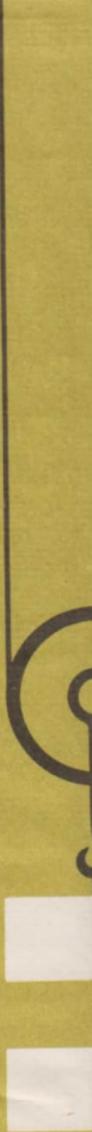
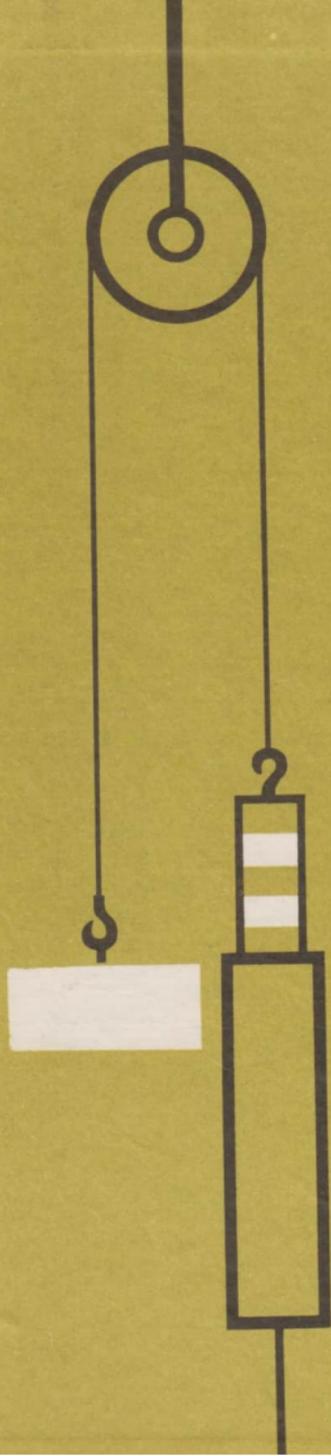
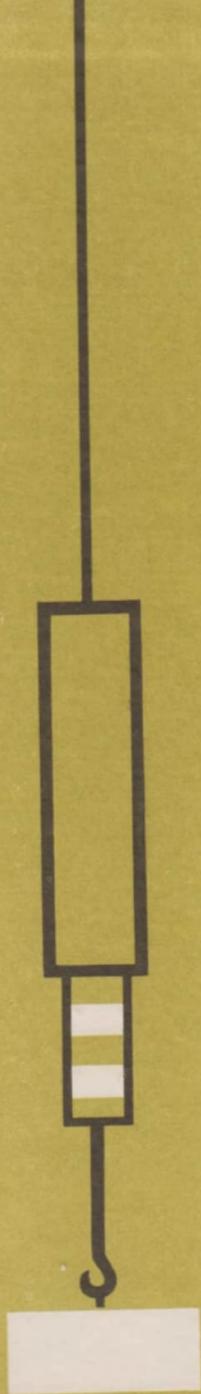
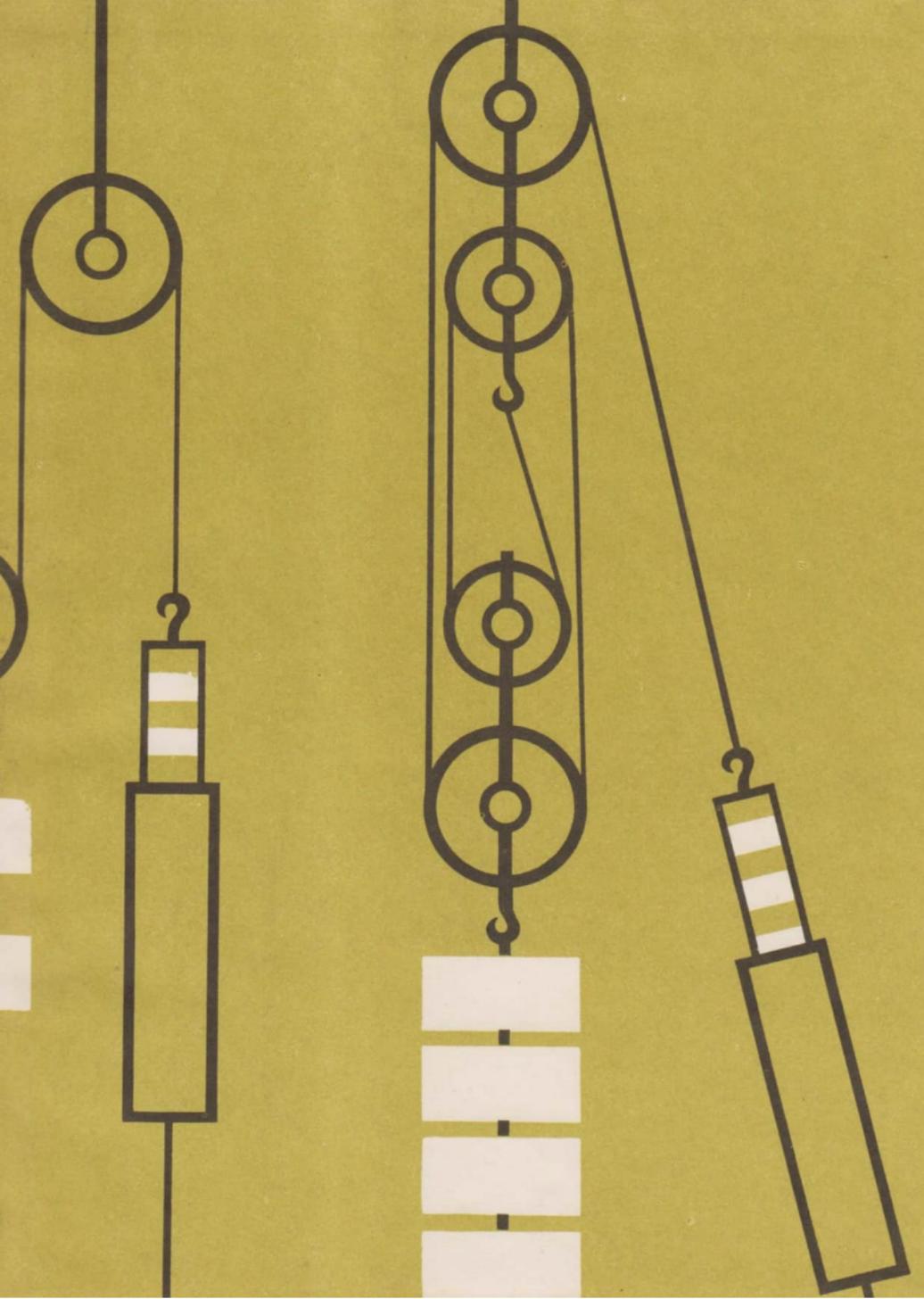


7



**PHYSIK**





# Physik

Lehrbuch für die Oberschule • Klasse 7



VOLK UND WISSEN

VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1966

Verfaßt von

Erich Albrecht (Aus der Mechanik der Flüssigkeiten und Gase, außer Wasserkraftmaschinen),  
Peter Glatz und Georg Schikora (Einführung, Grundbegriffe der Mechanik, Aus der Mechanik  
der festen Körper, Wasserkraftmaschinen) und  
Waldemar Wiegmann (Versuchsaufträge)  
in Zusammenarbeit mit der Redaktion Physik des Verlages

Bei der Bearbeitung einzelner Textstellen  
wurden die bisher erschienenen Lehrbücher des Verlages  
zum gleichen Thema berücksichtigt

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik  
als Schulbuch bestätigt

**Angabe 1964**

**Dritte, durchgesehene Auflage**

**Redaktion: Werner Golm, Willi Wörstenfeld**

**Einband und Vorsatz: Axel Dehlsen**

**Typografische Gestaltung: Atelier Volk und Wissen Berlin**

**ES 11 H · Bestell-Nr. 02 07 06 - 3 · Preis: 2,30 · Lizenz Nr. 203 · 1000/65 (DN)**

**Satz und Druck: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)**

**1. Einführung**

Die Teilgebiete der Mechanik 6

**Grundbegriffe der Mechanik**

Über die Bewegung der Körper 8

Kraft und Masse, zwei wichtige Grundbegriffe 14

Arbeit und Leistung 26

**Aus der Mechanik der festen Körper**

Vom Hebel 32

Rollen 41

Wellrad, Kurbel und Getriebe 51

Geneigte Ebene, Keil und Schraube 60

Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit 69

Mechanische Energie 71

Das Zusammenwirken kraftumformender Einrichtungen 76

**Aus der Mechanik der Flüssigkeiten und Gase**

Druckkraft und Druck 86

Druck in Flüssigkeiten 91

Druck in Gasen 102

Auftrieb und Schwimmen 112

Strömende Flüssigkeiten und Gase 121

Strömungswiderstand 130

Das Fliegen 136

Wasserkraftmaschinen 143

**Anhang**

1. Versuchsaufträge 149

2. Formelzeichen und Einheiten 165

3. Merksätze und Gleichungen 166

4. Lösungen 169

Namen- und Sachwortverzeichnis 170

## Verwendete Symbole



Überlege, zeichne, berechne!



Versuche es selbst! Prüfe nach!



Achtung! Vorsicht!



Versuch

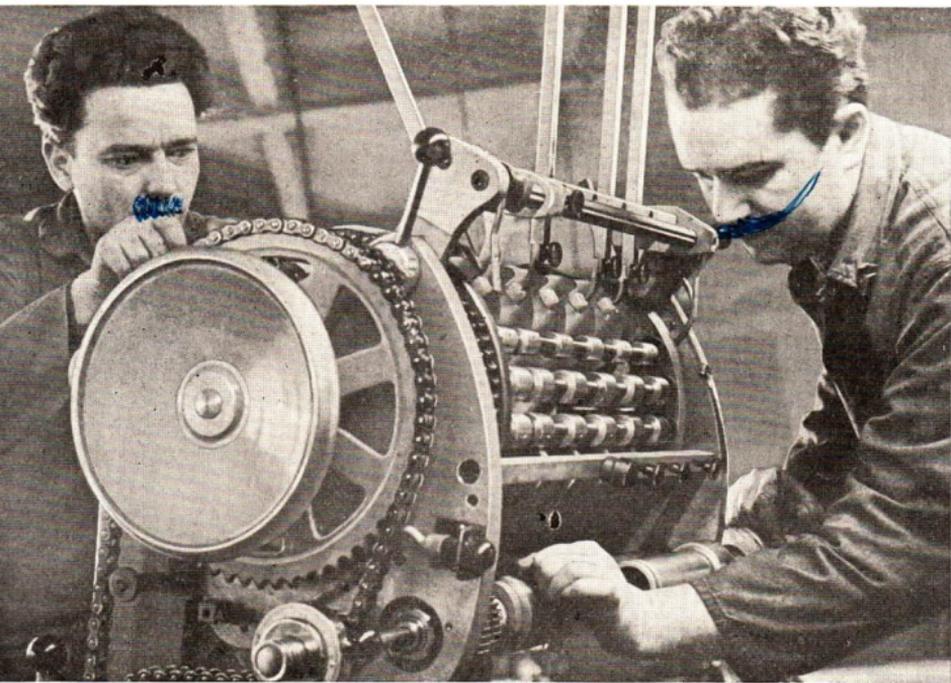


Kontrollfragen und Aufgaben im Text



Beispiele

Fragen, Aufgaben und Versuche,  
die im Anhang die Lösung enthalten,  
sind durch eine farbige Zahl,  
Aufgaben mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad  
durch einen Stern gekennzeichnet



## Einführung

Im Physikunterricht der Klasse 6 wurden bereits einige Grundlagen der Mechanik, der Wärmelehre, der Akustik und der Optik behandelt. In der Klasse 7 wird eines dieser Teilgebiete der Physik, die Mechanik, ausführlicher untersucht. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse ist es möglich, zum Beispiel das Zusammenwirken der Teile einer Maschine, wie sie oben dargestellt ist, besser zu verstehen.

Einige Hinweise sollen die Arbeit mit diesem Buch erleichtern. In den Abschnitten „Versuche es selbst! Prüfe nach!“ und im laufenden Text werden viele Versuche angegeben, die man zu Hause selbst durchführen kann. In den Abschnitten „Überlege, zeichne, berechne!“ befinden sich zahlreiche Übungsaufgaben; zu den Aufgaben mit einer farbigen Zahl sind im Anhang Lösungen vorhanden. Die Aufgaben mit einem Stern sind schwieriger zu lösen als die anderen.

Im Anhang sind wichtige Formelzeichen, Einheiten, Merksätze und Gleichungen zusammengefaßt.

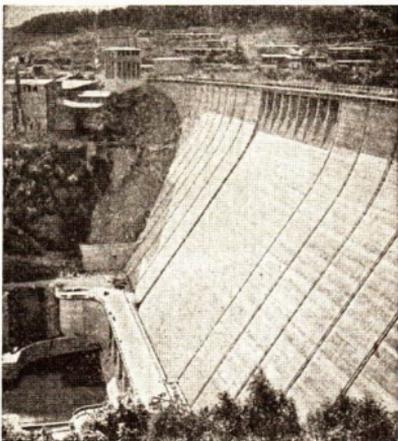


## Die Teilgebiete der Mechanik

Es gibt feste, flüssige und gasförmige Körper. Entsprechend wird die Mechanik unterteilt:

### Mechanik der festen Körper

Zum Heben einer Last kann man zum Beispiel einen Flaschenzug verwenden. Dieser besteht aus Rollen, über die ein Seil läuft. Das Zusammenwirken solcher Teile wird in der *Mechanik der festen Körper* untersucht.



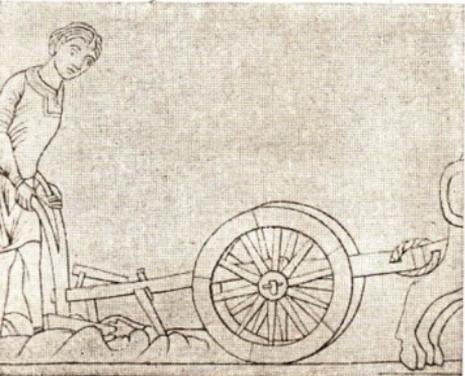
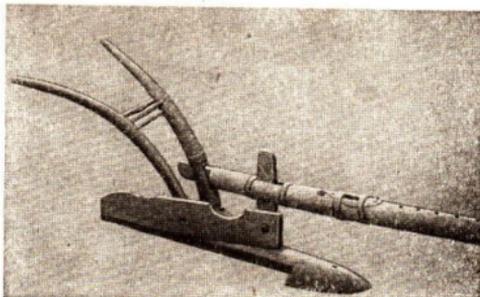
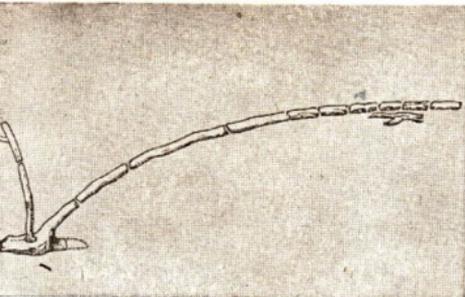
### Mechanik der flüssigen Körper

Immer mehr macht sich der Mensch die Energie des fließenden Wassers zunutze. Große Staudämme (Bild) stauen das Wasser, und in Wasserkraftwerken treibt das Wasser Turbinen an, mit deren Hilfe elektrischer Strom erzeugt wird. Die Wirkungsweise solcher Wasserturbinen wird in der *Mechanik der flüssigen Körper* untersucht.



### Mechanik der gasförmigen Körper

Die Kraft des Windes hebt den Drachen in die Höhe. Die Schnur ist straff gespannt, und die Jungen müssen aufpassen, daß ihnen nicht das Ende des Fadens aus der Hand gerissen wird. Solche Vorgänge werden in der *Mechanik der gasförmigen Körper* untersucht.



## Grundbegriffe der Mechanik

Jahrtausende liegen zwischen der Erfindung des einfachen Hakenpfluges und dem Einsatz eines modernen Mehrscharpfluges.

Die geringe Kraft des Menschen reichte nur aus, den Hakenpflug zu ziehen, um die Oberfläche des Bodens zu bearbeiten. Die größere Kraft von Tieren wurde später ausgenutzt, um den schweren Räderpflug zu ziehen. Mit ihm konnten die Böden tief gepflügt beziehungsweise überhaupt erst bewirtschaftet werden.

Moderne Traktoren und Raupenschlepper ziehen mit so großen Kräften, daß nicht nur Mehrscharpflüge, sondern auch noch weitere Geräte, wie Eggen und Schleppen, zum Bearbeiten des Bodens angehängt werden können.

Die Wörter Kraft, Arbeit und Bewegung werden im täglichen Sprachgebrauch oft benutzt. Es soll im folgenden untersucht werden, welche Bedeutung sie im Physikunterricht haben.

# Über die Bewegung der Körper

Das Bild zeigt ein sowjetisches Flugzeug, das sich schneller als der Schall bewegen kann. Mit solchen Flugzeugen ist es möglich, große Entfernungen in kurzer Zeit zu überbrücken. Die Entwicklung dieser Flugzeuge ist so weit vorgeschritten, daß man sie in den nächsten Jahren zum Beispiel für Transportzwecke einsetzen wird. Damit wird es möglich, auch in die entfern-  
testen Gebiete der Erde innerhalb kurzer Zeit Lebensmittel oder Medikamente zu transportieren, wenn es erforderlich ist. Das ist beispielsweise für wissenschaftliche Expeditionen von großer Bedeutung.



## 1. Die geradlinige Bewegung

Das Fahrrad bewegt sich auf der Straße.

Das Wasser des Flusses bewegt sich im Flußbett.

Der Sputnik bewegt sich um die Erde.

Aber auch die Straße und das Flußbett bewegen sich, denn die Erde mit allen auf ihr befindlichen Körpern dreht sich ständig um ihre eigene Achse und bewegt sich außerdem um die Sonne. Alle Körper sind in ständiger Bewegung.

Wir wollen eine besondere Art der Bewegung, die **geradlinige Bewegung**, untersuchen. Dazu soll die Bewegung eines Fahrrades auf einer geraden Straße betrachtet werden. Wir wissen aus Erfahrung, daß es vom „Tempo“, von der „Schnelligkeit“ eines Fahrrades (eines Fahrzeuges, eines Fußgängers) abhängt, ob eine bestimmte Strecke in kurzer oder langer Zeit durchfahren bzw. durchlaufen wird.

1

**V**Wir messen auf dem Sportplatz eine Strecke ab, beispielsweise 60 m. Auf ein Kommando starten ein Fußgänger, ein Läufer und ein Radfahrer. Wir messen die Zeit, die sie jeweils für den Weg von 60 m benötigen und tragen die Werte in eine Tabelle ein. Wer ist schneller?



Zu einer Aussage über das „Tempo“ sind also Weg- und Zeitmessungen erforderlich. Die Eigenschaft des bewegten Körpers, schnell oder langsam zu sein, wird durch den Begriff **Geschwindigkeit** erklärt. Die Geschwindigkeit  $v$  wird um so größer, je kürzer die für eine bestimmte Strecke  $s$  benötigte Zeit  $t$  ist. Weg und Zeit aus dem Versuch 1 sind bekannt, damit lassen sich die Geschwindigkeiten für den Fußgänger, den Läufer und den Radfahrer berechnen.

	Weg	Zeit	Geschwindigkeit
Fußgänger	60 m	40 s	$1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Läufer	60 m	10 s	$\dots \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Radfahrer	60 m	6 s	$\dots \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- *Berechne die Geschwindigkeit für den Läufer und den Radfahrer aus dem Versuch 1!*

Oft will man auch wissen, welche Strecke in einer bestimmten Zeit zurückgelegt wird. Die zurückgelegte Strecke  $s$  wird um so größer, je größer die Geschwindigkeit  $v$  während einer bestimmten Zeit  $t$  ist.

Wir können nach unseren Überlegungen sagen:

**Unter Geschwindigkeit versteht man das Verhältnis des zurückgelegten Weges zur benötigten Zeit.**

Den Weg bezeichnet man mit  $s$  und die Zeit mit  $t$ ; es ergibt sich für die Geschwindigkeit  $v$  die Gleichung

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} \quad v = \frac{s}{t}$$

Mißt man den Weg in Metern (m) und die Zeit in Sekunden (s), so erhält man als Einheit der Geschwindigkeit: Meter je Sekunde  $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$ .

Physikalische Größe	Weg	Zeit	Geschwindigkeit
Formelzeichen	$s$	$t$	$v$
Einheit (Kurzzeichen)	m	s	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$

**Beachte:** Das kursive  $s$  ist das Formelzeichen für den Weg, das steile  $s$  eine Einheit für die Zeit. Im gesamten Buch sind Formelzeichen *kursiv* und Einheiten **steil** gedruckt.

Oft werden Geschwindigkeiten auch in Kilometern je Stunde<sup>1</sup> ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ) und große Geschwindigkeiten, zum Beispiel in der Weltraumfahrt, sogar in Kilometern je Sekunde ( $\frac{\text{km}}{\text{s}}$ ) angegeben. Man kann die Geschwindigkeitseinheiten ineinander umrechnen.

$$\text{Es gilt } 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \quad \text{und } 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{\frac{1000}{3600}} \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

**Tabelle 1: Einige Geschwindigkeiten**

(Bemerkung: In einer Tabelle stehen oft hinter Beispielen nur die Zahlenwerte; die dazugehörigen Einheiten stehen im Tabellenkopf. Beispiel: Die Geschwindigkeit des Fußgängers beträgt  $1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ).

Beispiel	Geschwindigkeit		Beispiel	Geschwindigkeit	
	in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$		in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Fußgänger	1,4	...	Schnellzug	bis 45	...
Radfahrer	5,5	...	Flugzeug IL 14	90	...
Schnelldampfer	bis 20	...	Flugzeug TU 114	222	...
Personenkraftwagen			Schall in Luft	340	...
auf Autobahn	bis 27,8	...	Rakete, einstufig	bis 7100	...

- Übertrage die Tabelle in ein Heft und fülle die freien Spalten aus! Rechne die Geschwindigkeit der Rakete außerdem in  $\frac{\text{km}}{\text{s}}$  um!

### ■ Beispiel

Ein Kraftwagen benötigt für eine Strecke von 4 Kilometern die Zeit von 8 Minuten. Die Bewegung soll dabei weder schneller noch langsamer werden und auf einer geraden Bahn erfolgen. Wie groß ist die Geschwindigkeit?

Gegeben:

Weg  $s = 4 \text{ km}$   
Zeit  $t = 8 \text{ min}$

Gesucht:

Geschwindigkeit  $v$  (in  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ )

Lösung:

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

$$v = \frac{4 \text{ km} \cdot 15}{2 \text{ h}}$$

$$v = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Nebenrechnung:

$$8 \text{ min} = \frac{8}{60} \text{ h} = \frac{2}{15} \text{ h}$$

Der Kraftwagen hat eine Geschwindigkeit von  $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

<sup>1</sup> hora (lat.): Stunde.

Bei diesem Beispiel wurde davon ausgegangen, daß die Bewegung auf einer geraden Bahn erfolgt und daß sich die Geschwindigkeit während der Bewegung nicht ändert. Man spricht in einem solchen Fall von einer **geradlinigen und gleichförmigen Bewegung**. Bei ihr werden in gleichen Zeiten gleiche Wege zurückgelegt.

Für die meisten in der Praxis vorkommenden Bewegungen ist das aber nicht der Fall. Diese Bewegungen sind dann ungleichförmig.

Auch die Bewegungen der Körper im Versuch I sind im allgemeinen nicht geradlinig und gleichförmig. (Der Läufer zum Beispiel legt die ersten 10 m vielleicht schneller zurück als die letzten 10 m.) In unseren Beispielen sieht man aber von möglichen Änderungen ab und rechnet mit einer „Durchschnittsgeschwindigkeit“. Diese erhält man, wie wir gesehen haben, als das Verhältnis von zurückgelegtem Weg zur benötigten Zeit. Wir nennen diese „Durchschnittsgeschwindigkeit“ vorerst kurz „Geschwindigkeit“. Erst in späteren Schuljahren werden beim Untersuchen weiterer Bewegungsformen diese Begriffe genau unterschieden werden müssen.

## 2. Die Drehbewegung

Die Riemenscheibe eines Elektromotors führt eine andere Art der Bewegung aus; sie dreht sich. Man spricht von einer **Drehbewegung**. Wenn man ermittelt, wie oft sich der Körper (Rad, Riemenscheibe, Zahnrad) in einer Minute dreht, erhält man die **Drehzahl**.

Unter Drehzahl versteht man das Verhältnis der Anzahl der Umdrehungen zur Zeit.

$$\text{Drehzahl} = \frac{\text{Anzahl der Umdrehungen}}{\text{Zeit}}$$

$$n = \frac{U}{t}$$

Als Formelzeichen für die Drehzahl schreibt man  $n$ ,  $U$  gibt die Anzahl der Umdrehungen an und besitzt keine Einheit.

Physikalische Größe	Anzahl der Umdrehungen	Zeit	Drehzahl
Formelzeichen	$U$	$t$	$n$
Einheit (Kurzzeichen)	—	min	$\frac{1}{\text{min}}$

Man kann die Drehzahl auch in Umdrehungen je Sekunde angeben. Sie besitzt dann die Einheit  $\frac{1}{\text{s}}$ .

Tabelle 2: Einige Drehzahlen

Beispiel	Drehzahl in $\frac{1}{\text{min}}$
Pedale eines Fahrrades	etwa 45
Räder eines Fahrrades	etwa 100
Plattenteller eines Plattenspielers	
Normalplatte	78
Langspielplatte	33 oder 45
Propeller eines Flugzeuges	etwa 1500
Schaufelrad einer Dampfturbine	etwa 3000

■ **Beispiel**

Eine Riemenscheibe einer Dreschmaschine dreht sich in 0,5 min 25mal. Wie groß ist die Drehzahl?

Gegeben:

Anzahl der Umdrehungen  $U = 25$

Zeit  $t = 0,5 \text{ min}$

Gesucht:

Drehzahl  $n$  (in  $\frac{1}{\text{min}}$ )

Lösung:

$$n = \frac{U}{t}$$

$$n = \frac{25}{0,5 \text{ min}}$$

$$n = 50 \frac{1}{\text{min}} \quad (\text{Lies: } 50 \text{ je Minute})$$

Die Riemenscheibe hat eine Drehzahl von  $50 \frac{1}{\text{min}}$ .

**Überlege, zeichne, berechne!**



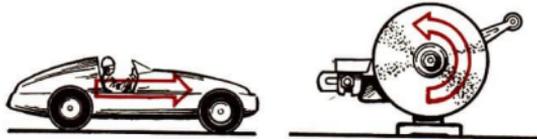
1. Mit welcher Geschwindigkeit fährt ein Güterzug, der eine Strecke von 90 km mit gleichbleibender Geschwindigkeit in 2,5 h zurücklegt?
2. Ein PKW durchfährt eine Strecke von 100 m in 5 s. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt er sich? Rechne die Geschwindigkeit in  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  um!
3. Ein Erdsatellit muß mindestens eine Geschwindigkeit von  $7,91 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  haben. Wieviel  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  sind das?
- \*4. Ein LKW fährt mit einer Geschwindigkeit von  $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .
  - a) Wie weit fährt er in 1,25 Stunden?
  - b) Welche Zeit braucht er für 12 km?

5. Ein Kinderkarussell braucht für eine Umdrehung 6 s.

Welche Drehzahl hat es (in  $\frac{1}{\text{min}}$ )?

6. Welche Drehzahl hat der Sekundenzeiger (Minutenzeiger, Stundenzeiger) einer Uhr?

7. Die nebenstehenden Bilder zeigen je ein Beispiel für die bekannten Bewegungsarten. Wie heißen die Bewegungen? Nenne weitere Beispiele! Was kann man über die Räder des Rennwagens aussagen?



### Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Miß gemeinsam mit einem Klassenkameraden auf einer Landstraße eine Strecke von 100 m ab (eventuell Entfernung zwischen 2 Kilometersteinen benutzen)! Miß die Zeit, die ein Fußgänger (Läufer, Radfahrer, Fahrzeug) für diese Strecke braucht und berechne die Geschwindigkeit!
2. Beobachte ein treibendes Stück Holz (Schiff) in einem Bach (Fluß) und berechne seine Geschwindigkeit, indem du die Zeit mißt, die es für eine abgemessene Strecke braucht!
3. Beobachte das Ventil des Vorderrades am Fahrrad deines Klassenkameraden, während er langsam fährt! Miß die Zeit für 10 Umdrehungen des Rades und berechne die Drehzahl!

### ZUSAMMENFASSUNG

**Unter Geschwindigkeit versteht man das Verhältnis des zurückgelegten Weges zur benötigten Zeit.**

Für welche Bewegungsart gilt dieses Gesetz? Welche andere Bewegungsart gibt es noch?

**Unter Drehzahl versteht man das Verhältnis der Anzahl der Umdrehungen zur benötigten Zeit.**

Wie heißen die Formelzeichen und die Kurzzeichen der Einheiten für Drehzahl, Anzahl der Umdrehungen und Zeit?

## Kraft und Masse, zwei wichtige Grundbegriffe



Zum Spannen der Feder eines Luftgewehrs muß man eine Kraft aufwenden. Die dabei erzeugte Federspannung wird benötigt, um einer kleinen Metallkugel eine Geschwindigkeit zu erteilen. Dabei wandelt sich die menschliche Kraft in die Kraft um, mit der die Kugel dann aus dem Lauf geschleudert wird.



### 1. Von der Kraft

Bei vielen Tätigkeiten muß der Mensch seine Muskeln anspannen. Man sagt, er wendet eine **Kraft** auf. Auch Tiere und Maschinen wenden Kräfte auf.

● *Sieh die folgenden Bilder an! Welche Wirkung übt die Kraft jeweils aus?*



Bild 14/2 Durch die Strohpresse wird das Stroh zusammengedrückt. Das Beispiel zeigt, daß durch eine Kraft die *Form* eines Körpers geändert werden kann

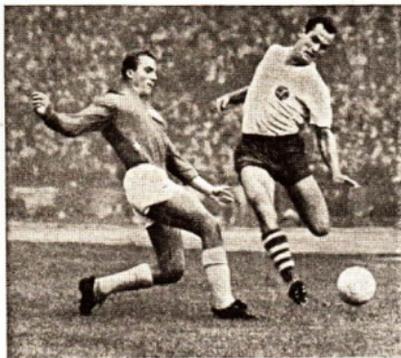


Bild 14/3 Die Muskelkraft des Fußballers bewegt den Ball. Das Beispiel zeigt, daß durch eine Kraft der *Bewegungszustand* eines Körpers geändert werden kann

**V** Nimm eine Schraubenfeder und ein Lineal! Verlängere die Feder langsam um 3 cm, 5 cm und eventuell sogar um 10 cm! Du spürst die zum Verformen nötige Kraft.

**Durch eine Kraft kann ein Körper verformt werden.**

3

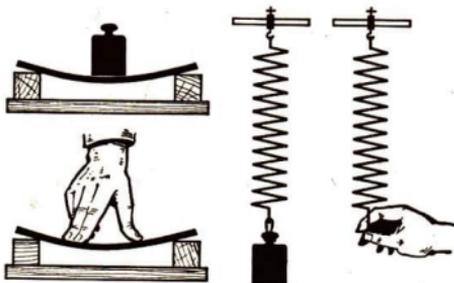
**V** Wirf einen Ball gegen eine Wand und fange ihn wieder auf! Es ist zu spüren, wie zum Werfen Kraft aufzuwenden ist. Aber auch zum Fangen des Balles ist Kraft erforderlich.

**Durch eine Kraft kann der Bewegungszustand eines Körpers geändert werden.**

- *Gib in den folgenden Beispielen an, ob durch die Kraft die Form oder der Bewegungszustand verändert wird!*
- Der Schüler wirft den Ball. Der Motor treibt die Nähmaschine an. Ein Schütze spannt die Feder eines Luftgewehrs. Ein Schwimmer betritt ein Sprungbrett.

4

**V** Das Gewicht eines Eisenstückes kann eine Holzleiste durchbiegen oder eine Feder spannen. Die gleiche Verformung kann aber auch ein Mensch mit Hilfe der Muskelkraft erreichen. Das Gewicht hat also die gleiche Wirkung wie die Muskelkraft eines Menschen.



