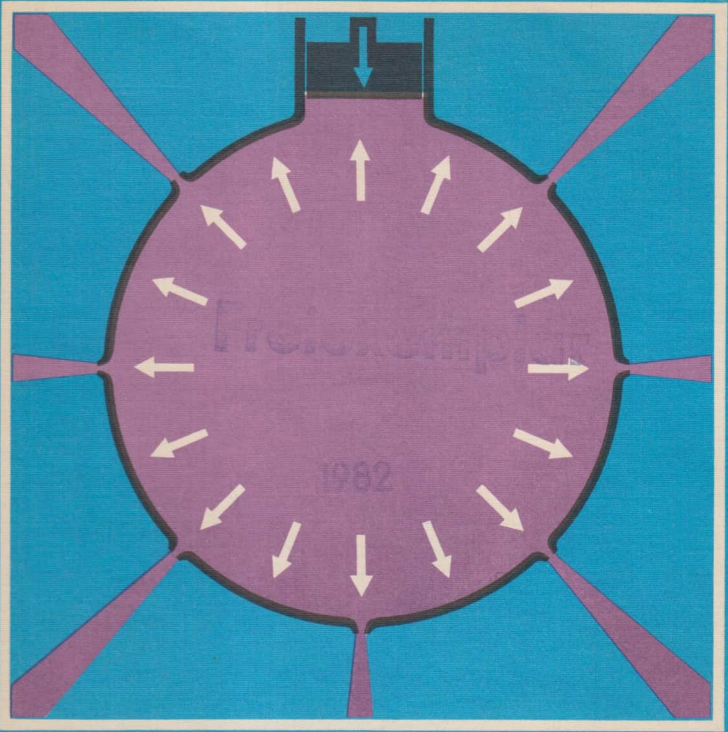
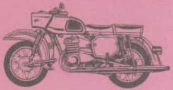


PHYSIK 7

Kleinroller
„Schwalbe"
3,4 PS

2,5 kW

Motorrad
MZ ES 250 2
17,5 PS



12,9 kW

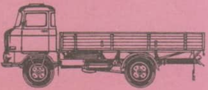
Personenkraftwagen
„Trabant 601"
23 PS

16,9 kW

Personenkraftwagen
„Wartburg 353"
45 PS

33 kW

Lastkraftwagen
IFA W 50
110 PS



81 kW

10 kW

D-Zug-Lokomotive
Baureihe 01
2240 PS

1650 kW

Dieselhydraulische
Lokomotive 118
2300 PS

1690 kW

Fang- und Gefrierschiff
„Atlantik"
2630 PS

1940 kW

Elektrische Lokomotive
Baureihe 211
3970 PS

2920 kW

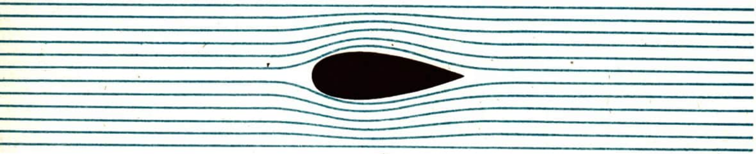
Transport- und
Verarbeitungsschiff
„Junge Welt"
5170 PS

3800 kW

1000 kW

PHYSIK

Lehrbuch für Klasse 7



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin
1981

Autoren: Hubert Buscherowsky (Die Kraft und ihre grafische Darstellung)
Rolf Grabow (Arbeit, Energie, Leistung außer: Die Kraft und ihre grafische Darstellung)
Wolfgang Scholz (Mechanik der Flüssigkeiten und Gase)
Eberhard Eichler (Schülerexperimente)

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Schulbuch bestätigt

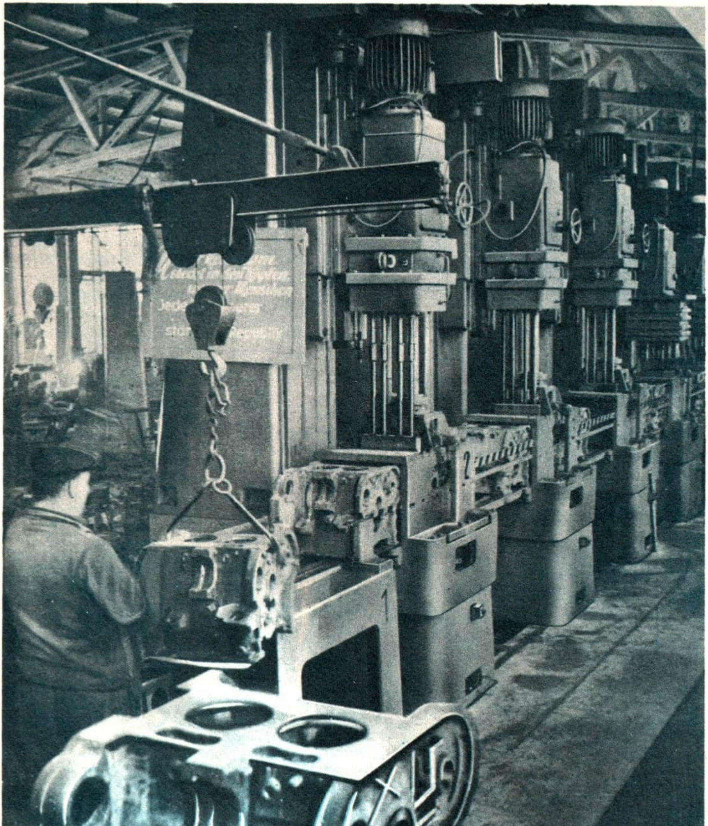
14. Auflage · Ausgabe 1968
Lizenz Nr. 203 · 1000/80 · (DN 02 07 07-14)
LSV 0681
Redaktion: Werner Golm, Willi Wörstenfeld
Ausstattung: Manfred Behrendt
Technische Illustrationen: Heinrich Linkwitz
Illustrationen: Carla Mann
Printed in the German Democratic Republic
Satz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig
Druck und Binden: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Gesetzt aus der 10/11 p Gill-Grotesk
Redaktionsschluß: 24. 5. 1980
Bestell-Nr. 730 070 5 · Schulpreis DDR: 2,00

Inhalt

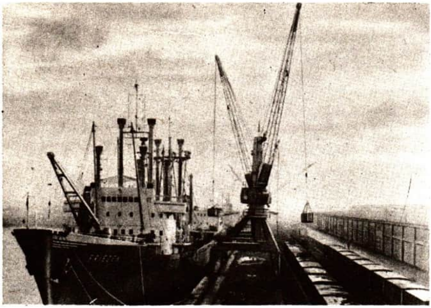
Im Lehrbuch verwendete Symbole

- ▼ Versuch
- ▶ Merksätze
- ■ Beispiele
- ● Aufgaben
- * Aufgaben mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad
- ↗ siehe

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



Arbeit, Energie, Leistung



Die Kraft und ihre grafische Darstellung

Überall in unserer Republik, z. B. auf vielen Großbaustellen und in den Häfen (das Bild zeigt den Rostocker Hafen), sind moderne Drehkräne im Einsatz. Sie helfen den Hafenarbeitern, die Schiffe so schnell wie möglich zu beladen und zu entladen. Das Gewicht des an den Seilen hängenden Ladegutes bewirkt, daß in den Seilen Kräfte auftreten.

Physikalische Größen

Wir haben in der Klasse 6 folgende Begriffe kennengelernt, die für das Erklären physikalischer Vorgänge verwendet werden: Länge, Volumen, Geschwindigkeit, Kraft, Masse, Dichte, Temperatur.
Es ist oft jedoch nicht ausreichend, einen Vorgang nur zu erklären. Das soll im folgenden Beispiel erläutert werden.

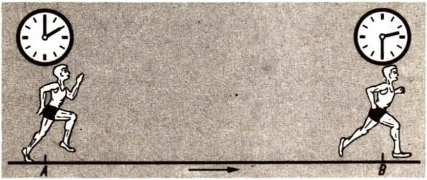


Bild 6/2

- *Erkläre den im Bild 6/2 dargestellten Vorgang!*

Wenn wir die Durchschnittsgeschwindigkeit des Läufers (Bild 6/2) angeben wollen, mit der er den Weg von A nach B zurückgelegt hat, so müssen wir die Länge der Strecke $\overline{AB}$ und die Zeit *messen*.

- *Wie würdest du die gesuchte Länge messen? Gib die Gleichung an, nach der die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet wird!*

Beim Messen der Länge der Strecke $\overline{AB}$ ermitteln wir, wie oft die Einheit der Länge (das Meter) in der gesuchten Länge enthalten ist. Dazu kann man in unserem Beispiel ein Meßband verwenden. Das Ergebnis der Längenmessung könnte lauten:

$l = 100$ m.

Wir wollen das Ergebnis ausführlich darstellen:

$l = 100 \cdot 1$ m;

$l =$ Zahlenwert · Längeneinheit.

Aus dem Beispiel erkennt man, daß eine Länge durch einen Zahlenwert und eine Längeneinheit angegeben wird. Die Länge wird mit einem Meßgerät nach einer bestimmten Vorschrift gemessen.
Man sagt auch:
Die Länge ist eine *physikalische Größe*.
Es gibt noch viele andere physikalische Größen (z. B. Volumen, Geschwindigkeit, Kraft).

Jede physikalische Größe ist als Produkt aus Zahlenwert und Einheit anzugeben. Zum Bestimmen einer physikalischen Größe müssen festgelegt werden: 1. eine Einheit und 2. eine Meßvorschrift, nach der der Zahlenwert ermittelt werden kann.

Physikalische Größe = Zahlenwert · Einheit

In der folgenden Übersicht ist das am Beispiel der physikalischen Größe Länge zusammengestellt:

Formelzeichen	Zahlenwert	Einheit	Meßgerät	Meßvorschrift
l	z. B. 100	m	z. B. Meßband	Es ist festzustellen, wie oft die Einheit (Meter) in der zu ermittelnden Länge enthalten ist!

Fertige eine entsprechende Übersicht für die physikalische Größe Masse an!

Aus der Festlegung der physikalischen Größe geht hervor, daß sie meßbar ist.
Das Messen physikalischer Größen ist für die Technik und die Forschung besonders wichtig (Meßtechnik).
Bei der Herstellung von Roheisen im Hochofen muß ständig die Temperatur gemessen werden. Im Walzwerk werden die Dicken der Stahlbleche gemessen.

Physikalische Größen treten häufig bei Berechnungen auf. Es ist darauf zu achten, daß für das Formelzeichen einer physikalischen Größe stets der *Zahlenwert* und die *Einheit* eingesetzt werden.

■ Es soll die Durchschnittsgeschwindigkeit des Läufers im Bild 6/2 berechnet werden.

Gegeben:

$s = 10000\ \text{m} = 10\ \text{km}$

$t = 0{,}5\ \text{h}$

Gesucht:

v

Lösung:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{10\ \text{km}}{0{,}5\ \text{h}}$$

$$\underline{\underline{v = 20\ \frac{\text{km}}{\text{h}}}}$$

Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Läufers beträgt 20 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Die physikalische Größe Kraft

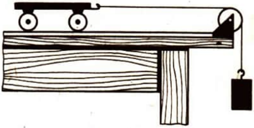
Die Kraft ist eine physikalische Größe.

● *Gib entsprechend der Übersicht (↗ S. 7) die Merkmale der physikalischen Größe Kraft an!*

Kräfte erkennt man bei physikalischen Vorgängen an den Wirkungen, die sie hervorrufen.

● *Betrachte die Bilder 8/1 und 8/2 und gib entsprechend der Übersicht Ursache und Wirkung der dargestellten Vorgänge an!*

Vorgang	Ursache	Wirkung
	Muskelkraft	Verformung der Schraubenfeder

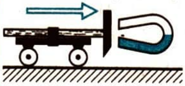


● *Welche beiden Arten der Kraftwirkung unterscheidet man?*

Bild 8/1

Wir erkennen aus den Beispielen:

Bild 8/2



▶ Die Kraft ist die Ursache für die Änderung der Geschwindigkeit oder für die Änderung der Form eines Körpers.

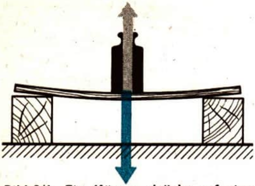


Bild 9/1 Ein Körper drückt auf eine Unterlage

Von besonderer Bedeutung ist die Kraft, die zwischen der Erde und den Körpern auf der Erde wirkt. Diese Kraft nennen wir *Gewicht*.

> Das Gewicht eines Körpers ist die Kraft, mit der er von der Erde angezogen wird.

Eine Unterlage (Brett, Blech o. ä.) wird durch das Gewicht eines Körpers verformt (Bild 9/1, blauer Pfeil). Wenn wir mit der Hand diese Unterlage ebenso verformen, so fühlen wir, daß die Unterlage ebenfalls gegen die Hand drückt. Die auf die Unterlage wirkende Kraft ist senkrecht nach unten gerichtet, die gegen die Hand wirkende Kraft dagegen senkrecht nach oben (grauer Pfeil).

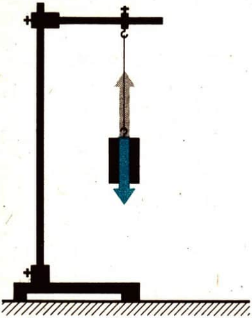


Bild 9/2

Erkläre entsprechend die auftretenden Kräfte im Bild 9/2!

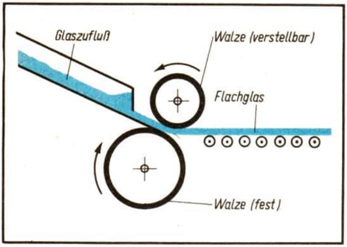
Würden wir den Faden beim Versuch im Bild 9/2 durchschneiden, so würde der Körper durch sein Gewicht nach unten fallen. Der Faden verhindert das Fallen. In ihm wirkt eine Kraft, die so groß wie das Gewicht des Körpers ist. Beide Kräfte unterscheiden sich aber durch ihre Richtung. Die Kraft im Faden und das Gewicht haben entgegengesetzte Richtungen.
Wenn wir das Gewicht als *wirkende Kraft* bezeichnen, so können wir die Kraft im Faden *Gegenkraft* nennen. Aus weiteren Versuchen kann man ebenfalls erkennen:

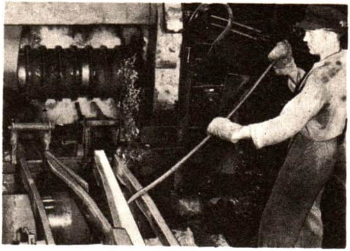
> Zu jeder Kraft gehört eine gleich große Gegenkraft. Kraft und Gegenkraft haben entgegengesetzte Richtungen und greifen an verschiedenen Körpern an.

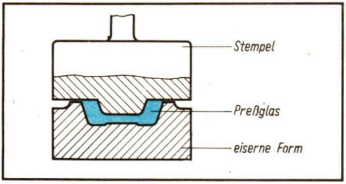
Suche weitere Beispiele, die diese Erkenntnis bestätigen!

Wir wissen, daß Kräfte die Geschwindigkeit und die Form eines Körpers ändern können. Bei der Verformung der Körper kann man je nach der Richtung der wirkenden Kraft folgende Kraftarten unterscheiden:
Zugkraft: Ein Körper *zieht* an einem zweiten Körper.
Druckkraft: Ein Körper *drückt* auf einen zweiten Körper.

In der Technik werden Körper durch Zug- und Druckkräfte verformt (Zugkräfte: Ziehen; Druckkräfte: Pressen, Schmieden, Walzen).







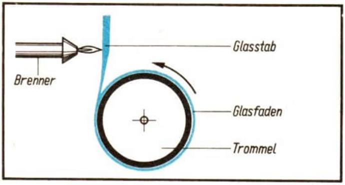


Bild 10/1 Walzen von Flachglas
Bild 10/2 Walzenstraße
Bild 10/3 Pressen von Aschenbechern
Bild 10/4 Ziehen von Glasfäden

Einige Beispiele sind in den Bildern 10/1 bis 10/4 dargestellt.

Manchmal dürfen Zug- oder Druckkräfte in der Technik nicht so groß sein, daß Körper bleibend verformt werden. Brückenkonstruktionen müssen beispielsweise so berechnet werden, daß bei Belastung nur elastische Verformungen auftreten. Deshalb finden wir vor Brücken häufig Verkehrszeichen, die auf die Höchstbelastung hinweisen (Bild 10/5).

Bild 10/5 Was bedeutet dieses Verkehrszeichen? Achte auf die Einheit!

Beim Betrachten der Beispiele in den Bildern 10/1 bis 10/4 kann man bereits vermuten, daß Kräfte stets zwischen mindestens zwei Körpern wirken. Wir wollen diese Vermutung überprüfen. Dazu denken wir uns im Bild 8/1 einen Körper weg, z. B. den Hakenkörper. Ist jetzt noch die entsprechende Kraftwirkung festzustellen? Der Wagen kann sich fortbewegen, wenn der zweite Körper durch sein Gewicht über eine Schnur an ihm zieht. Fehlt dieser zweite Körper, so kann die entsprechende Wirkung – Geschwindigkeitsänderung – nicht beobachtet werden.
Wir wollen diese Aussagen im Versuch bestätigen.

1 Lege ein Manipermhaftplättchen auf eine ebene glatte Unterlage! Schiebe allmählich ein zweites Manipermhaftplättchen in die Nähe des ersten! Was kannst du beobachten? Gib Ursache und Wirkung an! Nimm das zweite Manipermhaftplättchen wieder weg! Warum kannst du dann nicht mehr die entsprechende Kraftwirkung beobachten?

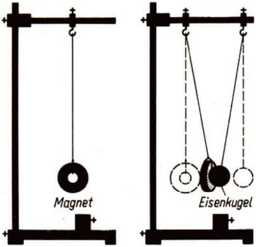


Bild 11/1

Weitere Beispiele bestätigen ebenfalls die Vermutung:

> Kräfte wirken stets zwischen mindestens zwei Körpern.

Erläutere entsprechend die Bilder 8/1, 8/2 und das Bild 11/1!

Die statische Kraftmessung

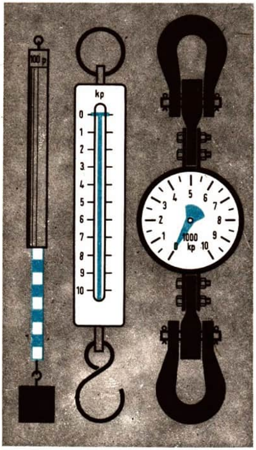
Durch eine Kraft kann ein Körper verformt werden. Diese Wirkung nutzt man bei der Kraftmessung aus.

Diese Wirkung einer Kraft wird als statische Wirkung bezeichnet. Deshalb spricht man von statischer Kraftmessung. Die Änderung der Geschwindigkeit eines Körpers beim Wirken einer Kraft nennt man dagegen die dynamische Wirkung der Kraft. Auch sie kann für die Kraftmessung ausgenutzt werden.

Wir haben bereits in Klasse 6 untersucht, wie die Verlängerung einer Schraubenfeder bei elastischer Verformung von der angreifenden Kraft abhängt. Es wurde festgestellt:

> Die Verlängerung einer Schraubenfeder nimmt in dem Maße zu, wie die an ihr wirkende Kraft vergrößert wird.

Bild 11/2 Technische Federkraftmesser



Diesen Zusammenhang nutzt man bei den *Federkraftmessern* (Bild 11/2) aus, mit denen Kräfte gemessen werden können.
Eine Einheit der Kraft ist das *Kilopond* (kp).

Die Kraft 1 Kilopond ist das Gewicht eines Körpers mit der Masse 1 Kilogramm (Internationaler Kilogramm-Prototyp) unter 45° geographischer Breite und in Meereshöhe.

Bestimme die Masse eines Körpers mit einem geeigneten Meßgerät! Ermittle anschließend die Kraft, mit der dieser Körper eine Schraubenfeder dehnt! Wie groß ist die Masse des Körpers? Gib an, wie groß das Gewicht des Körpers ist!

Die grafische Darstellung von Kräften

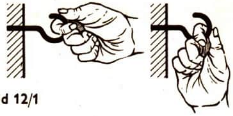


Bild 12/1

- *Betrachte das Bild 12/1! In welchem Fall läßt sich der Haken leichter aus der Wand ziehen?*

Dieses Beispiel zeigt, daß für die Wirkung einer Kraft *Betrag* und *Richtung* von Bedeutung sind. Man sagt auch:

> Die Kraft ist eine gerichtete physikalische Größe.

- *Begründe, warum die Dichte keine gerichtete physikalische Größe ist!*

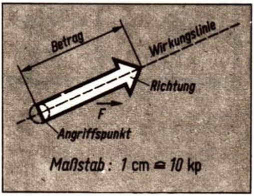


Bild 12/2 Zeichnerische Darstellung einer gerichteten physikalischen Größe durch einen Pfeil

Gerichtete physikalische Größen werden in der Schreibweise dadurch gekennzeichnet, daß man über das Formelzeichen der physikalischen Größe einen waagerechten Pfeil setzt, z. B. $\vec{F}$. Zur zeichnerischen Darstellung gerichteter physikalischer Größen verwendet man Pfeile (Bild 12/2); dabei gilt:

Pfeilrichtung:	*Richtung* der Kraft,
Pfeillänge:	*Betrag* (Zahlenwert und Einheit) der Kraft,
Anfangspunkt des Pfeiles:	*Angriffspunkt* der Kraft,
Linie, auf die der Pfeil gezeichnet wird:	*Wirkungslinie* der Kraft.

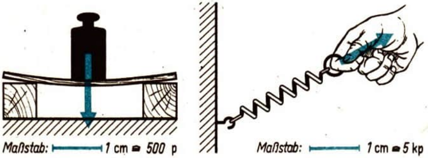


Bild 12/3 und Bild 12/4

- *Wie groß ist der Betrag der Kraft in den Bildern 12/3 und 12/4? Vergleiche Beträge, Richtungen, Angriffspunkte und Wirkungslinien in den Bildern 12/5a bis e!*

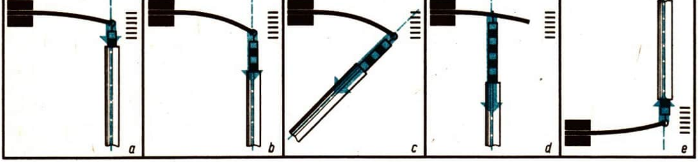


Bild 12/5a bis e Verschiedene Kräfte verformen eine Blattfeder

Das Zusammensetzen von Kräften

Im täglichen Leben finden wir viele Beispiele, die zeigen, daß auf einen Körper nicht nur ein anderer Körper, sondern mehrere Körper wirken. Es wirken dann zugleich mehrere Kräfte auf diesen Körper.

Wenn wir einen Handwagen ziehen, der mit Kisten beladen ist, so wirken an dem Handwagen das Gewicht der Kisten, die Reibungskraft und unsere Muskelkraft (Bild 13/1). Fährt ein Motorboot bei Wind durch ein strömendes Gewässer, so wirken auf das Boot die Kraft des Motors, die Reibungskraft, die Kraft der strömenden Luft und des strömenden Wassers. Wenn ein Zug auf einer Strecke größere Steigungen überwinden muß, werden oft zwei Lokomotiven vor den Zug gespannt.

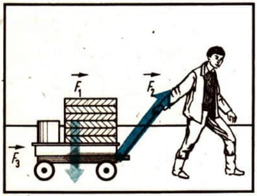


Bild 13/1 Verschiedene Kräfte wirken an einem Handwagen

Wir wissen bereits, daß zum Kennzeichnen einer Kraft ihr Betrag, ihre Wirkungslinie und ihre Richtung anzugeben sind. Will man die Wirkung mehrerer Kräfte auf einen Körper angeben, müssen von jeder Kraft Betrag, Wirkungslinie und Richtung bekannt sein.
Im Beispiel des gezogenen Handwagens wirkt das Gewicht der Kiste senkrecht nach unten und die Reibungskraft entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung, gleichzeitig wirkt die Muskelkraft schräg nach oben. Dabei bewegt sich der Wagen in eine bestimmte Richtung. Beim Boot können die Richtungen der Kräfte ebenfalls ganz unterschiedlich sein, und doch bewegt sich das Boot in *eine* bestimmte Richtung. Aus diesen Beispielen können wir selbst schon folgende allgemeine Aussage ableiten:

> Wirken mehrere Kräfte gleichzeitig auf einen Körper, so kann man diese Kräfte zu einer Gesamtkraft zusammensetzen. Die Gesamtkraft wirkt dann ebenso auf den Körper, wie die einzelnen Kräfte (Teilkräfte) gleichzeitig wirken.

Wir wollen zunächst untersuchen, nach welchem Verfahren man die Gesamtkraft für zwei *Teilkräfte mit gemeinsamer Wirkungslinie* ermitteln kann. Es können folgende Möglichkeiten auftreten: Die Kräfte haben die gleiche Richtung oder die Kräfte haben entgegengesetzte Richtung.

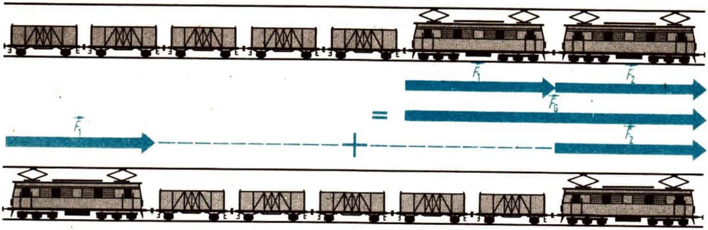


Bild 14/1 Zeichnerische Zusammensetzung von Teilkräften zu einer Gesamtkraft

Zusammensetzung von Kräften mit gleicher Richtung

Ein Güterzug wird von 2 Lokomotiven gezogen. Die eine Lokomotive zieht den Zug mit einer Kraft von 10000 kp, die andere mit 15000 kp. Die Teilkräfte haben also die Beträge 10000 kp und 15000 kp. Beide Teilkräfte haben die gleiche Richtung, sie haben eine gemeinsame Wirkungslinie. Wie groß ist die Gesamtkraft der beiden Lokomotiven?

Man kann den Betrag der Gesamtkraft rechnerisch aus den Teilkräften mit gemeinsamer Wirkungslinie ermitteln, indem man die Beträge der Teilkräfte addiert. Die Gesamtkraft hat die gleiche Richtung wie die Teilkräfte.	$F_G = F_1 + F_2$

Wir wollen die Gesamtkraft in unserem Beispiel berechnen.

Gegeben:

$F_1 = 10000$ kp

$F_2 = 15000$ kp

Gesucht:

F_G

Lösung:

$F_G = F_1 + F_2$

$F_G = 10000 \text{ kp} + 15000 \text{ kp}$

$\underline{\underline{F_G = 25000 \text{ kp}}}$

Der Betrag der Gesamtkraft ist 25000 kp.

Das Bild 14/1 zeigt, wie man zeichnerisch die Gesamtkraft ermitteln kann. Zunächst stellt man die Teilkräfte durch Pfeile dar. Danach legt man den Angriffspunkt der zweiten Teilkraft in den Endpunkt des Pfeiles der ersten Teilkraft. Die Gesamtkraft wird dann durch einen Pfeil dargestellt, der vom Angriffspunkt der ersten Teilkraft bis zum Endpunkt des Pfeiles der zweiten reicht.

Unser Beispiel (Bild 14/1) zeigt weiterhin, daß es gleichgültig ist, ob die zweite Lokomotive den Zug zieht oder schiebt. Die Wirkung ändert sich nicht. Daraus ergibt sich:

> Kräfte können auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden.

Schlage selbst eine Versuchsanordnung vor, wie man dieses Gesetz bestätigen kann!

Das Verfahren für das Zusammensetzen von Teilkräften gleicher Richtung und gemeinsamer Wirkungslinie zu einer Gesamtkraft gilt auch für mehr als zwei Teilkräfte. Wir führen dazu einen Versuch (Bild 15/1) durch, der diese Aussage bestätigen soll.

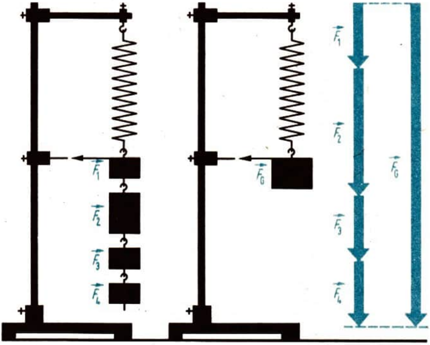


Bild 15/1

Wir hängen an eine Schraubenfeder untereinander Hakenkörper mit folgenden Gewichten: 10 p, 20 p, 10 p, 10 p. Anschließend markieren wir den Punkt, bis zu dem die Feder auseinandergezogen wird. Überlege, ob alle Teilkräfte gleiche Richtung und gemeinsame Wirkungslinie haben! Nun hängen wir an Stelle der einzelnen Hakenkörper einen Körper mit dem Gewicht von 50 p an. Der Vergleich zeigt, daß die Kraft $F_G = 50$ p die Feder ebenso verformt, wie die einzelnen Teilkräfte $F_1 = 10$ p, $F_2 = 20$ p, $F_3 = 10$ p und $F_4 = 10$ p zusammen.

Führe den Versuch so durch, daß du die Hakenkörper jeweils über einen langen dünnen Faden am Kraftmesser befestigst! Ändert sich etwas? Welche Erkenntnis wird dadurch bestätigt?

Zusammensetzung von Kräften mit entgegengesetzter Richtung

Zwei Gruppen messen beim Tauziehen ihre Kräfte (Bild 16/1). Die eine Gruppe zieht mit einer Kraft von 300 kp, die andere mit einer Kraft von 200 kp. Wie groß ist die Kraft, mit der die stärkere der beiden Gruppen die schwächere zu sich hinzieht?

Man kann den Betrag der Gesamtkraft rechnerisch aus den Teilkräften (mit gemeinsamer Wirkungslinie, aber entgegengesetzter Richtung) ermitteln, indem man die Differenz der Beträge der Teilkräfte bildet. Die Gesamtkraft hat die Richtung der größeren der beiden Teilkräfte.	$F_G = F_1 - F_2$

Bild 16/1 Beim Tauziehen

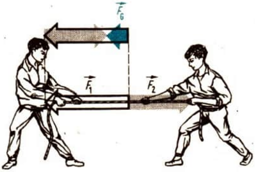


Bild 16/2 Zeichnerische Zusammensetzung von Teilkräften zu einer Gesamtkraft

■ Für unser Beispiel gilt:

Gegeben:
$F_1 = 300$ kp
$F_2 = 200$ kp

Gesucht:
F_G

Lösung:
$F_G = F_1 - F_2$
$F_G = 300 \text{ kp} - 200 \text{ kp}$
$\underline{\underline{F_G = 100 \text{ kp}}}$

Der Betrag der Gesamtkraft ist 100 kp. Die Gesamtkraft ist zu der Gruppe hin gerichtet, die mit einer Kraft von 300 kp zieht.

Zeichnerisch erhält man die Gesamtkraft, indem man den Pfeil der zweiten Teilkraft so auf der Wirkungslinie verschiebt, daß wiederum der Angriffspunkt der zweiten Teilkraft im Endpunkt des Pfeiles der ersten Teilkraft liegt. Die Gesamtkraft reicht vom Angriffspunkt der ersten Teilkraft bis zum Endpunkt des Pfeiles der zweiten Teilkraft (Bild 16/2). Wir können die Richtigkeit dieses Verfahrens durch einen Versuch (Bild 16/3) bestätigen.

4 ▼ Wir setzen einen Körper mit einem Gewicht von 500 p auf einen Druckkraftmesser. Er zeigt die Kraft $F_1 = 500$ p an. Diese Kraft ist senkrecht nach unten gerichtet. Nun ziehen wir mit einem Zugkraftmesser an dem Körper mit einer Kraft $F_2 = 200$ p senkrecht nach oben. Jetzt wirkt auf die Platte des Druckkraftmessers eine zweite, entgegengesetzt gerichtete Kraft. Der Druckkraftmesser zeigt die Gesamtkraft $F_G = 300$ p an.

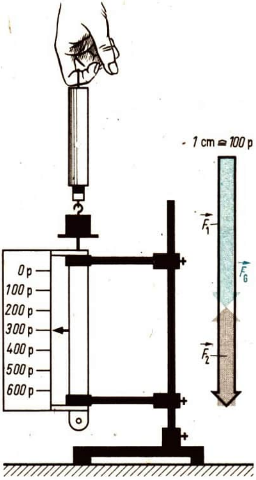


Bild 16/3

● *Wie groß wird im Versuch 4 die Gesamtkraft, wenn wir mit einer Kraft $F_2 = 500$ p senkrecht nach oben ziehen?*

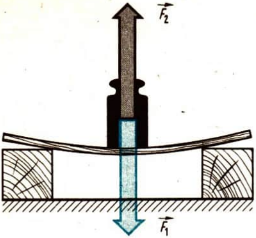


Bild 17/1 Gleichgewicht der Kräfte

Ziehen zwei Jungen an einem Seil jeweils mit gleicher Kraft, so werden sie beide am Ort stehenbleiben. Es gelingt keinem der beiden Jungen, den anderen wegzuziehen. Ebenso bleibt ein Wagen stehen, wenn an ihm zwei gleich kräftige Jungen in entgegengesetzter Richtung ziehen. Es können also auch Kräfte auf einen Körper wirken, die sich gegenseitig das *Gleichgewicht* halten (Bild 17/1).

Wodurch kommt die Kraft F_2 im Bild 17/1 zustande?

Wirken zwei gleich große Kräfte mit gemeinsamer Wirkungslinie in entgegengesetzter Richtung gleichzeitig auf einen ruhenden festen Körper, so bleibt der Körper in Ruhe. Die Kräfte sind im Gleichgewicht.	$F_1 = F_2$

Wir wollen zusammenfassen, wie man Kräfte mit gemeinsamer Wirkungslinie zusammensetzen kann.

Kraftrichtung	erfahren	
	rechnerisch	zeichnerisch
gleich	Addition der Beträge	Aneinandersetzen der Kraftpfeile
entgegengesetzt	Subtraktion der Beträge	Aneinandersetzen der Kraftpfeile

Schülerexperiment M 1, Seite 120
Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 104, Nr. 1 bis 9

Das Zusammensetzen von Kräften, die keine gemeinsame Wirkungslinie haben, ist ebenfalls rechnerisch und zeichnerisch möglich, erfordert aber weitere mathematische Kenntnisse.

Der folgende Versuch soll nur zeigen, daß die bisher gelernten Verfahren beim Zusammensetzen von Kräften, die keine gemeinsame Wirkungslinie haben, nicht anzuwenden sind.

Wir bauen zwei Stative mit je einer Umlenkrolle entsprechend dem Bild 17/2 auf! Nun hängen wir 5 Hakenkörper von je 10 p an zwei Schnüre. Die beiden Schnüre legen wir über je eine Umlenkrolle. Durch Anhängen weiterer Hakenkörper an den beiden Schnurenden stellen wir Kräftegleichgewicht her. Die Hakenkörper links und rechts stellen die Teilkräfte dar. Die Hakenkörper in der Mitte bilden die Gegenkraft zur Gesamtkraft. Vergleiche! 5

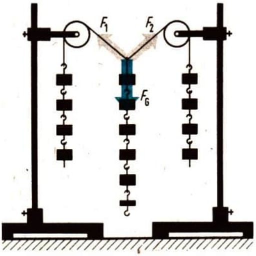


Bild 17/2 Zusammensetzen nichtparalleler Teilkräfte zu einer Gesamtkraft

Die mechanische Arbeit

Zum Beladen und Entladen von Flugzeugen und bei anderen Transportarbeiten werden Gabelstapler eingesetzt. Solche modernen Ladegeräte entlasten den Menschen von schwerer körperlicher Arbeit im Transportwesen. Wie läßt sich die mechanische Arbeit, die ein Gabelstapler beim Heben verrichtet, berechnen?

Die Hubarbeit

Aus der Erfahrung wissen wir, daß es nicht gleich ist, ob man denselben Körper beispielsweise 0,5 m oder 1 m hoch hebt. Beim Heben des Körpers um 1 m ist die **Hubarbeit** größer als beim Heben um 0,5 m. Es ist aber auch nicht gleich, ob man einen leichten oder schweren Körper jeweils 1 m hoch hebt. Beim Heben des Körpers mit dem größeren Gewicht ist die Hubarbeit größer als beim Heben des Körpers mit dem kleineren Gewicht.
Um Hubarbeiten miteinander vergleichen zu können, ist eine Definition der Hubarbeit nötig:

Die Hubarbeit W ist das Produkt aus dem Gewicht G des angehobenen Körpers und der Hubhöhe h.	$W = G \cdot h$

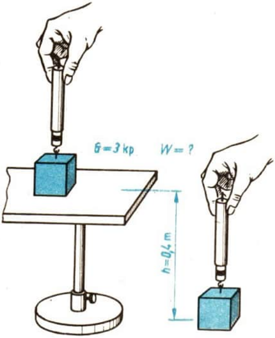


Bild 18/2

Ein Holzklotz mit einem Gewicht von 3 kp, der auf dem Tisch liegt, soll auf ein 0,4 m über dem Tisch befindliches Brett gehoben werden (Bild 18/2). Beim *langsamen, gleichförmigen* Bewegen zeigt der Federkraftmesser eine Kraft von 3 kp an. (Am Anfang und am Ende ist die angezeigte Kraft etwas größer bzw. etwas kleiner, weil der Körper seine Geschwindigkeit ändert.)

Gegeben:

$G = 3$ kp
$h = 0{,}4$ m

Gesucht: W

Lösung:

$W = G \cdot h$
$W = 3\ \text{kp} \cdot 0{,}4\ \text{m}$
$\underline{\underline{W = 1{,}2\ \text{kpm}}}$

Die Hubarbeit beträgt 1,2 kpm.

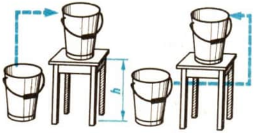


Bild 18/3 Beachte: Die Hubhöhe h ist stets der senkrechte Abstand der beiden Ebenen – nicht etwa der insgesamt zurückgelegte (gestrichelt gezeichnete) Weg

Die Einheit **Kilopondmeter (kpm)** der physikalischen Größe Hubarbeit ergibt sich als Produkt einer Einheit der Kraft (kp) und einer Einheit der Länge (m).

Der physikalische Begriff Arbeit

In der Umgangssprache wird der Begriff *Arbeit* in vielfältiger Weise gebraucht. Dazu einige Beispiele: Roland hat eine gute *Arbeit* geschrieben. Seine *Arbeit* in der Pioniergruppe ist vorbildlich. Die Garten*arbeit* war anstrengend.
In der Physik hat die Arbeit als physikalische Größe eine ganz bestimmte Bedeutung. Sie ist folgendermaßen festgelegt:

Die Arbeit W ist das Produkt aus der in Richtung des Weges wirkenden Kraft F und dem zurückgelegten Weg s.	$W = F \cdot s$

Beachte: Die Kraft muß nach dieser Definition in Richtung des Weges wirken und beim Verrichten der Arbeit unverändert bleiben (↗ S. 20 Beispiel 4).

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Kraft	F	Kilopond	kp
Weg	s	Meter	m
Arbeit	W	Kilopondmeter	kpm

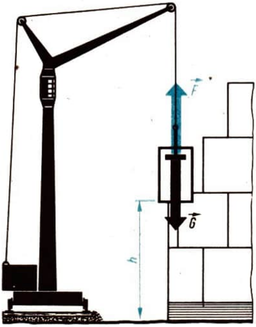


Bild 19/1 Der Kran verrichtet Hubarbeit

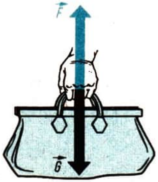


Bild 19/2 Beim „Festhalten" wird keine mechanische Arbeit verrichtet

1. Mit einer Kraft F, die gleich dem Gewicht G des zu hebenden Körpers ist, hebt ein Kran eine Betonplatte (Bild 19/1). Die Höhe h, um die der Körper gehoben wird, kann man auch als Weg s bezeichnen. Kraftrichtung und Wegrichtung stimmen überein, so daß die Gleichung $W = F \cdot s$ benutzt werden kann. Setzt man für F die Größe G und für s die Größe h ein, so ergibt sich die im ersten Abschnitt beschriebene Gleichung für die Hubarbeit $W = G \cdot h$.
2. Wir halten eine Einkaufstasche, ohne sie zu heben oder zu senken (Bild 19/2). Die notwendige Muskelkraft ist gleich dem Gewicht der Tasche (↗ S. 9). Da sich der Angriffspunkt der Kraft nicht verschiebt, ist der Weg Null. Da $F \cdot 0 = 0$ ist, ist auch $W = 0$. Wir verrichten beim Halten keine Arbeit im physikalischen Sinne.
3. Ein Traktor, der einen Pflug gleichförmig über den Acker zieht, muß eine Kraft F aufwenden, um den Boden aufzureißen (Bild 20/1).

Die gleich große Gegenkraft ist ebenfalls F. Beim Ziehen wird ein Weg s zurückgelegt. Die Zugkraft des Traktors wirkt in Richtung des Weges. Die Arbeit ist also $W = F \cdot s$.

4. Ein Handwagen wird eine Anhöhe hinaufgezogen (Bild 20/2). Die Kraft wirkt in Richtung der Deichsel, also nicht in der Richtung, in der sich der Wagen bewegt. Außerdem ändert sich auch die Kraft, wenn der Weg steiler wird. In diesem Beispiel kann man die Arbeit nicht als Produkt aus der wirkenden Kraft F und dem zurückgelegten Weg s berechnen. Eine Berechnung ist zwar möglich, erfordert aber besondere mathematische Kenntnisse.

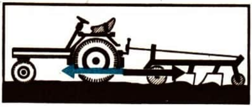


Bild 20/1 Der Traktor verrichtet Verschiebungsarbeit


Bild 20/2

Die Reibung

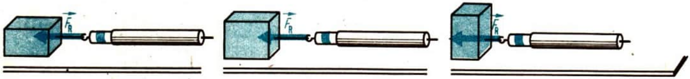
Ein Schlitten soll auf einer waagerechten Ebene geschoben werden (Bild 20/3). Stößt man ihn an, so kommt er bald zur Ruhe. Da die Geschwindigkeit abnimmt, wirkt demnach eine Kraft, die die Bewegung hemmt. Diese Kraft heißt **Reibungskraft F_R**. Um den Schlitten auf einer waagerechten Ebene gleichförmig zu bewegen, muß deshalb der Reibungskraft eine gleich große Gegenkraft F entgegenwirken. Bei einem Weg s wird dann eine Arbeit **(Reibungsarbeit)** $W = F \cdot s$ verrichtet. Reibungskräfte treten immer auf, wenn sich Körper berühren und gegeneinander bewegen. Zwischen festen Körpern können die Reibungskräfte besonders groß sein. Man bestimmt die Reibungskraft, indem man die zu einer gleichförmigen Bewegung eines Körpers auf einer waagerechten Fläche notwendige Kraft mißt. Diese Kraft und die Reibungskraft sind entgegengesetzt gerichtet, besitzen aber den gleichen Betrag.

