhält man die Einheit $1\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. Dafür ist die Bezeichnung **ein Pascal** (gesprochen: paskal; abgekürzt: Pa) festgelegt. Damit werden die wissenschaftlichen Leistungen von Blaise Pascal gewürdigt, der den Druck in Gasen und Flüssigkeiten untersucht hat.

**Wenn Gase den Druck 1 Pa haben und auf einen Körper wirken, dann greift an 1 m² Oberfläche des Körpers eine Kraft von 1 N senkrecht an.**

$$1\,\text{Pa} = \frac{1\,\text{N}}{1\,\text{m}^2} \qquad 1\,\text{Pa} = 1\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$




Ein Pascal ist eine sehr kleine Einheit.
In Flaschen, wie sie zum Aufbewahren des zum Schweißen erforderlichen Gases verwendet werden, greift an jedem Quadratmeter Fläche eine Kraft von 15000000 N an. Das entspricht einem Druck von 15000000 Pa. Um solche großen Zahlen zu vermeiden, werden in der Praxis größere Druckeinheiten verwendet. Diese sind ein Kilopascal (1 kPa) und ein Megapascal (1 MPa).
Es gilt:

1 kPa = 1 000 Pa
1 MPa = 1 000 000 Pa

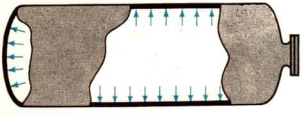
■ 2,8 kPa = 2 800 Pa
11,5 MPa = 11 500 000 Pa

Bei einem Druck von 1 MPa greift an einer 1 m² großen Fläche eine Kraft von 1 000 000 N an. Oft sind die Flächen, auf die der Druck wirkt, jedoch kleiner als 1 m². Bei gleichem

Druck greift an einer 1 cm² großen Fläche nur $\frac{1}{10\,000}$ der an 1 m² wirkenden Kraft an. Das ist eine Kraft von 100 N.

■ **An 100 m² Innenfläche eines Gasbehälters greift die Kraft 200 MN an. Berechne den Gasdruck im Behälter (Angabe in MPa)!**

*Analyse:*



Gesucht: $p$ in MPa
Gegeben: $F = 200$ MN
$A = 100$ m²
(noch zu berechnen:
$F = 200\,000\,000$ N)

87/1

*Lösung:*

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

$$p = \frac{200\,000\,000 \text{ N}}{100 \text{ m}^2}$$

$$p = 2\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, \quad p = 2\,000\,000 \text{ Pa}$$

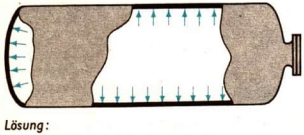
$$\underline{\underline{p = 2 \text{ MPa}}}$$

*Ergebnis:*

Der Druck im Gasbehälter beträgt 2 MPa.

■ **In einem Gasbehälter beträgt der Druck 200 kPa. Welche Kraft greift an einer 1 cm² großen Fläche der Wand des Gasbehälters an?**

*Analyse:*



Gesucht: $F$ in N
Gegeben: $p = 200$ kPa
$A = 1$ cm²
(noch zu berechnen:
$p = 200\,000$ Pa)

87/2

*Lösung:*

Wenn der Druck 200 000 Pa beträgt, dann greift an einer 1 m² großen Fläche eine Kraft von 200 000 N an.
Da 1 m² = 10 000 cm², folgt
und

$$1 \text{ m}^2 \mathrel{\widehat{=}} 200\,000 \text{ N}$$
$$10\,000 \text{ cm}^2 \mathrel{\widehat{=}} 200\,000 \text{ N}$$
$$\underline{\underline{1 \text{ cm}^2 \mathrel{\widehat{=}} 20 \text{ N}}}$$

*Ergebnis:* An 1 cm² Behälterwand greift eine Kraft von 20 N an. ④ ⑤

---

① Erläutere die Zusammenhänge zwischen Druck und Kraft sowie zwischen Kraft und Fläche! Welche Größe muß jeweils konstant sein?

② Ein gasgefülltes Gefäß ist mit zwei Kolben verschlossen. An den Kolben greifen infolge des Gasdrucks Kräfte an. Wie unterscheiden sich die beiden Kräfte, wenn die Querschnittsfläche des einen Kolbens doppelt so groß wie die des anderen ist?

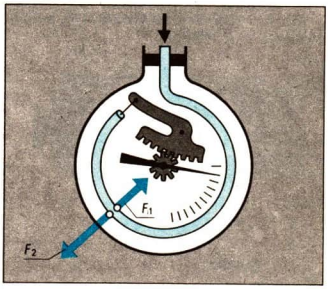
③ Wie ändert sich der Druck in einem Gas, wenn die Kraft am Kolben eines geschlossenen Gefäßes verdreifacht wird?

④ Infolge des Gasdrucks greift an der 0,5 m² großen und 3 cm starken Wand eines Behälters eine Kraft von 50000 N an. Wie groß ist der Gasdruck?

⑤ In einer Gasflasche beträgt der Druck 5 MPa. Welche Kraft greift an der etwa 100 cm² großen Bodenfläche der Flasche infolge des Gasdrucks an?

**Röhrenfedermanometer.** (Bild 88/1) Dieses Gerät dient zur Druckmessung. Dabei wird der physikalische Zusammenhang von Druck, Kraft und Fläche genutzt.

Das Röhrenfedermanometer besteht aus einer gekrümmten dünnen elastischen Röhre. Ihr verschlossenes Ende ist über ein Hebelsystem mit einem Zeiger verbunden. Schließt man das Meßgerät an das Gefäß an, in dem der Gasdruck gemessen werden soll, so strömt das Gas in die Röhre. Durch den Gasdruck treten Kräfte auf. Die Kraft $F_1$ krümmt die Röhre, die Kraft $F_2$ streckt sie. Die Kraft $F_2$ ist größer, da der Druck an einer größeren Fläche der Röhre wirksam ist. Der Unterschied der Kräfte führt zu einer Streckung der Röhre. Diese Streckung wird auf den Zeiger übertragen. ①



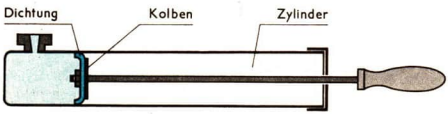
88/1 Röhrenfedermanometer

Kraftfahrer kontrollieren häufig den Druck in den Reifen (Bild 81/1). Dazu müssen sie möglichst genau anzeigende Manometer verwenden. Ist der Druck im Reifen niedriger als vorgeschrieben, was bei ungenauer Manometeranzeige unbemerkt bleiben kann, so steigt infolge größerer Reibungskraft der Kraftstoffverbrauch unnötig an. Zugleich sinkt die Lebensdauer des Reifens durch die stärkere Verformungsarbeit am Reifen. Wird ständig mit zu geringem Reifendruck gefahren, dann kann der Reifen plötzlich platzen.

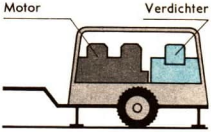
■ Fahrtests mit einem Pkw Trabant ergaben:

| Reifendruck | Kraftstoffverbrauch für 100 km |
|---|---|
| 140 kPa | 6,8 l |
| 100 kPa | 7,4 l |

**Erzeugung und Anwendung von Druckluft.** Ein einfaches technisches Gerät zur Erzeugung von Druckluft ist die *Luftpumpe* (Bild 88/2). Wesentliche Bestandteile sind Zylinder und Kolben. Mit Hilfe einer Kraft, die am Kolben angreift, wird das Volumen der Luft im Zylinder verkleinert und dadurch der Druck der Luft erhöht. Luft mit hohem Druck bezeichnet man als **Druckluft**. Ein *Kompressor* ist eine Anlage, mit der Druckluft maschinell erzeugt wird (Bild 88/3).

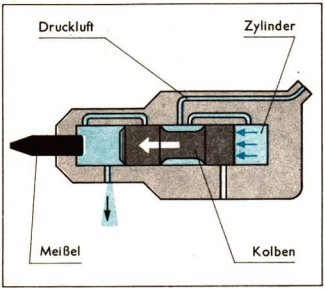


88/2 Luftpumpe

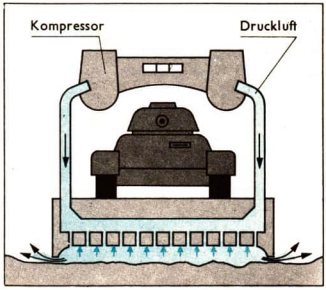


88/3 Kompressor

Mit Druckluft betriebene Werkzeuge werden eingesetzt, um den Menschen das Arbeiten zu erleichtern. Wesentliche Bestandteile dieser Werkzeuge sind Zylinder und Kolben. Gelangt Druckluft in den Zylinder, so greift am Kolben eine Kraft an. Der Kolben schlägt auf den Meißel (Bild 89/1).




89/1 Drucklufthammer




89/2 Luftkissenfahrzeug

Beim *Luftkissenfahrzeug* (Bild 89/2) greift durch den Druck der Luft eine Kraft am Fahrzeug an und hebt es vom Boden ab. Dabei entweicht Luft zwischen Fahrzeug und Boden. Vom Kompressor erzeugte Druckluft muß deshalb ständig dem Luftkissen zugeführt werden.

## Zusammenfassung

| Physikalische Größe | Bedeutung | Formelzeichen | Gleichung | Einheit |
|---|---|---|---|---|
| Druck | Druck ist eine Eigenschaft der Gase. Durch den Druck treten Kräfte auf. Die Kräfte greifen an den Oberflächen von Körpern senkrecht an. | $p$ | $p = \frac{F}{A}$ ($F \perp A$) | $1\ \text{Pa} = 1\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ (ein Pascal) |
| Meßgerät: U-Rohr-Manometer, Röhrenfedermanometer | | | | |

① Beschreibe den Aufbau eines Röhrenfedermanometers! Erkläre die Wirkungsweise!

Bei Patienten von Ärzten, aber auch bei Sportlern und Kosmonauten wird regelmäßig der Blutdruck kontrolliert. Bei normalem Blutdruck erfolgt eine ausreichende Versorgung des Körpers mit Blut.
Warum darf jedoch der Blutdruck nicht zu hoch sein?

## Physikalische Bedeutung des Flüssigkeitsdrucks

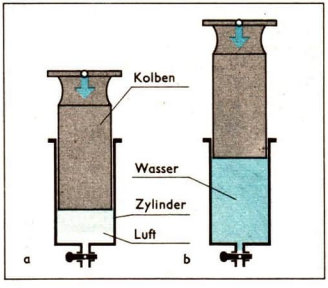
Durch Krankheiten kann das Blut in den Blutgefäßen einen unnormal hohen Druck haben. Ein hoher Blutdruck kann sich in solch starken Kräften äußern, daß Blutgefäße platzen. Tritt dies im Gehirn auf, so kommt es zu Lähmungserscheinungen durch das Einwirken des ausgeflossenen Blutes auf das Gehirn. Man spricht von einem Schlaganfall.
Vielfach werden Flüssigkeiten in Rohrleitungen transportiert. Die Flüssigkeiten stehen unter Druck. Zu Schäden an Wasserleitungen kommt es dadurch, daß an einer Stelle die Kraft zu groß ist, die infolge des Wasserdrucks am Leitungsrohr angreift.
Man kann beobachten, daß aus einem geplatzten Schlauch Wasser ausfließt. ①

▶ **Durch den Flüssigkeitsdruck treten Kräfte auf. Je größer der Druck ist, um so größer sind die Kräfte. Die Kräfte greifen senkrecht an den Oberflächen von Körpern an, auf die die Flüssigkeit einwirkt.**

**Kompressibilität.** In einem durch einen Kolben abgeschlossenen Gefäß, das mit Flüssigkeit gefüllt ist, kann man einen Druck erzeugen, indem eine Kraft auf den Kolben wirkt. Bei der Erzeugung des Drucks wird eine Eigenschaft der Flüssigkeiten aus-

genutzt, durch die sie sich von Gasen unterscheiden. Diese Eigenschaft kann man in zwei Experimenten erkennen.

19 ▼ Der Kolben wird in den Zylinder eines geschlossenen Kolbenprobers gedrückt. Der Kolbenprober ist beim ersten Experiment mit Luft, beim zweiten mit Wasser gefüllt (Bild 91/1 a, b).
Ist Luft im Kolbenprober, so kann man den Kolben weit in den Zylinder hineinstoßen. **Die Luft ist zusammendrückbar,** sie ist kompressibel. Bei Wasserfüllung läßt sich der Kolben nicht in den Zylinder drücken. **Wasser ist kaum zusammendrückbar.** Gleiches gilt für andere Flüssigkeiten.

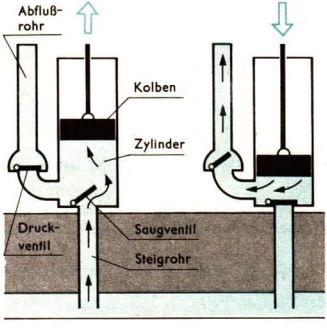


91/1

Man sagt:
Gase haben eine große und Flüssigkeiten eine sehr kleine **Kompressibilität**. Die Kompressibilität der Flüssigkeiten ist so klein, daß man sie meist unberücksichtigt lassen kann.

**Druckpumpe** (Bild 91/2). Sie wird zur Förderung von Wasser verwendet. Dabei werden die geringe Kompressibilität des Wassers und der Zusammenhang von Kraft und Druck genutzt.

Die Hauptteile der Druckpumpe sind das Steigrohr, der Zylinder, der Kolben, das Saug- und das Druckventil sowie das Abflußrohr. Die Ventile lassen das Wasser nur in einer Richtung hindurch. Beim Hub des Kolbens wird der Druck im Zylinder kleiner als der Luftdruck. Dadurch greift am Wasser eine Kraft an. Es gelangt über Steigrohr und Saugventil in den Zylinder. Schiebt man den Kolben in den Zylinder zurück, so wird das Wasser über das Druckventil in das Abflußrohr gepreßt, da das Wasser im Zylinder fast nicht zusammendrückbar ist. ②



91/2 Druckpumpe

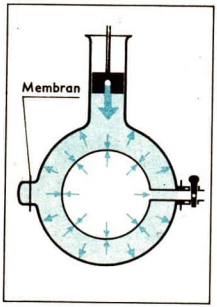
Beispiele in Natur und Technik zeigen, daß bei Gasen und bei Flüssigkeiten in geschlossenen Behältern infolge des Drucks Kräfte auftreten. Diese Kräfte greifen senkrecht an

---

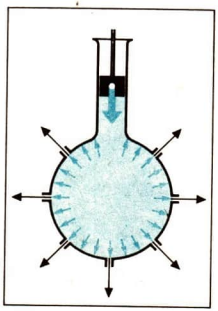
① Erläutere Beispiele für das Auftreten von Kräften infolge des Flüssigkeitsdrucks!
② Beschreibe den Aufbau einer Druckpumpe! Erläutere ihre Wirkungsweise!

den Behälterwänden und auch an den Oberflächen von Körpern an, die sich innerhalb der Gase und Flüssigkeiten befinden.

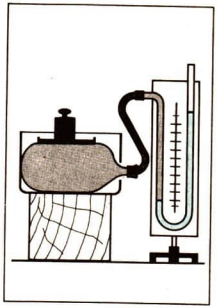
Merkmale des Gasdrucks gelten auch für den Flüssigkeitsdruck (Bilder 92/1, 92/2, 92/3).




92/1 Ein mit Wasser gefülltes Gefäß ist mit einer Membran verschlossen. Im Innern des Gefäßes befindet sich eine luftgefüllte kugelförmige Gummiblase. Erhöht man den Druck im Wasser, so wölbt sich die Membran nach außen, und das Volumen der Gummiblase verkleinert sich. Sie bleibt aber rund.



92/2 Füllt man eine Kugelspritze mit Wasser und erhöht den Druck, so spritzt das Wasser aus allen Öffnungen annähernd gleichmäßig aus.
Das ist ein Beleg dafür, daß der Druck in Flüssigkeiten allseitig wirkt und überall annähernd gleich ist.



92/3 Auf dem wassergefüllten Luftballon befindet sich eine Plastescheibe, auf die ein Wägestück aufgelegt ist. Legt man verschiedene Wägestücke jeweils auf die gleiche Plastescheibe, so ist der Druck um so größer, je größer die Gewichtskraft ist. Legt man jeweils das gleiche Wägestück auf verschieden große Plastescheiben, so ist der Druck um so größer, je kleiner die Plastescheiben sind.

Der Druck wirkt allseitig und ist in einem geschlossenen Gefäß überall annähernd gleich.
Druck und Kraft sind bei gleichem Flächeninhalt einander proportional. Kraft und Flächeninhalt sind bei gleichem Druck ebenfalls einander proportional.

Den Druck berechnet man mit der Gleichung $p = \frac{F}{A}$ ($F \perp A$). In dieser Gleichung bedeuten

$p$ den Druck,

$F$ die Kraft,

$A$ den Flächeninhalt der Oberfläche des Körpers, an dem die Kraft senkrecht angreift.

Wenn wir in diese Gleichung die Kraft in N und den Flächeninhalt in m² einsetzen, dann ergibt sich der Druck in Pa. Beträgt der Druck 1 Pa, dann greift an einer 1 m² großen Fläche eine Kraft von 1 N an. ① ②

*Beispiele für Drücke in Natur und Technik*

| Haushalt | Biologie/Medizin | Technik |
|---|---|---|
| Wasserleitung<br>etwa 400 kPa<br>Erdgas<br>etwa 2 kPa<br>Stadtgas<br>etwa 0,8 kPa<br>Propan<br>etwa 3 kPa | Blutdruck des Menschen<br>etwa 18 kPa und 12 kPa<br>(oberer und unterer Meßwert)<br>Augendruck des Menschen<br>etwa 2,2 kPa | Druckluft in Betrieben 300 kPa<br>Reifendruck (Pkw) etwa 200 kPa<br>Gasflaschen für Schweißgas<br>Fülldruck 15 000 kPa<br>Bremsdruck<br>a) Eisenbahn etwa 500 kPa<br>b) Autobus etwa 600 kPa |

③

## Zusammenfassung

| Größe | Physikalische Bedeutung | Erläuterung (nur Gasdruck) | Formelzeichen | Gleichung | Einheit |
|---|---|---|---|---|---|
| Kraft | Mit der Kraft wird angegeben, wie stark ein Körper auf einen anderen Körper einwirkt. | | $F$ | | 1 N |
| Druck | Durch den Druck treten Kräfte auf. Die Kräfte greifen an der Oberfläche von Körpern senkrecht an. | Je heftiger und je häufiger die Moleküle an die Oberfläche von Körpern stoßen, desto größer ist der Druck. | $p$ | $p = \frac{F}{A}$<br>$(F \perp A)$ | $1\ \text{Pa} = 1\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ |
| Meßgerät für Kraft: Federkraftmesser | | | | | |
| Meßgeräte für Druck: U-Rohr-Manometer, Röhrenfedermanometer | | | | | |

① Man steigert den Druck eines Gases oder einer Flüssigkeit in einem abgeschlossenen Gefäß mit Hilfe einer Kraft am Kolben von 1 MPa auf 2 MPa. Wie verändert sich dadurch die Kraft auf die Gefäßwand?