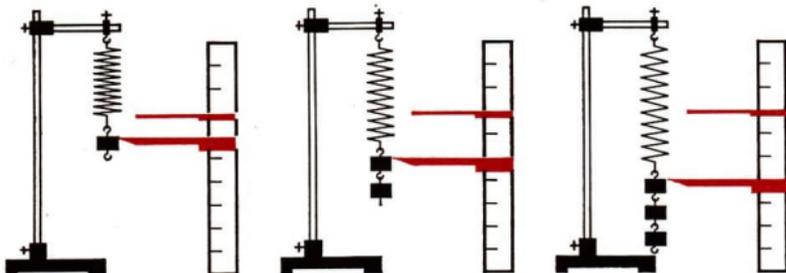
**Das Gewicht eines Körpers ist eine Kraft.**

Alle Körper haben auf der Erdoberfläche deshalb ein Gewicht, weil sich Körper und Erde gegenseitig anziehen. Diese Anziehungskraft ist vom Ort abhängig. So hat beispielsweise ein Körper auf einem hohen Berg oder in einem hoch fliegenden Flugzeug ein geringeres Gewicht als in der Tiefebene.

Da die Erde an den Polen etwas abgeplattet ist, befindet sich ein Körper hier näher dem Erdmittelpunkt als am Äquator. Ein Körper hat an den Polen ein größeres Gewicht als am Äquator, der Unterschied beträgt etwa  $\frac{1}{200}$ .

## 2. Messen von Kräften

Durch eine Kraft kann zum Beispiel eine Verformung bewirkt werden. Man sagt auch, eine Ursache (die Kraft) ruft eine Wirkung (die Verformung) hervor. Es soll untersucht werden, wie die Verformung (die Wirkung) von der Kraft (der Ursache) abhängt.



5

**V** Hänge nacheinander 1, 2, 3 gleich große Wägestücke an eine Schraubenfeder und miß die jeweilige Verlängerung! Trage die Ergebnisse in eine Tabelle ein! Für die Kraft schreibe das Formelzeichen  $F$ !

Kraft $F$ in p	Verlängerung $s$ in cm

Viele weitere Versuche mit anderen Federn und anderen Wägestücken bestätigen das Ergebnis des Versuches!

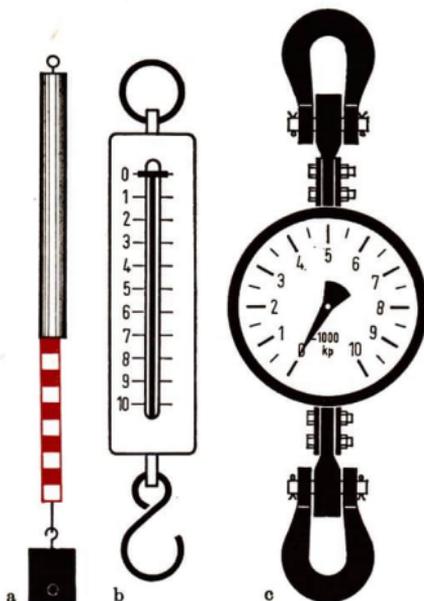
**Je größer die an einer Schraubenfeder angreifende Kraft ist, desto größer ist die Verlängerung.**

Der Versuch zeigt, daß man Formänderungen von Körpern zum Messen von Kräften ausnutzen kann. Man verwendet zum Beispiel elastische Schraubenfedern, die mit einem Zylinder (Bild 16/2 a) oder einer Platte (Bild 16/2b, c) verbunden sind, auf denen eine Skale angebracht ist. Man nennt diese Kraftmesser Federwaagen oder auch **Dynamometer**<sup>2</sup>.

**Kräfte können mit Federwaagen gemessen werden.**

<sup>2</sup> dynamis (griech.): die Kraft.

Bild 16/2  
Technische Federwaagen  
Meßbereich a) bis 1000 p  
b) bis 10 kp  
c) bis 1 Mp



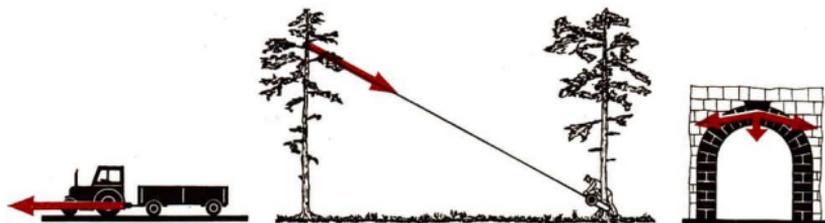


Bild 17/1 So werden Kräfte symbolisch durch Pfeile dargestellt. Die Richtung des Pfeils veranschaulicht die Kraftrichtung und die Länge des Pfeils den Betrag der Kraft

Eine Einheit der Kraft ist das **Kilopond (kp)**.

Diese Kraft entspricht etwa dem Gewicht des auf Seite 21 abgebildeten Internationalen Kilogrammprototyps. Weitere Einheiten für die Kraft sind das **Mega-pond (Mp)**, das **Pond (p)** und das **Millipond (mp)**.

$$1 \text{ Mp} = 1000 \text{ kp} \quad 1 \text{ p} = 0,001 \text{ kp} \quad 1 \text{ mp} = 0,000001 \text{ kp}$$

Außer der zahlenmäßigen Größe (dem **Betrag**) der Kraft kann man in zeichnerischen Darstellungen auch die **Richtung** angeben, in der die Kraft wirkt (Bild 17/1). Kräfte, die in gleicher Richtung wirken, addieren sich zu einer Gesamtkraft.

#### ■ Beispiel

Zwei Schüler ziehen mit einer Zugkraft  $F_1 = 18 \text{ kp}$  und  $F_2 = 22 \text{ kp}$  in gleicher Richtung an einem Wagen. Wie groß ist die Gesamtkraft? Ermittle das Ergebnis zeichnerisch und rechnerisch (Bild 17/2)!

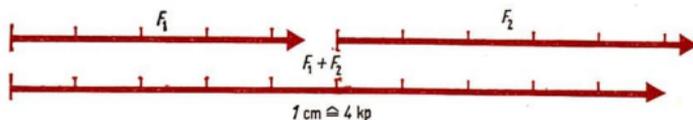


Bild 17/2 Zeichnerische Addition zweier Kräfte

Gegeben:

Kraft  $F_1 = 18 \text{ kp}$

Kraft  $F_2 = 22 \text{ kp}$

Gesucht:

Gesamtkraft  $F$  (in kp)

Die Gesamtkraft beträgt 40 kp.

Lösung:

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 18 \text{ kp} + 22 \text{ kp}$$

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

**Überlege, zeichne, berechne!**

- ?** 1. Eine Federwaage zeigt beim Vollausschlag 10 kp an. Welches Gewicht gibt sie an, wenn der Zeiger bei  $\frac{3}{10}$  ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{4}{5}$ ,  $\frac{9}{10}$ ) des vollen Ausschlages steht?
2. Welche Federarten kennst du? Welche Arten verwendet man beim Bau von Federwaagen?
3. Beim Tauziehen besteht die Mannschaft A aus 6 Schülern mit einer Zugkraft von je 12 kp. Zur Mannschaft B gehören nur 5 Schüler, die je 15 kp Zugkraft aufbringen. Welche Mannschaft siegt? Löse die Aufgabe auch zeichnerisch!
4. Der Magdeburger Bürgermeister v. GUERICKE ließ zu beiden Seiten einer ausgepumpten Kugel je 8 Pferde anspannen, um die Kraft des Luftdrucks zu zeigen. Hätte er dieselbe Wirkung auch mit weniger Pferden erreichen können? (Siehe auch S. 109.)

**Versuche es selbst! Prüfe nach!**

-  1. Fertige eine Schraubenfeder an, indem du einen Stahldraht um einen Metallbolzen wickelst! Vor dem Abnehmen der Feder vom Bolzen werden beide Enden der Federn zu Haken umgebogen (Bild 18/1).
2. Baue aus zwei Papphülsen und einer Gummischnur einen einfachen Kraftmesser (Bild 18/2a)! Durch Anhängen von bekannten Wägestücken kannst du eine Skale festlegen (Bild 18/2b, c).
3. Hänge mittels einer Schnur an eine Federwaage ein Wägestück und halte die Waage so, wie es das Bild 19/1 zeigt! Beobachte dabei ständig die Anzeige der Federwaage! Ändert sie sich?
4. Baue die Versuchsanordnung nach Bild 19/2 auf, wobei du zwei gleiche Wägestücke verwendest! Die Federwaage wird dabei mit einer Schlinge gehalten. Welche Angabe der Federwaage erwartest du? Was zeigt die Federwaage an? Erkläre das Ergebnis! Vergleiche dazu Aufgabe 4 aus „Überlege, zeichne, berechne“!
5. Prüfe nach, ob eine Federwaage das gleiche Gewicht anzeigt, wenn man zwei Wägestücke einmal untereinander und einmal nebeneinander anhängt!



Bild 18/1

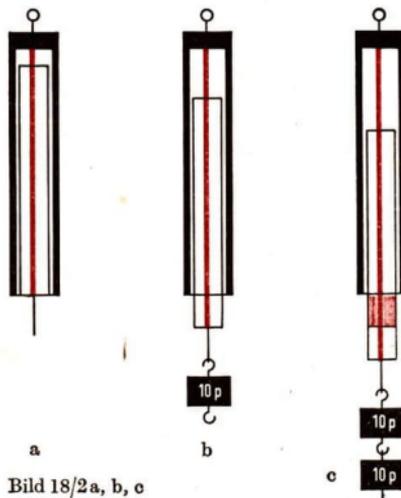
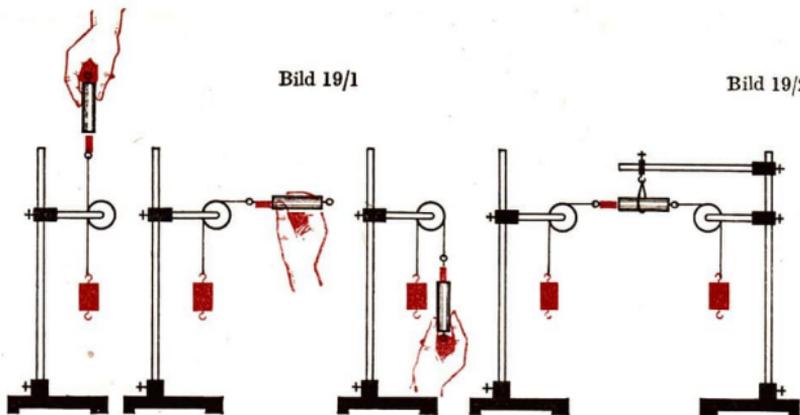


Bild 18/2a, b, c

Bild 19/1

Bild 19/2



### 3. Die Trägheit der Körper

Alle Körper sind ständig in Bewegung (s. S. 8). Es gibt jedoch einen besonderen Bewegungszustand, den **Zustand der Ruhe**.

Wenn man vom Zustand der Ruhe spricht, meint man den besonderen Fall, daß ein Körper seine Lage gegenüber einem anderen Körper (meistens der Erde) nicht ändert. Man vernachlässigt dabei, daß sich die Körper gemeinsam bewegen.

- *Wodurch kann man den Bewegungszustand eines Körpers ändern?*

6

**V** Lege eine Holzrolle auf einen Blechstreifen und ziehe den Streifen mit einem kurzen Ruck fort! Wie verhält sich die Holzrolle?

Biege das Ende des Blechstreifens nach oben und ziehe die Unterlage schnell ein kurzes Stück vorwärts! Beobachte das Verhalten der Holzrolle in diesem Falle!



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

Dieses Verhalten der Körper nennt man **Trägheit**. Sie ist nicht nur den Körpern auf der Erde eigen. Alle Körper im Weltall zeigen in dieser Hinsicht das gleiche Verhalten. Sie folgen einem **Naturgesetz**.

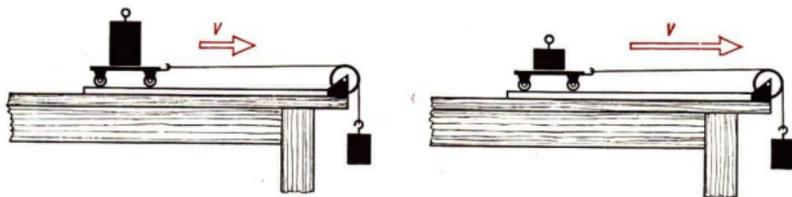
Naturgesetze bestanden schon, bevor die Menschen sie erkannten. Niemand kann ein Naturgesetz ändern. Die Aufgabe der Naturwissenschaften, wie der Physik, der Biologie und der Chemie, ist es, die Naturgesetze zu erforschen und sie zum Nutzen der Menschheit anzuwenden. Auf Grund der Kenntnis und der Anwendung der Naturgesetze entstand beispielsweise die Technik.

#### ■ Beispiel

Ein einmal angestoßener Handwagen müßte infolge seiner Trägheit auf ebener Straße immer weiterrollen, ohne jemals stehenzubleiben, *wenn ihn keine Kraft anhält*. Da er aber bald stehenbleibt, muß eine Kraft wirken. So wirkt zum Beispiel zwischen den Rädern des Wagens und der Straße eine Kraft, die man Reibungskraft nennt. Die Reibungskraft bremst jeden Körper, der sich auf einer festen Unterlage oder durch einen flüssigen oder gasförmigen Stoff bewegt. Hinzu kommt noch eine andere bremsende Kraft, wenn sich ein Körper zum Beispiel durch Luft oder Wasser bewegt. Sie hängt mit dem Sog hinter einem bewegten Körper (z. B. fahrendem LKW) zusammen.

## 4. Die Masse der Körper

**V**<sup>7</sup> Der abgebildete Wagen wird erst mit einem großen Wägestück und danach mit einem kleinen Wägestück beladen. Er wird beide Male mit der gleichen Kraft in Bewegung gesetzt. In der gleichen Zeit legt der Wagen mit dem großen Wägestück einen kürzeren Weg zurück als mit dem kleinen Wägestück. Das große Wägestück besitzt offenbar eine größere Trägheit.



Die Ursache der unterschiedlichen Trägheiten sind die unterschiedlichen Massen der Wägestücke. Das Wägestück mit der größeren Masse hat auch die größere Trägheit.

**Die Trägheit ist eine Eigenschaft der Körper.**

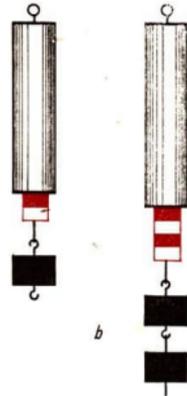
**Je größer die Masse eines Körpers ist, um so größer ist auch seine Trägheit.**

Bild 21/1 Körper mit größerer Masse haben

- eine größere Trägheit
- ein größeres Gewicht



a



b

Ein Körper mit großer Masse ist auch schwerer als ein Körper mit geringerer Masse. Von der Masse hängt also auch das Gewicht eines Körpers ab.

Je größer die Masse eines Körpers ist, um so größer ist auch sein Gewicht.

Die Einheit der Masse ist das **Kilogramm (kg)**.

Die DDR besitzt eine Nachbildung des Internationalen Kilogrammprototyps, die beim Deutschen Amt für Meßwesen und Warenprüfung (DAMW) in Berlin aufbewahrt wird.

Die Masse des in Sèvres bei Paris aufbewahrten Platin-Iridium-Zylinders ist als Masseneinheit festgelegt worden. Sie heißt **1 Kilogramm**.

Weitere Einheiten für die Masse sind die **Tonne (t)**, die **Dezitonne (dt)**, das **Gramm (g)** und das **Milligramm (mg)**.

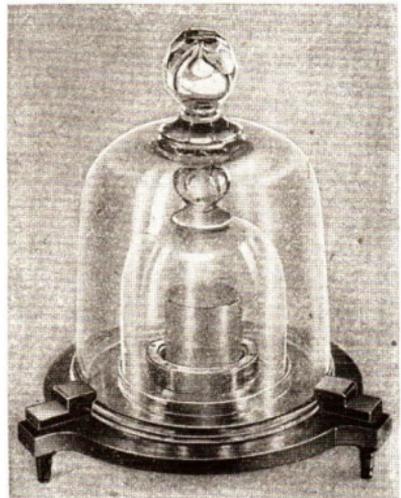
$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ dt} = 100 \text{ kg}$$

$$1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$$

$$1 \text{ mg} = 0,000001 \text{ kg}$$

Bild 21/2 Als Internationaler Kilogrammprototyp wird in Paris ein Zylinder aus einer Platin-Iridium-Legierung aufbewahrt.



Während das Gewicht eines Körpers wegen der unterschiedlichen Anziehungskraft der Erde (s. S. 15) vom Ort abhängig ist, ist die Masse eines Körpers vom Ort unabhängig.

**Überlege, zeichne, berechne!**

- ?**
1. Was beobachtest du in einem Eisenbahnzug beim Anfahren und beim Bremsen? Was geschieht mitunter mit Gegenständen, die nicht fest stehen oder liegen?
  2. Warum bleibt ein einmal angestoßener Wagen nicht dauernd in Bewegung?
  3. Warum genügt es zum Befestigen eines Hammerstieles, lediglich auf das hintere Ende des Stieles zu schlagen, während man den Hammer frei in der Luft hält (Bild 22/1)?
  4. Warum muß der Soziussitz eines Motorrades einen Griff zum Festhalten haben?
  5. In der Straßenbahn hängen Lederschlaufen zum Festhalten (Bild 22/2). Zeichne, wie die Schlaufen beim Anfahren und beim Bremsen der Bahn hängen!

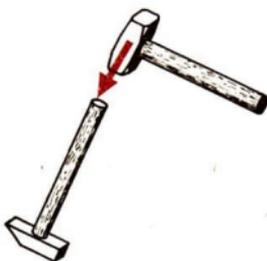


Bild 22/1

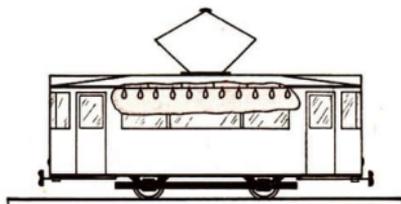


Bild 22/2

**Versuche es selbst! Prüfe nach!**

- 🔪**
1. Baue einen Turm aus Holzklöttern und schlage mit einer Leiste kurz und kräftig gegen den untersten Holzklötz! Was stellst du fest (Bild 22/3)?

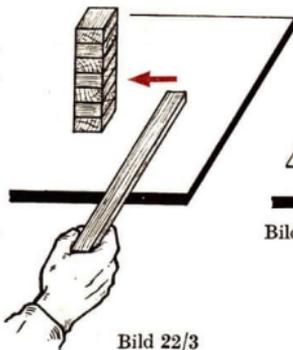


Bild 22/3

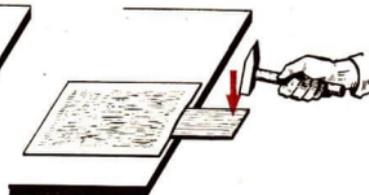


Bild 22/4



Bild 22/5

2. Lege ein dünnes Brettchen so auf den Tisch, daß ein Drittel über die Kante hinausragt! Bedecke den auf dem Tisch liegenden Teil mit einem Blatt Zeitungspapier und schlage mit dem Hammer auf den überstehenden Teil (Bild 22/4)! Was beobachtest du? Denke bei der Erklärung daran, daß auch die Luft ein Körper ist!
3. Hänge einen Körper (z. B. ein Stück Holz, wie im Bild 22/5 gezeigt) an einem Zwirnsfaden auf! Bringe unten einen zweiten, gleich starken Faden an! Was geschieht, wenn du am unteren Faden langsam ziehst? Was geschieht, wenn du bei einem zweiten Versuch kurz und kräftig ziehst? Erkläre!
4. Fülle eine Schale (Fotoschale) mit Wasser! Wie verhält sich das Wasser, wenn du die Schale plötzlich oder allmählich auf dem Tisch entlangschiebst? Erkläre die beobachtete Erscheinung!

## 5. Dichte und Wichte

**Dichte.** Zum Vergleichen von Massen benutzt man zum Beispiel Balkenwaagen. Um Stoffe miteinander zu vergleichen, gibt man jeweils ihre **Dichte  $\rho$**  (sprich „rho“) an.

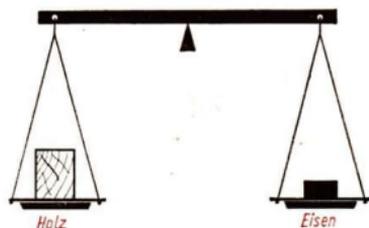


Bild 23/1 Körper aus unterschiedlichen Stoffen haben bei gleicher Masse verschiedene Rauminhalte (Volumina)

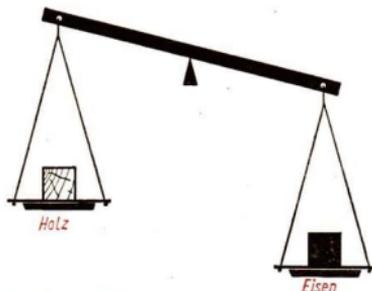


Bild 23/2 Körper aus unterschiedlichen Stoffen haben bei gleichem Volumen unterschiedliche Massen

Unter Dichte versteht man das Verhältnis der Masse eines Körpers zu seinem Volumen.

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Einheiten der Dichte sind **Kilogramm je Kubikmeter** ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ), **Kilogramm je Kubikdezimeter** ( $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ) und **Gramm je Kubikzentimeter** ( $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ).

■ **Beispiel**

Eine Stahlkugel hat eine Masse von 0,117 kg und ein Volumen von 15 cm<sup>3</sup>. Wie groß ist die Dichte von Stahl?

Gegeben:

Masse  $m = 0,117 \text{ kg}$

Volumen  $V = 15 \text{ cm}^3$

Gesucht:

Dichte (in  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

Lösung:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{0,117 \text{ kg}}{0,000015 \text{ m}^3}$$

$$\rho = \underline{\underline{7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

Nebenrechnung:

$$1 \text{ cm}^3 = 0,000001 \text{ m}^3$$

$$15 \text{ cm}^3 = 15 \cdot 0,000001 \text{ m}^3$$

$$15 \text{ cm}^3 = 0,000015 \text{ m}^3$$

Die Dichte von Stahl beträgt  $7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

- Rechne in die Einheiten  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$  und  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  um!

Tabelle 3: Dichte einiger Stoffe

Stoff	Dichte in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Dichte in $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ bzw. $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aluminium (rein)	2720	2,72
Blei	11340	11,34
Eis (bei 0 °C)	880 ... 920	0,88 ... 0,92
Gold	19250	19,25
Holz (trocken)	500 ... 900	0,5 ... 0,9
Kork	200 ... 350	0,20 ... 0,35
Messing	8500 ... 8800	8,5 ... 8,8
Silber	10500	10,5
Stahl	7800	7,8
Alkohol (Äthanol)	791	0,791
Äther	717	0,717
Benzol	etwa 880	0,88
Wasser (bei 4 °C)	1000	1,0

Das Verhältnis des Gewichtes eines Körpers zu seinem Volumen nennt man **Wichte**.

$$\text{Wichte} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}} \quad \gamma = \frac{G}{V}$$

Für die Wichte werden die Einheiten  $\frac{\text{kp}}{\text{m}^3}$ ,  $\frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$  und  $\frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$  benutzt.

Als Zahlenwerte der Wichte kann man die Zahlenwerte der Dichte benutzen (s. Tabelle 3, z. B.

Wichte von Stahl:  $\gamma = 7,8 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$ ).

### Überlege, zeichne, berechne!



1. Wie groß ist die Dichte von Marmor, wenn ein  $50 \text{ cm}^3$  großes Stück eine Masse von  $125 \text{ g}$  hat?
2. Welche Masse hat ein  $25 \text{ cm}^3$  großes Stück Gold? (Entnimm die Dichte für Gold der Tabelle!)
3. Welche Masse hat ein Bleiklotz mit der Länge  $a = 0,5 \text{ m}$ , der Breite  $b = 0,2 \text{ m}$  und der Höhe  $c = 0,1 \text{ m}$ ? (Dichte s. Tabelle!)
4. Welches Volumen hat ein Dederonkamm, wenn seine Dichte  $1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  und seine Masse  $0,0055 \text{ kg}$  betragen?
5. Aus welchem Metall könnte ein Maschinenteil bestehen, wenn seine Masse  $95,2 \text{ g}$  und sein Volumen  $35 \text{ cm}^3$  betragen?

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Bestimme die Dichte von Spiritus, indem du  $10 \text{ cm}^3$  abmißt und die Masse bestimmst!
2. Bestimme die Dichte von Gummi! Das Volumen eines Radiergummis kannst du mit einem Überlaufgefäß messen!
3. Prüfe die Dichte von Stahl nach, indem du Masse und Volumen einer Handvoll Nägel mißt! (Verfahre wie beim Radiergummi!)
4. Berechne die Masse eines quaderförmigen Korkstückes und prüfe das Ergebnis durch Wägen!

## ZUSAMMENFASSUNG

**Durch eine Kraft kann ein Körper verformt werden.**

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

Gib für jeden Fall ein Beispiel an!

**Das Gewicht der Körper ist eine Kraft.**

Wozu wird das Gewicht eines Körpers bei manchen Wanduhren oder bei Fahrdrähten der Straßenbahn ausgenutzt?

**Kräfte können mit Federwaagen gemessen werden.**

Wie sieht eine Federwaage aus? In welchen Einheiten werden Kräfte angegeben?

**Ein Körper, der sich im Zustand der Ruhe befindet, bleibt im Zustand der Ruhe, wenn keine Kraft auf ihn wirkt.**

**Ein Körper, der sich im Zustand der geradlinigen Bewegung befindet, bleibt in Bewegung, wenn keine Kraft auf ihn wirkt.**

**Die Masse eines Körpers ist vom Ort unabhängig. Sie ist die Ursache der Trägheit.**

In welchen Einheiten können Massen angegeben werden?

**Unter Dichte versteht man das Verhältnis der Masse eines Körpers zu seinem Volumen.**

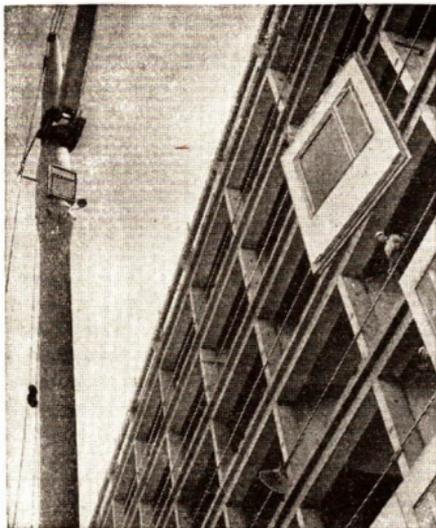
Wie groß ist die Dichte von Messing, wenn  $2 \text{ cm}^3$  Messing eine Masse von  $17 \text{ g}$  haben?

Gib die Dichte auch in  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  an!

# Arbeit und Leistung



Wir hören und lesen viel von der Arbeit der Menschen und von ihren Leistungen. Dabei wird im täglichen Sprachgebrauch zwischen der guten Arbeit und der guten Leistung eines Arbeiters nicht unterschieden. Beide Begriffe werden fast gleichwertig verwendet. In der Physik versteht man jedoch unter Arbeit und Leistung etwas ganz Verschiedenes. Wie werden zum Beispiel bei Baumaschinen die Arbeit und die Leistung ermittelt?



## 1. Die Arbeit

• Betrachte die Bilder 26/2 bis 27/1!

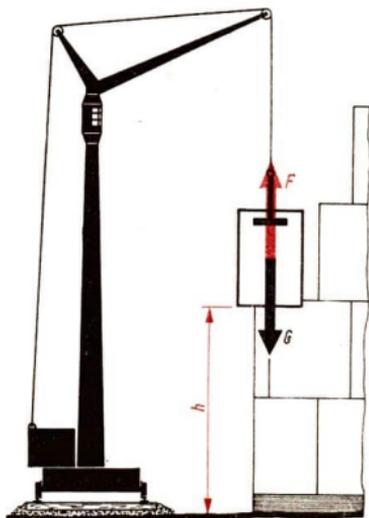


Bild 26/2 Ein Kran, der eine Last hebt, muß eine Kraft aufwenden, die so groß wie das Gewicht des gehobenen Körpers ist. Die Höhe  $h$ , auf die der Körper gehoben wird, kann man auch als Weg  $s$  bezeichnen

Bild 26/3 Ein Traktor, der einen Pflug über den Acker zieht, muß eine Kraft aufwenden, um den Widerstand des Ackerbodens zu überwinden. Diese Kraft ist wesentlich größer als das Gewicht des Pfluges. Dabei wird ein Weg  $s$  zurückgelegt

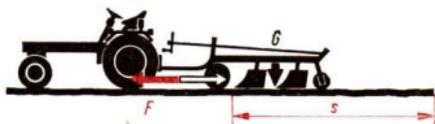
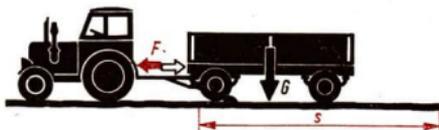


Bild 27/1. Ein Traktor, der einen Wagen auf einer Straße zieht, muß eine Kraft aufwenden, um die Reibung zu überwinden. Diese Kraft ist wesentlich kleiner als das Gewicht des Wagens. Auch hier wird ein Weg  $s$  zurückgelegt



In jedem der drei Beispiele wird eine *Kraft* aufgewendet. Jeder der abgebildeten Körper, an dem die Kraft wirkt, legt einen Weg zurück. Die Kraft hat dabei die gleiche Richtung wie der Weg. Mit diesen Angaben ist es möglich, die *Arbeit W* zu berechnen.

**Unter Arbeit versteht man das Produkt aus aufgewendeter Kraft und zurückgelegtem Weg.  
Die Kraft wirkt dabei ständig in Wegrichtung.**

$$\text{Arbeit} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$$

$$W = F \cdot s$$

Physikalische Größe	Kraft	Weg	Arbeit
Formelzeichen	$F$	$s$	$W$
Einheit (Kurzzeichen)	kp	m	kpm (sprich: Kilopondmeter)

### ■ Beispiel

Ein Traktor zieht einen vollbeladenen Anhänger eine 12 m lange Verladerampe hinauf. Dazu ist eine Zugkraft von 250 kp erforderlich. Wie groß ist die Arbeit?

*Gegeben:*

Kraft  $F = 250 \text{ kp}$

Weg  $s = 12 \text{ m}$

*Gesucht:*

Arbeit  $W$  (in kpm)

*Lösung:*

$$W = F \cdot s$$

$$W = 250 \text{ kp} \cdot 12 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{W = 3000 \text{ kpm}}}$$

Die Arbeit beträgt 3000 kpm.

Die Einheit der Geschwindigkeit hat die Form eines Quotienten, im Zähler steht eine Einheit der Länge, im Nenner eine Einheit der Zeit. Andere Einheiten (z. B. die der Dichte) haben ebenfalls die Form eines Quotienten.

Die Einheit der Arbeit hat dagegen die Form eines Produktes, als ein Faktor steht die Einheit  $\text{kp}$ , als anderer Faktor steht die Einheit  $\text{m}$ .

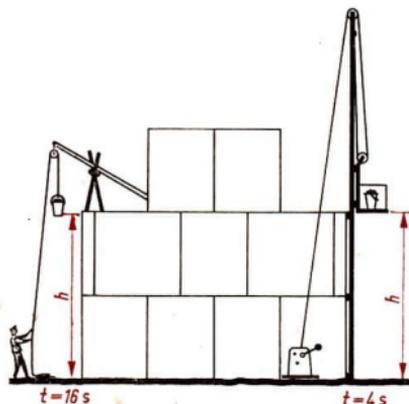
Solche Einheiten, die die Form von Quotienten oder Produkten haben, nennt man *abgeleitete Einheiten*. Sie sind abgeleitet von den *Grundeinheiten* Meter ( $\text{m}$ ), Kilogramm ( $\text{kg}$ ) und Sekunde ( $\text{s}$ ).

## 2. Die Leistung

Betrachte das Bild 28/1!

Um beide Arbeiten vergleichen zu können, berechnet man die **Leistung  $P$** .

Bild 28/1 Der Bauarbeiter und der Lastenaufzug verrichten die gleiche *Arbeit*. Beide heben einen Eimer voll Mörtel auf die gleiche Höhe  $h$ . Es besteht aber ein Unterschied: Der Lastenaufzug benötigt für diese Arbeit weniger Zeit als der Bauarbeiter



Unter **Leistung** versteht man das Verhältnis von einer Arbeit zur aufgewendeten Zeit.

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

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

Physikalische Größe	Arbeit	Zeit	Leistung
Formelzeichen	$W$	$t$	$P$
Einheit (Kurzzeichen)	$\text{kp}\cdot\text{m}$	$\text{s}$	$\frac{\text{kp}\cdot\text{m}}{\text{s}}$ (sprich: Kilopondmeter je Sekunde)

Es gibt noch weitere Einheiten für die Leistung.

Auf elektrischen Geräten sind die Einheiten Watt ( $\text{W}$ ) oder Kilowatt ( $\text{kW}$ ) angegeben.