Bild 20/3 Beim gleichförmigen Bewegen wird Reibungsarbeit verrichtet

Wir untersuchen zuerst, ob die Reibungskraft bei dem gleichen Körper vom Inhalt der Fläche abhängt, mit der er einen anderen berührt. Man könnte vermuten, daß die Reibungskraft mit der Berührungsfläche zunimmt. Entgegen unseren Erwartungen zeigt aber der Federkraftmesser bei einem Versuch nach Bild 20/4 stets den gleichen Betrag an. (Der Holzquader wird jeweils auf eine der drei unterschiedlich großen Flächen gelegt und gleichförmig bewegt.) Das Experiment zeigt also eindeutig, daß die Reibungskraft unabhängig vom Inhalt der Berührungsfläche ist.

Gleitreibung. Um festzustellen, ob das Gewicht des Körpers oder der Stoff, aus dem der Körper besteht, einen Einfluß haben, führen wir den folgenden Versuch durch.

Bild 20/4 Die Reibungskraft hängt beim gleichen Körper nicht vom Flächeninhalt der Berührungsfläche ab



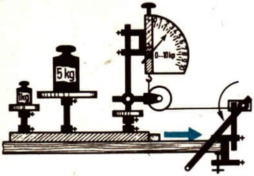


Bild 21/1 Versuchsanordnung zum Bestimmen der Reibungskraft

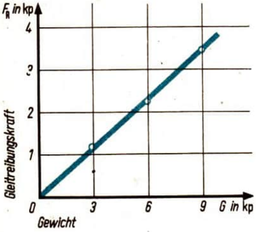


Bild 21/2 Reibungskraft und Gewicht des Körpers sind proportional. Auf der waagerechten Achse werden die Gewichte aufgetragen, auf der senkrechten Achse die zugehörigen Reibungskräfte

6

Der „Schlitten" nach Bild 21/1 wird nacheinander mit Körpern unterschiedlichen Gewichts belastet und gleichförmig bewegt. Das jeweilige Gesamtgewicht des „Schlittens" und die vom Federkraftmesser *während der Bewegung* angezeigte Reibungskraft (wegen der gleitenden Bewegung Gleitreibungskraft F_g genannt) tragen wir in eine Tabelle ein und zeichnen ein Diagramm (Bild 21/2).

Beispiel einer Meßreihe
Stoff der Schlittenunterseite: Holz
Stoff der Unterlage: Holz

Gesamtgewicht G des Schlittens in kp	Gleitreibungskraft F_g in kp	$\frac{F_g}{G}$
3,0	1,2	0,40
6,0	2,3	0,38
9,0	3,5	0,39

Der grafischen Darstellung ist zu entnehmen (Bild 21/2), daß die Gleitreibungskraft und das Gewicht im gleichen Verhältnis zunehmen: Reibungskraft und Gewicht sind einander proportional.
$F_g \sim G$.

Woran erkennt man die Proportionalität im Diagramm?

Proportionalität zwischen zwei Größen kann auch dadurch nachgewiesen werden, daß man die Quotienten aus zusammengehörigen Meßwerten bildet. Sind diese Quotienten — innerhalb der Fehlergrenzen — gleich, so besteht zwischen den Größen Proportionalität.
Im Beispiel ergibt sich für die Quotienten aus F_g und G (letzte Spalte der Tabelle) der gleiche Zahlenwert. (Die geringen Abweichungen sind auf die auftretenden Meßfehler zurückzuführen.)

Wir nennen den Quotienten aus F_g und G die **Gleitreibungszahl** μ (sprich mü):

$$\frac{F_g}{G} = \mu.$$

(Die Gleitreibungszahl μ hat keine Einheit, sie ist eine Verhältniszahl.)

Der Ausdruck $\frac{F_g}{G} = \mu$ läßt sich mathematisch so umformen, daß sich folgender Satz ergibt:

Die Gleitreibungskraft F_g ist das Produkt aus der Gleitreibungszahl μ und dem Gewicht G des Körpers.	$F_g = \mu \cdot G$

Wie bei vielen Gleichungen müssen wir auch hier beachten, unter welchen Bedingungen mit dieser Gleichung gerechnet werden darf: Sie gilt nur für gleichförmige Bewegungen auf waagerechter Unterlage.

7 Bedeckt man im Versuch 6 die Oberfläche des gleitenden Körpers oder die Unterlage mit einem anderen Stoff, (z. B. mit Sandpapier, Tuch usw.), so ergeben die Versuche zwar ebenfalls Proportionalität zwischen Gewicht und Reibungskraft, die Gleitreibungszahl μ hat jedoch jeweils einen anderen Wert.

Die Gleitreibungszahl hängt auch davon ab, ob die sich berührenden Flächen rauh oder glatt sind. So ergeben Versuche mit einem rauhen Holzstück auf einer Metallplatte größere Gleitreibungszahlen als Versuche mit poliertem Holz auf der gleichen Metallplatte.

Schülerexperiment M 3, Seite 122

Wir fassen zusammen:

> Die Gleitreibungszahl μ hängt vom Stoff und von der Beschaffenheit der Oberflächen ab, mit denen sich die beiden Körper berühren, aber nicht vom Inhalt der Berührungsfläche.

Tabelle 1
Einige Gleitreibungszahlen

Beispiel	Gleitreibungszahl μ
Leder auf Metall (Dichtungen)	0,25
Metall auf Holz	0,35
Stahl auf Stahl	0,10

Entnimm dem Tafelwerk, Seite 38, die Gleitreibungszahl für Stahl auf Eis!

Ursachen der Reibung. Die Ursachen für das Auftreten der Reibung sind in den Adhäsions- und Kohäsionskräften (↗ Klasse 6) und in der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper zu suchen. Bei starker Vergrößerung zeigen die Oberflächen viele kleine Unebenheiten, die zum Teil ineinandergreifen (Bild 22/1). Beim Gleiten werden die Vorsprünge und Zacken verbogen oder abgerissen bzw. muß der eine Körper jeweils etwas angehoben werden. Modellmäßig lassen sich die Vorgänge durch zwei Zahnstangen veranschaulichen, die ineinandergreifen (Bild 22/2).

Rollt dagegen der eine Körper auf dem anderen ab, so nähern sich die Unebenheiten einander — ähnlich den Zähnen eines Zahnrades, das sich auf einer Zahnstange bewegt — und heben sich dann wieder voneinander ab (Bild 22/3, 22/4). Die Unebenheiten werden beim Rollen leichter überwunden.

Die *Rollreibungskraft* ist bei gleichem Gewicht und gleicher Oberflächenbeschaffenheit bedeutend kleiner als die Gleitreibungskraft.

Bild 22/1 Stark vergrößerte Darstellung der Oberfläche der gleitenden Körper


Bild 22/2 Modelldarstellung der Gleitreibung


Bild 22/3 Stark vergrößerte Darstellung eines auf einer Unterlage abrollenden Rades


Bild 22/4 Modelldarstellung der Rollreibung

Haftreibung. Auch wenn ein vorher ruhender Körper bewegt werden soll, treten Reibungskräfte auf.

Der Federkraftmesser (Bild 23/1) zeigt beim Ziehen eine zunehmende Kraft an, ohne daß sich der Körper zunächst bewegt (a und b). Erst wenn eine bestimmte Kraft F_{max} erreicht wird, beginnt der Körper zu gleiten (c). Bei der weiteren gleichförmigen Bewegung zeigt der Federkraftmesser wieder eine kleinere Gleitreibungskraft F_g an (d).

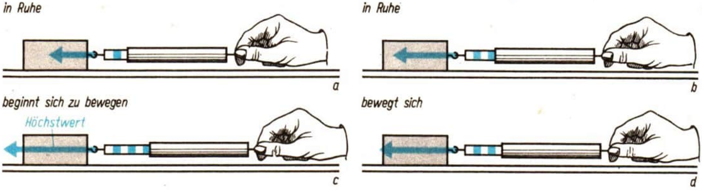


Bild 23/1 Versuchsanordnung zur Haftreibung

Wir können den Versuch folgendermaßen erklären: Der am Anfang ausgeübten Zugkraft wirkt eine Haftreibungskraft F_h entgegen. Wenn F_{max} den gleichen Betrag besitzt wie F_h, beginnt sich der Körper zu bewegen. Versuche haben ergeben, daß sich die Haftreibungskraft nach folgender Gleichung berechnen läßt, wenn die Unterlage waagerecht liegt: $F_h = \mu_0 \cdot G$

Wie wir dem Tafelwerk, Seite 38, entnehmen können, ist die Haftreibungszahl μ_0 stets größer als die Gleitreibungszahl μ bei gleichem Stoff und gleicher Oberflächenbeschaffenheit.

Verringern der Reibungskraft. Zum Verringern der Reibungskraft verwendet man Schmiermittel, wie Schmieröl und Schmierfett (Bild 23/2). Durch sie wird der Raum zwischen den sich reibenden Flächen ausgefüllt, so daß sich die Unebenheiten der Körper nicht mehr so störend auswirken. Es wirkt nur eine sehr kleine Reibungskraft.

Bild 23/2 Alle Maschinen, bei denen gleitende Teile vorhanden sind, müssen abgeschmiert werden. Dadurch wird die notwendige Antriebsenergie verringert, und der Verschleiß wird herabgesetzt. Bei der Erfüllung unserer Volkswirtschaftspläne kann deshalb jeder auch durch sorgfältige Maschinenwartung mithelfen. Viele Arbeiter haben schon die von ihnen benutzten Maschinen in persönliche Pflege genommen

Vergrößern der Reibungskraft. Es gibt viele Fälle, in denen die Reibungskraft unbedingt notwendig ist. Gäbe es keine Reibungskraft zwischen den Rädern des Fahrrades und der Straße, so könnte man mit dem Rad nicht fahren. Beim Treten würden die Räder durchdrehen. Bei regennassen oder vereisten Straßen können Fahrzeuge beim Anfahren, beim Bremsen sowie bei Richtungsänderungen ins Rutschen kommen. Um den Fahrzeugen eine sichere Straßenlage zu geben, sind Gummireifen nicht glatt, sondern mit Profilen versehen. Schienenfahrzeuge haben Sandstreuer, damit die Reibungskraft, wenn erforderlich, vergrößert werden kann.

Könnte man sich ohne Vorhandensein einer Reibungskraft überhaupt zu Fuß fortbewegen?

Arbeitsdiagramme

Um die physikalische Größe Arbeit grafisch zu veranschaulichen, gehen wir von einem Reibungsversuch aus.

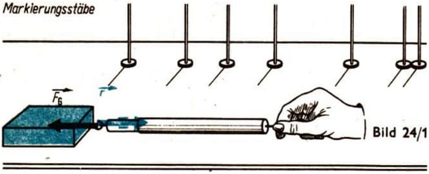


Bild 24/1

9 ▼ Ein Holzquader wird unter Zwischenschalten eines Federkraftmessers gleichförmig bewegt (Bild 24/1). Wir messen die dazu notwendige Kraft an verschiedenen Stellen des Weges und stellen die Meßwerte in einer Tabelle zusammen. (Die Messung beginnt erst, wenn sich der Quader bewegt, da vorher die größere Haftreibungskraft auftritt.)

■ *Beispiel einer Meßreihe (die Meßwerte sind gerundet)*

Weg s in cm	0	10	18	25	40	48	50
Kraft F in p	300	300	300	300	300	300	300

● *Berechne die Arbeit, die längs des Weges von 50 cm verrichtet wird!*

Die Meßwerte können in einem Diagramm dargestellt werden (Bild 24/2 und 24/3).

Errichtet man im Punkt 50 eine Senkrechte, so ergibt sich ein Rechteck, das von den beiden Achsen sowie der aus den Meßwerten ermittelten Geraden und der errichteten Senkrechten begrenzt wird. Dieses Rechteck hat die „Breite" $F = 300$ p und die „Länge" $s = 50$ cm (Bild 24/4).

● *Warum wurden „Breite" und „Länge" in Anführungsstriche gesetzt?*

Der „Flächeninhalt" dieses Rechtecks errechnet sich als Produkt aus F und s.

$F \cdot s = 300\ \text{p} \cdot 50\ \text{cm} = 15000\ \text{pcm}$. Das ist die gleiche Arbeit, die auch nach der Gleichung $W = F \cdot s$ berechnet wurde. Man bezeichnet das Diagramm nach Bild 24/4 deshalb auch als **Arbeitsdiagramm**. Aus dem Arbeitsdiagramm kann also ebenfalls die Arbeit bestimmt werden.

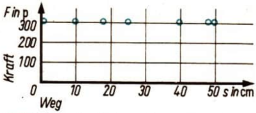


Bild 24/2 Grafische Darstellung der Versuchsergebnisse. Auf der waagerechten Achse tragen wir die Wege ab, auf der senkrechten Achse die jeweils gemessenen Kräfte

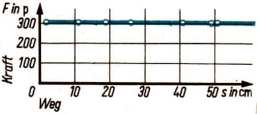


Bild 24/3 Da der Holzquader gleichförmig bewegt wurde, wirkte an allen Punkten des zurückgelegten Weges (z. B. bei 10 cm, 18 cm) die gleiche Kraft. Man stellt fest, daß alle Punkte auf einer Geraden liegen, die parallel zur Wegachse verläuft

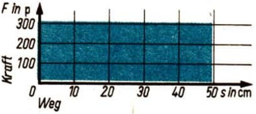


Bild 24/4 Arbeitsdiagramm der Reibungsarbeit

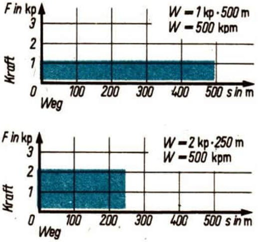


Bild 24/5 Die beiden Arbeitsdiagramme unterscheiden sich dadurch, daß die wirkenden Kräfte und die zurückgelegten Wege unterschiedlich groß sind. Eine Berechnung zeigt aber, daß die Flächeninhalte übereinstimmen. Somit sind auch die jeweils verrichteten Arbeiten gleich. Überprüfe!

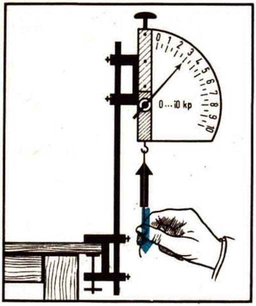


Bild 25/1 Versuchsanordnung zur Federspannarbeit

Schülerexperiment M 2, Seite 121, Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 105, Nr. 10 bis 25

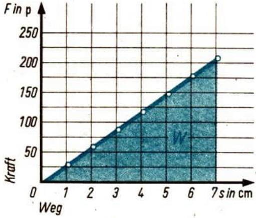


Bild 25/2 Arbeitsdiagramm der Federspannarbeit

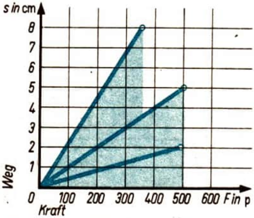


Bild 25/3 Arbeitsdiagramm für die Federspannarbeiten von 3 Federn. Übertrage das Diagramm auf Millimeterpapier und berechne die Federspannarbeiten!

Arbeit bei elastischen Verformungen

Hubarbeit und Reibungsarbeit werden auch als **Verschiebungsarbeiten** bezeichnet, da sich hierbei der Angriffspunkt der Kraft *gleichförmig verschiebt.* Ein weiteres Beispiel einer Verschiebungsarbeit ist die **Federspannarbeit.**

Die Feder eines Federkraftmessers wird gedehnt (Bild 25/1). 10
In Wegrichtung wirkt die Muskelkraft (blauer Pfeil), wobei sich ihr Angriffspunkt verschiebt. Es wird Arbeit verrichtet (S. 19). Größere Verschiebungswege erhält man, wenn eine einfache Schraubenfeder durch das Gewicht einer mit Wägestücken belasteten Schale gedehnt wird. In der Tabelle sind zusammengehörige Meßwerte angegeben.

Beispiel einer Meßreihe (die Meßwerte sind gerundet)

Weg s in cm	0	1	2	3	4	5	6	7
Kraft F in p	0	30	60	90	120	150	180	210

Die Kraft bei der Federspannarbeit ist nicht konstant, sondern nimmt gleichmäßig zu. Das Diagramm zeigt deshalb kein Rechteck wie z. B. Bild 24/4, sondern ein Dreieck (Bild 25/2). Wir können daher die Arbeit auch nicht mit Hilfe der Gleichung $W = F \cdot s$ berechnen. (Lies dazu noch einmal auf Seite 19 nach!)
Da die farbige Fläche aber wieder der verrichteten Arbeit entspricht, können wir die Arbeit aus dem Diagramm berechnen. Wir bezeichnen die Endkraft mit F_E und den zugehörigen Weg mit s. Es ist also die „Fläche" eines Dreiecks zu berechnen, das die „Grundlinie" $a = 7$ cm und die „Höhe" $F = 210$ p besitzt:

$$W_F = \frac{1}{2} \cdot 210 \text{ p} \cdot 7 \text{ cm} = 735 \text{ pcm}.$$

Bild 25/3 zeigt ein Diagramm, in das die Meßwerte für drei verschiedene Federn eingezeichnet wurden.

Wir haben zur Berechnung der Federspannarbeit W_F stets die Federendkraft mit dem Weg multipliziert, um den sich die Feder verlängerte und das Produkt durch zwei dividiert. Als Gleichung schreiben wir dafür kurz

$$\boxed{W_F = \frac{1}{2} \cdot F_E \cdot s}$$

Arbeit an kraftumformenden Einrichtungen

An Eisenbahnstrecken findet man neben elektrischen Signalanlagen auch solche, die *mechanisch* betätigt werden. Dazu dienen feste Rollen, lose Rollen und Hebel, sogenannte kraftumformende Einrichtungen. Auf welchen physikalischen Gesetzen beruhen diese Einrichtungen?

Die feste Rolle

Beim Abputzen von Häuserwänden gibt es verschiedene Möglichkeiten, um Eimer mit Putzmörtel auf das Gerüst zu befördern: Der Eimer kann an einem Seil befestigt und von einem Arbeiter unmittelbar gehoben werden (Bild 26/2a). Man kann das Seil aber auch über eine vorstehende Gerüststange legen und von unten ziehen (Bild 26/2b). Obwohl die Muskelkraft jetzt nach unten wirkt, also der Bewegungsrichtung des Eimers entgegen, wird dieser gehoben. Die *Kraftrichtung wurde geändert.*

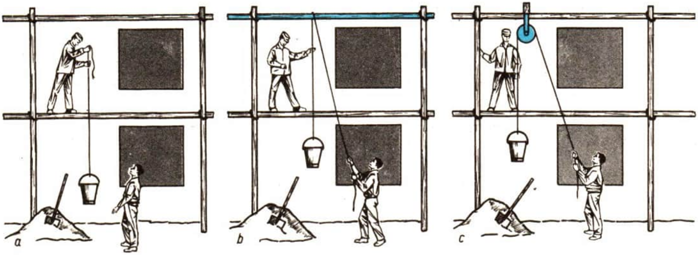


Bild 26/2

Richtungsänderungen von Kräften sind oft notwendig oder zweckmäßig. Man benutzt dazu meist eine besondere Vorrichtung: die **Rolle** (Bild 26/2c). Sie besteht aus einer Scheibe, in deren Umfang eine Rille zur Aufnahme des Seiles eingearbeitet wurde und die um eine Achse drehbar

Bild 27/1 Feste Rolle

ist (Bild 27/1). Wird die Rolle so befestigt, daß sie sich nur drehen, aber nicht verschieben kann, so bezeichnet man sie als *feste Rolle*. Die Reibungskraft ist bei einer festen Rolle sehr gering. Wir können daher die Reibung bei unseren Betrachtungen zunächst unberücksichtigt lassen.

> Durch eine feste Rolle wird die Richtung einer Kraft geändert.

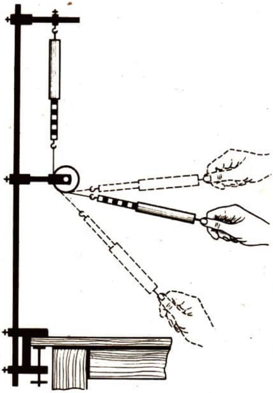


Bild 27/2 Eine feste Rolle ändert nur die Richtung der Kraft

Man geht in der Physik oft in der Weise vor, daß man bestimmte Einflüsse außer acht läßt. Dadurch sind viele physikalische Gesetze einfacher zu finden. Allerdings gelten die Gesetze dann auch nur unter diesen besonderen Bedingungen. Die Praxis zeigt jedoch, daß auch in den Fällen, in denen die außer acht gelassenen Einflüsse sehr klein sind, die so gefundenen Gesetze angewendet werden dürfen.

Es soll nun untersucht werden, ob auch der Betrag einer Kraft durch eine feste Rolle geändert werden kann.

Zwei Federkraftmesser werden unter Zwischenschalten einer 11
Schnur über eine feste Rolle miteinander verbunden (Bild 27/2). Wir ziehen an dem einen Federkraftmesser, bis dieser eine Kraft von 80 p anzeigt. Die gleiche Kraft zeigt auch der fest angebrachte Federkraftmesser an. Die Kraft ändert sich nicht, wenn der bewegliche Kraftmesser eine andere Lage einnimmt.

> Durch eine feste Rolle wird nur die Richtung einer Kraft geändert, jedoch nicht ihr Betrag.

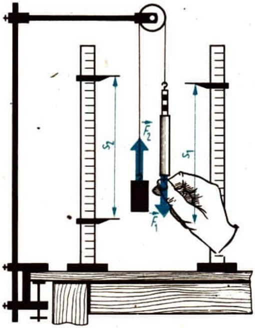


Bild 27/3 Versuchsanordnung zur Arbeit an der festen Rolle

Die Arbeit an der festen Rolle

Beim Heben eines Körpers mit Hilfe einer festen Rolle wird mechanische Arbeit verrichtet.

Begründe diese Aussage!

Wir berechnen diese Arbeit auf Grund eines Versuches:

An einem über eine feste Rolle geführten Seil (Bild 27/3) 12
werden auf der einen Seite nacheinander verschieden schwere Körper befestigt. (Für das Gewicht G des jeweiligen Körpers setzen wir F_2). Die am anderen Seilende beim gleichmäßigen Bewegen des Seiles jeweils wirkende Kraft F_1 messen wir mit einem Federkraftmesser, die Wege s_2 und s_1 an senkrecht gestellten Meßlatten.

Nr. der Messung	F_2 in p	s_2 in cm	F_1 in p	s_1 in cm	$F_2 \cdot s_2$ in pcm	$F_1 \cdot s_1$ in pcm
1	50	10	50	10	500	500
2	100	10	100	10	1000	1000
3	50	20	50	20	1000	1000
4	100	20	100	20	2000	2000

Beispiel einer Meßreihe (die Meßwerte sind gerundet)

Das Produkt $F_1 \cdot s_1$ nennen wir die **aufgenommene Arbeit** W_1, das Produkt $F_2 \cdot s_2$ die **abgegebene Arbeit** W_2. Wie die beiden letzten Spalten der Tabelle zeigen, ist für jeden Einzelversuch die aufgenommene Arbeit gleich der abgegebenen Arbeit (Bild 28/1):

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$
$$W_1 = W_2.$$

Man hätte dieses Ergebnis auch durch Überlegungen voraussagen können: Durch eine feste Rolle wird der Betrag der Kraft nicht geändert: $F_1 = F_2$. Wird das eine Seilende um den Weg s_1 bewegt, so bewegt sich auch das andere Seilende um den gleichen Weg. Es ist also auch $s_1 = s_2$. Daraus folgt, daß die beiden Seiten der Gleichung übereinstimmen.

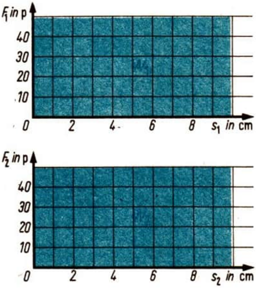


Bild 28/1 Arbeitsdiagramme für die feste Rolle

Die Arbeit an der losen Rolle

Bei der festen Rolle muß man nach *unten ziehen*, um einen Körper *nach oben* zu befördern. Es ist aber auch möglich, eine Rolle so anzuordnen, daß man *nach oben* ziehen kann. Diese Anordnung heißt **lose Rolle**, da sich die in einer Seilschlinge hängende Rolle nicht nur dreht, sondern auch verschiebt (Bild 28/2).

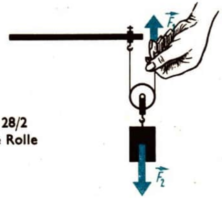


Bild 28/2 Lose Rolle

13 ▼ Wir bestimmen wiederum experimentell die aufgenommene Arbeit und die abgegebene Arbeit. (Die Seile müssen dabei parallel verlaufen.) (Bild 28/3).

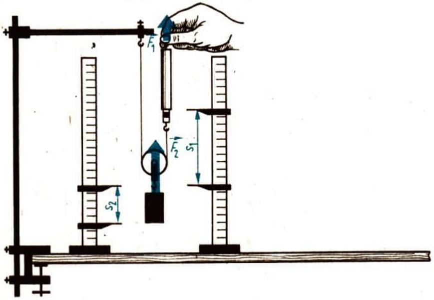


Bild 28/3 Versuchsanordnung zur Arbeit an der losen Rolle

Nr. der Messung	F_1 in p	s_1 in cm	F_2 in p	s_2 in cm	$F_1 \cdot s_1$ in pcm	$F_2 \cdot s_2$ in pcm
1	35	10	70	5	350	350
2	60	10	120	5	600	600
3	35	20	70	10	700	700
4	60	40	120	20	2400	2400

Beispiel einer Meßreihe[1]
(die Meßwerte sind gerundet)

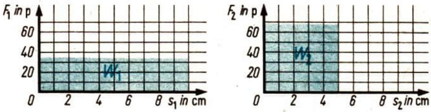


Bild 29/1 Arbeitsdiagramm für die lose Rolle

Auch für die lose Rolle ergibt sich aus den beiden letzten Spalten

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$
$$W_1 = W_2.$$

Schülerexperiment M 4, Seite 123

Bestätige diese Aussage durch Überlegungen (↗ S. 28)!

Der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit

Wir erkennen aus den Versuchen 12 und 13, daß die aufgenommene Arbeit (die dem Gerät zugeführte Arbeit) beim Verwenden von festen und losen Rollen gleich der abgegebenen Arbeit (der vom Gerät verrichteten Arbeit) ist. Die Arbeit kann nicht verringert werden, die Arbeit bleibt erhalten.
Diese Aussage läßt sich auf alle kraftumformenden Einrichtungen (↗ S. 30) erweitern, denn in vielen Versuchen wurde bestätigt:[2]

Beim Verwenden kraftumformender Einrichtungen ist die aufgenommene Arbeit gleich der abgegebenen Arbeit.	$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$ $W_1 = W_2$

Dieses Gesetz heißt der **Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit.**

[1] Beachte, daß nicht nur der angehängte Körper, sondern auch die lose Rolle gehoben werden muß. Die Kraft F_2 ergibt sich also aus der Summe der Gewichte der Rolle und des angehängten Körpers.
[2] Die Reibung wird vernachlässigt.

Kraftumformende Einrichtungen

Ein Arbeitsverfahren der Physik zum Auffinden von Gesetzmäßigkeiten ist das Auswerten von Meßergebnissen. Wir wollen dieses Verfahren am Beispiel der festen und der losen Rollen behandeln und benutzen dazu die Ergebnisse der Versuche 12 und 13.

feste Rolle					lose Rolle			
Nr. der Messung	F_1 in p	s_1 in cm	F_2 in p	s_2 in cm	F_1 in p	s_1 in cm	F_2 in p	s_2 in cm
1	50	10	50	10	35	10	70	5
2	100	10	100	10	60	10	120	5
3	50	20	50	20	35	20	70	10
4	100	20	100	20	60	40	120	20

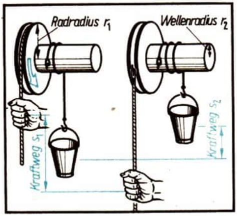
Ein Vergleich der Meßwerte ergibt die folgenden Gesetzmäßigkeiten:

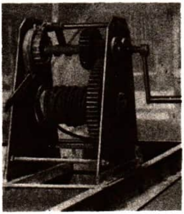
feste Rolle		lose Rolle	
$F_1 = F_2$	Die zum Heben aufgewendete Kraft F_1 ist gleich der wirksamen Kraft F_2.[1]	$F_1 = \frac{F_2}{2}$	Die zum Heben aufgewendete Kraft F_1 ist gleich der Hälfte der wirksamen Kraft F_2
$s_1 = s_2$	Der Weg der Kraft F_1 ist gleich dem Weg der Kraft F_2	$s_1 = 2 \cdot s_2$	Der Weg der Kraft F_1 ist doppelt so groß wie der Weg der Kraft F_2

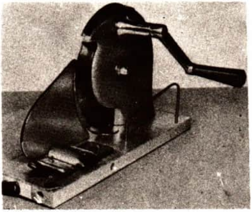
In der gleichen Weise kann man auch andere **kraftumformende Einrichtungen** untersuchen. Dazu gehören z. B. Flaschenzüge, Wellräder, Kurbeln, Getriebe, Hebel (Bild 30/1). Sie besitzen folgende gemeinsame Merkmale:

[1] Beachte die Anmerkung im Rechenbeispiel auf Seite 18!

Bild 30/1 a) Das Wellrad ist eine kraftumformende Einrichtung
b) Die Seilwinde enthält die kraftumformenden Einrichtungen Kurbel, Wellrad und Zahnradgetriebe
c) Die Kurbel findet man an der Brotschneidemaschine







1. Bei allen kraftumformenden Einrichtungen werden die *Richtung oder der Betrag* oder die *Richtung und der Betrag* von Kräften geändert. (Die Kräfte werden *umgeformt!*)
2. Für alle kraftumformenden Einrichtungen gilt (wenn die Reibung vernachlässigt werden kann) der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit: *Die aufgenommene Arbeit ist gleich der abgegebenen Arbeit.*
3. Wird durch eine kraftumformende Einrichtung die aufgewendete *Kraft verringert*, so ist der *Kraftweg länger*, wenn die gleiche Arbeit verrichtet werden soll.

Überprüfe an dem folgenden Beispiel eines selbstfahrenden Laders, der z. B. zur Mechanisierung landwirtschaftlicher Arbeiten benutzt wird, die unter 1. bis 3. genannten Merkmale!

Am Seilhaken eines Laders hängt ein Körper mit einem Gewicht von 350 kp. Er wird um 2,1 m gehoben. Berechne die zum Heben notwendige Kraft, den von dieser Kraft zurückgelegten Kraftweg, die aufgenommene und die abgegebene Arbeit! (Die Reibungskraft wird nicht berücksichtigt.)

Gegeben:

$F_2 = 350$ kp
$s_2 = 2{,}1$ m

Gesucht:

F_1
s_1
W_1
W_2

Lösung:

$$F_1 = \frac{F_2}{2} \qquad s_1 = 2 \cdot s_2$$

$$F_1 = \frac{350\ \text{kp}}{2} \qquad s_1 = 2 \cdot 2{,}1\ \text{m}$$

$$\underline{\underline{F_1 = 175\ \text{kp}}} \qquad \underline{\underline{s_1 = 4{,}2\ \text{m}}}$$

$$W_1 = F_1 \cdot s_1 \qquad W_2 = F_2 \cdot s_2$$

$$W_1 = 175\ \text{kp} \cdot 4{,}2\ \text{m} \qquad W_2 = 350\ \text{kp} \cdot 2{,}1\ \text{m}$$

$$\underline{\underline{W_1 = 735\ \text{kpm}}} \qquad \underline{\underline{W_2 = 735\ \text{kpm}}}$$

Die Kraft zum Heben beträgt 175 kp, *der Kraftweg* 4,2 m, *die aufgenommene Arbeit* 735 kpm, *die abgegebene Arbeit* 735 kpm.

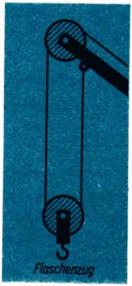
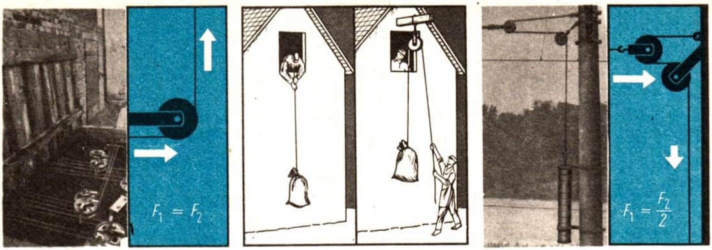


Bild 31/1 Selbstfahrender Lader – ein Hilfsmittel in der Landwirtschaft und im Transportwesen



Bilder 32/1 bis 32/3

Anwendungen der Rollen

Umlenkrollen. Die feste Rolle wird dort angewendet, wo die Richtung von Kräften geändert werden soll. Da die verwendeten Seile, Drähte oder Riemen biegsam sind, lassen sich auf diese Weise nur *Zugkräfte* übertragen.

Im Rollenkasten eines mechanischen Stellwerks der Deutschen Reichsbahn gibt es viele Umlenkrollen (Bild 32/1). Sie dienen dazu, die Richtung der durch die Drähte übertragenen Zugkräfte zu verändern. So können von einem Ort aus viele Weichen und Signale gestellt werden.

Einfacher Aufzug. Häufig benutzt man die feste Rolle, um Lasten zu heben. Obwohl dabei keine Kraft „gespart" wird, ist es oft günstiger, von oben nach unten zu ziehen als umgekehrt (Bild 32/2).

Einfacher Flaschenzug. Die lose Rolle ist eine kraftsparende Einrichtung. Meist wird sie in Verbindung mit einer festen Rolle benutzt, um auch noch die Richtung der aufzuwendenden Kraft zu verändern.

Elektrolokomotiven nehmen die elektrische Energie über Stromabnehmer von den Fahrdrähten ab. Diese Drähte müssen immer gleichmäßig straff gespannt sein. Das Bild 32/3 zeigt, wie zwei Rollen als Spannvorrichtung verwendet werden. Welche ist die feste, welche ist die lose Rolle?

Die geneigte Ebene

Eine weitere kraftumformende Einrichtung ist die **geneigte Ebene.** Ihre Anwendung ist oft zu beobachten.

Soll beispielsweise eine Walze auf eine Rampe befördert werden, so benutzt man eine Schrotleiter (Bild 32/4). Das Verschieben auf dieser geneigten Ebene erfordert weniger Kraft als das Heben der Walze auf die Rampe.

Bild 32/4

Überlege, welchen Einfluß die Länge der Schrotleiter bei gleicher Rampenhöhe auf die notwendige Kraft haben könnte!

Um das Gesetz der geneigten Ebene zu ermitteln, werden wir einen Weg einschlagen, der in der Physik oft beschritten wird:
Man geht von einem allgemeinen physikalischen Gesetz aus und wendet dieses auf den zu untersuchenden Fall durch Überlegungen an.
Unser Ausgangspunkt ist der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit (↗ S. 29).

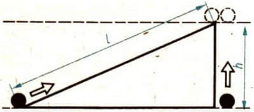


Bild 33/1

Die Arbeit W_1 besteht im langsamen, reibungsfreien Verschieben eines Körpers längs der geneigten Ebene um den Weg l (Bild 33/1), die Arbeit W_2 im Heben des Körpers um die Höhe h.
Beide Arbeiten müssen nach dem Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit gleich groß sein:

$$W_1 = W_2.$$

Die zum Verschieben auf der geneigten Ebene notwendige Kraft bezeichnen wir mit F (sie soll stets in Wegrichtung wirken), das Gewicht des Körpers mit G. Dann lautet der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit

$$F \cdot l = G \cdot h.$$

Die Gegenkraft zu F heißt Hangabtriebskraft F_h. Sie hat den gleichen Betrag wie F, aber entgegengesetzte Richtung. Legt man einen Körper auf die geneigte Ebene, so gleitet der Körper unter dem Einfluß von F_h die Ebene hinab (↗ S. 60).

Schreibt man die Gleichung $F \cdot l = G \cdot h$ als Proportion, so ergibt sich:

Die zum Verschieben eines Körpers auf einer geneigten Ebene notwendige Kraft verhält sich zum Gewicht des Körpers wie die Höhe der geneigten Ebene zu deren Länge.	$\frac{F}{G} = \frac{h}{l}$

Derartige durch Überlegung gefundene Gesetzmäßigkeiten müssen stets experimentell überprüft werden.

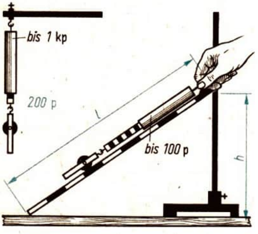


Bild 33/2 Versuchsanordnung zum Gesetz der geneigten Ebene

Wir stellen eine Versuchsordnung nach Bild 33/2 zusammen. 14
Zunächst ermitteln wir das Gewicht der Walze. Dann legen wir diese auf die geneigte Ebene und messen bei verschiedenen Höhen (die Länge bleibt gleich) jeweils die zum Verschieben notwendige Kraft. Die gefundenen Meßwerte werden in eine Tabelle eingetragen.

Nr. der Messung	Höhe h in cm	Länge l in cm	$\frac{h}{l}$	Gewicht G des Körpers in p	Kraft F (gemessen) in p	$\frac{F}{G}$
1	40	50	0,800	200	165	0,825
2	30	50	0,600	200	125	0,625
3	20	50	0,400	200	85	0,425
4	10	50	0,200	200	45	0,225

Beispiel einer Meßreihe

● *Vergleiche* $\frac{h}{l}$ *und* $\frac{F}{G}$ *miteinander! Erkläre!*

Die Abweichungen sind vor allem auf die Reibung zurückzuführen, die wir bei unseren Überlegungen nicht berücksichtigt haben, die aber bei jeder Verschiebung eines Körpers auftritt.

Wir fassen die Ergebnisse der Überlegungen und Experimente zusammen:
Die zum gleichförmigen Bewegen eines Körpers auf einer geneigten Ebene notwendige Kraft F ist stets kleiner als das Gewicht G des Körpers. Der Weg l auf einer geneigten Ebene ist jedoch größer als der Weg h, um den der Körper dabei senkrecht gehoben wird. Arbeit wird durch Verwenden einer geneigten Ebene nicht „gespart" (Bild 34/1).

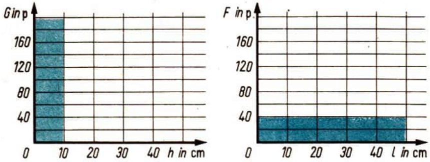


Bild 34/1 Arbeitsdiagramme für die geneigte Ebene

■ Wie groß ist die zum (reibungsfreien) Verschieben einer Schubkarre vom Gewicht 60 kp notwendige Kraft in Wegrichtung, wenn die Höhe der geneigten Ebene 60 cm und ihre Länge 240 cm betragen?

Gegeben:

$G = 60$ kp
$h = 60$ cm
$l = 240$ cm

Gesucht:

F

Lösung:

$F \cdot l = G \cdot h$

$F \cdot 240\text{ cm} = 60\text{ kp} \cdot 60\text{ cm}$

$$F = \frac{60\text{ kp} \cdot 60\text{ cm}}{240\text{ cm}}$$

$\underline{\underline{F = 15\text{ kp}}}$

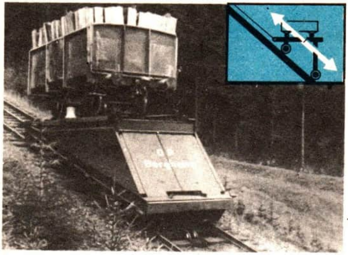
Nebenrechnung:

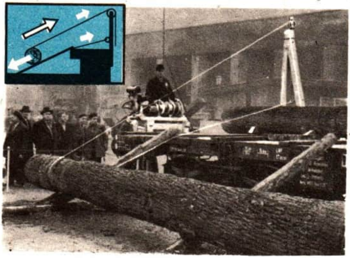
$$\frac{60}{240} \cdot 60 = 15$$

Die notwendige Kraft beträgt 15 kp.

Ist bei gleicher Höhe der geneigten Ebene diese 3 m lang, so beträgt die zum Verschieben notwendige Kraft nur noch 12 kp. Überprüfe!

Schülerexperiment M 5, Seite 124





Bilder 35/1 bis 35/3

Anwendungen der geneigten Ebene

Serpentinen. Jede berganführende Straße, jeder ansteigende Fußweg ist eine geneigte Ebene. Je länger der Weg bei gleichem Höhenunterschied ist, desto geringer ist die Kraft zum Überwinden des Höhenunterschiedes. In Gebirgen werden daher Straßen und Wege in Serpentinen angelegt (Bild 35/1).

Schrägaufzug. In Steinbrüchen, Tongruben und Braunkohlengruben benutzt man Schrägaufzüge, um das geförderte Gut aus der Grube zu transportieren. Das Bild 35/2 zeigt, wie ein Eisenbahnwaggon mit einem solchen Schrägaufzug befördert werden kann.

Verladeeinrichtung. Diese Verladeeinrichtung für Baumstämme (Bild 35/3) ist eine Schrotleiter in Verbindung mit einer losen und einer festen Rolle. Die lose Rolle wird durch den Baumstamm selbst gebildet. Die zum Emporziehen notwendige Arbeit verrichtet ein Motor.

Der Hebel

Das Bild 36/1 zeigt zwei Möglichkeiten, einen Schrank anzuheben. Wird eine Brechstange benutzt, so ist der Kraftaufwand viel kleiner als beim Heben ohne Brechstange: Die Brechstange wirkt als kraftumformende Einrichtung. Sie stellt einen **Hebel** dar.
Zur Beschreibung der Hebelgesetze sind bestimmte Begriffe erforderlich: Die Stellen, an denen die Kräfte F_1 und F_2 am Hebel angreifen, heißen die **Angriffspunkte** der Kräfte.
Der Abstand zwischen der Wirkungslinie der Kraft F_1 und der Drehachse heißt der **Kraftarm** l_1, der Abstand zwischen der Wirkungslinie der Kraft F_2 und der Drehachse heißt der **Kraftarm** l_2 (Bild 36/2). Die Kraftarme bilden einen rechten Winkel mit den Wirkungslinien der Kräfte.

Beachte: Die Kraftarme l_1 und l_2 sind senkrechte Abstände, nicht die Längen a_1 und a_2 der Hebelteile (Bild 36/3). Nur wenn die Wirkungslinien der Kräfte mit der Hebelstange einen rechten Winkel bilden, sind die Kraftarme genau so lang wie die entsprechenden Hebelteile (↗ Bild 36/4).

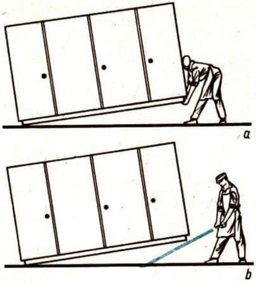


Bild 36/1

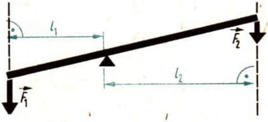


Bild 36/2

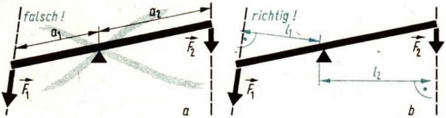


Bild 36/3 a) a_1 und a_2 sind die Längen der Hebelteile, *nicht* die Kraftarme!
b) l_1 und l_2 sind die Kraftarme

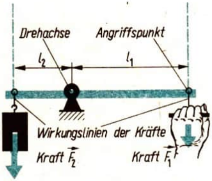


Bild 36/4 a) Zweiseitiger Hebel
Die Angriffspunkte der Kräfte liegen, von der Drehachse aus betrachtet, auf verschiedenen Seiten des Hebels.