② Ein Kolben mit einer Querschnittsfläche von 25 cm² wird mit einer Kraft von 10000 N in einen mit Öl gefüllten Zylinder gedrückt. Wie groß ist dadurch der Druck in der Flüssigkeit?

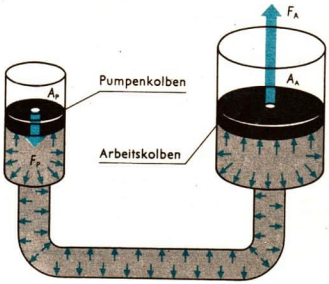
③ Wie groß ist die Kraft, die an einer Fläche von 10 cm² eines Wasserleitungsrohres bzw. einer Druckluftleitung angreift?

Hydraulische Anlagen werden eingesetzt, um mit wenig Kraftaufwand große Kräfte zu erzeugen. Hydraulische Pressen verwendet man in der Fahrzeugindustrie zum Verformen von Blechteilen und in der Möbelindustrie zum Aufpressen von Furnieren.
Wie müssen hydraulische Anlagen konstruiert sein, damit eine Vergrößerung der aufgewendeten Kraft erreicht wird?

## Aufbau und Wirkungsweise hydraulischer Anlagen

Hydraulische Anlagen bestehen aus zwei Zylindern mit verschieden großen Querschnittsflächen.

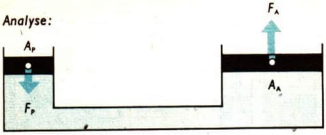
Die Zylinder sind mit Kolben verschlossen und durch eine Rohrleitung verbunden (Bild 94/2). In hydraulischen Anlagen wird genutzt, daß der Druck der Flüssigkeiten allseitig wirkt und in geschlossenen Gefäßen überall annähernd gleich ist. Am kleineren Kolben wird eine Kraft aufgewendet, am größeren Kolben wirkt eine zweite Kraft. Der kleinere Kolben wird als Pumpenkolben, der größere als Arbeitskolben bezeichnet.




94/2

■ Der Pumpenkolben einer hydraulischen Anlage hat eine Querschnittsfläche von $A_P = 50\ cm^2$. An diesem Kolben wird eine Kraft von 80 N aufgewendet. Der Arbeitskolben hat eine Querschnittsfläche von $A_A = 500\ cm^2$.
a) Wie groß ist der Druck in der hydraulischen Anlage?
b) Welche Kraft greift am Arbeitskolben an?

*Analyse:*




Gesucht: a) $p$ in Pa
b) $F_A$ in N

Gegeben: $F_P = 80$ N
$A_P = 50$ cm² $\quad A_P = 0{,}005$ m²
$A_A = 500$ cm² $\quad A_A = 0{,}050$ m²

95/1

*Plan zur Lösung:*
Aus der Kraft $F_P$ und dem Flächeninhalt $A_P$ kann der Druck $p$ in der hydraulischen Anlage berechnet werden.
Aus dem Druck $p$ und dem Flächeninhalt $A_A$ kann die Kraft berechnet werden, die am Arbeitskolben angreift.

*Lösung:*

a) $p = \frac{F_P}{A_P}$

$p = \frac{80\ \text{N}}{0{,}005\ \text{m}^2}$

$\underline{\underline{p = 16\,000\ \text{Pa}}}$

b) Bei einem Druck von 16000 Pa greift an 1 m² Fläche eine Kraft von 16000 N an.

An 1 cm² Fläche greift $\frac{1}{10\,000}$ dieser Kraft an.

An 500 cm² Fläche greift eine 500fache Kraft an.

$1\ \text{m}^2 \mathrel{\hat{=}} 16\,000\ \text{N}$

$1\ \text{cm}^2 \mathrel{\hat{=}} \frac{16\,000\ \text{N}}{10\,000} = 1{,}6\ \text{N}$

$500\ \text{cm}^2 \mathrel{\hat{=}} 500 \cdot 1{,}6\ \text{N}$

$F_A = 800\ \text{N}$

*Ergebnis:*
a) Der Druck in der hydraulischen Anlage beträgt 16 kPa.
b) Am Arbeitskolben greift eine Kraft von 800 N an.

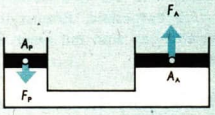
Bei dieser hydraulischen Anlage wird die aufgewendete Kraft verzehnfacht, weil die Querschnittsfläche des Arbeitskolbens zehnmal so groß wie die des Pumpenkolbens ist. Zu entsprechenden Ergebnissen gelangt man bei hydraulischen Anlagen mit anderen Querschnittsflächen der Kolben.

Für alle hydraulischen Anlagen gilt:
**Um eine Vergrößerung der aufgewendeten Kraft zu erreichen, muß der Arbeitskolben eine vielfach größere Querschnittsfläche als der Pumpenkolben haben.**

**Gesetz für hydraulische Anlagen:**

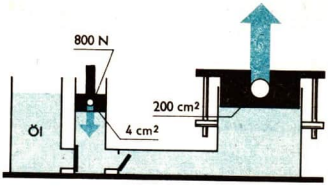
▶ **Das Verhältnis der Kräfte ist gleich dem Verhältnis der Querschnittsflächen der Kolben.**

$$\frac{F_A}{F_P} = \frac{A_A}{A_P}$$



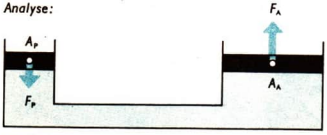

Dieses Gesetz ist nur dann exakt gültig, wenn man die Reibung zwischen den Kolben und den Zylindern vernachlässigen kann. Die Massen der Kolben werden in diesem Gesetz nicht berücksichtigt.

■ Bei einer hydraulischen Presse wird am Pumpenkolben eine Kraft von 800 N aufgewendet (Bild 96/1).
Welche Kraft ist am Arbeitskolben wirksam?




96/1

*Analyse:*




96/2

Gesucht: $F_A$ in N

Gegeben: $F_P = 800$ N
$A_P = 4$ cm²
$A_A = 200$ cm²

*Lösung:*
Die Fläche des Arbeitskolbens ist 50mal so groß wie die des Pumpenkolbens. Daraus folgt: Die Kraft am Arbeitskolben ist 50mal so groß wie die Kraft am Pumpenkolben.
Da $F_P = 800$ N, beträgt $F_A = 40000$ N.

**Oder**

$$\frac{F_A}{F_P} = \frac{A_A}{A_P} \quad \text{oder} \quad \frac{F_A}{F_P} = \frac{A_A}{A_P}$$

$$F_A = \frac{A_A}{A_P} \cdot F_P$$

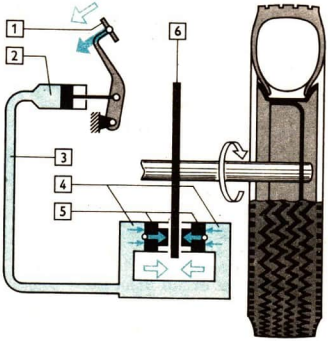
$$\frac{F_A}{800\ \text{N}} = \frac{200\ \text{cm}^2}{4\ \text{cm}^2} \qquad F_A = \frac{200\ \text{cm}^2}{4\ \text{cm}^2} \cdot 800\ \text{N}$$

$$F_A = 40\,000\ \text{N} \qquad F_A = 40\,000\ \text{N}$$

*Ergebnis:*
Bei der hydraulischen Presse ist am Arbeitskolben eine Kraft von 40 kN wirksam.

① ② ③ ④

**Hydraulische Bremse.** Pkw haben hydraulische Bremsen. Bei diesen Bremsen wird der Flüssigkeitsdruck zur Kraftübertragung genutzt, um die Bremskraft des Fahrers zu vergrößern.
Die Hauptteile der Bremsanlage sind in Bild 96/3 dargestellt. Bremszylinder und Bremsleitungen sind mit einer Bremsflüssigkeit gefüllt.




96/3 Scheibenbremse, schematische Darstellung
1 Bremspedal
2 Hauptbremszyiinder mit Kolben
3 Bremsleitung
4 Radbremszylinder
5 Bremskolben mit Bremsbelägen
6 Bremsscheibe

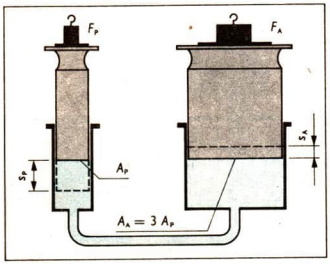
Die Bremsanlage arbeitet wie folgt:
Die Kraft, die der Fahrer mit dem Fuß auf das Bremspedal ausübt, wird zunächst über den Kolben im Hauptbremszylinder auf die Bremsflüssigkeit und durch diese auf die Bremskolben übertragen. Da deren Querschnittsfläche insgesamt größer als die des Kolbens im Hauptbremszylinder ist, wird eine Vergrößerung der Bremskraft erreicht. Die Bremsung erfolgt durch Reibung zwischen der Bremsscheibe und den Bremsbelägen. ⑤ ⑥

Die beschriebene hydraulische Bremse bezeichnet man als Scheibenbremse. Eine andere Art ist die Trommelbremse (↗ S. 138). Bei dieser erfolgt die Bremsung zwischen den Bremsbelägen und der Bremstrommel, einem mit dem Rad fest verbundenen und sich mitdrehenden zylindrischen Körper.
Die Übertragung der Bremskraft erfolgt bei beiden Bremsen durch die Bremsflüssigkeit.

## Goldene Regel der Mechanik bei hydraulischen Anlagen

Bei losen Rollen, Flaschenzügen und geneigten Ebenen ist jede Krafteinsparung mit einer Vergrößerung des Weges verbunden. Ob dies auch für hydraulische Anlagen gilt, untersuchen wir in einem Experiment.

20 ▼ Zwei wassergefüllte Kolbenprober sind durch einen Schlauch verbunden. Die Querschnittsflächen des Pumpen- und des Arbeitskolbens verhalten sich wie 1:3 (Bild 97/1). Die am Arbeitskolben angreifende Kraft beträgt das Dreifache der am Pumpenkolben aufgewandten Kraft. Drückt man den Pumpenkolben um den Weg $s_P$ in den Zylinder, so wird der Arbeitskolben um den Weg $s_A$ verschoben.




| $F_P$ | $F_A$ | $s_P$ | $s_A$ |
|---|---|---|---|
| 0,5 N | 1,5 N | 3 cm | 1 cm |
| 1,0 N | 3,0 N | 6 cm | 2 cm |
| 2,0 N | 6,0 N | 6 cm | 2 cm |

97/1 Experimentieranordnung

① Was sind hydraulische Anlagen?
Wozu werden sie eingesetzt?
② Beschreibe den Aufbau und erkläre die Wirkungsweise einer hydraulischen Anlage!
③ Eine hydraulische Anlage arbeitet als Hebebühne. Wie kann man eine doppelt (dreifach) so große Hubkraft erreichen, ohne die Querschnittsfläche des Pumpenkolbens zu ändern?
④ Am Pumpenkolben einer hydraulischen Presse mit einer Querschnittsfläche von 20 cm² greift eine Kraft von 1000 N an. Mit welcher Kraft wird ein Werkstück durch den Arbeitskolben zusammengedrückt, dessen Querschnittsfläche 2500 cm² beträgt? (Die Reibung wird vernachlässigt.)
⑤ Beschreibe den Aufbau und erkläre die Wirkungsweise einer hydraulischen Bremse!
⑥ Warum ist eine hydraulische Bremse kaum wirksam, wenn Luft in der Bremsleitung eingeschlossen ist?

Dieses und ähnliche Experimente zeigen, daß bei hydraulischen Anlagen die an den Kolben angreifenden Kräfte den von den Kolben zurückgelegten Wegen umgekehrt proportional sind. Es gilt die Goldene Regel der Mechanik.

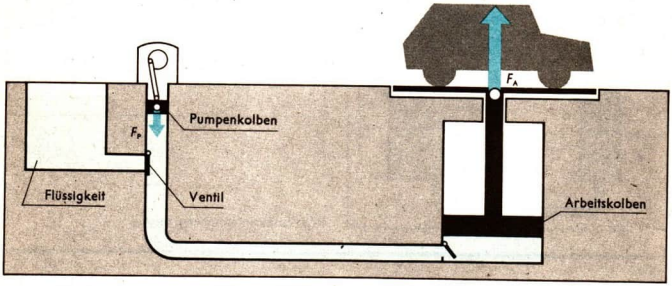
▶ **Was man an Kraft spart, das muß man an Weg zusetzen.**

Bei Berechnung der mechanischen Arbeiten, die am Pumpenkolben aufgewendet und am Arbeitskolben verrichtet werden, erkennt man:

▶ **Bei hydraulischen Anlagen wird keine mechanische Arbeit gespart.**

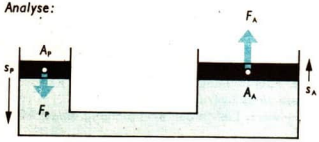
Durch die Reibung zwischen Kolben und Zylindern wird am Pumpenkolben eine größere mechanische Arbeit aufgewendet, als am Arbeitskolben verrichtet wird. Wird am Arbeitskolben Hubarbeit verrichtet, so ist auch Hubarbeit zum Heben des Kolbens selbst erforderlich. ① ②

■ **Mit einem hydraulischen Wagenheber soll ein Fahrzeug um 1,60 m gehoben werden. Das Fahrzeug hat eine Masse von 1 000 kg. Am Pumpenkolben wird dazu eine Kraft von 100 N aufgewendet. Welchen Weg muß der Pumpenkolben zurücklegen (Bild 98/1)?**




98/1

*Analyse:*




Gesucht: $s_P$ in m

Gegeben: $F_P = 100$ N
$m = 1\,000$ kg
$s_A = 1{,}60$ m

98/2

*Lösung:*
Die Reibung zwischen Kolben und Zylindern sowie die Massen der Kolben werden vernachlässigt.
Am Arbeitskolben muß die Hubkraft 10000 N betragen, da das Fahrzeug eine Masse von 1000 kg hat.
Die Hubkraft ist 100mal so groß wie die aufgewendete Kraft. Folglich muß der Weg des Pumpenkolbens 100mal so groß wie der des Arbeitskolbens sein, d. h. $100 \cdot 1{,}6\ \text{m} = 160\ \text{m}$.

*Ergebnis:*
Der Pumpenkolben muß einen Weg von 160 m zurücklegen.

Der Pumpenkolben legt diesen Weg nicht auf einmal zurück. Er gleitet mehrfach hin und her, wobei jeweils über ein Ventil Hydraulikflüssigkeit aus einem Vorratsbehälter in den Pumpenzylinder gelangt und mit einer Motorpumpe in den Arbeitszylinder gepreßt wird (Bild 98/1). ③ ④ ⑤

## Zusammenfassung

**Hydraulische Anlagen sind kraftumformende Einrichtungen. Am großen Arbeitskolben greift eine größere Kraft als am kleineren Pumpenkolben an.**

**Es gilt:** $\frac{F_A}{F_P} = \frac{A_A}{A_P}$ **(Bedingung: Keine Reibung zwischen Kolben und Zylindern)**

**Bei hydraulischen Anlagen kann keine mechanische Arbeit gespart werden. Es gilt die Goldene Regel der Mechanik.**

---

① Am Pumpenkolben einer hydraulischen Anlage greift eine Kraft von 500 N an. Die Querschnittsfläche des Arbeitskolbens ist 20mal so groß wie die des Pumpenkolbens. Entscheide, ob die Kraft ausreicht, um einen Körper mit einer Masse von 1,2 t zu heben!

② Warum benutzt man bei hydraulischen Anlagen eine spezielle Hydraulikflüssigkeit anstelle des billigeren Wassers?

③ Eine Hubarbeit von 1080 J wird am Arbeitskolben einer hydraulischen Presse durch eine Kraft von 36 kN verrichtet.
Dazu wird der Pumpenkolben mit einer Kraft von 400 N hundertmal 3 cm tief in den Pumpenzylinder gedrückt.
a) Welche mechanische Arbeit wird aufgewendet?
b) Vergleiche beide mechanische Arbeiten!
c) Begründe das Ergebnis des Vergleiches!

④ Wieviel Flüssigkeit muß in den Arbeitszylinder einer hydraulischen Hebebühne gepumpt werden, wenn der Arbeitskolben 30 cm Durchmesser hat und ein Fahrzeug um 1,80 m gehoben werden soll?

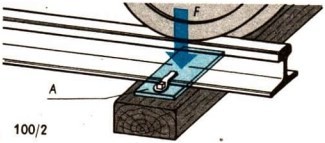
⑤ Bei einer hydraulischen Presse haben die beiden Kolbenquerschnitte Flächeninhalte von 4 cm² und 400 cm². Am kleinen Pumpenkolben greift eine Kraft von 400 N an, am großen Arbeitskolben ist die Kraft von 36 kN wirksam.
a) Auf das Wievielfache wird die Kraft vergrößert?
b) Welche Maximalkraft könnte am Arbeitskolben angreifen, wenn die Reibung zwischen Kolben und Wand des Zylinders beseitigt würde und der Arbeitskolben masselos wäre?

Ein Panzer muß geländegängig sein. Trotz seiner großen Masse darf er beim Überqueren von weichen oder sandigen Geländeabschnitten nicht tief einsinken. Gleiches gilt auch für Traktoren und andere landwirtschaftliche Maschinen.
Wodurch kann ein tiefes Eindringen dieser Fahrzeuge in weichen Boden verhindert werden?

## Auflagedruck fester Körper

Durch die Gewichtskraft üben Maschinen, Fahrzeuge und andere Körper einen Druck auf eine Auflagefläche aus (Bild 100/2).

Diesen Druck bezeichnet man als **Auflagedruck.**



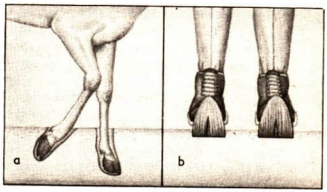
100/2

**Der Auflagedruck *p* entsteht durch die Kraft *F*, die senkrecht an einer Auflagefläche *A* angreift.**

$$p = \frac{F}{A} \quad (F \perp A)$$

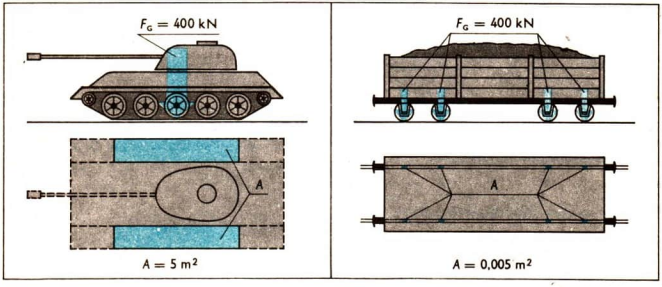
Einheit des Auflagedruckes ist $1\,\frac{N}{m^2} = 1$ Pa.

Bei einer weichen Unterlage äußert sich ein großer Auflagedruck dadurch, daß ein Körper tief in die Unterlage eindringt. Ein geringer Auflagedruck hat ein geringeres Einsinken zur Folge (Bild 100/3).
Einen geringen Auflagedruck kann man durch eine kleine Gewichtskraft oder durch eine große Auflagefläche erreichen.