Es gilt für die Umrechnung:

$$1 \text{ W} = 0,102 \frac{\text{kp}\cdot\text{m}}{\text{s}} \quad \text{und} \quad 1 \frac{\text{kp}\cdot\text{m}}{\text{s}} = 9,81 \text{ W}$$

● *Wieviel Watt sind 1 kW? Was bedeutet die Vorsilbe „Kilo“?*

Eine Einheit für die Leistung ist auch noch die *Pferdestärke* (PS). Sie wird heute fast nur noch bei Verbrennungsmotoren benutzt. Für die Umrechnung gilt:

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

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

### ■ Beispiel

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

Gegeben:

Arbeit  $W = 240 \text{ kpm}$

Zeit  $t = 8 \text{ s}$

Gesucht:

Leistung  $P$  (in  $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ )

Lösung:

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

$$P = \frac{240 \text{ kpm}}{8 \text{ s}}$$

$$P = 30 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

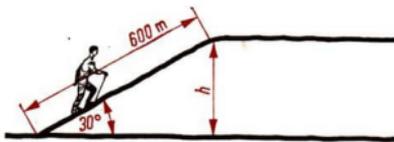
Der Lastenaufzug hat eine Leistung von  $30 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ .

### Überlege, zeichne, berechne!



1. Welche Arbeit (in kpm) wird verrichtet, wenn ein Mann (dessen Körpergewicht 72 kp beträgt) einen Eimer Wasser (Gewicht 7 kp) auf einer Treppe 12 m hoch trägt? Entwerfe eine Skizze und trage die Höhe  $h$  (senkrechter Abstand vom Fußpunkt) ein!
2. Ein Handwagen wird mit einer Kraft von 5 kp einen 2 km langen Weg gezogen. Wie groß ist die Arbeit (in kpm)?
3. Mit einem Lastenaufzug von 70 kp Gewicht werden jeweils 32 Ziegelsteine von je 3,5 kp Gewicht 15 m hochgehoben. Welche Arbeit wird verrichtet?

- \*4. Ein Fußgänger (Gewicht 60 kp) steigt einen 600 m langen Hang hinauf, der zur Horizontalen um  $30^\circ$  geneigt ist. Welche Arbeit verrichtet er beim Ersteigen des Abhangs? (Ermittle die Höhe  $h$  aus einer maßstabgetreuen Zeichnung!)



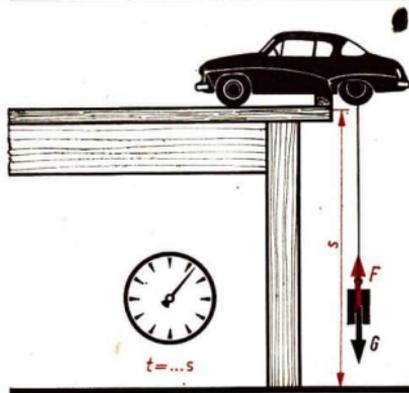
5. Erkläre die Begriffe Arbeit und Leistung!
6. Wie groß ist die Leistung des Lastenaufzuges in Aufgabe 3, wenn die Arbeit in 12 s verrichtet wird?
7. Eine Pumpanlage schafft in 5 s 50 l Wasser in einen 20 m höher gelegenen Behälter. Welche Leistung hat sie?
8. Welche Leistung hat ein Kran, der einen Betonkörper mit einem Gewicht von 6000 kp in 75 s 15 m in die Höhe heben kann?

9. In einem Braunkohlentagebau werden aus der Tiefe von 6 m je Minute  $4,5 \text{ m}^3$  Wasser an die Oberfläche gepumpt. Wie groß ist die Leistung der Pumpe?
10. Eine elektrische Glühlampe hat eine Leistung von 40 W. Wie groß ist die Leistung einer Leuchte mit 6 Glühlampen (in  $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ )? Vergleiche das Ergebnis mit dem Ergebnis der Aufgabe 1!

### Versuche es selbst! Prüfe nach!

1. Bestimme die Leistung eines Motors eines Spielzeugautos, indem du von der Hinterradwelle einen Zwirnfaden aufspulen läßt! 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 daraus und aus dem Gewicht des Wägestückes die Leistung! Fertige ein Meßprotokoll nach folgendem Muster!

Nr. der Messung	Gewicht $G$ in p	Kraft $F$ in kp	Weg $s$ in m	Zeit $t$ in s	Leistung $P$ in $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$
1					
2					
3					



$$\dots\dots\dots : 3 = \dots \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

Die Leistung des Motors beträgt  $\dots \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ .

(Das Anheben des Wägestückes soll so langsam geschehen, daß die Zeit am Sekundenzeiger einer Armband- oder Taschenuhr abzulesen ist.)

### ZUSAMMENFASSUNG

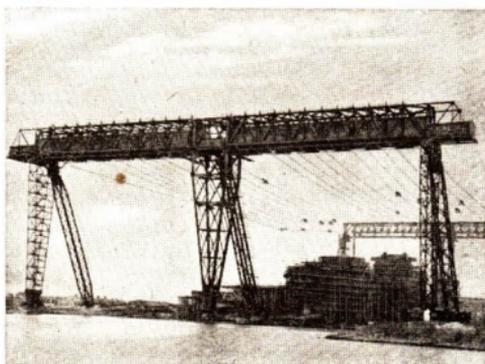
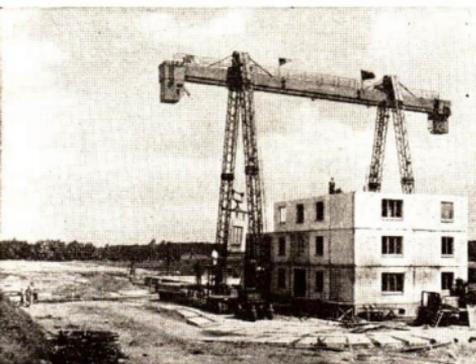
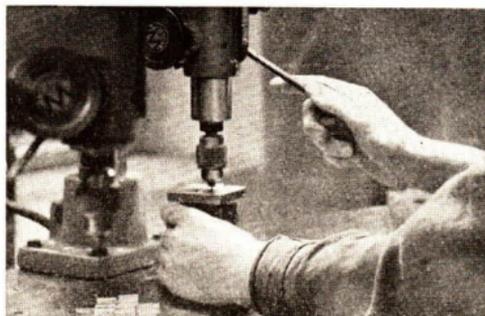
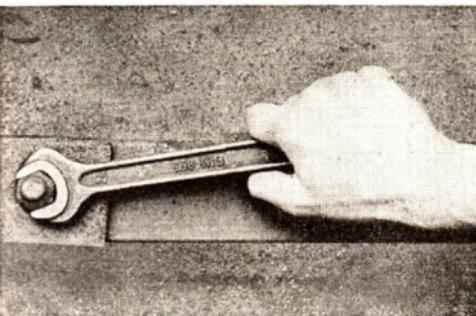
Unter Arbeit versteht man das Produkt aus aufgewendeter Kraft und zurückgelegtem Weg, wenn Kraft- und Wegrichtung zusammenfallen.

Wie verändert sich die Arbeit, wenn sich Kraft und Weg verdoppeln?

Unter Leistung versteht man das Verhältnis von einer Arbeit zur Zeit.

Wie lautet die Gleichung zum Berechnen der Leistung, wenn Kraft, Weg und Zeit gegeben sind?

Welche Einheiten der Leistung sind gebräuchlich?



## Aus der Mechanik der festen Körper

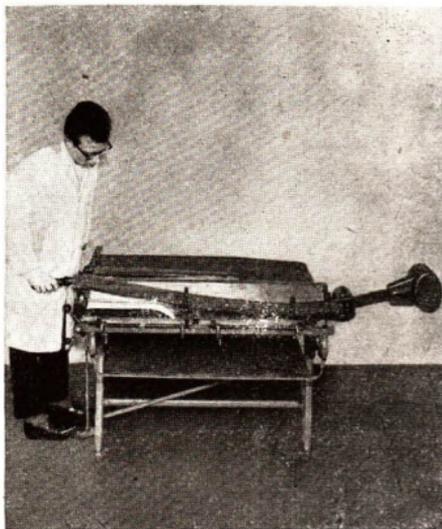
Im Fach Werken, bei Betriebsbesichtigungen, auch zu Hause und auf der Straße, lernt man viele Werkzeuge, Geräte und Maschinen kennen.

So werden zum Beispiel Schrauben mit einem Schraubenschlüssel angezogen, und mit Hilfe einer Bohrmaschine und eines Bohrers wird eine Platte durchbohrt. Kräne heben große Betonteile zum Errichten eines Wohnhauses. So unterschiedlich diese und die vielen anderen Werkzeuge, Geräte und Maschinen in Form und Größe auch sind – einige Teile sind immer wieder zu finden. Es sind dies zum Beispiel der Hebel, die Kurbel und die Schraube. Man nennt sie einfache kraftumformende Einrichtungen. Warum nennt man sie so? Welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten liegen ihrer Wirkung zugrunde? Wie setzt der Mensch sie vorteilhaft bei seinen Tätigkeiten ein?

## Vom Hebel



Buchbinder müssen sehr oft Papier- und Kartonstücke zu einem vorgeschriebenen Format schneiden. Um Zeit zu sparen, werden dabei immer gleich ganze Bündel zugeschnitten. Man benötigt sehr viel Kraft, ein solches Bündel von Kartonblättern mit der Schere oder mit dem Messer durchzuschneiden. Benutzt man jedoch ein Papierschneidemesser, dann ist die benötigte Kraft viel kleiner. Warum ist das so?



### 1. Bau und Wirkungsweise des Hebels

Die Bilder zeigen zwei Möglichkeiten, einen Schrank anzuheben.

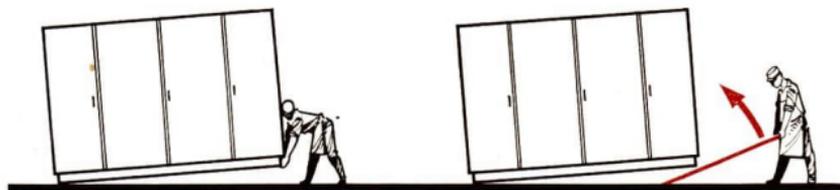


Bild 32/2 Das Heben durch direktes Anfasen an der Unterkante des Schrankes erfordert viel Kraft

Bild 32/3 Mit Hilfe einer Stange (Brechstange) ist es möglich, den Schrank mit weniger Kraft zu heben

Wieso erfordert das Heben mit Hilfe der Brechstange weniger Kraft? Weil die Brechstange dabei als **Hebel** wirkt.

Hebel sind zum Beispiel dadurch gekennzeichnet, daß an einem Stab zwei Kräfte angreifen. Dabei kann sich der Stab um eine feste Achse drehen.

- Überlege, welche beiden Kräfte an der Brechstange wirken und wo die Drehachse liegt!

Die Bilder 33/1 und 33/2 zeigen zwei Hebel. Bevor wir die Wirkungsweise untersuchen, wollen wir einige Begriffe kennenlernen:

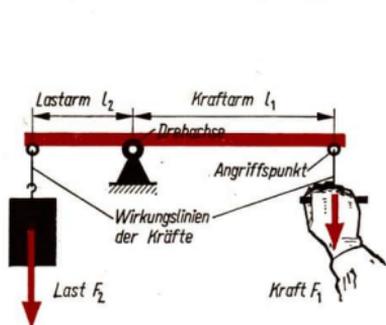


Bild 33/1 Zweiseitiger Hebel

Kraftarm und Lastarm liegen, von der Drehachse aus betrachtet, auf verschiedenen Seiten des Hebels. Kraft und Last sind beide gleichgerichtet

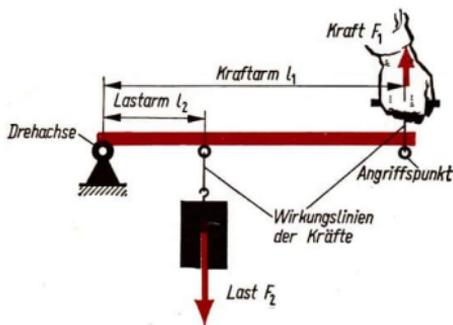


Bild 33/2 Einseitiger Hebel

Kraftarm und Lastarm liegen, von der Drehachse aus betrachtet, auf der gleichen Seite des Hebels. Kraft und Last sind einander entgegengerichtet

**Kraft  $F_1$**  ist die am **Kraftarm  $l_1$**  angreifende Kraft (hier im Bild die aufgewandte Muskelkraft des Menschen).

**Last  $F_2$**  ist die am **Lastarm  $l_2$**  angreifende Kraft (im Bild Gewicht des Körpers). **Angriffspunkte** nennt man die Stellen, in denen die Kraft  $F_1$  und die Last  $F_2$  am Hebel angreifen.

**Hebelarme** nennt man die Abstände von der Drehachse zu den Wirkungslinien der Kräfte.

- Welche Abstände werden als Kraftarm bzw. Lastarm bezeichnet?  
Zeige bei der Brechstange die Drehachse, die Angriffspunkte der Kräfte und den Kraftarm!

Die an einem Hebel erzielte Wirkung ist vom Winkel zwischen Kraft und Hebel abhängig. Bei den folgenden Betrachtungen wirken die Kräfte meistens senkrecht auf den Hebel. In diesem Falle sind die Abstände von der Drehachse zu den Angriffspunkten der Kräfte die Hebelarme.

Mit dem zweiseitigen und mit dem einseitigen Hebel ist es möglich, einen Körper zu heben, dabei wirkt die aufgewandete Kraft nicht direkt an dem Körper, sondern wird durch den Hebel wirksam; man sagt auch, die Kraft wird übertragen.

Merke:

Ein Hebel ist ein starrer Körper, der drehbar ist und Kräfte übertragen kann.

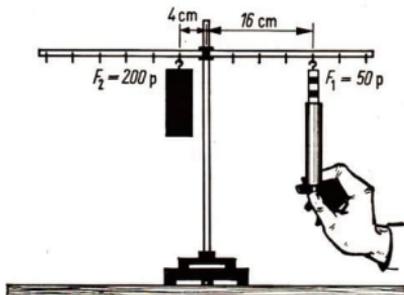
Der starre Körper kann zum Beispiel eine Stange oder ein Brett sein.

## 2. Das Hebelgesetz

Die Bilder 33/1 und 33/2 zeigen, daß man mit Hilfe eines Hebels mit einer kleinen Kraft eine große Last heben kann.

- *Woran erkennst du auf den Bildern, daß Kraft und Last unterschiedlich groß sind?*

Die beiden Hebelarme haben verschiedene Länge. Man nennt einen Hebel, bei dem Kraftarm und Lastarm unterschiedlich lang sind, einen **ungleicharmigen Hebel**, einen Hebel, bei dem die Hebelarme gleich lang sind, einen **gleicharmigen Hebel**. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Länge der Hebelarme und der Größe der angreifenden Kräfte?



8

**V** An einem Stab, der in seiner Mitte drehbar gelagert ist, hängt am Lastarm  $l_2 = 4$  cm eine Last  $F_2 = 200$  p. Mit Hilfe einer Federwaage wird die Größe der Kraft  $F_1$  gemessen, durch die der Hebel ins Gleichgewicht gebracht wird. Mißt man die Kraft für verschieden lange Kraftarme  $l_1$ , so erhält man folgende Ergebnisse:

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

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

- *Zeige in der Tabelle die Zeile, in der ein gleicharmiger Hebel vorliegt!*

Für den zweiseitigen und für den einseitigen Hebel (Bild 35/1) gilt das **Hebelgesetz**:

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

$$\text{Kraft} \cdot \text{Kraftarm} = \text{Last} \cdot \text{Lastarm}$$

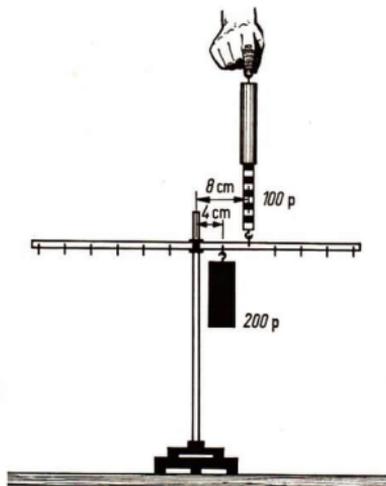
$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

**V** Mit Hilfe der nebenstehenden Versuchsanordnung läßt sich das Gesetz für den einseitigen Hebel bestätigen.

Wir hängen 4 cm von der Drehachse entfernt (Lastarm  $l_2$ ) einen Körper mit einem Gewicht von  $F_2 = 200 \text{ p}$  an. In einer Entfernung von 8 cm (Kraftarm  $l_1$ ) hängen wir eine Federwaage ein und messen die Kraft  $F_1$ . Wie groß muß die aufzuwendende Kraft sein? Prüfe nach!

Hänge die Federwaage in einem Abstand von 12 cm, 16 cm und 20 cm an! Wie groß muß die Kraft sein?

Ändere die Länge des Lastarmes und miß erneut!



Aus dem Hebelgesetz ergeben sich für die Berechnung von Kraft, Last, Kraftarm und Lastarm folgende Gleichungen:

Kraft	Last	Kraftarm	Lastarm
$F_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{l_1}$	$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2}$	$l_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{F_1}$	$l_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{F_2}$

Im Mathematikunterricht der Klasse 7 wird behandelt, wie man durch Umformen diese Gleichungen aus dem Hebelgesetz erhält.

### ■ Beispiel

Eine Brechstange ist 1,10 m lang. Sie soll als zweiseitiger Hebel verwendet werden, um eine Last von 200 kp anzuheben. Wie groß ist die aufzuwendende Kraft, wenn der Lastarm 10 cm und der Kraftarm 1,00 m lang ist?

Gegeben:

Lastarm  $l_2 = 0,1 \text{ m}$

Kraftarm  $l_1 = 1,0 \text{ m}$

Last  $F_2 = 200 \text{ kp}$

Gesucht:

Kraft  $F_1$  (in kp)

Lösung:

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

$$F_1 = \frac{200 \text{ kp} \cdot 0,1 \text{ m}}{1,0 \text{ m}}$$

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

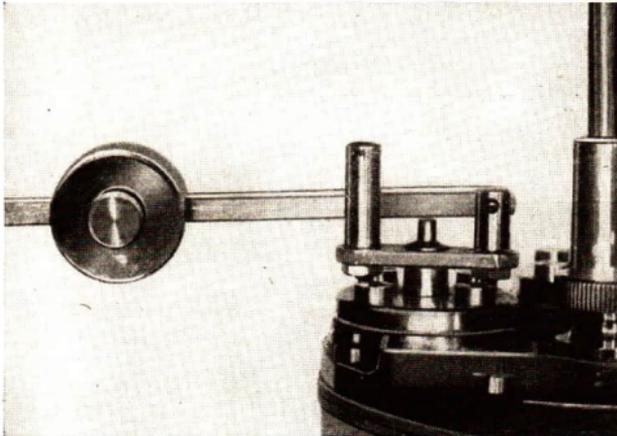
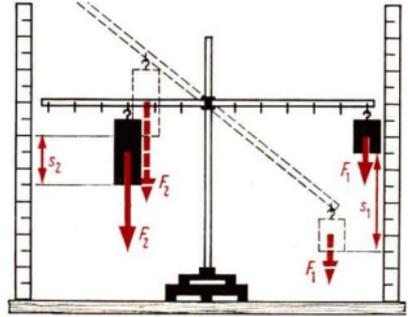
Die aufzuwendende Kraft beträgt 20 kp.

Auch die verrichtete *Arbeit am Hebel* kann berechnet werden (Bild 36/1).

Bild 36/1 Arbeit am Hebel.

Die Last  $F_2 = 200 \text{ p}$  wird um den Weg  $s_2 = 15 \text{ cm}$  gehoben. Andererseits ist der Angriffspunkt der Kraft  $F_1 = 100 \text{ p}$  um den Betrag  $s_1 = 30 \text{ cm}$  gesunken.

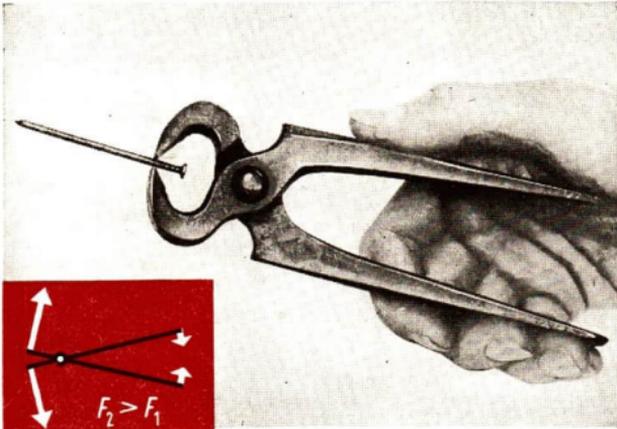
Die aufgewandte Arbeit auf der „Kraftseite“ ist gleich der wirksamen Arbeit auf der „Lastseite“:  $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$



### 3. Anwendung von Hebeln

#### Sicherheitsventil

Das Sicherheitsventil kann durch verschiebbare Gewichtsstücke so eingestellt werden, daß es sich öffnet, wenn der Dampfdruck im Kessel die zulässige Größe erreicht hat. Auf diese Weise können Kesselexplosionen vermieden werden.



#### Kneifzange

Zum Abkniefen von Draht, Nägeln und schmalen Blechstreifen wird eine große Kraft benötigt. Deshalb sind die Kraftarme der beiden ungleicharmigen Hebel einer Kneifzange bedeutend länger als die Lastarme. Vergleiche ihren Bau mit dem Bau einer Papierschere!

#### 4. Hebelwaagen

Das Bild 37/1 zeigt, daß die Waage den Menschen schon vor 2500 Jahren bekannt war.

Alle Waagen, die auf der Wirkung eines oder mehrerer Hebel beruhen, heißen **Hebelwaagen**. Sie haben als *Waagebalken* meist einen zweiseitigen Hebel, an dem beim Wägen die Kräfte angreifen.

● *Auf welcher Wirkung beruht eine Federwaage?*

Körper mit gleichem Gewicht haben an ein und demselben Ort auch gleiche Massen. Deshalb bedeutet das Wägen auf Hebelwaagen einen Vergleich von Massen. Von einem auf diese Weise gewogenen Körper ermittelt man daher nicht sein Gewicht, sondern seine Masse.

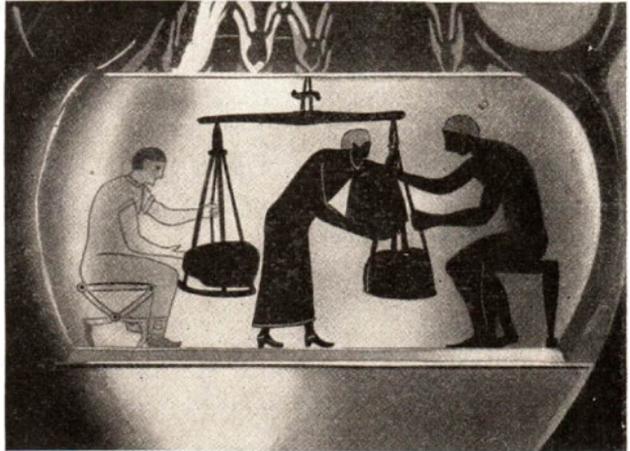
#### Schalenwaage

Das Bild zeigt eine Waage auf einer griechischen Vase aus dem 6. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung.

Wozu wird die Schalenwaage benutzt?

Wie heißen ihre Teile?

Der Zeiger kann zwischen den beiden Schenkeln der Schere schwingen. Bei Gleichgewicht spielt der Zeiger auf eine Marke in dem Fenster der Schere ein.

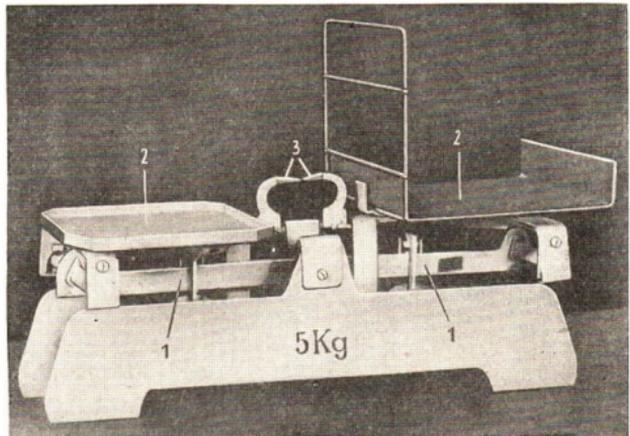


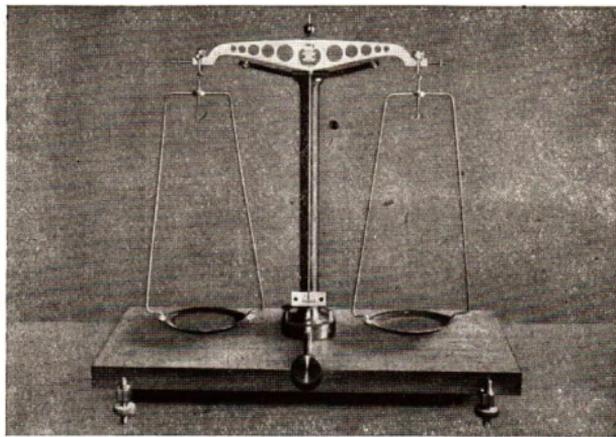
#### Tafelwaage

Nenne ihre wichtigsten Teile!  
Wann ist die Waage im Gleichgewicht?

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

Gib Beispiele für den Gebrauch der Tafelwaage an!  
Studiere den Bau einer Tafelwaage!

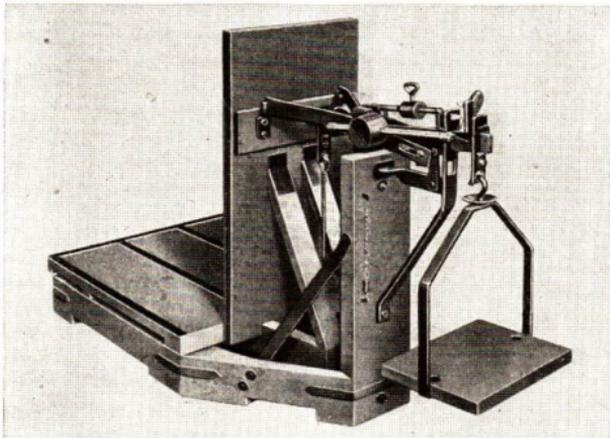




### Präzisionswaage

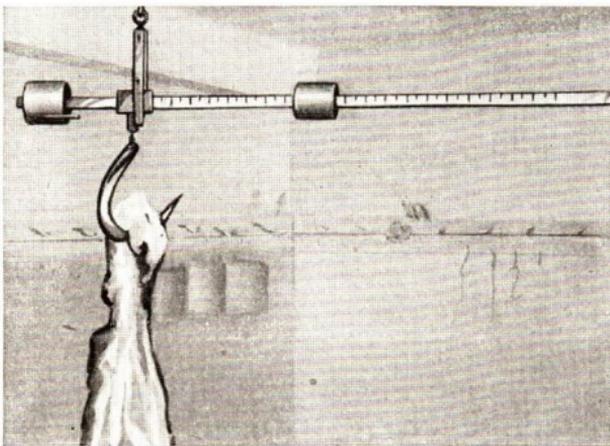
Sie wird in Laboratorien und Apotheken zum Wägen kleiner Massen benutzt. Man kann mit einer solchen Waage im allgemeinen auf 1 mg genau wägen.

Zeige an ihr den Hebel! Wozu dient eine auf dem Grundbrett angebrachte Dosenlibelle?



### Dezimalwaage

Die Dezimalwaage ist so konstruiert, daß zum Herstellen des Gleichgewichts nur ein Zehntel der Last an Wägestücken notwendig ist.



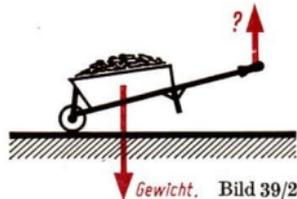
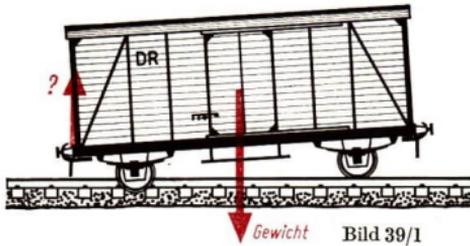
### Römische Schnellwaage

Die Last hängt an einem sehr kurzen Hebelarm. Auf dem langen Hebelarm wird ein Wägestück so weit verschoben, bis die Waage im Gleichgewicht ist. Warum sind die Hebelarme verschieden lang?

Überlege, zeichne, berechne!



1. Nenne die Teile eines Hebels!
- \*2. Ein 12 m langer und 26000 kp schwerer Güterwagen ist mit dem vorderen Räderpaar entgleist (Bild 39/1). Der Achsabstand beträgt 8 m. Welche Kraft ist am vorderen Wagenende aufzuwenden, um den Wagen anzuheben? Die beiden Kräfte sollen rechtwinklig auf den Güterwagenboden wirken. (Trage in eine Skizze die Werte von  $l_1$ ,  $F_2$  und  $l_2$  ein!)
3. Eine Schubkarre mit einer Länge von 170 cm trägt eine Last von 85 kp. Diese befindet sich im Abstände von 45 cm von der Radachse (Bild 39/2). Mit welcher Kraft muß die Schubkarre gehalten werden? (Die Länge wird von der Radachse aus gemessen. Die beiden Kräfte sollen rechtwinklig an der Schubkarre angreifen.)



4. Unterscheide die bei den folgenden Geräten vorkommenden Hebel: Schubkarre, Papierschneidmesser, Nußknacker, Schalenwaage, Sicherheitsventil, Kneifzange, Nagelzieher, Brechstange, römische Schnellwaage, Hebelbremse am Fahrrad.
- \*5. Von 8 gleichaussehenden Kugeln sind 7 gleich schwer, die achte dagegen schwerer als die übrigen. Durch nur zwei Wägungen mit der Tafelwaage ist die schwerere herauszufinden. Wie ist zu verfahren?
6. Das Bild 39/3 zeigt das Prinzip von Waagen. Gib an, bei welchen Waagen du es kennengelernt hast!
7. Auf der Brücke einer Dezimalwaage steht ein Körper mit der Masse von 70 kg (20 kg, 35 kg, 27 kg). Welche Wägestücke liegen auf der Waagschale?
8. Auf der Waagschale einer Dezimalwaage befindet sich ein 5-kg-Stück. Wie groß ist die zu bestimmende Last, wenn auf die Brücke zum Herstellen des Gleichgewichtes noch ein 5-kg-Stück (2-kg-, 1-kg-Stück) gestellt werden muß?

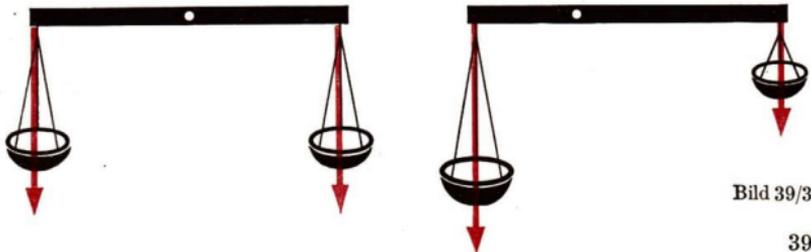


Bild 39/3



Bild 40/1

9. Man kann für alle Hebel den Winkel zwischen Kraftarm und Lastarm angeben (Bild 40/1). Welcher Winkel liegt beim einseitigen Hebel und welcher beim zweiseitigen Hebel vor? Wann nennen wir demnach einen Hebel Winkelhebel? Zeichne entsprechend dem Bild 40/1 noch einige Hebel und die angreifenden Kräfte!
10. In der Werkstatt und im Produktionsbetrieb befinden sich viele Werkzeuge, Geräte und Maschinen. Nenne Teile, die als Hebel wirken!

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Stelle aus einem Bleistift und einem Lineal einen zweiseitigen Hebel her! Bringe diesen Hebel in eine Gleichgewichtslage, wenn auf der einen Seite ein Radiergummi und auf der anderen Seite eine Münze bzw. mehrere Münzen liegen! Vergleiche jeweils die Längen der beiden Hebelarme!
2. Wähle bei dem Hebel in Aufgabe 1 den mit dem Radiergummi belasteten Arm (Lastarm) sehr lang und drücke sehr schnell auf den kurzen Arm (Kraftarm)! Was beobachtest du? Einen solchen Hebel, bei dem der Kraftarm kürzer ist als der Lastarm, nennt man einen Wurfhebel. Wie kommt man zu dieser Bezeichnung?
3. Stelle aus einer Leiste, zwei Dosendeckeln, einer Stricknadel (als Zeiger), etwas Draht und einer dünnen Schnur eine Hebelwaage her!
4. Baue aus dem Schülerübungssatz Mechanik eine Dezimalwaage und führe damit Messungen aus!
5. Baue mit Teilen eines Metallbaukastens eine „Römische Schnellwaage“! Führe sie in der Schule vor und erkläre ihre Wirkungsweise!
6. Das nebenstehende Bild zeigt das Prinzip des zweiseitigen und des einseitigen Hebels. Was bedeuten  $l_1$  und  $l_2$ , was  $F_1$  und  $F_2$ ? Zeige den Kraftarm am einseitigen Hebel! (Beachte, der Kraftarm beginnt an der Drehachse!)