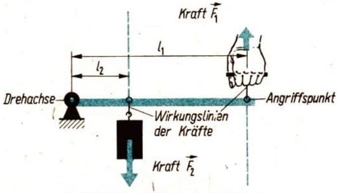
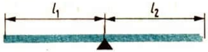


Bild 36/4 b) Einseitiger Hebel
Die Angriffspunkte der Kräfte liegen, von der Drehachse aus betrachtet, auf der gleichen Seite des Hebels.

$l_1 < l_2$

Bild 36/5 a) Ungleicharmiger Hebel
Die Kraftarme l_1 und l_2 sind ungleich lang



$l_1 = l_2$

Bild 36/5 b) Gleicharmiger Hebel
Die Kraftarme l_1 und l_2 sind gleich lang

Man unterscheidet **zweiseitige** und **einseitige** Hebel (Bild 36/4) und **ungleicharmige** und **gleicharmige** Hebel (Bild 36/5).
Hebel werden meist dazu verwendet, um mit einer kleineren Kraft Körper mit einem größeren Gewicht zu heben. Nach dem Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit sind dann aber die Wege unterschiedlich. Davon kann man sich durch einen einfachen Versuch überzeugen.

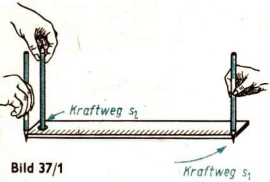


Bild 37/1

Lege ein Lineal auf ein Blatt Papier und benutze einen Bleistift als Drehachse, den du in die Bohrung des Lineals steckst (Bild 37/1). Halte an zwei Eckpunkten des Lineals je einen Bleistift und lasse durch einen Mitschüler den „Hebel" drehen. Die Bleistiftspuren haben unterschiedliche Länge. Der Kraftweg s_1 ist bedeutend länger als der Kraftweg s_2. 15

Mit Hilfe der Meßwerte des folgenden Versuches läßt sich zeigen, daß der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit für Hebel gilt.

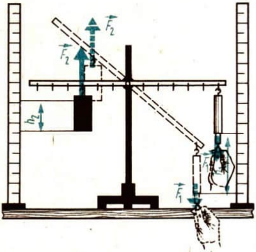


Bild 37/2 Versuchsanordnung zur Arbeit am Hebel

Wir heben einen Körper mit einem Gewicht von 200 p mit Hilfe eines Hebels (Bild 37/2). Dabei hebt sich der Angriffspunkt der Kraft F_2 um $h_2 = 15$ cm, der Angriffspunkt der Kraft F_1 senkt sich um $h_1 = 30$ cm. Der stets senkrecht gehaltene Federkraftmesser zeigt während des Vorganges $F_1 = 100$ p an. 16

Die aufgenommene Arbeit W_1 ist das Produkt aus der vom Federkraftmesser angezeigten Kraft $F_1 = 100$ p und dem Höhenunterschied $h_1 = 30$ cm:

$W_1 = F_1 \cdot h_1$;

$W_1 = 100 \text{ p} \cdot 30 \text{ cm} = 3000 \text{ pcm}$.

Die abgegebene Arbeit beträgt

$W_2 = F_2 \,.\, h_2$;

$W_2 = 200 \text{ p} \cdot 15 \text{ cm} = 3000 \text{ pcm}$.

Es ist also

$W_1 = W_2$.

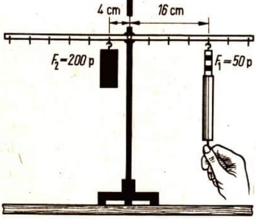


Bild 37/3 Versuchsanordnung zum Hebelgesetz

Das Hebelgesetz

An einem Hebel bestehen zwischen den Kraftarmen l_1 und l_2 und den angreifenden Kräften F_1 und F_2 gesetzmäßige Zusammenhänge.

An einem Stab, der drehbar gelagert ist, wirkt eine Kraft $F_2 = 200$ p. Der Kraftarm l_2 beträgt 4 cm. Mit Hilfe eines Federkraftmessers wird die Kraft F_1 bestimmt, durch die der Hebel ins Gleichgewicht gebracht wird. Bei verschieden großen Kraftarmen l_1 erhält man folgende Ergebnisse.[1] 17

[1] Das Gewicht des Hebels bleibt vorläufig unberücksichtigt.

Kraft F_1 in p	Kraftarm l_1 in cm	Kraft mal Kraftarm $F_1 \cdot l_1$ in pcm	Kraft F_2 in p	Kraftarm l_2 in cm	Kraft mal Kraftarm $F_2 \cdot l_2$ in pcm
100	8	800	200	4	800
50	16	800	200	4	800
40	20	800	200	4	800
200	4	800	200	4	800

Beispiel einer Meßreihe (die Meßwerte sind gerundet)

Die Versuchsreihe zeigt: Die aufgewendete Kraft wird um so kleiner, je größer der Kraftarm ist. Aus der Tabelle ist zu entnehmen, daß bei jedem Versuch das Produkt aus Kraft F_1 und Kraftarm l_1 gleich dem Produkt aus Kraft F_2 und Kraftarm l_2 ist.

Beachte: Diese Produkte stellen keine Arbeit dar, denn l_1 und l_2 sind keine zurückgelegten Wege, sondern die Kraftarme. Lies noch einmal die Definition der Arbeit auf Seite 19 nach!

Die Versuchsergebnisse lassen sich in folgendem **Hebelgesetz** zusammenfassen:

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Kraft F_1 und Kraftarm l_1 gleich dem Produkt aus Kraft F_2 und Kraftarm l_2 ist.	$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$

Aus diesem für alle Hebel gültigen Hebelgesetz erhält man durch Umformen folgende Gleichungen:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{l_1}; \quad F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}; \quad l_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{F_1}; \quad l_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{F_2}.$$

Ein Hebebaum wird als einseitiger Hebel verwendet, um einen Körper mit einem Gewicht von 120 kp anzuheben (Bild 38/1). Wie groß ist die aufgewendete Kraft F_1, wenn der Kraftarm $l_2 = 60$ cm und der Kraftarm $l_1 = 1{,}80$ m betragen?

Bild 38/1

Gegeben:

$l_2 = 0{,}6$ m
$l_1 = 1{,}8$ m
$F_2 = 120$ kp

Gesucht:

F_1

Lösung:

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

$$F_1 = \frac{120\ \text{kp} \cdot 0{,}6\ \text{m}}{1{,}8\ \text{m}}$$

$$F_1 = 40\ \text{kp}$$

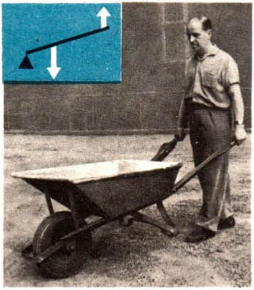
Die aufgewendete Kraft F_1 beträgt 40 kp.

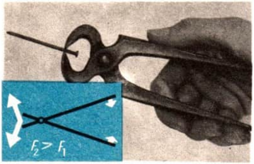
Beachte: Bei allen Betrachtungen zum Hebel sind die beiden folgenden Fälle zu unterscheiden:

1. Mit dem Hebel wird Arbeit verrichtet. Es gilt der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit: $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$ (s_1 und s_2 sind die zurückgelegten Wege).
2. An einem ruhenden Hebel werden die Kräfte verglichen. Es gilt das Gesetz für den Hebel im Gleichgewicht: $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ (l_1 und l_2 sind die Kraftarme).

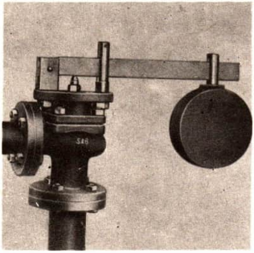
Anwendungen des Hebels

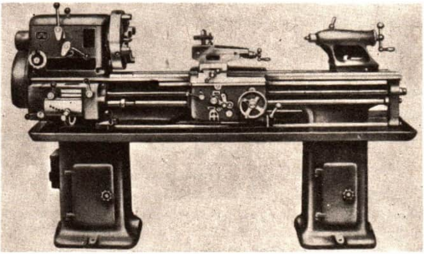
Schubkarre. Eine Schubkarre muß vor dem Fahren angehoben werden. Wenn die Griffstangen möglichst lang sind, ist dazu eine geringe Kraft notwendig. Die schematische Zeichnung (Bild 39/1) zeigt, daß es sich hierbei um einen einseitigen Hebel handelt.
Kneifzange. Zum Abkneifen von Draht, Nägeln und schmalen Blechstreifen wird eine große Kraft benötigt. Vergleiche die Kraftarme (Bild 39/2)! Vergleiche den Bau der Kneifzange mit dem Bau einer Papierschere!
Sicherheitsventil. Das Sicherheitsventil kann durch verschiebbare Körper so eingestellt werden (Bild 39/3), daß es sich öffnet, wenn der Dampf im Kessel einen bestimmten Druck erreicht hat. Auf diese Weise können Kesselexplosionen vermieden werden. Um welche Hebelart handelt es sich beim Sicherheitsventil?
Drehmaschine. Werkzeugmaschinen bilden eine Grundlage unseres Maschinenbaus. Wo befinden sich an der abgebildeten Drehmaschine (Bild 39/4) Hebel? Erkennst du auch noch andere kraftumformende Einrichtungen?





Bilder 39/1 bis 39/4





Der Wirkungsgrad kraftumformender Einrichtungen

Bei den bisherigen Versuchen mit kraftumformenden Einrichtungen konnten wir die Reibungskraft sehr klein halten. Dadurch war es möglich, sie auch bei der Formulierung unserer Gesetze unberücksichtigt zu lassen. Die Reibungskraft ist aber oft so groß, daß sie nicht mehr vernachlässigt werden darf.

18 Wir bestimmen die Arbeiten beim Heben eines Körpers mit Hilfe verschiedener loser Rollen. Diese unterscheiden sich dadurch, daß sie sich leicht (Rolle 1), schwer (Rolle 2) und sehr schwer (Rolle 3) drehen lassen.

Beispiel einer Meßreihe:

Rolle	F_2 in p	s_2 in cm	abgegebene Arbeit W_2 in pcm	F_1 in p	s_1 in cm	aufgenommene Arbeit W_1 in pcm
1	122	3	366	63	6	378
2	122	3	366	68	6	408
3	122	3	366	83	6	498

Ein Vergleich der Arbeiten zeigt, daß die aufgenommene Arbeit von der abgegebenen Arbeit erheblich abweicht. Der Satz von der Erhaltung der *mechanischen* Arbeit ist also scheinbar nicht mehr erfüllt: Es ist Arbeit „verlorengegangen". Wie eine genaue Untersuchung zeigt, ist das aber nicht der Fall.

Wegen der großen Reibung der Rollen wird eine erhebliche Reibungsarbeit verrichtet. Diese ergibt, zur abgegebenen Arbeit (Hubarbeit) addiert, wiederum die aufgenommene Arbeit. Wir müssen deshalb, wenn die Reibung nicht vernachlässigt werden darf, den Satz von der Erhaltung der Arbeit in folgender Form[1] schreiben:
Aufgenommene Arbeit = Abgegebene Arbeit + Reibungsarbeit.

Berechne die jeweilige Reibungsarbeit in Versuch 18!

Bildet man den Quotienten aus der abgegebenen Arbeit W_2 und der aufgenommenen Arbeit W_1, so erhält man den Wirkungsgrad η (sprich „eta") der betreffenden Einrichtung.

Wirkungsgrad = $\dfrac{\text{abgegebene Arbeit}}{\text{aufgenommene Arbeit}}$	$\eta = \dfrac{W_2}{W_1}$

[1] Obwohl auch die Reibungsarbeit „abgegeben" wird, schreibt man sie gesondert, denn durch die Reibung entsteht Wärme, die auf das Heben des Körpers keinen Einfluß hat.

Weise nach, daß der Wirkungsgrad keine Einheit hat, sondern eine Verhältniszahl ist!

Für die Rollen aus dem Versuch 18 ergeben sich folgende Wirkungsgrade:

Beispiel	abgegebene Arbeit W_2 in pcm	aufgenommene Arbeit W_1 in pcm	η
Rolle 1	366	378	0,97
Rolle 2	366	408	0,90
Rolle 3	366	498	0,74

Wir erkennen: Der Wirkungsgrad ist um so größer, je geringer die Reibungsarbeit ist. Wenn überhaupt keine Reibung vorhanden wäre, ergäbe sich der Wert $\eta = 1$, da dann Zähler und Nenner der Gleichung übereinstimmen würden. Da sich die Reibung niemals beseitigen läßt, gibt es keine mechanische Einrichtung mit dem Wirkungsgrad $\eta = 1$. Durch gute Lagerung, durch Ölen und Schmieren der Lager kann man aber erreichen, daß man sich diesem Wert weitgehend annähert. Dem Wirkungsgrad einer technischen Einrichtung läßt sich deshalb sofort entnehmen, ob diese verhältnismäßig wirtschaftlich arbeitet oder nicht. Ein von $\eta = 1$ nur wenig abweichender Wirkungsgrad bedeutet, daß der größte Teil der aufgenommenen Arbeit als abgegebene mechanische Arbeit (Nutzarbeit) wirksam ist. Es beträgt z. B. der Wirkungsgrad für Rollen für Experimentierzwecke 0,8 bis 0,95, für Präzisionsrollen in der Feinmechanik 0,99.

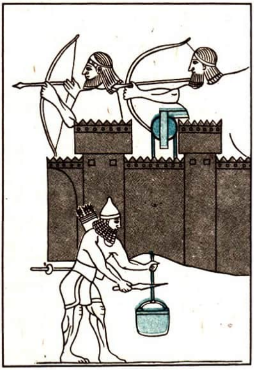


Bild 41/1 Älteste Darstellung einer Rolle (assyrisches Relief, etwa 8. Jahrh. v. u. Z.)

Zur Entwicklung der kraftumformenden Einrichtungen und ihrer Gesetze

Hebel und geneigte Ebene gehören zu den ältesten Arbeitsmitteln der Menschheit. Sie wurden wahrscheinlich schon vor Zehntausenden von Jahren benutzt. Die Rolle ist dagegen eine „jüngere" Erfindung (Bild 41/1). Es gibt dafür in der Natur kein Vorbild. Die Erfindung des Rades (die Grundlage der Rolle) ist daher eine bemerkenswerte technische Leistung. Die entsprechenden physikalischen Gesetze erkannte man erst viel später. Das Hebelgesetz formulierte erstmals Archimedes (287 bis 212 v. u. Z.), ein in Syrakus auf Sizilien lebender griechischer Gelehrter. Es ist jedoch nicht anzunehmen, daß Archimedes dazu Experimente ausführte. Er kam vielmehr durch Überlegungen und geometrische Betrachtungen zum Gesetz.

Man schreibt Archimedes auch die Konstruktion einer Anzahl mechanischer Vorrichtungen zu. (Ausführlich berichtet darüber das Buch „Abenteuer mit Archimedes" von Karl Rezac, Der Kinderbuchverlag Berlin.)
Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) wies nach, daß sich die Gesetze der Rollen auf das Hebelgesetz zurückführen lassen (Bilder 42/1 und 42/2)

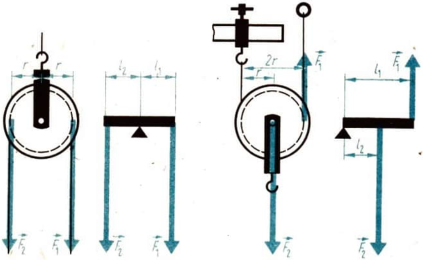


Bild 42/1 Feste Rolle als Hebel
Bild 42/2 Lose Rolle als Hebel

Auch die Gesetze der geneigten Ebene wurden erst im Mittelalter gefunden: Der holländische Gelehrte Simon Stevin (1548 bis 1620) kam ebenfalls durch Überlegungen zur Gleichgewichtsbedingung.
Das Bild 42/3 zeigt: Würden die 4 Kugeln auf der linken geneigten Ebene die zwei Kugeln der rechten geneigten Ebene emporziehen, so käme die Kette in dauernde Bewegung, da sich dann die Verteilung der Kugeln laufend wiederholt. Das widerspricht aber der Beobachtung. Die Kette ist vielmehr im Gleichgewicht und bleibt es auch dann, wenn die unter der Grundfläche des Dreiecks hängenden Kettenteile entfernt werden. Aus dem Gewicht der Kettenteile auf den geneigten Ebenen und aus der Länge der Ebenen leitete Stevin dann die Gleichgewichtsbedingungen für diese doppelte geneigte Ebene her. Im Gegensatz zu vielen seiner Vorgänger bestätigte aber Stevin seine Überlegungen durch Versuche.
Eine erste Formulierung des Satzes von der Erhaltung der mechanischen Arbeit bei den kraftumformenden Einrichtungen stammt von Galilei (1564 bis 1642): „Was an Leichtigkeit (d. h. geringerem Kraftaufwand) gewonnen wird, geht an Weg, Zeit und Langsamkeit verloren."
Erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts gelang es, die Arbeit und ihre Beziehungen zu anderen physikalischen Größen, vor allem zur Energie, vollständig und umfassend darzustellen.

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 106, Nr. 26 bis 66

Bild 42/3 Titelbild eines Buches von Stevin

Die mechanische Energie

Zum Schutze der Meeresküste vor der zerstörenden Wirkung des Wellenschlages werden an gefährdeten Stellen Buhnen errichtet. Eine Pfahlramme treibt die Holzpfähle, aus denen solche Buhnen oft bestehen, tief in den Boden hinein. Wodurch ist es möglich, daß der herabfallende Rammbär Arbeit verrichten kann?

Die potentielle Energie

Die Wirkungsweise einer Pfahlramme läßt sich durch einen einfachen Versuch veranschaulichen (Bild 43/2).

Der als Rammbär dienende Fuß einer Klemme wird um die Strecke $\overline{AB}$ gehoben. Der Zustand des gehobenen Körpers unterscheidet sich wesentlich von dem Zustand in der Ausgangslage bei A: Der Körper ist nämlich imstande, beim Herabfallen auf den Holzpflock diesen in den Boden zu treiben, das heißt *Arbeit zu verrichten*. 19

Im gehobenen Zustand (bei B) hat der Rammbär also ein bestimmtes Arbeitsvermögen. Statt *Arbeitsvermögen* sagt man: Ein gehobener Körper besitzt **potentielle**[1] **Energie**[2]. In diesem Fall nennt man sie auch Lageenergie. Die **Lageenergie** W_{pot} eines Körpers ist davon abhängig, welche Hubarbeit vorher verrichtet wurde.

Nenne die Gleichung zur Berechnung der Hubarbeit!

Je höher der Rammbär gehoben wurde und je größer sein Gewicht ist, um so tiefer wird der Pflock in den Boden getrieben, d. h. um so größer war das Arbeitsvermögen des Rammbärs.
Wir benutzen die verrichtete Verschiebungsarbeit als Maß für die Lageenergie des gehobenen Körpers und definieren:

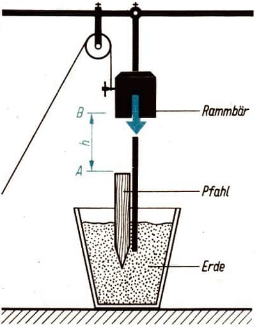


Bild 43/2 Funktionsmodell einer Pfahlramme

[1] potentia (lat.): Können, Fähigkeit
[2] en-ergeia (griech.): Wirksamkeit

Die Lageenergie eines Körpers ist gleich dem Produkt aus seinem Gewicht und der Höhe.	$W_{pot} = G \cdot h$

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Gewicht	G	Kilopond	kp
Höhe	h	Meter	m
Energie	W_{pot}	Kilopondmeter	kpm

Wenn in diesem Zusammenhang nur kurz von Höhe gesprochen wird, dann wegen einer verkürzten Ausdrucksweise. Gemeint ist jeweils der Höhenunterschied zur *Bezugsebene*. Ein Körper mit dem Gewicht 3 kp, der auf einem 1 m hohen Tisch liegt, hat z. B. gegenüber *der Bezugsebene Fußboden* die Lageenergie 3 kpm. Gegenüber der *Bezugsebene Keller* ist seine Lageenergie entsprechend größer.

Welche Lageenergie hat ein Rammbär, dessen Gewicht 500 kp beträgt und der um 4 m gehoben wurde?

Gegeben:

$G = 500$ kp

$h = 4$ m

Gesucht:

W_{pot}

Lösung:

$W_{pot} = G \cdot h$

$W_{pot} = 500\ \text{kp} \cdot 4\ \text{m}$

$\underline{\underline{W_{pot} = 2000\ \text{kpm}}}$

Die Lageenergie beträgt 2000 kpm.

Die Lageenergie ist nicht die einzige Form der potentiellen Energie. Auch gespannte Federn besitzen potentielle Energie.

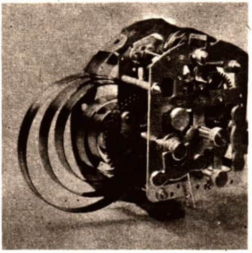


Bild 44/1 Spiralfeder eines Uhrwerkes

Die gespannte Feder einer Uhr treibt das Räderwerk an, beim Spielzeugauto wird durch „Aufziehen" ebenfalls Arbeit gespeichert.

Das Arbeitsvermögen verformter Federn wird als *Spannenergie* W_{elast} bezeichnet. Wir benutzen die verrichtete Federspannarbeit als Maß für die Spannenergie. Wie auf Seite 25 gezeigt wurde, läßt sich die Federspannarbeit durch die Gleichung $W_F = \frac{1}{2} F_E \cdot s$ berechnen. Diese Arbeit ist in der gespannten Feder als Energie

$$W_{elast} = \frac{1}{2} F_E \cdot s$$

gespeichert.

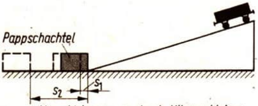
Allgemein gilt:

Ein gehobener Körper oder eine gespannte Feder können Arbeit verrichten. Wir sagen: Der gehobene Körper oder die gespannte Feder besitzen potentielle Energie.	$W_{pot} = G \cdot h$ $W_{elast} = \frac{1}{2} F_E \cdot s$

Die kinetische Energie

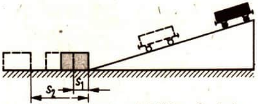
Beim Kegeln trifft die rollende Kugel auf die Kegel und wirft diese um. Die bewegte Kugel hat also die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, das heißt, sie besitzt Energie. Diese Feststellung gilt für alle bewegten Körper.

> Die Energie, die ein Körper infolge seiner Bewegung hat, heißt Bewegungsenergie oder kinetische[1] Energie.



s_1 ... *Verschiebungsweg durch Körper kleiner Masse*
s_2 ... *Verschiebungsweg durch Körper großer Masse*

Bild 45/1 Die Bewegungsenergie wächst mit der Masse eines Körpers



s_1 ... *Verschiebungsweg bei kleiner Geschwindigkeit*
s_2 ... *Verschiebungsweg bei großer Geschwindigkeit*

Bild 45/2 Die Bewegungsenergie ändert sich mit der Geschwindigkeit eines Körpers

Untersuchungen zeigen, daß die **kinetische Energie** von der Masse und von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers abhängt.

20 Ein leerer und ein mit Sand gefüllter kleiner Wagen rollen die gleiche geneigte Ebene hinab (Bild 45/1). Sie besitzen die gleiche Geschwindigkeit. Ihre kinetische Energie ist jedoch unterschiedlich, wie die verrichtete Verschiebungsarbeit zeigt. Der Wagen mit der größeren Masse hat auch die größere kinetische Energie.

Die kinetische Energie nimmt also bei gleichbleibender Geschwindigkeit mit der Masse zu.

21 Der mit Sand gefüllte Wagen aus Versuch 20 fährt mit verschiedenen Geschwindigkeiten gegen das Hindernis. Wie die Verschiebungsarbeit zeigt, wird die kinetische Energie eines Körpers größer, wenn die Geschwindigkeit zunimmt.

> Die kinetische Energie eines Körpers hängt von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ab.

Eine besondere Form der Bewegungsenergie ist die *Rotationsenergie*[2]. An vielen Maschinen findet man soge-

[1] kinesis (griech.): Bewegung
[2] rotatio (lat.): Drehung

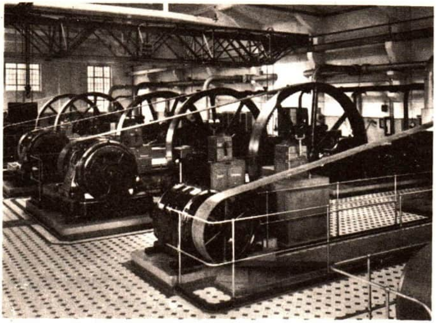


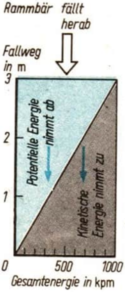
Bild 46/1 Das Schwungrad einer Dampfmaschine besitzt Rotationsenergie. Das Schwungrad soll verhindern, daß die Maschine bei einer bestimmten Kurbelstellung stehenbleibt. Auf Grund der vorhandenen kinetischen Energie des sich drehenden Schwungrades wird die Kurbel über die sogenannten Totpunkte hinweggetrieben

nannte *Schwungräder* (Bild 46/1). Die Rotationsenergie eines Schwungrades ist besonders groß, wenn es sich sehr schnell dreht, wenn seine Masse sehr groß ist und wenn der Körper möglichst weit von der Drehachse entfernt ist.

● *Betrachte Bild 46/1 und gib an, warum die Schwungräder nicht massiv sind, sondern Speichen besitzen!*

Energieumwandlungen

Ein Körper kann entweder nur potentielle Energie oder nur kinetische Energie oder auch beide Formen der mechanischen Energie besitzen. Das soll an folgenden Beispielen erläutert werden.



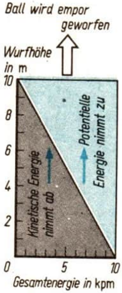


Bild 46/2 Bestimme die potentielle und kinetische Energie in 2 m und 1 m Höhe!

Bild 46/3 Bestimme die potentielle und kinetische Energie in 5 m und 8 m Höhe!

■ Ein gehobener Rammbär besitzt potentielle Energie (Bild 46/2). Wird er freigegeben, so wandelt sich potentielle Energie in kinetische Energie um. Im gleichen Maße wie die potentielle Energie abnimmt, wächst die kinetische Energie. (Die Geschwindigkeit des fallenden Rammbärs wird größer.) Im Augenblick des Auftreffens ist nur noch kinetische Energie vorhanden. Die potentielle Energie hat sich in kinetische Energie umgewandelt.

Ein anderes Beispiel:

■ Ein senkrecht nach oben geworfener Ball besitzt kinetische Energie (Bild 46/3). Je höher der Ball steigt, um so langsamer wird er; seine kinetische Energie nimmt ab. Dagegen wird die potentielle Energie größer. (Der Höhenunterschied wächst.) Im höchsten Punkt der Bahn hat der Ball nur noch potentielle Energie.

Die Umwandlung von potentieller Energie in Rotationsenergie zeigt der folgende Versuch:

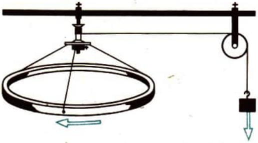


Bild 47/1 Umwandlung von potentieller Energie in Rotationsenergie

Ein Metallreifen nach Bild 47/1 ist drehbar gelagert. Um die Drehachse ist ein Faden gewickelt, an dem – über eine Rolle geführt – ein Wägestück hängt. Läßt man es los, so wandelt sich die potentielle Energie in kinetische Energie des herabsinkenden Wägestücks *und* in Rotationsenergie des Reifens um. 22

Überlege, was geschieht, wenn der Faden vollständig abgewickelt ist!

Wir erkennen:

> Die Energieformen der Mechanik – potentielle und kinetische Energie – lassen sich ineinander umwandeln.

Oft beobachtet man auch eine wiederholte Umwandlung der verschiedenen Energieformen ineinander. Ein bekanntes Beispiel ist eine schwingende Schaukel.

Wann besitzt die Schaukel nur potentielle Energie? Wann nur kinetische Energie?

Zur Beantwortung dieser Fragen betrachten wir eine Kugel, die in einer gebogenen Rinne hin- und herrollen kann (Bild 47/2).

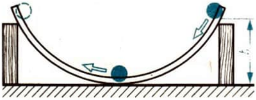


Bild 47/2 Energieumwandlungen bei einer rollenden Kugel

Die Kugel wird aus der Ruhelage an das Ende der Rinne gebracht. Dabei wird sie um die Höhe *h* gehoben. Infolge der dabei verrichteten Hubarbeit besitzt die Kugel nunmehr potentielle Energie gegenüber der Ruhelage. Läßt man die Kugel los, so wandelt sich die potentielle Energie in kinetische Energie um. Beim Durchgang durch die Ruhelage hat der Körper nur noch kinetische Energie, die sich beim Weiterrollen wieder in potentielle Energie umwandelt. Im Umkehrpunkt hat die Kugel nur noch potentielle Energie. Dann wiederholt sich der Vorgang. 23

Die Energieverhältnisse sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt:

						
Lageenergie W_{pot}	besitzt Höchstwert	nimmt ab	ist Null	nimmt zu	besitzt Höchstwert	nimmt ab
kinetische Energie W_{kin}	ist Null	nimmt zu	besitzt Höchstwert	nimmt ab	ist Null	nimmt zu

Die Beobachtung zeigt, daß die Kugel nach einigem Hin- und Herrollen liegenbleibt. Die Ursache dafür ist die während der Bewegung verrichtete Reibungsarbeit. Bei der Reibung entsteht bekanntlich Wärme. Die Wärme ist — wie wir später lernen werden — ebenfalls eine Energieart. Der Versuch zeigt also, daß sich allmählich die mechanische Energie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt hat. Bei geringer Reibungsarbeit dauert der Vorgang länger.

Beispielsweise führen ein *Fadenpendel* (Bild 48/1) oder ein *Federschwinger* viele Hin- und Herbewegungen aus, bis sie zur Ruhe kommen.

Die bisherigen Betrachtungen zur mechanischen Energie gelten aber nicht nur für feste Körper.

Auch Flüssigkeiten und Gase haben mechanische Energie.

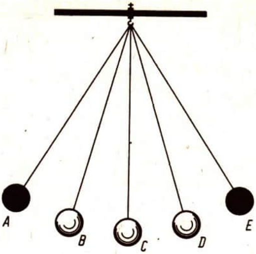


Bild 48/1 Fadenpendel

Bewegte Luft hat z. B. ein beträchtliches Arbeitsvermögen: Der Wind treibt Segelboote vorwärts und dreht die Windmühlenflügel oder die Propeller von Windmotoren. Die Energie des fließenden Wassers wird von den Menschen seit langem als Energiequelle genutzt (S. 49 und 50).
Hierbei wandelt sich die potentielle Energie aufgestauten Wassers in kinetische Energie des strömenden Wassers um.

Der Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie

Physikalische Vorgänge lassen sich oft übersichtlicher darstellen, wenn man bestimmte Vereinfachungen vornimmt (↗ S. 27). Vernachlässigt man bei den Energieumwandlungen die Reibung, dann kann man für die mechanische Energie folgenden Satz aufstellen:

Bei der Umwandlung der mechanischen Energieformen ineinander bleibt die Summe aus potentieller Energie und kinetischer Energie konstant.	$W_{pot} + W_{kin}$ = konstant

Die Reibungsarbeit läßt sich in der Praxis nur vermindern, jedoch niemals vermeiden. Deshalb ist dieser Satz von der *Erhaltung der mechanischen Energie* experimentell nicht beweisbar. Wird die Wärmeenergie, die durch die Reibungsarbeit entsteht, mit berücksichtigt, so ergibt sich:

Bei mechanischen Vorgängen ist die Summe aus mechanischer Energie und Wärmeenergie konstant.

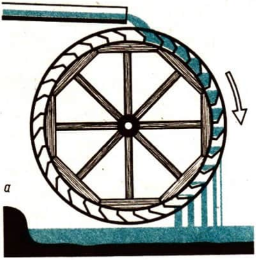
Da die Gesamtenergie eines Körpers konstant ist, kann also niemals Energie „verschwinden". Sie wandelt sich stets nur in andere Energiearten um. Energie kann aber auch nicht „erzeugt" werden.[1] Wenn wir sagen, daß wir einem Körper z. B. potentielle Energie zuführen, so ist dazu stets eine Arbeit notwendig. Mechanische Arbeit ist aber nichts anderes als eine Energieumwandlung.

Um den Rammbär einer Dampframme zu heben, muß *Hubarbeit* verrichtet werden. Dabei wandelt sich *Wärmeenergie* des Dampfes in *potentielle Energie* des gehobenen Rammbärs um. Die Wärmeenergie des Dampfes ist aus einer Energieart entstanden, die man als chemische Energie bezeichnet.

Wir werden in späteren Schuljahren noch weitere Energiearten, z. B. die elektrische Energie und die Kernenergie und ihre Umwandlungsmöglichkeiten, kennenlernen. Stets gilt aber, daß Energie weder erschaffen werden kann noch verschwindet, sondern nur umgewandelt werden kann.

Hubarbeit und Spannarbeit sind sogenannte *umkehrbare Vorgänge:* Die im gehobenen Körper oder in der gespannten Feder gespeicherte potentielle Energie wird beim Herabfallen des Körpers bzw. beim Entspannen der Feder wieder als Arbeit wirksam.

Dagegen ist die Reibungsarbeit ein *nicht umkehrbarer Vorgang:* Die durch die Reibung auftretende Wärmeenergie wird an die Umgebung abgegeben und läßt sich im allgemeinen nicht wieder als Arbeit nutzen.



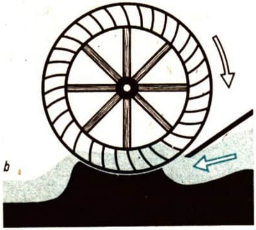


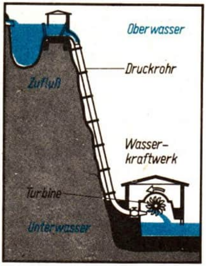
Bild 49/1 Wasserräder lassen sich nach ihrer Konstruktion in zwei Gruppen einteilen:
a) Oberschlächtige Wasserräder nutzen vorwiegend die potentielle Energie des Wassers aus,
b) unterschlächtige Wasserräder vorwiegend die kinetische Energie („schlächtig" kommt von „aufschlagen")

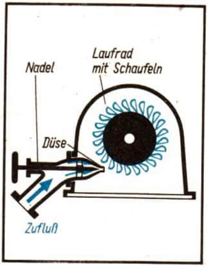
Energieumwandlungen bei Wasserkraftmaschinen

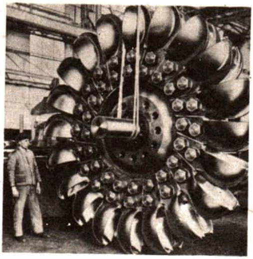
Schon seit etwa 2000 Jahren wird die mechanische Energie des Wassers zum Antrieb von Wasserrädern genutzt, die ihrerseits Mühlenwerke, Sägegatter, Hammerwerke und andere Maschinen in Gang setzen (Bild 49/1). Heute haben Wasserräder bei uns keine Bedeutung mehr, da ihr Wirkungsgrad gering ist. Die Erfindung der Wasserturbinen ermöglichte eine bessere Ausnutzung der „Wasserkräfte". (Diese Bezeichnung ist eigentlich physikalisch falsch; es müßte richtig „Wasserenergie" heißen. Der Ausdruck „Wasserkraft" stammt aus einer Zeit, in der man zwischen Energie und Kraft noch nicht richtig unterschied; er hat sich aber so eingebürgert, daß wir ihn ebenfalls benutzen werden.)

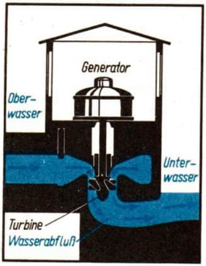
In den Wasserkraftanlagen wird das aufgestaute Wasser den Wasserturbinen zugeführt und verrichtet dort Arbeit.

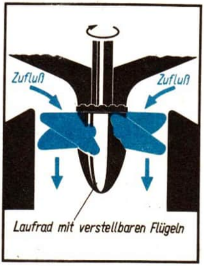
[1] In der Umgangssprache gebraucht man den Ausdruck „Energieerzeugung". Gemeint ist aber auch hier eine Energieumwandlung.











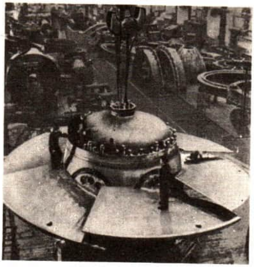


Bild 50/1 Peltonturbine.[1] Bei großen Gefällhöhen (mehr als 100 m) werden Peltonturbinen eingesetzt. Der Wasserbedarf ist gering

Bild 50/2 Kaplanturbine.[1] Bei großen Wassermengen werden Kaplanturbinen eingesetzt. Die Gefällhöhe ist gering (unter 50 m)

Es erfolgt also eine Energieumwandlung. Die Turbinen treiben meist elektrische Generatoren an. Hierbei wird Rotationsenergie in elektrische Energie umgewandelt, die wir dann in der Industrie oder im Haushalt wieder in andere Energiearten umwandeln. Die in den Wasserkraftwerken verwendete Turbinenart richtet sich nach der zur Verfügung stehenden Wassermenge und dem vorhandenen Gefälle (Bilder 50/1 und 50/2).

Obwohl auch die DDR über einige große Wasserkraftwerke verfügt, vor allem an der Saale und im Harz, ist deren Anteil an der Energieversorgung unserer Republik gering (nur etwa 2 %).
Die geographischen Bedingungen in der DDR sind auch für die Anlage weiterer großer Wasserkraftanlagen ungünstig. In den nächsten Jahrzehnten werden daher Wärmekraftwerke auf Braunkohlengrundlage unsere Hauptenergiequelle bleiben. Aber schon jetzt werden in der DDR auch moderne Atomkraftwerke gebaut.

● *Kennst du den Standort unseres ersten Atomkraftwerkes?*

[1] Pelton und Kaplan waren die Erfinder dieser Turbinenarten.

In unserer Republik gibt es auch sogenannte *Pumpspeicherwerke*. Es handelt sich hierbei um Wasserkraftwerke, die mit Turbinen, Pumpen und elektrischen Maschinen ausgestattet sind. Während der Nacht oder bei geringer Belastung des elektrischen Versorgungsnetzes treiben Elektromotoren Pumpen an. Diese befördern Wasser aus einem Unterbecken in ein Oberbecken. Dabei wird Arbeit verrichtet, die im gestauten Wasser gespeichert ist. Bei Spitzenbelastung fließt das Wasser wieder in das Unterbecken und treibt die Turbinen an. Diese sind mit elektrischen Maschinen gekoppelt, die elektrische Energie an das Versorgungsnetz liefern. Durch dieses Verfahren ist es möglich, die in der Nacht von den Wärmekraftwerken (die man nicht einfach „abstellen" kann) lieferbare Elektroenergie in Form von potentieller Energie des hochgepumpten Wassers zu speichern und während der Spitzenbelastungszeiten wieder an das Netz zurückzugeben.
Derartige Pumpspeicherwerke befinden sich in der DDR bei Niederwartha (bei Dresden), bei Hohenwarthe (an der Saale) und bei Wendefurth (im Harz).
Das Beispiel der Wasserkraftanlagen zeigt uns deutlich, daß der Mensch in der Lage ist, durch Ausnutzung der Naturgesetze die in der Natur vorhandene Energie so umzuwandeln, daß er sie für seine Zwecke nutzen kann. In dieser Hinsicht ist in den letzten Jahrzehnten besonders die Sowjetunion wirksam geworden, die durch den Bau gigantischer Wasserkraftanlagen in Sibirien (Bild 51/1) wichtige Grundlagen für den weiteren Aufbau des Kommunismus schuf.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 110, Nr. 67 bis 87

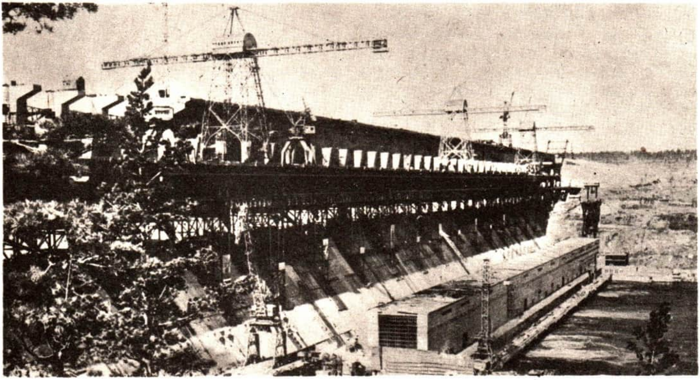
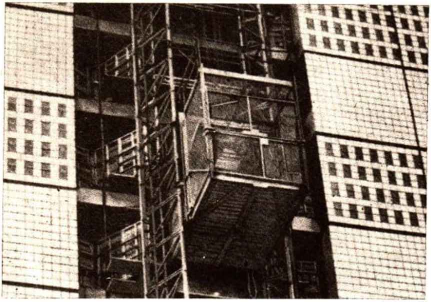


Bild 51/1 Der Staudamm des Bratsker Wasserkraftwerks an der Angara



Die Leistung

Früher wurden Ziegel und Mörtel im Bauwesen durch den Menschen transportiert. Heute verrichten Maschinen, wie beispielsweise der Lastenaufzug, diese schwere körperliche Arbeit.

Die Leistung und ihre Einheiten

Die Verwendung von Maschinen beim Heben von Lasten hat nicht nur den Vorteil, daß schwere körperliche Arbeit vermieden wird. Durch den Einsatz der Maschinen wird die Arbeitsproduktivität gesteigert, d. h., es werden in der gleichen Zeit größere Lasten transportiert.

Ein Mörtelbehälter mit einem Gewicht von 25 kp soll
a) durch einen „Hucker",
b) mit Hilfe einer festen Rolle,
c) durch einen Lastenaufzug
um jeweils 6 m gehoben werden (Bild 52/2).

Da das Gewicht G und die Hubhöhe h in allen Beispielen gleich sind, ist auch die Arbeit $W = G \cdot h$ stets die gleiche. Die zum Heben notwendige Zeit ist jedoch unterschiedlich: Der „Hucker" benötigt z. B. 1 min, das Hinaufziehen mit Hilfe der Rolle dauert nur 16 s und der Lastenaufzug befördert den Behälter in 4 s auf das Gerüst.

Der Lastenaufzug „leistet" also mehr als der „Hucker".