100/3

Ein Panzer ist durch die Panzerplatten, das Geschütz, den Motor, den Treibstoff und die Munition ein schweres Fahrzeug. Deshalb gibt man dem Panzer eine große Auflagefläche (Bild 101/1).
Ein etwa gleichschwerer Güterwagen braucht dagegen auf der sehr festen Schienenunterlage eine wesentlich kleinere Auflagefläche (Bild 101/2).




101/1 Masse und Auflagefläche eines Panzers
Auflagedruck: 80 kPa

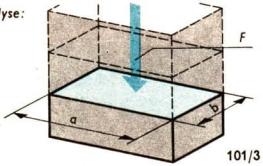
101/2 Masse und Auflagefläche eines Güterwagens
Auflagedruck: 80 MPa

Um einen kleinen Auflagedruck zu erreichen, haben Traktoren und Lastwagen häufig sehr breite Reifen.
Bei Bauwerken wird durch Fundamente eine Verkleinerung des Auflagedrucks durch eine Vergrößerung der Auflagefläche erreicht. Die Fundamente, auf denen die Mauern stehen, sind breiter als die Mauern.
Vor dem Aufstellen von Maschinen in Werkhallen werden ebenfalls Fundamente errichtet, um Gewichtskräfte auf größere Auflageflächen zu verteilen und vorgeschriebene Höchstbelastungen der Fußböden nicht zu überschreiten.
Ein hoher Auflagedruck wirkt beim Einstechen von Nadeln in verschiedene Körper. Der Auflagedruck ist wegen der sehr kleinen Querschnittsfläche der Nadelspitze sehr hoch.

**Berechnung des Auflagedrucks.** Bei Baumaterialien wird durch die Druckfestigkeit angegeben, mit welcher Kraft eine 1 m² große Fläche dieses Baumaterials höchstens belastet werden darf.

■ Die Druckfestigkeit eines Mauerziegels beträgt 15 MPa. Überprüfe, ob ein Mauerziegel mit einer Kraft von 300 kN belastet werden kann, wenn diese auf eine 24 cm lange und 11,5 cm breite Fläche des Mauerziegels wirkt!

*Analyse:*




101/3

Gesucht: $p$ in MPa
Gegeben: $F = 300$ kN
($F = 300\,000$ N)
$a = 24$ cm
$b = 11{,}5$ cm
(zum Vergleich: $p = 15$ MPa)

*Plan zur Lösung:*

Um den Auflagedruck zu berechnen, wird die Gleichung $p = \frac{F}{A}$ angewendet. Der Flächeninhalt muß noch berechnet werden. Es gilt: $A = a \cdot b$.

*Lösung:*

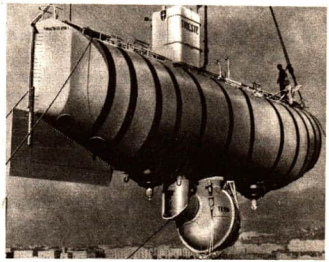
| | |
|---|---|
| $A = a \cdot b$ | $p = \frac{F}{A}$ |
| $A = 24\ \text{cm} \cdot 11{,}5\ \text{cm}$ | $p = \frac{300\,000\ \text{N}}{0{,}028\ \text{m}^2}$ |
| $A = 276\ \text{cm}^2$ | $p = 11\,000\,000\ \text{Pa}$ |
| $A = 0{,}028\ \text{m}^2$ | $\underline{\underline{p = 11\ \text{MPa}}}$ |

*Ergebnis:*
Der Auflagedruck auf den Mauerziegel beträgt 11 MPa. Er ist um 4 MPa kleiner als die Druckfestigkeit. Der Mauerziegel darf mit 300 kN belastet werden. ① ② ③

## Schweredruck der Flüssigkeiten

Der im Stillen Ozean gelegene Marianengraben, die mit knapp 11 km tiefste Stelle aller Ozeane, war 1960 Ort eines kühnen Unternehmens der Tiefseeforschung.

In einer Tauchkugel gelangten die Forscher Jacques Piccard und Don Walch auf den Meeresgrund. Ihre Tauchkugel (Bild 102/1) war aus 12 cm dickem Stahl gefertigt, um der von außen angreifenden Kraft zu widerstehen. Auch U-Boote müssen in den Tiefen der Ozeane einer großen Druckkraft widerstehen, obgleich sie nicht so tief tauchen.



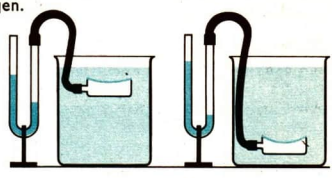
102/1 Tauchapparat

Die im Wasser auftretende Kraft kann man auch beim Baden feststellen. Beim Tauchen in einem See oder beim Sprung in ein Schwimmbecken ist es möglich, in solche Wassertiefen zu gelangen, daß das Trommelfell spürbar schmerzt.
An Körpern greift im Wasser oder in anderen Flüssigkeiten von außen eine Kraft an. Sie entsteht durch den Druck der Flüssigkeiten. Der Druck wird durch die Gewichtskraft hervorgerufen. Er wird als **Schweredruck** bezeichnet. ④ ⑤

▶ **Der Schweredruck der Flüssigkeiten wird durch die Gewichtskraft hervorgerufen. Durch den Schweredruck greifen Kräfte an Körpern an, die sich in dieser Flüssigkeit befinden.**

**Abhängigkeit des Schweredrucks von der Tiefe.** Beim Tauchen kann man die Erfahrung machen, daß der Schweredruck mit zunehmender Tiefe größer wird. Das können wir auch mit einem Experiment bestätigen.

21 ▼ Taucht man eine Druckdose in Wasser ein, so wird ihre Membran mit zunehmender Tiefe stärker gewölbt. Ein U-Rohr-Manometer zeigt die Druckveränderung an (Bild 103/1).

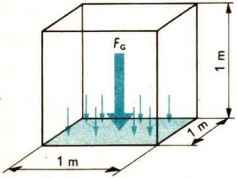


103/1 Messung des Schweredrucks in verschiedenen Tiefen

▶ **Der Schweredruck wird mit zunehmender Wassertiefe größer.**

■ Ein Würfel mit der Kantenlänge $a = 1$ m sei vollständig mit Wasser gefüllt. Das Wasser hat ein Volumen von 1 m³, die Masse beträgt $m = 1\,000$ kg. Wie groß ist der Schweredruck (in kPa) in 1 m Wassertiefe (also am Boden dieses Würfels)?

*Analyse:*




103/2

Gesucht: $p$ in kPa
Gegeben: $a = 1$ m
$m = 1\,000$ kg

(Noch zu berechnen:
$F_G = 10\,000$ N
$A = 1$ m²

*Lösung:*

$$p = \frac{F_G}{A}$$

$$p = \frac{10\,000 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$$

$$p = 10\,000 \text{ Pa}$$

$$\underline{\underline{p = 10 \text{ kPa}}}$$

*Ergebnis:*

Der Schweredruck in 1 m Wassertiefe beträgt 10 kPa.

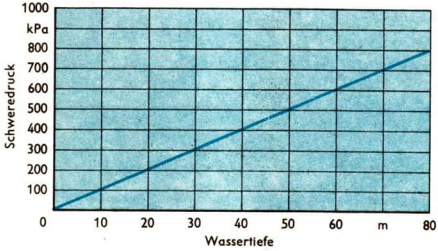
Würde man zehn solcher Würfel übereinander stellen, so wäre die Gewichtskraft des Wassers zehnmal so groß. Der Schweredruck in 10 m Wassertiefe beträgt deshalb 100 kPa.

---

① Erläutere Beispiele dafür, wie der Auflagedruck verkleinert bzw. vergrößert wird!
② Eisenbahnschienen sind unten breiter als oben. Außerdem liegen sie auf Schwellen. Was wird dadurch erreicht?
③ Eine Landmaschine hat eine Masse von 1,2 t. Die Räder liegen mit einer Fläche von insgesamt 0,14 m² auf dem Boden auf. Der Auflagedruck auf den Boden soll 70 kPa nicht überschreiten. Überprüfe, ob für die Maschine diese Forderung erfüllt ist!
④ Wodurch wird der Schweredruck der Flüssigkeiten hervorgerufen?
⑤ Erläutere Beispiele für das Auftreten von Kräften infolge des Schweredrucks von Flüssigkeiten!

**In Wasser steigt der Schweredruck je 10 m Tiefe um 100 kPa.**

Stellt man die Veränderung des Schweredrucks mit zunehmender Wassertiefe grafisch dar, so erhält man das Druck-Tiefe-Diagramm (Bild 104/1).

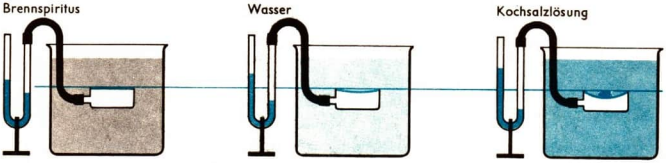



104/1 Druck-Tiefe-Diagramm für Wasser

In hydraulischen Anlagen hatten wir den Schweredruck der Flüssigkeiten nicht betrachtet. Diese Vernachlässigung ist berechtigt, da in hydraulischen Anlagen die Flüssigkeitshöhen gering sind. Deshalb ist der Schweredruck klein gegenüber dem Kolbendruck. ①

## Abhängigkeit des Schweredrucks von der Art der Flüssigkeit.

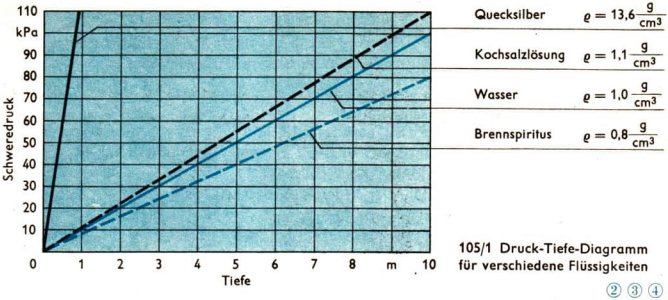
22 Taucht man eine Druckdose nacheinander in Brennspiritus, Wasser und konzentrierte Kochsalzlösung jeweils bis zur gleichen Tiefe ein, so wird die Membran unterschiedlich stark nach innen gewölbt und am U-Rohr-Manometer ist jeweils ein anderer Druck abzulesen (Bild 104/2).




104/2 Messung des Schweredrucks in verschiedenen Flüssigkeiten

Dieses Experiment macht deutlich, daß der Schweredruck der Flüssigkeiten in gleicher Tiefe von der Art der Flüssigkeit abhängt.
Das Druck-Tiefe-Diagramm für verschiedene Flüssigkeiten ist im Bild 105/1 dargestellt.

**Der Schweredruck ist in gleicher Tiefe um so größer, je größer die Dichte der Flüssigkeit ist.**

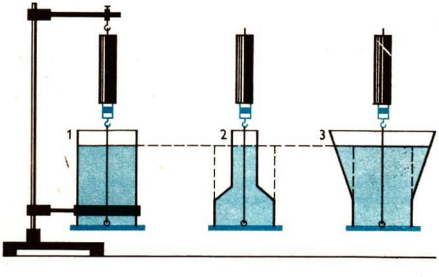



105/1 Druck-Tiefe-Diagramm für verschiedene Flüssigkeiten

② ③ ④

**Schweredruck in Gefäßen unterschiedlicher Form.** Mit dem folgenden Experiment soll untersucht werden, ob der Schweredruck am Boden von Gefäßen mit gleichen Grundflächen in gleicher Tiefe von der Form der Gefäße abhängig ist.

23 ▼ Die Gefäße werden nacheinander an einem Stativ befestigt. Die Bodenplatte wird jeweils mit der gleichen Kraft an den unteren Gefäßrand gepreßt (Bild 105/2). Füllt man vorsichtig Wasser in die Gefäße, so beginnt dieses jeweils bei der gleichen Füllstandshöhe am Boden auszufließen.
Wenn das Wasser auszufließen beginnt, greift an der Bodenplatte eine Kraft an, die der Federkraftmesser anzeigt.




105/2 Experimentieranordnung

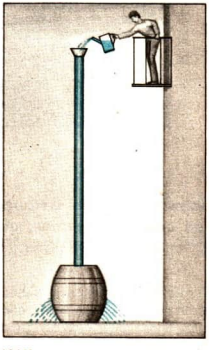
Diese Kraft ist stets die gleiche, unabhängig von der Gefäßform. Da auch die Bodenplatte jeweils den gleichen Flächeninhalt hat, ist der Schweredruck am Boden der Gefäße stets der gleiche.

---

① Bestimme den Druck auf das Trommelfell bei 3 m Tauchtiefe!
② Von welchen physikalischen Größen ist der Schweredruck der Flüssigkeiten abhängig?
③ Gib für Brennspiritus, Wasser und Kochsalzlösung jeweils den Schweredruck in 5 m Tiefe an!
④ Erkläre, daß in gleichen Tiefen der Schweredruck nicht in allen Flüssigkeiten gleich ist!

**Der Schweredruck der Flüssigkeiten ist in gleicher Tiefe unabhängig von der Form des Gefäßes und damit vom Volumen der Flüssigkeit.**

Diese Erkenntnis gewann Blaise Pascal bereits im 17. Jahrhundert. Er stellte in ein abgedichtetes und mit Wasser gefülltes Faß ein dünnes, aber langes Rohr (Bild 106/1). Vom Balkon eines Hauses aus füllte er Wasser in dieses Rohr. Obwohl das Rohr sehr dünn war und Pascal nur wenig Wasser benötigte, stieg der Schweredruck des Wassers im Faß infolge der großen Länge der Wassersäule sehr stark an. Die dadurch am Faß innen angreifende Kraft war so groß, daß die Faßbretter auseinandergedrückt wurden und das Wasser aus dem Faß auszufließen begann.

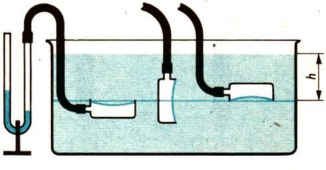


106/1

**Der Schweredruck wirkt allseitig und ist in einer bestimmten Tiefe einer Flüssigkeit an jeder Stelle gleich.**

Das kann man mit folgenden Experimenten bestätigen:

24 ▼ Taucht man eine Druckdose in Wasser, so wird ihre Membran nach innen gewölbt. Ein U-Rohr-Manometer zeigt den Druck an. Dreht man die Druckdose in einem mit Wasser gefüllten Gefäß in gleicher Tiefe so, daß die Membran verschiedene Stellungen einnimmt, dann ändert sich der Druck nicht (Bild 106/2).




106/2 Experimentieranordnung

25 ▼ Bringt man eine Druckdose mit der Membran nach oben an verschiedene, aber in gleicher Tiefe gelegene Stellen eines mit Wasser gefüllten Gefäßes, so zeigt das U-Rohr-Manometer stets den gleichen Schweredruck an.

■ Durch den Schweredruck des Wassers wirkt bei Stauseen eine Kraft auf die Staumauer, die Uferböschungen und den Grund des Stausees. Der Druck ist dabei nur von der Wassertiefe abhängig. Von der Größe der Oberfläche des Stausees hängt er nicht ab. ①

## Schweredruck der Luft

Die Lufthülle, die unsere Erde umgibt, ist mit einem gewaltigen Meer vergleichbar. Wir leben auf dem Grunde dieses „Luftmeeres", das man als Atmosphäre bezeichnet. Messungen mit Satelliten zeigen, daß sich die Atmosphäre bis in einige hundert Kilometer Höhe erstreckt. Wie das Wasser im Ozean so hat auch die Luft in der Atmosphäre einen Druck, den man als **Luftdruck** bezeichnet.

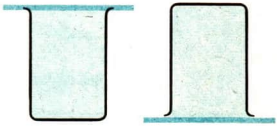
**Als Luftdruck bezeichnet man den Schweredruck der Luft. Er wird durch die Gewichtskraft der Luft hervorgerufen.**

Alle Körper, die sich in der Atmosphäre befinden, sind dem Luftdruck ausgesetzt. Infolge des Luftdrucks greifen an diesen Körpern Kräfte an.
Eine Vorstellung über den Betrag der Kraft, die infolge des Luftdrucks auftreten kann, hatten wir bereits beim Experiment mit den beiden fast luftleer gepumpten Halbkugeln gewonnen. Können wir auch mit einfachen Mitteln im Experiment die Kraft nachweisen, die durch den Luftdruck auftritt?

26 **Weise mit einem einfachen Experiment die Kraft nach, die infolge des Luftdrucks auftritt!**

**Durchführung**

1. Fülle ein Glas randvoll mit Wasser!
2. Schiebe eine Postkarte von der Seite so auf das Glas, daß sich keine Luft zwischen Glasrand und Postkarte befindet!
3. Lege die Hand auf die Karte und stülpe das Glas um!
4. Lasse die Karte los!



107/1 Experimentieranordnung

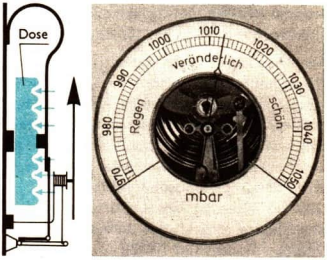
**Auswertung**

1. Beschreibe den Ablauf des Experiments und die beobachteten Erscheinungen!
2. Erkläre die beobachteten Erscheinungen! ②

## Messung des Luftdrucks

Meßgeräte für den Luftdruck bezeichnet man als *Barometer*. Eine Ausführungsform ist das Dosenbarometer (Bild 107/2).

Es besteht aus einer luftleer gepumpten Metalldose. Der elastische Deckel der Dose wird von der Kraft verformt, die der Luftdruck hervorruft. Bei Veränderungen des Luftdrucks wird die Dose mehr oder weniger stark zusammengedrückt, da die an der Dose angreifende Kraft mit dem Luftdruck schwankt. Die dabei ausgeführten Bewegungen des Dosendeckels werden auf einen Zeiger übertragen, der dadurch den Luftdruck anzeigt.



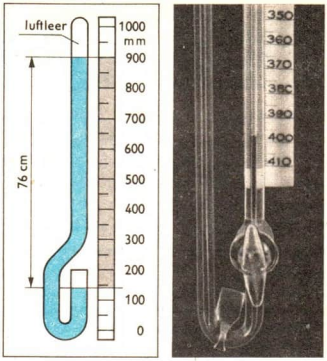

107/2 Dosenbarometer

① Wie groß ist die Kraft, die infolge des Schweredrucks in 60 m Tiefe an 1 m² Staumauer einer Talsperre angreift?
② Gläser mit Kleinkindernahrung lassen sich leicht öffnen, wenn man ein Loch in den Deckel sticht. Erkläre diese Öffnungsmethode!

**Der Luftdruck, der in Höhe des Meeresspiegels dem Schweredruck einer 76 cm langen Quecksilbersäule bei einer Temperatur von 0 °C entspricht, wird als Normdruck bezeichnet. Er beträgt etwa 100 kPa** (Bild 108/1).

Diesen Druck übt auch Wasser in etwa 10 m Tiefe aus. Da aber im Wasser der Luftdruck zusätzlich zum Schweredruck des Wassers vorhanden ist, beträgt in 10 m Tiefe der Gesamtdruck rund 200 kPa.