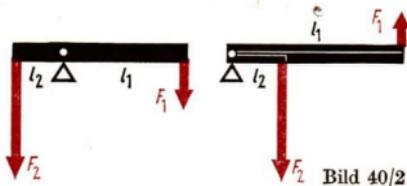


Bild 40/2

# Rollen



Beim Errichten eines Bauwerkes ist eine große Arbeit aufzuwenden, um das Baumaterial in die Bauhöhe zu bringen. Zum Erleichtern dieser Tätigkeit werden die kraftumformenden Einrichtungen Rollen und Flaschenzüge verwendet. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, ähnlich wie bei den Hebeln, mit kleineren Kräften Lasten in die Höhe zu heben. Ihre Wirkungsweise soll näher untersucht werden.



## 1. Mittel zur Kraftübertragung

Kräfte können auf größere Entfernungen übertragen werden. Beim Fahrrad wird zum Beispiel die Kraft des Menschen mit Hilfe einer *Kette* auf das Hinterrad übertragen. Ein Stahlträger kann mit Hilfe eines *Seiles* angehoben werden. Man kann auch *Drähte* und *Riemen* zum Übertragen von Kräften verwenden. Da diese Übertragungsmittel biegsam sind, können mit ihnen nur Zugkräfte übertragen werden.

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

## 2. Die feste Rolle

Oft ist es zweckmäßig oder notwendig, Zugkräfte nicht nur zu übertragen, sondern auch umzulenken (Bild 41/2).

Bild 41/2 Seilführung durch einen festen Porzellanring. Die Zugkraft wird durch ein Seil übertragen. Das Ändern der Richtung der Kraft erfolgt an einem Porzellanring. Wenn das Seil durch den Ring gleitet, tritt zusätzlich eine Reibungskraft auf. Um sie zu überwinden, muß mehr Kraft aufgewendet werden als der Last entspricht. (Näheres über Reibung im Abschnitt Reibung und Wirkungsgrad.)



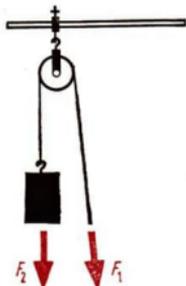


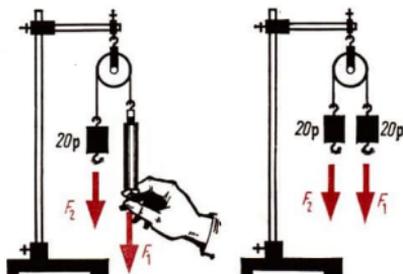
Bild 42/1 Seilführung über eine feste Rolle

Vorteilhaft ist, zum Ändern der Krafrichtung eine Rolle zu verwenden, die sich bei der Bewegung des Seiles mitdreht. Da diese Rolle fest angebracht ist, heißt sie feste Rolle.

Mit einer festen Rolle kann die Richtung einer Zugkraft geändert werden.

10

Über eine feste Rolle wird ein 20-p-Stück an eine Federwaage gehängt, wie es das Bild zeigt. Die Federwaage zeigt eine Kraft von 20 p an. An die Stelle der Federwaage wird dann ein zweites 20-p-Stück gehängt. Es herrscht Gleichgewicht.



Wie durch weitere Versuche festgestellt wurde, ändert sich der Betrag der Kraft nicht, wenn die Richtung der Kraft durch eine feste Rolle geändert wird. (Von der Reibung abgesehen.)

An der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist.

Kraft = Last

$$F_1 = F_2$$

11

Das eine Gewichtsstück wird um die Strecke  $s_1$  nach unten gezogen. Dabei bewegt sich das andere Stück um die Strecke  $s_2$  nach oben. Miß beide Strecken!

Für die feste Rolle gilt:

$$\text{Kraftweg} = \text{Lastweg} \quad s_1 = s_2$$

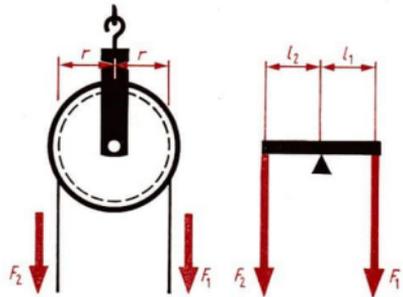
Für beide Seiten der festen Rolle läßt sich die *Arbeit* berechnen. Da die Kräfte und die Wege jeweils gleich sind, sind auch die Arbeiten gleich. Die aufgewandte Arbeit auf der Kraftseite ist gleich der wirksamen Arbeit auf der Lastseite:

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

Bild 43/1 Feste Rolle als Hebel

Man kann die feste Rolle als Hebel auffassen. Sie wirkt wie ein zweiseitiger gleicharmer Hebel. Die Hebelarme sind gleich dem Radius der Rolle (Bild 43/1).

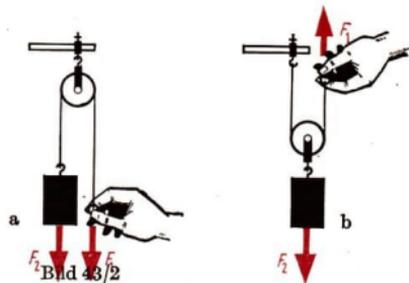
- Wie lautet das Hebelgesetz an der festen Rolle?



### 3. Die lose Rolle

Bei der festen Rolle wirken Kraft und Last in gleicher Richtung. Man muß *nach unten* ziehen, um die Last nach oben zu bewegen (Bild 43/2a).

Es ist aber auch möglich, *nach oben* zu ziehen, um die Last zu heben. Dazu kann man eine Rolle benutzen (Bild 43/2b), die lose in einer Seilschlinge hängt. Sie heißt *lose Rolle*.



12

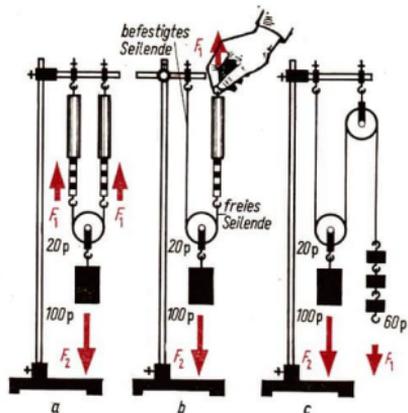
**V** Das Gewicht einer losen Rolle wird mit Hilfe einer Federwaage ermittelt (z. B. 20 p).

Über diese lose Rolle wird ein 100-p-Stück an zwei Federwaagen gehängt, wie es das Bild zeigt. Die Federwaagen zeigen eine Kraft von je 60 p an.

Beim Messen ist also zu bemerken, daß die Federwaagen das Gewicht des 100-p-Stückes und der Rolle anzeigen.

Stelle auch die anderen in den Bildern b und c angegebenen Versuchsaufbauten her! Vergleiche die Kraft am freien Seilende mit der Last (Gewicht der angehängten Körper und der losen Rolle)!

Die im Bild a auf die linke Federwaage wirkende Kraft (die Hälfte der Last) wirkt in den Bildern b und c auf die Befestigung des Seiles.



Die Versuche zeigen:

An der losen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die am freien Seilende an- greifende Kraft halb so groß wie die Last ist.

$$\text{Kraft} = \frac{\text{Last}}{2}$$

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

Die lose Rolle ist eine kraftumformende Einrichtung, mit der die Richtung und die Größe einer Kraft geändert (umgeformt) werden können.

13

**V** Es soll eine lose Rolle um 10 cm gehoben werden. Das freie Seilende muß dabei um 20 cm nach oben geführt werden. Vergleiche die Wege!

An der losen Rolle ist der Kraftweg  $s_1$  doppelt so groß wie der Lastweg  $s_2$ .

$$\text{Kraftweg} = 2 \cdot \text{Lastweg} \quad s_1 = 2 \cdot s_2$$

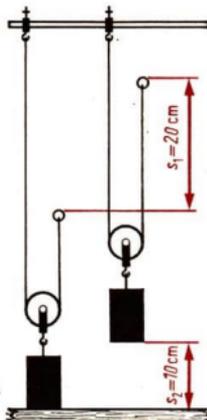
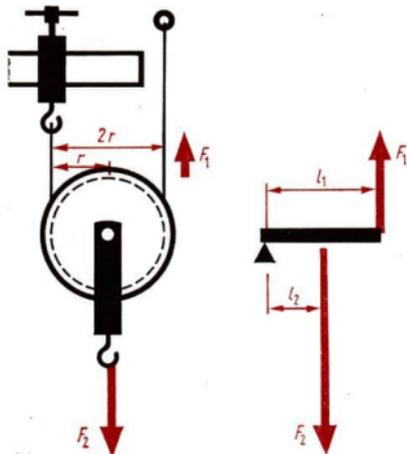


Bild 44/1

- Mit Hilfe einer losen Rolle wird ein Träger mit einem Gewicht von 100 kp auf eine 4 m hohe Plattform gehoben. Wie groß sind die aufzuwendende Kraft und der Kraftweg?



Wenn an einer kraftumformenden Einrichtung die aufzuwendende Kraft kleiner werden soll, wird der Weg der Kraft länger. Die aufzuwendende Arbeit und die verrichtete Arbeit sind an der losen Rolle gleich.

Auch die lose Rolle kann man als Hebel auffassen. Sie wirkt wie ein einseitiger Hebel, dessen Kraftarm doppelt so lang wie sein Lastarm ist (vgl. Bild 44/2).

Bild 44/2 Lose Rolle als Hebel

#### 4. Der Flaschenzug

Man kann feste und lose Rollen so kombinieren, daß nur eine kleine Kraft notwendig ist, um eine große Last anzuheben (Bild 45/1). Da die losen Rollen und die festen Rollen je in einem Gehäuse, in der sogenannten Flasche, angebracht werden, nennt man die Einrichtung Flaschenzug.

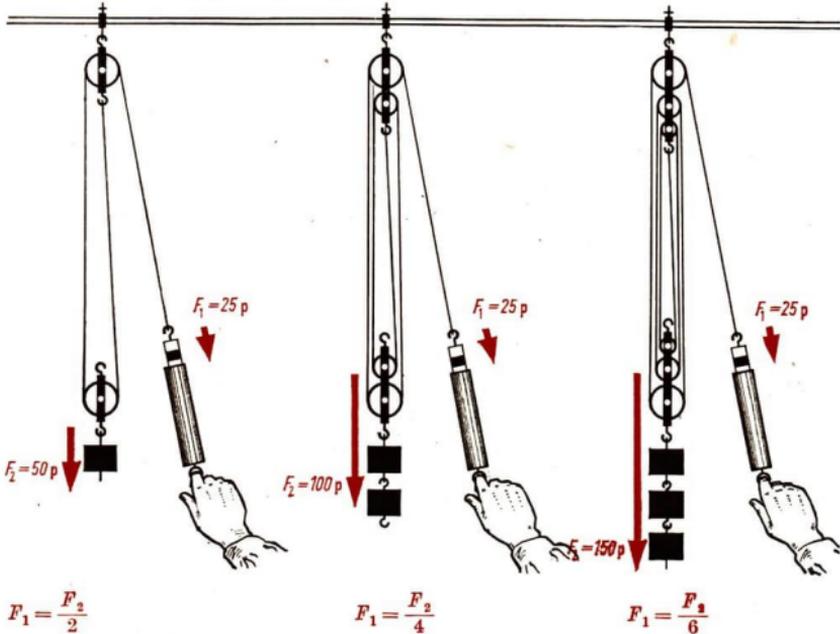


Bild 45/1 Gleichgewichtsbedingungen an drei verschiedenen Flaschenzugmodellen

Da die Last sich auf immer mehr tragende Seilstücke verteilt, ist am freien Seilende eine immer kleinere Kraft aufzuwenden, bzw. ist mit der gleichen Kraft eine immer größere Last anzuheben. Haben wir zum Beispiel 6 tragende Seilstücke, beträgt die Kraft nur  $\frac{1}{6}$  der Last. Bei  $n$  tragenden Seilstücken beträgt die Kraft den  $n$ -ten Teil der Last:

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

Für die aufzuwendende Kraft am Flaschenzug gilt:

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

Der Flaschenzug ist – wie die lose Rolle – eine kraftsparende Einrichtung. Hier wirkt der Rest der Last auf die Befestigung des Flaschenzuges.

Mit Hilfe der obigen Gleichung kann die aufzuwendende Kraft nur näherungsweise bestimmt werden, da die Reibung nicht berücksichtigt wurde. Zur Last gehört auch immer das Gewicht der losen Rolle mit Gehäuse (siehe Bild 47/1).

Bei den drei Flaschenzugmodellen in Bild 46/1 wird die aufzuwendende Kraft mit zunehmender Anzahl der Seilstücke immer kleiner. Bild 46/1 zeigt, daß der Weg der aufzuwendenden Kraft mit der Zahl der Seilstücke immer länger wird.

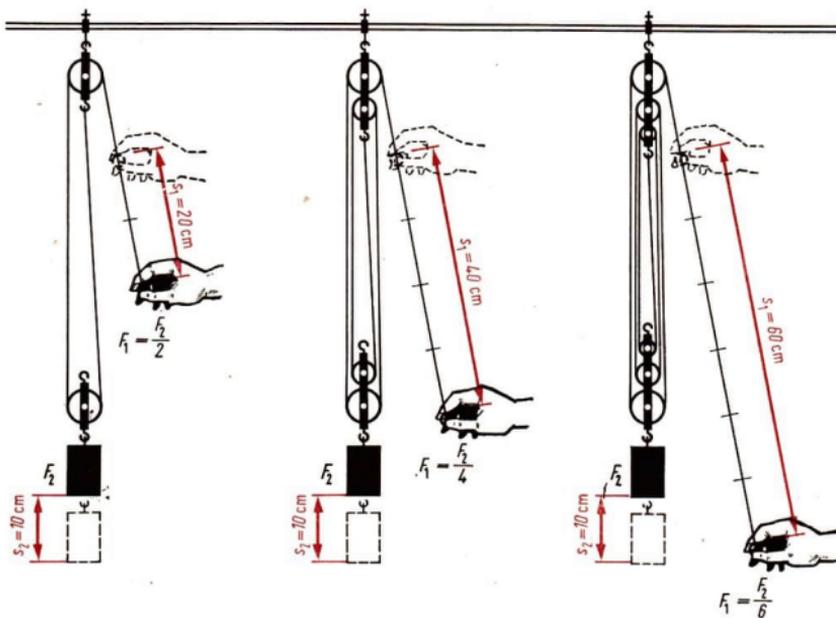


Bild 46/1 Vergleich der Wege von Kraft und Last bei verschiedenen Flaschenzugmodellen. Haben wir zum Beispiel 6 tragende Seilstücke, so beträgt der Kraftweg das 6fache des Lastweges:  $s_1 = 6 \cdot s_2$

Für den Kraftweg am Flaschenzug gilt:

**Kraftweg = Anzahl der tragenden Seilstücke · Lastweg**

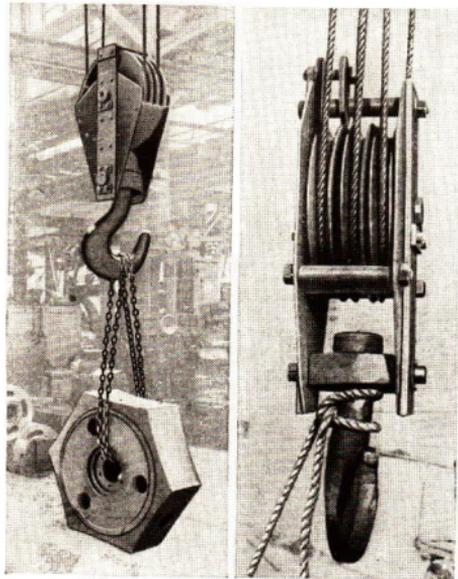
$$s_1 = n \cdot s_2$$

Auch beim Flaschenzug wird der Weg länger, wenn die Kraft kleiner wird.

Bild 47/1 Unterer Teil eines Flaschenzuges. Bei der technischen Ausführung des Flaschenzuges liegen die Rollen meist nicht übereinander, sondern nebeneinander. Die Wirkungsweise dieser Flaschenzüge ist jedoch die gleiche wie die der gezeichneten Modelle

■ **Beispiel**

Ein Flaschenzug besteht aus 6 Rollen (3 feste, 3 lose Rollen). Mit ihm soll eine Last von 300 kp einen Meter hoch gehoben werden. Wie groß sind die aufzuwendende Kraft, der Kraftweg und die zu verrichtende Arbeit? (Das Gewicht der losen Rollen und der Seilstücke sowie die Reibung sollen vernachlässigt werden.)



*Gegeben:*

Last  $F_2 = 300 \text{ kp}$   
 Lastweg  $s_2 = 1 \text{ m}$   
 Seilstücke  $n = 6$

*Gesucht:*

Kraft  $F_1$  (in kp)  
 Kraftweg  $s_1$  (in m)  
 Arbeit  $W$  (in kpm)

*Lösung:*

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

$$F_1 = \frac{300 \text{ kp}}{6}$$

$$\underline{\underline{F_1 = 50 \text{ kp}}}$$

$$s_1 = n \cdot s_2$$

$$s_1 = 6 \cdot 1 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{s_1 = 6 \text{ m}}}$$

$$W_1 = F_1 \cdot s_1$$

$$W_1 = 50 \text{ kp} \cdot 6 \text{ m}$$

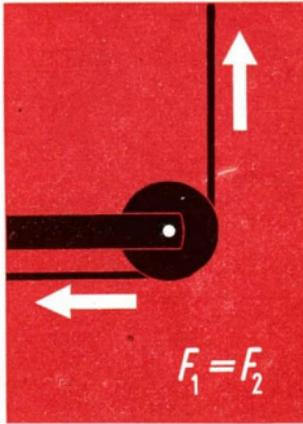
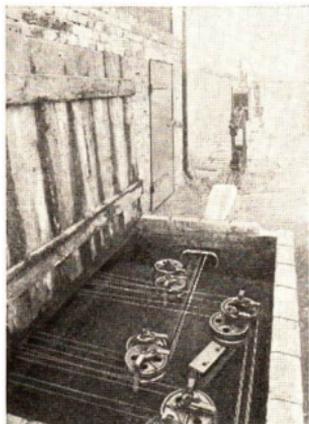
$$\underline{\underline{W_1 = 300 \text{ kpm (Kraftseite)}}}$$

oder auch  $W_2 = F_2 \cdot s_2$

$$W_2 = 300 \text{ kp} \cdot 1 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{W_2 = 300 \text{ kpm (Lastseite)}}}$$

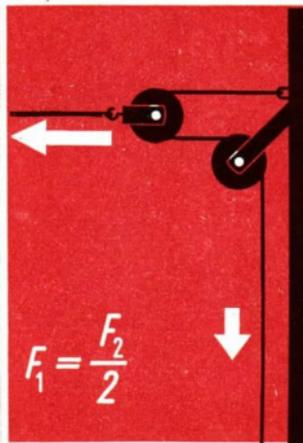
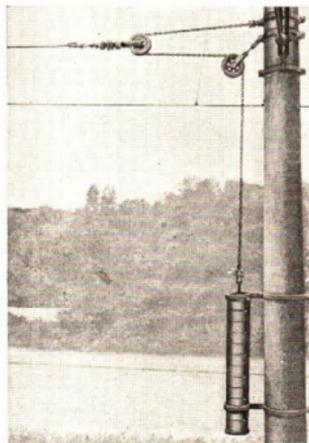
*Die aufzuwendende Kraft beträgt 50 kp, der Kraftweg 6 m. Es wird eine Arbeit von 300 kpm verrichtet.*



## 5. Anwendungen

### Umlenkrollen

Im Rollenkasten eines mechanischen Stellwerks der Deutschen Reichsbahn gibt es viele Umlenkrollen. 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. Vergleiche hierbei Kraft und Last!



### Einfacher Flaschenzug

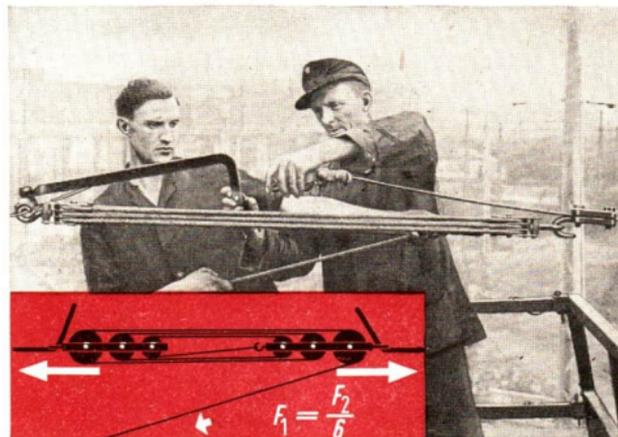
Elektrolokomotiven nehmen die elektrische Energie über Stromabnehmer von den Fahrdrähten ab.

Diese Drähte müssen immer gleichmäßig straff gespannt sein. Das Bild zeigt, wie ein aus zwei Rollen bestehender Flaschenzug als ständige Spannvorrichtung verwendet wird. Warum nimmt man dazu nicht nur eine feste Rolle?

### Flaschenzug als Spannvorrichtung

Um die beiden Enden zweier Drähte zusammenbringen zu können, werden sie mit Hilfe eines Flasenzuges zueinander gezogen.

Das Bild zeigt zwei Arbeiter auf einem Turmwagen der Straßenbahn bei der Ausführung dieser Arbeit. Von den sechs Verbindungsseilen des Flasenzuges werden die drei hinteren durch die drei davorliegenden verdeckt.



**Überlege, zeichne, berechne!**

- ?** 1. Wozu dient das Seil bei festen Rollen, losen Rollen und Flasenzügen?
2. Mit Hilfe einer losen Rolle wird ein Behälter mit einem Gewicht von 150 kp um 2 m angehoben. Berechne Kraft, Kraftweg und Arbeit!
3. Ein mit Holz beladener Hänger ist im Walde im morastigen Untergrund etwas eingesunken. Die Kraft des Traktors reicht nicht aus, den Hänger ohne weitere Hilfsmittel herauszuziehen. Welche Möglichkeit bietet sich dem Traktoristen, wenn er über ein Seil und eine Rolle verfügt? Zeichne das Ergebnis in dein Heft! Begründe deinen Gedanken! (Lage s. Bild 49/1!)

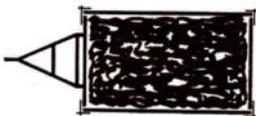


Bild 49/1

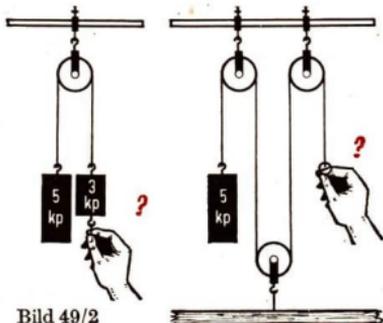


Bild 49/2

4. Welche Kraft ist notwendig, um Gleichgewicht herzustellen (Bild 49/2)?
5. Eine Last von 120 kp wird mit Hilfe eines Flasenzuges durch eine Kraft von a) 20 kp, b) 60 kp, c) 30 kp gehoben.  
An wieviel Seilstücken hängt die Last? Wieviel lose Rollen muß der Flasenzug haben? Zeichne das Ergebnis!
- \*6. Wo besteht in den folgenden Bildern Gleichgewicht? Wie kann man es herbeiführen?

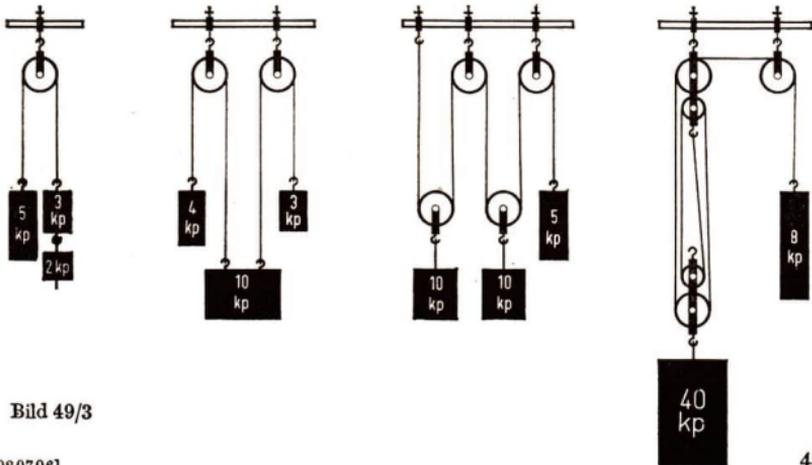


Bild 49/3

- Mit Hilfe eines Flaschenzuges aus zwei festen und zwei losen Rollen soll ein Motorblock mit einem Gewicht von 90 kp um 2 m gehoben werden. Berechne Kraft, Kraftweg und Arbeit!
- In dem Buch „Abenteuer mit Archimedes“ von Karl Rezac aus dem Kinderbuchverlag Berlin wird die Entwicklung der kraftumformenden Einrichtungen geschildert. Berichte nach dem Kapitel IV. „Kindertage eines Riesen“ in einem Schülervortrag, wie sich die Kräne entwickelt haben!

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



- Befestige an den beiden Enden eines Fadens gleich große Gewichtsstücke und hänge das Ganze
  - über einen runden Stab,
  - an einen Porzellanring oder Metallring,
  - über eine feste Rolle (Bild 50/1)! Beurteile die Eignung der einzelnen Anordnungen!
- Baue mit zwei Porzellanringen bzw. mit zwei Rollen sowie Seilen und Gewichtsstücken Versuchsanordnungen, wie sie das Bild 50/2 zeigt! Wann stellt sich Gleichgewicht ein?
- Eine Kombination aus mehreren Ringen (Bild 50/3) nennt man einen Klobenzug. Stelle einen Klobenzug her! Welcher Unterschied zum Flaschenzug besteht?
- Stelle aus Baukastenteilen einen Aufzug und einen Seilspanner her! Führe die Modelle im Unterricht vor und erkläre ihre Wirkungsweise!
- Baue dir einen Flaschenzug aus 4 Rollen und bestimme für angehängte Lasten die Arbeit auf der Lastseite! Daraus kannst du auf die beim Heben der Last aufzuwendende Kraft schließen, wenn du mit dem Lineal jeweils den Kraftweg mißt. Welchen Fehler enthält diese Ermittlung?  
Ist die aufgewendete Kraft größer oder kleiner als die berechnete?

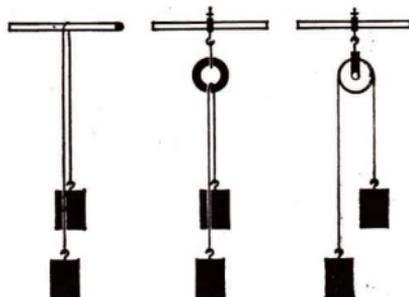


Bild 50/1

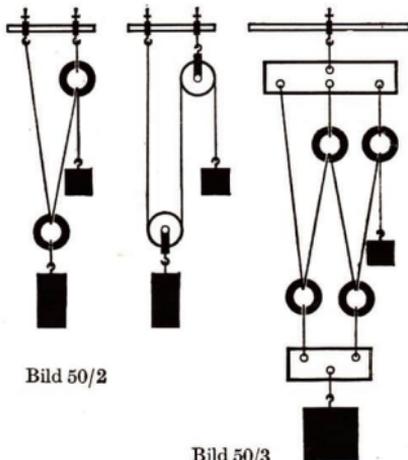
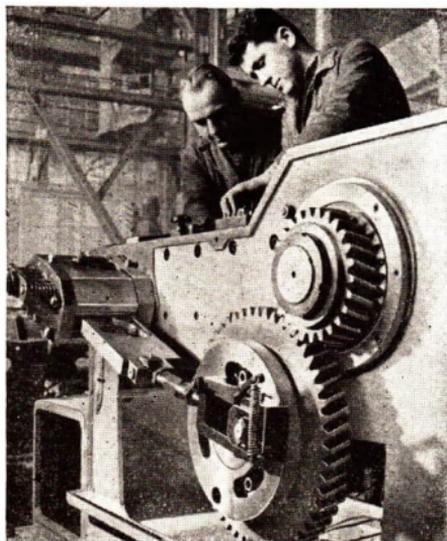


Bild 50/2

Bild 50/3

## Wellrad, Kurbel und Getriebe



Zum Übertragen von Drehbewegungen verwendet man Wellen, Wellräder, Kurbeln und Getriebe. Zahnradgetriebe ermöglichen solche Übertragungen auf einem verhältnismäßig kleinen Raum. Hierbei müssen die Zahnräder sehr genau ineinanderpassen, da sie bei mitunter hohen Drehzahlen große Kräfte zu übertragen haben.

### 1. Das Wellrad

Eine feste Rolle ist auf einer Achse drehbar gelagert. Die Achse selbst dreht sich dabei nicht mit. Das gilt zum Beispiel auch für Fuhrwerks- und Kraftwagenachsen. Es gibt aber auch Achsen, die sich mitdrehen, zum Beispiel die Achsen an Eisenbahnwagen. Allen Achsen ist gemeinsam, daß sie drehbare Maschinenteile lagern und dabei mehr oder weniger durchgebogen werden.

Im Gegensatz zur Achse dient eine Welle dazu, beim Drehen Kräfte zu übertragen. So wird zum Beispiel bei manchen Motorrädern die Kraft des Motors über eine Welle, die sogenannte Kardanwelle, auf das Hinterrad übertragen.

Bei der Kraftübertragung mit Hilfe einer Welle sind, wie bei Hebel und Rollen, Wege und Kräfte zu beachten. Das soll am Wellrad gezeigt werden. Das Wellrad ist eine feste Verbindung eines Rades mit einer Welle.

Bei einer vollen Umdrehung des Wellrades ist der zum Rad gehörige Kraftweg  $s_1$  länger als der zur Welle gehörige Lastweg  $s_2$  (Bild 52/1). Das kommt daher, weil der Radius  $r_1$  des Rades größer ist als der Radius  $r_2$  der Welle.

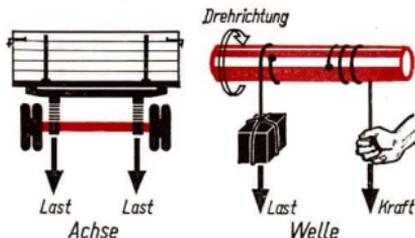


Bild 51/2 Wodurch unterscheiden sich Achse und Welle?

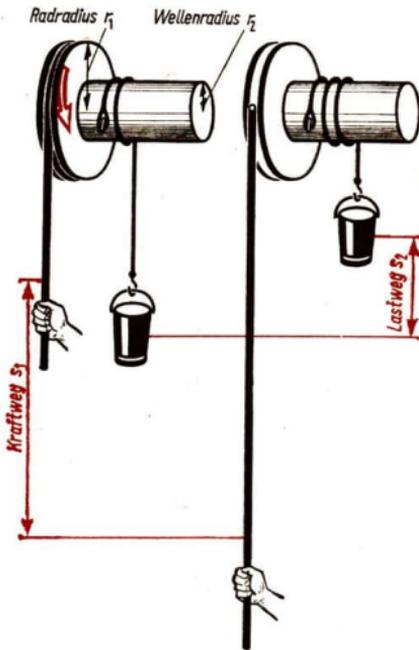
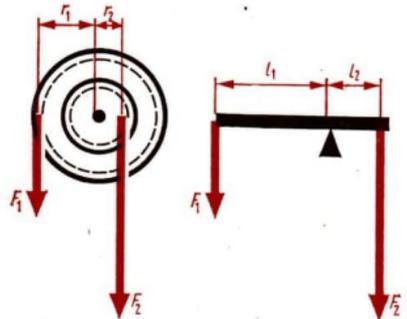


Bild 52/1 Vergleich von Kraftweg und Lastweg bei einer vollen Umdrehung des Wellrades

Bild 52/2 Wellrad und ungleicharmiger Hebel im Gleichgewicht. Das Wellrad wird hier von der Seite betrachtet. Zeige die Teile, die einander entsprechen!



Wie groß sind nun die Kräfte, die diesen Wegen entsprechen?