Die Beziehungen zwischen einer verrichteten Arbeit und der dazu benötigten Zeit werden durch die physikalische Größe **Leistung** angegeben.
Die Leistung wird in der Physik folgendermaßen definiert:

Die Leistung ist der Quotient aus der verrichteten Arbeit und der dazu benötigten Zeit.	$P = \frac{W}{t}$

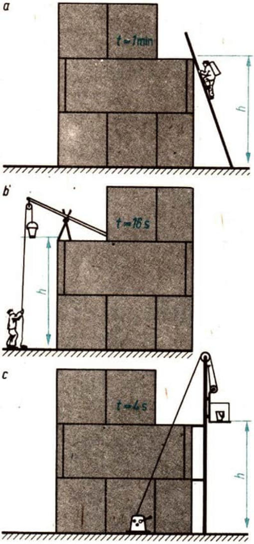


Bild 52/2

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Arbeit	W	Kilopondmeter	kpm
Zeit	t	Sekunde	s
Leistung	P	Kilopondmeter je Sekunde	$\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

Bild 53/1 Die Leistung 1 W und 1 kW

Andere Einheiten der Leistung sind das **Watt**[1] (W) und das **Kilowatt** (kW) (Bild 53/1).

$$1000\ \text{W} = 1\ \text{kW};\quad 1\ \text{W} = 0{,}102\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}};\quad 1\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}} = 9{,}81\ \text{W}$$

$\left(\text{Merke als gerundeten Wert } 1\ \text{W} \approx \frac{1}{10}\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}};\right.$

$\left. 1\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}} \approx 10\ \text{W}\right)$

In der Technik wird auch noch die Einheit Pferdestärke (PS) benutzt.

Es gilt: $1\ \text{PS} = 75\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$.

Wie groß ist die Leistung, wenn ein Lastenaufzug eine Arbeit von 2400 kpm in 8 s verrichtet? Gib die Leistung in W und kW an!

Gegeben:

$W = 2400$ kpm

$t = 8$ s

Gesucht:

P

Lösung:

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

$$P = \frac{2400\ \text{kpm}}{8\ \text{s}}$$

$$P = 300\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$P = 300 \cdot 9{,}81\ \text{W}$$

Die Leistung beträgt 2943 W bzw. 2,943 kW.

Der Elektromotor, der den Lastenaufzug antreibt, muß eine größere Leistung als 2,943 kW *haben. Warum? Lies zur Beantwortung dieser Frage nochmals den Abschnitt über den Wirkungsgrad durch!*

Man kann den Wirkungsgrad einer Maschine auch aus der Leistung ermitteln. Dazu ermittelt man das Verhältnis der abgegebenen Leistung P_2 zur aufgenommenen Leistung P_1. Es gilt demnach:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} = \frac{P_2}{P_1}.$$

Berechne den Wirkungsgrad des Lastenaufzuges, wenn die Motorleistung 3,2 kW *beträgt!*

[1] Nach dem englischen Techniker James Watt benannt, der wesentlichen Anteil an der Entwicklung der Dampfmaschine hat.

Kraft, Geschwindigkeit und Leistung

Oft ist es einfacher, die Leistung aus der wirkenden Kraft und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers zu bestimmen.

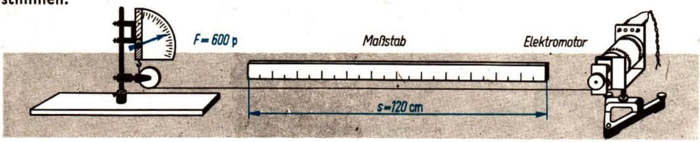


Bild 54/1 Versuchsanordnung zur Leistungsbestimmung aus Kraft und Geschwindigkeit

24 Mit Hilfe eines Elektromotors wird ein Holzbrett gleichförmig bewegt. Die wirkende Kraft kann an dem Federkraftmesser abgelesen werden. Wir bestimmen die Zeit für das Durchlaufen der Meßstrecke und berechnen die Geschwindigkeit (Bild 54/1).

Beispiel einer Messung:

Gemessen:	*Berechnung:*
$F = 600$ p $s = 120$ cm $t = 10$ s	Da die Bewegung gleichförmig ist, benutzen wir die Gleichung $v = \frac{s}{t}$ und setzen ein: $v = \frac{s}{t} = \frac{120\ \text{cm}}{10\ \text{s}} = 12\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Bilden wir das Produkt aus der Kraft F und der Geschwindigkeit v, so ergibt sich: $F \cdot v = 600\ \text{p} \cdot 12\,\frac{\text{cm}}{\text{s}} = 7200\,\frac{\text{pcm}}{\text{s}}$.

Die Einheit $\frac{\text{pcm}}{\text{s}}$ ist eine Einheit der Leistung. Das Produkt $F \cdot v$ stellt eine Leistung dar.

Die Gleichung $F \cdot v$ für die Leistung erhält man auch auf mathematischem Wege:

Die Leistung ist $P = \frac{W}{t}$.

Wir ersetzen W durch $F \cdot s$ und erhalten $P = \frac{F \cdot s}{t}$.

Eine andere Schreibweise der rechten Seite der Gleichung ergibt

$P = F \cdot \frac{s}{t}$.

Der Quotient $\frac{s}{t}$ ist aber die Geschwindigkeit v der gleichförmigen Bewegung.

Die Leistung ist das Produkt aus der wirkenden Kraft und der Geschwindigkeit.	$P = F \cdot v$

Beachte: Diese Gleichung kann nur benutzt werden, wenn die Kraft in Richtung des Weges wirkt.

Welche Leistung entwickelt eine Lokomotive, wenn sie bei einer Zugkraft von 3000 kp eine Geschwindigkeit von 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht? Gib die Leistung auch in PS an!

Gegeben:

$F = 3000\ \text{kp}$

$v = 80\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

$v = \frac{80000\ \text{m}}{3600\ \text{s}}$

Gesucht:

P

Lösung:

$P = F \cdot v$

$P = \frac{3000\ \text{kp} \cdot 80000\ \text{m}}{3600\ \text{s}}$

$\underline{\underline{P = 66667\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}}}}$

Nebenrechnung:

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

$66667\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}} : 75\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}} = x : 1\ \text{PS}$

$x = \frac{66667}{75}\ \text{PS}$

$\underline{\underline{x = 888{,}9\ \text{PS}}}$

Die Leistung der Lokomotive beträgt 66667 $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ *bzw. 889 PS.*

Vergleiche diese Leistung mit der Leistung anderer Maschinen, z. B. Motorroller, PKW, LKW (↗ innere Umschlagseiten)!

Die Arbeitseinheiten Ws und kWh

Die Gleichung $P = \frac{W}{t}$ kann umgeformt werden. (Beide Seiten mit t multiplizieren!) Sie lautet dann $W = P \cdot t$. Bei bekannter Leistung P läßt sich damit die Arbeit W bestimmen, wenn die Zeit t gegeben ist. Wurde die Leistung in der Einheit Watt gemessen, so erhält man als Einheit der Arbeit (= Einheit der Leistung · Einheit der Zeit) die **Wattsekunde** (Ws). Eine größere Einheit ist die **Kilowattstunde** (kWh). Es gelten folgende Beziehungen:

$$1\ \text{Ws} \approx \frac{1}{10}\ \text{kpm};$$
$$3600000\ \text{Ws} = 1\ \text{kWh};$$
$$1\ \text{kWh} \approx 367100\ \text{kpm}.$$

Welche Arbeit verrichtet ein Kranmotor in 2 min, wenn seine Leistung 7,5 kW beträgt?

Gegeben:

$P = 7500\ \text{W}$

$t = 120\ \text{s}$

Gesucht:

W

Lösung:

$W = P \cdot t$

$W = 7500\ \text{W} \cdot 120\ \text{s}$

$\underline{\underline{W = 900000\ \text{Ws}}}$

Die verrichtete Arbeit beträgt 900000 Ws.

Gib das Ergebnis auch in kWh und kpm an!

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 112, Nr. 88 bis 100

Zur Wiederholung

Unsere Kenntnisse über Arbeit und Energie sollen an einigen Beispielen zusammengefaßt und wiederholt werden.

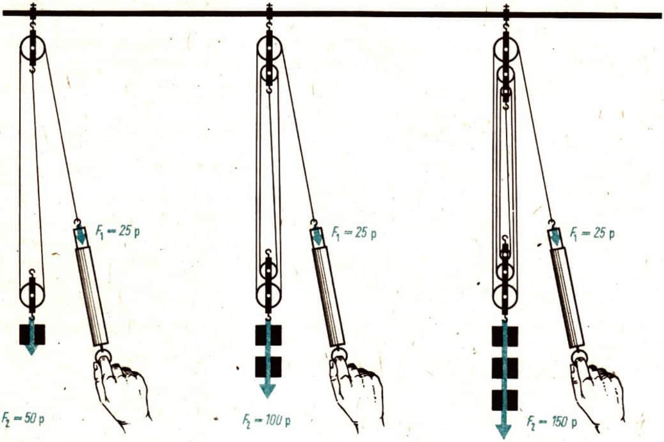
Der Flaschenzug

An vielen Maschinen (Kränen, Aufzügen, Baggern) befinden sich Flaschenzüge (Bild 57/1).

Für experimentelle Untersuchungen ordnet man die Rollen oft auch in der *Flasche* übereinander an. Je nach der Anzahl der Rollen eines Flaschenzuges spricht man vom zwei-, vier- und sechsteiligen Flaschenzug.

Gleichgewichtsbedingungen am Flaschenzug:

Bild 56/1 Gleichgewichtsbedingungen an drei verschiedenen Flaschenzugmodellen. (Die Rollen sind aus Übersichtsgründen übereinander angebracht.)



Überlegung: Das Gewicht F_2 (angehängte Körper und untere Flasche) verteilt sich auf

zwei tragende Seilstücke; vier tragende Seilstücke; sechs tragende Seilstücke.

Auf das (einzige) freie Seilende wirkt demnach die Kraft[1]

$\frac{F_2}{2}$; $\frac{F_2}{4}$; $\frac{F_2}{6}$.

[1] Da das Befestigungsseil am Haken der oberen Flasche nicht parallel zu den anderen Seilen verläuft (↗ S. 17 und 28), gelten unsere Überlegungen nur annähernd.

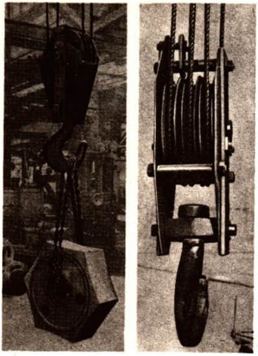


Bild 57/1 Die Flaschenzüge sind, physikalisch gesehen, Kombinationen von festen und losen Rollen, die in je einem Gehäuse, der sogenannten *Flasche*, angebracht sind

Allgemein: Bei n tragenden Seilstücken beträgt die zum Gleichgewicht notwendige Kraft F_1:

$$\text{Kraft } F_1 = \frac{\text{Kraft } F_2}{\text{Anzahl } n \text{ der tragenden Seilstücke}}$$

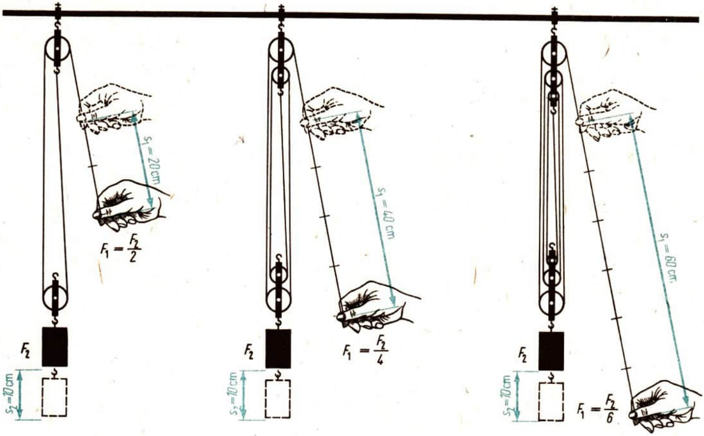
$$F_1 = \frac{F_2}{n}$$

Die Richtigkeit der Überlegungen könnte man experimentell dadurch überprüfen, daß man am freien Seilende die zum Gleichgewicht notwendige Kraft mit einem Federkraftmesser bestimmt (Bilder 56/1 bis 3). Wegen der Reibung an den vielen Rollen liefert der Versuch jedoch nur annähernde Übereinstimmung. (Man bildet dazu den Mittelwert aus jeweils 2 Messungen, indem man die Kräfte bestimmt, unter deren Einfluß sich die untere Flasche gerade zu heben oder zu senken beginnt!)

Arbeit und Wirkungsgrad

Wir heben mit den Flaschenzügen jeweils gleiche Körper 25
um 10 cm und bestimmen die dazu notwendigen Kräfte und die zurückgelegten Wege (Bild 57/2).

Bild 57/2 Arbeit an verschiedenen Flaschenzugmodellen



Beispiel einer Meßreihe

Anzahl n der tragenden Seilstücke	F_2 in p	s_2 in cm	W_2 in pcm	F_1 in p	s_1 in cm	W_1 in pcm	$\eta = \frac{W_2}{W_1}$
2	267	10	2670	141	20	2820	0,95
4	267	10	2670	75	40	3000	0,89
6	267	10	2670	60	60	3600	0,74

Aus den Meßwerten erkennen wir:

Der Satz von der Erhaltung der *mechanischen Arbeit* ist wegen der verhältnismäßig großen Reibungskraft nicht erfüllt, denn es ist stets

$W_1 > W_2$.

Der Wirkungsgrad ist deshalb

$\eta < 1$.

Die Kräfte F_1 sind jeweils größer, als sich aus der Gleichung $F_1 = \frac{F_2}{n}$ errechnen läßt, aber immer noch viel kleiner als F_2.

Die Flaschenzüge sind also kraftumformende Einrichtungen.

Ein Vergleich zwischen der Anzahl der tragenden Seilstücke und den Wegen ergibt

$s_1 = n \cdot s_2$.

Gib den Inhalt dieser Gleichung unter Verwendung der Worte „Weg der aufgewendeten Kraft" *und* „Weg der wirksamen Kraft" *an*!

Die Wirkungsgrade und die Kraftwege sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt.

Anzahl n der tragenden Seilstücke	η	$F_1 = \frac{F_2}{n}$ (errechnet) in p	F_1 (gemessen) in p	$s_1 = n \cdot s_2$ in cm
2	0,95	134	141	$2 \cdot 10$
4	0,89	67	75	$4 \cdot 10$
6	0,74	45	60	$6 \cdot 10$

Arbeitsdiagramme für Flaschenzüge

Mit den errechneten Kräften F_1 und den gemessenen Wegen s_1 ergeben sich folgende Arbeitsdiagramme: (Die verrichtete Hubarbeit wurde farbig hervorgehoben.)

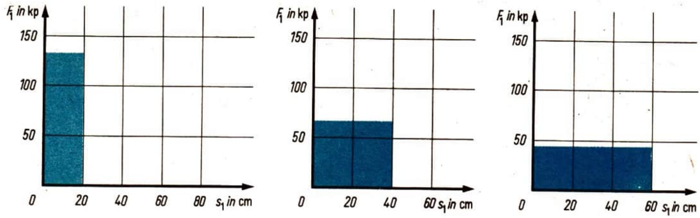


Bild 59/1 Arbeitsdiagramme für verschiedene Flaschenzugmodelle

Die Leistung am Flaschenzug

Die Hubarbeit W_2 wird bei gleicher Zuggeschwindigkeit in unterschiedlichen Zeiten verrichtet, da die Wege s_1 verschieden sind.

Bei welchem Flaschenzug wird die wenigste Zeit benötigt? ●

Setzen wir in die Gleichung $P = \frac{W}{t}$ diese unterschiedlichen Zeiten ein, so zeigt sich, daß die Leistung (trotz der gleichen verrichteten Arbeit W_2) ebenfalls unterschiedlich ist. Bei gleicher Zuggeschwindigkeit ist die Leistung beim zweiteiligen Flaschenzug am größten, beim sechsteiligen Flaschenzug am kleinsten. Man benötigt daher zum Betrieb eines solchen sechsteiligen Flaschenzuges auch nur einen Motor geringer Leistung.

Die Achterbahn

Auf Vergnügungsplätzen findet man manchmal die Achterbahn (Berg- und Talbahn) (Bild 59/2). Wir wollen die Fahrt eines Wagens physikalisch betrachten.

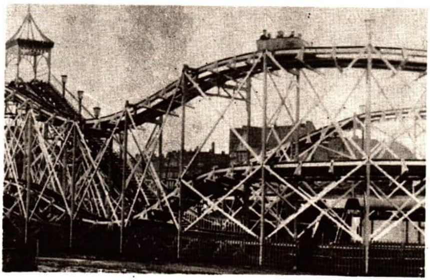


Bild 59/2 Achterbahn auf einem Vergnügungsplatz

Abschnitt	Vorgang	physikalische Beschreibung
1	Mit Hilfe eines Elektromotors wird der Wagen zum höchsten Punkt befördert.	Am Wagen wird Hubarbeit verrichtet. Er erlangt potentielle Energie.
2	Der Wagen fährt eine geneigte Ebene hinab ...	Es wandelt sich potentielle Energie in kinetische Energie um. Die Geschwindigkeit nimmt zu, da die Hangabtriebskraft beschleunigend wirkt.
3	... und eine andere geneigte Ebene hinauf.	Es wandelt sich kinetische Energie in potentielle Energie um. Die Geschwindigkeit nimmt ab, da die Hangabtriebskraft verzögernd wirkt.
4	Die ursprüngliche Höhe wird nicht wieder erreicht.	Durch die Reibungsarbeit, den Luftwiderstand und andere Einflüsse wurde ein Teil der mechanischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt (↗ S. 49). Die potentielle Energie an der erreichten Stelle ist daher kleiner als am höchsten Punkt.
5	Die Fahrt verläuft weiter zwischen „Berg und Tal", wobei die erreichte „Berghöhe" immer geringer wird.	Es erfolgen dauernd Energieumwandlungen von potentieller in kinetische Energie und von kinetischer in potentielle Energie. (Dabei wandelt sich dauernd ein Teil der mechanischen Energie in Wärmeenergie um.)
6	Der Wagen erreicht einen tiefsten Punkt und bleibt stehen.	Es ist keine mechanische Energie mehr vorhanden. Sie hat sich nach und nach vollständig in Wärmeenergie umgewandelt.

Das Perpetuum mobile

Ein „Erfinder" schlug den Bau folgender Vorrichtung vor: Zwei Behälter (Ober- und Unterbecken) werden einmalig mit Wasser gefüllt.
Das aus dem Oberbecken ausströmende Wasser treibt ein Wasserrad an und fließt dabei in das Unterbecken. Durch das Wasserrad wird eine Wasserschraube gedreht, welche das gesamte heruntergeflossene Wasser wieder in das Oberbecken befördert. Von dort kann es erneut abwärts fließen und das Wasserrad weiter antreiben usw. (Bild 61/1).
Der „Erfinder" begründet seine Konstruktion folgendermaßen: Es wird einmal Energie zugeführt, die zum Füllen (Hubarbeit) des Oberbeckens mit Wasser dient. Das im Oberbecken befindliche Wasser besitzt potentielle Energie. Diese wandelt sich in kinetische Energie des Wasserrades um. Die angekoppelte Wasserschraube kann deshalb erneut Hubarbeit verrichten, Wasser in das Oberbecken heben und damit den Anfangszustand wiederherstellen. Dann

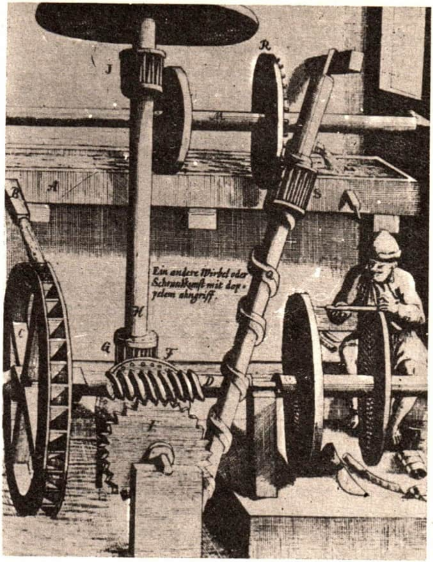


Bild 61/1 Vorschlag eines Perpetuum mobile aus dem 17. Jahrhundert. Die Wasserschraube (rechts) befördert das Wasser wieder in das Oberbecken

wiederholt sich der Vorgang dauernd; die Vorrichtung bleibt nie wieder stehen. Sie ist ein Perpetuum mobile[1], das sich auf dem Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie aufbaut.

Baut man eine solche Vorrichtung, so stellt man jedoch etwas ganz anderes fest: Es wird immer weniger Wasser in das Oberbecken befördert, so daß schließlich überhaupt kein Wasser mehr im Oberbecken ist. Die gesamte Wassermenge ist im Unterbecken. Die Vorrichtung bleibt stehen.

Wir kennen (im Gegensatz zum „Erfinder") bereits die Ursache: Die mechanische Energie hat sich nach und nach in Wärmeenergie (durch die Reibung in den Maschinenteilen) umgewandelt! Der Satz von der Erhaltung der *mechanischen* Energie darf also auf die Vorrichtung gar nicht angewendet werden, denn er gilt ja nur für die Umwandlung von potentieller Energie in

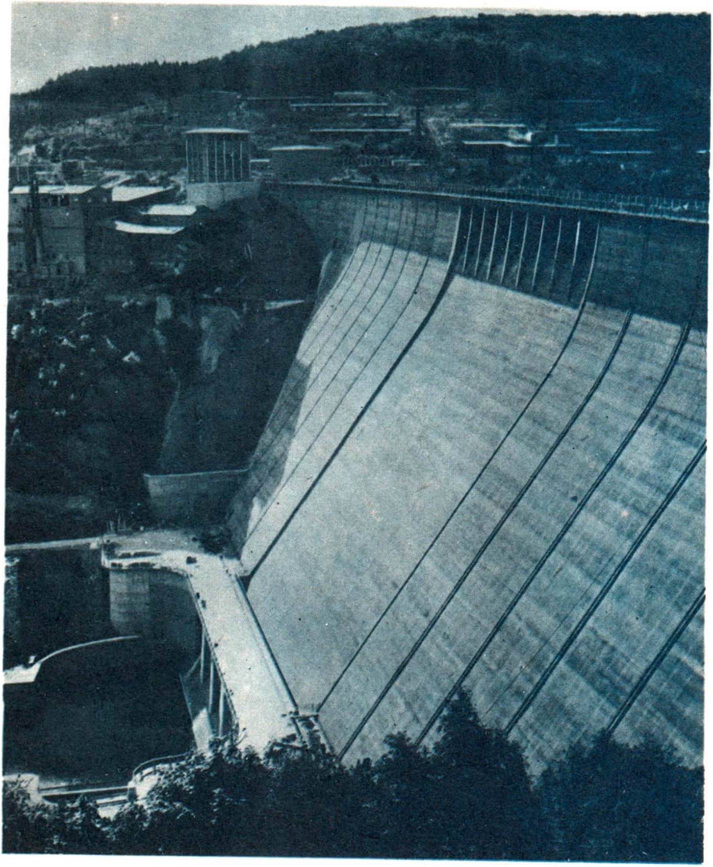
[1] perpetuum (lat.): unaufhörlich
mobilis (lat.): beweglich

kinetische und umgekehrt. Bei der beschriebenen Vorrichtung wird aber – wie bei jeder Maschine – mechanische Energie auch in Wärmeenergie umgewandelt.
In den vergangenen Jahrhunderten hat es aber tatsächlich viele Leute gegeben, die derartige Maschinen bauen wollten. Allerdings sollte ein solches Perpetuum mobile nicht nur dauernd in Bewegung bleiben (dann wäre es ja nur ein Spielzeug gewesen), sondern auch noch zusätzliche Arbeit verrichten.

Bei einer ähnlichen Vorrichtung wie in Bild 61/1 könnte z. B. das Wasserrad noch zusätzlich einen Fahrraddynamo antreiben, durch den eine elektrische Glühlampe gespeist wird.
In diesem Fall wandelt sich die ursprünglich vorhandene (mechanische) Energie nicht nur in Wärmeenergie (Reibungsarbeit in der Maschine), sondern auch noch in elektrische Energie um, so daß die Vorrichtung noch schneller zum Stillstand kommt.

Eine Maschine, die nach einmaligem Arbeitsaufwand (d. h. Zuführung von Energie) in dauernder Bewegung bleibt und dabei sogar noch laufend zusätzliche Arbeit verrichtet, ist also unmöglich. Auch die kompliziertesten Vorschläge zum Bau eines solchen perpetuum mobile sind daher vollkommen nutzlos, und sie zeigen nur, daß der „Erfinder" sich nicht genügend mit den grundlegenden Gesetzen der Physik befaßt hat. Er beachtete vor allem nicht den Satz von der Erhaltung der Gesamtenergie.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 113, Nr. 101 bis 112



Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

Druckkraft und Druck

Das Foto zeigt einen mittleren Panzer unserer Nationalen Volksarmee. Sein Gewicht beträgt etwa 36 Megapond. Ein Panzer muß auch unwegsames Gelände durchqueren können und dabei sehr wendig sein. Er darf deshalb trotz seines großen Gewichts in weichen oder sandigen Boden nicht tief einsinken. Wodurch erhält der Panzer diese Eigenschaften?

Die Druckkraft

Das Gewicht des Panzers wirkt auf die gesamte Fläche, die von den Ketten bedeckt wird. Bei waagerechtem Boden ist das Gewicht senkrecht zu dieser Fläche gerichtet. Eine Kraft, die wie das Gewicht des Panzers senkrecht auf eine Fläche ausgeübt wird, bezeichnet man als **Druckkraft**.

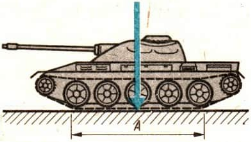


Bild 64/2

> Die Druckkraft wirkt senkrecht zur gedrückten Fläche.

Auch andere Fahrzeuge drücken mit ihrem Gewicht als Druckkraft auf ihre waagerechte Unterlage. Die Straßendecke muß dieser Druckkraft standhalten.
Ein Werkstück im Schraubstock erfährt Druckkräfte von beiden Backen.

Nenne weitere Beispiele für Druckkräfte!

Bei der grafischen Darstellung von Druckkräften steht der Kraftpfeil senkrecht auf der gedrückten Fläche, und seine Spitze berührt diese Fläche (Bild 64/3).

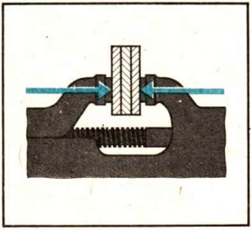


Bild 64/3

Der Druck

Ein Schiläufer sinkt in lockeren Schnee nicht sehr tief ein. Ohne Schneeschuhe hinterläßt man dagegen tiefe Fußstapfen. In beiden Fällen wirkt – wenn man das Gewicht der Schneeschuhe nicht berücksichtigt – die gleiche Druckkraft auf den Schnee ein: das Gewicht des Menschen.

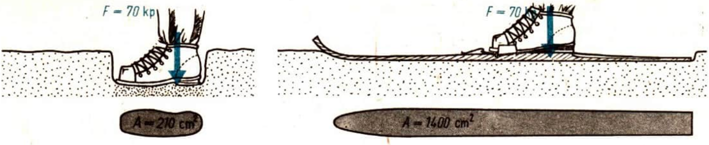


Bild 65/1

Die gedrückten Flächen sind verschieden groß. Hieraus ist zu schließen: Die Wirkung einer Druckkraft hängt von der gedrückten Fläche ab.
Die folgenden beiden Versuche dienen dazu, diese Abhängigkeit zu messen.

Auf einen quaderförmigen Schaumgummikörper wird ein leichtes Brettchen gelegt. Darauf werden der Reihe nach Wägestücke mit den Gewichten 200 p, 500 p und 1000 p gestellt. Die Gewichte der Wägestücke wirken als Druckkräfte. Mit Hilfe des Zeigers wird abgelesen, um welche Länge der Schaumgummi zusammengedrückt wird. 26

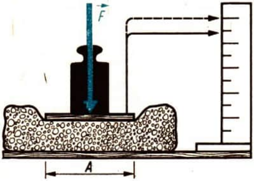


Bild 65/2

Es ist festzustellen: Je größer die Druckkraft ist, desto größer ist die Verformung.

Bei einer gleichbleibenden Druckkraft von 1 kp werden nacheinander leichte Brettchen mit doppelter und dreifacher Fläche untergelegt. 27

Aus den Messungen geht hervor: Je größer die gedrückte Fläche ist, desto kleiner ist die Verformung.
Nahezu gleiche Verformungen sind zu beobachten bei
$A_1 = 25\ \text{cm}^2$, und $A_2 = 50\ \text{cm}^2$,
$F_1 = 500\ \text{p}$ $F_2 = 1000\ \text{p}$.
Das zeigt auch eine Überlegung: Auf jede Hälfte der größeren Fläche wirkt die halbe Druckkraft. Deshalb wirken auf 25 cm² jeweils 500 p.
Um die Wirkung von Druckkräften zu beschreiben, benutzt man die physikalische Größe **Druck**.

Der Druck ist der Quotient aus der Druckkraft und der gedrückten Fläche.	$p = \frac{F}{A}$

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Kraft	F	Kilopond	kp
Fläche	A	Quadratzentimeter	cm²
Druck	p	Kilopond je Quadratzentimeter	$\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

Die Einheit Kilopond je Quadratzentimeter bezeichnet man als technische Atmosphäre (Kurzzeichen at).

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

■ Berechne den Druck, den der Panzer T 54 auf den Boden ausübt! Das Gewicht des Panzers beträgt 36000 kp, die Auflagefläche der Ketten 4,5 m².

Gegeben:

$F = 36000 \text{ kp}$
$A = 4{,}5 \text{ m}^2$

Gesucht:

p

Lösung:

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

$$p = \frac{36000 \text{ kp}}{45000 \text{ cm}^2}$$

$$\underline{\underline{p = 0{,}8 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}}}$$

Nebenrechnung:

$4{,}5 \text{ m}^2 = 45000 \text{ cm}^2$

Der Panzer übt einen Druck von $0{,}8 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ *aus.*

Aus der Gleichung $p = \frac{F}{A}$ ergibt sich durch Umformen (beide Seiten mit A multiplizieren) die neue Gleichung: $F = p \cdot A$.

Die Druckkraft ist das Produkt von Druck und gedrückter Fläche.	$F = p \cdot A$

Beispiel für die Berechnung einer Druckkraft:

■ Der Bagger (Bild 66/1) darf auf den Boden einen Druck ausüben, der höchstens $1{,}3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ beträgt. Die Auflagefläche der Raupenkette beträgt 600 dm². Welches Höchstgewicht darf der Bagger erreichen?

Gegeben:

$A = 600 \text{ dm}^2$
$A = 60000 \text{ cm}^2$
$p = 1{,}3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

Gesucht:

F

Lösung:

$$F = p \cdot A$$

$$F = 1{,}3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 60000 \text{ cm}^2$$

$$\underline{\underline{F = 78000 \text{ kp}}}$$

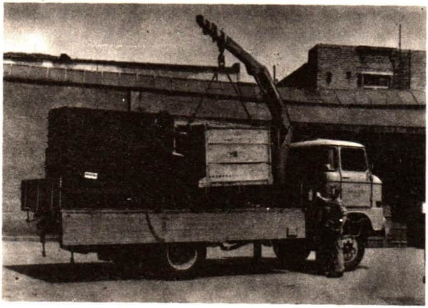
Das Baggergewicht darf nicht größer als 78000 kp sein.

Bild 66/1

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 114, Nr. 113 bis 121

Der Kolbendruck

Um den Menschen von schwerer körperlicher Arbeit zu befreien und um den Transport rationell zu gestalten, werden große Transportbehälter, sogenannte Container, verwendet. Hier wird von einem Lastkraftwagen W 50 mit Hilfe eines Kranes ein solcher Behälter abgeladen. Zum Anheben des Behälters wird eine große Kraft benötigt. Im folgenden Abschnitt wird erklärt, wie diese Kraft mit Hilfe einer Flüssigkeit ausgeübt wird.



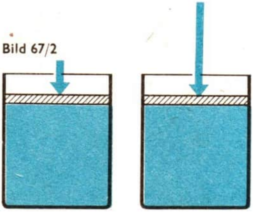
Eigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen

Im Physikunterricht der Klasse 6 wurden wichtige Eigenschaften von festen Körpern, Flüssigkeiten und Gasen untersucht. In der folgenden Übersicht sind Eigenschaften eines Stoffes in den drei Aggregatzuständen zusammengestellt.

Merkmal	Aggregatzustand		
	fest	flüssig	gasförmig
Form	bestimmt	durch Gefäß bestimmt	durch Gefäß bestimmt
Volumen	bestimmt	bestimmt	durch Gefäß bestimmt
Teilchenabstand	sehr klein	klein	groß
Kohäsionskraft	groß	klein	sehr klein

Fragen zur Wiederholung: Erkläre den Unterschied zwischen Kohäsion und Adhäsion! Welche Stoffe hast du schon in zwei verschiedenen Aggregatzuständen beobachtet? Durch welchen Versuch wird bestätigt, daß sich die Teilchen einer Flüssigkeit ständig bewegen?

Bild 67/2



Der Kolbendruck

Bild 67/2 zeigt, wie sich eine Flüssigkeit verhält, wenn auf sie eine Druckkraft wirkt.
Die Flüssigkeit befindet sich in einem zylindrischen Gefäß, das oben mit einem verschiebbaren Kolben ab-

geschlossen ist. Die Druckkraft wird auf den Kolben ausgeübt. Auch wenn sehr große Druckkräfte angewendet werden, nimmt das Volumen der Flüssigkeit nur ganz geringfügig ab.

Flüssigkeiten lassen sich kaum zusammendrücken.

Das Verhalten der Flüssigkeit kann mit den Eigenschaften ihrer Teilchen erklärt werden: Infolge der Verkleinerung des Volumens der Flüssigkeit verringern sich die Abstände der Flüssigkeitsteilchen. Dadurch nehmen die abstoßenden Kräfte zwischen den Teilchen bedeutend zu und verhindern eine weitere Annäherung der Teilchen.
Die Teilchen der Flüssigkeit sind leicht gegeneinander verschiebbar. Daher wird die Druckkraft nicht nur in einer Richtung, sondern nach allen Seiten übertragen. Das ist an dem folgenden Modellversuch zu erkennen.

28 ▼ An die Stelle der Flüssigkeitsteilchen treten Stahlkugeln oder Murmeln (Bild 68/1). Die Gefäßwände und die Kolben werden aus Brettchen hergestellt. Eine aufgelegte Glasplatte verhindert, daß die Kugeln nach oben hin ausweichen. Wird ein Kolben hineingedrückt, weichen die beiden anderen Kolben zurück.

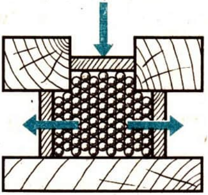


Bild 68/1

● *Erkläre die Unterschiede zwischen Modell und Wirklichkeit!*

Die an dem Modell gewonnenen Erkenntnisse werden durch einen Versuch mit der Kugelspritze bestätigt (Bild 68/2).

29 ▼ Das Gefäß ist mit Wasser gefüllt. Wird auf den Kolben eine Druckkraft ausgeübt, entweicht aus allen feinen Öffnungen ein Wasserstrahl.

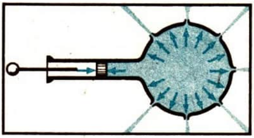


Bild 68/2

Auf jede Stelle der Gefäßwand wirkt bei dem Versuch eine Druckkraft. An den Öffnungen wird das Wasser durch die Kraft herausgedrückt. Aus der Richtung des austretenden Strahls ist zu schließen, daß die Kraft überall senkrecht zur Wandung gerichtet ist. Es ist weiter zu beobachten, daß die Flüssigkeit auch auf den Kolben eine solche Druckkraft ausübt. Sie muß beim Hineinschieben des Kolbens durch eine Druckkraft von außen überwunden werden. Durch den Versuch 126, Seite 115, kann nachgewiesen werden, daß auch auf die Oberfläche von Körpern innerhalb der Flüssigkeit Druckkräfte wirken.
Aus den Versuchen und Überlegungen folgt: Unter dem Einfluß der Druckkraft ändert sich der Zustand der Flüssigkeit. In der Flüssigkeit herrscht ein Druck, der nach seiner Entstehung **Kolbendruck** genannt wird.

Der Kolbendruck ist überall in der Flüssigkeit gleich groß. Infolge eines Kolbendruckes wirken auf die Gefäßwände und Körper innerhalb der Flüssigkeit Druckkräfte.

Da auch die Teilchen eines Gases leicht beweglich sind, können die Erkenntnisse über den Kolbendruck in Flüssigkeiten auch auf Gase übertragen werden. Eine Bestätigung gibt das folgende Beispiel:
Beim Aufpumpen eines Fahrradschlauchs wird auf die Luft im Pumpenzylinder ein Kolbendruck ausgeübt. Dieser Druck herrscht auch am Ventil. Wenn beim Hineinschieben des Kolbens der Druck genügend groß geworden ist, öffnet sich das Ventil, und die verdichtete Luft strömt in den Fahrradschlauch. An diesem Beispiel ist weiter zu erkennen, daß sich Gase im Gegensatz zu Flüssigkeiten zusammendrücken lassen (Bild 69/1).

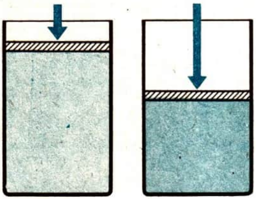


Bild 69/1

Gase lassen sich stark zusammendrücken. Wenn das Volumen des Gases verkleinert wird, nimmt der Druck zu.

Auch hierfür ist das Verhalten der Teilchen maßgebend: Die vom Gas ausgeübte Druckkraft kommt zustande, weil ständig sehr viele Gasteilchen mit großer Geschwindigkeit auf den Kolben und die Wände des Gefäßes stoßen. Je kleiner das Volumen ist, in dem sich die Gasteilchen bewegen, desto häufiger finden diese Stöße statt. Dadurch nimmt der Druck zu.

Druckübertragung in Flüssigkeiten

Die Hebevorrichtung des Lastwagenkranes (↗ S. 67) ist vereinfacht in Bild 69/2 dargestellt. Man spricht von einer **hydraulischen**[1] Anlage. (Als Hydraulik bezeichnet man technische Anwendungen der Mechanik der Flüssigkeiten.) Mit unseren Kenntnissen über Druck, Druckkraft und Kolbendruck läßt sich die Wirkungsweise hydraulischer Anlagen erklären.

[1] hydraulikos (griech.): durch Wasser getrieben.

Bild 69/2

Überlegung	Gleichung
Mit dem Preßkolben (Bild 69/2) soll die Ladung angehoben werden. Auf den Druckkolben wird zu diesem Zweck eine Druckkraft F_1 ausgeübt. Der Druckkolben hat die Fläche A_1. In der Flüssigkeit herrscht ein Kolbendruck p.	$p = \frac{F_1}{A_1}$
Der Kolbendruck p ist auch am Preßkolben wirksam. Er kann daher auch aus der Druckkraft F_2, die am Preßkolben wirkt, und der Fläche A_2 des Preßkolbens berechnet werden.	$p = \frac{F_2}{A_2}$
Da $\frac{F_1}{A_1}$ und $\frac{F_2}{A_2}$ gleich dem Kolbendruck p sind, sind sie auch untereinander gleich.	$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$
Eine andere Schreibweise ist: Vertauscht man in dieser Proportion die Innenglieder, dann erhält man die neue Proportion:	$F_1 : A_1 = F_2 : A_2$ $F_1 : F_2 = A_1 : A_2$
Dafür kann man auch schreiben:	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$

Die letzte Gleichung sagt aus:

Die Druckkräfte verhalten sich wie die gedrückten Flächen.	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$

Durch Umformen erhält man weitere Gleichungen:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot A_1}{A_2}; \qquad F_2 = \frac{F_1 \cdot A_2}{A_1};$$

$$A_1 = \frac{F_1 \cdot A_2}{F_2}; \qquad A_2 = \frac{F_2 \cdot A_1}{F_1}.$$

Jetzt ist zu erklären, wie die schwere Ladung des Lastwagens gehoben wird:
Der Druckkolben hat eine kleine, der Preßkolben eine große Fläche. Wenn auf den Druckkolben eine kleine Kraft ausgeübt wird, wirkt auf den Preßkolben eine große Kraft. Die hydraulische Anlage des Kranes ist eine **kraftumformende Einrichtung.** Auch für hydraulische Anlagen gilt der Satz von der Erhaltung der Arbeit. Man kann also wie folgt überlegen:

Überlegung	Gleichung
Die am Druckkolben verrichtete Arbeit muß genauso groß sein wie die am Preßkolben verrichtete Arbeit.	$W_1 = W_2$
Die Arbeiten werden berechnet als Produkt aus der jeweiligen Druckkraft und dem zugehörigen Weg.	$W_1 = F_1 \cdot s_1$ $W_2 = F_2 \cdot s_2$
Da die Arbeiten W_1 und W_2 gleich sind, ergibt sich:	$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$
Aus dieser Produktgleichung erhält man die Proportion:	$F_1 : F_2 = s_2 : s_1$

Diese Gleichung besagt:

Die Druckkräfte verhalten sich umgekehrt wie die zurückgelegten Wege.	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{s_2}{s_1}$

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 115, Nr. 122 bis 126

Durch Umformen erhält man folgende Gleichungen:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot s_2}{s_1}; \quad F_2 = \frac{F_1 \cdot s_1}{s_2}; \quad s_1 = \frac{F_2 \cdot s_2}{F_1}; \quad s_2 = \frac{F_1 \cdot s_1}{F_2}.$$

Bei der Krananlage des vorigen Beispiels soll der Preßkolben einen Weg von 80 cm zurücklegen. Berechne den Weg des Druckkolbens!

Gegeben:

$F_1 = 25$ kp
$F_2 = 200$ kp
$s_2 = 80$ cm

Gesucht:

s_1

Lösung: 1. Weg

$$s_1 = \frac{F_2 \cdot s_2}{F_1}$$

$$s_1 = \frac{200\,\text{kp} \cdot 80\,\text{cm}}{25\,\text{kp}}$$

$$\underline{\underline{s_1 = 640\,\text{cm}}}$$

Lösung: 2. Weg

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

$$\frac{s_1}{80\,\text{cm}} = \frac{200\,\text{kp}}{25\,\text{kp}}$$

$$s_1 = \frac{200\,\text{kp}}{25\,\text{kp}} \cdot 80\,\text{cm}$$

$$\underline{\underline{s_1 = 640\,\text{cm}}}$$

Der 2. Lösungsweg hat den Vorteil, daß man mit Hilfe einer Gleichung – die man sich leicht merken kann – alle entsprechenden Aufgaben lösen kann.

Der Weg des Preßkolbens beträgt 6,40 m.

Es wäre sehr unpraktisch, einen Druckzylinder so großer Länge zu verwenden. Die hydraulischen Anlagen werden deshalb mit Zusatzeinrichtungen versehen.