① ②




108/1 Quecksilberbarometer

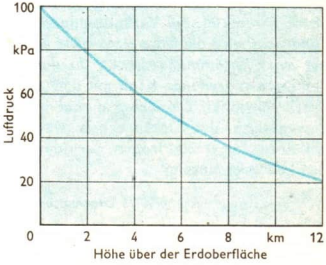
▶ **Meßgeräte für den Luftdruck bezeichnet man als Barometer. Der Normdruck entspricht dem Schweredruck einer 76 cm langen Quecksilbersäule bei 0 °C. Er beträgt etwa 100 kPa (= 1 bar).** = 1 at

**Veränderung des Luftdrucks in der Atmosphäre.** Der Luftdruck schwankt täglich. Luftdruckschwankungen verursachen Änderungen des Wetters. Wetterstationen in aller Welt messen täglich den Luftdruck. Durch diese und viele andere Messungen werden Wettervorhersagen möglich.

**Mit steigender Höhe über der Erdoberfläche nimmt der Luftdruck ab.** Bewegt man im Wasser ein Druckmeßgerät vom Grund zur Oberfläche, so nimmt der Druck gleichmäßig je 10 m um 100 kPa ab.

Beim Aufsteigen in der Atmosphäre erfolgt die Abnahme des Luftdrucks nicht gleichmäßig. Die ungleichmäßige Abnahme des Luftdrucks hängt damit zusammen, daß die Luft kompressibel ist. Unmittelbar auf der Erdoberfläche ist die Dichte der Luft größer als in höheren Atmosphärenschichten.

Die Veränderung des Luftdrucks in der Atmosphäre drückt das Luftdruck-Höhe-Diagramm aus (Bild 108/2).




108/2 Luftdruck-Höhe-Diagramm

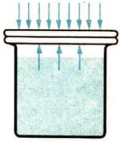
Die Abhängigkeit des Luftdrucks von der Höhe über der Erdoberfläche wird im Flugverkehr zum Messen der Flughöhe genutzt. ③ ④ ⑤

## Nachweis des Luftdrucks durch Otto von Guericke

Experimente mit Luft und zum Nachweis des Luftdrucks wurden im 17. Jahrhundert in Deutschland durch Otto von Guericke und in Italien durch Evangelista Torricelli durchgeführt. Das aufstrebende Bürgertum war in dieser Zeit daran interessiert, durch genaue Kenntnis der Naturgesetze Produktion und Technik weiterzuentwickeln. Otto von Guericke – Sohn einer der reichsten Familien Magdeburgs – studierte in Holland und Frankreich Mathematik, Physik, Mechanik und Festungsbau. Er wurde Ingenieur. Im Dreißigjährigen Krieg leitete er die Verteidigung seiner Heimatstadt, ohne deren völlige Zerstörung verhindern zu können. Beim Wiederaufbau des zerstörten Magdeburgs machte sich Guericke sehr verdient, so daß er 1646 zum Bürgermeister gewählt wurde.
In seiner Freizeit beschäftigte sich Guericke mit physikalischen Beobachtungen und Experimenten. Er erfand eine Luftpumpe, mit der er zum ersten Mal einen fast luftleeren Raum erzeugen konnte. Bei Experimenten mit dünnwandigen Gefäßen aus Kupferblech stellte Guericke fest, daß diese zusammengedrückt werden, sobald die Luft aus ihnen entfernt ist. Durch Guerickes Experimente mit der Luft wurden wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung von Physik und Technik, z. B. des Dampfmaschinenbaus, gewonnen. Die Technische Hochschule in Magdeburg trägt heute seinen Namen.

Besonders bekannt ist Guerickes Experiment mit den Magdeburger Halbkugeln (Bild 82/1). Die Magdeburger Halbkugeln haben in abgeänderter Form auch heute noch eine wichtige Bedeutung.

■ Die aus Glastopf, Gummiring und Deckel bestehenden Konservengläser beruhen auf folgendem Prinzip: Glastopf und Deckel, die einen fast luftleeren Raum umschließen, werden zusammengepreßt, weil der Luftdruck größer als der Innendruck ist (Bild 109/1). Dadurch gelangen weder Luft noch Bakterien von außen in das Glas. ⑥ ⑦



109/1 Konservenglas

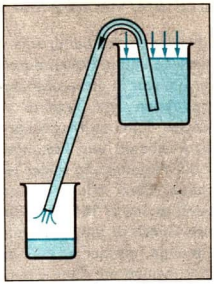
## Anwendung des Luftdrucks

Auf den Luftdruck ist eine Vielzahl von Vorgängen und Erscheinungen zurückzuführen: das Füllen einer Injektionsspritze mit Flüssigkeit, die Atmung, das Trinken durch ein Trinkröhrchen, der Gebrauch von Pipetten (Bild 110/1) und Flüssigkeitshebern (Bild 110/2), das Befestigen von Gegenständen mit Saughaken und Saugfüßen (Bild 110/3).

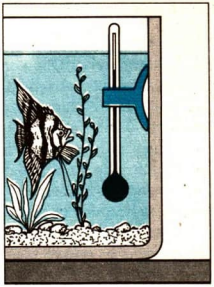
---

① Beschreibe den Aufbau eines Dosenbarometers! Erkläre die Wirkungsweise!
② Welchen Betrag hat der Normdruck?
③ Warum nimmt der Luftdruck beim Aufsteigen in der Atmosphäre nicht gleichmäßig ab? Wie kommt die ungleichmäßige Abnahme des Luftdrucks im Druck-Höhe-Diagramm zum Ausdruck?
④ Warum können Ballons platzen, wenn sie in der Atmosphäre aufsteigen?
⑤ Ein im Flugzeug als Höhenmesser verwendetes Barometer muß vor der Landung auf den Luftdruck am Landeplatz eingestellt werden. Warum?
⑥ Beschreibe ein Experiment zum Nachweis des Luftdrucks, das Otto von Guericke durchgeführt hat!
⑦ Erkläre, wie der Luftdruck zum Verschließen von Konservengläsern genutzt wird!

110/1 Pipette zum Entnehmen von Flüssigkeitsproben



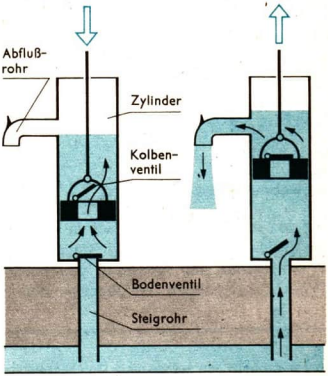
110/2 Flüssigkeitsheber zum Entleeren von Gefäßen



110/3 Saugfuß zum Befestigen an glatten Flächen

**Saugpumpe.** Sie wird zur Förderung von Wasser aus Brunnen eingesetzt (Bild 110/4). Dabei wird die Kraftwirkung durch den Luftdruck genutzt. Die Hauptteile der Saugpumpe sind das Steigrohr, der Zylinder, der Kolben, das Abflußrohr, das Boden- und das Kolbenventil.

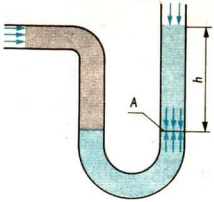
Wird der Kolben der Saugpumpe nach oben bewegt, so ist der Druck im Pumpenzylinder kleiner als der Luftdruck. Infolge dieser Druckdifferenz greift am Wasser eine Kraft an, durch die es über Steigrohr und Bodenventil in den unteren Teil des Zylinders gelangt. Senkt man den Kolben, so strömt bei geschlossenem Boden- und geöffnetem Kolbenventil das Wasser durch den Kolben in den oberen Teil des Zylinders. Bei erneutem Anheben des Kolbens fließt das Wasser durch das Abflußrohr aus.
Da das Wasser durch eine Kraft in das Steigrohr und in den Zylinder gedrückt wird, die infolge des Luftdrucks wirkt, ist die Förderhöhe von Saugpumpen begrenzt. Sie beträgt für Wasser höchstens 10 Meter.




① ② 110/4 Saugpumpe

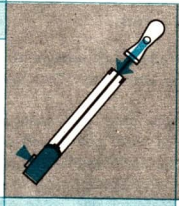
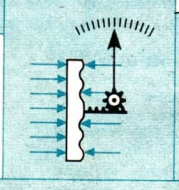
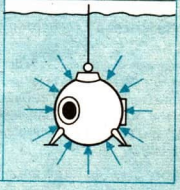
**Erklärung der Druckmessung mit dem U-Rohr-Manometer.** U-Rohr-Manometer (Bild 111/1) haben wir bereits zur Druckmessung verwendet. An einem Schenkel des Meßgerätes wird der Behälter angeschlossen, in dem der Druck gemessen werden soll.

Im anderen Schenkel des U-Rohr-Manometers wird die Flüssigkeit so lange verschoben, bis die Summe von Schweredruck der Flüssigkeitssäule mit der Höhe *h* und Luftdruck gleich dem zu messenden Druck ist. Am Querschnitt *A* der Flüssigkeitssäule greifen dann Kräfte an, die gleich groß und entgegengesetzt gerichtet sind. ③ ④ ⑤




111/1 U-Rohr-Manometer

## Zusammenfassung

| | Gasdruck | Flüssigkeitsdruck |
|---|---|---|
| **Physikalische Bedeutung des Drucks** | Durch den Druck der Gase und Flüssigkeiten treten Kräfte auf.<br>Die Kräfte greifen an den Oberflächen von Körpern senkrecht an. | |
| **Kolbendruck**<br>Entsteht in einem mit Gas oder Flüssigkeit gefüllten geschlossenen Behälter durch eine Kraft, die an einem Kolben angreift; ist im Behälter überall annähernd gleich. |  | |
| **Schweredruck**<br>Entsteht in Gasen und Flüssigkeiten durch die Gewichtskraft. Ist abhängig von der Höhe (Tiefe) und von der Dichte des Stoffes. |  |  |

① Der Saugfuß eines Hakens hat eine Querschnittsfläche von 12 cm². Mit welcher Kraft drückt die Luft auf den Saugfuß?

② Beschreibe den Aufbau und erkläre die Wirkungsweise einer Saugpumpe!

③ Beschreibe den Aufbau und erkläre die Wirkungsweise eines U-Rohr-Manometers!

④ Ein hoher Druck soll mit einem U-Rohr-Manometer gemessen werden. Die Messung ist nicht möglich, wenn Wasser im U-Rohr ist. Warum? Wie kann man sich helfen?

⑤ Erläutere Beispiele für Gasdruck, Flüssigkeitsdruck, Kolbendruck und Schweredruck!

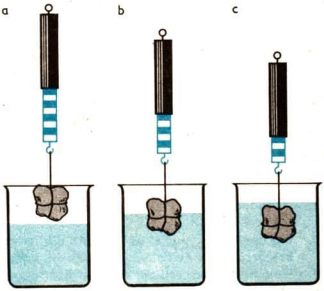
Unterseeboote sind so gebaut, daß sie sich unter der Wasseroberfläche bewegen können. Sie können jedoch auch auf dem Wasser schwimmen.
Wodurch wird erreicht, daß diese Wasserfahrzeuge sinken oder steigen?

## Auftrieb in Natur und Technik

Beim Baden kann man feststellen, daß es leicht ist, einen Menschen innerhalb des Wassers hochzuheben. Will man ihn jedoch aus dem Wasser herausheben, so reicht die Kraft dafür oft nicht aus.
Wenn man Wasser mit einem Eimer aus einem Faß schöpfen will, dann ist der gefüllte Eimer leicht, solange er sich unter der Wasseroberfläche befindet. Je weiter man den Eimer aus dem Wasser zieht, desto mehr Kraft muß man aufwenden.
Wirft man ein Stück Eisen in das Wasser, so geht es unter. Schiffe sind aus Eisen gefertigt. Sie schwimmen jedoch in Wasser, selbst wenn sie eine Ladung an Bord haben. Um die beschriebenen Erscheinungen erklären zu können, führen wir ein Experiment durch.

27 ▼ Ein Körper, der an einem Federkraftmesser hängt, wird allmählich in Wasser getaucht. Am Federkraftmesser kann man beobachten, daß die gemessene Kraft beim Eintauchen immer kleiner wird, bis der Körper vollständig im Wasser ist (Bild 112/2).

Entsprechendes kann man feststellen, wenn man einen Körper in andere Flüssigkeiten eintaucht. Durch das Eintauchen der Körper in die Flüssigkeiten verringert sich scheinbar die Gewichtskraft. Man spricht von einer scheinbaren Verringerung der Gewichtskraft, da der Körper durch die gleiche Kraft von der Erde angezogen wird, unabhängig davon, ob er eingetaucht ist oder nicht.



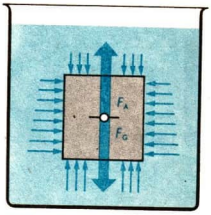
112/2 Experimentieranordnung

Die scheinbare Verringerung der Gewichtskraft ist eine Folge des **Auftriebs**. Körper erfahren auch in Gasen einen Auftrieb. ①

▶ **Wenn sich ein Körper in einer Flüssigkeit oder in einem Gas befindet, führt der Auftrieb zu einer scheinbaren Verringerung der Gewichtskraft.**

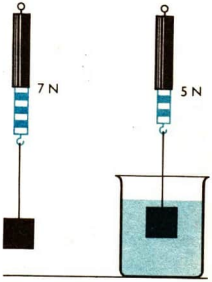
## Entstehung des Auftriebs

Um die Entstehung des Auftriebs zu erklären, betrachten wir einen Würfel, der vollständig in eine Flüssigkeit oder in ein Gas getaucht ist (Bild 113/1).
Infolge des Schweredrucks greifen an allen Flächen des Würfels Kräfte an. Die an den gegenüberliegenden Seitenflächen angreifenden Kräfte sind gleich groß und entgegengerichtet. Sie heben sich in ihrer Wirkung auf. Die Bodenfläche des Würfels taucht tiefer als die Deckfläche in die Flüssigkeit bzw. in das Gas ein. Da der Schweredruck in größerer Tiefe höher ist, greift an der Bodenfläche des Würfels eine größere Kraft als an der Deckfläche an. Dadurch kommt es zum Auftrieb.



113/1

Die **Auftriebskraft ist die Differenz der beiden Kräfte, die an der Boden- und an der Deckfläche des Würfels angreifen.** Sie ist der Gewichtskraft entgegengerichtet.
Die Auftriebskraft kann man als Differenz zwischen der Gewichtskraft vor dem Eintauchen und der scheinbaren Gewichtskraft während des Eintauchens eines Körpers bestimmen (Bild 113/2). ② ③



113/2 Messen der Auftriebskraft $F_A = 7\ N - 5\ N$
$F_A = 2\ N$

▶ **In Flüssigkeiten und Gasen erfahren Körper einen Auftrieb. Durch die Auftriebskraft wird angegeben, wie stark der Auftrieb ist. Die Auftriebskraft ist der Gewichtskraft entgegengerichtet.**

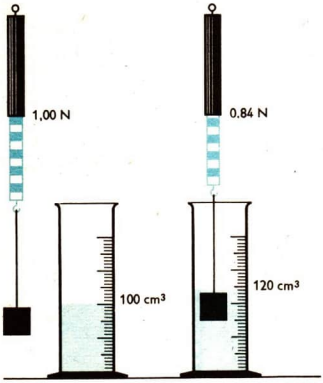
---

① Wie kann man den Auftrieb in einem Experiment nachweisen?
② Erläutere Beispiele für den Auftrieb in Natur und Technik!
③ Erkläre, wodurch der Auftrieb entsteht!

## Abhängigkeit der Auftriebskraft von physikalischen Größen

Wenn ein Fisch näher an die Wasseroberfläche schwimmt, wird der Schweredruck des Wassers kleiner, die Schwimmblase des Fisches vergrößert sich, und sein Volumen nimmt zu. Wird dadurch der Aufstieg des Fisches zur Wasseroberfläche begünstigt? Das Wasser im Toten Meer hat einen besonders hohen Salzgehalt. Im Toten Meer kann man auf dem Wasser schwimmen, ohne sich zu bewegen. Hängt dies vom Salzgehalt des Wassers ab? Auf beide Fragen können wir durch Experimente Antwort finden.

28 ▼ Vier Körper mit verschieden großem Volumen werden jeweils vollständig in die gleiche Flüssigkeit eingetaucht. Dabei werden die Auftriebskräfte gemessen. Das Volumen der Körper wird durch das verdrängte Flüssigkeitsvolumen bestimmt (Bild 114/1).




$F_A = 1{,}00\ N - 0{,}84\ N$ $\quad$ $V = 120\ cm^3 - 100\ cm^3$

$F_A = 0{,}16\ N$ $\quad$ $V = 20\ cm^3$

| Körper | Volumen $V$ in $cm^3$ | Auftriebskraft $F$ in N |
|---|---|---|
| 1 | 20 | 0,16 |
| 2 | 60 | 0,48 |
| 3 | 120 | 0,96 |
| 4 | 200 | 1,60 |

114/1 Experimentieranordnung

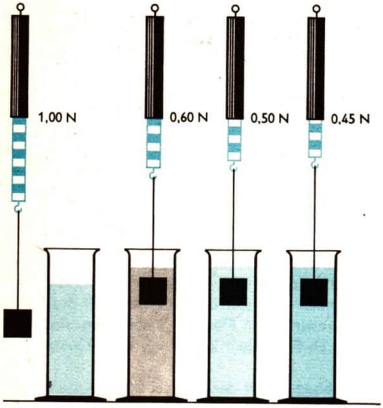
Man erkennt aus diesem und ähnlichen Experimenten:

▶ **Die Auftriebskraft ist um so größer, je größer das Volumen des vollständig eingetauchten Körpers ist.**

Taucht man Körper gleichen Volumens, die aus verschiedenen Stoffen bestehen und unterschiedlich geformt sind, jeweils in die gleiche Flüssigkeit, so sind die Auftriebskräfte gleich.

**Die Auftriebskraft ist vom Stoff und von der Form des eingetauchten Körpers unabhängig.**

29 ▼ Ein Körper wird vollständig in jeweils verschiedene Flüssigkeiten eingetaucht. Dabei werden die Auftriebskräfte gemessen (Bild 115/1).




| Flüssigkeit | Dichte $\varrho$ in $\frac{g}{cm^3}$ | Auftriebskraft $F_A$ in N |
|---|---|---|
| Brennspiritus | 0,8 | 0,40 |
| Wasser | 1,0 | 0,50 |
| Kochsalzlösung | 1,1 | 0,55 |

115/1 Experimentieranordnung

Aus diesem und aus ähnlichen Experimenten mit anderen Körpern und anderen Flüssigkeiten erkennt man:

▶ **Die Auftriebskraft ist um so größer, je größer die Dichte der verdrängten Flüssigkeit bzw. des verdrängten Gases ist.**

① ②

■ Durch Vergrößerung der Schwimmblase vergrößert sich auch das Volumen des Fischkörpers. Die Auftriebskraft wird dadurch größer und das Schwimmen des Fisches zur Wasseroberfläche begünstigt.

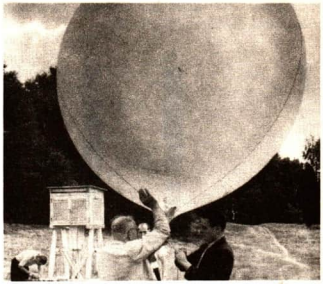
Im Toten Meer ist die Auftriebskraft wegen der großen Dichte des salzhaltigen Wassers so groß, daß man schwimmt, ohne sich bewegen zu müssen.