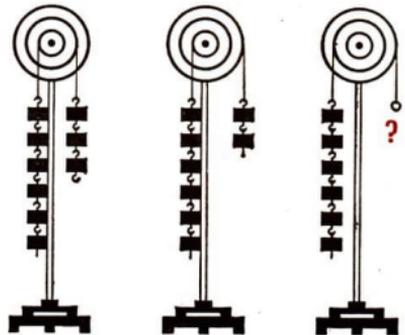
Ist auch das Wellrad eine kraftsparende Einrichtung?

Betrachtet man die Radien am Wellrad als Hebelarme, so kann man die Wirkungsweise eines Wellrades mit der eines ungleicharmigen Hebels vergleichen (Bild 52/2).

Als Modell eines Wellrades dient uns eine Stufenrolle, die aus drei miteinander fest verbundenen Rollen von bestimmten Radien besteht.

14

**V** Stelle an einer Stufenrolle die im Bild dargestellten Gleichgewichtsbedingungen her! Erkläre mit Hilfe des angegebenen Gesetzes, warum Gleichgewicht besteht! Wieviel Wägestücke muß man im dritten Beispiel anbringen, damit Gleichgewicht herrscht?



Auf Grund des Hebelgesetzes gilt:

Am Wellrad besteht Gleichgewicht, wenn das Produkt aus der Kraft und dem Radius des Rades gleich dem Produkt aus der Last und dem Radius der Welle ist.

Kraft · Radradius = Last · Wellenradius

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

### ■ Beispiel

Am Wellrad soll mit Hilfe einer Kraft von 50 kp eine Last von 250 kp angehoben werden. Der Radius der Welle beträgt 5 cm. Wie groß muß der Radius des Rades sein?

Gegeben:

Kraft  $F_1 = 50 \text{ kp}$

Last  $F_2 = 250 \text{ kp}$

Wellenradius  $r_2 = 5 \text{ cm}$

Gesucht:

Radradius  $r_1$  (in cm)

Lösung:

$$r_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{F_1}$$

(siehe Gleichungen im Abschnitt „Vom Hebel“ S. 35)

$$r_1 = \frac{250 \text{ kp} \cdot 5 \text{ cm}}{50 \text{ kp}}$$

$$\underline{\underline{r_1 = 25 \text{ cm.}}}$$

Der Radius des Rades muß 25 cm betragen.

Mit der Versuchsanordnung im Bild 52/3 kann man auch die *Arbeit am Wellrad* berechnen. Wie beim Hebel und bei den Rollen gilt, daß die aufgewandte Arbeit auf der „Kraftseite“ gleich der wirksamen Arbeit auf der „Lastseite“ ist.

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

Auch das Wellrad ist eine kraftsparende Einrichtung. Die Kräfte verhalten sich umgekehrt wie die Wege.

## 2. Die Kurbel

Statt eines Rades kann zum Antrieb einer Welle auch eine **Kurbel** benutzt werden. Man kann sich die Kurbel aus einem Wellrad entstanden denken (Bild 53/1). Die Kurbel wirkt ebenso wie ein Wellrad. Für den Gleichgewichtsfall lautet hier das Gesetz:

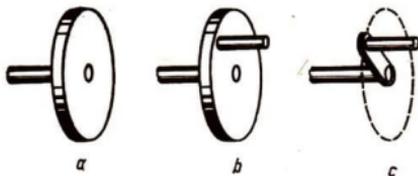


Bild 53/1 Entwicklung der Kurbel aus dem Wellrad

Kraft · Kurbelradius = Last · Wellenradius

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

### ■ Beispiel

Kurbeln verwendet man beispielsweise an verschiedenen Küchenmaschinen, wie am Fleischwolf, an der Brotschneidemaschine und an der Kaffeemühle. Jeder Pedalarm des Fahrrades ist eine Kurbel. Auch an industriellen und landwirtschaftlichen Maschinen sind vielfach Kurbeln vorhanden. Bei Dampfmaschinen und an Verbrennungsmotoren wird die Kraft des Dampfes bzw. der Verbrennungsgase auf eine aus mehreren Kurbeln zusammengesetzte Welle übertragen. Eine solche Welle wird Kurbelwelle genannt (Bild 54/1).

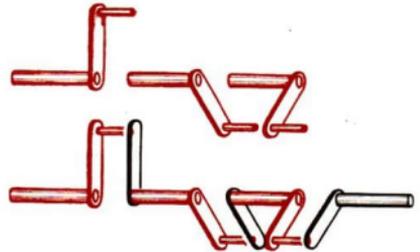
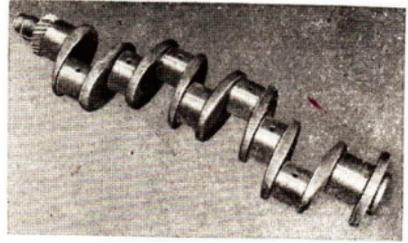
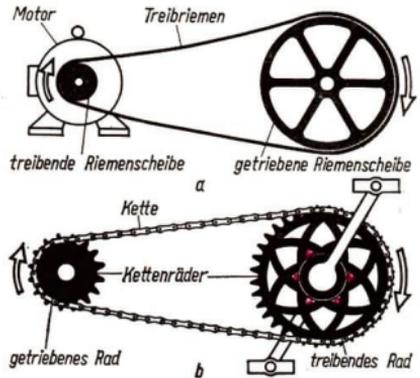


Bild 54/1 Kurbelwelle (Foto und prinzipieller Aufbau)

## 3. Das Getriebe

Bei der Kraftübertragung mittels eines Wellrades haben Rad und Welle die gleiche Drehzahl. Will man Kräfte umformen oder die Drehzahl ändern (oft auch beides gleichzeitig), so benutzt man mehrere Räder und Wellen. Man nennt solche Vorrichtungen **Getriebe**. Einige Getriebe sind:

**Riementrieb.** Er wird angewendet, wenn die beiden *Räder* (Riemenscheiben) weit voneinander entfernt sind. Dabei wird mit Hilfe eines *Treibriemens* die Kraft von einem Rad (*treibende Riemenscheibe*) auf das andere Rad (*getriebene Riemenscheibe*) übertragen (Bild 54/2a). Rutscht der Treibriemen auf einer Riemenscheibe, zum Beispiel bei kurzzeitiger Überlastung, so spricht man vom *Schlupf*.



### ■ Beispiel

Zum Übertragen der Kraft eines Motors auf eine Dreschmaschine wird ein Riementrieb verwendet.

**Kettentrieb.** Er unterscheidet sich vom Riementrieb dadurch, daß man statt der Riemenscheiben Kettenräder und statt

Bild 54/2 a) Riementrieb, b) Kettentrieb

des Treibriemens eine Kette verwendet. Die Zähne des treibenden Rades greifen an den Rollen der Kette an und übertragen dadurch eine Zugkraft über die Kette auf das getriebene Rad. Beim Kettentrieb fällt der beim Riementrieb vorhandene Schlupf weg (Bild 54/2 b).

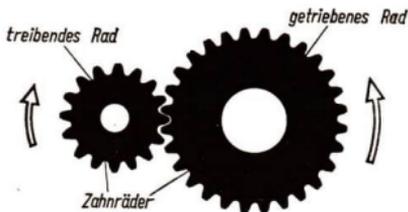


Bild 55/1 Zahnradtrieb

■ **Beispiel**

Ein bekanntes Beispiel für den Kettentrieb ist die Übertragung der Kraft am Fahrrad.

**Zahnradtrieb.** Bei ihm berühren sich die beiden Räder, zwischen denen eine Kraft übertragen wird, direkt. Es sind Zahnräder, deren Zähne ineinandergreifen. Das eine Zahnrad ist das *treibende Rad*, das andere das *getriebene Rad* (Bild 55/1).

■ **Beispiel**

Die Kraftübertragung in Uhrwerken geschieht mit Zahnrädern.

Sind bei einem Getriebe die Räder (Riemenscheiben, Kettenräder, Zahnräder) *gleich groß*, so drehen sie sich in der gleichen Zeit auch gleich oft. Ihre Drehzahlen sind dann gleich.

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| $u_1$ : Umfang des treibenden Rades  | $n_1$ : Drehzahl des treibenden Rades  |
| $u_2$ : Umfang des getriebenen Rades | $n_2$ : Drehzahl des getriebenen Rades |
| $u_1 = u_2$ ;                        | $n_1 = n_2$ .                          |

Haben die Räder *unterschiedliche Größe*, dann sind auch ihre Drehzahlen verschieden. Hat das getriebene Rad zum Beispiel den doppelten Umfang, dann beträgt seine Drehzahl nur die Hälfte der Drehzahl des treibenden Rades:

$$2u_1 = u_2; \quad \frac{1}{2} \cdot n_1 = n_2.$$

● **Erkläre die aufgestellten Gleichungen mit Hilfe des Bildes 55/2!**

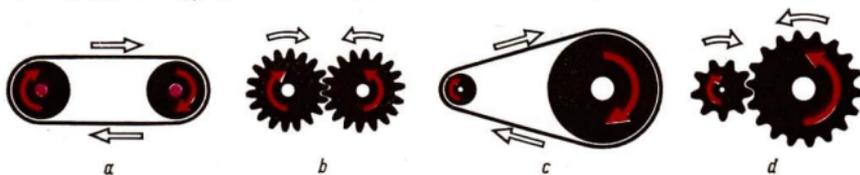


Bild 55/2 Getriebe mit gleich großen Rädern (a und b) und Getriebe mit unterschiedlich großen Rädern (c und d)

Den Quotienten aus der Drehzahl  $n_1$  des treibenden Rades und der Drehzahl  $n_2$  des getriebenen Rades bezeichnet man als das Übersetzungsverhältnis  $i$ . Beachte: Das Übersetzungsverhältnis ist eine Zahl. Es hat keine Einheit!

$\text{Übersetzungsverhältnis} = \frac{\text{Drehzahl des treibenden Rades}}{\text{Drehzahl des getriebenen Rades}}$	$i = \frac{n_1}{n_2}$
--	-----------------------

■ **Beispiel**

Die Drehzahl der treibenden Riemenscheibe beträgt  $n_1 = 300 \frac{1}{\text{min}}$ , die der getriebenen Riemenscheibe  $n_2 = 75 \frac{1}{\text{min}}$ .

Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis?

Gegeben:

$$\text{Drehzahl } n_1 = 300 \frac{1}{\text{min}}$$

$$\text{Drehzahl } n_2 = 75 \frac{1}{\text{min}}$$

Gesucht:

Übersetzungsverhältnis  $i$

Lösung:

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

$$i = \frac{300 \frac{1}{\text{min}}}{75 \frac{1}{\text{min}}}$$

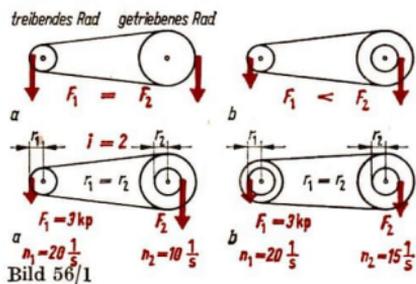
$$i = 4$$

Das Übersetzungsverhältnis dieses Riemetriebes ist 4.

Bei der Betrachtung der Kräfte am Getriebe sollen zunächst die Kräfte an den Umfängen festgestellt werden. Die am Umfang des treibenden Rades wirkende Kraft  $F_1$  wird durch den Riemen, die Kette bzw. die Zähne auf den Umfang des getriebenen Rades übertragen. Dabei ist die am Umfang des getriebenen Rades auftretende Kraft  $F_2$  gleich der Kraft  $F_1$ , die am Umfang des treibenden Rades angreift (Bild 56/1a).

Will man mit einem Getriebe eine zu übertragende Kraft vergrößern oder verkleinern, so kann man dies erreichen, wenn zum Beispiel ein Rad des Getriebes ein Wellrad ist (Bild 56/1b). Für die Berechnung der Kräfte kann das Hebelgesetz (in der Form für das Wellrad) benutzt werden.

Für den Fall, daß die Radien (Hebelarme) der beiden Wellen, an denen die Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  angreifen, gleich sind, läßt sich die Kraft  $F_2$  aus der Kraft  $F_1$  und dem Übersetzungsverhältnis  $i$  berechnen. Es gilt dann:



Die übertragene Kraft  $F_2$  ist das Produkt aus dem Übersetzungsverhältnis  $i$  und der treibenden Kraft  $F_1$ .

Übertragene Kraft = Übersetzungsverhältnis · treibende Kraft

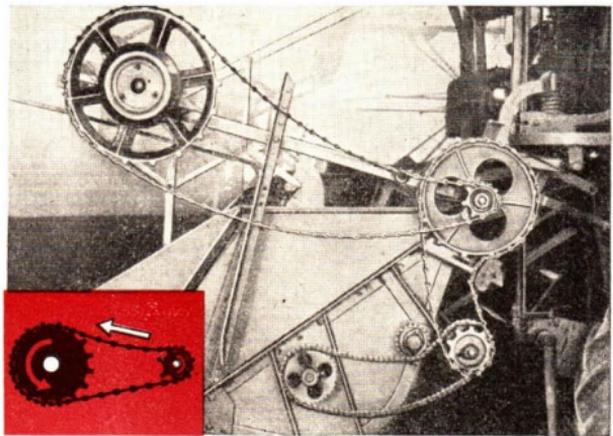
$$F_2 = i \cdot F_1$$

● Berechne für die Beispiele in dem Bild 56/2 die Kraft  $F_2$ !

## 4. Anwendungen

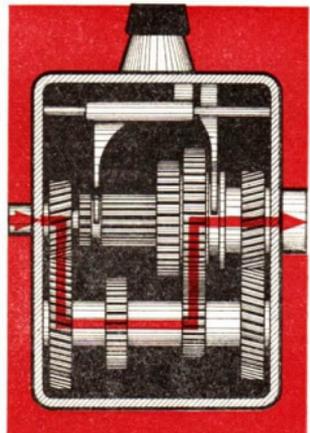
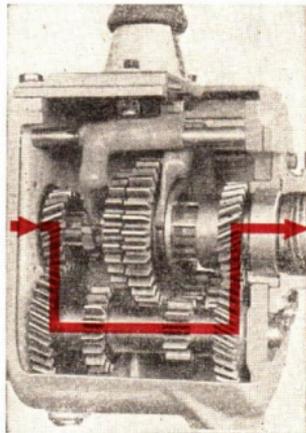
### Kettentrieb am Mährescher

Solche Kettentriebe findet man am vorn gelegenen Schneidwerk eines Mähreschers. Hier wird das Erntegut in einer bestimmten, einstellbaren Höhe abgeschnitten und dem Druschwerk zugeführt. Kettentriebe können bei Überlastung nicht rutschen. Man sagt, sie haben keinen *Schlupf*.



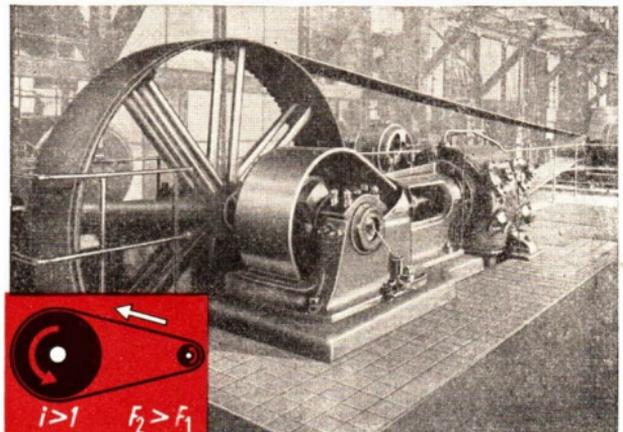
### Kraftwagengetriebe

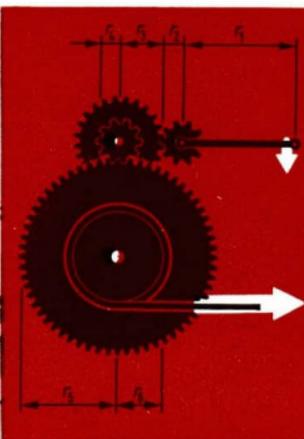
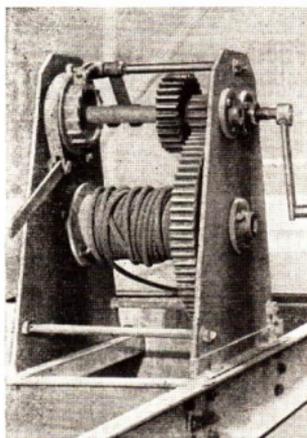
Kurbelwellen von Verbrennungsmotoren haben bestimmte Umdrehungszahlen, die aber für einen direkten Antrieb der Fahrzeugräder zu hoch sind. Ein Getriebe setzt über Zahnräder diese hohen Umdrehungszahlen herab, wodurch gleichzeitig die Kraft erhöht wird. Warum? Das Getriebe besteht aus mehreren Zahnradpaaren zur stufenweisen Änderung des Übersetzungsverhältnisses (links 3. Gang, rechts 1. Gang).



### Riemetrieb

Vom Motor im Hintergrund wird über einen Riemetrieb die Kraft auf eine große Riemenscheibe übertragen. Diese ist ein Wellrad. Die am Umfang des großen Rades angreifende Kraft wird bedeutend vergrößert, weil der Radius der kleinen Welle wesentlich kleiner als der Radius des großen Rades ist.





### Seilwinde

Von einer Kurbel wird die menschliche Kraft auf eine Welle übertragen, auf der ein großes und ein kleines Zahnrad sitzen. Von dem kleinen Zahnrad wird die Kraft auf ein großes Zahnrad übertragen, das wiederum auf eine Seiltrommel wie ein Wellrad wirkt.

Verfolge die Kraftumformung im nebenstehenden Schema!

### Überlege, zeichne, berechne!

1. An einem Wellrad soll mit Hilfe einer Kraft von 20 kp eine Last von 160 kp gehoben werden. Der Wellenradius beträgt 3 cm. Wie groß muß der Radradius sein?
2. Was bedeutet es, wenn das Übersetzungsverhältnis eines Getriebes
  - a) größer als 1,
  - b) gleich 1,
  - c) kleiner als 1 ist?
 Fertige dazu eine Skizze an!
3. Wann können wir von einer „Übersetzung ins Langsame“, wann von einer „Übersetzung ins Schnelle“ sprechen?
4. Die Drehzahl der treibenden Riemenscheibe beträgt  $n_1 = 400 \frac{1}{\text{min}}$ , die der getriebenen Riemenscheibe  $n_2 = 50 \frac{1}{\text{min}}$  ( $800 \frac{1}{\text{min}}$ ,  $350 \frac{1}{\text{min}}$ ,  $40 \frac{1}{\text{min}}$ ). Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis?
5. Die treibende Riemenscheibe hat einen Umfang  $u_1 = 30$  cm, die getriebene einen Umfang  $u_2 = 120$  cm. Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis?
6. Bei Zahnradern gibt man statt des Umfangs die Anzahl der Zähne an. Wie kann man hier das Übersetzungsverhältnis ermitteln?
7. Die Drehzahl einer Welle soll mit Hilfe eines Zahnradtriebs vervierfacht werden. Das treibende Rad hat 160 Zähne. Wieviel Zähne muß das getriebene Rad haben?
8. Welche Kraft wird im Beispiel der Aufgabe 7 übertragen, wenn die treibende Kraft 10 kp (50 kp, 200 kp) beträgt?
- \*9. Die mit Hilfe eines Kettentriebs zu übertragende Arbeit beträgt 200 kpm. Das treibende Rad hat einen Umfang (auf dem die Kette abrollt) von  $u_1 = 25$  cm. Es dreht sich während der Arbeit achtmal.
  - a) Welche treibende Kraft liegt vor?
  - b) Welche Kraft wird übertragen, wenn das Übersetzungsverhältnis  $i = 5$  beträgt?

## Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Stelle aus einem Rundstab und einem Rad ein Wellrad her! Belaste Rolle und Rad wie im Bild 52/3! Zeige, daß im Gleichgewichtsfalle die Gleichung  $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$  gilt!
2. Zähle bei deinem Fahrrad die Zähne des Kettenrades und des Zahnkranzes! Bestimme daraus das Übersetzungsverhältnis! Überlege dir, wie du das Übersetzungsverhältnis auch aus den Drehzahlen bestimmen kannst!
3. Bestimme Übersetzungsverhältnisse, zum Beispiel an einer Nähmaschine, an einer Seilwinde, an der Gangschaltung eines Fahrrades usw.!
4. Baue eine Seilbahn (z. B. mit Hilfe eines Metallbalkens) und treibe sie mit einer Seilwinde an!

## ZUSAMMENFASSUNG

**Ein Hebel ist ein starrer Körper, der um eine Achse drehbar ist und Kräfte übertragen kann.**

Unterscheide gleicharmige und ungleicharmige Hebel!

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

Zu welchem Hebelarm gehört die größere Kraft?

**An der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist. Der Kraftweg ist dann gleich dem Lastweg.**

Wozum ist die feste Rolle keine kraftsparende Einrichtung?

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

Wie groß sind hier Kraft- und Lastweg?

**An einem Flaschenzug herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich dem Quotienten aus der Last und der Anzahl der Seilstücke zwischen den Rollen ist.**

Welches Zusatzgewicht ist hierbei noch zu berücksichtigen?

**Am Wellrad herrscht Gleichgewicht, wenn das Produkt aus der Kraft und dem Radius des Rades gleich dem Produkt aus der Last und dem Radius der Welle ist.**

Wieso ist die Kurbel ein Spezialfall des Wellrades?

**Das Übersetzungsverhältnis ist der Quotient aus der Drehzahl des treibenden Rades und der Drehzahl des getriebenen Rades.**

Wie lautet eine Gleichung zur Berechnung des Übersetzungsverhältnisses?

**Beim Getriebe ist die übertragene Kraft gleich dem Produkt aus dem Übersetzungsverhältnis und der treibenden Kraft (Bei gleichen Radien der Kräfte  $F_1$  und  $F_2$ ).**

Was versteht man unter dem Übersetzungsverhältnis?

## Geneigte Ebene, Keil und Schraube



Auf dem Bild sind die Friedensfahrer an der steilen Wand von Meerane zu sehen. Große Kraft muß jeder Fahrer aufwenden, um diesen Berg zu bezwingen. Warum ist die aufzuwendende Kraft geringer, wenn der Berg nicht so steil ist, das heißt, wenn die Anfahrtstrecke länger ist? Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Länge der Anfahrt und der aufzuwendenden Kraft? Spielt das Gewicht des Fahrers eine Rolle?



### 1. Kräfteverhältnis an der geneigten Ebene

15

**V** Lege ein Buch auf den Tisch und hebe es auf der einen Seite mit Hilfe der Federmappe etwas an! Die Fläche des Buches stellt jetzt eine geneigte Ebene dar. Ein Bleistift kann herunterrollen.



Bild 60/2

Da der Bleistift seinen Bewegungszustand ändert, muß eine Kraft auf ihn wirken. Diese Kraft rührt vom Gewicht des Bleistifts her (Bild 60/2). An Stelle des Neigungswinkels  $\alpha$  gibt man oft das Verhältnis der Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge an (Bild 60/3). Bildet man den Quotienten (das Verhältnis) verschiedener zusammengehöriger Höhen und Längen, so stellt man fest, daß er bei gleichem Neigungswinkel stets konstant ist. Prüfe nach!

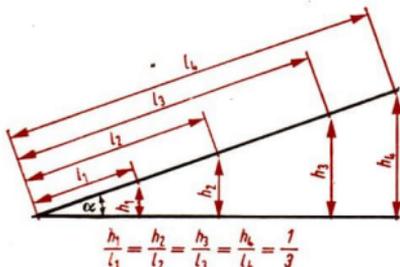
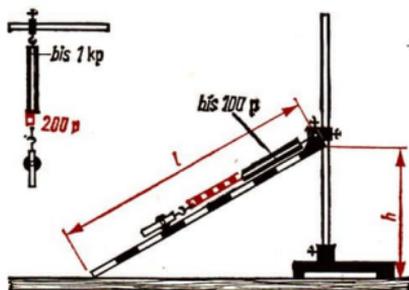


Bild 60/3 Die Steigung (und auch Neigung) einer geneigten Ebene ist vom Neigungswinkel  $\alpha$  abhängig

**V** Wir bauen eine Versuchsanordnung nach dem nebenstehenden Bild auf. Zunächst ermitteln wir das Gewicht der Walze. Dann legen wir diese auf die geneigte Ebene und messen bei verschiedenen Höhen (die Länge bleibt gleich) die Hangabtriebskraft. Die gefundenen Werte werden in eine Tabelle eingetragen:



Nr. der Messung	Höhe $h$ in cm	Länge $l$ in cm	$\frac{h}{l}$	Hangabtriebskraft $F_H$ in p		Gewicht $G$ des Körpers in p	$\frac{F_H}{G}$
				gemessen	gerundet		
1	40	50	0,8	165	160	200	$\approx 0,8$
2	30	50	0,6	125	120	200	$\approx 0,6$
3	20	50	0,4	85	80	200	$\approx 0,4$
4	10	50	0,2	45	40	200	$\approx 0,2$

Der Vergleich zusammengehöriger Zahlenwerte führt zu folgender Feststellung: Für jede Messung hat das Verhältnis aus Höhe und Länge der geneigten Ebene etwa den gleichen Wert wie das Verhältnis aus der Hangabtriebskraft und dem Gewicht des Körpers. Man sagt:

Die Hangabtriebskraft verhält sich zum Gewicht des Körpers wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge.

$$\frac{\text{Hangabtriebskraft}}{\text{Gewicht}} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Länge}}$$

$$\frac{F_H}{G} = \frac{h}{l}$$

### ■ Beispiel

Welche Kraft ist erforderlich, um einen 100 kp schweren Handwagen eine 5 m lange Aufahrt hinaufzuziehen? Die Höhe beträgt 1 m.

Gegeben:

Gewicht  $G = 100$  kp

Länge  $l = 5$  m

Höhe  $h = 1$  m

Lösung:

$$\frac{F_H}{G} = \frac{h}{l} \quad | \cdot G$$

$$F_H = \frac{G \cdot h}{l}$$

$$F_H = \frac{100 \text{ kp} \cdot 1 \text{ m}}{5 \text{ m}} \quad \text{kürzen!}$$

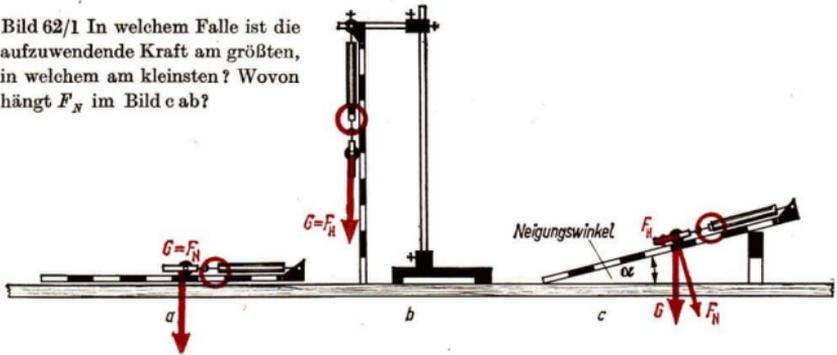
$$\underline{\underline{F_H = 20 \text{ kp}}}$$

Gesucht:

Hangabtriebskraft  $F_H$  (in kp)

Es ist eine Kraft von 20 kp erforderlich, um den Wagen hinaufzuziehen.

Bild 62/1 In welchem Falle ist die aufzuwendende Kraft am größten, in welchem am kleinsten? Wovon hängt  $F_N$  im Bild c ab?



Bei den Versuchen treten Abweichungen von diesem Gesetz auf. Der gemessene Wert für die Hangabtriebskraft ist, insbesondere bei geringer Höhe, von der Reibung abhängig.

Aus den Versuchen geht weiterhin hervor, daß die **Hangabtriebskraft**  $F_H$  stets kleiner als das Gewicht ist. Die Hangabtriebskraft wirkt parallel zur geneigten Ebene (Ursache der Bewegung). Ein Teil des Gewichts wird von der geneigten Ebene getragen; dieser Teil wirkt als **Normalkraft**  $F_N$  rechtwinklig auf die Unterlage (Ursache einer Umformung). Das Verhältnis der Kräfte zueinander hängt vom Neigungswinkel  $\alpha$  ab (Bild 62/1 c).

Wie groß ist die Arbeit an der geneigten Ebene?

Um einen Körper die geneigte Ebene hinaufzuziehen, benötigen wir eine Kraft, die so groß wie die Hangabtriebskraft ist. (Tatsächlich muß wegen der vorhandenen Reibung die Kraft etwas größer sein.) Die Arbeit, die verrichtet werden muß, ist dann

$$W_1 = F_H \cdot l.$$

Heben wir jedoch den Körper senkrecht und bringen ihn in die gleiche Lage, dann müssen wir eine Kraft aufbringen, die so groß wie sein Gewicht ist. Der Weg ist dabei die Höhe der geneigten Ebene. Die Arbeit ist

$$W_2 = G \cdot h.$$

Wenn wir für jeden Fall der obigen Tabelle die Arbeit berechnen, erhalten wir:

Nr.	$W_1 = F_H \cdot l$ in pcm	$W_2 = G \cdot h$ in pcm	Nr.	$W_1 = F_H \cdot l$ in pcm	$W_2 = G \cdot h$ in pcm
1	8000	8000	3	4000	4000
2	6000	6000	4	2000	2000

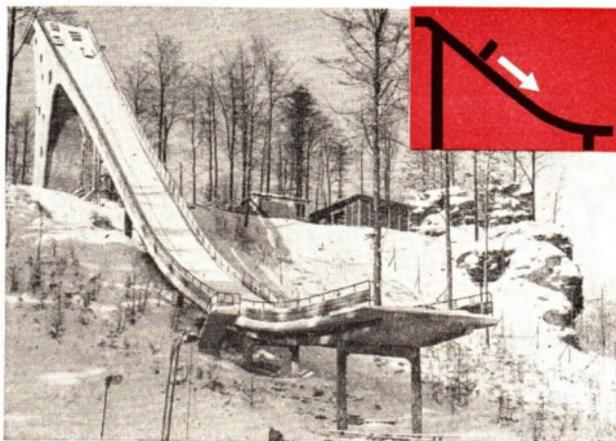
Die Arbeit beim Hinaufziehen eines Körpers auf einer geneigten Ebene ist so groß, als wenn man den Körper senkrecht hebt. (Wegen der Reibung ist die Arbeit beim Hinaufziehen tatsächlich größer.)

- Welchen Vorteil bietet trotzdem die Verwendung einer geneigten Ebene?

## 2. Anwendungen der geneigten Ebene

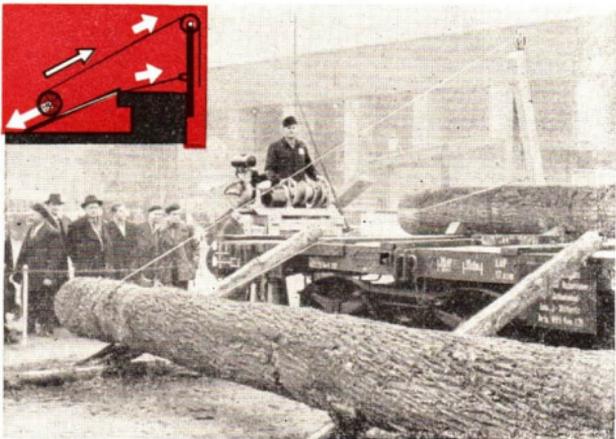
### Sprungschanze

Auch die Sprungschanze (hier im Bild die Große Aschbergschanze bei Klingenthal) ist teilweise eine geneigte Ebene. Sie dient dazu, dem Skispringer die für weite Sprünge erforderliche Geschwindigkeit zu erteilen.



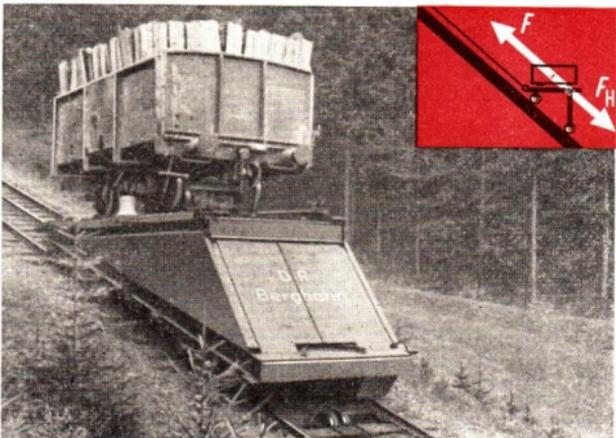
### Verladevorrichtung

Zum Verladen von Fässern benutzt man noch heute die Schrotleiter, eine Leiter ohne Sprossen. Diese Verladevorrichtung für Baumstämme ist nichts anderes als eine solche Schrotleiter. Die Kraft wird hier durch eine Motorwinde aufgebracht.