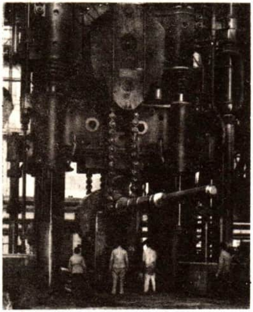


Bild 71/1 Diese Schmiedepresse im VEB Stahl- und Walzwerk Gröditz ist eine hydraulische Presse (↗ S. 72 oben). Mit einer Druckkraft von 6000 Mp werden rotglühende Stahlblöcke bearbeitet

Anwendungen der Druckübertragung

Hydraulische Pressen werden zur Verformung von Werkstücken aus Metall und Plasten eingesetzt, z. B. bei der Herstellung von Autokarosserien. Der Druckzylinder ist Teil einer Pumpe. Bei jedem Rückweg des Druckkolbens wird aus dem Vorratsbehälter Öl angesaugt und danach durch das Druckventil in den Preßzylinder gedrückt. Vielfach werden Pumpen mit Drehkolben verwendet. Welche Aufgaben haben die Ventile?

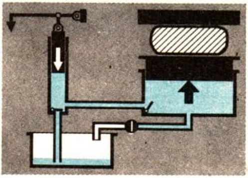


Bild 72/1

Hydraulische Bremse. Drückt der Fahrer auf den Bremshebel, wird auf die Bremsflüssigkeit ein Kolbendruck ausgeübt. Dieser Kolbendruck wird von der Flüssigkeit auf die Preßkolben in den Bremszylindern der Räder übertragen. Dadurch werden die Bremsbacken gegen die Innenseite der Bremstrommeln gedrückt. Hydraulische Bremsen arbeiten gleichmäßiger als Seilzugbremsen.

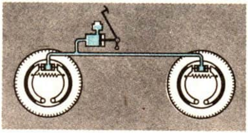


Bild 72/2

Druckmessung

Bei vielen technischen Anlagen und Geräten müssen die in Flüssigkeiten und Gasen herrschenden Drücke gemessen werden. So ist es z. B. notwendig, den Druck in der Luftbereifung eines Kraftfahrzeuges regelmäßig zu überprüfen oder hydraulische Anlagen zu überwachen. Die Meßgeräte für den Druck werden **Manometer**[1] genannt. Bei ihnen wird die Größe Druck über die Größen Länge, Winkel usw. gemessen. Eine solche Meßgrößenwandlung haben wir schon beim Thermometer kennengelernt.

Membranmanometer[2]. Die Flüssigkeit oder das Gas übt auf die gewellte Membran aus Metallblech eine **Druck**kraft aus. Die Membran wird deshalb durchgebogen. Die Auslenkung beträgt in der Mitte der Membran nur etwa 0,1 mm. Damit diese winzigen Verformungen zu erkennen sind, wird mit Hilfe einer Zahnstange und eines Zahnrades ein Zeiger gedreht. Der Druck wird somit durch eine mehrfache **Meßgrößenwandlung** gemessen: Druck – Druckkraft – Abstand der Membran von der Nullage – Drehwinkel des Zeigers.

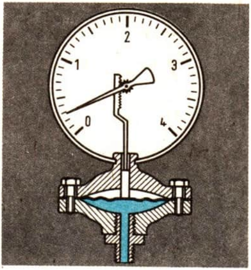
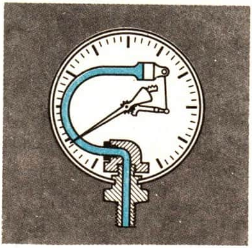


Bild 72/3

Röhrenfedermanometer. Die Flüssigkeit oder das Gas übt Druckkräfte auf die Innenwand eines gebogenen Rohres aus. Das Rohr wird dadurch etwas aufgebogen. Die Bewegung des Rohrendes wird genutzt, um mit Hilfe von Hebeln und Zahnrädern einen Zeiger zu drehen.

Bild 72/4

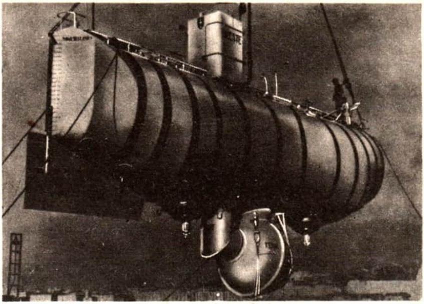


Verfolge die Meßgrößenwandlung beim Röhrenfedermanometer!

[1] manos (griech.): dünn [2] membrana (lat.): Häutchen

Der Schweredruck

Etwa zur gleichen Zeit als Juri Gagarin zum ersten Weltraumflug startete, gelang es dem Menschen, auch in die größten Meerestiefen vorzustoßen. Der Schweizer Forscher Jaques Piccard erreichte 1960 mit seinem Tauchboot „Trieste“ eine Tiefe von 10893 m. Die kugelförmige, dickwandige Stahlkapsel, die den Forscher aufnahm, hielt dem großen Schweredruck am Grunde des Meeres stand.



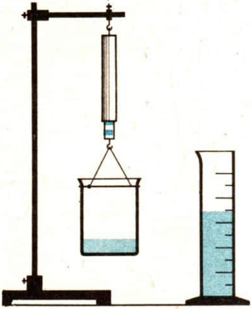


Bild 73/2

Die Wichte

Gewicht und Volumen eines Körpers sind voneinander abhängig. Ein Eimer mit Wasser ist um so schwerer, je weiter er gefüllt ist. Der Zusammenhang zwischen Gewicht und Volumen soll durch eine Meßreihe genauer untersucht werden.

An einen Federkraftmesser wird ein Gefäß gehängt (Bild 73/2). 30
Zuerst wird das Gewicht des leeren Gefäßes bestimmt, z. B. 70 p. Danach werden fünfmal je 50 cm³ Wasser eingefüllt. Nach jeder Füllung wird erneut das Gewicht abgelesen.

Das Ergebnis der Messungen ist in der folgenden Übersicht zusammengefaßt.

Volumen V in cm³	Gesamtgewicht G_{ges} in p	Gewicht G des Wassers in p	$\frac{G}{V}$ in $\frac{p}{cm^3}$
—	70	—	—
50	120	50	1
100	170	100	1
150	220	150	1
200	270	200	1
250	320	250	1

Vergleiche die Meßwerte für V und G! Trage diese Werte in ein Diagramm ein! Welchen Zusammenhang erkennst du?

Der Quotient aus G und V hat bei allen Messungen den gleichen Wert. Im nebenstehenden Diagramm liegen alle Punkte auf einer Geraden. Daran ist zu erkennen, daß das Gewicht dem Volumen proportional ist. Die in der letzten Spalte stehende physikalische Größe wird **Wichte** genannt.

Die Wichte eines Körpers ist der Quotient aus Gewicht und Volumen des Körpers.	$\gamma = \frac{G}{V}$

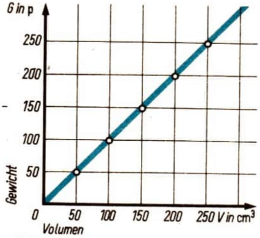


Bild 74/1

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen
Gewicht	G	Pond	p
Volumen	V	Kubikzentimeter	cm^3
Wichte	γ	Pond je Kubikzentimeter	$\frac{p}{cm^3}$

Aus der letzten Spalte der Tabelle S. 73 ist zu entnehmen:

Die Wichte des Wassers beträgt $1 \frac{p}{cm^3}$.

Zwischen dem Gewicht und der Masse eines Körpers besteht eine einfache Beziehung. Ein Körper mit der Masse 1 kg wird überall auf der Erdoberfläche etwa mit der Kraft 1 kp von der Erde angezogen. Die Zahlenwerte der beiden Größen Masse und Gewicht stimmen überein, wenn die Masse in der Einheit Kilogramm, das Gewicht in der Einheit Kilopond gemessen werden. Hieraus folgt: Auch die Zahlenwerte der Dichte und der Wichte eines Körpers stimmen auf der Erdoberfläche nahezu überein, wenn für die Dichte die Einheit $\frac{g}{cm^3}$, für die Wichte die Einheit $\frac{p}{cm^3}$ verwendet wird. Das Lehrbuch enthält keine Wichtetabelle, da die Zahlenwerte der Wichte mit ausreichender Genauigkeit aus der Dichtetabelle entnommen werden können.

Durch Umformen der Gleichung $\gamma = \frac{G}{V}$ erhält man:

$G = \gamma \cdot V; \quad V = \frac{G}{\gamma}.$

■ Wie groß ist das Gewicht von 4 l Schmieröl mit der Wichte $\gamma = 0{,}9 \frac{p}{cm^3}$?

Schülerexperiment M 6, Seite 126

Gegeben:

$V = 4\,l = 4000\,cm^3$

$\gamma = 0{,}9\,\frac{p}{cm^3}$

Gesucht:

G

Lösung:

$G = \gamma \cdot V$

$G = 0{,}9\,\frac{p}{cm^3} \cdot 4000\,cm^3$

$\underline{\underline{G = 3600\,p}}$

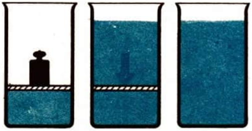
Das Gewicht beträgt 3,6 kp.

Der Schweredruck in Flüssigkeiten

Nach einem steilen Hechtsprung kann man in eine Wassertiefe von mehr als 2 m tauchen. In dieser Tiefe ist am Ohr ein Druck zu fühlen. Dieser Druck wird vom Gewicht der Flüssigkeit hervorgerufen. Man nennt ihn deshalb Schweredruck.

> Der Schweredruck wird durch das Gewicht der Flüssigkeit verursacht.

Wie der Schweredruck zustande kommt, ist nach folgendem Gedankenversuch (Bild 75/1) zu verstehen.



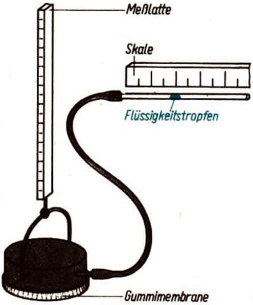
a b c

Bild 75/1

a) Die Flüssigkeit in dem zylindrischen Gefäß steht unter einem Kolbendruck. Der Kolben soll so dünn und leicht sein, daß wir sein Gewicht vernachlässigen können. Als Druckkraft wirkt dann allein das Gewicht des Wägestückes. 31
b) Die gleiche Druckkraft kann auch das Gewicht der Flüssigkeit ausüben, die sich über dem Kolben befindet.
c) Auch dürfte sich der Druck nicht ändern, wenn der Kolben entfernt wird. Er müßte zunehmen, wenn man noch mehr Flüssigkeit einfüllt.

Aus diesen Überlegungen geht hervor, daß der Schweredruck mit der Tiefe zunimmt und von der Wichte der Flüssigkeit abhängig ist.
Um den Schweredruck zu messen, kann ein Gerät verwendet werden, das einem Membranmanometer ähnelt (Bild 75/2).

Bild 75/2



Eine Plastdose ist mit einer Gummihaut verschlossen. Wird diese Haut von einer Druckkraft nach innen gewölbt, so verdrängt sie Luft aus der Dose. Die Luft verschiebt den Flüssigkeitstropfen in dem angeschlossenen Glasrohr. Je größer der Druck vor der Gummihaut ist, desto weiter wandert der Tropfen. Die Dose wird an einer Meßlatte drehbar befestigt.

Vergleiche das Gerät mit einem Membranmanometer! Weshalb können die Meßergebnisse durch Temperaturänderungen beeinflußt werden?

Mit dem beschriebenen Gerät werden die Ergebnisse des Gedankenversuches 31 überprüft.

32 ▼ Ein Standzylinder wird mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllt (Bild 76/1). Die Dose wird mit nach oben gekehrter Gummihaut eingetaucht. Während die Eintauchtiefe zunimmt, d. h. die Höhe der Flüssigkeitssäule über der Gummihaut größer wird, wandert der Flüssigkeitstropfen im Glasrohr immer weiter nach rechts.

Der Versuch zeigt:

> Der Schweredruck in einer Flüssigkeit nimmt mit der Höhe der Flüssigkeitssäule zu.

33 ▼ Ein zweiter Zylinder wird mit konzentrierter Kochsalzlösung von Zimmertemperatur gefüllt. Die Dose wird zuerst in die Salzlösung und dann gleich tief in das Wasser getaucht.

Am Stand des Flüssigkeitstropfens ist zu erkennen: Der Schweredruck ist bei gleicher Höhe der Flüssigkeitssäule in der Salzlösung größer als in Wasser. Da die Salzlösung eine größere Wichte als Wasser hat, kann man schließen:

> Der Schweredruck nimmt mit der Wichte der Flüssigkeit zu.

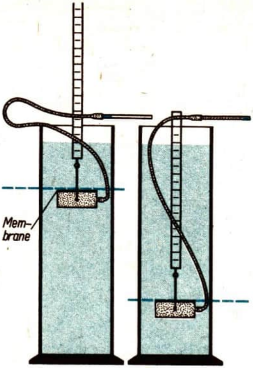


Bild 76/1

In einem weiteren Versuch wird festgestellt, wie der Schweredruck von der Stellung der gedrückten Fläche abhängt.

34 ▼ Die Dose wird wieder in den Standzylinder mit Wasser gebracht und dort gedreht (Bild 76/2). Die Gummihaut wird erst zur Seite und dann nach unten gekehrt. Ihr Mittelpunkt muß dabei den gleichen Abstand von der Wasseroberfläche behalten. Warum?

Der Stand des Flüssigkeitstropfens im Glasrohr verändert sich nicht. Daraus ist zu schließen:

> Der Schweredruck wirkt allseitig.

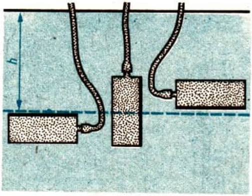


Bild 76/2

Aus den Versuchen und Überlegungen geht hervor, daß der Schweredruck ebenso wie der Kolbendruck den Zustand der Flüssigkeit kennzeichnet.

● *Vergleiche die Eigenschaften des Schweredrucks und des Kolbendrucks!*

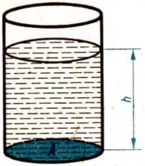


Bild 77/1

Die Berechnung des Schweredrucks

Ein zylindrisches Gefäß (Bild 77/1) habe innen die Grundfläche $A = 10\ \text{cm}^2$. Es sei bis zu einer Höhe von $h = 15$ cm mit einer Salzlösung gefüllt. Die Wichte der Salzlösung betrage $\gamma = 1{,}2\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$. Wie groß ist der Schweredruck p am Boden des Gefäßes?

Überlegung	Gleichung	Berechnung
Das Volumen der Flüssigkeitssäule ist das Produkt aus Grundfläche und Höhe.	$V = A \cdot h$	$V = 10\ \text{cm}^2 \cdot 15\ \text{cm}$ $V = 150\ \text{cm}^3$
Das Gewicht der Flüssigkeitssäule ist das Produkt aus Wichte und Volumen. Die Druckkraft ist gleich dem Gewicht der Flüssigkeitssäule.	$G = \gamma \cdot V$ $F = G$	$G = 1{,}2\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^3} \cdot 150\ \text{cm}^3$ $G = 180$ p $F = 180$ p
Der Druck ist der Quotient aus Druckkraft und gedrückter Fläche.	$p = \frac{F}{A}$	$p = \frac{180\ \text{p}}{10\ \text{cm}^2}$ $p = 18\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}$

Damit ist das gestellte Problem gelöst:

Der Schweredruck am Boden des Gefäßes beträgt $18\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}$.

Das gleiche Ergebnis ist auf einem wesentlich kürzeren Wege zu gewinnen:

Überlegung	Gleichung	Berechnung
In der Gleichung $p = \frac{F}{A}$ kann F durch das Gewicht $G = \gamma \cdot V$ ersetzt werden.	$p = \frac{\gamma \cdot V}{A}$	–
Für das Volumen V wird das Produkt $A \cdot h$ eingesetzt.	$p = \frac{\gamma \cdot A \cdot h}{A}$	–
A wird gekürzt.	$p = \gamma \cdot h$	$p = 1{,}2\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^3} \cdot 15\ \text{cm}$ $p = 18\,\frac{\text{p}}{\text{cm}^2}$

Die Gleichung $p = \gamma \cdot h$ für den Schweredruck besagt:

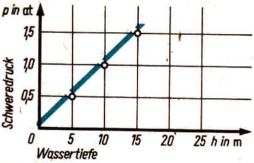


Bild 78/1

> Der Schweredruck ist das Produkt aus der Wichte der Flüssigkeit und der Höhe der Flüssigkeitssäule über der gedrückten Fläche.

Durch die Gleichung werden die Ergebnisse der Versuche 32 und 33 bestätigt.

Schweredruck und Form des Gefäßes

Bisher wurde der Schweredruck nur am Boden eines zylindrischen Gefäßes berechnet. Wie groß wird bei gleicher Füllhöhe der Schweredruck sein, wenn sich das Gefäß nach oben hin erweitert oder verengt? Man kann vermuten, daß am Boden des erweiterten Gefäßes ein größerer Druck herrscht, da auch das Gewicht der eingefüllten Flüssigkeit größer als beim zylindrischen Gefäß ist. Entsprechend wird man am Boden des verengten Gefäßes einen kleineren Schweredruck erwarten. Mit dem folgenden Versuch soll geprüft werden, ob die Vermutungen richtig sind.

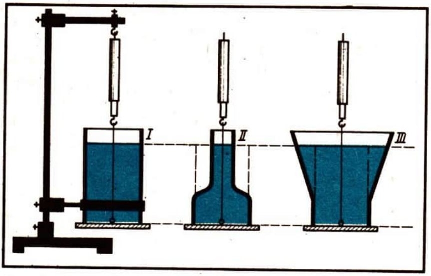


Bild 78/2

35

Drei verschieden geformte Gefäße mit gleich großer Grundfläche werden nacheinander an einem Stativ befestigt (Bild 78/2). Die Bodenplatte wird an den unteren Rand des Gefäßes gepreßt, bis der Federkraftmesser eine bestimmte Kraft, z. B. 150 p, anzeigt. Danach wird vorsichtig Wasser eingefüllt. Die Höhe der Flüssigkeitssäule wird gemessen, wenn das Wasser unten auszufließen beginnt. Diese Höhen der Flüssigkeitssäulen stimmen bei den drei Gefäßen überein.

Das ist ein überraschendes Versuchsergebnis! Was ist daraus zu schließen?

Wenn das Ausfließen beginnt, ist die vom Wasser auf die Bodenplatte ausgeübte Druckkraft gleich der Federkraft. Da die gemessenen Federkräfte gleich sind, müssen auch die Druckkräfte übereinstimmen. Der Schweredruck an der Bodenplatte ist $p = \frac{F}{A}$. Da die Druckkraft F und die Fläche A bei allen drei Gefäßen gleich sind, ist auch der Schweredruck p in allen drei Fällen gleich. Der Versuch zeigt daher:

> Der Schweredruck ist unabhängig von der Form des Gefäßes.

Verbundene Gefäße

Eine Gießkanne ist aus zwei Gefäßen zusammengesetzt, dem Wasserbehälter und dem Ausflußrohr. Beide Gefäße sind miteinander verbunden. Man spricht in der Physik kurz von verbundenen Gefäßen. Wird die Gießkanne gefüllt, steigt der Wasserspiegel in beiden Gefäßen an.
Es soll nun das Verhalten der Flüssigkeiten in verbundenen Gefäßen untersucht werden.

36

Zwei gleich weite Glasröhren werden mit einem Gummischlauch verbunden und mit gefärbtem Wasser gefüllt (Bild 79/1 a). Die Lage der Flüssigkeitsspiegel in beiden Röhren wird verglichen. Die Glasröhren werden dann durch ein trichterförmiges Gefäß und ein Gefäß mit kugelförmigen Erweiterungen ersetzt (Bild 79/1 b).

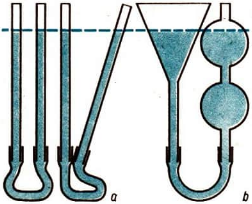


Bild 79/1

In allen Fällen ist zu erkennen:

> In verbundenen Gefäßen liegen die Flüssigkeitsspiegel in einer waagerechten Ebene.

Erkläre, warum dieses Gesetz nicht zutrifft, wenn das eine Gefäß sehr eng ist!

Das Verhalten der Flüssigkeit in verbundenen Gefäßen ist mit Hilfe der Gesetze des Schweredrucks zu erklären (Bild 79/2). Wir denken uns die beiden Gefäße durch einen leicht verschiebbaren Kolben getrennt. Auf diesen Kolben wirken von beiden Seiten Druckkräfte. Er bleibt in Ruhe, wenn beide Druckkräfte den gleichen Betrag haben. Das ist der Fall, wenn die beiden Flüssigkeitsspiegel gleich hoch über dem Kolben liegen. Das Gleichgewicht der Druckkräfte stellt sich auch ein, wenn der Kolben nicht vorhanden ist.

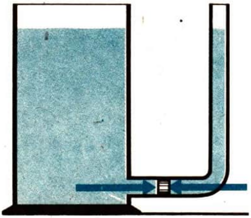


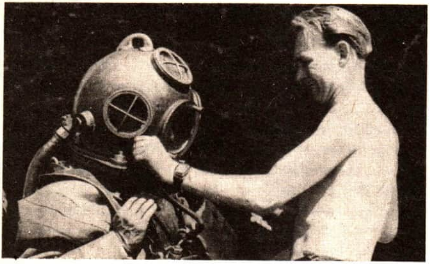
Bild 79/2

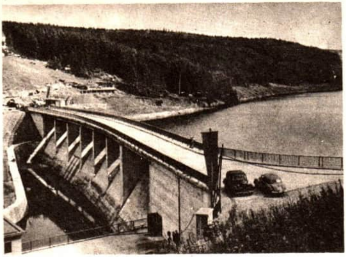
Die gleiche Höhe der Flüssigkeitsspiegel in den verbundenen Gefäßen kann als Bestätigung dafür betrachtet werden, daß der Schweredruck in Flüssigkeiten unabhängig von der Gefäßform ist.

Anwendungen des Schweredrucks

Taucher. Für Unterwasserarbeiten, z. B. an gesunkenen Schiffen, werden Taucher eingesetzt. Für Tauchtiefen bis etwa 50 m wird der Taucher mit einem Gummianzug ausgerüstet, der mit einem kugelförmigen Helm abgeschlossen ist (Bild 80/1). Die Atemluft wird vom Begleitfahrzeug aus durch einen Schlauch zugeführt. Damit die ausgeatmete Luft unter Wasser ausströmen kann, muß ihr Druck etwas größer sein als der Schweredruck des Wassers in der betreffenden Tiefe. Dadurch wird auch verhindert, daß der Anzug an den Körper des Tauchers gepreßt wird. Abstieg und Aufstieg müssen langsam vor sich gehen, damit sich der menschliche Körper den großen Druckveränderungen anpassen kann.
Für Wassertiefen von mehr als 50 m müssen Panzertaucher eingesetzt werden. Der Panzertaucher arbeitet in einem druckfesten schweren Stahlgehäuse, das mit Gelenken ausgestattet ist. Darin herrscht der normale Luftdruck. Die Atemluft wird aus mitgeführten Sauerstoffflaschen erneuert. Welchem Druck muß das Gehäuse eines Panzertauchers in 200 m Wassertiefe standhalten? Welche Druckkraft wirkt auf die 2 dm² große Sichtscheibe?
Flüssigkeitsmanometer. Diese Manometer (Bild 80/2) werden vor allem zum Messen von Gasdrücken verwendet. Der zu messende Druck ergibt sich aus dem Schweredruck der Flüssigkeitssäule und dem Luftdruck. Als Manometerflüssigkeit können z. B. Wasser und Quecksilber dienen.

Bild 80/1 und 80/2





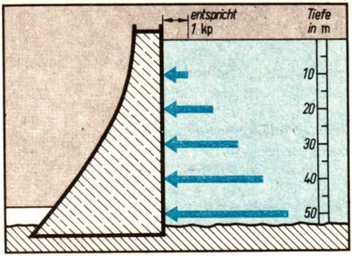


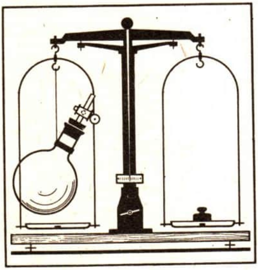
Bild 81/1

Talsperren. Mit Hilfe von Talsperren können große Wassermengen gestaut werden. Dadurch wird die Hochwassergefahr besonders zur Zeit der Schneeschmelze beseitigt. Die Energie des gestauten Wassers kann zum Antrieb von Turbinen genutzt werden. Aus den Stauseen kann auch Trinkwasser entnommen werden. Seit Gründung der Republik wurden 53 Talsperren und Rückhaltebecken errichtet. In den Jahren 1845 bis 1945 waren es im Gebiet der DDR nur 26 solche Anlagen.
Mit den farbigen Pfeilen wird gezeigt, welche Druckkraft auf einen Quadratzentimeter der Mauerfläche in verschiedenen Tiefen wirkt. Die Form des Mauerquerschnitts ist diesen Druckkräften angepaßt.

Das Gewicht der Luft

Die Teilchen eines Gases werden ebenso wie die Teilchen der Flüssigkeiten und festen Körper von der Erde angezogen. Deshalb haben auch gasförmige Körper ein Gewicht. Durch die Wärmebewegung wird verhindert, daß alle Teilchen zum Boden des Gefäßes oder zur Erdoberfläche fallen und sich dort ansammeln.
Das Gewicht einer Luftmenge kann mit dem folgenden Versuch nachgewiesen werden!

Bild 81/2



Ein dickwandiger Glaskolben wird mit einem Gummistopfen fest verschlossen. Durch den Stopfen führt ein Glasrohr mit Absperrhahn. Der Kolben mit der eingeschlossenen Luft wird gewogen. Danach wird mit dem Munde Luft aus dem Kolben gesaugt. Die Wägung wird wiederholt. Die Waage zeigt eine kleine Gewichtsabnahme an. Saugt man die Luft mit einer Pumpe ab, bleibt nach dem Auspumpen nur noch ganz wenig Luft zurück. Die Differenz der Gewichte vor und nach dem Auspumpen ist dann gleich dem Gewicht der abgesaugten Luft. Wenn noch das Volumen des Kolbens 37 ermittelt wird, ist es möglich, die Wichte der Luft annähernd zu berechnen.

Messungen bei der Temperatur 18 °C und dem Druck 1 at haben für Luft die Wichte $1{,}2\ \frac{\mathrm{p}}{\mathrm{dm}^3}\left(=1{,}2\ \frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{m}^3}\right)$ ergeben.

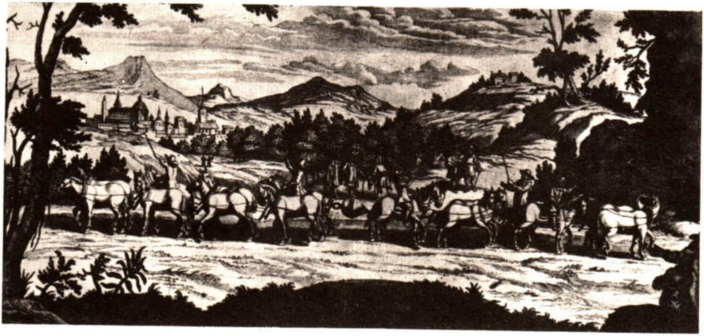
● *Schätze und berechne danach das Gewicht der im Klassenraum enthaltenen Luft!*

Die Entdeckung des Luftdrucks

Die Erde ist von einer Lufthülle umgeben. Sie erstreckt sich in eine Höhe von mehreren hundert Kilometern. Infolge des Gewichts der Luft ist in der Lufthülle ähnlich wie in einer Flüssigkeit ein Schweredruck vorhanden. Man nennt diesen Schweredruck der Luft kurz Luftdruck.
Gegenüber dem Schweredruck in Flüssigkeiten ist festzustellen: Die tieferliegenden Luftschichten werden durch das Gewicht der höheren Schichten zusammengedrückt. Die Anzahl der Teilchen in einem Kubikzentimeter wird deshalb nach oben hin immer kleiner. In einer Höhe von 100 km ist die Dichte der Luft bereits auf ein Millionstel ihres Wertes an der Erdoberfläche abgesunken. Auch hat die Lufthülle keine scharfe obere Grenze wie eine Flüssigkeit.

Der Luftdruck wurde um 1650 etwa gleichzeitig in Italien und Deutschland entdeckt. Der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke beschäftigte sich damit, einen luftleeren Raum herzustellen. Er versuchte, geschlossene wassergefüllte Fässer auszupumpen. Weil die Luft durch die Risse und Poren des Holzes nachströmte, verwendete er Metallgefäße.

Bild 82/1



Dünnwandige Gefäße wurden infolge des von außen wirkenden Luftdrucks eingebeult und zusammengedrückt. Berühmt geworden ist Otto von Guerickes Versuch mit den sogenannten Magdeburger Halbkugeln (Bild 82/1). Der von den beiden metallischen Halbkugeln umschlossene Raum wurde nahezu luftleer gepumpt. Die von außen wirkende Druckkraft der Luft war so groß, daß die Halbkugeln von den Pferden nicht auseinandergerissen werden konnten.

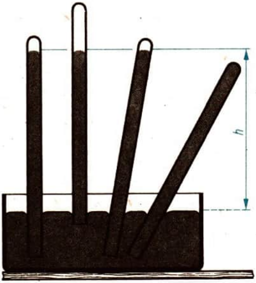


Bild 83/1

Die Messung des Luftdrucks

Dem Italiener Torricelli (1608 bis 1647), einem Schüler Galileis, gelang es, den Luftdruck nachzuweisen und gleichzeitig zu messen. Beim Versuch von Torricelli wird der Luftdruck mit dem Schweredruck einer Flüssigkeitssäule verglichen:
Ein etwa 1 m langes Glasrohr wird an einem Ende zugeschmolzen und vollständig mit Quecksilber gefüllt (Bild 83/1). Die Röhre wird mit zugehaltener Öffnung in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Wird die Öffnung freigegeben, fließt ein Teil des Quecksilbers aus dem Glasrohr, eine Säule von etwa 76 cm Höhe bleibt im Glasrohr stehen. Über dem Quecksilber im Glasrohr ist ein luftleerer Raum entstanden.
Wie ist diese Erscheinung zu deuten?
Der Luftdruck wirkt wie ein Kolbendruck auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäß und breitet sich auch innerhalb des Quecksilbers im Gefäß aus. Dieser Druck herrscht also auch an der Quecksilbersäule in Höhe des unteren Quecksilberspiegels. (Im Bild durch die --- Linie dargestellt.) Betrachten wir nun die Querschnittsfläche des Quecksilbers an dieser Stelle, so wirkt von oben her die Druckkraft des Quecksilbers, von unten her die vom Luftdruck verursachte Kraft. Beide Kräfte sind im Gleichgewicht. Der Versuch zeigt somit:
Der Luftdruck ist etwa so groß wie der Schweredruck einer Quecksilbersäule von 76 cm Länge.

Erkläre, warum zu Beginn des Versuches ein Teil des Quecksilbers aus der Röhre floß!

Bei Messungen des Luftdrucks wird eine Einheit des Druckes verwendet, die zu Ehren von Torricelli mit **Torr** bezeichnet ist.

Der Druck 1 Torr ist gleich dem Schweredruck einer Quecksilbersäule von 1 mm Höhe.

Der Luftdruck ändert sich mit der Wetterlage.
Diese ständigen Luftdruckschwankungen betragen aber selten mehr als 30 Torr nach oben oder unten. Die Änderungen des Luftdrucks geben wesentliche Hinweise auf die Entwicklung des Wetters.
Auf Wetterkarten werden für viele Orte die gemessenen Drücke eingetragen. Die Orte mit gleichem Luftdruck werden durch Linien verbunden. Umschließen diese Linien einen Raum mit hohem Druck, so spricht man von einem Hochdruckgebiet, oder kurz von einem **Hoch**, wird ein Raum mit geringem Luftdruck umschlossen, spricht man entsprechend von einem **Tief**. Durch den Druckunterschied in Hoch- und Tiefdruckgebieten entstehen Luftströmungen, deren Richtung (vom Hoch zum Tief) noch durch die Erddrehung beeinflußt wird.

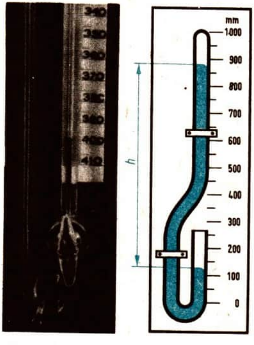
> In Höhe des Meeresspiegels beträgt der mittlere Luftdruck 760 Torr.

Der Luftdruck kann auch in der Einheit at angegeben werden. Zum Umrechnen wird die Gleichung für den Schweredruck $p = \gamma \cdot h$ verwendet. Mit $h = 76\,\text{cm}$ und

$$\gamma = 13{,}59 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3} \text{ erhält man } p = \frac{76\,\text{cm} \cdot 13{,}59\,\text{p}}{\text{cm}^3}$$

$$p = 1033 \frac{\text{p}}{\text{cm}^2} = 1{,}033 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1{,}033\,\text{at}.$$

Aus der Rechnung geht hervor: 760 Torr = 1,033 at.
Der mittlere Luftdruck nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel ab. Auf dem höchsten Berg unserer Republik, dem Fichtelberg, beträgt der mittlere Luftdruck nur 657 Torr. Der Mensch paßt sich dem Luftdruck in seiner Umgebung an. Sinkt der Luftdruck aber sehr weit ab, wird dem Körper durch die Atmung nicht mehr genügend Luft zugeführt.
Bergsteiger rüsten sich daher in großen Höhen mit Atemgeräten aus. In Flugzeugkabinen und in Raumschiffen wird durch Pumpen ständig für einen genügend hohen Luftdruck gesorgt.
Barometer[1] sind Geräte zur Messung des Luftdrucks. Die Versuchsanordnung nach Torricelli ist bereits als ein Flüssigkeitsbarometer anzusehen. Zur bequemeren Handhabung werden die Flüssigkeitsbarometer mit U-Rohren ausgestattet. Bild 84/1 zeigt ein sogenanntes Heberbarometer. An der Skale wird abgelesen, in welcher Höhe sich die Quecksilberkuppen in den beiden Schenkeln des Rohres befinden. Aus der Höhendifferenz ergibt sich der Luftdruck.



[1] baros (griech.): schwer. Barometer bedeutet somit Schweremesser.

Bild 84/1

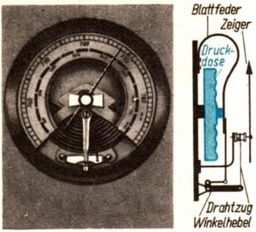


Bild 85/1

Dosenbarometer (Bild 85/1) enthalten eine nahezu luftleer gepumpte Metalldose mit einer gewellten Membran als Deckel. Eine starke Blattfeder wirkt der einseitig auf der Membran lastenden Druckkraft der Luft entgegen und verhindert so, daß die Dose zusammengepreßt wird. Je größer der Luftdruck ist, desto weiter wird die Membran nach innen gebogen. Die Bewegung der Membran wird über einen Winkelhebel und einen dünnen Draht auf den Zeiger übertragen. Das Dosenbarometer ist handlicher als das Flüssigkeitsbarometer und läßt sich leicht transportieren. Das Flüssigkeitsbarometer liefert genauere Meßergebnisse. Beim Dosenbarometer stört die Reibung: daher wird vor dem Ablesen vorsichtig an das Gehäuse geklopft.

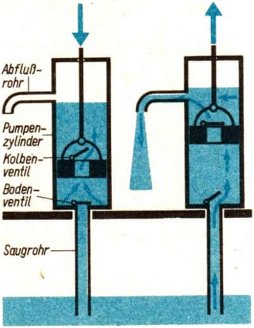


Bild 85/2

Pumpen

Die Wirkung des Luftdrucks wird bei vielen Flüssigkeitspumpen ausgenutzt.

Die Saugpumpe. In der Pumpe (Bild 85/2) befindet sich zunächst noch kein Wasser. Zieht man den Kolben nach oben, wird der Luftdruck im Pumpenzylinder und im Saugrohr verkleinert. Infolge des außen herrschenden größeren Luftdrucks steigt das Wasser durch das Saugrohr und das Bodenventil in den Pumpenzylinder. Dieser füllt sich mit Wasser. Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens ist das Bodenventil geschlossen. Das Wasser wird durch das Kolbenventil gedrückt. Beim erneuten Anheben des Kolbens strömt das Wasser aus dem Abflußrohr. Wie lang darf das Saugrohr höchstens sein? Erkläre an Hand des Bildes 85/3 die Arbeitsweise der Saug-Druck-Pumpe!

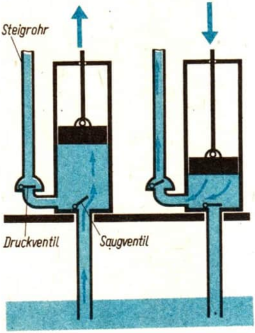


Bild 85/3

Geschichtliches

Schon im Altertum verwendete man Pumpen und andere Vorrichtungen, die auf dem Druck in Gasen und Flüssigkeiten beruhen. Über das Wesen der Luft gab es widersprechende Meinungen. Nach Aristoteles sollte die Luft kein Gewicht haben und sogar von der Erde fortstreben. Die Wirkungsweise der Saugpumpen wurde mit dem „horror vacui“ (soviel wie: Abscheu vor dem Leeren) erklärt. Man meinte, die Natur habe einen Abscheu vor dem leeren Raum und fülle ihn daher sofort mit einem Stoff aus. Galilei wußte bereits, daß auch die Luft ein Gewicht besitzt und kannte ungefähr die Wichte der Luft. Er beschäftigte sich auch mit der Frage, weshalb Saugpumpen das Wasser nur etwa 10 Meter hoch heben können.

Galilei erklärte, die Flüssigkeitssäule müsse bei dieser Länge ähnlich wie ein Draht infolge ihres eigenen Gewichts zerreißen.
Torricelli veranlaßte 1643 seinen Mitarbeiter Viviani, den Versuch mit der Quecksilbersäule durchzuführen. Torricelli erklärte das Ergebnis richtig mit dem Schweredruck der Luft. Er setzte sich damit mutig über jahrhundertealte Vorurteile hinweg. Torricelli und Viviani beobachteten auch bereits die Veränderungen des Luftdrucks mit der Wetterlage. Wenige Jahre später konnte der Franzose Pascal nachweisen, daß der Luftdruck auf dem Gipfel eines Berges kleiner als im Tal ist. Pascal zeigte auch mit einem Versuch ähnlich Nr. 35 auf Seite 78, daß der Schweredruck am Boden eines Gefäßes unabhängig von der Form des Gefäßes ist.
Otto von Guericke begann mit seinen Versuchen um 1650, ohne daß ihm die Arbeiten Torricellis bekannt waren. Guericke verwendete zunächst Feuerspritzenpumpen zum Entleeren der Gefäße. Später konstruierte er eine Luftpumpe zur Herstellung luftverdünnter Räume. Im Jahre 1654 führte Otto von Guericke den Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln vor. Der Versuch erregte größtes Aufsehen. An seinem Hause brachte Otto von Guericke ein Wasserbarometer (Bild 86/1) an, das bis zum vierten Stockwerk reichte.
Otto von Guericke war nicht nur ein bedeutender Naturforscher. Er leistete auch als Ratsherr und Bürgermeister seiner Heimatstadt in den Wirren des Dreißigjährigen Krieges große Dienste. Die Technische Hochschule Magdeburg trägt heute den Namen Otto von Guericke.
Die etwa gleichzeitige Entdeckung des Luftdrucks in Italien und Deutschland ist ein Beispiel dafür, daß wissenschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung eng miteinander zusammenhängen. In beiden Ländern schickt sich während dieser Zeit das Bürgertum an, die Herrschaft des Adels zu beenden. Um die Produktion, den Handel und das Verkehrswesen weiterzuentwickeln, waren genauere Kenntnisse über die Naturgesetze erforderlich. Andererseits wurde die wissenschaftliche Forschung durch technische Erfindungen gefördert.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 115, Nr. 127 bis 151

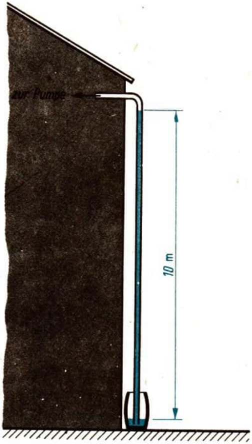
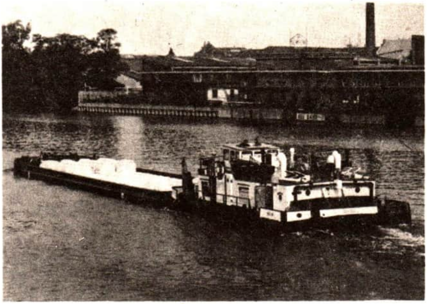


Bild 86/1

Der statische Auftrieb

Auf den Wasserstraßen unserer Republik wird ein großer Teil der Güter befördert, die von den Produktionsbetrieben und der Bevölkerung benötigt werden. Eine Schubeinheit, wie sie auf dem Bild zu sehen ist, kann die Ladung von vielen Güterwagen der Reichsbahn aufnehmen. Wie ist zu erklären, daß ein Schiff trotz des großen Gewichts der Ladung vom Wasser getragen wird?



Die Messung des Auftriebs

Um einen Ball unter Wasser zu bringen, benötigen wir eine Kraft. Der Ball schnellt nach oben, sobald er unter Wasser losgelassen wird. Diese Erfahrungen sollen mit Hilfe eines Versuchs physikalisch begründet werden.

Ein fester Körper, z. B. ein Stein, wird mit einem Faden an einen Federkraftmesser gehängt. Sein Gewicht wird gemessen. Danach wird der Stein in ein Gefäß mit Wasser getaucht. Die von dem Federkraftmesser angezeigte Kraft wird abermals abgelesen. Der Stein soll dabei Boden und Seitenwände des Gefäßes nicht berühren.

Während sich der Stein im Wasser befindet, zeigt der Federkraftmesser eine Kraft an, die kleiner als das Gewicht ist. Daraus darf man nicht schließen, das Gewicht des Körpers habe durch das Eintauchen abgenommen. *Der Körper wird auch im Wasser mit der gleichen Kraft von der Erde angezogen wie vorher in der Luft.*
Die Ursache dafür, daß die Federdehnung kleiner wird, kann nur eine zusätzliche Kraft sein. Mit unseren Kenntnissen über das Zusammensetzen von Kräften können wir auch schon aussagen, daß die Kraft aufwärts gerichtet sein muß. Diese Kraft wird Auftriebskraft, statischer Auftrieb oder kurz **Auftrieb** genannt.

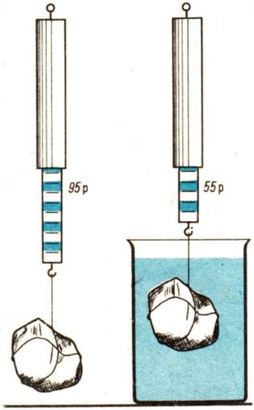


Bild 87/2

> Auf jeden Körper, der sich in einer Flüssigkeit befindet, wirkt ein Auftrieb. Der Auftrieb ist eine Kraft, die dem Gewicht entgegenwirkt.