Da Gase eine sehr kleine Dichte haben, ist in ihnen die Auftriebskraft viel geringer als in Flüssigkeiten. Aber auch der Auftrieb in Gasen wird praktisch genutzt.

---

① Von welchen physikalischen Größen hängt die Auftriebskraft ab?
② Warum ist die Auftriebskraft, die ein Körper erfährt, in Wasser größer als in Brennspiritus?

■ Freiballons werden im Wetterdienst eingesetzt (Bild 116/1). Sie können in der Atmosphäre aufsteigen. Während des Aufstiegs erfassen die Meßgeräte Flughöhe, Luftdruck und Temperatur. Diese Angaben werden zur Erde gefunkt. Sie sind für die Wettervorhersage von Bedeutung. Der Aufstieg der Wetterballons erfolgt, solange die Auftriebskraft größer als die Gewichtskraft ist. Die Auftriebskraft nimmt während des Aufstiegs des Ballons ab. Die Ballons können bis in 40 km Höhe aufsteigen.



116/1 Wetterballon

**Gesetz von Archimedes.** Wir wissen bereits, daß an einem Körper eine große Auftriebskraft angreift, wenn er ein großes Volumen hat und vollständig in die Flüssigkeit eintaucht. In diesem Falle ist auch das Volumen der verdrängten Flüssigkeit groß. Die Auftriebskraft ist auch von der Dichte der verdrängten Flüssigkeit abhängig. Aus dem Volumen und aus der Dichte der verdrängten Flüssigkeit kann man deren Masse und Gewichtskraft berechnen.

Archimedes erkannte ein Gesetz, das die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit ausdrückt.

30 ▼ Untersuche, wie die Auftriebskraft von der Gewichtskraft des verdrängten Wassers abhängt!

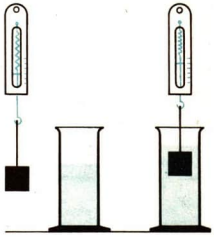
**Vorbereitung**

Übertrage die Tabelle!

| Körper | Volumen des verdrängten Wassers in $cm^3$ | Auftriebskraft in N | Gewichtskraft des verdrängten Wassers in N |
|---|---|---|---|
| 1<br>2<br>3 | | | |

**Durchführung**

1. Tauche drei Körper unterschiedlichen Volumens nacheinander in einen mit Wasser gefüllten Meßzylinder vollständig ein! Miß das Volumen des Wassers, das jeder Körper jeweils verdrängt!
2. Bestimme die Auftriebskraft, die jeweils am vollständig eingetauchten Körper angreift!
3. Trage die Meßwerte in die übertragene Tabelle ein!



116/2 Experimentieranordnung

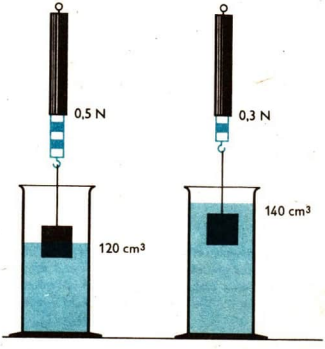
**Auswertung**

1. Bestimme für alle 3 Messungen mit Hilfe des Volumens die Gewichtskraft des verdrängten Wassers! Trage die Gewichtskräfte in die Tabelle ein!
   Für Wasser gilt: 1 ml ≙ 1 cm³ ≙ 1 g ≙ 0,01 N
2. Vergleiche jeweils die Gewichtskraft des verdrängten Wassers mit der Auftriebskraft!
3. Welche Fehler sind bei den Messungen unvermeidlich?
   Wie wird das Ergebnis des Experiments beeinflußt, wenn man das Volumen des verdrängten Wassers zu klein mißt?

Wenn man die Körper in andere Flüssigkeiten oder in Gase vollständig eintaucht und für jeden Körper die Auftriebskraft mit der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit oder des verdrängten Gases vergleicht, so erhält man das gleiche Ergebnis wie im Schülerexperiment.

**Gesetz von Archimedes:**
**Die Auftriebskraft ist so groß wie die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit oder des verdrängten Gases.**

Dieses Gesetz gilt auch beim unvollständigen Eintauchen der Körper. Sie verdrängen dann weniger Flüssigkeit. Die Auftriebskraft ist kleiner als bei vollständigem Eintauchen. Sie ist jedoch immer so groß wie die Gewichtskraft des verdrängten Stoffes (Bild 117/1). ① ② ③ ④




117/1 Abhängigkeit der Auftriebskraft vom Eintauchen des Körpers

① Wie kann man durch Messung des Volumens eines festen Körpers die Auftriebskraft bestimmen, die an diesem Körper beim vollständigen Eintauchen in Wasser angreift?

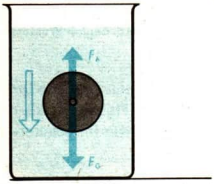
② Ein Eisenstück hat das Volumen 0,1 dm³. Wie groß ist die Auftriebskraft, wenn es vollständig in Wasser getaucht ist? Wie groß ist die Auftriebskraft, die an einem gleich großen Aluminiumstück bei vollständigem Eintauchen in Wasser angreift?

③ Die Hülle eines mit Wasserstoff gefüllten Ballons ist nicht dehnbar (Netz über der Hülle). Wie ändert sich die Auftriebskraft beim Aufstieg des Ballons in der Atmosphäre?

④ Warum wird beim Eintauchen eines Körpers in Wasser von einer scheinbaren Verringerung der Gewichtskraft gesprochen?

## Sinken, Steigen, Schweben, Schwimmen von Körpern

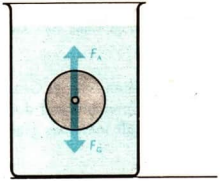
Ob ein Körper in einer Flüssigkeit untergeht oder nicht, hängt von zwei Kräften ab – der Gewichtskraft und der Auftriebskraft.




118/1

Die Gewichtskraft ist größer als die Auftriebskraft. Der Körper sinkt.

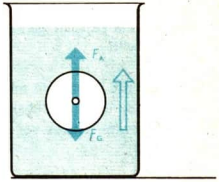
$F_G > F_A$




118/2

Die Gewichtskraft ist gleich der Auftriebskraft. Der Körper schwebt.

$F_G = F_A$

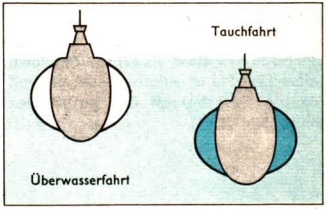



118/3

Die Gewichtskraft ist kleiner als die Auftriebskraft. Der Körper steigt.

$F_G < F_A$

■ Bei Unterseebooten (Bild 118/4) können sogenannte Fluttanks mit Wasser gefüllt oder mit Druckluft ausgeblasen werden. Dadurch ändert sich die Gewichtskraft. Da das Volumen des U-Bootes stets gleich ist, unabhängig davon, womit die Fluttanks gefüllt sind, ist die Auftriebskraft, die am getauchten Boot angreift, immer die gleiche. Bei Wasserfüllung ist die Gewichtskraft größer als die Auftriebskraft, das U-Boot sinkt.




118/4 U-Boot (schematisch)

Die Wirkungsweise eines Eisbrechers beruht nicht allein auf dem „Aufschneiden" des Eises durch den Bug. Der Eisbrecher gleitet auf die Eisschicht und wird dadurch etwas aus dem Wasser gehoben. Es wird weniger Wasser vom Eisbrecher verdrängt. Die Auftriebskraft wird dadurch kleiner und zugleich die Kraft größer, durch die die Eisschicht zerdrückt wird. ① ②

**Schwimmen von Körpern.** Drückt man einen Gummiball unter Wasser, so beginnt der Ball nach dem Loslassen sehr schnell zu steigen, weil die Auftriebskraft viel größer als die Gewichtskraft des Balles ist. Taucht der Ball aus dem Wasser auf, dann verdrängt er immer weniger Wasser und die Auftriebskraft nimmt ab. Dies geschieht so lange, bis der Ball nicht mehr steigt. Dann schwimmt er. Ein schwimmender Körper taucht nur zum Teil, ein schwebender Körper taucht vollständig in eine Flüssigkeit ein.

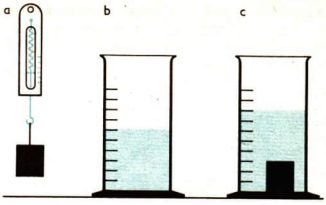
31 ▼ Vergleiche Gewichtskraft und Auftriebskraft schwimmender Körper!

**Vorbereitung**

1. Wie lautet das Gesetz von Archimedes?
2. Wie bestimmt man die Gewichtskraft von Wasser, dessen Volumen bekannt ist?
3. Bereite ein Protokoll vor!

**Durchführung**

1. Bestimme die Gewichtskräfte von 3 Körpern!
2. Gib diese Körper jeweils in einen mit Wasser gefüllten Meßzylinder! Miß das Volumen des Wassers, das jeder der 3 Körper verdrängt!
3. Bestimme mit Hilfe des Volumens die Gewichtskraft des verdrängten Wassers!
4. Beobachte, wie sich jeder Körper in Wasser verhält!
5. Trage im Protokoll in die Tabelle alle Meßwerte und das Beobachtungsergebnis ein!




119/1 Experimentieranordnung

| Körper | Verhalten im Wasser | Gewichtskraft des Körpers | Volumen des verdrängten Wassers | Gewichtskraft des verdrängten Wassers |
|---|---|---|---|---|
| 1<br>2<br>3 | | | | |

**Auswertung**

1. Vergleiche die Gewichtskraft jedes Körpers mit der Gewichtskraft des von ihm verdrängten Wassers (Auftriebskraft)!
2. Vergleiche für schwimmende Körper die Beträge von Gewichtskraft und Auftriebskraft!
3. Schlußfolgere, unter welcher Bedingung Körper im Wasser schwimmen!
4. Welche Fehler beeinträchtigen das Ergebnis des Experiments?
5. Vervollständige das Protokoll!

Aus dem Experiment erkennen wir:

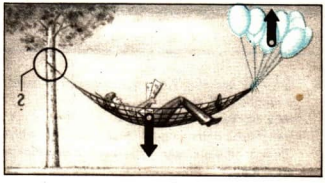
**Bei einem schwimmenden Körper sind Auftriebskraft und Gewichtskraft gleich groß.**

Je größer die Gewichtskraft schwimmender Körper ist, desto mehr Flüssigkeit verdrängen sie. Schiffe schwimmen auf dem Wasser, weil sie durch die Wasserverdrängung einen Auftrieb erfahren. Die Schiffe tauchen so tief in das Wasser ein, bis die Auftriebskraft gleich der Gewichtskraft des Schiffes ist.

---

① Unter welchen Voraussetzungen steigt (sinkt, schwebt) ein Körper, der in eine Flüssigkeit eingetaucht ist?

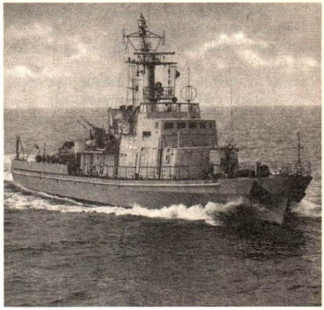
② Erkläre die Wirkungsweise der in Bild 119/2 gezeigten Einrichtung!




119/2

■ Die größten Schiffe sind Tanker, die zum Erdöltransport eingesetzt werden. Die größten unter ihnen haben im beladenen Zustand eine Masse von ungefähr 500000 t. Die Länge dieser Schiffe ist so groß wie die Höhe des Berliner Fernsehturmes. Damit diese Schiffe schwimmen können, müssen sie 500000 $m^3$ Wasser verdrängen.

120/1 Fischfangschiff



120/2 Küstenschutzboot der Volksmarine

Der Schiffbau ist ein bedeutender Industriezweig unseres Landes. Unsere Handels- und Fischereiflotte verfügt über eine große Anzahl moderner Schiffe. Die Volksmarine der DDR setzt Kampfschiffe zur Landesverteidigung ein. Moderne Fracht-, Fahrgast-, Fischfang- und Verarbeitungsschiffe sind wichtige Exportgüter unserer Republik. ① ② ③

## Zusammenfassung

**Wenn sich Körper in Flüssigkeiten bzw. in Gasen befinden, dann erfahren sie einen Auftrieb. Der Auftrieb entsteht durch Druckunterschiede und ist der Gewichtskraft entgegengerichtet.**
**Die Auftriebskraft ist so groß wie die Gewichtskraft des verdrängten Gases bzw. der verdrängten Flüssigkeit.**
**Wenn Körper schwimmen, dann sind Auftriebskraft und Gewichtskraft gleich groß.**

---

① Ein und derselbe Körper schwimmt in zwei verschiedenen Flüssigkeiten und taucht dabei unterschiedlich tief ein.
Wie ist diese Erscheinung zu erklären?
② Vergleiche Betrag und Richtung von Gewichtskraft und Auftriebskraft eines schwimmenden Körpers!
③ Zwei Schiffe gleichen Typs tauchen unterschiedlich tief ein. Wie ist die unterschiedliche Eintauchtiefe zu erklären?

Tief auf den Lenker geduckt jagen die Radrennfahrer dem Endziel der Friedensfahrt entgegen.
Wer in der Spitzengruppe ganz vorn fährt, der muß die meiste Arbeit verrichten; vor allem bei Gegenwind.
Das ist bekannt, und das hängt mit Strömungserscheinungen zusammen, die in diesem Abschnitt untersucht werden sollen. Beim Betrachten des Bildes entsteht die Frage: Warum fahren die Rennfahrer in geduckter Haltung?

## Die Strömung

Wenn man in das klare Wasser eines gleichmäßig dahinfließenden Baches kleine Holzstückchen wirft und Wasser sowie Holzstückchen beobachtet, dann kann man bemerken, daß sich das Wasser in einer bestimmten Richtung bewegt. Auch Bewegungen der Luft sind erkennbar, wenn man bei Wind die dahinziehenden Wolken beobachtet.

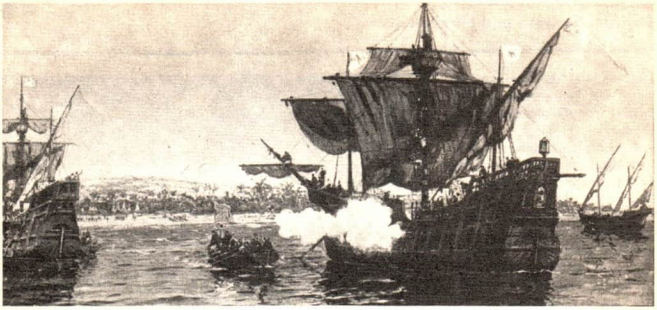
▶ **Als Strömung bezeichnet man die gerichtete Bewegung von Flüssigkeiten oder Gasen.**

Der Wirkung strömender Flüssigkeiten und Gase begegnen wir in der Natur sehr oft. In der Technik nutzen wir die Wirkung strömender Flüssigkeiten und Gase.

■ Der Fluß hat sich infolge der Strömung des Wassers im Laufe von Jahrtausenden sein Bett gegraben. Dadurch sind tiefe Einschnitte in der Landschaft, aber auch Ablagerungen von Sand, Schlamm und Geröll entstanden (Bild 121/2).

121/2 Flußtal (Elbe im Elbsandsteingebirge)

■ Christoph Kolumbus segelte bei günstigem Wind, durch den seine drei Segelschiffe angetrieben wurden, im Jahre 1492 über den Atlantischen Ozean und entdeckte Amerika (Bild 122/1).

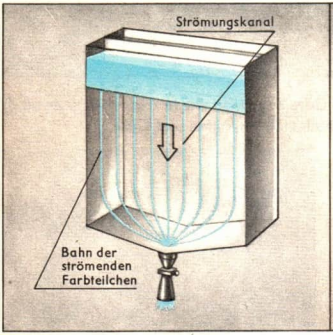


122/1 Segelschiffe des Kolumbus

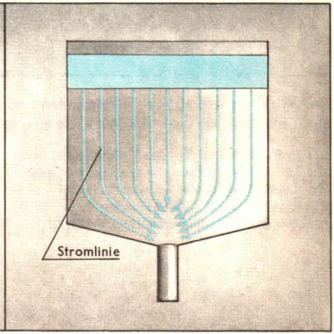
■ Strömende Luft verbreitet den Blütenstaub und trägt Samen von Pflanzen und Bäumen fort. Im Wasserkraftwerk strömt Wasser durch Turbinen. Die Turbinen treiben Elektrogeneratoren an, die mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln. ①

Wenn man eine Strömung genauer untersuchen will, dann muß man sie sichtbar machen.

**Stromlinien.** Die Strömung kann man sichtbar machen, indem Farbstoffe, Staub, Pulver oder Rauch strömenden Gasen oder Flüssigkeiten beigemengt werden. Die Teilchen der beigemengten Stoffe bewegen sich in der Strömung auf bestimmten Bahnen (Bild 122/2), die dadurch sichtbar werden.




122/2 Stromliniengerät. Wasser strömt von oben nach unten. Farbflüssigkeit strömt aus Öffnungen in dünnen Fäden ebenfalls nach unten, und es entsteht ein Stromlinienbild.




122/3 Stromlinien in einer Flüssigkeit

Zur zeichnerischen Darstellung dieser Bahnen benutzt man **Stromlinien** (Bild 122/3). Die Gesamtheit der Stromlinien einer Strömung heißt **Stromlinienbild**.

▶ **Stromlinien kennzeichnen den Verlauf einer Strömung.**
**Mit dem Stromlinienbild kann die Strömung beschrieben werden.**

Bringt man einen Körper in eine Strömung, dann kann man mit Hilfe der Stromlinien angeben, auf welchen Bahnen der Stoff den Körper umströmt. Wenn der umströmte Körper glatt und gerundet (Bild 123/1) und die Strömung langsam ist, dann umströmt das Gas oder die Flüssigkeit den Körper ziemlich gleichmäßig. Die Stromlinien verlaufen gleichmäßig. Solch eine Strömung bezeichnet man als

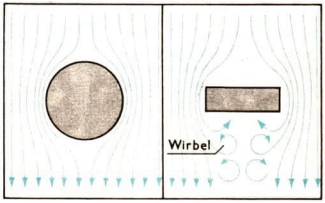
**glatte Strömung.**

Wenn der Körper eckig ist oder scharfe Kanten hat (Bild 123/1), dann strömt das Gas oder die Flüssigkeit, vor allem hinter dem Körper, ungleichmäßig. Hinter dem Körper bilden sich Wirbel. Solch eine Strömung bezeichnet man als

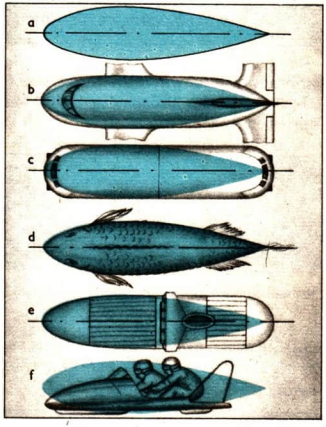
**verwirbelte Strömung.**

Einen Körper, den die Stromlinien wie bei einer glatten Strömung umschließen, bezeichnet man als **Stromlinienkörper** (Bild 123/2). Wird ein solcher Körper umströmt, dann entstehen kaum Wirbel.