### Schrägaufzug

In Steinbrüchen, Tongruben und Braunkohlengruben benutzt man Schrägaufzüge, um das geförderte Gut aus der Grube zu transportieren. Das nebenstehende Bild zeigt, daß sogar ein Eisenbahnwaggon mit so einem Schrägaufzug befördert werden kann.



### 3. Der Keil

Das älteste Werkzeug der Menschen ist der Keil. Er wurde zuerst in der Form des Faustkeils verwendet. Mit Faustkeilen wurden früher Tiere getötet, Äste abgeschlagen und andere Arbeiten verrichtet. Im Laufe der Entwicklung lernten es die Menschen, auch andere keilförmige Werkzeuge aus Stein herzustellen, zum Beispiel Steinäxte, Steinmesser und Schaber. Auch heute noch ist der Keil eine wichtige kraftumformende Einrichtung. Man unterscheidet einseitige und zweiseitige Keile (Bild 64/1).



Bild 64/1 a, b Einseitiger und zweiseitiger Keil

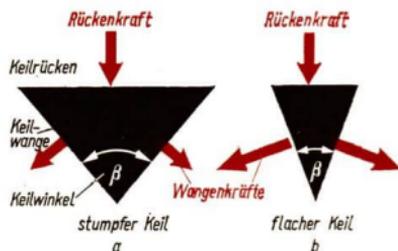


Bild 64/2 a, b Stumpfer und flacher Keil. Bei einem stumpfen Keil sind die Wangenkräfte nicht so groß wie bei einem flachen Keil

- *Vergleiche den einseitigen Keil mit der geneigten Ebene! Welche Gemeinsamkeiten bestehen? Welche Unterschiede stellst du fest?*

Auch beim Keil findet eine Kräftezerlegung statt. Dabei hängt das Verhältnis der Kräfte vom Keilwinkel  $\beta$  ab (Bild 64/2).

### 4. Die Schraube

Soll eine geneigte Ebene größere Höhen erreichen und trotzdem nicht zu steil sein, dann muß sie sehr lang sein. Um sie auf engem Raum unterzubringen, kann man sie unterteilen (Bild 64/3a) oder aufwickeln (Bild 64/3b).

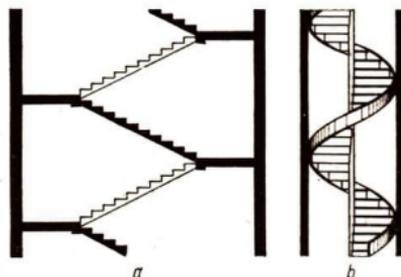


Bild 64/3 a Treppe, b Wendeltreppe

Eine „aufgewickelte“ geneigte Ebene nennt man eine **Schraube** (Bild 64/4a).

Aus den Bildern 64/4b und c sind die Bezeichnungen für die Teile einer Schraube zu entnehmen. Schrauben werden sehr vielfältig angewendet. *Befestigungsschrauben* dienen dazu, einen Körper mit einem anderen zu verbinden (festzuschrauben). *Transportschrauben* werden benutzt, um Körper fortzubewegen. *Zug- oder Druckschrauben* üben auf die Körper Zug- oder Druckkräfte aus.

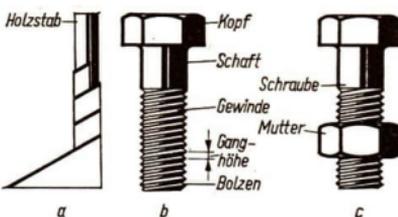


Bild 64/4 Schraube

- Papiermodell einer Schraubenlinie
- Metallschraube
- Schraube und Mutter

## 5. Anwendungen des Keils

### Befestigungskeil

Stempel im Bergwerk, Stützpfeiler bei Gerüsten und Balken beim Hausbau werden mit Hilfe von Keilen befestigt. Der Keil ist in diesem Falle ein einfaches Mittel, um diese Körper in ihrer Lage festzuhalten. Bei Hämmern, Äxten und Hacken benutzt man den sogenannten Haltekeil zum Befestigen des Stiels.



### Beil

Axt und Beil sind sogenannte Spaltkeile. Sie dienen zum Spalten von Holzstücken. Die keilförmige Schneide dringt in das Holz ein und treibt es auseinander. Auch unsere Küchenmesser benutzen wir in den meisten Fällen als Spaltkeile.

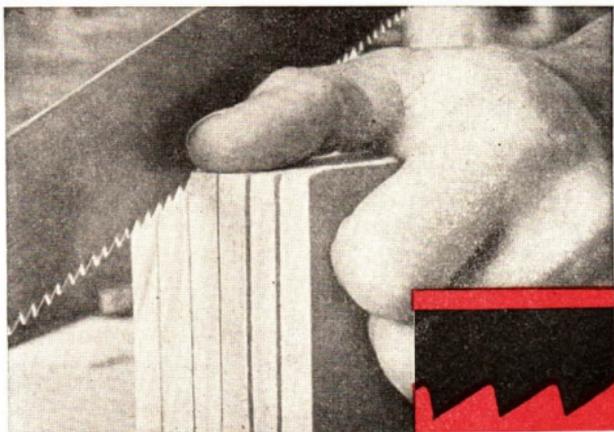
Welche Keilform liegt bei einem Beil vor? Vergleiche die Größe der aufzuwendenden Kraft und der wirkenden Kräfte!

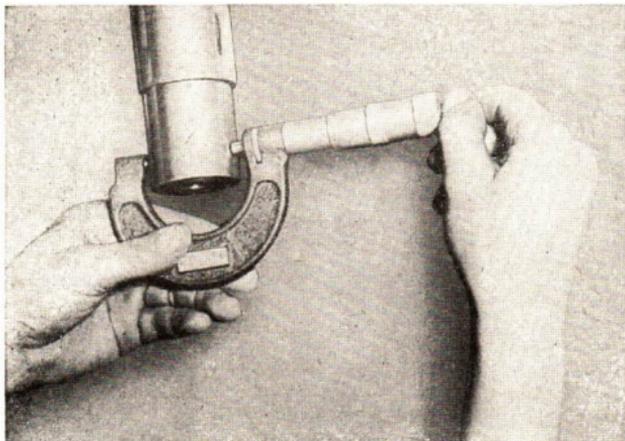


### Säge

Das Sägeblatt hat eine Reihe hintereinanderliegender Keile. Beim Bewegen der Säge hebt jeder dieser Keile, jeder Sägezahn, einen Span ab. Dadurch dringt die Säge ziemlich rasch in das Material ein.

Auch das Stemmeisen, der Stechbeitel und der Hobel gehören zu dieser Gruppe von Keilen.

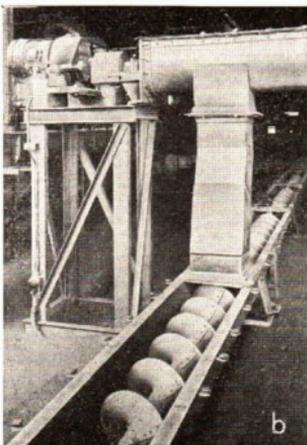
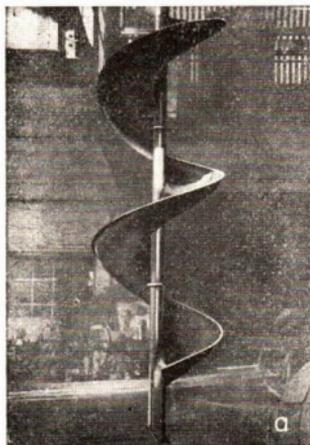




## 6. Anwendungen der Schraube

### Feinmeßschraube

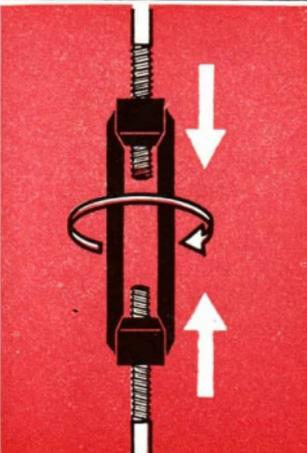
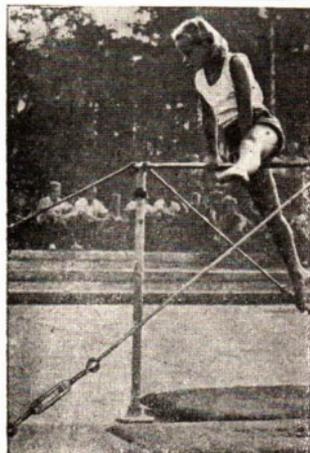
Die Feinmeßschraube besitzt eine Maßeinteilung, auf der man den Weg ablesen kann, den die Meßspindel zurückgelegt hat. Die Skale auf der Meßtrommel ermöglicht zum Beispiel ein Ablesen von hundertstel Millimetern.



### Sackwendelrutsche Transportschraube

Bei der Sackwendelrutsche (Bild a) wird eine feststehende Schraube dazu benutzt, um Säcke von einem hochgelegenen Lagerraum z. B. auf darunterstehende Fahrzeuge gleiten zu lassen.

Die Förderschnecke (Bild b) ist eine Transportschraube. Diese Schraube wird von einem Motor gedreht. Die Schraubengänge schieben dabei das Fördergut weiter.



### Spannschloß

Hast du bei Turnwettkämpfen einmal beobachtet, wie ein Spannreck aufgestellt wird? Damit die Drahtseile oder Ketten recht straff gespannt werden können, sind überall Spannschlösser eingesetzt. Von den beiden Zugschrauben besitzt eine Links- und eine Rechtsgewinde.

Die einfachen kraftumformenden Einrichtungen Hebel und Rolle in ihren verschiedenen Formen gehören zu den ältesten Arbeitsmitteln. Sie werden seit Jahrtausenden verwendet; die großen Bauwerke des Altertums, wie die ägyptischen Pyramiden, konnten nur mit ihrer Hilfe errichtet werden. Die Gesetzmäßigkeiten wurden jedoch erst viel später erkannt. Das Hebelgesetz wurde von dem bedeutendsten Wissenschaftler des griechischen Altertums, von ARCHIMEDES (287 bis 212 v. u. Z.) aus Syrakus gefunden. ARCHIMEDES kannte auch bereits die Wirkungen der Flaschenzüge und der Schrauben, und mit Hilfe der gefundenen Gesetzmäßigkeiten baute er die ersten zusammengesetzten mechanischen Maschinen. In dieser bewußten Anwendung und der mathematischen Beherrschung der Erkenntnisse müssen wir die ersten bescheidenen Anfänge der Technik sehen. (Ausführlich berichtet das Buch „Abenteuer mit Archimedes“ von Karl Rezac aus dem Kinderbuchverlag Berlin.)

Wir haben bei der Entwicklung der Gesetze der kraftumformenden Einrichtungen den umgekehrten Weg beschritten, den die Wissenschaft ging oder besser gehen mußte: Wir leiteten die Gesetze an Hebel, Rolle und Keil immer unter der stillschweigenden Voraussetzung ab, daß bei allen diesen Maschinen Reibung und Verformung überhaupt nicht auftreten. Dadurch, daß wir von diesen in Wirklichkeit immer vorhandenen Erscheinungen absahen – abstrahierten –, fanden wir so einfache und durchsichtige Gesetze.

Die Wissenschaft konnte diesen Weg nicht gehen, weil sie erst im Laufe der Jahrhunderte ihrer Entwicklung die vielen äußeren Ursachen erkennen und erklären mußte. Es ist das große Verdienst von ARCHIMEDES, als erster erkannt zu haben, daß man von solchen äußeren Einflüssen abstrahieren muß, um zu den „idealen“ Gesetzen zu kommen, so wie wir sie heute in unseren Physikbüchern finden. Ein „ideales“ Hebelgesetz gilt eben für alle Hebel, ganz gleich wie sie aussehen, aus welchem Material sie hergestellt, wo sie verwendet werden. Nur mit solchen abstrakten Gesetzen läßt sich überhaupt erst eine Wissenschaft aufbauen, die sich nicht in unzähligen Einzelheiten verliert, sondern die Vielfalt der wirklichen Erscheinungen auf wenige grundsätzliche „ideale“ Gesetze zurückführt.

### Überlege, zeichne, berechne!



1. 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?
2. Ein Handwagen wird eine 5 m lange Auffahrt hinaufgezogen. Sein Gewicht beträgt 120 kp, die erforderliche Zugkraft 18 kp. Welche Höhe erreicht der Wagen am Ende der Auffahrt? Fertige eine Skizze dazu an!
3. Eine Förderbahn überwindet 20 m Höhenunterschied auf einer 120 m langen Strecke von konstanter Neigung. Welche Zugkraft ist zum Emporziehen einer Lore von 2580 kp Gewicht erforderlich? Welche Arbeit wird dabei verrichtet?
- \*4. Die Seilwinde eines Schrägaufzuges verrichtet bei einer Zugkraft von 600 kp eine Arbeit von 36 000 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!
5. An welchen Küchengeräten findest du Keile?
6. An welchen Küchengeräten findest du Schrauben? (Achte nicht nur auf Befestigungsschrauben!)
7. Welche landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungsmaschinen nutzen die Keilwirkung aus?
8. Welche Werkzeuge kennst du aus dem polytechnischen Unterricht? Nenne solche, die die Keilwirkung ausnutzen!

9. Welche Kraft zeigt die Federwaage in der nebenstehenden Zeichnung an, wenn der Wagen 200 p schwer ist? Fertige eine Zeichnung einer geneigten Ebene mit einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  an und entnimm daraus Höhe und Länge! Warum ist es gleichgültig, an welchem Punkt Höhe und Länge gemessen werden?

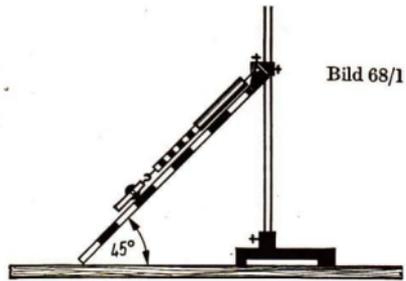


Bild 68/1

**Versuche es selbst! Prüfe nach!**



1. Baue mit Hilfe eines Brettes eine geneigte Ebene! Setze einen Holz- oder Eisenklotz auf zwei Walzen (Bleistifte) und miß mit der selbstgefertigten Federwaage (S. 18) die Hangabtriebskraft bei verschiedenen Höhen! Fertige dazu nachstehendes Meßprotokoll an!

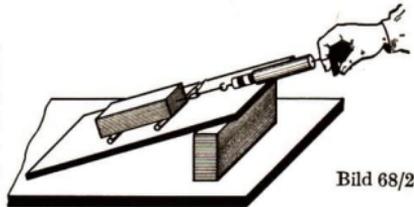


Bild 68/2

Nr.	h in cm	$F_H$ in p (gemessen)	$F_H$ in p (berechnet)
1	5		
2	10		

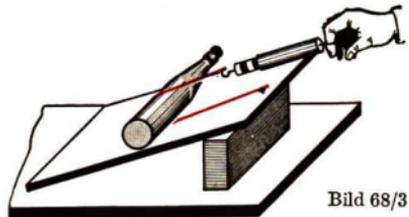


Bild 68/3

Berechne die Hangabtriebskraft zu jeder Höhe und vergleiche den berechneten Wert mit dem Meßergebnis!

2. Lege eine mit Wasser gefüllte Flasche auf die geneigte Ebene und halte sie mit einem Faden (Bild 68/3)! Warum mißt du nur die Hälfte der berechneten Hangabtriebskraft?
3. Zeichne auf Papier eine geneigte Ebene und schneide sie aus! Wickle sie um einen Bleistift; es entsteht das Modell einer Schraube! (Vgl. auch Bild 64/4a!)
4. Schnitze aus Holz einen stumpfen und einen flachen Keil! Welcher läßt sich leichter in ein Stück Knetmasse drücken? Untersuche, ob an Werkzeugen ähnliche Verhältnisse auftreten!

**ZUSAMMENFASSUNG**

Das Gewicht eines Körpers auf der geneigten Ebene wird in zwei Kräfte zerlegt, in die Hangabtriebskraft und in die Normalkraft. Das Verhältnis der Kräfte ist vom Neigungswinkel abhängig.

Wie berechnet man die Hangabtriebskraft? Wie kann man die geneigte Ebene als kraftumformende Einrichtung verwenden?

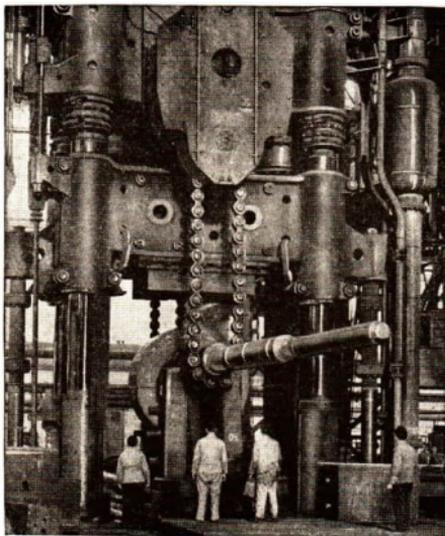
**Keil und Schraube sind besondere Anwendungsformen der geneigten Ebene.**

Nenne Verwendungszwecke für Keile und Schrauben!

## Satz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit

Eine der größten Schmiedepressen unserer Republik steht im volkseigenen Stahl- und Walzwerk Gröditz bei Riesa. Dieser Gigant der Technik ist 16 m hoch und kann mit einer Kraft von 6 000 000 kp pressen.

Solche Pressen werden von Motoren angetrieben, die die notwendigen Riesenkräfte nicht aufbringen können. Warum verrichten die verwendeten Motoren trotzdem solche großen Arbeiten?



In den Betrieben des Schwermaschinenbaues stehen große Arbeitsmaschinen. Mit einer Kraft von mehreren Millionen Kilopond wird der Stößel der im Bild gezeigten Presse tief in den glühenden Stahlblock gepreßt. Dabei wird bei einem kleinen Weg von nur einigen Millimetern eine Arbeit von einigen hunderttausend Kilopondmetern verrichtet.

Der Begriff der physikalischen Arbeit wurde im Abschnitt „Arbeit und Leistung“ erklärt als *Produkt von Kraft und Weg, wenn die Kraft ständig in Wegrichtung wirkt*. Die Arbeit wird in kpm gemessen. Bei der Betrachtung der kraftumformenden Einrichtungen haben wir stets festgestellt, daß bei kleiner werdender Kraft der Weg größer werden muß, wenn die gleiche Arbeit verrichtet werden soll.

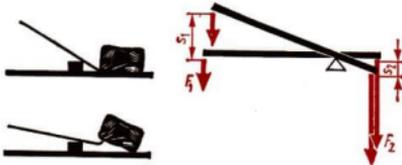
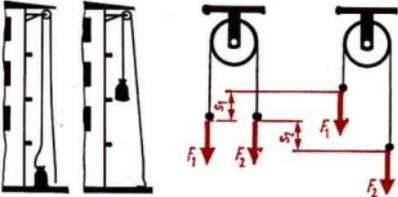
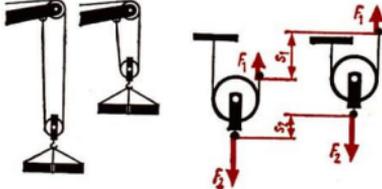
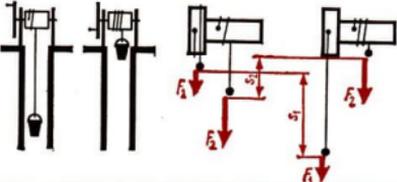
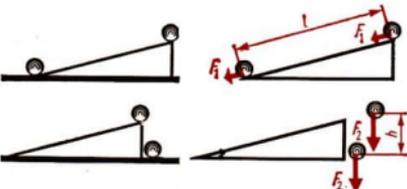
Für alle diese kraftumformenden Einrichtungen gilt der Satz von der Erhaltung der Arbeit:

**Bei allen kraftumformenden Einrichtungen ist die Arbeit auf der Kraftseite gleich der Arbeit auf der Lastseite.**

Wir setzen dabei voraus, daß die Arbeit ohne Reibung erfolgt. In der Praxis ist das allerdings nie ganz durchführbar.

Der Satz von der Erhaltung der Arbeit ist nicht auf die Mechanik beschränkt. Er gilt zum Beispiel auch für elektrische Arbeit und Wärmearbeit, die in der Klasse 8 behandelt werden. In der Mechanik hat man den Inhalt dieses Satzes früher als die „Goldene Regel der Mechanik“ bezeichnet.

Tabelle 4: Arbeit an kraftumformenden Einrichtungen

Einrichtung	Berechnung der Arbeit	Beispiel
<p><b>Hebel</b></p>	<p>Arbeit:  <math>F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2</math>                      (Hebelgesetz:  <math>F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2</math>)</p>	
<p><b>Feste Rolle</b></p>	<p>Arbeit:  <math>F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2</math></p>	
<p><b>Lose Rolle</b></p> <p>Der Flaschenzug ist eine Kombination von Rollen</p>	<p>Arbeit:  <math>F_1 \cdot s_1 = \frac{F_2}{2} \cdot 2s_2</math></p>	
<p><b>Wellrad</b></p> <p>Die Kurbel ist ein Spezialfall des Wellrades</p>	<p>Arbeit:  <math>F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2</math>                      (Hebelgesetz:  <math>F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2</math>)</p>	
<p><b>Geneigte Ebene</b></p> <p>Keil und Schraube sind Anwendungen der geneigten Ebene</p>	<p>Arbeit:  <math>F_1 \cdot l = F_2 \cdot h</math></p>	

# Mechanische Energie

Um Pflastersteine fest in den Sand hineinschlagen zu können, verwendet man oft Explosionsrammen. Diese werden zum Beispiel durch die Kraft einer in ihnen ausgelösten Explosion in die Höhe geschleudert und fallen dann durch ihr Gewicht wieder herunter. Wodurch ist es möglich, daß die herabfallende Ramme Arbeit verrichten kann?



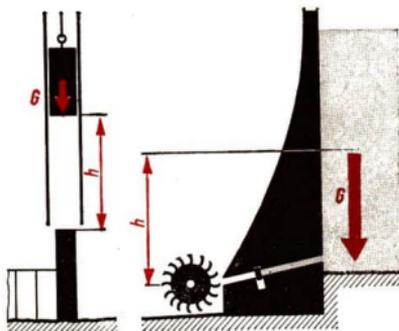
## 1. Die Lageenergie

Wir heben einen Körper mit dem Gewicht  $G$  vom Erdboden auf einen Tisch. Dabei muß die Arbeit  $G \cdot h$  aufgewendet werden, die scheinbar verschwindet, denn man kann dem ruhenden Körper nicht ihren Verbleib „anschen“. Er kann aber beim Herabfallen auf den Fußboden, wobei er also seine alte Lage wieder einnimmt, den Boden zerstören oder selbst zerstört werden. Beide Vorgänge erfordern einen Arbeitsaufwand.

Dieser Arbeitsaufwand stammt aus der Arbeit, die wir beim Heben des Körpers in ihn „hineingesteckt“ haben. Man nennt diese aufgespeicherte Hebearbeit das *Arbeitsvermögen* des gehobenen Körpers oder seine **potentielle Energie**<sup>3</sup> oder auch seine **Lageenergie**  $W_{\text{pot}}$ . Diese Lageenergie wird als Arbeit zurückgewonnen, wenn sich der Körper nach unten bewegt. Das ist zum Beispiel beim Rammbaren, beim Uhrgewichtsstück, beim Wasser in der Talsperre der Fall.

<sup>3</sup> potentiell, von potentia (lat.): Können, Fähigkeit.

Bild 71/2 Der Rammbar und das Wasser besitzen Lageenergie. Wovon hängt der Betrag der Lageenergie in jedem Fall ab?



Die Lageenergie eines gehobenen Körpers ist gleich dem Produkt aus seinem Gewicht und der Höhe, um die er gehoben wurde.

Lageenergie = Gewicht · Höhe

$$W_{\text{pot}} = G \cdot h$$

Physikalische Größe	Gewicht	Höhe	Energie
Formelzeichen	$G$	$h$	$W$
Einheit (Kurzzeichen)	kp	m	kpm

Wenn in diesem Zusammenhang nur kurz von „Höhe“ gesprochen wird, dann wegen einer verkürzten Ausdrucksweise. Gemeint ist jeweils der Höhenunterschied zwischen End- und Ausgangsniveau. Es hat also ein Körper mit dem Gewicht 1 kp, der auf einem 1 m hohen Tisch liegt, gegenüber dem Fußboden die Lageenergie 1 kpm. Gegenüber einem tiefer gelegenen Punkt (z. B. Keller) hat seine Lageenergie einen größeren Wert.

### ■ Beispiel

Ein Eimer Wasser hat ein Gewicht von 12 kp. Er soll 15 m hoch gehoben werden. Welche Lageenergie erhält er dadurch?

Gegeben:

Gewicht  $G = 12$  kp

Höhe  $h = 15$  m

Gesucht:

Lageenergie  $W_{\text{pot}}$  (in kpm)

Lösung:

$$W_{\text{pot}} = G \cdot h$$

$$W_{\text{pot}} = 12 \text{ kp} \cdot 15 \text{ m}$$

$$W_{\text{pot}} = 180 \text{ kpm}$$

Die Lageenergie beträgt 180 kpm.

## 2. Die Bewegungsenergie

Nicht nur gehobene Körper besitzen Energie. Auch alle sich bewegenden Körper haben die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Der nach unten fallende Rammbar zum Beispiel schlägt die Pflastersteine fest in den Sand, und das aus der Talsperre stürzende Wasser setzt große Turbinenräder in Bewegung. Bewegte Körper sind Träger von Bewegungsenergie  $W_{\text{kin}}$  oder, wie man auch sagt, kinetischer Energie<sup>4</sup>.

Die Bewegungsenergie eines Körpers hängt von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ab.

<sup>4</sup> kinetisch, von kinesis (griech.): Bewegung.

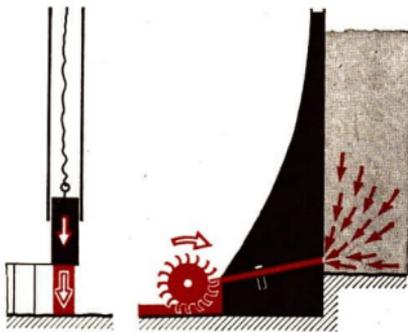


Bild 72/1 Der nach unten fallende Rammbar und das strömende Wasser besitzen Bewegungsenergie. Welche Tätigkeit wird von jedem Körper verrichtet?

### 3. Energieumwandlung

Sowohl die Lageenergie (potentielle Energie) als auch die Bewegungsenergie (kinetische Energie) sind Formen der **mechanischen Energie**. Beide Energieformen sind ineinander umwandelbar. Am Beispiel der Ramme erkennt man, daß sich die Lageenergie des Rammbären beim Herabfallen in Bewegungsenergie umwandelt. Eine entsprechende Umwandlung vollzieht sich in den Wasserkraftwerken. Die Lageenergie des gestauten Wassers wandelt sich in Bewegungsenergie um.

**Die Energieformen der Mechanik – potentielle und kinetische Energie – sind ineinander umwandelbar.**

Diese ständige Energieumwandlung läßt sich gut an einem Körper beobachten, der an einem Faden aufgehängt pendelt (schwingendes Fadenpendel).

Bild 73/1 Fünf verschiedene Schwingungszustände beim Fadenpendel.

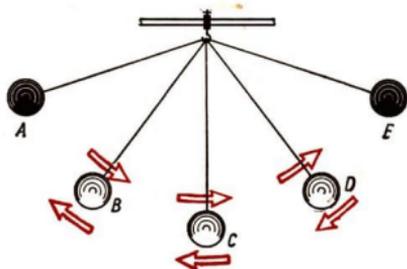
In den Umkehrpunkten (A, E) seiner Bewegung ist das Pendel in Ruhe. Es besitzt nur Lageenergie. In der tiefsten Lage (C) hat das Pendel die größte Geschwindigkeit. Es besitzt nur Bewegungsenergie.

In welchen Fällen besitzt der Körper sowohl potentielle als auch kinetische Energie?

Beim Zurückschwingen von E nach A vollziehen sich wieder die gleichen Energieumwandlungen.

Würde nicht durch Reibung ein Teil der gesamten mechanischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt, so würde das Pendel unaufhörlich schwingen.

Angaben über die Energiezustände beim schwingenden Fadenpendel:



Stellung des Körpers	A	B	C	D	E
Schwingungszustand					
Lageenergie $W_{\text{pot}}$	nur $W_{\text{pot}}$	nimmt ab	Null	nimmt zu	nur $W_{\text{pot}}$
Bewegungsenergie $W_{\text{kin}}$	Null	nimmt zu	nur $W_{\text{kin}}$	nimmt ab	Null

Durch weitere Versuche wird immer der **Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie** bestätigt:

Bei der Umwandlung der mechanischen Energieformen ineinander bleibt die gesamte mechanische Energie erhalten, wenn man die Reibung hierbei ausschließt.  $W_{\text{pot}} + W_{\text{kin}} = \text{const.}$

In der Praxis ist die Reibung nie ganz zu vermeiden. Deshalb wird bei Bewegungsvorgängen ein Teil der mechanischen Energie immer in Wärmeenergie umgewandelt, also in eine andere Energieart.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie ist die bedeutendste Erkenntnis der Naturwissenschaften. Es wurde im Jahre 1842 von dem Heilbronner Arzt JULIUS ROBERT MAYER (1814 bis 1878) entdeckt. MAYER erkannte: Alle Vorgänge der unbelebten Natur sind nur Umwandlungen der verschiedenen Energiearten. In der Klasse 9 wird dieses Gesetz ausführlicher behandelt.

**Überlege, zeichne, berechne!**



1. Nenne Beispiele
  - a) für die Umwandlung von Lageenergie in Bewegungsenergie,
  - b) für die Umwandlung von Bewegungsenergie in Lageenergie.
2. Du trägst einen Korb mit Kartoffeln ( $G = 15 \text{ kp}$ ) aus dem Keller zur Wohnung im 3. Stock ( $h = 16 \text{ m}$ ) empor. Welche Lageenergie haben diese Kartoffeln dann bezüglich des Kellers? Wie groß ist die Lageenergie im 1. Stock ( $h = 8 \text{ m}$ )?
3. Welche Energie hat eine Ramme, wenn sie mit einem Gewicht von  $200 \text{ kp}$  aus einer Höhe von  $3 \text{ m}$  herabfallen kann?
4. Welche Energie besitzt ein Stein ( $G = 5 \text{ kp}$ ), wenn man ihn von einem  $50 \text{ m}$  hohen Turm herabfallen lassen kann?
- \* 5. Wie groß ist die mechanische Energie von Wasser mit einem Volumen von  $200 \text{ m}^3$ , wenn es aus einer Höhe von  $50 \text{ m}$  über der Turbine des Kraftwerks herabstürzen kann? Wie groß ist die Leistung, wenn in jeder Stunde  $200 \text{ m}^3$  Wasser die angegebene Höhe herunterstürzen?
- \* 6. Ein besetzter PKW ( $G = 1200 \text{ kp}$ ) fährt mit einer Geschwindigkeit von  $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  und hat dabei eine Bewegungsenergie  $W_{\text{kin}} = 30200 \text{ kpm}$ .
  - a) Wie hoch könnte der Wagen mit dieser mechanischen Energie gehoben werden?
  - b) Was würde bei einem Verkehrsunfall (Zusammenstoß) mit dieser mechanischen Energie geschehen?

**Versuche es selbst! Prüfe nach!**



1. Rolle eine Kugel eine Ablaufrinne hinab! Die rollende Kugel schiebt einen Klotz, wie es das Bild 75/1 zeigt. Hierbei wird Lageenergie in Bewegungsenergie und dann in mechanische Arbeit umgewandelt. Erläutere das! Miß für drei verschiedene Höhen  $h$  die Verschiebstrecken  $s$ ! (Beachte die Reibung!)

2. Fertige ein Fadenpendel an und erläutere den Energieaustausch während des Schwingens! Lasse den Pendelkörper mechanische Arbeit verrichten, indem kleine Körper (z. B. eine Streichholzschachtel) an die Stelle der tiefsten Schwingungslage gestellt werden (Bild 75/2).

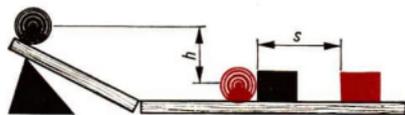


Bild 75/1

3. Hänge zwei gleiche Gewichtsstücke über eine feste Rolle an einem Faden auf, wie es Bild 75/3 zeigt! Erteile dem oben hängenden Gewichtsstück einen kleinen abwärts gerichteten Stoß! Welche Energieumwandlung erfolgt dann?
4. Lasse eine Stahlkugel auf einem Steinfußboden hüpfen! Welche Energieumwandlungen beobachtest du? Wie erklärst du dir die Abnahme der Sprunghöhe?