● *Wie groß war der Auftrieb beim Versuch mit dem Stein?*

In welcher Weise hängt der Auftrieb von den Versuchsbedingungen ab? Man kann vermuten, daß die Form und das Volumen des Körpers einen Einfluß auf den Auftrieb haben. Auch das Volumen der vom Körper verdrängten Flüssigkeit und die Wichte der Flüssigkeit könnten eine Rolle spielen.

Diese Vermutungen müssen durch Versuche überprüft werden. Dabei werden die Versuchsbedingungen nicht gleichzeitig, sondern einzeln nacheinander verändert.

39

▼ 1. Teilversuch

An den Federkraftmesser wird ein Klumpen Knetmasse gehängt. Dieser Körper wird mehrmals verformt. Jedesmal wird gemessen, wie groß der Auftrieb des Körpers in Wasser ist.

Ergebnis: Der Auftrieb stimmt bei allen Messungen überein. Der Auftrieb ist unabhängig von der Form des Körpers.

40

▼ 2. Teilversuch

Ein Körper wird zuerst teilweise und danach vollständig immer tiefer in einen wassergefüllten Standzylinder getaucht. Der Auftrieb wird dabei mehrere Male gemessen.

Ergebnis: Der Auftrieb nimmt zu, bis der Körper vollständig eingetaucht ist. Der Auftrieb ist vom Volumen der verdrängten Flüssigkeit abhängig.

41

▼ 3. Teilversuch

Der Auftrieb in Wasser wird bei zwei Körpern verglichen, die verschieden große Volumina haben (Bild 88/1). Wenn man Körper mit gleichem Gewicht benutzt, kann der Vergleich mit Hilfe einer Hebelwaage ausgeführt werden.

Ergebnis: Der Auftrieb ist bei den Messungen verschieden groß. Der Auftrieb ist vom Volumen abhängig. Je größer das Volumen des untergetauchten Körpers ist, desto größer ist der Auftrieb.

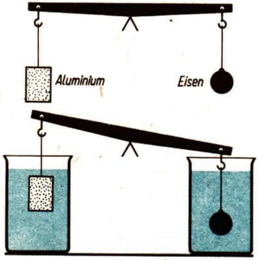


Bild 88/1

42

▼ 4. Teilversuch

An eine Hebelwaage werden beiderseits gleichartige Körper gehängt (Bild 88/2). Die Waage ist zunächst im Gleichgewicht. Nun werden zwei Gefäße so unter die Waage gestellt, daß der eine Körper in Wasser $\left(\text{Wichte } \gamma = 1 \frac{p}{cm^3}\right)$, der andere in Brennspiritus eintaucht $\left(\text{Wichte } \gamma = 0{,}8 \frac{p}{cm^3}\right)$.

Ergebnis: Die Waage bleibt nicht im Gleichgewicht. Der Auftrieb eines Körpers ist in Wasser größer als in Spiritus. Der Auftrieb nimmt mit der Wichte der Flüssigkeit zu.

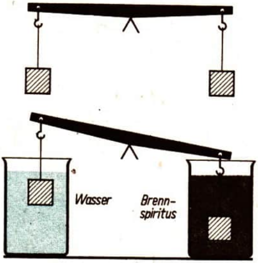


Bild 88/2

● *Fasse das Ergebnis der Versuchsreihe selbständig zusammen!*

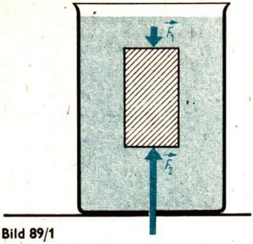


Bild 89/1

Die Entstehung des Auftriebs

In Bild 89/1 ist ein Quader dargestellt, der sich vollständig in einer Flüssigkeit befindet. Auf alle Flächen des Quaders wirkt der Schweredruck der Flüssigkeit. Je nach dem Schweredruck und nach der Fläche des Quaders wirken bestimmte Druckkräfte auf die Flächen. Gegenüberliegende Seitenflächen erfahren gleich große Druckkräfte. Diese Kräfte heben einander auf.

Wiederhole noch einmal den Zusammenhang zwischen Druckkraft und Höhe der Flüssigkeitssäule! (↗ S. 75)

Auf die Grundfläche wird eine Druckkraft $\vec{F_2}$ ausgeübt, die größer ist als die auf die Deckfläche wirkende Druckkraft $\vec{F_1}$. Die Gesamtkraft $\vec{F_A}$, die aus diesen beiden Teilkräften $\vec{F_1}$ und $\vec{F_2}$ gebildet wird, ist der Auftrieb.

$F_A = F_2 - F_1$.

> Der Auftrieb wird durch den Schweredruck der Flüssigkeit verursacht.

Nach dieser Erkenntnis ist anzunehmen, daß auch in Gasen ein Auftrieb entsteht. Der Auftrieb in Luft kann mit dem folgenden Versuch nachgewiesen werden.

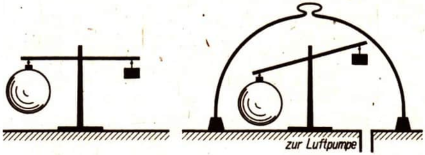


Bild 89/2

Ein kleiner Waagebalken ist auf einer Seite mit einer ver- 43
schlossenen Glaskugel, auf der anderen Seite mit einem Wägestück aus Messing so belastet, daß zunächst Gleichgewicht besteht. Über die Waage wird eine Glasglocke gestülpt. Pumpt man einen Teil der darunter befindlichen Luft aus, so sinkt der Glaskolben herab.

Durch das Auspumpen wird unter der Glocke der Luftdruck verkleinert. Deshalb nimmt auch der Auftrieb ab, den die beiden Körper erfahren. Auf den Glaskolben wirkte vorher wegen seines größeren Volumens auch der größere Auftrieb. Die Abnahme des Auftriebs ist daher beim Glaskolben größer als beim Wägestück.

Vergleiche diesen Versuch mit Versuch 41 auf Seite 88!

Das Archimedische Gesetz

Durch die bisherigen Versuche und Überlegungen ist schon bekannt, daß der Auftrieb eines völlig eingetauchten Körpers vom Volumen des Körpers und der Wichte der Flüssigkeit abhängt. Die nun folgende Meßreihe soll den *quantitativen*[1] Zusammenhang dieser physikalischen Größen zeigen.

44 **Für die Meßreihe werden drei Körper, z. B. aus Glas, Aluminium und Stahl, bereitgestellt. Mit Hilfe eines Federkraftmessers werden die Gewichte der Körper bestimmt. Danach wird für jeden völlig eingetauchten Körper der Auftrieb in Wasser ermittelt. Schließlich wird aus dem Volumen des verdrängten Wassers das Volumen der Körper bestimmt.**

Die Meßergebnisse sind in der folgenden Übersicht zusammengefaßt. In der letzten Zeile der Übersicht ist zusätzlich noch das Gewicht des verdrängten Wassers angegeben. Dieses erhält man nach der Gleichung

$$G = \gamma \cdot V \quad \text{mit} \quad \gamma = 1\,\frac{p}{cm^3}.$$

Beispiel einer Meßreihe

Werkstoff des Körpers	Glas	Aluminium	Stahl
Gewicht des Körpers in p	200	135	280
Auftrieb in Wasser in p	75	50	35
Volumen des verdrängten Wassers in cm^3	75	50	35
Gewicht des verdrängten Wassers in p	75	50	35

Aus der Übersicht ist zu erkennen:
Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht des verdrängten Wassers.
Es ist zu vermuten, daß auch in anderen Flüssigkeiten der Auftrieb mit dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit übereinstimmt. Um diese Vermutung nachzuprüfen, wird der Auftrieb des bei der Meßreihe benutzten Glaskörpers in Brennspiritus gemessen. Das Ergebnis (Bild 90/1) bestätigt:

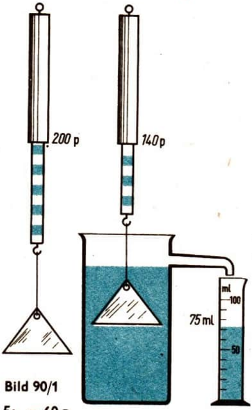


Bild 90/1

$F_A = 60\ p$

$G_{Fl} = 75\ cm^3 \cdot 0{,}8\,\frac{p}{cm^3}$

$G_{Fl} = 60\ p$

[1] quantitativ – aus dem Lateinischen – der Menge nach

Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit.	$F_A = G_{Fl}$

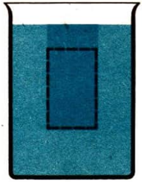
Dieses wichtige Gesetz wird nach seinem Entdecker Archimedes das **Archimedische Gesetz** genannt.
In der Gleichung für den Auftrieb kann das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit durch das Produkt aus der Wichte der Flüssigkeit und dem Körpervolumen ersetzt werden:

$$F_A = \gamma_{\text{Flüss.}} \cdot V_{\text{Körper}}$$

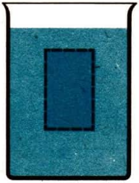
Das Archimedische Gesetz läßt sich auch ohne neue Messungen aus den Gesetzen ableiten, die für den Schweredruck gültig sind.

Lies hierzu nochmals auf S. 89 oben nach!

Die Druckkraft F_1 ist gleich dem Gewicht der über der Deckfläche des eingetauchten Quaders liegenden Flüssigkeitssäule.



Die Druckkraft F_2 ist gleich dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule, die über der Grundfläche des Quaders errichtet werden könnte.



Der Auftrieb ist gleich der Differenz der Gewichte beider Flüssigkeitssäulen. Dies ist zugleich das Gewicht der vom Quader verdrängten Flüssigkeit.

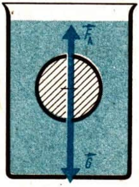
Dieser Weg, aus bereits bekannten Gesetzen ein neues Gesetz abzuleiten, wird in der Physik und anderen Wissenschaften oft beschritten. Man nennt ein solches Vorgehen **Deduktion**[1].
Für den Auftrieb in Gasen gilt ebenfalls sinngemäß das Archimedische Gesetz:

Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht des verdrängten Gases.

[1] deductio (lat.): das Ableiten

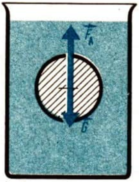
Sinken — Schweben — Steigen — Schwimmen

Für die Bewegung eines Körpers, der sich innerhalb einer Flüssigkeit oder eines Gases befindet, ist die aus Gewicht und Auftrieb des Körpers gebildete Gesamtkraft maßgebend.



Das Gewicht des Körpers ist größer als der Auftrieb.
$G > F_A$
Die Gesamtkraft ist abwärts gerichtet.
Der Körper sinkt.

Das Gewicht des Körpers ist gleich dem Auftrieb.
$G = F_A$
Die Gesamtkraft ist Null.
Der Körper schwebt.



Das Gewicht des Körpers ist kleiner als der Auftrieb.
$G < F_A$
Die Gesamtkraft ist aufwärts gerichtet.
Der Körper steigt.

Der **schwebende** Körper ruht innerhalb der Flüssigkeit oder des Gases. Setzt man ihn durch eine Kraft in Bewegung, wird er durch Reibungskräfte abgebremst und nimmt eine neue Ruhelage ein.
Der **steigende** Körper gelangt zur Oberfläche der Flüssigkeit. Sobald sich Teile des Körpers außerhalb der Flüssigkeit befinden, wird weniger Flüssigkeit verdrängt, und der Auftrieb wird kleiner. Ist schließlich der Auftrieb gleich dem Gewicht des Körpers, besteht zwischen beiden Kräften Gleichgewicht (Bild 92/4).
Der Betrag der Gesamtkraft ist Null. Der Körper **schwimmt**.

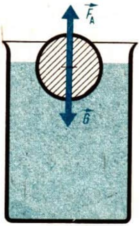


Bild 92/4

▶ Bei einem schwimmenden Körper ist der Auftrieb gleich dem Gewicht des Körpers.

Im Alltag versteht man unter Schwimmen auch Bewegungsvorgänge z. B. der Fische oder des menschlichen Körpers, bei denen außer dem statischen Auftrieb noch andere Kräfte wirken.

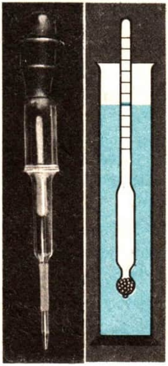
Anwendungen

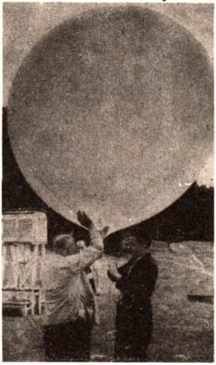
Unterseeboot. Ein U-Boot (Bild 93/1) besteht aus einem druckfesten Hohlkörper. Es enthält Tauchtanks, die mit Meerwasser gefüllt und mit Hilfe von Druckluft wieder entleert werden können. Damit kann das Gewicht des Bootes so verändert werden, daß es schwimmen, sinken, schweben oder steigen kann. Die sowjetischen Streitkräfte verfügen heute über Atom-U-Boote, die mit Raketenwaffen ausgerüstet sind und wochenlange Unterwasserfahrten ausführen können.

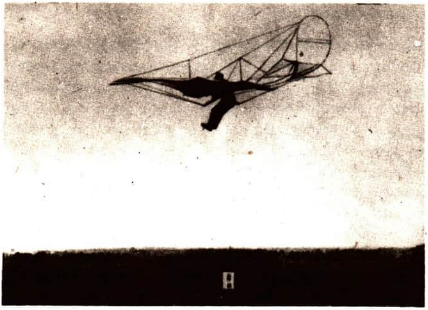
Aräometer sind Geräte zur Messung der Dichte von Flüssigkeiten (Bild 93/2). Das Aräometer besteht aus einem geschlossenen, unten beschwerten Glasrohr. Im oberen engen Teil befindet sich eine Skale. In einer Flüssigkeit nimmt das Aräometer eine senkrechte Schwimmlage an. Je kleiner Wichte und damit auch Dichte der Flüssigkeit sind, desto tiefer taucht das Aräometer ein. An der Skale kann daher die Dichte der Flüssigkeit abgelesen werden.

Wetterballon. Um z. B. den Luftdruck und die Lufttemperatur in großen Höhen zu messen, werden mit Ballons Radiosonden aufgelassen (Bild 93/3). Die Sonde funkt während des Aufstiegs ständig Meßwerte zur Bodenstation. Der Ballon steigt, solange das Gewicht der verdrängten Luft größer ist als die Summe der Gewichte von Füllgas, Ballonhülle und Nutzlast. Weshalb nimmt der Durchmesser des Ballons während des Aufsteigens ständig zu, bis der Ballon schließlich platzt? Mehr über Freiballone und auch über Luftschiffe findest du in dem Buch „Zur Geschichte des Flugzeugs", S. 19 (Bücher für den Schüler).

Schülerexperiment M 7, Seite 127; M 8, Seite 128
Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 117, Nr. 152 bis 165







Strömende Flüssigkeiten und Gase

Der deutsche Ingenieur Otto Lilienthal führte gegen Ende des vorigen Jahrhunderts mit dem abgebildeten Flugapparat erstmals Gleitflüge über Strecken von mehreren hundert Metern aus. Zur Weiterentwicklung des Flugzeugs haben Forscher und Erfinder aus vielen Nationen beigetragen.
Weshalb kann sich ein Flugzeug trotz seines großen Gewichts in die Luft erheben?

Stromlinien

In der Wärmelehre der Klasse 6 wurden bereits Strömungen in Flüssigkeiten und Gasen untersucht. Die Strömungen in Wasser konnten durch Sägespäne oder Farbstoffe sichtbar gemacht werden.
Mit Hilfe kleiner Körper, die von der Strömung mitgeführt werden, kann man die **Bahnen** der Flüssigkeitsteilchen verfolgen und die Strömungsgeschwindigkeit bestimmen.

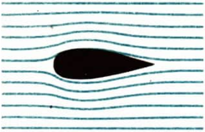


Bild 94/2 Bei der Strömung in Bild 94/2 durchlaufen die nachfolgenden Flüssigkeitsteilchen immer gleiche Bahnen wie ihre Vorgänger
Bild 94/3 Bei der verwirbelten Strömung in Bild 94/3 ändert sich die Bahnform der Flüssigkeitsteilchen fortwährend in unregelmäßiger Weise

Hier sollen nur die Strömungen mit gleichbleibenden Bahnen der Flüssigkeits- und Gasteilchen untersucht werden. Die Bahnen werden in diesem Falle als **Stromlinien** bezeichnet.

> Stromlinien sind bei gleichbleibenden Strömungen die Bahnen der bewegten Teilchen.

Die Stromlinien zeigen deshalb überall die Strömungsrichtung an. Der Verlauf der Stromlinien läßt sich in

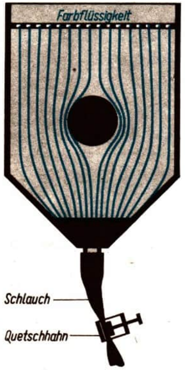


Bild 95/1

Gasen mit Rauch, in Flüssigkeiten mit Farbstoffen sichtbar machen. Mit einem einfachen Gerät lassen sich Stromlinienbilder herstellen.

Zwischen zwei Glasplatten fließt langsam Wasser nach unten (Bild 95/1). Aus kleinen Öffnungen im Boden des Vorratsgefäßes tritt eine Farbflüssigkeit in das strömende Wasser ein. Die Flüssigkeiten mischen sich nicht sofort. Es entstehen farbige Fäden, die den Verlauf der Stromlinien zeigen. In der Nähe des Hindernisses und in der Nähe des Austrittsrohres drängen sich die Stromlinien zusammen. 45

Strömungsgeschwindigkeit und Querschnitt

Durch einen Versuch mit einer Spritze ist zu erkennen, wie die Strömungsgeschwindigkeit vom Querschnitt des Rohres abhängt.

Wird der Kolben mit kleiner Geschwindigkeit in dem weiten Rohr verschoben, spritzt das Wasser mit großer Geschwindigkeit aus dem engen Rohr. 46

Bild 95/2

> Je kleiner der Querschnitt des Rohres ist, desto größer ist die Strömungsgeschwindigkeit.

In Bild 95/1 war zu erkennen, daß an einer Einengung der Strömung auch die Stromlinien zusammengedrängt werden.
An der Einengung ist aber auch die Strömungsgeschwindigkeit besonders groß. Somit ist festzustellen:

> Je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto kleinere Abstände haben die Stromlinien.

Der Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Rohrquerschnitt soll nun an Hand von Bild 95/3 untersucht werden.

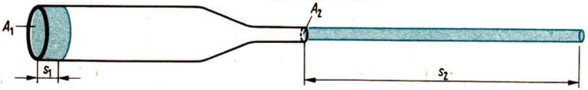


Bild 95/3

Verfolge die Überlegungen und Berechnungen in der Übersicht auf der nächsten Seite!

Überlegung	Gleichung
Tritt am weiten Ende des Rohres ein Flüssigkeitsvolumen V_1 ein, muß am engen Ende ein gleich großes Volumen V_2 ausfließen, wenn sich die Flüssigkeit nicht zusammendrücken läßt.	$V_1 = A_1 \cdot s_1$ $V_2 = A_2 \cdot s_2$ $V_1 = V_2$ $A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2$
Die Produktgleichung wird in eine Proportion umgeformt.	$\frac{s_1}{s_2} = \frac{A_2}{A_1}$
Die von den Flüssigkeitsteilchen im weiten und im engen Rohrabschnitt zurückgelegten Wege lassen sich aus den Strömungsgeschwindigkeiten und der Zeit berechnen.	$s_1 = v_1 \cdot t$ $s_2 = v_2 \cdot t$
Das Verhältnis der Wege wird gebildet.	$\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1}{v_2}$
Das Verhältnis der Wege kann durch das Verhältnis der Geschwindigkeiten ersetzt werden.	$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$

Das Ergebnis lautet somit:

Die Strömungsgeschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Rohrquerschnitte.	$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$

Dieses Gesetz gilt auch für strömende Gase, wenn die Strömungsgeschwindigkeit nicht allzu groß ist. In diesem Falle werden die Gase nur sehr wenig zusammengedrückt.

Der statische Druck

Ruhende Flüssigkeiten und Gase üben Druckkräfte aus, die bei jeder Stellung der gedrückten Fläche gleich groß sind. In strömenden Flüssigkeiten und Gasen gilt das nicht mehr. An einer Fläche, die quer zu den Stromlinien in eine Strömung gebracht wird, werden die Teilchen des strömenden Stoffes abgebremst und zur Seite abgelenkt. Dadurch wirkt auf diese Fläche eine zusätzliche Druckkraft. Das ist bei Druckmessungen zu beachten. Um zu vermeiden, daß die Teilchen am Manometer gestaut werden, könnte man es mit der Strömung bewegen. Statt dessen kann das zum Manometer führende Rohr so in die Strömung gebracht werden, daß seine Öffnung parallel zu den Stromlinien liegt. Am einfachsten ist es, das Manometer an eine Bohrung in der Wand des durchströmten Rohres anzuschließen. Der hierbei gemessene Druck wird **statischer Druck** genannt.

> Eine Fläche, die parallel zu den Stromlinien liegt, erfährt nur den statischen Druck.

Beim folgenden Versuch wird der statische Druck in einer Luftströmung gemessen.

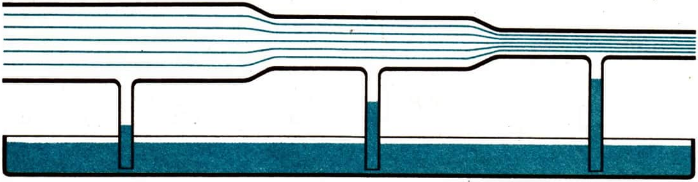


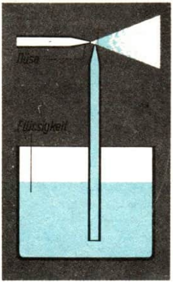
Bild 97/1

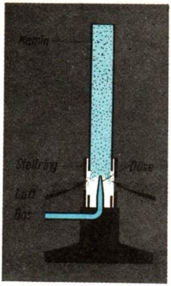
Durch ein Rohr mit einer Verengung und einer Erweiterung 47
(Bild 97/1) strömt Luft. An drei Bohrungen in der Rohrwand sind Glasröhrchen angeschlossen, die in Wasser eintauchen. Das Wasser steigt in den Glasröhrchen empor. Am größten ist dieser Anstieg in dem Röhrchen, das am engsten Rohrabschnitt angeschlossen ist.

Die eingetauchten Glasröhrchen wirken als Flüssigkeitsmanometer. Sie dienen zum Vergleich des statischen Drucks in der strömenden Luft mit dem Schweredruck der Luft außerhalb des Rohres. Das Ansteigen der Flüssigkeit zeigt, daß an den drei Meßstellen der statische Druck kleiner als der Luftdruck im Außenraum ist. Im engsten Abschnitt des Rohres ist der statische Druck am kleinsten. Die Strömungsgeschwindigkeit ist dort am größten.
Somit ist festzustellen:

> Der statische Druck ist um so kleiner, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist.

Dieses Gesetz gilt auch für strömende Flüssigkeiten sowie für Strömungen, die nicht in Rohren stattfinden. Zum Beispiel herrscht bei hoher Windgeschwindigkeit oberhalb eines Hausdaches ein kleiner statischer Druck. Darunter mißt man den Schweredruck der Luft.





Anwendungen

Zerstäuber. Der Aufbau eines Zerstäubers ist aus Bild 98/1 zu entnehmen. Der Luftstrom verläßt die enge Düse mit großer Geschwindigkeit. An der oberen Öffnung des senkrechten Röhrchens herrscht daher ein kleiner statischer Druck. Der größere Druck der ruhenden Luft bewirkt, daß die Flüssigkeit in das Röhrchen steigt und oben austritt. Sie wird vom Luftstrom mitgerissen und dabei in feinste Tröpfchen zerteilt. Wo werden Zerstäuber angewendet?

Bunsenbrenner. Bild 98/2 zeigt den Längsschnitt durch einen Bunsenbrenner. Das Gas strömt mit großer Geschwindigkeit aus der Düse. An den Öffnungen für die Luftzufuhr herrscht daher ein kleiner statischer Druck. Die infolge des äußeren Luftdrucks eintretende Luft wird vom Gas mitgerissen und mischt sich im Kamin mit dem Gas. Aus der Brenneröffnung strömt ein Gas-Luft-Gemisch. Mit dem Stellring läßt sich die Luftzufuhr und damit die Verbrennungstemperatur verändern. (Vgl. auch „Der Vergaser", Seite 102!)

Berührungsfreies Messen

Beim Mechanisieren und Automatisieren von Produktionsprozessen werden vielfach **pneumatische Meßgeräte** eingesetzt. Das Werkstück braucht bei diesem Meßverfahren nicht berührt zu werden. Daher kann z. B. bei laufender Drehmaschine gemessen werden, ohne daß das Meßgerät abgenutzt wird.

Bild 98/3 zeigt einen Versuch zur Erklärung der physikalischen Grundlage des pneumatischen Meßverfahrens:

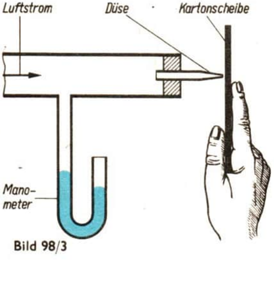


Bild 98/3

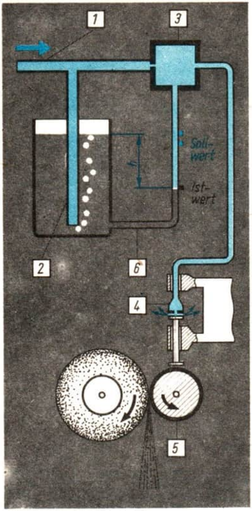


Bild 99/1

Mit Hilfe einer Luftdusche wird ein Luftstrom durch ein Rohr geleitet, der aus einer Düse austritt. Das angeschlossene Flüssigkeitsmanometer zeigt den statischen Druck im Rohr an. Wird der Düse eine Kartonscheibe genähert, vergrößert sich der statische Druck im Rohr.

Durch das Hindernis vor der Düse wird der Strömungsquerschnitt verkleinert. Gemäß der Gleichung $v_1 : v_2 = A_2 : A_1$ verkleinert sich die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr, und der statische Druck muß anwachsen.

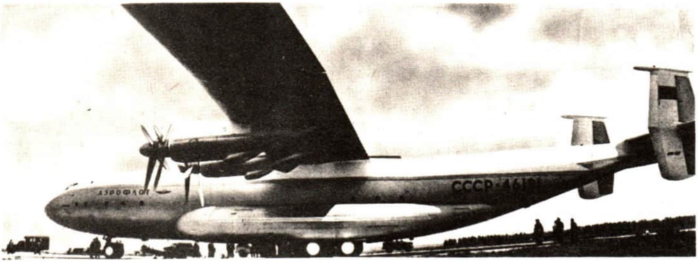
Bild 99/1 zeigt den Aufbau eines Druckluft-Feinzeigers. Die Druckluft tritt durch das Rohr (1) ein. Ihr statischer Druck ist größer als der Schweredruck der Flüssigkeit vor der Mündung des Tauchrohres (2). Ein Teil der Luft strömt aus dem Tauchrohr. Dadurch ist der statische Druck vor der Meßkammer (3) ständig gleich dem Schweredruck vor der Öffnung des Tauchrohres. Die Düse vor der Meßkammer verkleinert den Strömungsquerschnitt. Daher herrscht hinter der Düse (4) in der Meßkammer ein kleinerer statischer Druck. Das ist an der Flüssigkeitssäule im Manometerrohr (6) zu erkennen. Der Druck in der Meßkammer hängt außerdem davon ab, wie weit die Oberfläche des Werkstücks (5) von der Meßdüse (4) entfernt ist.
Man kann erreichen, daß eine Abstandsänderung von nur 1 Mikrometer eine Verschiebung der Wassersäule um etwa 10 mm bewirkt.

Erkläre, warum die Flüssigkeitssäule beim Erreichen des Sollwertes am höchsten ist!

Der dynamische Auftrieb

Das sowjetische Großflugzeug AN 22 kann eine Ladung von 80 Tonnen oder 720 Passagiere aufnehmen. Die vom Flugzeug verdrängte Luft hat ein viel kleineres Gewicht als das Flugzeug mit Passagieren. Der statische Auftrieb

Bild 99/2



ist nicht groß genug, um das Flugzeug zum Steigen zu bringen. Der folgende Versuch zeigt, welche Kraft das Flugzeug hebt.

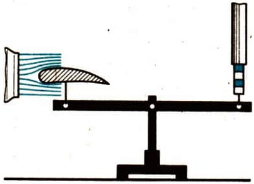


Bild 100/1

49 Das Modell der Tragfläche eines Flugzeugs wird an einem Arm eines Hebels befestigt (Bild 100/1). Durch eine Zusatzmasse am anderen Arm wird das Gleichgewicht hergestellt. Richtet man einen waagerechten Luftstrom auf das Modell, wird es nach oben ausgelenkt. Die Ursache dafür ist eine Kraft. Mit einem Federkraftmesser läßt sich die auf das Tragflächenmodell wirkende Kraft messen.

> Eine Tragfläche erfährt in einem waagerechten Luftstrom eine aufwärts gerichtete Kraft.

Diese Kraft wird **dynamischer Auftrieb** genannt, zum Unterschied vom statischen Auftrieb, der auf dem Schweredruck beruht.
An Hand des Stromlinienverlaufs in der Umgebung der Tragfläche ist zu verstehen, wie der dynamische Auftrieb entsteht (Bild 100/2).

	Oberseite	Unterseite
Abstand der Stromlinien	klein	groß
Strömungsgeschwindigkeit	groß	klein
statischer Druck	klein	groß

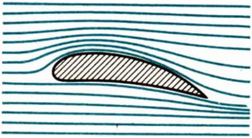


Bild 100/2

> Der dynamische Auftrieb entsteht, weil der statische Druck an der Unterseite einer Tragfläche größer als an der Oberseite ist.

Bei dem Versuch befand sich die **ruhende** Tragfläche in der bewegten Luft. Der dynamische Auftrieb entsteht aber auch, wenn die Luft ruht und die Tragfläche bewegt wird. Man kann sich etwa vorstellen, daß hierbei die Luftströmung durch den „Fahrtwind" ersetzt wird.
Ein Flugzeug muß sich mit genügend großer Geschwindigkeit bewegen, damit die Tragflächen einen dynamischen Auftrieb erfahren, der so groß wie sein Gewicht ist. Das Segelflugzeug erhält diese Geschwindigkeit beim Abwärtsgleiten, ähnlich wie ein Körper, der auf einer geneigten Ebene rutscht. Motorflugzeuge erhalten die Geschwindigkeit durch den Propeller- oder Düsenantrieb.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 119, Nr. 166 bis 174

Zur Wiederholung

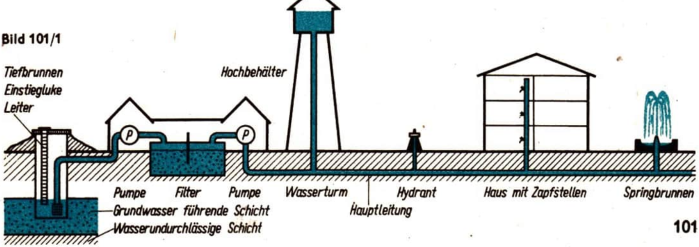
Unsere Kenntnisse über die Mechanik der Flüssigkeiten und Gase sollen an einigen Beispielen wiederholt werden.

Die Wasserversorgung

Wasser ist für Pflanzen, Tiere und Menschen lebensnotwendig. In der ganzen Welt steigt der Wasserbedarf ständig an. Das ist auf das Wachstum der Industrie, auf die Erhöhung des Lebensstandards und die Vergrößerung der Bewässerungsanlagen in der Landwirtschaft zurückzuführen. Das Trinkwasser wird in unserer Republik aus den Grundwasservorräten, aus Flüssen, Seen und Stauseen gewonnen. In Gebirgsgegenden wird auch Quellwasser genutzt.
Infolge des Braunkohlentagebaus hat sich in Mitteldeutschland der Grundwasserspiegel stark gesenkt. Auch die Flüsse dieses Gebietes sind durch Abwässer so stark verunreinigt, daß sie nicht zur Trinkwasserversorgung dienen können.
Der Wasserbedarf ist aber in diesen dichtbesiedelten Bezirken mit ihren zahlreichen Industrieanlagen sehr groß. Allein unser größter Chemiebetrieb, der VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", benötigt täglich viele tausend Kubikmeter Wasser.
Um die Wasserversorgung der Bezirke Halle, Leipzig und Magdeburg zu sichern, beschloß unsere Regierung den Bau einer großen Ringwasserleitung. Jeder Bürger sollte sich besonders in längeren Trockenzeiten bemühen, sparsam mit dem wertvollen Wasser umzugehen.
Bild 101/1 zeigt in vereinfachter Form den Aufbau einer Wasserversorgungsanlage im Flachland. Beantworte an Hand des Bildes die folgenden Fragen!

Wie groß ist der Druck in der 1,5 m tief verlegten Hauptleitung, wenn der Wasserspiegel im Hochbehälter 37 m über der Erdoberfläche liegt? Wie groß ist der Druck an der höchsten Zapfstelle, die 20 m über der Erdoberfläche liegt?

Bild 101/1



An einem Wasserhahn herrsche der Druck 2,5 at. Das Ventil habe eine Fläche von 1,2 cm². Wie groß ist die Druckkraft, die auf das Ventil wirkt?
Im ersten Stockwerk eines Hauses herrscht der Wasserdruck 2,5 at. Wie groß ist der Druck im dritten Stockwerk, das 6 m höher liegt?
Aus einem Wasserhahn strömt ein Strahl von 0,6 cm² Querschnitt mit der Geschwindigkeit $20\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. *Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit in der Hauptleitung mit dem inneren Rohrquerschnitt 0,3 m²?*

Der Vergaser

Viele Kraftfahrzeuge sind mit Otto-Motoren ausgestattet. Im Motorzylinder wird ein Benzin-Luft-Gemisch mit einem elektrischen Funken gezündet. Beim Verbrennen werden im Zylinder hohe Temperaturen und Drücke erreicht. Dadurch wirkt auf den Kolben eine große Druckkraft, die auf die Räder übertragen wird.
Damit im Zylinder eine schnelle und vollständige Verbrennung stattfindet, muß der flüssige Treibstoff zerstäubt werden. Die dazu jeweils notwendige Treibstoffmenge muß vom Vergaser bereitgestellt werden.
Betrachte den Aufbau eines Vergasers gemäß Bild 102/1 und beantworte danach folgende Fragen:

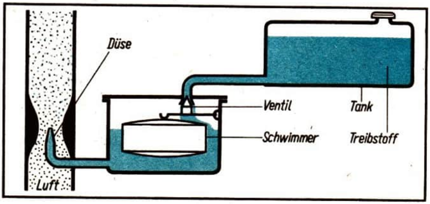
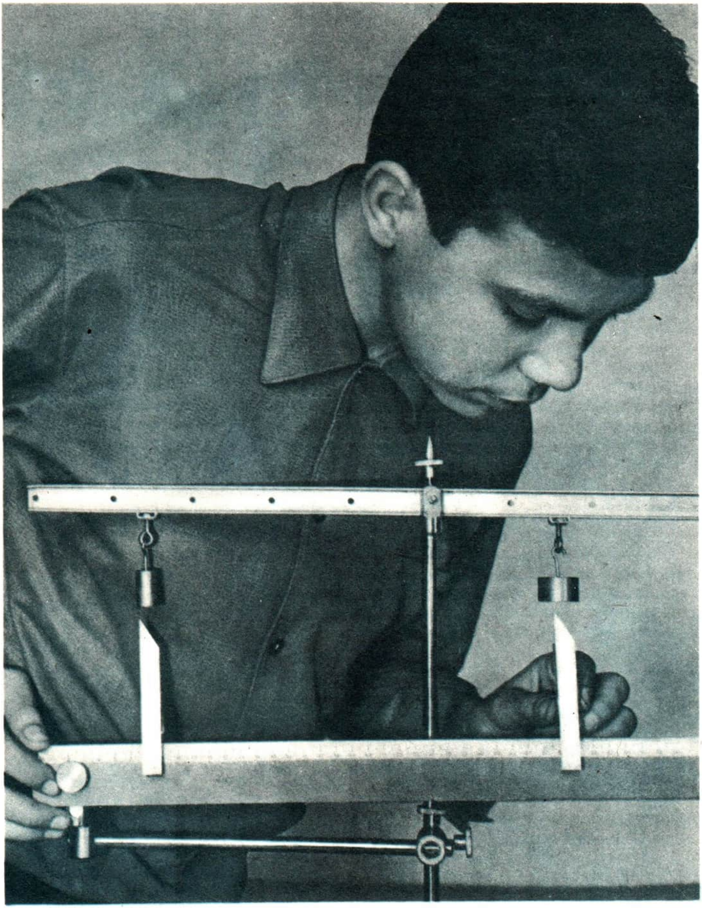


Bild 102/1

● *Wie wird erreicht, daß aus der Düse kein Treibstoff herausläuft?*
Weshalb steigt der Schwimmer empor, wenn Treibstoff zufließt?
Wie groß ist der Druck am Nadelventil, wenn der Flüssigkeitsspiegel 45 cm höher liegt und der Treibstoff die Wichte $0{,}8\,\frac{\mathrm{p}}{\mathrm{cm}^3}$ *hat?*
Skizziere die Stromlinien der Luftströmung in der Verengung und erkläre, weshalb der Treibstoff aus der Düse tritt!



Aufgaben

Fragen, Aufträge, Versuche

Arbeit, Energie, Leistung

Die Kraft und ihre grafische Darstellung (Seite 6 bis 17)

1. Stelle in einer Übersicht die Merkmale der physikalischen Größe Geschwindigkeit zusammen (↗ S. 7)!
2. Erkläre, wo bei folgenden Beispielen die wirkende Kraft und die Gegenkraft auftreten!
   a) Ein Junge spannt die Feder eines Luftgewehrs,
   b) ein Körper dehnt eine Schraubenfeder,
   c) eine Kiste steht auf einem Handwagen.
3. Zwei Jungen ziehen mit einer Zugkraft $F_1 = 20$ kp und $F_2 = 23$ kp in gleicher Richtung einen Handwagen. Wie groß ist die Gesamtkraft? Ermittle das Ergebnis zeichnerisch und rechnerisch!
4. Beim Tauziehen besteht die Mannschaft A aus 5 Schülern mit einer Zugkraft von je 11 kp. Die Mannschaft B besteht aus 4 Schülern mit einer Zugkraft von je 15 kp. Welche Mannschaft wird siegen?
5. Eine Rakete entfernt sich von der Erdoberfläche, wenn die senkrecht nach oben gerichtete Schubkraft F_S größer als das Gewicht G der Rakete ist. Eine Rakete mit einem Gewicht von 25 Mp entwickle beim Start eine Schubkraft von 200 Mp. Wie groß ist die Gesamtkraft? Was würde geschehen, wenn die Schubkraft gleich dem Gewicht ist?
6. Ein Traktor ist mit einer Schleppe und zwei schweren Eggen gekoppelt. Auf mittlerem Boden ist zum Ziehen der Schleppe eine Zugkraft von 250 kp und zum Ziehen einer schweren Egge eine Zugkraft von 150 kp erforderlich. Wie groß ist die Zugkraft, die der Traktor mindestens entwickeln muß?
7. Ein Güterzug auf einer Modelleisenbahnanlage wird von einer Lokomotive mit einer Zugkraft $F_1 = 85$ p gezogen. Eine zweite Lokomotive schiebt den Güterzug mit einer Kraft $F_2 = 60$ p. Ermittle zeichnerisch und rechnerisch die Gesamtkraft F, die beide Lokomotiven entwickeln!
8. An eine Schraubenfeder wird ein Körper mit einem Gewicht von 1 kp gehängt. Die Feder wird um 10 cm gedehnt. Wie groß ist die Gegenkraft? Wo tritt sie auf?
   Nun wird eine zweite gleichartige Schraubenfeder mit der ersten verbunden (Bild 104/1). Wie groß ist die Gesamtausdehnung beider Schraubenfedern bei gleicher Belastung? Mit welcher Kraft wird jede dieser Federn gedehnt?

Bild 104/1

9. Gib an, welche Kraft bei den Beispielen in den Bildern 10/1 bis 10/4 auf Seite 10 für die Formgebung in der Technik auftritt! Ergänze die folgende Übersicht!

Zugkräfte	Druckkräfte
Ziehen von Glasfäden	Walzen von Flachglas

Die mechanische Arbeit (Seite 18 bis 25)

10. Ein Lastenaufzug hebt eine Karre mit Ziegelsteinen ($F = 130$ kp) zum 2. Stockwerk eines Gebäudes ($s = 7$ m) hoch. Wie groß ist die mechanische Arbeit?
11. Ein mit 2 Kindern besetzter Schlitten mit einem Gesamtgewicht von 70 kp wird auf Schnee 5 km weit gezogen. Wie groß ist die Reibungsarbeit, wenn die Gleitreibungszahl $\mu = 0{,}02$ beträgt?
12. Berechne die Arbeit, die du verrichtest, wenn du deinen eigenen Körper um eine bestimmte Höhe hebst, beispielsweise beim Treppensteigen!
Anleitung: Es handelt sich um eine Hubarbeit! Miß die Höhe einer Treppenstufe und bestimme dann die gesamte Hubhöhe!
13. Eine Holzkiste mit einem Gewicht von 30 kp wird auf einer Unterlage aus Holz waagerecht um 3 m verschoben ($\mu = 0{,}4$).
a) Wie groß ist die Gleitreibungskraft?
b) Wie groß ist die Reibungsarbeit?
14. Welche Arbeit wird durch einen Traktor an einem Anhänger verrichtet, wenn die Zugkraft 120 kp beträgt und eine gleichförmige Bewegung auf waagerechter Straße über eine Länge von 2 km erfolgt?
15. Aus einem Keller sollen 100 Briketts von je 0,5 kp Gewicht in den ersten Stock ($h = 8$ m) gebracht werden.
a) Berechne die notwendige Arbeit!
b) Da es nicht ohne weiteres möglich ist, die Briketts gleichzeitig zu transportieren, werden jeweils 20 Briketts in einem Eimer befördert.
Berechne die Einzelarbeit und vergleiche mit der Gesamtarbeit!
c) Es werden gleichzeitig zwei Eimer transportiert. Berechne die Einzelarbeit und vergleiche erneut.
d) Zeichne und erkläre die entsprechenden Diagramme!
16. Warum drehen sich im Winter beim Anfahren eines Fahrzeuges manchmal die Räder durch? Welche Reibungsart tritt hierbei auf? – Ist das Fahrzeug in Bewegung gekommen, so wirkt eine andere Reibung. Welche?
17. Betrachte das Bild 105/1! Es werde jeweils der gleiche Behälter transportiert. Suche Beziehungen zwischen der Reibungskraft und der zum Verschieben notwendigen Kraft! Erkläre!
18. Warum bewegt sich bei gleicher Neigung des Brettes der Bleistift einmal abwärts, während er in der anderen Lage liegenbleibt (Bild 105/2)?
19. Ein hölzerner Stuhl mit einem Gewicht von 5 kp wird auf dem (Holz-) Fußboden 20 cm waagerecht verschoben. Vergleiche die dabei verrichtete Arbeit mit der Arbeit beim Heben des gleichen Stuhls um 20 cm!
20. Warum besteht für Kraftfahrzeuge auf regennassen Straßen erhöhte Schleudergefahr? Begründe!
21. Warum werden vereiste Straßen mit Sand bestreut?
22. a) Miß mit einem Federkraftmesser die Kraft, die zum Fortziehen eines vorher ruhenden Holzklotzes auf der Tischplatte erforderlich ist! Beobachte besonders den Übergang von der Ruhe in die Bewegung! Beschreibe!
b) Ziehe den Holzklotz erst über die Tischplatte und danach über den Teppich! Was beobachtest du am Federkraftmesser? Begründe!