Glatte und verwirbelte Strömungen kann man beobachten, wenn sich ein ruhender Körper in strömenden Gasen oder strömenden Flüssigkeiten befindet. Gleiche Erscheinungen treten auf, wenn in ruhenden (nichtströmenden) Gasen oder Flüssigkeiten ein Körper bewegt wird.




123/1 Stromlinien um einen Körper im Strömungskanal bei glatter Strömung (links) und bei verwirbelter Strömung (rechts)



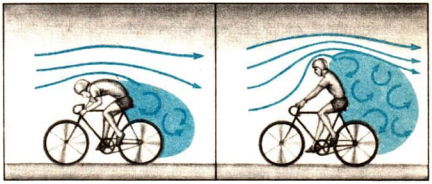

123/2 Idealer Stromlinienkörper (a), und wie er in der Natur und in der Technik angenähert verwirklicht wird: b) Flugzeug c) Schnelltriebwagen d) Fisch e) Schiff f) Bobschlitten

---

① Beschreibe die Wirkung des strömenden Wassers
a) im Bergland, bei großem Gefälle,
b) im Flachland, bei geringem Gefälle!

Es ist also für den Strömungsvorgang gleichgültig, ob ein Ruderkahn durch das ruhende Wasser auf einem See bewegt wird oder ob der Ruderkahn (z. B. durch eine Leine) in einem strömenden Fluß festgehalten wird. In beiden Fällen kann man vorn am Kahn eine Bugwelle und hinter dem Kahn im Kielwasser Wirbel sehen.
Bewegt sich ein Körper in einer Flüssigkeit oder in einem Gas oder wird er von solch einem Stoff umströmt, dann entstehen hinter dem Körper mehr oder weniger große Wirbel.
Für die Bildung von Wirbeln wird Energie benötigt.

■ Der Radrennfahrer in Bild 124/1 (links) muß weniger Energie aufwenden als der Radrennfahrer in Bild 124/1 (rechts). ① ②



124/1

▶ **Die Wirbelbildung kann man erkennen, wenn die Strömung um den betreffenden Körper untersucht wird. Mit Stromlinienbildern beschreibt man, wie ein Körper umströmt wird.**

**Strömungsgeschwindigkeit.** Ein Stoff kann schnell oder langsam strömen. Die Geschwindigkeit des strömenden Stoffes läßt sich wie für jeden anderen physikalischen Körper berechnen.

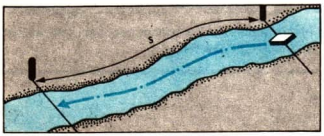
▶ **Die Strömungsgeschwindigkeit v gibt an, wie schnell sich ein strömender Stoff bewegt.**

$$v = \frac{s}{t}$$

Einheit der Strömungsgeschwindigkeit ist 1 m/s. ②

■ Ein Papierschiffchen oder ein Korken wird als Meßkörper in dem fließenden (strömenden) Gewässer ausgesetzt (Bild 124/2). Der Meßkörper legt in 52 s einen Weg von 17,50 m zurück. Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in diesem Bach?

*Analyse:*




Gesucht: $v$ in m/s

Gegeben: $s = 17{,}50$ m
$t = 52$ s

124/2

*Lösung:*

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{17{,}50\ \text{m}}{52\ \text{s}}$$

$$\underline{\underline{v = 0{,}34\ \text{m/s}}}$$

*Ergebnis:*

Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers beträgt 0,34 m/s. ④

*Strömungsgeschwindigkeiten in Natur und Technik*

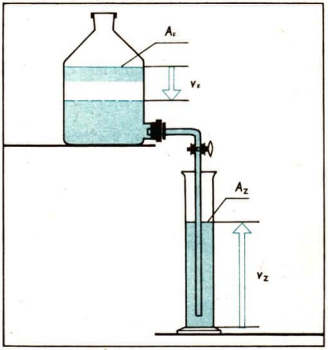
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Wind | 10 m/s | Wasser aus Wasserhahn | 12 m/s | Blut in | |
| Sturm | 50 m/s | Dampf in Turbine | 50 bis 400 m/s | Aorta | 500 mm/s |
| Elbe | 1 m/s | Erdöl in Leitung | 0,5 m/s | Kapillare | 0,5 mm/s |
| Golfstrom | 1,2 m/s | | | | |
| Luftstromerzeuger | 7 ... 12 m/s | | | | |

**Strömungsquerschnitt und Strömungsgeschwindigkeit.** In einem Bach fließt das Wasser talwärts. An einer engen Stelle fließt es schneller als an einer weiten Stelle des Baches. Das kann man nachprüfen, indem man ein Stück Holz im Wasser des Baches treiben läßt.

Daß die Strömungsgeschwindigkeit vom Querschnitt abhängt, durch den der Stoff (Luft, Wasser) strömt, kann durch ein Experiment nach Bild 125/1 gezeigt werden.

32 ▼ Aus einer Plastflasche mit der Querschnittsfläche $A_F$ läßt man 10 Sekunden lang Wasser mit einem bestimmten Volumen $V$ ausströmen. Dabei senkt sich der Flüssigkeitsspiegel in der Flasche von oben nach unten mit der Strömungsgeschwindigkeit $v_F$.

Das ausströmende Wasser leitet man in einen Meßzylinder mit der Querschnittsfläche $A_Z$. Im Meßzylinder steigt der Flüssigkeitsspiegel von unten nach oben mit der Strömungsgeschwindigkeit $v_Z$.




125/1 Experimentieranordnung zur Strömungsgeschwindigkeit

① Baue eine Fadensonde und stelle damit fest, wie die Strömung im Freien, dicht hinter einer Hausecke bzw. hinter einem Ventilator verläuft!

② Beobachte die Bahn einer Flaumfeder in der Luft und schließe daraus, wie die Strömung der Luft verlaufen könnte!

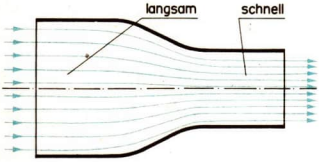
③ Nenne andere Einheiten der Strömungsgeschwindigkeit!

④ Warum kann die Geschwindigkeit eines strömenden Stoffes nach diesem Verfahren nur sehr grob näherungsweise bestimmt werden?

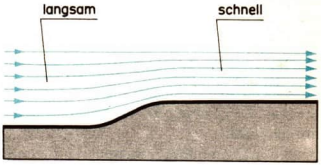
Durch Beobachtung und auch durch Messung kann festgestellt werden:

▶ **Durchströmt ein Gas oder eine Flüssigkeit ein Rohr mit unterschiedlich großen Querschnittsflächen, dann ist die Strömungsgeschwindigkeit dort am größten, wo die Querschnittsfläche am kleinsten ist.**

Zeichnet man für einen durch ein Rohr strömenden Stoff das Stromlinienbild (Bild 126/1), dann verlaufen die Stromlinien an der engen Stelle des Rohres dichter nebeneinander als an der weiten Stelle.



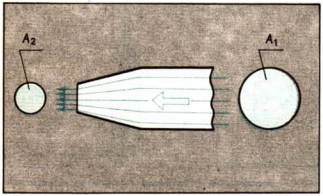

126/1 Stromlinienbild in einer Rohrströmung



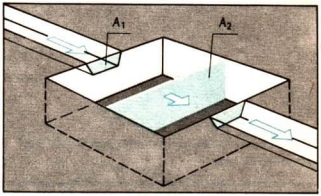

126/2 Stromlinienbild eines umströmten Körpers

Wo die Strömungsgeschwindigkeit am größten ist, dort sind im Stromlinienbild die Stromlinien am engsten zusammengedrängt gezeichnet.
Das gleiche gilt für einen umströmten Körper in einer Strömung, die nicht durch ein Rohr begrenzt ist (Bild 126/2). ① ②

■ Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in einem Feuerwehrschlauch wird durch eine Düse (Bild 126/3) erhöht, um eine große Ausströmgeschwindigkeit und Reichweite des Wasserstrahls zu erhalten.




126/3 Querschnittsverringerung durch eine Düse




126/4 Querschnittserweiterung in einem Klärbecken

■ Die Strömungsgeschwindigkeit einer verschmutzten Flüssigkeit wird herabgesetzt, indem man sie durch ein breites Becken leitet (Bild 126/4). Dort können sich die mitgerissenen Schmutzteilchen infolge der geringeren Strömungsgeschwindigkeit des Wassers absetzen. Das Wasser wird geklärt. ③

## Widerstandskraft an umströmten Körpern

Beim Radfahren kann man bemerken, daß bei Gegenwind eine größere Kraft zur Vorwärtsbewegung erforderlich ist als bei Windstille.
Bei der Bewegung des Radfahrers durch die umgebende Luft, aber auch durch die Bewegung der Luft gegenüber dem Radfahrer bei Gegenwind tritt offensichtlich eine Kraft auf, die die Bewegung des Radfahrers hemmt.
Bei der Bewegung der Luft gegenüber dem aufgespannten Segel eines Segelschiffes tritt ebenfalls eine Kraft auf, die in diesem Falle an dem umströmten Körper wirkt und seine Bewegung ändert. Die Luft wird dabei durch das Segel gehemmt. Wir bezeichnen diese Kraft als

**Widerstandskraft $F_W$.**

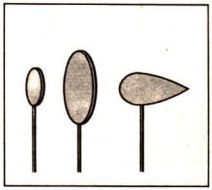
▶ **Die Widerstandskraft $F_W$ greift an umströmten Körpern an und kann deren Bewegung ändern.**

■ Der an der Leine ziehende Drachen, der geblähte Windsack, die vom Hochwasser weggerissene Brücke sind Beispiele dafür, daß an einem ruhenden Körper in einer Strömung eine Kraft angreift.

■ Die Bugwelle am fahrenden Schiff, ein Schwimmer, ein mit geöffnetem Fallschirm zur Erde sinkender Fallschirmspringer sind Beispiele dafür, daß an einem bewegten Körper in einem ruhenden Stoff eine die Bewegung hemmende Kraft angreift. ④

Konstrukteure von Fallschirmen oder von Schiffen, Sportwissenschaftler und Trainer unserer Leistungssportler müssen wissen, wovon die Widerstandskraft an umströmten Körpern abhängt, und wie man sie günstig beeinflussen kann. ⑤

**Abhängigkeit der Widerstandskraft.** Um zu untersuchen, wovon die Widerstandskraft abhängt, bringt man verschiedene Körper (Bild 127/1) in einen Luftstrom. Auf Grund praktischer Erfahrungen kann man vermuten, daß die Widerstandskraft von Eigenschaften des Körpers und des strömenden Stoffes abhängt.



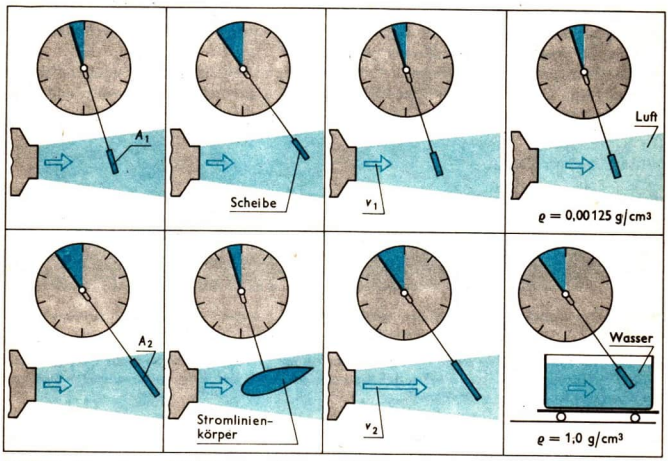
127/1

---

① Warum weht der Wind um eine Hausecke oder durch eine Hauseinfahrt offensichtlich immer besonders stark?
② Zeichne das Schnittbild eines Hügels und danach das Stromlinienbild über den Hügel hinweg bei Wind!
Vergleiche die Windgeschwindigkeiten am Fuße und auf dem Gipfel des Hügels!
③ Erläutere in den genannten Beispielen die Bedeutung des Strömungsquerschnittes!
④ Nenne weitere Beispiele, in denen die Widerstandskraft Bedeutung hat!
⑤ Nenne ein Beispiel, das zeigt, daß Kenntnisse über die Widerstandskraft an umströmten Körpern auch für dich nützlich sind!

**Körper** | **strömender Stoff**

Querschnitts-fläche $A$ | Form | Strömungs-geschwindigkeit $v$ | Dichte $\varrho$




**128/1** Scheiben verschieden großer Fläche im Luftstrom

**128/2** Scheibe und stromlinienförmig verkleidete Scheibe (gleiche Querschnittsfläche)

**128/3** Scheiben mit gleichgroßer Fläche bei unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeit

**128/4** Scheiben gleichgroßer Fläche in Stoffen mit verschieden großer Dichte

① ② ③ ④

In den Bildern 128/1 bis 128/4 sind die Ergebnisse der Überlegungen angedeutet. Sie können experimentell bestätigt werden. ⑤

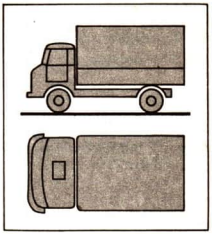
Wir erkennen:

| Abhängigkeit der Widerstandskraft | |
|---|---|
| vom Körper | von strömendem Stoff |
| Je größer die Querschnittsfläche des Körpers ist, um so größer ist die Widerstandskraft. | Je größer die Geschwindigkeit des strömenden Stoffes (des bewegten Körpers) ist, um so größer ist die Widerstandskraft. |
| Je ähnlicher ein Körper dem Stromlinienkörper ist, um so kleiner ist die Widerstandskraft. | Je größer die Dichte des strömenden Stoffes ist, um so größer ist die Widerstandskraft. |

Im Bild 129/1 sind Körper abgebildet, an denen verschieden große Widerstandskräfte beim Umströmen auftreten. ⑥

| Widerstandskraft | | | | |
|---|---|---|---|---|
| in Luft | 0,693 N | 0,063 N | 0,83 N | 0,213 N |
| in Wasser | 550 N | 50 N | 670 N | 170 N |

129/1 Widerstandskraft an Körpern unterschiedlicher Form, aber gleich großer Querschnittsfläche (1 m²) in Luft bzw. in Wasser bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit (1 m/s)



129/2

Die Beschaffenheit der Oberfläche eines umströmten Körpers (glatt, rauh) hat ebenfalls Einfluß auf die Widerstandskraft. Da die entsprechenden Strömungszustände sehr kompliziert sind, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden.
Die Widerstandskraft wirkt hemmend auf bewegte Körper. Bei der Bewegung eines Körpers, z. B. eines Lastkraftwagens, muß die Antriebskraft um so größer sein, je größer die Widerstandskraft ist. Aus diesem Grunde ist die mechanische Arbeit, die bei der Bewegung des Körpers verrichtet werden muß, um so größer, je größer die Widerstandskraft ist. Demzufolge hat ein Lastkraftwagen, auf den wegen seiner strömungsungünstigen Form eine große Widerstandskraft wirkt, einen großen Kraftstoffverbrauch.

## Auftriebskraft an umströmten Körpern

Um die Jahrhundertwende unternahmen Flugpioniere mit selbstgebauten, leichten Motorflugapparaten erste Flugversuche. Es gelang ihnen zunächst nicht, in die Luft aufzusteigen und zu fliegen.
Moderne Transportflugzeuge haben eine Masse von oft mehr als 100 Tonnen. Scheinbar

---

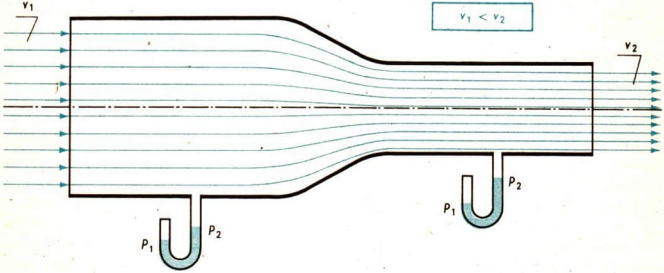
① Wie verändert sich die Widerstandskraft bei einem Segelflugzeug, wenn man dessen Rumpfquerschnitt verringert?
② Übertrage die Lkw-Skizze ins Heft (Bild 129/2), zeichne das Stromlinienbild und die Wirbel ein! Entwickle danach eine verbesserte Lkw-Form!
③ Welche Bedeutung hat die Festlegung unterschiedlicher Höchstgeschwindigkeiten für Lastkraftwagen?
④ Warum fliegen Verkehrsflugzeuge auf langen Flugstrecken in Höhen von 7000 m bis 10000 m?
⑤ Zeichne in deinem Heft den Stromlinienverlauf um die Körper (Bild 127/1), die im Experiment verwendet wurden!
⑥ Welche Form muß eine Vorrichtung zum Abbremsen von landenden Flugzeugen bzw. von Raumfahrer-Landekabinen haben?

mühelos erheben sie sich in die Luft. Die Flugpioniere kannten einen physikalischen Zusammenhang noch nicht, der für das Fliegen von Bedeutung ist. Es ist der Zusammenhang zwischen der Strömungsgeschwindigkeit und dem Druck in einem strömenden Stoff.

**Strömungsgeschwindigkeit und Druck.** Der Zusammenhang dieser beiden Größen soll mit folgendem Experiment erläutert werden.

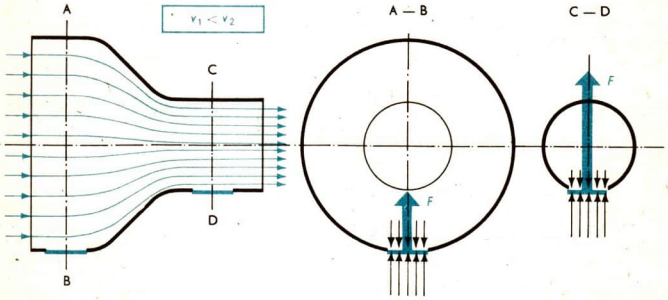
33 ▼ Schließt man an ein Rohr nach Bild 130/1 ein U-Rohr-Manometer an, dann kann man feststellen, daß

- bei kleiner Strömungsgeschwindigkeit der Luft der Druck $p_2$ in der Strömung etwas geringer als der Luftdruck $p_1$ außerhalb des Rohres (keine Strömung) ist,
- bei großer Strömungsgeschwindigkeit der Druck $p_2$ in der Strömung wesentlich geringer als der Luftdruck $p_1$ ist.




130/1 Experimentieranordnung

**Druckkraft an umströmten Körpern.** Der Druck ruft an einer Fläche eine Kraft hervor. Wir betrachten zunächst an dem Rohr nach Bild 130/2 die beiden gleich großen Flächen bei A—B und bei C—D.