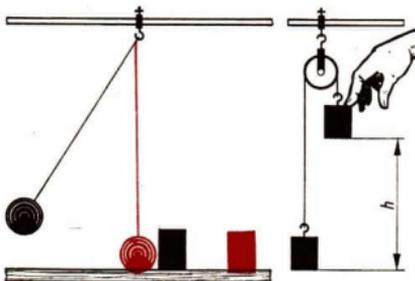


Bild 75/2

Bild 75/3

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei allen kraftumformenden Einrichtungen ist die Arbeit auf der Kraftseite gleich der Arbeit auf der Lastseite.

Erläutere diesen Satz am Beispiel eines Hebels!

Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu verrichten.

Vergleiche die Einheiten von Arbeit und Energie!

Die Lageenergie eines angehobenen Körpers ist gleich dem Produkt aus seinem Gewicht und der Höhe, um die er gehoben wurde.

Wie groß ist die Lageenergie eines Körpers mit einem Gewicht von 1,5 kp, der sich 2,5 m über dem Erdboden befindet?

Die Bewegungsenergie eines Körpers hängt von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ab.

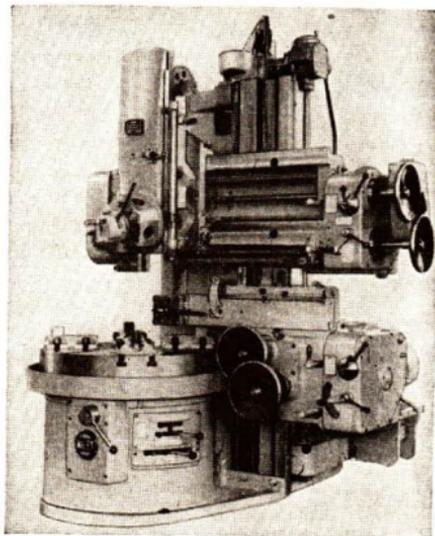
Warum hat der Ablaufberg einer Rangieranlage nur eine geringe Neigung?

Bei der Umwandlung der mechanischen Energieformen ineinander bleibt die gesamte mechanische Energie erhalten, sofern man von der Reibungswärme absieht.

Nenne Beispiele für Energieumwandlungen!

## Das Zusammenwirken kraftumformender Einrichtungen

Bei Maschinen, die in der Industrie, in der Landwirtschaft und im Haushalt benutzt werden, findet man eine Anzahl kraftumformender Einrichtungen: Hebel, Rollen, Kurbeln, Schrauben, Getriebe. Die beste Maschine versagt bald ihren Dienst, wenn sie nicht sorgfältig gepflegt wird. Dazu gehört beispielsweise das Abschmieren aller Lagerstellen dieser Karusselldrehmaschine, um die Reibung zu verringern.



### 1. Die Bedeutung des Werkzeugmaschinenbaues in der DDR

Zur Erleichterung der Arbeit im Haushalt, in der Landwirtschaft und in der Industrie benutzt man viele Maschinen. Maschinen, die wie die Werkzeuge dazu dienen, andere Maschinen und Maschinenteile herzustellen, nennt man **Werkzeugmaschinen**. Drehmaschinen, Bohrmaschinen, Fräsmaschinen und Pressen sind zum Beispiel Werkzeugmaschinen.

Wenn unsere Industriebetriebe die Qualität ihrer Erzeugnisse verbessern wollen, müssen sie in erster Linie über gute Werkzeugmaschinen verfügen. Darum besitzt der **Werkzeugmaschinenbau** eine besondere Bedeutung. Unsere DDR verfügt über eine leistungsfähige Werkzeugmaschinenindustrie.

Auch andere Länder brauchen gute Werkzeugmaschinen. Darum kann die DDR einen Teil der bei uns produzierten Werkzeugmaschinen an andere Länder verkaufen. Wir bekommen dafür zum Beispiel wichtige Rohstoffe für unsere Industrie und Lebensmittel. Unsere Werkzeugmaschinen sind aus diesem Grunde ein wichtiges **Exportmittel**.

Mit besseren Werkzeugmaschinen können unsere Produktionsbetriebe bessere Waren herstellen. Das gilt zur Zeit ganz besonders für die Landmaschinenindustrie. Durch die sozialistische Umgestaltung unserer Landwirtschaft ist der Bedarf an modernen Landmaschinen sehr groß. Gute Landmaschinen sollen unseren LPG-Bauern die Arbeit erleichtern und die Bearbeitung großer Ackerflächen mit wenigen Arbeitskräften ermöglichen.

## 2. Das Fahrrad

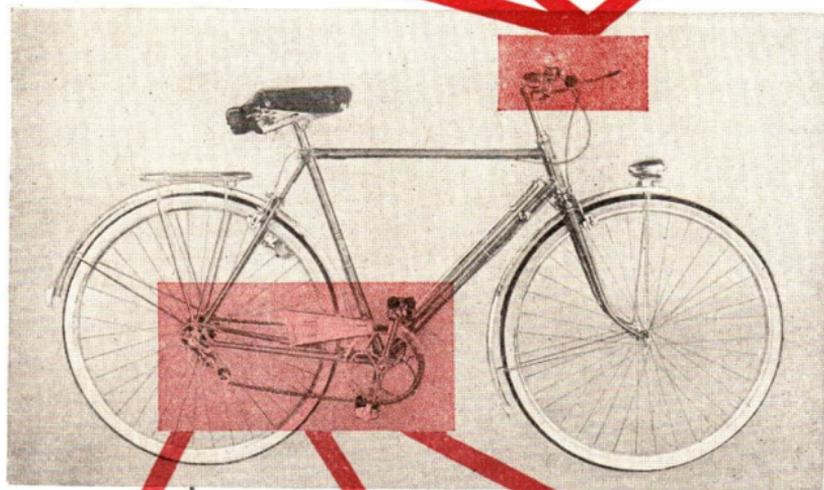
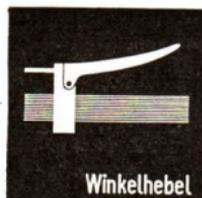


Bild 77/1 Welche Aufgaben haben die abgebildeten kraftumformenden Einrichtungen?

### 3. Die Drehmaschine

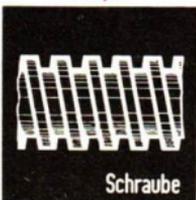
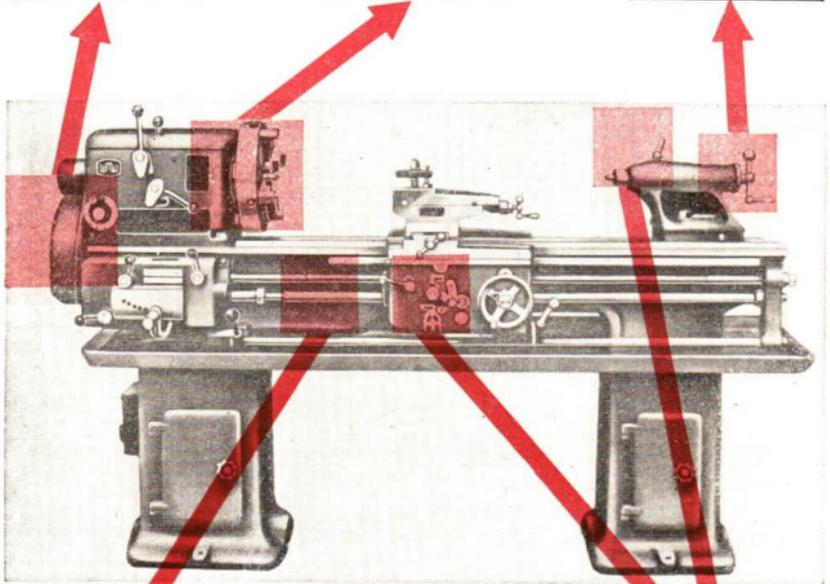
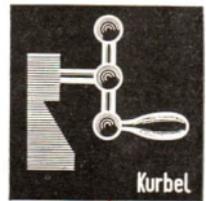
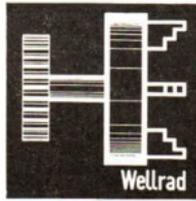


Bild 78/1 Erkläre die Wirkungsweise dieser kraftumformenden Einrichtungen!

#### 4. Der selbstfahrende Lader

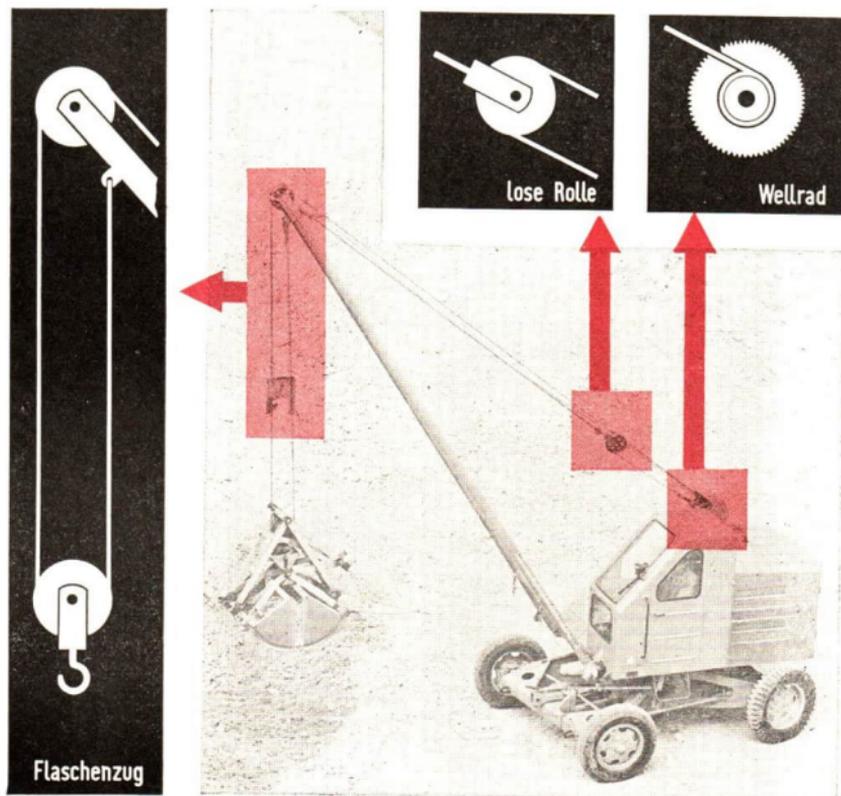


Bild 79/1 Welche Kräfteinsparung ergeben Flaschenzug und lose Rolle?

#### 5. Reibung

17

**V** Lege einen Holzklötz auf den Tisch und gib ihm einen Stoß! Er wird nur ein kurzes Stück gleiten und dann liegenbleiben, obwohl er sich nach dem Trägheitsgesetz mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortbewegen müßte. (Vergleiche S.19.) Wiederhole den gleichen Versuch mit einer Kugel! Sie bleibt zwar länger in Bewegung, kommt aber auch zur Ruhe. Mit einer Federwaage kann man die Kraft messen, die das Fortbewegen der Körper hemmt.



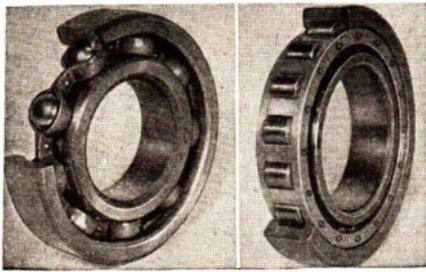


Bild 80/1 Kugel- und Rollenlager

Die Ursache für das Abbremsen dieser Körper ist die **Reibungskraft**.

**Die Ursachen der Reibung.** Alle Körper haben an ihrer Oberfläche mehr oder weniger große Unebenheiten. Auch ein polierter Holzklotz, der uns mit bloßem Auge betrachtet sehr glatt erscheint, hat viele kleine Unebenheiten. *Gleiten* zwei Körper aufeinander, zum Beispiel der Holzklotz auf dem Tisch, so hemmen die

Unebenheiten die Bewegung. Man bezeichnet diese Art der Reibung als **Gleitreibung**. *Rollt* ein Körper auf einem anderen ab, so nähern sich die Unebenheiten einander, ähnlich wie bei Zahnrädern die Zähne, und heben sich wieder voneinander ab. Infolgedessen werden die Unebenheiten beim Rollen viel leichter überwunden als beim Gleiten. Man bezeichnet diese Art der Reibung als **Rollreibung**. In den bekannten *Kugel- und Rollenlagern* tritt Rollreibung auf (Bild 80/1).

- *Erkläre, warum Kugel- und Rollenlager an vielen Maschinen vorhanden sind!*

Zum Überwinden der Reibungskraft ist eine zusätzliche *Kraft* erforderlich, die für die Fortbewegung des Körpers nicht ausgenutzt werden kann.

**Verringern der Reibungskraft.** Zum Verringern der Reibungskraft verwendet man *Schmiermittel*, wie Schmieröl und Schmierfett. 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 dann nur noch eine sehr kleine Reibungskraft.

Bei sehr schnell umlaufenden Teilen wird manchmal Luft in das Lager gedrückt. **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 sich auf der Straßendecke leer drehen. 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, wie die Triebwagen der Straßenbahn und Lokomotiven, haben Sandstreuer, damit die Reibungskraft, wenn erforderlich, vergrößert werden kann.

## 6. Wirkungsgrad

18

**V**Reibe ein Stück Holz einige Zeit auf einem Holzbrett! Wenn man die geriebenen Teile mit dem Finger berührt, stellt man fest, daß sie warm geworden sind.

Beim Reiben wird mechanische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Bei jeder Maschine wird infolge der Reibung ein Teil der aufgewendeten Energie in Wärme-

energie umgewandelt und geht dadurch für die Nutzung verloren. Um die Güte einer Maschine zu beurteilen, mißt man die Leistung, die sie aufnimmt (Antriebsleistung), und die Leistung, die sie abgibt (Nutzleistung). Daraus ermittelt man den Wirkungsgrad  $\eta$  (sprich „eta“) der Maschine.

Unter dem Wirkungsgrad einer Maschine versteht man das Verhältnis der Nutzleistung zur Antriebsleistung.

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Antriebsleistung}}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Der Wirkungsgrad ist eine unbenannte Zahl, er hat also keine Einheit.

Physikalische Größe	Antriebsleistung	Nutzleistung	Wirkungsgrad
Formelzeichen	$P_1$	$P_2$	$\eta$
Einheit (Kurzzeichen)	$\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$	$\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$	keine!

Da die Nutzleistung stets kleiner ist als die Antriebsleistung, ist der Wirkungsgrad einer Maschine stets kleiner als 1.

● *Rechne nach!*

■ **Beispiel**

Zum Antrieb einer Seilwinde wird ein Motor mit der Leistung von 5 kW benutzt. Die Seilwinde hebt einen 60 kp schweren Kübel in 3 s 15 m hoch. Wie groß ist der Wirkungsgrad der Anlage?

Gegeben:

Antriebsleistung  $P_1 = 5 \text{ kW}$

Gewicht  $G = 60 \text{ kp}$

Höhe  $h = 15 \text{ m}$

Zeit  $t = 3 \text{ s}$

Gesucht:

Wirkungsgrad  $\eta$

Lösung:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{300 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}}{510 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}}$$

$$= \frac{10}{17} = 0,59$$

$$\eta = \frac{10}{17} = 0,59$$

$$\eta = \frac{10}{17} = 0,59$$

Nebenrechnung:

$$P_1 = 5 \text{ kW} = 5000 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 0,102 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$5000 \text{ W} = 0,102 \cdot 5000 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$5000 \text{ W} = 510 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$P_1 = 510 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$$P_2 = \frac{G \cdot h}{t}$$

$$P_2 = \frac{60 \text{ kp} \cdot 15 \text{ m}}{3 \text{ s}}$$

$$P_2 = 300 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

Der Wirkungsgrad der Anlage beträgt 0,59.

Der Wirkungsgrad wird meistens in Prozent angegeben.

Es läßt sich dann schreiben  $\eta = 59\%$ .

Wie rechnest du das um?

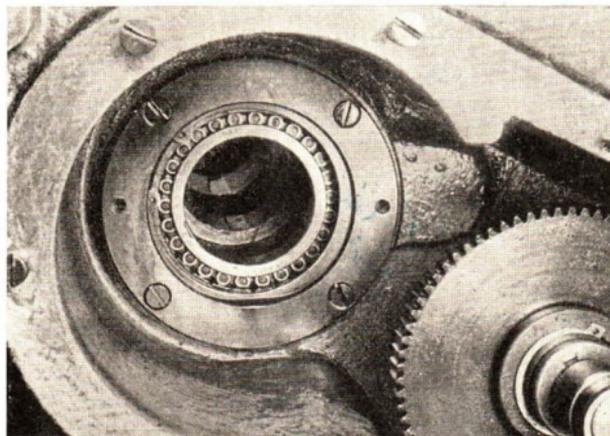
## 7. Anwendungen verschiedener Lager



### Wälzlager

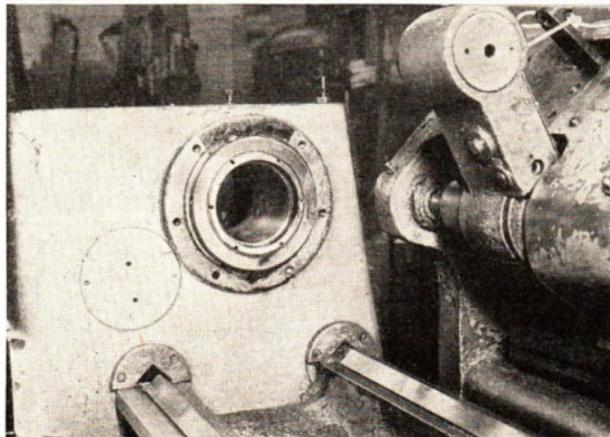
Maschinenteile, die sich drehen oder schwingen, werden von einem Lager gestützt. Man unterscheidet Wälzlager und Gleitlager.

Beim Wälzlager rollt der Zapfen auf den Rollkörpern. Diese können Kugeln (Bild oben), Kegel, Tönnchen, Walzen (Bild Mitte) oder Nadeln sein. Die Rollkörper befinden sich zwischen Ringen, oftmals aber auch zwischen gehärteten Laufflächen des Zapfens und des Lagergehäuses. Sie werden meist durch Käfige aus Gleitmetallen, Preßholz oder Plastmaterial auf Abstand gehalten. Wälzlager zeigen bei jeder Drehzahl gleichmäßig günstige Reibwiderstände und sind einfach in Anwendung und Wartung.



### Gleitlager

Beim Gleitlager gleitet der Zapfen meist auf einem Schmierfilm. Für Gleitlager wird ein Lagerstoff benutzt, der nicht so fest ist wie der Zapfen. Warum? Gleitlager laufen ruhiger, sind unempfindlicher gegen Stöße, einfacher im Aufbau und in der Herstellung als Wälzlager.



**Überlege, zeichne, berechne!**



1. Betrachte in der Küche den Fleischwolf oder die Brotschneidemaschine! Welche kraftumformenden Einrichtungen sind an ihnen zu finden?
2. Was geschieht, wenn ein Kraftfahrer sein Fahrzeug auf einer regennassen Straße scharf bremst?
3. Warum werden vereiste Straßen mit Sand bestreut?
4. An einem Elektromotor wurde eine Nutzleistung von  $51 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$  gemessen. Der Motor nimmt eine elektrische Leistung von 750 W auf. Wie groß ist sein Wirkungsgrad?
5. Welche Nutzleistung (in kW) hat eine Seilwinde, deren Wirkungsgrad 0,65 beträgt und deren Motor eine Antriebsleistung von 1,5 kW aufbringt?
- \* 6. Ein Flaschenzug hat einen Wirkungsgrad von 0,7. Die Last von 40 kp hängt an 4 Seilstücken und soll in 20 s 5 m gehoben werden. Welche Kraft ist dazu erforderlich? Wie ändert sich die Kraft, wenn die Last in 40 s gehoben wird?
7. Betrachte eine Maschine oder ein Gerät (z. B. Bohrmaschine, Maschinensäge, Feilmaschine, Kran, Traktor, Pflug, Kartoffellegemaschine)! Welchen Zweck haben die an ihnen befindlichen kraftumformenden Einrichtungen? Fertige eine Skizze der vorhandenen kraftumformenden Einrichtungen an (wie auf Seite 70)!
8. Was können wir an einem physikalischen Körper schon alles messen?
9. Stelle in einer Tabelle dir bekannte physikalische Größen zusammen! Vervollständige diese Tabelle im weiteren Unterricht!

Physikalische Größe		Einheit (Kurzzeichen)	Größen- gleichung	Beispiel für Meßwert	Meßgerät
Name	Zeichen				
Geschwindigkeit	$v$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}, \frac{\text{km}}{\text{s}}, \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = \frac{\text{s}}{\text{t}}$	$v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Tachometer oder Meßband und Uhr
Masse	$m$	g, kg, t	—	$m = 1,2 \text{ kg}$	Balkenwaage

**Versuche es selbst! Prüfe nach!**



1. Miß mit der Federwaage die Kraft, die zum Fortziehen eines Holzklotzes auf der Tischplatte erforderlich ist!  
Lege den Klotz auf Rollen (Bleistifte) und miß wieder!  
Was stellst du fest?
2. Ziehe einen Holzklotz erst über die Tischplatte und danach über den Teppich! Was beobachtest du an der Federwaage?
3. Bestimme den Wirkungsgrad des in Aufgabe 3, Seite 50, selbstgebauten Klobenzuges auf folgende Weise:  
Stelle durch Anhängen der notwendigen Gewichtsstücke zunächst Gleichgewicht her!  
Hänge so viel Zusatzgewichtsstücke auf die Kraftseite, bis sich die Last gerade zu heben beginnt! Miß die Höhe und die Zeit und berechne die Leistung auf der Kraftseite (Antriebs-

leistung) und auf der Lastseite (Nutzleistung)! Daraus kannst du den Wirkungsgrad berechnen. Warum hat in diesem Falle die Zeit keinen Einfluß auf den Wirkungsgrad?

4. Baue mit Hilfe eines technischen Baukastens Modelle von Maschinen und Geräten! Überprüfe die Gesetzmäßigkeiten der verwendeten kraftumformenden Einrichtungen! Warum hat die Reibung großen Einfluß bei diesen Modellen? Mit welchen Mitteln läßt sich die Reibung in der Praxis verringern?

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Reibung wird ein Teil der mechanischen Energie in Wärme umgewandelt.

Wie kann man die Reibungskraft verringern? Wie kann man die Reibungskraft vergrößern? Warum haben Vollnabenbremsen bei Motorrädern Kühlrippen?

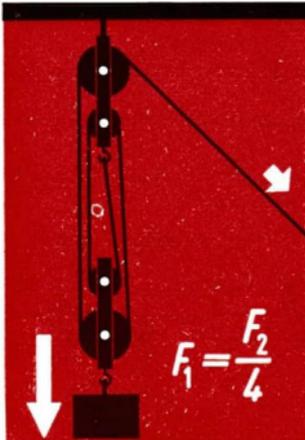
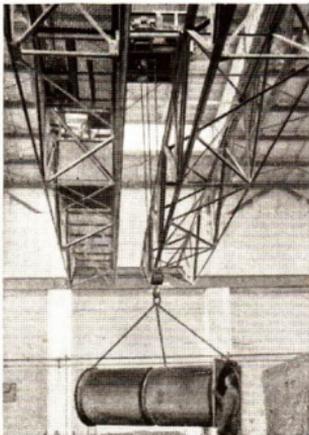
Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis der Nutzleistung zur Antriebsleistung.

Warum ist der Wirkungsgrad stets kleiner als 1?

Weißt du es noch?



1. Nenne kraftumformende Einrichtungen! Erläutere das untenstehende Bild!
2. Betrachte die kraftumformenden Einrichtungen auf der Farbtafel am Anfang des Buches! Wie heißen sie? Wie groß ist jeweils die Kräfteinsparung? Wo werden sie benutzt?
3. An einer losen Rolle hängt eine Last  $F_2$  mit einem Gewicht von 176,3 kp. Wie groß ist die aufzubewandende Kraft? Welche Kraft brauchte man, wenn man die Last mit einem Flaschenzug (6 Rollen) heben wollte (Gewicht der beweglichen Flasche 6,3 kp, Wirkungsgrad der Anlage 0,9)?
4. Warum ist es leichter, einen Körper entlang einer geneigten Ebene zu bewegen, anstatt ihn senkrecht auf die gleiche Höhe zu heben? Warum wird keine Arbeit „gespart“?



### Flaschenzug am Laufkran

Als Kran bezeichnet man eine Hebmachine, die außer Hubbewegungen auch noch Fahr- oder Schwenkbewegungen ausführen kann. Das Bild zeigt einen Laufkran, der auf einer festen Kranbahn läuft. Ein Flaschenzug hebt die Last, in diesem Falle ein Kesselgehäuse, in die Höhe.

Was bedeutet  $F_1 = \frac{F_2}{4}$ ?



## Aus der Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

In der modernen Technik haben Flüssigkeiten und Gase für die *Kraftübertragung* große Bedeutung. Flüssigkeiten und Gase eignen sich dazu in vielen Fällen besser als Hebel und Rollen, weil keine so großen Reibungsverluste auftreten. Der Wirkungsgrad wird dadurch größer. Geräte, bei denen Kräfte mittels einer Flüssigkeit übertragen werden, heißen *hydraulische Anlagen* oder *hydraulische Maschinen*.

Der abgebildete Universalbagger ist eine der vielen hydraulischen Anlagen, bei denen Kräfte mittels einer Flüssigkeit, in diesem Fall ist die Flüssigkeit Öl, übertragen werden. Dieser Bagger besitzt mehrere hydraulische Vorrichtungen, die es ermöglichen, daß der Greifer des Baggers verschiedene zur Arbeit notwendige Bewegungen ausführen kann. In diesem Kapitel werden Gesetzmäßigkeiten flüssiger und gasförmiger Körper erarbeitet, und es wird erklärt, wie Flüssigkeiten und Gase in der Technik angewendet werden.

## Druckkraft und Druck



Das nebenstehende Foto zeigt einen Panzer unserer Nationalen Volksarmee. Obwohl sein Gewicht (36000 kp) groß ist, drücken sich seine Ketten nur wenig in den Boden ein. Auch beim Befahren von sandigem Gelände sinken die Ketten nicht tief ein, während die Räder eines Motorrades verhältnismäßig tief im Sand versinken würden.

Eine Reißzwecke läßt sich leichter in ein Brett drücken als ein Nagel.

Weshalb das so ist, soll im kommenden Abschnitt an einigen Beispielen erläutert werden.



### 1. Die Druckkraft

- *Betrachte die Bilder 87/1 und 87/2 und erkläre den Unterschied in beiden Bildern! Betrachte dazu auch die darunterstehenden Skizzen!*

Aus den Bildern ist zu erkennen:

Mit Schneeschuhen sinkt ein Mensch nicht so tief in den Schnee ein wie ohne Schneeschuhe.

Im ersten Beispiel ist die Schuhsohle die Fläche, auf die senkrecht das Gewicht des menschlichen Körpers drückt.

Im zweiten Beispiel ist der Teil des Schneeschuhes, der fest auf dem Schnee aufliegt, als die Fläche zu betrachten, auf die senkrecht das Gewicht des menschlichen Körpers drückt.

Das Gewicht des menschlichen Körpers ist in diesen beiden Beispielen die Kraft, die senkrecht auf eine Fläche drückt.

Diese Kraft wird als **Druckkraft** bezeichnet.

Drücken wir mit dem Daumen eine Reißzwecke in ein Brett, dann wirkt die Kraft, die wir mit dem Daumen auf den Kopf der Reißzwecke ausüben, senkrecht auf die gedrückte Fläche.

Auch diese Kraft bezeichnet man als **Druckkraft**.

**Die auf die gedrückte Fläche eines Körpers senkrecht wirkende Kraft wird Druckkraft genannt.**

## 2. Der Druck

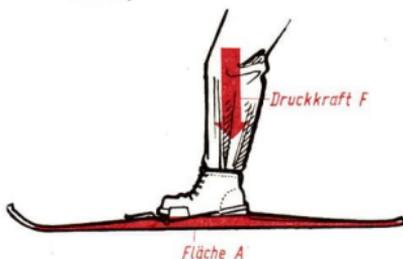
Das Beispiel mit den Schneeschuhen zeigt, daß die Wirkung der Druckkraft (im Beispiel das Gewicht des Menschen) nicht nur von der Größe der **Druckkraft** abhängt, sondern auch noch von der Größe der **Fläche**, auf die sie wirkt. Ist die Fläche groß (Schneeschuhe), dann kann sich die Druckkraft auf eine große Fläche verteilen (kleine Wirkung); ist sie klein (Schuhsohle), dann verteilt sich die Druckkraft nur auf eine kleine Fläche (große Wirkung).



Bild 87/1



Bild 87/2



Behälter, zum Beispiel für Flüssigkeiten, müssen eine bestimmte Festigkeit haben, damit die auf die Wände wirkende Kraft der Flüssigkeit das Material nicht zerstört. Um das geeignete Material auszuwählen, muß man die Druckkraft der Flüssigkeit und die Größe der gedrückten Fläche kennen. Diese Größen lassen sich nur sehr schwer messen. Einfacher ist es, den Druck der Flüssigkeit zu messen (vgl. Seite 105). Druckangaben sind deshalb für den Techniker von großer Bedeutung.

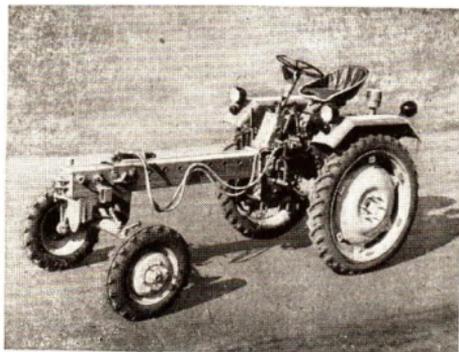


Bild 88/1 Der Traktor mit Raupenketten drückt sich weniger in den Boden ein als der mit Rädern. Sein Gewicht verteilt sich auf die gesamte Fläche der Raupen, die zur Unterstützung dienen

Unter Druck versteht man das Verhältnis der Druckkraft zur gedrückten Fläche.

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

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

Physikalische Größe	Druckkraft	Fläche	Druck
Formelzeichen	$F$	$A$	$p$
Einheit (Kurzzeichen)	kp	cm <sup>2</sup>	$\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

### ■ Beispiel

Die gedrückte Fläche eines Schneeschuhs beträgt  $A_1 = 1400 \text{ cm}^2$ , die der Schuhsohle  $A_2 = 210 \text{ cm}^2$ . Das Gewicht des menschlichen Körpers beträgt  $F = 70 \text{ kp}$ . Berechne für beide Fälle den Druck!

Gegeben:

$$A_1 = 1400 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 210 \text{ cm}^2$$

$$F = 70 \text{ kp}$$

Gesucht:

$$\text{Druck } p_1 \left( \text{in } \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\text{Druck } p_2 \left( \text{in } \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)$$

Lösung:

$$p_1 = \frac{F}{A_1}$$

$$p_1 = \frac{70 \text{ kp}}{1400 \text{ cm}^2}$$

$$p_1 = \frac{1 \text{ kp}}{20 \text{ cm}^2}$$

$$p_1 = \underline{\underline{0,05 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}}}$$

$$p_2 = \frac{F}{A_2}$$

$$p_2 = \frac{70 \text{ kp}}{210 \text{ cm}^2}$$

$$p_2 = \frac{1}{3} \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

$$p_2 \approx \underline{\underline{0,33 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}}}$$

Während ohne Schneeschuhe ein Druck von etwa  $0,3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$  auftritt, wird mit Schneeschuhen nur ein Druck von  $0,05 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$  wirksam.

- Erkläre, wie man ein tiefes Einsinken in Schnee, Morast oder lockeren Boden verhindern kann!

Die Einheit  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$  (Kilopond je Quadratzentimeter) bezeichnet man auch als technische Atmosphäre (at):

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

### 3. Druckverminderung durch Vergrößern der Auflageflächen

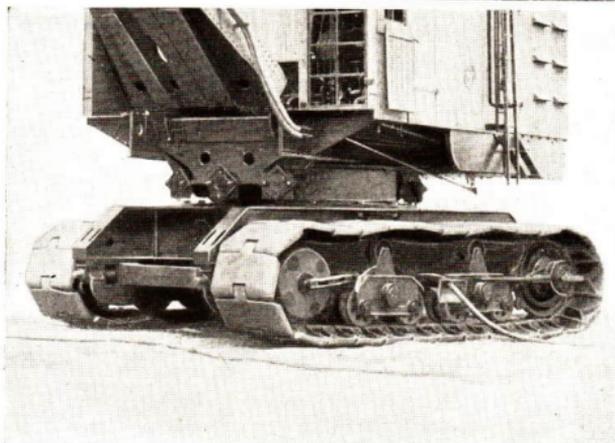
#### Gitterräder

Bei Traktoren werden zusätzlich Gitterräder angebracht, wenn beim Einsatz auf weichem Boden der Druck verringert werden muß, zum Beispiel beim Walzen von Wiesen. Warum werden die Gitterräder nur an den Hinterrädern angebracht?