Bild 105/1

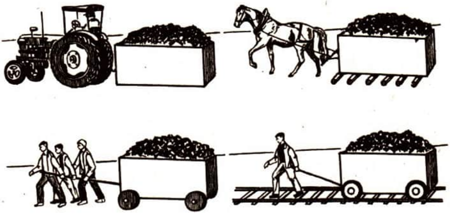
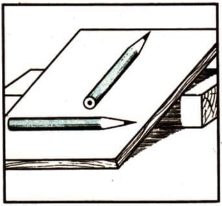


Bild 105/2



*23. Ein Fußgänger (Gewicht 60 kp) steigt einen 600 m langen Hang hinauf, der zur Waagerechten um 30° geneigt ist. Welche Arbeit verrichtet er beim Ersteigen des Hangs? (Ermittle die Höhe h aus einer maßstabgetreuen Zeichnung (Bild 106/1)!

24. Ordne die grafisch dargestellten Arbeiten W_1, W_2, W_3 und W_4 ihrem Betrag nach. Benutze das Zeichen $>$ (Bild 106/2)!

25. Ein Expander wird mit einer Endkraft von 20 kp gespannt. Dabei verlängert er sich um 0,9 m.
   a) Welche Federspannarbeit wird verrichtet?
   b) Zeichne das Arbeitsdiagramm!

Arbeit an kraftumformenden Einrichtungen (Seite 26 bis 42)

26. Mit Hilfe einer festen Rolle soll ein Schüler mit einem Gewicht von 40 kp einen Körper heben. Wie groß darf das Gewicht der Last höchstens sein? Erkläre!

27. Senkrecht verschiebbare Wandtafeln sind oft so angeordnet, daß sich die eine senkt, wenn die andere nach oben verschoben wird. Äußere dich über den zum Verschieben notwendigen Kraftaufwand! Baue aus Pappe, Fäden und Leisten eine solche Vorrichtung als Modell!

28. Bild 106/3 zeigt eine früher gebräuchliche Leuchtenaufhängung. Welche kraftumformenden Einrichtungen erkennst du? Erkläre die Wirkungsweise!

29. Beschreibe unter Benutzung der entsprechenden physikalischen Begriffe die Wirkungsweise eines Zeltleinenspanners! Zeichne!

30. Fertige eine Skizze einer Aufhängevorrichtung für Wandkarten an! Markiere die kraftumformende Einrichtung!

31. Mit Hilfe einer losen Rolle wird ein Körper mit einem Gewicht von 10 kp um 20 cm gehoben. Stelle die aufgenommene und die abgegebene Arbeit grafisch dar! (Die Reibung ist zu vernachlässigen.)

*32. Baue die Verladeeinrichtung nach Bild 35/3 als Modell nach! Benutze zwei Federkraftmesser und einen Holzstab! Errechne F aus der Steigung der geneigten Ebene und dem Gewicht des Holzstabes! Vergleiche diesen Wert mit dem von den Federkraftmessern beim Bewegen angezeigten Wert und erkläre die große Abweichung!

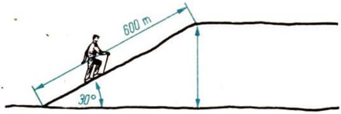


Bild 106/1

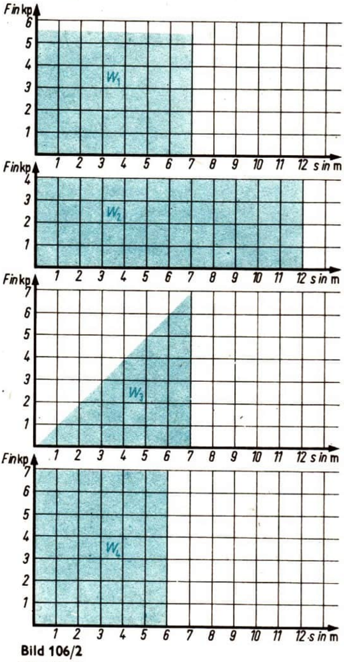


Bild 106/2

Bild 106/3

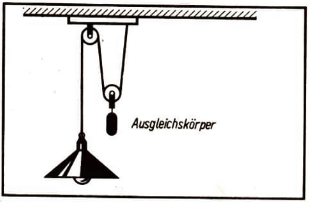


Bild 107/1

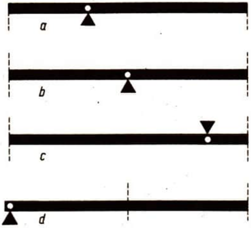


Bild 107/2

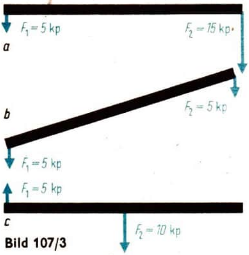


Bild 107/3

33. Bestimme den Wirkungsgrad der Vorrichtung nach Bild 107/1! Belaste die Schale so, daß sie sich nach einem kleinen Anstoß gerade senkt und den angehängten Körper hebt! Wie ändert sich der Wirkungsgrad, wenn man die beiden Haken durch feste Rollen ersetzt?

34. Die in Bild 107/2 gezeichneten Hebel mögen sich im Gleichgewicht befinden. Deute durch verschieden lange Kraftpfeile die wirkenden Kräfte etwa maßstäblich an! (Die Wirkungslinien wurden gestrichelt!)

35. Zeichne die Drehachsen der in Bild 107/3 dargestellten Hebel für den Fall, daß sich diese im Gleichgewicht befinden!

36. Bei einem im Gleichgewicht befindlichen Hebel haben die Hebelarme eine Länge von 45 cm und 15 cm. Die eine der wirkenden Kräfte beträgt 3 kp. Wie groß ist die andere Kraft? Die Aufgabe hat zwei verschiedene Lösungen! Fertige zuerst zwei Skizzen an!

37. Zerbrich ein abgebranntes Streichholz in der Mitte, die Hälften wiederum usw.! Begründe, warum es immer schwieriger wird, das Hölzchen zu zerbrechen, obwohl du doch stets mit den Fingern die gleiche Kraft ausüben kannst!

38. Mit welcher Kraft wird der Fahrdraht bei der Spannvorrichtung nach Bild 32/3 gespannt, wenn die Betonscheiben ein Gewicht von 200 kp besitzen?

39. Beschreibe die Aufgabe der verschiedenen kraftumformenden Einrichtungen an einem Seilspanner (Bild 114/1).

40. Warum werden Bergstraßen oft in Windungen geführt, obwohl dadurch der Weg bedeutend länger wird?

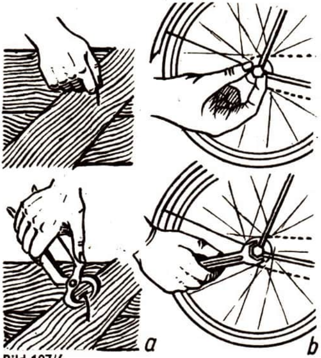
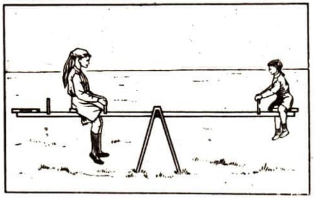


Bild 107/4

41. Betrachte das Bild 107/4! Welche physikalischen Gesetze werden angewendet? Fertige eine Niederschrift darüber an!

42. Auf einer Wippe (Bild 107/5) sitzt ein Kind mit einem Gewicht von 30 kp in einer Entfernung von 1,2 m von der Drehachse. In welcher Entfernung von der Drehachse muß

Bild 107/5



sich auf der anderen Seite ein Kind mit einem Gewicht von 25 kp setzen, damit die Wippe im Gleichgewicht ist?

43. Auf welche Weise werden die Pflastersteine eines Straßenpflasters ausgehoben, nachdem **ein** Stein entfernt wurde? Begründe dieses Verfahren!

*44. In welcher Entfernung von den Angriffspunkten der Kräfte muß ein Hebel unterstützt werden, damit er im Gleichgewicht ist? Gegeben: $F_1 = 200$ p, $F_2 = 400$ p, Abstand der Wirkungslinien der beiden Kräfte $l = 60$ cm.

45. Ein an einer losen Rolle hängender Körper soll um 2,2 m gehoben werden. Um welchen Weg verschiebt sich der Angriffspunkt am Zugseil?

46. Bei einer kraftumformenden Einrichtung betrage die aufgenommene Arbeit 245 kpm, die abgegebene Arbeit 220 kpm. Wie groß ist der mechanische Wirkungsgrad?

47. Bestimme den mechanischen Wirkungsgrad eines selbstgebauten Klobenzuges (Bild 108/1)! Hinweis: Stelle durch Anhängen der notwendigen Gewichtsstücke zunächst Gleichgewicht her! Hänge so viel Zusatzgewichtsstücke an, bis sich der am linken Ring hängende Körper zu heben beginnt!

48. Mit Hilfe einer losen Rolle wird ein Behälter mit einem Gewicht von 150 kp um 2 m gehoben. Berechne die Kraft F_1, den Kraftweg s_1 und die Arbeit W!

49. Ein mit Holz beladener Hänger ist im Walde im morastigen Untergrund etwas eingesunken. Die Zugkraft des Traktors reicht nicht aus, um den Hänger ohne weitere Hilfsmittel herauszuziehen. Welche Möglichkeit bietet sich dem Traktoristen, wenn er über ein Seil und eine Rolle verfügt? Fertige dazu eine Skizze an und begründe deine Überlegungen! (Lageskizze siehe Bild 108/2.)

50. Welche Kraft ist notwendig, um Gleichgewicht herzustellen (Bild 108/3)?

51. Befestige an den beiden Enden eines Fadens zwei gleich große Gewichtsstücke und hänge das Ganze
   a) über einen runden Stab,
   b) an einen Porzellan- oder Metallring,
   c) über eine feste Rolle! (Bild 108/4)!
   Erkläre schriftlich unter Benutzung der Begriffe Kraft F_1, Kraft F_2, Kraftweg s_1, Kraftweg s_2, aufgenommene und abgegebene Arbeit, Wirkungsgrad, Reibung usw. die Ver-

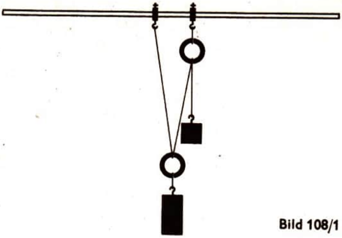


Bild 108/1

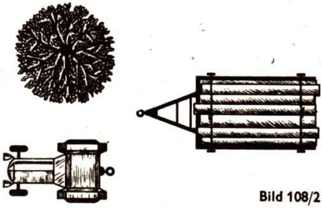


Bild 108/2

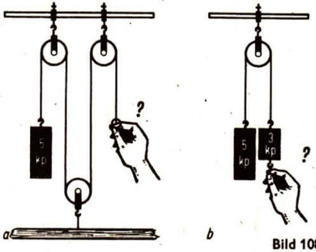


Bild 108/3

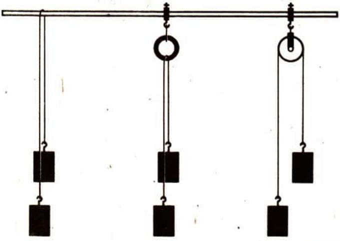


Bild 108/4

wendung dieser Vorrichtungen als kraftumformende Einrichtungen!

52. Stelle aus Baukastenteilen einen Aufzug und einen Seilspanner her! Führe die Modelle vor und erkläre ihre Wirkungsweise!

53. Welche Kraft ist erforderlich, um ein 90 kp schweres Faß am Abrollen zu hindern, das auf einer geneigten Ebene mit einer Länge von 3 m und einer Höhe von 0,80 m liegt?

54. Ein Handwagen wird reibungsfrei eine 5 m lange Auffahrt hinaufgezogen. Sein Gewicht beträgt 120 kp, die Zugkraft 18 kp. Welche Höhe erreicht der Wagen am Ende der Auffahrt? Fertige dazu eine Skizze an!

55. Eine Förderbahn überwindet 20 m Höhenunterschied auf einer 120 m langen Strecke von konstanter Steigung. Welche Zugkraft ist zum Emporziehen einer Lore von 2580 kp Gewicht erforderlich, wenn die Reibung vernachlässigt wird? Welche Arbeit wird dabei verrichtet?

56. Die Seilwinde eines Schrägaufzugs (Bild 109/1) verrichtet bei einer Zugkraft von 600 kp eine Arbeit von 36000 kpm, wenn sie einen Wagen heraufzieht. Fertige eine Skizze an! Berechne Länge und Höhe der geneigten Ebene, wenn das Gewicht des Wagens 3000 kp beträgt!

57. Wo liegen die Drehachsen der Hebel in Bild 109/2? Übertrage die Skizzen in das Arbeitsheft und zeichne die Drehachsen ein!

58. An einem Hebel beträgt der Kraftarm $l_2 = 20$ cm. Die dort angreifende Kraft F_2 beträgt 300 kp. Wie groß ist im Gleichgewichtsfall die Kraft F_1, wenn der Kraftarm l_1 80 cm beträgt?

59. Ein Kabelschacht ist mit einer Steinplatte abgedeckt, deren Gewicht 80 kp beträgt. Die Steinplatte trägt in der Mitte einen Ring, in den zum Anheben der Platte eine Brechstange eingesetzt werden soll. Die Brechstange hat eine Länge von 1,50 m. Welche Kraft F_1 muß aufgewendet werden? Der Kraftarm l_2 sei 40 cm. Die Brechstange soll als zweiseitiger Hebel benutzt werden!

60. Berechne die Kraft, mit der das Ventil einer Kesselanlage beim Öffnen auf den Hebel wirkt! Entnimm die erforderlichen Werte dem Bild 109/3!

61. Was zeigt der Federkraftmesser in Bild 109/4 im Gleichgewichtsfall an? Es sind $F_1 = 3{,}2$ kp, $l_1 = 1{,}2$ m, $l_2 = 1{,}8$ m.

62. Wie groß muß F_2 sein, um die Kombination von Rollen und Hebeln nach Bild 109/5 im Gleichgewicht zu halten?
Es sind $G = 200$ p, $l_2 = 15$ cm, $l_1 = 30$ cm.

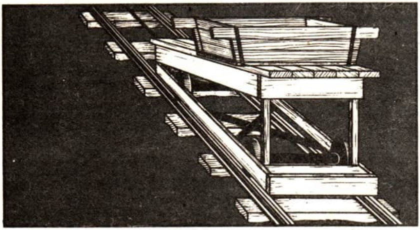


Bild 109/1

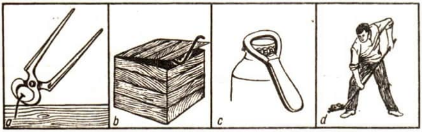


Bild 109/2

Bild 109/3

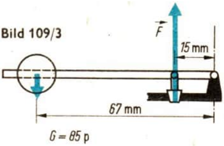


Bild 109/4

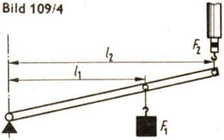
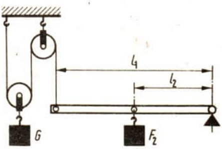


Bild 109/5



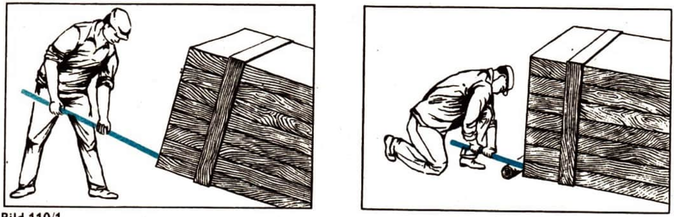


Bild 110/1

63. Ein Arbeiter hebt eine Tonne mit einem Gewicht von 32 kp um 0,75 m senkrecht empor. Die Tonne könnte aber auch mit Hilfe einer Schrotleiter von 3 m Länge gehoben werden. Vergleiche die erforderlichen Kräfte und bestimme die aufgewandte Arbeit!
64. Erkläre Bild 110/1!
65. Gib für folgende Geräte an, um welche Hebelarten es sich handelt:
    Nußknacker, Blasebalg, Kartoffelquetsche, Hebelschalter an einer Schalttafel, Spaten, Pumpenschwengel, Handbremse am Fahrrad!
66. Übertrage Bild 110/2 in das Heft!
    a) Zeichne die Kraftarme ein!
    b) An welchen Geräten hast du solche *Winkelhebel* schon gesehen?

Die mechanische Energie (Seite 43 bis 51)

67. Fertige nach Bild 110/3 ein Windrad an! Welche Energieumwandlungen treten auf, wenn man gegen das Windrad bläst?
68. Stelle nach Bild 110/4 eine Schnurrolle her und befestige in der Rille einen Faden! Wickle diesen auf, behalte das Ende in der Hand und laß die Schnurrolle los! Beobachte und beschreibe unter Berücksichtigung der physikalischen Gesetze im Kapitel „Die mechanische Energie"!
69. Wie groß ist die potentielle Energie eines Dachziegels, der ein Gewicht von 1,2 kp besitzt und sich in einer Höhe von 12 m über dem Erdboden auf dem Dach befindet? Wodurch erlangte der Dachziegel diese potentielle Energie?
70. Ein besetzter PKW ($G = 1200$ kp) hat bei einer Geschwindigkeit von 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ die Bewegungsenergie $W_{\text{kin}} = 30\,200$ kpm.
    a) Wie hoch könnte der Wagen mit dieser mechanischen Energie gehoben werden?
    b) Was würde bei einem Verkehrsunfall (Zusammenstoß) mit dieser mechanischen Energie geschehen?
71. Auf dem Sprungturm eines Schwimmbades stehen in 3 m, 5 m und 10 m Höhe drei Sportler von je 70 kp Gewicht. Wie groß ist deren potentielle Energie?
72. Bei einer Rodelbahn von 200 m Länge liegt der Startpunkt 30 m höher als das Ende der Bahn.

Bild 110/2

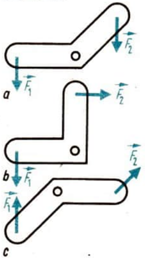


Bild 110/3

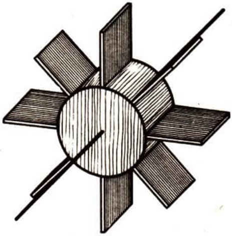
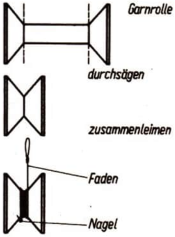


Bild 110/4



a) Welche potentielle Energie hat ein besetzter Schlitten vom Gesamtgewicht 50 kp am Ablaufpunkt?
b) Warum ist die kinetische Energie des gleichen Schlittens beim Durchfahren des Ziels kleiner als die potentielle Energie am Ablaufpunkt?

73. Beschreibe die Wirkungsweise eines Schwungrad-Spielzeugautos mit Hilfe der entsprechenden physikalischen Begriffe!
74. Ein PKW mit der Masse 1500 kg und ein LKW mit der Masse 4000 kg fahren mit der gleichen Geschwindigkeit von $50\,\frac{km}{h}$. Äußere dich über die kinetische Energie der Fahrzeuge!
75. Ein Holzwürfel und ein Bleiwürfel mit einem Volumen von je $100\ cm^3$ liegen auf dem Tisch. Äußere dich über die potentielle Energie der beiden Körper in bezug auf den Fußboden!
76. Warum verursachen Lawinen, Stürme und Hochwasser große Zerstörungen?
77. Beschreibe die Wirkungsweise des nach Aufgabe 68 hergestellten Spielzeugs als wiederholte Umwandlung verschiedener Energieformen ineinander! Welche anderen Beispiele kennst du?
78. Beschreibe die Bewegung eines Fadenpendels!
a) Fertige dazu eine Skizze ähnlich Bild 47/2 und eine entsprechende Tabelle an!
b) Löse die gleiche Aufgabe für einen horizontalen Federschwinger!
79. Auf welche Weise wird bei a) einer Standuhr und b) einem Wecker die Antriebsenergie gespeichert?
80. Wohin „verschwindet" die mechanische Energie eines Rammbärs beim Auftreffen auf den Pfahl? Warum setzen wir „verschwindet" in Anführungsstriche?
81. Beschreibe die Energieumwandlungen bei einem Pumpspeicherwerk!
82. Töpferscheiben sollen eine möglichst große Masse aufweisen. Gib dafür eine Erklärung!
83. Welcher der beiden Zylinder in Bild 111/1, die aus dem gleichen Material bestehen, hat die größere potentielle Energie in bezug auf den Fußboden?
Begründe deine Antwort!
84. An einem Stativ sind zwei Kugeln mit gleichem Volumen und aus gleichem Material angebracht. Vergleiche ihre potentielle Energie (Bild 111/2)!
85. Lasse eine Stahlkugel auf einem Steinfußboden hüpfen! Welche Energieumwandlungen finden statt? Wie erklärst du dir die Abnahme der Sprunghöhe?
86. Welche Energie hat ein Rammbär, wenn er ein Gewicht von 200 kp besitzt und aus einer Höhe von 3 m herabfallen kann?
87. Kraftwagen und Motorräder benötigen einen bestimmten Bremsweg, um zum Stillstand zu kommen. Die folgende Tabelle enthält einige Angaben.

Fahrtgeschwindigkeit in $\frac{km}{h}$	Bremsweg[1] auf		Zusatzweg[2]
	trockener Straße in m	schmieriger Straße in m	in m
20	3	8	5,6
30	7	17	8,3
40	12	31	11
50	19	48	14
60	28	68	17
80	48	124	22
100	76	192	28

[1] Die Werte sind gerundet.
[2] In der Zeit, die zwischen dem Wahrnehmen des Hindernisses und dem Wirksamwerden der Bremsen vergeht, wird dieser Zusatzweg zurückgelegt, der zum Bremsweg zu addieren ist.

a) Vergleiche die Bremswege beim Verdoppeln der Geschwindigkeit $\left(\text{z. B. } 20\,\frac{km}{h},\ 40\,\frac{km}{h},\ 80\,\frac{km}{h}\right)$! Wie verhalten sie sich zueinander?

Bild 111/1

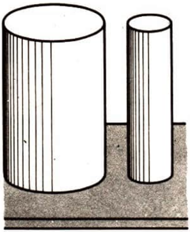
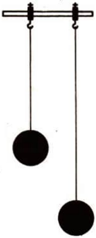


Bild 111/2



b) Was geschieht mit der kinetischen Energie des Fahrzeuges beim Bremsen?

c) Welche Folgerungen ziehst du aus der Tabelle für dein Verhalten im Straßenverkehr? Beachte die Gesamtwege bis zum Stillstand auch bei Geschwindigkeiten unter $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$!

Die Leistung (Seite 52 bis 55)

88. Fritz trägt einen Korb mit Kartoffeln (15 kp) aus dem Keller in die Wohnung im 3. Stock ($h = 16$ m) und braucht dazu 80 s. Hans holt Kohlen (20 kp) aus dem Keller und bringt sie in den 2. Stock ($h = 12$ m). Er benötigt dazu 60 s. Wessen Leistung ist größer?

89. Eine Pumpanlage fördert 50 kp Wasser in 5 s in einen 20 m höher gelegenen Behälter. Welche Leistung hat die Pumpe?

90. In einem Braunkohlentagebau werden aus einer Tiefe von 6 m je Minute 4,5 m^3 Wasser herausgepumpt. Wie groß ist die Leistung der Pumpe? Hinweis: 1 l Wasser hat ein Gewicht von 1 kp.

91. Wie groß ist die Leistung eines Lastenaufzuges, wenn er eine Arbeit von 240 kpm in 8 s verrichtet?

92. Welche Leistung hat ein Kran, der einen Betonkörper mit einem Gewicht von 6000 kp in 75 s 15 m in die Höhe heben kann?

93. Welche Arbeit verrichtet eine Drehmaschine, die eine Leistung von $750 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ hat, innerhalb von 10 Minuten?

94. Berechne die Leistung beim Ziehen eines Schlittens aus folgenden Werten: Gewicht des beladenen Schlittens 50 kp, Gleitreibungszahl $\mu = 0{,}02$, zurückgelegter Weg 20 m, benötigte Zeit 10 s! Wiederhole dazu den Abschnitt über die mechanische Arbeit!

95. Berechne die Leistungen des Beispiels auf Seite 52 beim Heben von 25 kp Mörtel

a) durch einen „Hucker“,

b) mit Hilfe einer festen Rolle,

c) durch einen Lastenaufzug!

Entnimm die Angaben den Bildern!

*96. Durch Umformen der Gleichung $P = F \cdot v$ ergibt sich die Gleichung $F = \frac{P}{v}$. Beim Fahren eines Kraftfahrzeugs im ersten Gang ist die Geschwindigkeit des Fahrzeugs gering. Was erkennst du hinsichtlich der dabei wirkenden Kraft aus der Gleichung $F = \frac{P}{v}$? Wir nehmen vereinfacht an, daß die vom Motor abgegebene Leistung konstant ist.

97. Bei sportlicher Tätigkeit kann die Dauerleistung eines Menschen, die etwa $6 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ beträgt, für kurze Zeit beträchtlich überschritten werden. Berechne die Leistung

a) eines Gewichthebers, der in 2 s eine Scheibenhantel vom Gewicht 120 kp um 2,3 m hebt,

b) eines Hochspringers, der in $\frac{1}{10}$ s sein Körpergewicht von 65 kp um 1,10 m hebt!

98. Ermittle im Versuch deine Leistung beim Klettern an der Kletterstange! Es ist das eigene Körpergewicht um eine bestimmte Höhe zu heben. Welcher Schüler der Klasse vollbringt die größte körperliche Leistung? Führt einen Wettkampf durch!

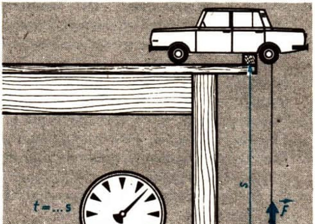
a) Gib die Leistung in $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ und in W an $\left(1 \frac{\text{kpm}}{\text{s}} \approx 10 \text{ W}\right)$!

b) Vergleiche sie mit der Leistung eines Kleinrollers ($P = 2{,}5$ kW) und eines Staubsaugermotors ($P = 300$ W)!

99. Wie groß ist deine Leistung, wenn du (ohne zu hasten) einen Eimer Kohlen aus dem Keller holst? Das eigene Körpergewicht soll dabei nicht berücksichtigt werden.

Richtwerte: Gewicht eines Briketts: 0,5 kp
Gewicht eines Eimers: 1,4 kp.

Bild 112/1



100. Bestimme die Leistung des Motors eines Spielzeugautos, indem du von der Hinterradwelle einen Zwirnfaden aufspulen läßt (Bild 112/1)! Hänge an das freie Ende des Zwirnfadens ein Wägestück, das der Motor gerade noch mit gleichbleibender Geschwindigkeit anheben kann! Dann miß Weg und Zeit und berechne die Arbeit! Die Zeitmessung kann mit einer Uhr mit Sekundenzeiger erfolgen. Fertige ein Meßprotokoll nach folgendem Muster an!

Nr. der Messung	Gewicht G in p	Kraft F in p	Weg s in cm	Zeit t in s	Leistung P in $\frac{\text{pcm}}{\text{s}}$

Bestimme den Mittelwert der Leistung aus mehreren Messungen!

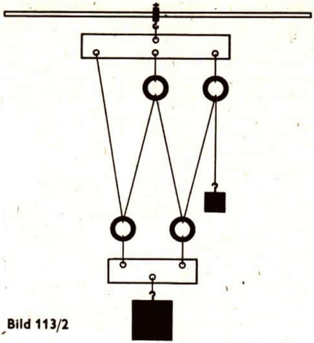
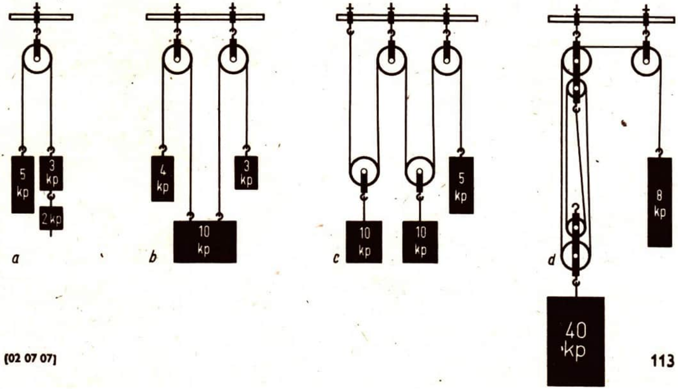


Bild 113/2

Zur Wiederholung (Seite 56 bis 62)

101. Ein aus zwei festen und zwei losen Rollen bestehender Flaschenzug habe einen Wirkungsgrad von 0,7. Welche Kraft ist erforderlich, um damit einen Körper mit einem Gewicht von 40 kp 5 m zu heben?
102. Wo besteht im Bild 113/1 Gleichgewicht? Wie kann man es gegebenenfalls herbeiführen?
103. Eine Kiste mit einem Gewicht von 120 kp wird mit Hilfe eines Flaschenzugs durch eine Kraft von a) 20 kp, b) 60 kp, c) 30 kp gehoben. An wieviel Seilstücken hängt die Kiste jeweils? Wieviel lose Rollen muß der Flaschenzug jeweils haben? (Die Reibung soll vernachlässigt werden.)
104. Mit Hilfe eines Flaschenzugs aus zwei festen und zwei losen Rollen (4 tragende Seilstücke) soll ein Motorblock mit einem Gewicht von 90 kp um 2 m gehoben werden. Berechne die aufzuwendende Kraft und die Arbeit! (Reibung vernachlässigen!)
105. Eine Kombination aus Ringen und Seilen (Bild 113/2) nennt man einen Klobenzug. Stelle einen Klobenzug her! Welcher Unterschied zum Flaschenzug besteht?

Bild 113/1



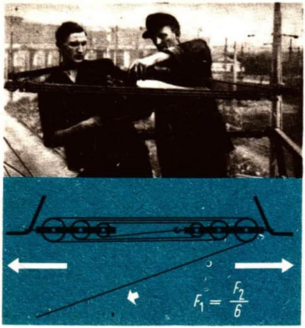


Bild 114/1

106. Beschreibe die Wirkungsweise eines Seilspanners für Fahrleitungsdrähte (Bild 114/1)!

107. Welche physikalische Vorrichtung erkennst du in den Ösen und Schnürsenkeln von Schnürschuhen?

108. Betrachte eine Maschine oder ein Gerät (z. B. Bohrmaschine, Kran, Traktor, Pflug, Kartoffellegemaschine) und ermittle, welche kraftumformenden Einrichtungen sie enthält! Welchen Zweck haben die Hebel, Rollen usw.? Fertige Übersichtsskizzen dazu an!

109. In dem Buch „Abenteuer mit Archimedes" von Karl Rezac (Der Kinderbuchverlag Berlin) wird die Entwicklung einiger kraftumformender Einrichtungen geschildert. Berichte nach dem Kapitel „Kindertage eines Riesen" in einem Schülervortrag, wie sich die Kräne entwickelt haben!

110. Ein Schifahrer fährt einen Hang hinab und den Gegenhang wieder hinauf. Warum erreicht er nicht wieder die Ausgangshöhe?

111. Kein Patentamt ist heute bereit, ein „perpetuum mobile" zu patentieren. Was würdest du dem „Erfinder" antworten, wenn du Angestellter des Patentamtes wärst?

112. Stelle in einer Tabelle alle dir bisher bekannten physikalischen Größen zusammen (Größe, Formelzeichen, Gleichung, Einheiten)!

Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

Druckkraft und Druck (Seite 64 bis 66)

113. Berechne den Druck, den ein Fußgänger und ein Schiläufer auf ihre Unterlage ausüben! Entnimm die Druckkraft und die gedrückte Fläche dem Bild 65/1!

114. Ein Kind ist im Eis eingebrochen und braucht schnelle Hilfe. Wie kannst du helfen, ohne selbst einzubrechen?

115. Ermittle die Fläche einer Schlittschuhkufe und berechne, welcher Druck beim Eislaufen mit deinem eigenen Gewicht als Druckkraft entsteht! Wie wirkt sich der Hohlschliff aus?

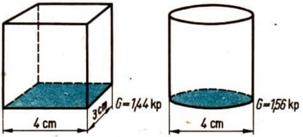
116. Bestimme, mit welchem Druck eine Nähnadelspitze auf einen Stoff wirkt, wenn sie eine Fläche von 0,025 mm² hat und mit den Fingern eine Druckkraft von 0,1 kp ausgeübt wird!

117. Durch welche Maßnahmen wird erreicht, daß Landmaschinen keinen zu großen Druck auf den Boden ausüben?

*118. Ein Ackerschlepper hat ein Gewicht von 950 kp. Er soll einen Druck von höchstens $0{,}7\ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ auf den Boden ausüben. Wie groß ist die Fläche, mit der die Räder aufliegen müssen?

119. Welcher der beiden Körper im Bild 114/2 übt den größeren Druck auf seine Unterlage aus?

Bild 114/2



120. Lege einen Mauerstein mit jeder Seitenfläche einmal auf eine waagerechte trockene Sandfläche! Schätze jedesmal, wie weit sich der Ziegel eingedrückt hat, und erkläre das Versuchsergebnis!

121. Um welche Strecke kannst du mit deinem Gewicht als Druckkraft einen Radiergummi zusammendrücken? Stelle dich bei dem Versuch auf ein kleines Brettchen, unter dem der Gummi liegt (Bild 115/1)! Verwende die bleibend verformte Knetmasse zur Messung! Wie groß war der ausgeübte Druck?

Bild 115/1

Der Kolbendruck (Seite 67 bis 72)

122. Mit einer hydraulischen Hebebühne soll ein Körper mit einem Gewicht von $F_2 = 6000$ kp um 2 m angehoben werden.
Fläche des Druckkolbens $A_1 = 3\ \text{cm}^2$,
Fläche des Preßkolbens $A_2 = 300\ \text{cm}^2$
Berechne:
a) die Kraft am Druckkolben,
b) die verrichtete Arbeit,
c) den Weg des Druckkolbens,
d) den Druck in der Flüssigkeit!

123. Ein Kolben mit dem Durchmesser $d = 50$ mm wird mit einer Kraft von 800 kp in einen mit Öl gefüllten Zylinder gedrückt. Wie groß ist der Kolbendruck in der Flüssigkeit?

124. Bei einer hydraulischen Hebevorrichtung beträgt der zulässige Druck 16 at. Der Preßkolben hat einen Durchmesser von 80 mm. Wie groß ist das Höchstgewicht des zu hebenden Körpers?

125. Fülle einen Beutel aus Plastfolie, in den einige kleine Löcher gestochen wurden, mit Wasser! Halte den Beutel zu und drücke ihn zusammen! Beobachte die Richtung der Wasserstrahlen! Was wird mit diesem Versuch nachgewiesen?

126. Versenke in einer wassergefüllten Flasche ein nach unten offenes Tablettenröhrchen, das knapp zur Hälfte mit Luft gefüllt ist (Bild 115/2)! Setze einen Korken auf die Flasche, so daß keine Luftblase darunter

Bild 115/2

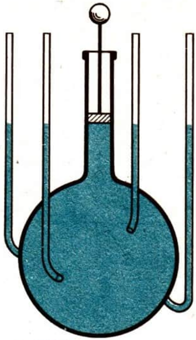


Bild 115/3

bleibt! Drücke den Korken kräftig ein und beobachte die Luft in dem Tablettenröhrchen! Erkläre das Versuchsergebnis!

Der Schweredruck (Seite 73 bis 86)

127. Ein Tauchsportler befindet sich in einer Tiefe von 8,5 m. Wie groß ist die Druckkraft, die 1 dm² seiner Körperoberfläche infolge des Schweredrucks des Wassers erfährt?

*128. Berechne den Schweredruck des Wassers an der tiefsten Stelle der Ozeane (etwa 11 km)! Die Wichte des Meerwassers beträgt $1{,}03\ \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$. Wie groß ist der vom Salzgehalt des Meerwassers herrührende Anteil des Druckes?

129. Wie hoch ist eine Wassersäule, die den Schweredruck 2,7 at hervorruft?

*130. Vor einem 150 m breiten Damm wird Wasser 14 m hoch gestaut. Berechne die Druckkraft, die vom gestauten Wasser auf den Damm ausgeübt wird! Verwende beim Berechnen den durchschnittlichen Druck; dieser herrscht in der halben Wassertiefe vor der Mauer!

131. In dem Glasgefäß (Bild 115/3) befindet sich Wasser. Es steht zunächst in allen angeschlossenen Röhren gleich hoch. Wie ändert sich der Wasserstand in den Röhren, wenn der Kolben nach unten gedrückt wird?

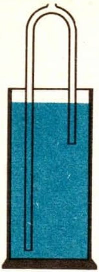


Bild 116/1

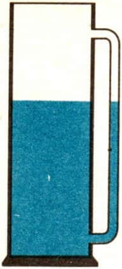


Bild 116/2

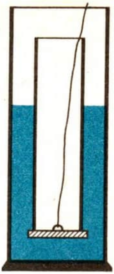


Bild 116/3

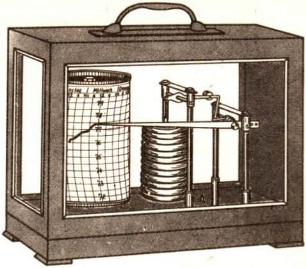


Bild 116/4

132. Infolge einer Verstopfung füllt sich das 6 m lange Fallrohr einer Dachrinne mit Wasser. Berechne die Druckkraft, die 1 dm² der Rohrwand am unteren Ende des Rohres erfährt!
133. Eine Gasblase steigt vom Grunde eines Gewässers auf. Wie ändert sich dabei ihr Durchmesser?

Bei den folgenden Versuchen sind mehrfach Plast-Trinkröhrchen zu biegen. Die Röhrchen werden in heißem Wasser erweicht, in die gewünschte Form gebracht und dann in kaltem Wasser wieder „gehärtet".

134. Biege ein Plaströhrchen in die abgebildete U-Form (Bild 116/1)! Bohre an der Außenseite der Krümmung eine kleine Öffnung! Tauche jetzt das Röhrchen mit beiden Enden einige Zentimeter tief in Wasser und blase ganz vorsichtig in die Bohrung! Beschreibe und erkläre deine Beobachtungen!
135. Stelle dir ein Röhrchen wie beim vorigen Versuch, jetzt aber mit gleichlangen Schenkeln her! Bringe die eine Öffnung in ein Tablettenröhrchen mit Wasser, die andere gleich tief in ein Röhrchen mit konzentrierter Kochsalzlösung! Blase wieder in die Öffnung! Welche Erkenntnis liefert der Versuch?
136. Baue das Modell eines Wasserstandsmessers aus einer Konservendose und einem durchsichtigen Plaströhrchen! Die Bohrungen können mit Nägeln geeigneter Dicke hergestellt werden. Nach dem Anbringen des Röhrchens wird mit Alleskleber abgedichtet (Bild 116/2).
137. Baue das Modell eines Springbrunnens aus einer Konservendose und einer Leitung aus Plaströhrchen! (Vor dem Zusammenstecken wird das eine Rohrende etwas im heißen Wasser erwärmt.)
138. Verschließe ein Tablettenröhrchen mit einem Stopfen, durch den ein Plaströhrchen führt! Tauche das Versuchsgerät in waagerechter Lage in einen wassergefüllten Eimer! Beschreibe und begründe deine Beobachtungen!
139. Verschließe einen beiderseits offenen Glaszylinder mit einer gut dichtenden Glasplatte nach Bild 116/3! Halte die Glasplatte mit einem Faden fest, während du den Zylinder in Wasser tauchst! Lasse dann den Faden los! Was beobachtest du? Fülle den Zylinder allmählich mit Wasser! (Lasse das Wasser an der Innenseite des Zylinders herablaufen!) Bei welchem Wasserstand im Zylinder fällt die Platte ab? Zu welchen Erkenntnissen über den Schweredruck in Flüssigkeiten führt dieser Versuch?
140. In einem Weckglas herrscht der Druck 50 Torr. Der äußere Luftdruck beträgt 765 Torr. Der Deckel hat die Fläche 76 cm². Wie groß ist die Kraft, die den Deckel festhält? (Runde auf volle Kilopond!)
141. Aus einem 50 m tiefen Schacht ist Wasser herauszupumpen. Was für Pumpen sollen verwendet werden? Wo sind die Pumpen aufzustellen?

142. Der Luftdruck fällt nahe der Erdoberfläche um 1 Torr, wenn die Höhe um 10,5 m zunimmt. Berechne nach diesen Angaben den mittleren Luftdruck in deinem Heimatort!
143. Erkläre die physikalischen Vorgänge beim Trinken mit dem Strohhalm!
144. Erkläre die Wirkungsweise der Gummisauger, die zum Beispiel zum Befestigen von Seifenschalen an Kachelwänden benutzt werden!
145. Beschreibe die Arbeitsweise des Barografen (Schweredruckschreiber) nach Bild 116/4!
146. In dem unten offenen Glaszylinder (Bild 117/1) steht eine Wassersäule von 10 cm Höhe (Höhe auf die Wasseroberfläche bezogen). Darüber befindet sich Luft. Was läßt sich über den Druck der eingeschlossenen Luft aussagen?
147. Welche Rolle spielt der Luftdruck beim Füllen eines Füllfederhalters?
148. Führe während einer Woche eine Luftdrucktabelle und fertige eine grafische Darstellung an! Was bedeuten die Begriffe „Hoch“ und „Tief“ im Wetterbericht!
*149. Eine Fahrradpumpe ist durch Umdrehen der Ledermanschette in eine Saugpumpe für Luft verwandelt worden. Welche Kraft ist erforderlich, um bei zugehaltenem Ventilanschluß den Kolben herauszuziehen? (Der Luftdruck betrage 760 Torr, der Kolben hat einen Durchmesser von 2,5 cm.)
150. Vergleiche die Gewichte eines Fußballs, der erst schwach und danach prall aufgepumpt ist!
151. Fülle einen Zahnputzbecher vollständig mit Wasser! Bedecke ihn mit einer Kartonscheibe! Drehe den Becher um! Halte dabei die Kartonscheibe zuerst fest und lasse sie dann los! Warum fällt der Karton nicht ab? (Führe den Versuch vorsichtshalber über einer großen Schüssel aus!)