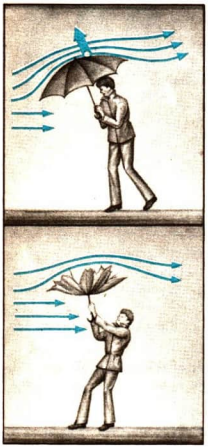



130/2 Druckkräfte an der Wandung eines durchströmten Rohres

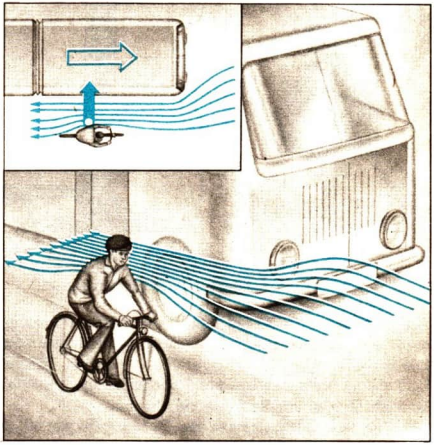
Sie sollen durch eine Membran zum Messen des Druckes verschlossen sein.
Man kann bei dieser Anordnung feststellen:
Der Druck im Rohr ist bei durchströmender Luft geringer als der äußere Luftdruck. Deshalb wirkt eine Kraft, die von außen nach innen gerichtet ist. Die Membran wird nach innen gewölbt. An der engen Stelle (C—D) ist die Membran stärker gewölbt als an der weiten Stelle (A—B). Das bedeutet, die nach innen gerichtete Kraft ist dort größer, wo die Strömungsgeschwindigkeit größer ist.

■ Der Wind (Bild 131/1) bläst mit erhöhter Geschwindigkeit über den Schirm. Die infolge des geringeren Druckes (über dem Schirm) von unten wirkende Kraft drückt den Schirm nach oben; er wird dadurch meist umgestülpt. Dagegen kann man sich schützen, indem man den Schirm so hält, daß die Strömung zweckmäßig geleitet wird. ①

■ Ein Omnibus (Bild 131/2) überholt einen Radfahrer. Das ist eine gefährliche Situation. Das Stromlinienbild zeigt, daß der Radfahrer durch die Kraft an den Bus gedrückt werden kann. Deshalb müssen Zweiradfahrer (Radfahrer, Mopedfahrer) vorsichtig und in angemessenem Abstand überholt werden. Die Zweiradfahrer müssen auf die Wirkung der Kraft gefaßt sein, wenn sie überholt werden. ② ③



131/1

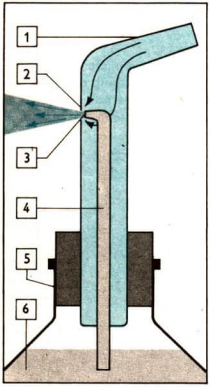


131/2

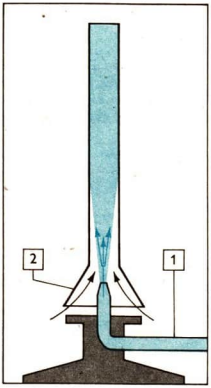
① Erkläre, warum man auf dem Bahnhof bei einem durchfahrenden Zug von der Bahnsteigkante zurücktreten muß!
② Erkläre, warum Schiffe nicht zu nahe aneinander oder an umströmten Brückenpfeilern vorbeifahren dürfen!
③ Warum ist das Heranschwimmen oder das Heranfahren mit Booten an fahrende Schiffe verboten?

■ Der Zerstäuber (Bild 132/1) ist eine Vorrichtung, mit der man Flüssigkeiten in kleine Tröpfchen zersprühen kann.
Der Zerstäuber besteht aus einem Blasrohr (1) mit der Blasöffnung (2) und einem Sprührohr (4) mit der Sprühöffnung (3) und einem Behälter (5) für die Sprühflüssigkeit (6).
Wenn man in das Blasrohr bläst, dann strömt die Luft aus der Blasöffnung mit hoher Geschwindigkeit aus. An dieser Stelle ist der Druck sehr niedrig. Deshalb wird die Flüssigkeit, die unter normalem Druck steht, aus der Sprühöffnung gedrückt. Dort wird die Flüssigkeit von dem Luftstrom getroffen und in kleine Tröpfchen zerblasen.

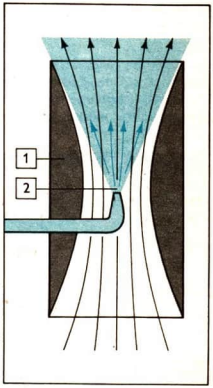
■ Bunsenbrenner (Bild 132/2) und Kraftstoffvergaser (Bild 132/3) haben eine ähnliche Wirkungsweise wie der Zerstäuber.




132/1 Zerstäuber

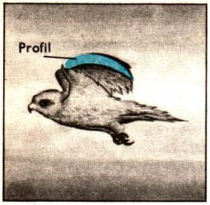



132/2 Bunsenbrenner
1 – Ausströmdüse für Gas
2 – Lufteinströmöffnungen

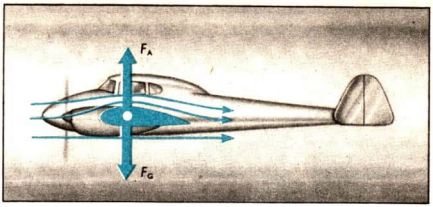



132/3 Vergaser
1 – Düse
2 – Ausströmöffnung für Benzin

**Auftriebskraft am Tragflügel.** Um ein schweres Flugzeug in die Luft emporzuheben, muß am Tragflügel eine entsprechend große Kraft angreifen.
Die Entwicklung einer für Flugzeuge geeigneten Querschnittsform des Tragflügels gelang erst nach eingehenden Naturbeobachtungen, vielem Probieren und experimentellen Untersuchungen um die Jahrhundertwende.
Günstige Querschnittsformen des Tragflügels gibt es in der Natur (Bild 133/1). Die Flügel der verschiedenen Flugtiere ermöglichen die Erzeugung einer Kraft, durch die sie in der umgebenden Luft getragen werden. Die blaue Figur in Bild 133/1 stellt einen Querschnitt durch den Flügel dar. Die Form dieses Querschnitts heißt **Tragflügelprofil**.
Beim Fliegen wird der Tragflügel umströmt (Bild 133/2).
Über der gekrümmten Oberseite des Profils ist die Strömungsgeschwindigkeit größer als unter dem Profil. Demzufolge ist der Druck über der oberen, gekrümmten Seite des Profils niedriger als unter dem Profil. Am Tragflügel greift eine Kraft an, durch die der Vogel oder das Flugzeug gehoben bzw. getragen werden.




133/1 Tragflügelprofil eines Bussards



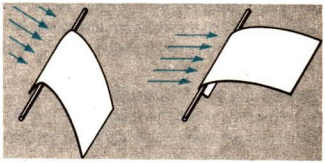

133/2 Tragflügelprofil eines Sportflugzeuges

Die in einer Strömung senkrecht an der Oberfläche eines Tragflügels angreifende Kraft nennt man
**Auftriebskraft $F_A$.**

▶ **Die Auftriebskraft $F_A$ greift am umströmten Tragflügel an, wenn durch unterschiedlich schnelle Umströmung ein Druckunterschied entsteht.**

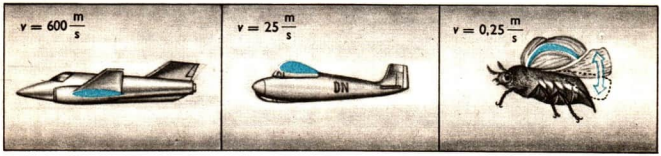
Die Auftriebskraft in Strömungen ist von der Auftriebskraft in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen zu unterscheiden.
Um die Wirkung der Auftriebskraft erkennbar zu machen, wird ein Experiment nach Bild 133/3 durchgeführt. Es zeigt uns, daß auf einen profilförmig gewölbten Körper eine Auftriebskraft wirkt.

34 ▼ Dazu benutzen wir eine gewölbte Postkarte, die über eine Stricknadel gehängt und angeblasen wird.



133/3 Experimentieranordnung

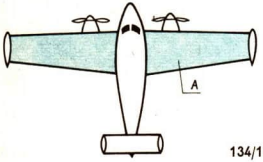
Bei schneller Umströmung braucht die Profiloberseite eines Tragflügels nur wenig gekrümmt zu sein, bei langsamer Umströmung muß die Profiloberseite stark gekrümmt sein, damit eine ausreichend große Auftriebskraft zustande kommt (Bild 133/4).




133/4 Profilformen für verschiedene Fluggeschwindigkeiten

■ **Wie groß muß die Tragflügelfläche (Bild 134/1) des viersitzigen tschechoslowakischen Reiseflugzeuges L-200 „Morava" sein, wenn der Tragflügel ein Profil hat, an dem beim Fliegen durch die Luftströmung ($\approx$ 150 m/s) ein Druckunterschied von 1070 Pa entsteht? Die Gewichtskraft des beladenen Flugzeuges beträgt 18500 N.**

*Analyse:*




134/1

Gesucht: $A$ in m²

Gegeben: $F_G = 18500$ N
$p = 1070$ Pa
$p = 1070$ N/m²

*Plan zur Lösung:*
Wenn die Gewichtskraft $F_G$ bekannt ist, dann kann man auch die erforderliche Auftriebskraft $F_A$ bestimmen. Es gilt: $F_A = F_G$.

*Lösung:*
Durch Überlegung findet man

$$1\,070\ \text{N} \mathrel{\widehat{=}} 1\ \text{m}^2$$

$$1\ \text{N} \mathrel{\widehat{=}} \frac{1}{1\,070}\ \text{m}^2$$

$$18\,500\ \text{N} \mathrel{\widehat{=}} 18\,500 \cdot \frac{1}{1\,070}\ \text{m}^2$$

$$\underline{\underline{18\,500\ \text{N} \mathrel{\widehat{=}} 17{,}3\ \text{m}^2}}$$

*Ergebnis:*
Die Tragflügelfläche des Flugzeuges muß 17,3 m² betragen.

Im Abschnitt strömende Gase und Flüssigkeiten haben wir erkannt:
An umströmten Körpern wirken Widerstandskraft und Auftriebskraft.
An einem Körper mit Stromlinienform ist die Widerstandskraft klein.
An einem Körper mit Flügelprofilform greift eine Auftriebskraft an. ① ②

## Bedeutung des Flugzeuges.

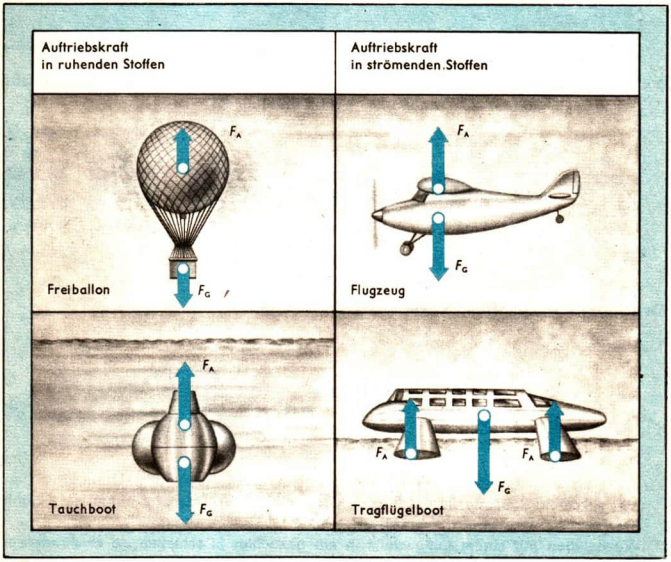
Mit Flugzeugen können Reisende und Transportgut bequem, schnell und über große Entfernungen und unabhängig von geographischen Hindernissen transportiert werden.

134/2 Arbeitsflugzeug der Interflug/Wirtschaftsflug vom Typ Z 37 „Cmelak"

134/3 Segelflugzeug der GST

Allerdings ist der Treibstoffverbrauch um ein Vielfaches höher als bei allen anderen Transportmitteln und auch der Flugzeuglärm ist sehr groß.
In der Land- und Forstwirtschaft werden Flugzeuge (Bild 134/2) zum Streuen und Sprühen von Dünger und Schädlingsbekämpfungsmitteln eingesetzt. Die Arbeiten können unabhängig von der Beschaffenheit des Ackers (Schnee, Nässe) und der Pflanzenbestände (Saat, Blütezeit, Hochwald, Schonung) durchgeführt werden.
In der Gesellschaft für Sport und Technik (GST) erlernen junge Menschen ab ihrem fünfzehnten Lebensjahr zuerst das Segelfliegen (Bild 134/3) und danach das Motorfliegen.
Bei den Luftstreitkräften und der Luftverteidigung dienen Jagdflugzeuge und Transportflugzeuge zur Sicherung des Luftraumes und des Territoriums der sozialistischen Staaten.

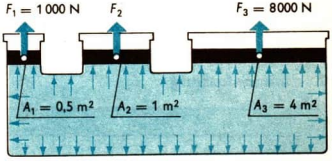
## Zusammenfassung




① Untersuche die Profilform der Tragflügel eines Käfers und zeichne sie nach!
② Beobachte den Abflug eines Marienkäfers! Nenne die Reihenfolge der Betätigung der Deck(trag)-flügel und der Schwirrflügel! Versuche, die Funktion der Flügel zu beschreiben!

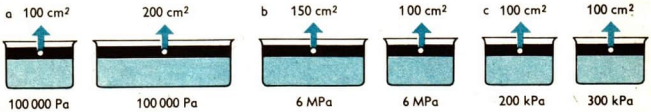
## Druck der Gase in geschlossenen Gefäßen

1. Durch den Gasdruck greifen an den drei Kolben des in Bild 136/1 abgebildeten Gefäßes Kräfte an.
   a) Warum ist die Kraft am größten Kolben am größten?
   b) Berechne den Gasdruck!
   c) Welche Kraft greift am mittleren Kolben an?



136/1

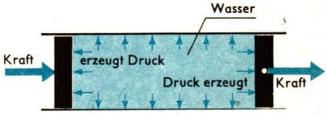
2. Wie ändert sich in den Bildern 136/2a, b, c jeweils die am Kolben angreifende Kraft? (keine zahlenmäßige Berechnung der Kraft durchführen)



136/2

## Druck der Flüssigkeiten in geschlossenen Gefäßen

1. Erläutere Bild 136/3!

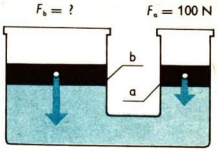


136/3

2. Zur Herstellung von Flaschen füllt man flüssiges Glas in eine Form. Dann bläst man Luft durch ein Rohr, das in das flüssige Glas getaucht ist. Das Glas nimmt die Gestalt der Form an. Wie ist das zu erklären?
3. Würde man mit einem Luftgewehr in ein gekochtes Ei schießen, so entstände ein kleines Loch. Ein rohes Ei hingegen würde zerspringen. Wie kann man diese Erscheinungen erklären?
4. In Gasflaschen, wie sie zum Schweißen verwendet werden, beträgt der Gasdruck 15 MPa. Der Durchmesser einer Flasche ist etwa 16 cm, ihre Höhe etwa 1,50 m. Wie groß ist die Kraft, die durch den Druck an der Mantelfläche der Flasche angreift?
5. Ein Kolben mit einem Durchmesser von 50 mm wird mit einer Kraft von 8 kN in einen mit Öl gefüllten Zylinder gedrückt. Wie groß ist der Druck in der Flüssigkeit?

## Hydraulische Anlagen

1. Das Gefäß in Bild 137/1 ist mit Wasser gefüllt. Der Flächeninhalt der Querschnittsfläche des Kolbens a ist der 20. Teil des Flächeninhalts der Querschnittsfläche des Kolbens b. Welche Kraft muß an Kolben b angreifen, damit Gleichgewicht besteht?




137/1

2. Erläutere das Bild 137/2!

137/2

3. Vervollständige die Tabelle, die Angaben für hydraulische Anlagen enthält!

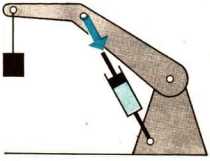
| Kraft am Pumpenkolben | Fläche des Pumpenkolbens | Fläche des Arbeitskolbens | Kraft am Arbeitskolben |
|---|---|---|---|
| 1 000 N | 10 cm² | 50 cm² | |
| | 6 cm² | 60 cm² | 12 000 N |
| 600 N | 8 cm² | 120 cm² | |
| | 6 cm² | 90 cm² | 15 000 N |

4. Vervollständige die Tabelle, die Angaben über hydraulische Anlagen enthält, ohne daß die Reihung berücksichtigt wird!

| Kraft am Arbeitskolben | Weg des Arbeitskolbens | Kraft am Pumpenkolben | Weg des Pumpenkolbens |
|---|---|---|---|
| 1 500 N | 30 cm | 500 N | |
| 10 000 N | 2 cm | 500 N | |
| | 1 m | 400 N | 20 m |

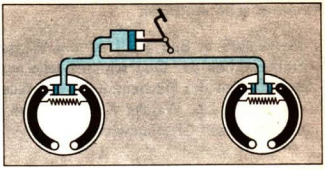
5. Bei einer hydraulischen Hebevorrichtung beträgt der Höchstdruck 1,6 MPa. Der Arbeitskolben hat 80 mm Durchmesser.
Wie groß ist die zulässige Gewichtskraft des zu hebenden Körpers?

6. Ein hydraulischer Arbeitszylinder (Bild 137/3) wird zum Bewegen eines Kranauslegers eingesetzt. Die Belastung des Kolbens des Arbeitszylinders beträgt im Höchstfall 200 kN. Der Herstellerbetrieb fertigt hydraulische Arbeitszylinder für einen Höchstdruck von 16 MPa mit den Kolbendurchmessern 63 mm, 80 mm, 125 mm, 140 mm. Welchen Arbeitszylinder wählt man zweckmäßig aus?
Anleitung: Berechne zuerst die Querschnittsflächen der Kolben der Arbeitszylinder in m²!



137/3

7. Erkläre die Wirkungsweise der in Bild 138/1 dargestellten hydraulischen Bremse!



138/1

## Auflage- und Schweredruck

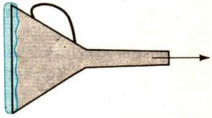
1. Auf die Griffe einer Kneifzange und einer Flachzange wird in gleichem Abstand von der Drehachse jeweils die gleiche Kraft ausgeübt. Bei welcher Zange wirkt ein größerer Druck auf einen Draht? Erkläre!
2. Ein Lkw wird hinten mit 2 zusätzlichen Rädern ausgerüstet. Welcher Vorteil ist damit verbunden?
3. Vervollständige die Tabelle! Benutze dabei das Druck-Tiefe-Diagramm in Bild 105/1!

| Flüssigkeit | Dichte in $\frac{g}{cm^3}$ | Schweredruck in 8 m Tiefe in kPa | Tiefe für Schweredruck 50 kPa in m |
|---|---|---|---|
| Brennspiritus | 0,8 | | |
| Wasser | 1,0 | | |
| Kochsalzlösung | 1,1 | | |

4. Die Gefäße (Bild 138/2a, b, c) haben gleich große Grundflächen und sind mit Öl gefüllt. Welche der folgenden Aussagen ist richtig? Begründe!
   a) Der Schweredruck ist am Boden von Gefäß b am kleinsten.
   b) Der Schweredruck ist am Boden aller Gefäße gleich.
   c) Der Schweredruck ist am Boden von Gefäß a am größten.

138/2

5. Warum kann man bei hydraulischen Anlagen den Schweredruck unberücksichtigt lassen?
6. Spanne über die weite Öffnung des abgebildeten Trichters eine Gummihaut und sauge durch die enge Öffnung die Luft aus (Bild 138/3). Was beobachtest du? Wie ist die Erscheinung zu erklären?