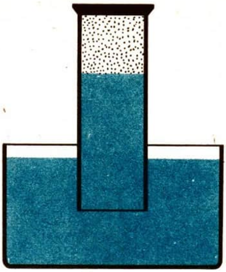


Bild 117/1

Der statische Auftrieb (Seite 87 bis 93)

152. Wie ändert sich der Tiefgang eines Schiffes, wenn es aus einem Fluß kommend auf das Meer gelangt?
153. Ein Ball hat das Volumen 4 dm^3 und das Gewicht 300 p. Er soll unter Wasser festgehalten werden. Wie groß ist die dazu erforderliche Kraft?
154. Es wird oft behauptet, man könne im Meer leichter als in Binnengewässern schwimmen. Welche physikalischen Gründe lassen sich dafür angeben?
155. Bild 117/2 zeigt, wie ein Schiff in Dock gebracht wird. Erkläre den Ablauf des Vorganges! Welches physikalische Gesetz wird ausgenutzt?
156. Ein Matrose ist mit dem Anstreichen eines Schiffes beschäftigt. Er steht auf einer Strickleiter 30 cm über der Wasseroberfläche. Die Leitersprossen haben den Abstand 20 cm. Bei der Flut steigt das Wasser um 85 cm. Wieviel Sprossen muß der Matrose hinaufklettern, damit er nicht naß wird?

Bild 117/2

Bild 118/1

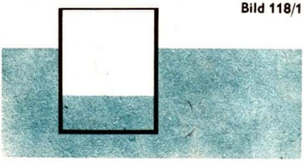


Bild 118/2

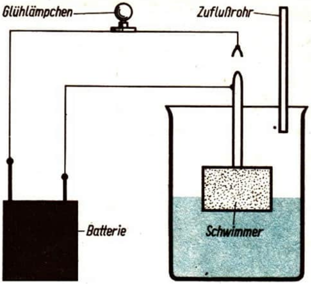


Bild 118/3

157. Eine schwimmende Eisscholle hat das Gewicht 180 Mp. Die Wichte des Eises beträgt $0{,}9\ \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$, die des Meerwassers $1{,}03\ \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$.
  a) Berechne das Volumen des Eises!
  b) Berechne das Volumen des verdrängten Wassers!
  c) Fertige eine Skizze an, aus der zu ersehen ist, wie weit die Eisscholle aus dem Wasser ragt! (Nimm dabei an, daß die Eisscholle die Form eines Quaders hat!)
158. Ein quaderförmiger Holzklotz hat die Abmessungen: Länge 15 cm, Breite 8 cm, Höhe 5 cm. Er ragt beim Schwimmen 2 cm aus dem Wasser (Bild 118/1). Berechne:
  a) Das Gewicht des Holzkörpers,
  b) die Wichte des Holzes!
159. Die schwimmende Dose (Bild 118/2) hat eine Grundfläche von 10 cm^2. In die Dose werden 25 cm^3 Wasser zugefüllt. Um welche Strecke sinkt die Dose tiefer ein?
160. Ein Ballon hat das Volumen 1800 m^3. Er ist mit Helium $\left(\text{Wichte } 0{,}18\ \frac{\text{kp}}{\text{m}^3}\right)$ gefüllt. Die Ballonhülle und die Gondel haben zusammen das Gewicht 300 kp. Wieviel Passagiere mit einem Gewicht von je 70 kp könnten einsteigen, wenn außer ihnen noch wissenschaftliche Apparate mit einem Gewicht von 1000 kp mitgeführt werden und der Ballon eine Steigkraft von 130 kp behalten soll? $\left(\text{Wichte der Luft } 1{,}2\ \frac{\text{kp}}{\text{m}^3}\right)$
161. Bringe ein Stück einer geschälten rohen Kartoffel in ein wassergefülltes Becherglas! Füge dem Wasser in kleinen Portionen Kochsalz zu und rühre dabei ständig um, bis sich das Salz gelöst hat! Beobachte das Kartoffelstück und erkläre sein Verhalten!

*162. Lasse eine zur Hälfte mit Wasser gefüllte Konservendose in Wasser schwimmen! Gieße vorsichtig so lange Wasser in die Dose, bis sie sinkt! Welcher Füllstand ist kurz vor dem Sinken zu beobachten? Zu welcher Erkenntnis führt dieser Versuch?

163. Lege in eine Blechdose eine Glasmurmel und einen Korken! Fülle danach feinen trockenen Sand ein! Schüttle jetzt die Dose einige Zeit! Für welchen Vorgang ist dieser Versuch als Modell zu betrachten?
164. Stecke ein kleines Tablettenröhrchen mit der Öffnung nach unten in eine wassergefüllte Flasche! Neige die Flasche so, daß aus dem Röhrchen Luft entweichen kann! Lasse so lange Luft entweichen, bis das Röhrchen beim Schwimmen nur noch etwa 2 mm aus dem Wasser ragt! Fülle jetzt die Flasche bis zum Rande mit Wasser und setze einen Korken auf, unter dem keine Luftblase bleiben darf! Beim Hineindrücken des Korkens versinkt das Röhrchen, nach kurzer Zeit steigt es von selbst wieder nach oben. Erkläre das Sinken und Steigen des Röhrchens mit dem Archimedischen Gesetz! Nutze dabei die Erfahrungen von Versuch 126!
165. Baue gemäß Bild 118/3 einen Wasserstandsmelder! Welche Vorteile hat diese Anzeige im Vergleich zum Wasserstandsglas? Schlage vor, wie man den Wasserstandsmelder verändern könnte, damit seine Wirkung weiter verbessert wird!

Strömende Flüssigkeiten und Gase (Seite 94 bis 100)

166. Aus einem Wasserleitungshahn strömt ein Wasserstrahl von 0,6 cm Durchmesser mit einer Geschwindigkeit $16\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Wie groß ist die Geschwindigkeit im Zuleitungsrohr, das einen Innendurchmesser von 2,4 cm hat?

167. Bei einer hydraulischen Hebevorrichtung hat der Druckkolben den Durchmesser $d_1 = 2$ cm, der Preßkolben den Durchmesser $d_2 = 0{,}8$ dm. Ein Körper soll in einer Minute um 2 cm gehoben werden. Wie groß muß die Geschwindigkeit des Druckkolbens sein?

168. Die beiden Boote des Bildes 119/1 sind nebeneinander in einem Fluß verankert. Zeichne die Stromlinien in der Umgebung der Boote und schließe daraus, wie die Boote von der Strömung beeinflußt werden! Was wird geschehen, wenn die Boote nebeneinander durch ein ruhendes Gewässer fahren?

169. Ein zylindrischer Wasserbehälter hat einen Innendurchmesser von 6 dm. Aus einer kleinen Öffnung im Boden strömt ein Wasserstrahl mit 1,2 cm² Querschnittsfläche aus. Man beobachtet, daß der Wasserspiegel im Behälter während einer Minute um 1 cm fällt. Wie groß ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des austretenden Strahls?

170. Bei Sturmwind können ganze Dächer abgehoben werden. Erkläre an Hand eines selbst gezeichneten Stromlinienbildes, welche Drücke oberhalb und unterhalb der Dachfläche herrschen! Wie groß ist die Druckkraft, die ein Flachdach von 8 m Länge und 6 m Breite erfährt, wenn der Druck unterhalb des Daches um 0,0024 at größer als oberhalb ist?

171. Biege zwei Kartonstreifen gemäß Bild 119/2 und hänge sie beweglich auf! Blase zwischen den Kartonstreifen durch! Erkläre!

172. Lasse in einem wassergefüllten hohen Standzylinder nahe der Wand eine Glaskugel absinken! Erkläre!

173. Baue aus Karton ein Windrad gemäß Bild 119/3! Überzeuge dich davon, daß das Windrad in Drehung versetzt wird, wenn es durch einen Luftstrom von der Seite angeblasen wird oder wenn es senkrecht zu seiner größten Fläche durch die Luft bewegt wird! Bestimme den Umdrehungssinn! Erkläre, wie die Drehung zustande kommt!

174. Stromlinienbilder lassen sich auch mit einem einfachen Modellversuch herstellen. Ein Löschpapierstreifen der abgebildeten Form (Bild 119/4) 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 diesen Versuch aus und erkläre, weshalb das Wasser in das Löschpapier eindringt!

Bild 119/1

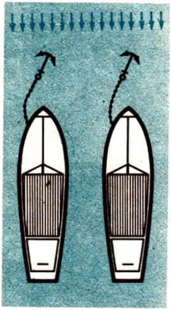


Bild 119/2

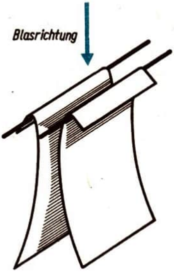


Bild 119/3

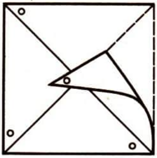
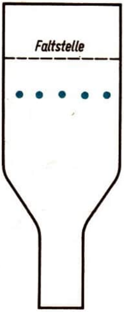


Bild 119/4



Zusammensetzen von Kräften	M1

Aufgabe

Ermittle die Gesamtkraft aus zwei Teilkräften mit gleichen Wirkungslinien und Richtungen und mit gemeinsamem Angriffspunkt!

Vorbetrachtungen

1. Wie lautet die Gleichung, mit deren Hilfe der Betrag der Gesamtkraft $\vec{F}$ zweier Teilkräfte F_1 und F_2 mit gleichen Wirkungslinien und Richtungen und mit gemeinsamem Angriffspunkt ermittelt werden kann?
2. Vergleiche Beträge und Richtungen der Kräfte $\vec{F_1}$ und $\vec{F_2}$ im Bild 120/1! Die Schnur veranschaulicht die Wirkungslinie, auf der die Gegenkraft $\vec{F_2}$ verschoben wurde.

Geräte und Hilfsmittel

2 Rollen
9 Hakenkörper, je 10 p
Hakenkörper, 50 p
Schnur
2 Stative mit Muffen, Klemmen und Haken

Arbeitsanweisung

1. Baue ein Stativ mit einer Umlenkrolle auf (Bild 120/1)! Hänge Hakenkörper mit einem Gewicht $F_1 = 20$ p an eine Schnur und lege diese Schnur über die Umlenkrolle! Befestige am anderen Ende der Schnur ebenfalls Hakenkörper, bis Kräftegleichgewicht eintritt!
2. Baue ein zweites Stativ mit einer Umlenkrolle auf und kombiniere es mit dem ersten Stativ entsprechend dem Bild 120/2!
3. Hänge einen Hakenkörper mit einem Gewicht $F_2 = 50$ p an eine Schnur, lege diese Schnur über die zweite Umlenkrolle und befestige sie

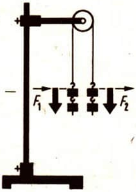


Bild 120/1

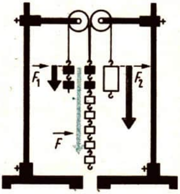


Bild 120/2

an den Hakenkörpern in der Mitte! Halte mit einer Hand die Hakenkörper in der Mitte fest!
4. Hänge an die Hakenkörper in der Mitte nacheinander weitere Hakenkörper mit einem Gewicht von je 10 p, bis Kräftegleichgewicht eintritt!
5. Die Hakenkörper in der Mitte bilden die Gesamtkraft $\vec{F}$! Vergleiche Beträge, Wirkungslinien und Richtungen aller Kräfte! Welche Erkenntnis kann man aus dem Versuchsergebnis gewinnen? Vergleiche mit den Vorbetrachtungen unter 1.!
6. Überprüfe rechnerisch und zeichnerisch das Versuchsergebnis!

Versuchsprotokoll M 1

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. $F =$
2. . . .

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:

$F_1 =$
$F_2 =$
$F \doteq$

Ermittlung der Gesamtkraft:

Rechnerische Lösung: Zeichnerische Lösung:

Ergebnis:

Fehlerbetrachtung:

Wo können die Ursachen dafür liegen, daß der Betrag der experimentell ermittelten Gesamtkraft $\vec{F}$ etwas kleiner als der Betrag der rechnerisch und zeichnerisch ermittelten Gesamtkraft ist?

Bestimmen der Arbeit beim Dehnen einer Feder — M2

Aufgabe

Bestimme die Arbeit, die beim Dehnen einer Schraubenfeder verrichtet wird! Benutze dazu ein Arbeitsdiagramm!

Vorbetrachtungen

1. Nenne die Gleichung, die der Berechnung der Arbeit dient!
2. Welcher Unterschied besteht zwischen der Verschiebungsarbeit und der Arbeit beim Dehnen einer Schraubenfeder?
3. Wie kann aus einem Arbeitsdiagramm der Betrag der Arbeit ermittelt werden?

Geräte und Hilfsmittel

Schraubenfeder
Kraftmesser (100 p)
Lineal
Zeiger
Stativmaterial

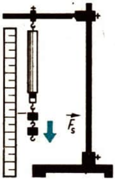


Bild 121/1

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Baue die Versuchsanordnung entsprechend dem Bild 121/1 auf! Stelle das Lineal auf!
3. Verschiebe die Aufhängung der Schraubenfeder so, daß der an ihr befestigte Zeiger auf den Wert 0 am Lineal zeigt, wenn an ihr keine Kraft wirkt!
4. Miß für sechs verschiedene Werte zwischen 0 p und 100 p die wirkende Kraft und die Verlängerung der Feder (den Weg)! (Protokoll!)
5. Beschrifte die Achsen des Diagramms (Bild 121/2)! Wähle dabei einen zweckmäßigen Maßstab!
6. Übertrage die Meßwertpaare aus der Tabelle in das Diagramm!
7. Verbinde die eingetragenen Punkte und schraffiere die Fläche unter der gefundenen Kurve!
8. Berechne die Arbeit mit Hilfe des Diagramms! (Protokoll!)
   Anmerkung: Hilfe gibt dir dazu das Lehrbuch, Seite 25.

Versuchsprotokoll M 2

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ... 2. ... 3. ...

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:

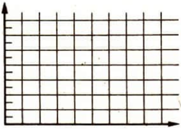
Kraft, die an der Schraubenfeder wirkt: F_s
Verlängerung der Feder (Weg):

F_s in p	s in cm

Berechnung: $W =$

Ergebnis:

Bild 121/2



Bestimmen der Gleitreibungszahl	M 3

Aufgabe

Ermittle die Gleitreibungszahl, wenn ein Holzquader auf einem Holzbrett gleitet!

Vorbetrachtungen

1. Unter welchen Bedingungen treten Reibungskräfte auf?
2. Welche Arten von Reibungskräften unterscheidet man?
3. Wovon hängt die Gleitreibungskraft ab?

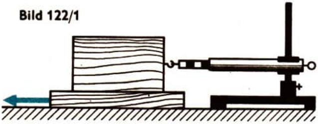
Geräte und Hilfsmittel

Holzquader mit Haken
Holzbrett
Kraftmesser (100 p)
Stativfuß
Stativstab, 15 cm
Kreuzmuffe
Schnur

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Baue die Versuchsanordnung nach dem Bild 122/1 auf!

Bild 122/1



3. Bewege das Holzbrett gleichförmig so unter dem Quader hinweg, daß am Kraftmesser ein gleichbleibender Wert abgelesen werden kann! Probiere dies erst mehrmals, ohne den abgelesenen Wert in das Protokoll einzutragen!
4. Miß die Reibungskraft dreimal! (Protokoll!)
5. Miß das Gewicht des Quaders! (Protokoll!)
6. Berechne die Gleitreibungszahl für jede der drei Messungen! (Protokoll!)
7. Ermittle den Mittelwert der Gleitreibungszahl und formuliere das Ergebnis! (Protokoll!)
8. Begründe, weshalb sich für die Gleitreibungszahl unterschiedliche Werte ergeben!

Versuchsprotokoll M 3

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:
Gewicht des Quaders: G
Reibungskraft: F_R
Gleitreibungszahl: μ

Messung	G in p	F_R in p	μ
1			
2			
3			
Summe	—	—	

Mittelwert der Gleitreibungszahl:

Ergebnis:

Begründung zu 8.:

Bestimmen der Arbeiten an Rollen	M4

Aufgabe

Vergleiche Kräfte, Wege und Arbeiten an der festen und an der losen Rolle!

Vorbetrachtungen

1. Wodurch unterscheiden sich feste und lose Rolle?
2. Welchem Zweck dienen feste und lose Rolle?
3. Welche Art von Kräften kann durch Seile übertragen werden?

Geräte und Hilfsmittel

feste Rolle
lose Rolle
Hakenkörper
Kraftmesser (100 p)
Schnur
Lineal
Stativfuß
Stativstab, 50 cm
Stativstab, 15 cm
2 Kreuzmuffen
Ring mit Haken

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Baue die Versuchsanordnung für die feste Rolle auf (Bild 123/1)!
3. Wähle $F_2 = 100$ p und stelle das Gleichgewicht her! Ermittle die Kraft F_1! (Protokoll!)
4. Ersetze die Hakenkörper durch einen Kraftmesser und laß die Kraft F_1 längs des Weges $s_1 = 10$ cm wirken! Miß die Kraft F_1 und den Weg s_2, längs dem die Kraft F_2 wirkt! (Protokoll!)
5. Wiederhole die Messungen (siehe Punkt 3 und 4) mit $F_2 = 50$ p! (Protokoll!)
6. Baue die Versuchsanordnung für die lose Rolle auf (Bild 123/2)!
7. Wiederhole die Messungen, wie sie im Punkt 3 bis 5 angegeben sind, an der losen Rolle! Beachte, daß du bei F_2 jetzt das Gewicht der losen Rolle mit berücksichtigen mußt! (Protokoll!)
8. Berechne die Arbeiten, die an der festen und an der losen Rolle verrichtet wurden! (Protokoll!)
9. Vergleiche die Kräfte F_1 und F_2, die Wege s_1 und s_2 und die Arbeiten W_1 und W_2 zunächst an der festen und dann an der losen Rolle! Benutze dabei die Zeichen $>$, $=$, $<$! (Protokoll!)
10. Formuliere das Ergebnis! (Protokoll!)
11. Führe eine Fehlerbetrachtung durch!

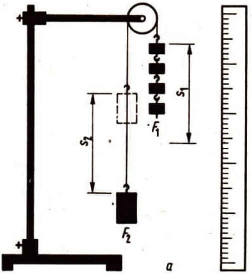


Bild 123/1

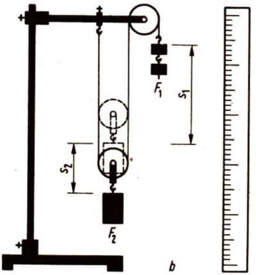


Bild 123/2

Versuchsprotokoll M 4

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Für das Gleichgewicht gilt (Pkt. 3 der Arbeitsanweisung):

	F_1 in p	F_2 in p
a) feste Rolle		100 50
b) lose Rolle		100 50

Beim Verrichten von Arbeit gilt (Pkt. 4 der Arbeitsanweisung):

	F_1 in p	F_2 in p	s_1 in cm	s_2 in cm	W_1 in pcm	W_2 in pcm
a) feste Rolle		100	10			
		50	10			
b) lose Rolle		100	10			
		50	10			

Vergleiche!

a) feste Rolle	F_1 F_2	s_1 s_2	W_1 W_2
b) lose Rolle	F_1 F_2	s_1 s_2	W_1 W_2

Ergebnis:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der Arbeit an der geneigten Ebene — M5

Aufgabe

Hebe einen Körper einmal senkrecht und einmal mit Hilfe einer geneigten Ebene um die Strecke h, berechne die Arbeiten und bestätige den Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit!

Vorbetrachtungen

1. Wie lautet der Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit?
2. Welche Schlußfolgerung kann man aus dem Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit ziehen, wenn man mit Hilfe einer kraftumformenden Einrichtung Kraft spart?
3. Wovon hängt an der geneigten Ebene der Betrag der Hangabtriebskraft ab?

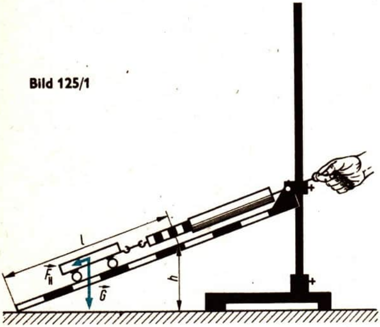
Geräte und Hilfsmittel

Brett für geneigte Ebene
Wagen für geneigte Ebene
Kraftmesser (250 p)
Schnur
Lineal
Stativfuß
Stativstab, 50 cm
Stativstab, 15 cm
Kreuzmuffe
Ring mit Haken

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Baue die Versuchsanordnung nach dem Bild 125/1 auf!
3. Bewege den Wagen längs der geneigten Ebene, indem du am Kraftmesser ziehst. Miß die dazu benötigte Kraft F_H und den zurückgelegten Weg l! (Protokoll!)
4. Hebe nun den Wagen um die gleiche Höhe senkrecht hoch, um die er mittels der geneigten Ebene gehoben wurde! Miß das Gewicht des Wagens und den zurückgelegten Weg (Höhe)! (Protokoll!)
5. Berechne für beide Fälle die Arbeiten $W_1 = F_H \cdot l$ und $W_2 = G \cdot h$ und vergleiche sie! (Protokoll!) Begründe das Ergebnis!
6. Gib an, wobei während des Versuches Fehler entstehen können!

Bild 125/1



Versuchsprotokoll M 5

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:
Gewicht des Wagens: G
Hangabtriebskraft: F_H
Länge der geneigten Ebene: l
Höhe der geneigten Ebene: h

F_H in p	l in cm	$W_1 = F_H \cdot l$ in pcm	G in p	h in cm	$W_2 = G \cdot h$ in pcm

Vergleiche die beiden Arbeiten!

Ergebnis:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der Wichte mit Meßzylinder | M 6

Aufgabe

Ermittle durch Wichtebestimmung den Stoff, aus dem ein gegebener fester Körper vermutlich besteht!

Vorbetrachtungen

1. Nenne die Gleichung, mit deren Hilfe du die Wichte eines Körpers berechnen kannst!
2. Welche physikalischen Größen mußt du messen, damit du die Wichte eines Körpers ermitteln kannst?
3. Wodurch unterscheidet sich die Wichte von der Dichte?
4. Weshalb kann man eine Dichtetabelle auch für das Ermitteln der Wichte benutzen?

Geräte und Hilfsmittel

Kraftmesser (100 p)
Meßzylinder (250 ml)
fester Körper, lackiert
Schnur
Wasser

Arbeitsanleitung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Ermittle das Gewicht des Körpers! Wiederhole die Messung zweimal! (Protokoll!)
3. Fülle den Meßzylinder zur Hälfte mit Wasser!
4. Bestimme das Volumen des Körpers durch Wasserverdrängung (Bild 126/1)! Führe ebenfalls drei Messungen durch! (Protokoll!)

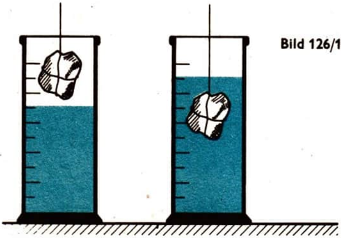


Bild 126/1

5. Berechne für alle drei Fälle die Wichte! Benutze für alle Divisionen den Rechenstab! (Protokoll!)
6. Berechne den Mittelwert der Wichte! (Protokoll!)
7. Stelle an Hand der Dichtetabelle im Buch „Tabellen und Formeln“ fest, aus welchem Stoff der Körper vermutlich besteht!
8. Welche Fehler können auftreten?

Versuchsprotokoll M 6

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:
Gewicht des Körpers: G
Volumen des Körpers: V
Wichte des Körpers: γ

Messung	G in p	V in cm^3	γ in $\frac{p}{cm^3}$
1 2 3			
Summe:	–	–	

Mittelwert der Wichte:

$$\gamma = \qquad \frac{p}{cm^3}$$

Ergebnis:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen des statischen Auftriebs	M7

Aufgabe

Bestimme den statischen Auftrieb eines Körpers in Wasser und in einer Kochsalzlösung mit Hilfe eines Kraftmessers!

Vorbetrachtungen

1. Was ist der statische Auftrieb?
2. Welche Größen muß man messen, um den Auftrieb berechnen zu können?
3. Was kannst du voraussagen, wenn du den Auftrieb des Körpers in Wasser mit dem in einer Kochsalzlösung vergleichst?
4. Warum muß die Dichte des Versuchskörpers größer als $1 \frac{g}{cm^3}$ sein?

Geräte und Hilfsmittel

Kraftmesser (100 p)
Standzylinder (250 ml)
fester Körper
Bindfaden
Becherglas mit Wasser
Kochsalzlösung

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Bestimme das Gewicht G_L des Körpers in Luft! (Protokoll!)
3. Bestimme das Gewicht G_{Fl} des Körpers in Wasser (Bild 127/1)! (Protokoll!)

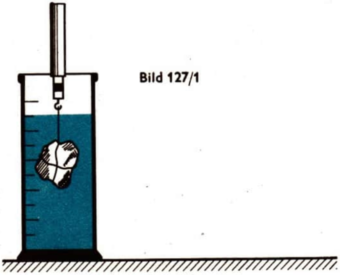


Bild 127/1

4. Berechne den Auftrieb F_A aus der Gewichtsdifferenz! (Protokoll!)
5. Wiederhole den Versuch (Punkt 2. bis 4.) mit einer Kochsalzlösung! (Protokoll!)
6. Vergleiche die beiden für den Auftrieb ermittelten Werte und begründe das Ergebnis! (Protokoll!)

Versuchsprotokoll M 7

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:

Gewicht des Körpers in Luft: G_L
Gewicht des Körpers in der Flüssigkeit: G_{Fl}
Auftrieb: F_A

$G_L = \dots$ p

Flüssigkeit	G_{Fl} in p	F_A in p
Wasser		
Kochsalzlösung		

Berechnungen: a) Wasser $G_L - G_{Fl} =$
b) Kochsalzlösung $G_L - G_{Fl} =$

Ergebnis: (Antwort zu 6.)

Bestimmen der Wichte mit Kraftmesser	**M 8**

Aufgabe
Bestimme die Wichte einer Kochsalzlösung mit Hilfe eines Kraftmessers und eines Meßzylinders!

Vorbetrachtungen
1. Nenne die Gleichung für die Wichte!
2. Überlege, wie du das Archimedische Gesetz benutzen kannst, um das Gewicht eines flüssigen Körpers mittels eines Kraftmessers zu bestimmen!
3. Welche Größe mußt du messen, um das Gewicht der Flüssigkeitsmenge zu bestimmen?

Geräte und Hilfsmittel
Meßzylinder (250 ml)
Kochsalzlösung
Kraftmesser (100 p)
fester Körper
Schnur

Arbeitsanweisung
1. Bereite das Protokoll vor!
2. Bestimme das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit, indem du den Auftrieb ermittelst den der eingetauchte Körper erfährt! Verfahre, wie in Punkt 2 bis 4 des Versuchsauftrages **M 7** angegeben ist! (Protokoll!)
3. Ermittle das Volumen der verdrängten Flüssigkeit! Miß dazu erst das Volumen V_o der Flüssigkeit ohne eingetauchten Körper, dann das Volumen V_m von Flüssigkeit und eingetauchtem Körper! Die Differenz $V_m - V_o$ ist dann das Volumen V_{Fl} der verdrängten Flüssigkeit. (Protokoll!)
4. Berechne aus den gemessenen Werten die Wichte der Kochsalzlösung! (Protokoll!)
5. Schätze die Genauigkeit des Meßergebnisses ein!

Versuchsprotokoll M 8

Name: **Klasse:**

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
3. ...

Meßwerte und Berechnungen:

Zu ermittelnde Größen:

Gewicht des Körpers in Luft:
$G_L = \ldots\ldots$ p

Gewicht des Körpers in Flüssigkeit:
$G_{Fl} = \ldots\ldots$ p

Auftrieb des festen Körpers = Gewicht der verdrängten Flüssigkeit:
$F_A = G_L - G_{Fl} = \ldots\ldots$ p

Volumen der Flüssigkeit ohne eingetauchten Körper:
$V_o = \ldots\ldots$ cm³

Volumen von Flüssigkeit und eingetauchtem Körper zusammen:
$V_m = \ldots\ldots$ cm³

Volumen der verdrängten Flüssigkeit:
$V_{Fl} = V_m - V_o = \ldots\ldots$ cm³

Wichte der Kochsalzlösung:
$\gamma = \ldots\ldots$

Berechnung:

Ergebnis:

Fehlerbetrachtung:

Anhang

Formelzeichen und Einheiten

Abschnitte	physikalische Größe	Formelzeichen	Einheiten (Kurzzeichen)
Die Kraft und ihre grafische Darstellung	Kraft	F	mp, p, kp, Mp
Die mechanische Arbeit	Weg	s	cm, m, km
	Hubhöhe	h	cm, m
	Arbeit	W	kpm, pcm
	Reibungskraft	F_R, F_g, F_h	kp, p
	Gleitreibungszahl	μ	—
	Haftreibungszahl	μ_0	—
Arbeit an kraftumformenden Einrichtungen	Länge der geneigten Ebene	l	cm, m
	Höhe der geneigten Ebene	h	cm, m
	Kraftarme	l_1, l_2	cm, m
	Kraftwege	s_1, s_2	cm, m
	Wirkungsgrad	η	—
Die mechanische Energie	Energie	W	kpm, pcm
	potentielle Energie	W_{pot}, W_{elast}	kpm, pcm
	kinetische Energie	W_{kin}	kpm, pcm
Die Leistung	Leistung	P	$\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$, $\frac{\text{pcm}}{\text{s}}$ W, kW, PS
Druckkraft und Druck	Druck	p	$\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$, at
Der Schweredruck	Wichte	γ	$\frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$
	Luftdruck	p	Torr
Der statische Auftrieb	Auftrieb	F_A	p, kp

Merksätze und Gleichungen

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
Die Kraft und ihre grafische Darstellung	Die Kraft ist eine physikalische Größe. Jede physikalische Größe ist als Produkt aus Zahlenwert und Einheit anzugeben	
	Kräfte wirken stets zwischen mindestens zwei Körpern	
	Kräfte können die Geschwindigkeit oder die Form der Körper ändern	
	Zu jeder Kraft gehört eine gleich große Gegenkraft. Kraft und Gegenkraft haben entgegengesetzte Richtungen. Wird an einer Schraubenfeder die angreifende Kraft verdoppelt, verdreifacht usw., so verdoppelt, verdreifacht usw. sich auch die Verlängerung der Schraubenfeder	$F \sim l$
	Wirken mehrere Kräfte gleichzeitig auf einen Körper, so kann man diese Kräfte zu einer Gesamtkraft zusammensetzen	
	Für gleichgerichtete (entgegengerichtete) Kräfte mit gemeinsamer Wirkungslinie erhält man den Betrag der Gesamtkraft, indem man die Summe (die Differenz) der Beträge der Teilkräfte bildet	$F_G = F_1 + F_2$ $(F_G = F_1 - F_2)$
	Kräfte können auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden	
	Wirken mehrere Kräfte gleichzeitig so auf einen ruhenden festen Körper, daß er in Ruhe bleibt, dann sind die Kräfte im Gleichgewicht	
Die mechanische Arbeit	Beim Heben eines Körpers wird Hubarbeit verrichtet	
	Die Hubarbeit ist das Produkt aus dem Gewicht des Körpers und der Hubhöhe. Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn eine Kraft längs eines Weges wirkt. Sie errechnet sich als Produkt aus der in Richtung des Weges wirkenden Kraft und dem zurückgelegten Weg. Eine besondere Form der Verschiebungsarbeit ist die Reibungsarbeit	$W = G \cdot h$ $W = F \cdot s$ $W_R = F_R \cdot s$

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
	Der Bewegung aller Körper wirken Reibungskräfte entgegen. Die Reibungskraft ist dem Gewicht des Körpers proportional. Sie ist unabhängig vom Flächeninhalt der Berührungsfläche	$F_R \sim G$
	Die Art und die Oberflächenbeschaffenheit der sich berührenden Flächen werden durch die Reibungszahlen erfaßt. Die Gleitreibungszahl ist der Quotient aus der Reibungskraft und dem Gewicht des Körpers	$\mu = \frac{F_g}{G}$
	Die mechanische Arbeit kann als Fläche in einem Arbeitsdiagramm dargestellt werden	
	Beim Spannen einer Feder wird Arbeit verrichtet. Diese Federspannarbeit ist das Produkt aus der halben Endkraft und dem Weg	$W_F = \frac{1}{2} F_E \cdot s$
Arbeit an kraftumformenden Einrichtungen	Durch feste Rollen kann nur die Kraftrichtung geändert werden, jedoch nicht der Betrag der Kraft	$F_1 = F_2$
	Bei der losen Rolle beträgt die aufzuwendende Kraft nur die Hälfte der wirksamen Kraft	$F_1 = \frac{F_2}{2}$
	Beim Flaschenzug ergibt sich die aufzuwendende Kraft als Quotient aus der wirksamen Kraft und der Anzahl der tragenden Seilstücke	$F_1 = \frac{F_2}{n}$
	Mit allen kraftumformenden Einrichtungen (Rolle, Hebel, Flaschenzug, geneigte Ebene usw.) kann niemals Arbeit gespart werden. Nach dem Satz von der Erhaltung der Arbeit ist die aufgenommene Arbeit stets gleich der abgegebenen Arbeit. (Die Reibungskräfte werden dabei nicht berücksichtigt.)	$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$
	Kann man die Reibung nicht unbeachtet lassen, so ergibt sich der Wirkungsgrad als Quotient aus der abgegebenen mechanischen Arbeit und der aufgenommenen mechanischen Arbeit	$\eta = \frac{W_2}{W_1}$
	Die zum Verschieben eines Körpers auf einer geneigten Ebene notwendige Kraft verhält sich zum Gewicht des Körpers wie die Höhe der geneigten Ebene zu deren Länge	$\frac{F}{G} = \frac{h}{l}$

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
	Als Kraftarme am Hebel bezeichnet man die kürzesten Abstände der Wirkungslinien der Kräfte von der Drehachse	
	Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Produkte aus Kraft und Kraftarm gleich sind	$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$
Die mechanische Energie	Gehobene Körper und verformte Federn besitzen potentielle Energie	
	Die Lageenergie ist gleich dem Produkt aus dem Gewicht des Körpers und dem Höhenunterschied zur Bezugsebene. Jeder bewegte Körper besitzt kinetische Energie	$W_{pot} = G \cdot h$
	Potentielle und kinetische Energie sind verschiedene Formen der mechanischen Energie. Sie lassen sich ineinander umwandeln	
	Die Summe der beiden Energien bleibt dabei unverändert, wenn keine Umwandlungen in Wärmeenergie erfolgen	$W_{pot} + W_{kin} = \text{konstant}$
Die Leistung	Die Leistung gibt die Beziehungen zwischen einer verrichteten Arbeit und der dazu benötigten Zeit an	$P = \frac{W}{t}$
	Eine Berechnung der Leistung ist auch möglich, wenn die wirkende Kraft und die Geschwindigkeit des Körpers bekannt sind	$P = F \cdot v$
Druckkraft und Druck	Eine Kraft, die senkrecht auf eine Fläche ausgeübt wird, bezeichnet man als Druckkraft. Die Wirkung einer Druckkraft wird mit der physikalischen Größe Druck beschrieben. Der Druck ist der Quotient aus der Druckkraft und der gedrückten Fläche	$p = \frac{F}{A}$
Der Kolbendruck	In Flüssigkeiten und Gasen ist der Kolbendruck wegen der leichten Verschiebbarkeit der Teilchen überall gleich groß	
	Infolge eines Kolbendrucks erfahren die Wände des Gefäßes und Körper, die sich innerhalb der Flüssigkeit oder des Gases befinden, Druckkräfte	

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
	Bei hydraulischen Anlagen gilt: Die Druckkräfte verhalten sich wie die Kolbenflächen	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$
	Die am Druckkolben verrichtete Arbeit ist gleich der vom Preßkolben verrichteten Arbeit	$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$ $W_1 = W_2$
Der Schweredruck	Die Wichte ist der Quotient aus Gewicht und Volumen eines Körpers	$\gamma = \frac{G}{V}$
	Der Schweredruck wird durch das Gewicht der Flüssigkeiten und Gase hervorgerufen	
	Auch der Schweredruck ist allseitig wirksam	
	In Flüssigkeiten ist der Schweredruck gleich dem Produkt aus der Wichte der Flüssigkeit und dem Abstand der gedrückten Fläche vom Flüssigkeitsspiegel. Die Form des Gefäßes hat keinen Einfluß. Deshalb stehen in verbundenen Gefäßen die Flüssigkeitsspiegel gleich hoch	$p = \gamma \cdot h$
	Der Schweredruck der Luft wird kurz Luftdruck genannt. In Höhe des Meeresspiegels beträgt der mittlere Luftdruck 760 Torr	
	Meßgeräte für den Luftdruck werden Barometer genannt	
Der statische Auftrieb	Jeder Körper, der teilweise oder vollständig in eine Flüssigkeit eintaucht, erfährt einen Auftrieb. Der Auftrieb ist eine Kraft, die dem Gewicht des Körpers entgegenwirkt. Er wird durch den Schweredruck der Flüssigkeit verursacht	
	Archimedisches Gesetz: Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit	$F_A = G_{Fl}$
	Bei einem schwimmenden Körper ist der Auftrieb gleich dem Gewicht des Körpers	
	Das Archimedische Gesetz gilt sinngemäß auch für den Auftrieb in Gasen	

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
Strömende Flüssigkeiten und Gase	Bei einer gleichbleibenden Strömung sind die Bahnen der Flüssigkeits- oder Gasteilchen Stromlinien	
	Je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist, desto kleiner sind die Abstände der Stromlinien	
	Die Strömungsgeschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Rohrquerschnitte	$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$
	In strömenden Flüssigkeiten und Gasen hängt der Druck von der Stellung der gedrückten Fläche ab. Eine Fläche, die parallel zu den Stromlinien liegt, erfährt nur den statischen Druck. Der statische Druck ist um so kleiner, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist	
	Eine Tragfläche erfährt in einem waagerechten Luftstrom einen dynamischen Auftrieb. Dieser entsteht, weil der statische Druck an der Unterseite einer Tragfläche größer als an der Oberseite ist. Der dynamische Auftrieb wirkt auch, wenn eine Tragfläche durch ruhende Luft bewegt wird	

Lösungen

Die Kraft und ihre grafische Darstellung

Seite 104

4. Mannschaft B (5 kp mehr Zugkraft)
6. $F_G = 550$ kp

Die mechanische Arbeit

Seite 105/106

10. $W = 910$ kpm
11. $W = 7000$ kpm
13. $F_g = 12$ kp; $W = 36$ kpm
14. $W = 240000$ kpm
23. $W = 18000$ kpm

Arbeit an kraftumformenden Einrichtungen

Seite 106 bis 109

36. $F = 9$ kp, $F = 1$ kp
38. $F = 400$ kp
42. $l = 1{,}44$ m
44. $l_1 = 40$ cm, $l_2 = 20$ cm
45. $s = 4{,}4$ m
46. $\mu \approx 0{,}9$
48. $F_1 = 75$ kp, $s_1 = 4$ m, $W = 300$ kpm
53. $F = 24$ kp
54. $h = 0{,}75$ m
55. $F = 430$ kp, $W = 51600$ kpm
58. $F_1 = 75$ kp
59. $F_1 \approx 29$ kp
61. $F_2 \approx 2{,}13$ kp

Die mechanische Energie

Seite 110/111

71. $W_1 = 210$ kpm, $W_2 = 350$ kpm, $W_3 = 700$ kpm
72. a) $W_{pot} = 1500$ kpm
86. $W_{pot} = 600$ kpm

Die Leistung

Seite 112

89. $P = 200 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

91. $P = 30 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

92. $P = 1200 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

93. $W = 450000$ kpm

Wiederholung

Seite 113

104. $F = 22{,}5$ kp, $W = 180$ kpm

Druckkraft und Druck

Seite 114

116. $p = 400 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 400$ at

Der Kolbendruck

Seite 115

122. a) $F_1 = 60$ kp
b) $W = 12000$ kpm
c) $s_1 = 200$ m
d) $p = 20$ at

124. $F_2 = 804$ kp

Der Schweredruck

Seite 115/116

130. $F = 14700000$ kp

140. $F = 74$ kp

Der statische Auftrieb

Seite 118

157. a) $V_{\text{Eis}} = 200\ \text{m}^3$
b) $V_{\text{W}} = 175\ \text{m}^3$
c) Ein Achtel des Volumens ragt aus dem Wasser.

Strömende Flüssigkeiten und Gase

Seite 119

166. $v_1 = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Quellennachweis der Abbildungen

DEWAG-Werbung, Berlin: 98/1. Rolf Grabow, Halle: 59/4. Freie Welt, Berlin: 50/2c. Fotokino Krütgen, Halle: 32/3, 114/1. Heinz Krüger, Falkensee: 44/1. Horst Kühn, Zeitz: 103/1. Werkfoto VEB Mähdrescher-Werk, Weimar: 31/1. PGH Fotostudio, Leipzig: 67/1. Seifert, Volk und Wissen, Berlin: 23/2, 30/1c, 39/1, 39/4, 84/1, 85/1, 87/1, 93/2. Heinz A. F. Schmidt, Berlin-Wendenschloß: 94/1. Werkfoto Stahl- und Walzwerk, Gröditz: 71/1. W. Stier, Berlin: 98/2. B. G. Teubner, Leipzig: 83/1. Volk und Wissen, Archiv, Berlin: 30/1b, 32/1, 35/1, 35/2, 38/1, 39/2, 39/3, 42/3, 46/1, 50/1c, 52/1, 57/1, 66/1. Zentralbild, Berlin: 5/1, 6/1, 10/2, 16/1, 18/1, 26/1, 35/3, 43/1, 51/1, 63/1, 64/1, 73/1, 80/1, 81/1, 93/1, 93/3, 99/1. Reproduktion aus: Dr. F. Klemm „Technik – Eine Geschichte ihrer Probleme", Freiburg/München: 61/1.

Register

Fahrraddynamo

3 W

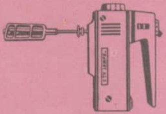
Kleinsuper

40 W

Mensch

75 W

Handrühr-
und Mixgerät

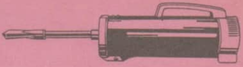


160 W

Küchenmaschine

230 W

IKA-Handstaubsauger
7000.8

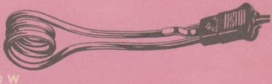


300 W

Pferd

490 W

Tauchsieder

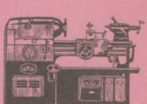


1000 W

Raumheizlüfter

2000 W

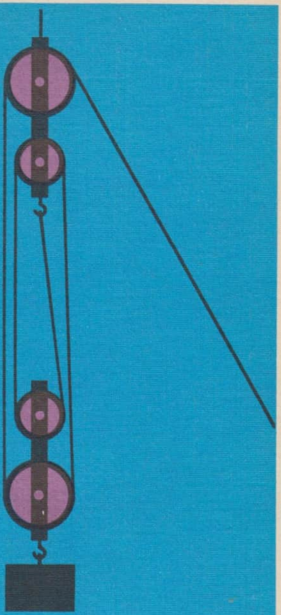
Drehmaschine



5500 W

10 W

1000 W



Kurzwort: 02 07 07 Lehrb. Physik Kl 7
Schulpreis DDR 2,00