138/3

7. Lies aus dem Luftdruck-Höhe-Diagramm (Bild 108/2) ab, wie groß der Luftdruck in bestimmten Höhen ist! Vervollständige die Tabelle!

| Beispiel | Höhe | mittlerer Luftdruck |
|---|---|---|
| Meeresspiegel | 0 m | |
| Brocken | 1 140 m | |
| Fichtelberg | 1 209 m | |
| Ryzy (Hohe Tatra) | 2 499 m | |
| Flughöhe (Passagierflugzeug) | 10 000 m | |

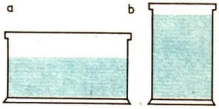
8. Ein einfaches Verfahren für das Verschließen von Marmeladegläsern besteht darin, das mit heißer Marmelade gefüllte Glas mit einer Plastefolie abzudichten.
Fülle ein Marmeladeglas vorsichtig mit heißem Wasser und dichte es mit einer Plastefolie ab! Beobachte den Verschluß, wenn sich das Wasser im Glas abkühlt! Erkläre die Erscheinung!

9. Eine Gummiwärmflasche wird mit Wasser gefüllt und ein etwa 2 m langer lotrecht gehaltener Gummischlauch dicht angeschlossen. Ein Schüler mit einer Masse von 50 kg stellt sich auf ein 1 000 cm² großes Brett, das vollständig auf der Wärmflasche liegt. Wie hoch steigt das Wasser im Schlauch? (Bild 139/1)

139/1

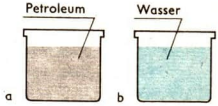
10. Der Wasserstand der Rappbodetalsperre beträgt durchschnittlich 80 m. Wie groß ist der Schweredruck am Fuß der Staumauer?
11. Infolge einer Verstopfung füllt sich das Fallrohr einer Dachrinne mit Wasser. Welcher Schweredruck herrscht am unteren Ende des Fallrohres bei 6 m Wasserstand? Warum kann das Fallrohr platzen?

12. In den Gefäßen (Bild 139/2a, b) befinden sich Flüssigkeiten, die gleiche Massen haben. In welchem Gefäß ist der Schweredruck am Boden größer? Begründe!



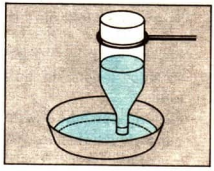

139/2

13. In gleichen Gefäßen (Bild 139/3a, b) befinden sich unterschiedliche Flüssigkeiten. In welchem Gefäß ist der Schweredruck am Boden größer? Begründe!



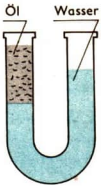

139/3

14. Beschreibe die Wirkungsweise der Geflügeltränke! (Bild 139/4)
15. Bei der Höhenbestimmung mit Barometern ist gleichzeitiges Messen des Luftdrucks auf dem Berg und in der Talstation notwendig. Warum?



139/4

16. Ein bedeutender Wissenschaftler des 17. Jahrhunderts war Otto von Guericke. Was weißt du über ihn? Beschreibe ein Experiment, mit dem er den Luftdruck überzeugend nachgewiesen hat!
17. Füllt man in ein U-Rohr zwei verschiedene, nicht mischbare Flüssigkeiten, so stehen diese in den Schenkeln nicht gleich hoch. Wie ist das zu erklären? (Bild 140/1)
18. Mit einer Pipette (Bild 140/2) saugt man Flüssigkeit an.
Dann verschließt man die obere Öffnung mit einem Finger und überträgt die Flüssigkeit in ein anderes Gefäß. Warum fließt die Flüssigkeit nicht aus, obwohl sich über ihr noch Luft befindet?

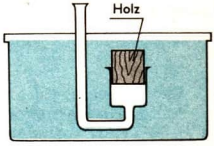


140/1

140/2

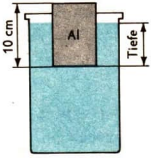
## Auftrieb in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen

1. Warum bleibt eine Messingmünze in Quecksilber am Boden liegen, solange kein Quecksilber unter sie gelangt?
2. Ein leicht bewegliches Holzstück schwimmt nicht, solange kein Wasser darunter ist. Füllt man Wasser in das Rohr, so beginnt das Holzstück zu schwimmen, wenn es vom Wasser erreicht wird (Bild 140/3). Wie ist das zu erklären?

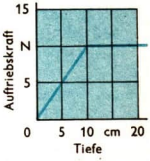


140/3

3. Stellt man die Auftriebskraft, die ein Aluminiumwürfel mit 10 cm Kantenlänge erfährt, und die Eintauchtiefe in Wasser grafisch dar, so erhält man folgendes Diagramm (Bild 140/4):
   a) Wie groß ist die Auftriebskraft, wenn der Körper 5 cm tief eingetaucht ist?
   b) Wie tief muß der Körper eingetaucht werden, damit die Auftriebskraft 7 N beträgt?
   c) Wie ist zu erklären, daß nach einer Eintauchtiefe von 10 cm die Auftriebskraft nicht mehr größer wird?

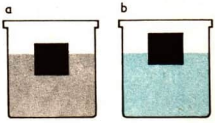


140/4



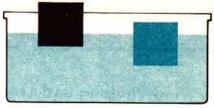

4. Warum schwimmt ein Stück Eis in Wasser, während es in Petroleum versinkt?
5. Warum versinkt ein Nagel im Wasser, ein viel schwereres Schiff jedoch nicht?

6. Ein Ei geht in Wasser unter. Es schwimmt oder schwebt jedoch in Salzwasser. Wie ist das zu erklären?
7. Ein und derselbe Körper schwimmt in zwei verschiedenen Flüssigkeiten. Wie ist die unterschiedliche Eintauchtiefe zu erklären (Bild 140/5)?



140/5

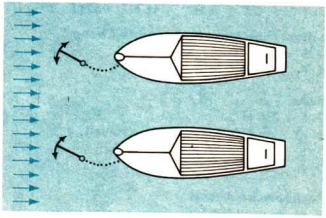
8. Zwei Körper gleichen Volumens schwimmen im gleichen Gefäß. Wie ist die unterschiedliche Eintauchtiefe zu erklären (Bild 141/1)?



141/1

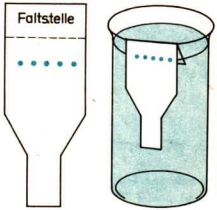
## Strömende Gase und Flüssigkeiten

1. Die beiden Boote des Bildes 141/2 sind nebeneinander in einem Fluß verankert. Zeichne die Stromlinien in der Umgebung der Boote! Schließe aus dem Stromlinienbild, wie die Boote von der Strömung beeinflußt werden! Was würde geschehen, wenn die Boote nebeneinander durch ein ruhendes Gewässer fahren?



141/2

2. Bei Sturm können ganze Dächer abgehoben werden. Erkläre anhand eines selbst gezeichneten Stromlinienbildes, welche Drücke oberhalb und unterhalb der Dachfläche herrschen!
   Wie groß ist die Kraft, die ein Flachdach von 8 m Länge und 6 m Breite erfährt, wenn der Druck unterhalb des Daches um 240 Pa größer als oberhalb ist?
3. Lasse in einem wassergefüllten hohen Standzylinder nahe der Wand eine Glaskugel absinken! Beschreibe und erkläre, warum die Kugel beim Absinken die Wand berührt!
4. Stromlinienbilder lassen sich in einem einfachen Experiment herstellen. Ein Löschpapierstreifen der abgebildeten Form (Bild 141/3) wird mit Tintenflecken im Abstand von etwa 15 mm versehen. Der Streifen wird dann umgeknickt und an den Rand eines wassergefüllten Gefäßes gehängt, so daß der umgeknickte Abschnitt eintaucht. Führe dieses Experiment aus, und erkläre das Entstehen des Stromlinienbildes!




141/3

5. Ein Ball tanzt auf einem senkrecht nach oben gerichteten Wasserstrahl, ohne daß er nach irgendeiner Seite herunterfällt.
   Erkläre diese Erscheinung!
   Führe ein ähnliches Experiment mit einem Tischtennisball und einer Luftdusche durch!
   Beobachte ein gekochtes Ei, das zum Abkühlen unter einen Wasserstrahl in das Spülbecken gelegt wird!
   Erkläre, warum das Ei durch den aufprallenden Wasserstrahl nicht weggerollt wird!

## 6. Wiederholung und Übung

### Kräfte

3.

| $m$ | 50 g | 500 g | 1 500 g | 3 kg | 2 t |
|---|---|---|---|---|---|
| $F$ | 0,5 N | 5 N | 15 N | 30 N | 20 kN |

### Rollen, Flaschenzug, geneigte Ebene

2. $m = 40$ kg
4. $F_{Zug} = 1\,500$ N

### Hebel

2. $F = 360$ N
6. a) $F_1 = 240$ N (zweiseitiger Hebel)
   b) $F_1 = 180$ N (einseitiger Hebel)
7. $F_{Zug} = 0{,}1$ N

### Mechanische Arbeit

6. a) $W = 12\,000$ MJ
   b) $W = 4\,000$ MJ
7. $W = 800$ J
8. a) $W_{Hub} = 250$ kJ
   $W_{aufgew} = 350$ kJ
   b) $W_{aufgew} = 320$ kJ
9. $W_{aufgew} = 2{,}8$ kJ

### Mechanische Leistung

8. $P = 1\,111{,}1$ W
   $P = 2$ kW (ausgewählt)

## 11. Wiederholung und Übung

2. $V = 13$ l

## 18. Wiederholung und Übung

### Druck der Gase

1. b) $p = 2\,000$ Pa
   c) $F = 2\,000$ N
2. a) $F_2 = 2\,F_1$
   b) $F_2 = \frac{2}{3}\,F_1$
   c) $F_2 = 1{,}5\,F_1$

### Druck der Flüssigkeiten

4. $A_M = 0{,}75$ m²
   $F = 11$ MN
5. $A = 20$ cm²
   $p = 4$ MPa

### Hydraulische Anlagen

1. $F_b = 2000$ N
5. $A = 50$ cm²
   $F_G = 8$ kN
6. $d_A = 125$ mm (gewählt)

### Auflage- und Schweredruck

9. $h = 50$ cm
10. $p = 800$ kPa
11. $p = 60$ kPa

### Auftrieb in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen

3. a) $F_A = 5$ N
   b) $h = 7$ cm

### Strömende Gase und Flüssigkeiten

2. $F_A = 11\,520$ N

## Aufgaben

### S. 9

3.

| $m$ | 500 g | 1 500 g | 5 kg | 6,5 kg | 2 t |
|---|---|---|---|---|---|
| $F$ | 5 N | 15 N | 50 N | 65 N | 20 kN |

4. a) 5 kN; 15 kN; 3,5 kN; 0,8 kN
   b) 6 MN; 4,5 MN; 7 MN
   c) 3 000 N; 4 000 000 N; 1 500 N; 300 000 N

### S. 21

4. $F_{Hub} = 500$ N

### S. 23

1. $m = 160$ kg
3. $F_{Zug} = 500\text{ N} < 600\text{ N}$
   Es ist eine lose Rolle notwendig.

### S. 30

2. m = 3600 kg

### S. 33

2. $l_1 = 0{,}1$ m

### S. 36

3. $F_1 = 500$ N

### S. 43

1. a) $W = 25$ kJ
2. a) $W = 240$ kJ
3. $W = 300$ J
4. $W = 24$ kJ

### S. 45

2. $W_{Hub} = 2{,}0$ MJ; $W_{aufgew} = 2{,}7$ MJ

**S. 51**

1. $P = 2$ kW
2. $P = 1{,}5$ kW (ausgewählt)
3. $P = 12$ kW

**S. 73**

2. Motor 1: 50 kJ / 800 kJ / 500 kJ / 320 kJ
   Motor 2: 80 kJ / 500 kJ / 800 kJ / 200 kJ
3. a) $\eta = 33{,}3\%$
   b) $\eta = 60\%$

**S. 87**

4. $p = 100$ kPa
5. $F = 50$ kN

**S. 93**

2. $p = 4$ MPa
3. $F = 400$ N (Wasserleitung)
   $F = 300$ N (Druckluftleitung)

**S. 99**

1. $F_A < F_G$
3. a) $W_{aufgew} = 1\,200$ J
   b) $W_{Hub} < W_{aufgew}$
4. $V = 0{,}13$ m³
5. $F_A = 40$ kN

**S. 103**

3. $p = 86$ kPa ($p > 70$ kPa!)

**S. 105**

1. $p = 30$ kPa
3. Brennspiritus: 40 kPa
   Wasser: 50 kPa
   Kochsalzlösung: 55 kPa

**S. 107**

1. $F = 600$ kN

**S. 111**

1. $F = 120$ N

**S. 117**

2. $F_A = 1$ N

# Register


Anlage, hydraulische 94
Arbeit 43
– zur Überwindung der Reibung 38
Archimedes 5
–, Gesetz von 116
Aufgabe, Lösen von 30
aufgewandte Energie 71
Auflagedruck 100
Auftrieb 112
Auftriebskraft 113, 133

Bahnen 123
Barometer 107
Beschleunigungsarbeit 38, 42, 59, 64
Bremse, hydraulische 96

Chemische Energie 62, 67

Darstellung von Kräften 12
Dichte 128
Dosenbarometer 107
Drehpunkt 32
Druck 81, 85, 89, 93, 130
Druckdifferenz 110
Druckdose 103
Druckkraft 12, 130
Druckluft 80, 88, 93
Druckmessung 110
Druckunterschied 83, 84, 133
Düse 126

Einrichtung, kraftumformende 94
elektrische Energie 65
Energie 57, 59, 104, 124
–, aufgewandte, nutzbare 71
–, chemische 62, 67
–, elektrische 62, 65
–, kinetische 61, 65
–, mechanische 61
–, potentielle 60, 64
–, thermische 61
Energieformen 58, 59, 64, 67
Energiequellen 62
Energieträger 58, 62
Energieübertragung 65
Energieumwandlung 64
Erhaltung der Energie 74 ff.
–, Gesetz von der 74

Federkraftmesser 10, 105
Fehlerbetrachtung 22
Fehler des Meßgerätes 10, 86
Fehler durch die Experimentieranordnung 22
feste Rolle 20
Flaschenzug 5, 19, 22
Flugzeug 124
Flüssigkeitsdruck 92, 111

Galilei, Galileo 26
Gasdruck 81, 84, 111
Gasmoleküle 82
geneigte Ebene 19, 26
Gewichtskraft 8
glatte Strömung 123
Gleitreibung 14
Gleitreibungskraft 18
Goldene Regel der Mechanik 25, 45, 97
Guericke, Otto von 79, 81, 109

Haftreibung 14
Hebel 31
–, einseitig, zweiseitig 36
Hebelgesetz 32, 34
Hubarbeit 38, 42, 64
Hubkraft 12, 20
hydraulische Anlagen 94

Joule (Einheit) 40
Joule, James Prescot 40

Kernenergie 62
kinetische Energie 61
Kolbendruck 111
Kolbenprober 84
Kompressibilität 90
Körper, umströmter 123
Kraft 7, 10, 12, 13, 93
Kraftarm 32, 33
Kraftmessung 9
kraftumformende Einrichtung 5, 94
Kraftübertragung 96

Leistung, mechanische 46
–, Mensch und Tier 50
lose Rolle 20, 94
Lösen mathematisch-physikalischer Aufgaben 30
Luftdruck 82, 91, 106
Luftdruckmessung 107
Luftpumpe 88, 109

Magdeburger Halbkugeln 109
Manometer, Röhrenfeder- 88
–, U-Rohr- 83
mechanische Arbeit 37, 67, 98
– Leistung 46
Membran 103, 130
Meßfehler 10

Näherungswert 10
Newton (Einheit) 9
Newton, Isaac 9
Normdruck 108
nutzbare Energie 71

Pascal (Einheit) 86
Pascal, Blaise 79, 86, 106
Perpetuum mobile 74
persönlicher Fehler 22, 86
potentielle Energie 60
Protokoll, Anfertigen 27
Pumpe, Saug- 110
–, Druck 91

Querschnittsfläche 128

Reibung 13
Reibungskraft 13
Rolle 19
Rollreibung 14
Röhrenfedermanometer 88

Sinken, Steigen 118
Stromlinie 122
Stromlinienkörper 123
Strömung 121
Strömungsgeschwindigkeit 124, 125, 128, 130
Strömung, glatt, verwirbelt 123
Strömungsquerschnitt 125

Scheibenbremse 97
Schweben, Schwimmen 118
Schweredruck 100, 102, 106, 111

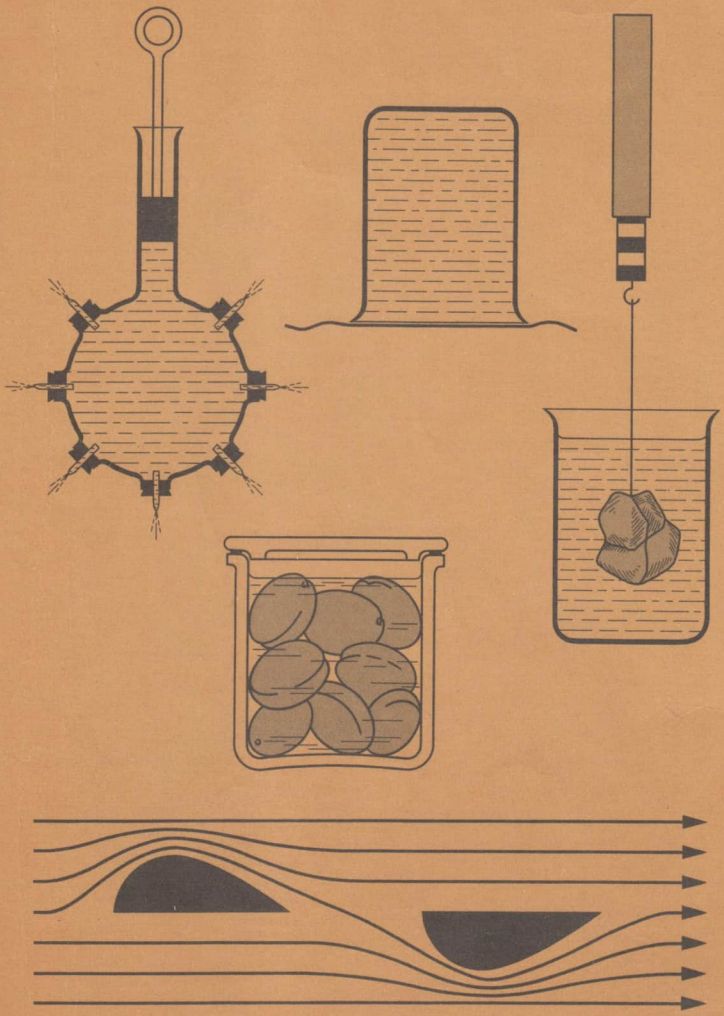
Technisches Gerät, Beschreiben, Erklären 29
Torricelli, Evangelista 79, 109
Tragflügelprofil 132

U-Boot 102
Überdruck 82
umströmter Körper 123
U-Rohr-Manometer 83, 103, 110

Verformungsarbeit 38, 59
Vergaser 132
verwirbelte Strömung 123

Wärme 67
Watt (Einheit) 48
Watt, James 48
Widerstandskraft 127
Wirbel 123
Wirkungsgrad 70

Zerstäuber 132
Zugkraft 12, 20



Kurzwort: 020708 Lehrb. Physik Kl. 7
Schulpreis DDR: 2,00