#### Bagger

Viele Bagger sind mit Raupenketten ausgestattet, damit sie trotz ihres großen Gewichts nicht in den – mitunter lockeren – Untergrund einsinken. Der zum Teil gezeigte Bagger hat ein Gewicht von 56 700 kp. Die Auflagefläche der Raupen beträgt 57 860 cm<sup>2</sup>. Vergleiche seinen Druck auf den Erdboden mit dem Druck eines Fußgängers!



### ■ Beispiel

Eine Bohrmaschine, die aufgestellt werden soll, wiegt 150 kp. Ihre Fußfläche beträgt 200 cm<sup>2</sup>. Wie groß ist der Druck auf den Fußboden?

Gegeben:

$$F = 150 \text{ kp}$$

$$A = 200 \text{ cm}^2$$

Gesucht:

$$p \left( \text{in } \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)$$

Der Druck auf den Fußboden beträgt 0,75  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ .

Lösung:

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

$$p = \frac{150 \text{ kp}}{200 \text{ cm}^2}$$

$$p = 0,75 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

### Überlege, zeichne, berechne!



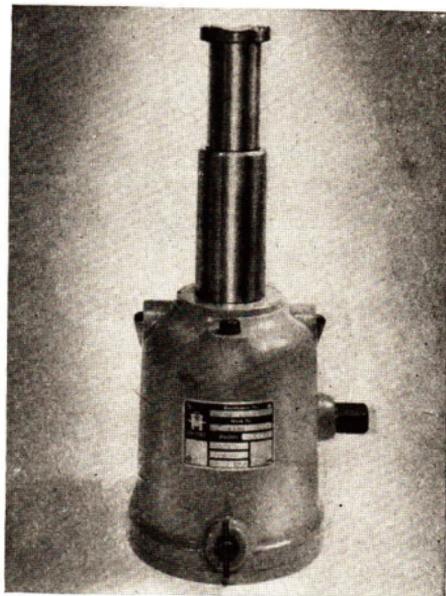
1. Berechne den Druck (in  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ ) eines Panzers auf den Boden, wenn sein Gewicht von 36 000 kp auf die Raupen mit einer Gesamtfläche von 4,5 m<sup>2</sup> wirkt!
2. Berechne den Druck (in  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ ) eines Fußgängers auf den Erdboden, wenn er ein Gewicht von 84 kp hat und die Fläche einer Sohle 150 cm<sup>2</sup> beträgt! (Beim Gehen wirkt das Gewicht des Menschen nur auf eine Sohle.)  
Vergleiche den Druck des Baggers (Seite 89 unten) mit dem Druck des Menschen auf den Boden! Wer sinkt in weichem Erdboden tiefer ein?
3. Ein Kind ist im Eis eingebrochen und schnelle Hilfe ist erforderlich. Außer dir ist niemand in der Nähe. Wie hilfst du, ohne selbst einzubrechen?
4. Warum haben schwere Landmaschinen breite Räder?
5. Der Wind wirkt bei einer bestimmten Stärke mit einem Druck von 0,01  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ . Mit welcher Druckkraft (in kp) wirkt er auf ein Segel, das eine Fläche von 10 m<sup>2</sup> hat?
6. Bestimme, mit welchem Druck (in at) eine Nadelspitze auf einen Stoff wirkt, wenn sie eine Fläche von 0,025 mm<sup>2</sup> hat und mit den Fingern eine Druckkraft von 0,1 kp auf die Nadel ausgeübt wird!
7. Wie kommt es, daß weicher Fußbodenbelag eingedrückt wird, wenn er mit Schuhen, die einen schmalen Absatz haben, betreten wird?

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Überlege, wie du die Unterstützungsfläche deines Körpers vergrößern kannst, und stelle dich auf lockere Erde, Schnee oder Morast!
2. Wenn man auf einem Fahrrad mit Rennreifen über Sandwege fährt, sinkt man tiefer ein als auf einem Rad mit Ballonreifen. Prüfe es nach!
3. Versuche mit einem spitzen und mit einem stumpfen Körper auf Stahl etwas anzukörnen! Was beobachtest du und wie erklärst du es?
4. Erkundige dich im Betrieb nach dem Gasdruck in einer Sauerstoffflasche und in einer Äthinflasche (Azetylenflasche)!

## Druck in Flüssigkeiten



Scheinbar mühelos heben Kraftfahrer ihre Wagen an, um ein Rad auszuwechseln. Sie benutzen dazu zum Beispiel einen hydraulischen Wagenheber, wie ihn das nebenstehende Bild zeigt. Mit der Hand oder mit dem Fuß bedient der Fahrer eine kleine Pumpe, die Öl in einen größeren Zylinder drückt. Im folgenden Abschnitt wird die Druckausbreitung in Flüssigkeiten untersucht; es wird auch erklärt, weshalb der hydraulische Wagenheber ein so bequemes Arbeiten gestattet.

### 1. Druckausbreitung in Flüssigkeiten

Mit den bis jetzt erworbenen Kenntnissen über den Aufbau der Stoffe und von den Wirkungen der Kräfte lassen sich folgende Überlegungen anstellen:

Flüssigkeiten und Gase zeigen dem Druck gegenüber ein unterschiedliches Verhalten. Während sich Gase stark zusammendrücken lassen, weil die Abstände zwischen den Molekülen verhältnismäßig groß sind (Bild 91/2a), kann man das Volumen von Flüssigkeiten auch mit sehr großen Drücken nicht wesentlich verringern (Bild 91/2b). Das liegt daran, daß die Moleküle einer Flüssigkeit eng aneinanderliegen.

Die Moleküle von Flüssigkeiten sind andererseits leicht gegeneinander beweglich. Schon das Gewicht der Moleküle in den höheren Schichten bewirkt, daß sich die unteren Moleküle seitlich verschieben (Bild 91/2c, verbundene Gefäße!). Wirkt

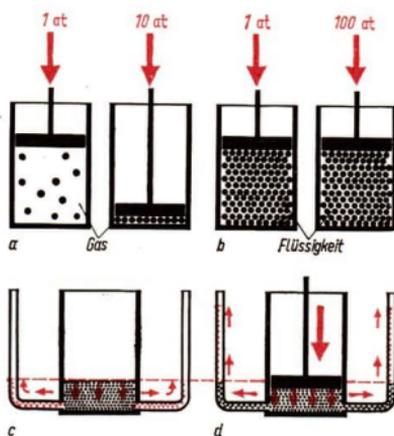


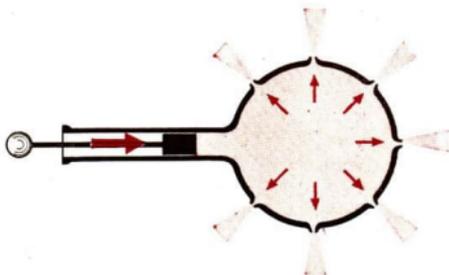
Bild 91/2 Modellvorstellung des Verhaltens von Gasen (Bild a) und Flüssigkeiten (Bild b) gegenüber Drücken. Bild c zeigt ein verbundenes Gefäß, Bild d das Verhalten der Moleküle bei einer zusätzlich wirkenden Kraft

nun zusätzlich eine Kraft auf die Flüssigkeit, so steigt die Flüssigkeit in den beiden seitlichen Röhren (Bild 91/2d). Offenbar wird der in der Flüssigkeit wirkende Druck durch die Flüssigkeit übertragen und führt zum Steigen der Flüssigkeit in den Röhren. Genauso müßte aber auch nach allen anderen Seiten, zum Beispiel auf die Gefäßwände, ein Druck ausgeübt werden.

Durch Versuche sollen diese Überlegungen geprüft werden:

19

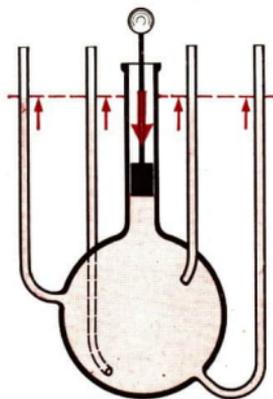
**V** Drücke den Kolben einer Kugelspritze in den Zylinder hinein! Der Kolbendruck überträgt sich auf die Flüssigkeit, und das Wasser spritzt aus allen Öffnungen der Glaskugel heraus.



**Der Druck in Flüssigkeiten breitet sich nach allen Seiten aus.**

20

**V** Drücke den Kolben einer Kugelspritze mit angesetzten Manometerröhrchen in den Zylinder hinein! Die Flüssigkeit steigt in allen Röhren gleich hoch.



**Der Druck in Flüssigkeiten breitet sich gleichmäßig aus.**

Aus diesen Versuchen ergibt sich die Erkenntnis, die durch weitere Versuche bestätigt wird:

**Ein Druck, der auf eine Flüssigkeit ausgeübt wird, breitet sich gleichmäßig nach allen Seiten aus.**

## 2. Druckübertragung in Flüssigkeiten

Um die physikalischen Vorgänge an einem Wagenheber zu verstehen, ist das folgende Bild in zwei Teile zerlegt, in den *Kraftteil* und in den *Lastteil*.

Es soll in der folgenden Aufgabe für den Kraftteil und den Lastteil berechnet werden:

- wie groß der Druck in der Flüssigkeit ist,
- wie groß die verrichtete Arbeit ist,
- wie groß die wirkende Kraft bzw. die wirksame Kraft ist und
- wie lang der zurückgelegte Weg ist.

## Kraftteil

## Lastteil



### Kraftteil

Der Druckkolben (z. B. der Kolben einer Druckpumpe) wirkt mit einer Kraft  $F_1 = 6 \text{ kp}$  auf eine Fläche  $A_1 = 2 \text{ cm}^2$  und legt dabei einen Weg  $s_1 = 100 \text{ cm}$  zurück.

### Lastteil

Welche Druckkraft  $F_2$  wird am Preßkolben wirksam? Welchen Weg  $s_2$  legt er zurück, wenn seine Fläche  $A_2 = 200 \text{ cm}^2$  beträgt?

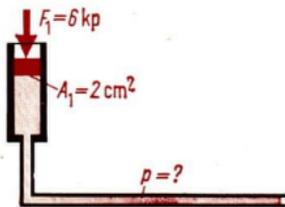
#### a) Berechnen des Drucks

1. Für den Kraftteil läßt sich der Druck berechnen

Gegeben:  $F_1 = 6 \text{ kp}$   
 $A_1 = 2 \text{ cm}^2$

Gesucht:  $p$  (in  $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ )

Lösung:  $p = \frac{F_1}{A_1}$   
 $p = \frac{6 \text{ kp}}{2 \text{ cm}^2}$   
 $p = 3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$



2. Auch im Lastteil ist der Druck nach dem Gesetz der Druckausbreitung

$$p = 3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

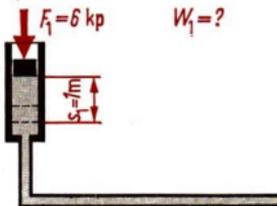
In der Flüssigkeit herrscht ein Druck von  $3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

#### b) Berechnen der Arbeit

Gegeben:  $F_1 = 6 \text{ kp}$   
 $s_1 = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$

Gesucht:  $W_1$  (in kpm)

Lösung:  $W_1 = F_1 \cdot s_1$   
 $W_1 = 6 \text{ kp} \cdot 1 \text{ m}$   
 $W_1 = 6 \text{ kpm}$



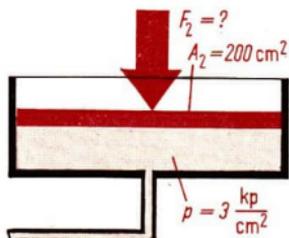
Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Arbeit ist  $W_1 = W_2$ .

$$W_2 = 6 \text{ kpm.}$$

Die Arbeit beträgt 6 kpm.

c) Berechnen der Druckkräfte

$$F_1 = 6 \text{ kp}$$



Gegeben:  $p = 3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

$$A_2 = 200 \text{ cm}^2$$

Gesucht:  $F_2$  (in kp)

Lösung:  $p = \frac{F_2}{A_2}$

$$p \cdot A_2 = F_2$$

$$F_2 = p \cdot A_2$$

$$F_2 = 3 \text{ kp} \cdot 200 \text{ cm}^2$$

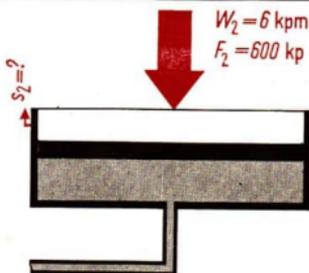
$$\underline{\underline{F_2 = 600 \text{ kp}}}$$

Die wirkende Kraft beträgt 6 kp.

Die wirksame Kraft beträgt 600 kp.

d) Berechnen des Weges

$$s_1 = 100 \text{ cm}$$



Gegeben:  $W_2 = 6 \text{ kpm}$

$$F_2 = 600 \text{ kp}$$

Gesucht:  $s_2$  (in cm)

Lösung:  $W_2 = F_2 \cdot s_2$

$$\frac{W_2}{F_2} = s_2$$

$$s_2 = \frac{W_2}{F_2}$$

$$s_2 = \frac{6 \text{ kpm}}{600 \text{ kp}}$$

$$s_2 = 0,01 \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

Der Weg des Druckkolbens beträgt 100 cm.

Der Weg des Preßkolbens beträgt 1 cm.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich folgende neue Erkenntnisse:

- Je größer die Fläche des Preßkolbens ist, desto größer ist die wirksame Kraft, desto größer kann folglich die zu hebende Last sein.
- Je größer die Fläche des Preßkolbens ist, um so kleiner ist der vom Preßkolben zurückgelegte Weg.

Ein Vergleich der beiden Druckkräfte zeigt, daß die Druckkraft  $F_2$  (600 kp) hundertmal so groß ist wie die Druckkraft  $F_1$  (6 kp). Andererseits ist die Fläche  $A_2$  (200 cm<sup>2</sup>) hundertmal so groß wie die Fläche  $A_1$  (2 cm<sup>2</sup>). Wenn man die beiden Kräfte und die dazugehörigen Flächen ins Verhältnis setzt, ergibt sich  $\frac{6 \text{ kp}}{600 \text{ kp}} = \frac{2 \text{ cm}^2}{200 \text{ cm}^2}$ .

Die Druckkräfte verhalten sich wie die dazugehörigen Flächen.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

- *Vergleiche auch die zurückgelegten Wege mit den Kräften und Flächen! Weise das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit nach!*

Bei der Druckübertragung in Flüssigkeiten werden — wie bei den kraftumformenden Einrichtungen, die in der Mechanik der festen Körper behandelt wurden — Kräfte umgeformt. Zwischen den Kräften und Wegen bestehen gleiche Verhältnisse wie zwischen den Kräften und Wegen an starren Körpern.

### ■ Beispiel

Welche Kraft kann an einer hydraulischen Presse wirksam werden, wenn das Wasser in dem großen Zylinder mit einer wirksamen Fläche von 170 cm<sup>2</sup> einen Druck von 16 at hat?

Gegeben:

$$p = 16 \text{ at} = 16 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

$$A = 170 \text{ cm}^2$$

Gesucht:

$F$  (in kp)

Lösung:

$$p = \frac{F}{A} \quad | \cdot A$$

$$p \cdot A = F \quad | \text{Seiten vertauschen}$$

$$F = p \cdot A$$

$$F = 16 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 170 \text{ cm}^2$$

$$F = \frac{16 \text{ kp} \cdot 170 \text{ cm}^2}{\text{cm}^2}$$

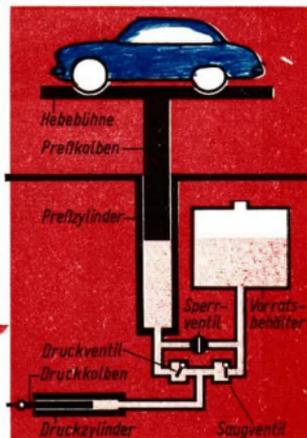
$$\underline{\underline{F = 2720 \text{ kp}}}$$

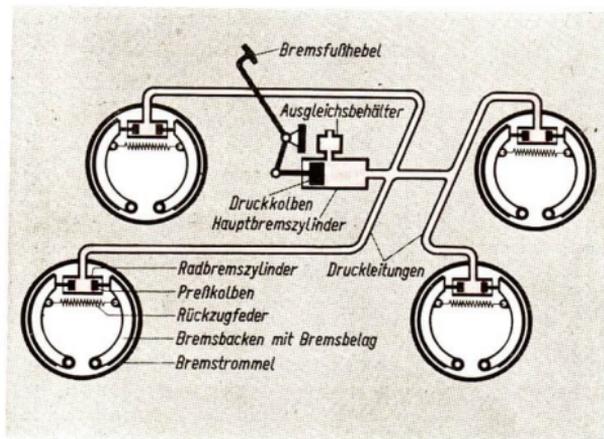
*Die hydraulische Presse kann eine Preßkraft von 2720 kp auf einen zu bearbeitenden Körper ausüben.*

## 3. Anwendungen der Druckausbreitung

### Wagenheber

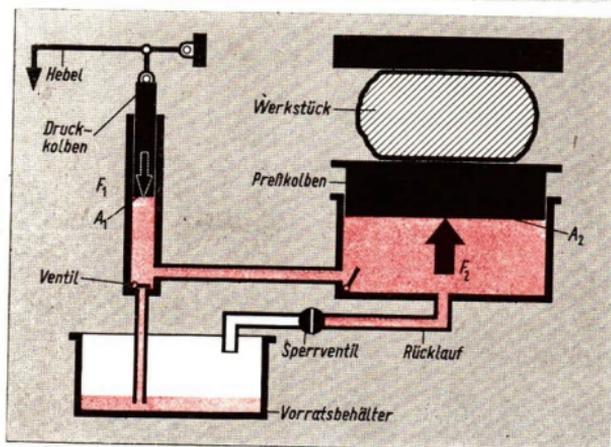
Die Pumpe saugt aus einem Vorratsbehälter Öl an und drückt es durch das Druckventil in den Preßzylinder. Dadurch werden Preßkolben, Hebebühne und Auto angehoben. Welche Aufgaben haben die drei Ventile? Welches Ventil muß geöffnet werden, wenn die Hebebühne sich wieder senken soll?





## Bremse

Drückt der Fahrer auf den Bremshebel, so wird in dem Hauptbremszylinder der Druckkolben bewegt. Dieser übt einen Druck auf die Bremsflüssigkeit aus. Die Flüssigkeit wiederum drückt auf die Preßkolben in den Radbremszylindern. Durch die Preßkolben werden die Bremsbacken gegen die Innenwand der Bremsstrommeln gedrückt. Welche Kraft bringt den Wagen zum Stehen?



## Presse

Zur spanlosen Formung von Metallwerkstücken, zur Formung von Platten, zum Aufpressen von Buchsen und Spurkränzen werden Pressen verwendet. Studiere das nebenstehende Schema einer Presse! Nenne weitere Anwendungsbeispiele von hydraulischen Pressen! In welchem Betrieb werden große hydraulische Pressen hergestellt?



## Hydraulischer Schwenkkran

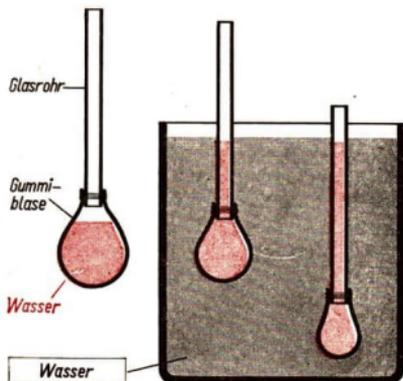
Seine hydraulische Arbeitsvorrichtung macht es möglich, mit kleiner Kraft große Lasten zu heben. In unserer Landwirtschaft ist er unentbehrlich. Welcher der beiden Kolben in einer hydraulischen Anlage muß einen längeren Weg zurücklegen, damit das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit erfüllt ist?

#### 4. Der Schweredruck

Bisher wurde der Druck untersucht, der dadurch entstand, daß eine äußere Kraft auf die Flüssigkeit einwirkte. Nun soll der Druck betrachtet werden, der durch das *Eigengewicht der Flüssigkeit* hervorgerufen wird. Man bezeichnet diesen Druck als **Schweredruck  $p$** .

21

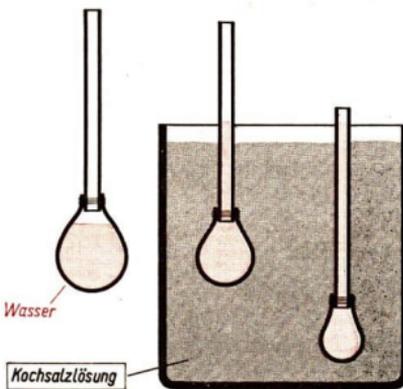
**V** Fülle eine Gummibläse, an der ein Glasrohr befestigt ist, mit angefärbtem Wasser und tauche die Blase allmählich immer tiefer in ein mit Wasser gefülltes Gefäß! Je tiefer die Blase eingetaucht ist, um so höher steigt das Wasser im Rohr, stets reicht es aber bis an die Wasseroberfläche im Gefäß. Die Blase wird mit zunehmender Eintauchtiefe kleiner, weil ein Teil des eingeschlossenen Wassers in das Glasrohr steigt.



Der Schweredruck  $p$  in einer Flüssigkeit ist proportional dem Abstand  $h$  von der Flüssigkeitsoberfläche.

22

**V** Stelle die mit Wasser gefüllte Blase in ein Gefäß mit konzentrierter Kochsalzlösung! Das Wasser wird durch den Schweredruck der umgebenden Lösung *höher* gedrückt als der Spiegel der Kochsalzlösung, da die Wichte der Lösung größer ist als die des Wassers.



Der Versuch zeigt, daß der Schweredruck  $p$  auch von der Wichte der Flüssigkeit abhängt.

- Erkläre den Begriff „Wichte“!  
Wiederhole den Versuch mit anderen Flüssigkeiten (Öl, Spiritus)!

Für den Schweredruck gilt:

Der Schweredruck ist das Produkt aus der Höhe  $h$  des Flüssigkeitsspiegels und der Wichte  $\gamma$  der Flüssigkeit.

Schweredruck = Höhe · Wichte

$$p = h \cdot \gamma$$

- Leite hieraus die Einheit für den Schweredruck ab!

Der Schweredruck wirkt auf einen unter Wasser befindlichen Körper von allen Seiten; das heißt, auf einen Taucher wirkt der Schweredruck von oben, von jeder Seite und von unten. Je nach der Richtung der Druckkraft unterteilt man den Schweredruck in **Bodendruck**, **Seitendruck** und **Aufdruck**.

23

**V** Befestige drei verschieden geformte Gefäße mit gleicher Grundfläche der Reihe nach an einem Stativ und fülle sie mit Wasser! Eine abnehmbare Bodenplatte bildet den Gefäßboden. Sie wird durch einen Hebel gegen den Bodenrand gepreßt. Miß die Höhe der Wassersäule mit einer Meßplatte!

Führt man diesen Versuch mit allen drei Gefäßen durch, so zeigt sich, daß in *allen drei Fällen dieselbe Flüssigkeitshöhe* (also nicht die gleiche Menge!) nötig ist, damit die Bodenplatte abgedrückt wird.

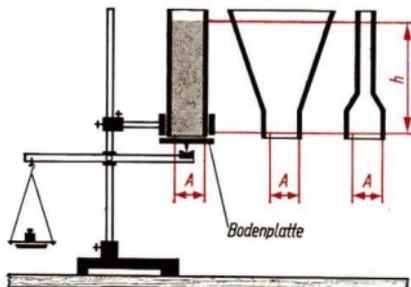


Bild 98/1

**Der Bodendruck ist der Höhe der Wassersäule proportional. Er ist von der Form des Gefäßes unabhängig.**

Zur Klärung dieser Erscheinung kann man sich die gesamte Flüssigkeit in viele kleine Schichten zerlegt denken. Jede Schicht drückt dann infolge ihres Gewichts mit einer Kraft auf die darunterliegende Schicht. Das Gewicht einer Schicht ergibt sich aus  $G = V \cdot \gamma = A \cdot h \cdot \gamma$ . Die Kraft ist dann  $F = A \cdot h \cdot \gamma$ . Daraus ergibt sich auf die nächste Schicht ein Druck

$$p = \frac{F}{A} = \frac{A \cdot h \cdot \gamma}{A} = h \cdot \gamma.$$

Man erkennt, daß die Fläche  $A$  keinen Einfluß auf die Größe des Drucks hat.

Die Versuchsanordnung (Bild 98/2) ermöglicht es, den Bodendruck, den Seitendruck und den Aufdruck gleichzeitig zu messen. Am Stand des Quecksilbers in den gebogenen Röhren ist zu erkennen, daß **alle drei Drücke in gleicher Flüssigkeitstiefe gleich groß** sind.

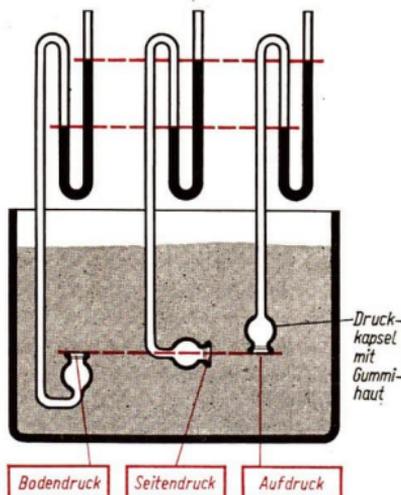


Bild 98/2

**In gleicher Tiefe ist der Schweredruck nach allen Seiten gleich groß. Für alle 3 Arten des Schweredrucks gilt:  $p = h \cdot \gamma$**

## ■ Beispiel

Wie groß ist der Schweredruck in 10 Meter Wassertiefe?

Gegeben:

$$h = 10 \text{ m}$$

$$\gamma = 1 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$$

Gesucht:

$p$  (in at)

Lösung:

$$p = h \cdot \gamma$$

$$p = \frac{10 \text{ m} \cdot 1 \text{ p}}{\text{cm}^3}$$

$$p = \frac{1000 \text{ cm} \cdot 1 \text{ p}}{\text{cm}^3}$$

$$p = 1000 \frac{\text{p}}{\text{cm}^2}$$

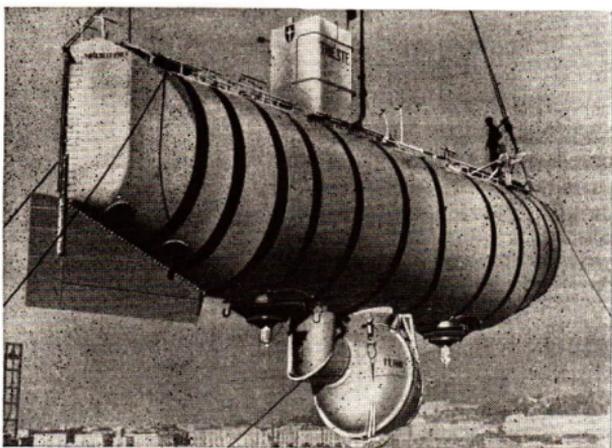
$$p = 1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ at}$$

**Der Schweredruck einer 10 Meter hohen Wassersäule beträgt eine technische Atmosphäre.**

## 5. Anwendungen des Schweredrucks

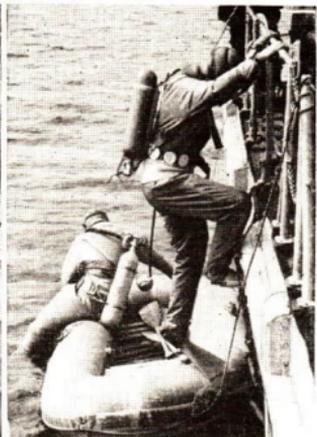
### Tiefseetauchapparat

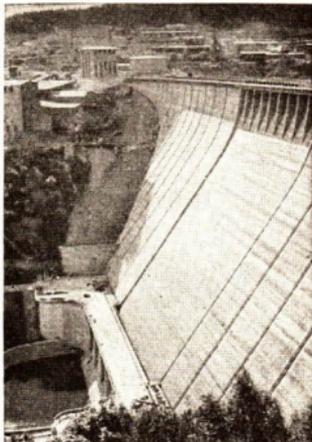
Für wissenschaftliche Untersuchungen wurden in den letzten Jahren besondere Tiefseetauchapparate entwickelt, mit denen Tiefen bis ungefähr 12000 m erreicht wurden. Eine druckfeste Kapsel hält den großen Schweredruck von den Tauchern fern.



### Taucher

Unsere Bilder zeigen Taucher der Gesellschaft für Sport und Technik (GST), die sich gerade von einem Schlauchboot aus ins Wasser lassen. Mit speziellen Geräten ausgerüstet, die sie mit Luft zum Atmen versorgen, tauchen sie in den Seen und Meeren, um das Leben der Pflanzen und Wassertiere zu erforschen.





## Staumauern - Staudämme

In dieser Skizze ist deutlich zu erkennen, daß die Sohle (großer Seitendruck!) dicker ist als die Krone (kleiner Seitendruck!).

Warum ist der Abfluß zur Turbine möglichst tief gewählt?

Dem Bau von Staudämmen wird in unserer Republik große Bedeutung beigemessen. Überlege, warum! Nenne Talsperren, die in der DDR gebaut wurden!



## Perlentaucher

Auf vielen Südseeinseln leben Menschen, die vom Grund des Meeres (20 bis 25 Meter) Muscheln auflesen müssen, in denen wertvolle Perlen sind. Für die Kapitalisten sind diese Menschen billige Arbeiter, die wenig kosten. Das Durchschnittsalter dieser Menschen beträgt 35 Jahre.

Überlege, zeichne, berechne!

1. In einem Rohr steht eine Flüssigkeit (Wichte  $\gamma = 0,8 \frac{\text{P}}{\text{cm}^3}$ ) 500 cm hoch. Wie groß ist der Schweredruck auf das Ventil, welches das untere Ende des Rohres abschließt?
2. Wie groß ist der Druck auf einen Taucher, der sich in 20 Meter Tiefe befindet? Beachte: Auf die Oberfläche einer Flüssigkeit wirkt ein Luftdruck von einer Atmosphäre!
3. Welcher Schweredruck herrscht an der tiefsten Stelle der Ostsee (469 m) bzw. der Weltmeere (12100 m)?
4. Welcher Schweredruck herrscht am Boden einer mit Quecksilber gefüllten Röhre, deren Höhe 75 cm beträgt ( $\gamma = 13,6 \frac{\text{P}}{\text{cm}^3}$ )?

- Welcher Schweredruck herrscht in einer Wasserleitung, deren Hochbehälter 87 Meter höher liegt als die Leitung?
- Durch eine hydraulische Hebebühne soll die Last von 6000kp um 2 m gehoben werden. Der Druckkolben hat eine Fläche von  $A_1 = 3 \text{ cm}^2$  und der Preßkolben eine Fläche von  $A_2 = 300 \text{ cm}^2$ . Wie groß ist die aufzubringende Kraft? Wie groß ist die verrichtete Arbeit? Welchen Weg hat der Druckkolben zurückzulegen? Fertige eine Zeichnung an!

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Nimm ein Rohr (aus Vinidur) und bohre an einer Seite 4 Löcher ein! Verschließe das eine Ende mit einem Korken, fülle das Rohr mit Wasser und weise die Abhängigkeit des Seitendrucks von der Höhe nach!

2. Nimm einen Glaszylinder und verschließe ihn unten mit einer gut dichtenden Glasplatte! Mit einem Faden wird die Glasplatte festgehalten. Tauche den Zylinder in Wasser und laß den Faden los! Was beobachtest du? Fülle den Zylinder allmählich mit Wasser (Wasser an der Innenwand des Zylinders herablaufen lassen)! Bei welcher Wasserhöhe fällt der Verschluss ab? Weise die Abhängigkeit des Aufdrucks von der Höhe der Wassersäule nach!

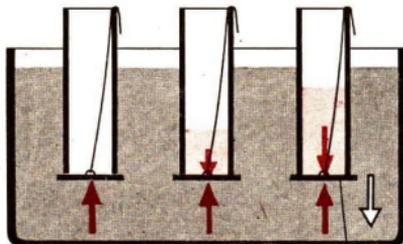


Bild 101/1

Platte fällt ab

3. In der Bücherei deines Ortes findest du Bücher über das Leben und Arbeiten der Südseeinsulaner und der Perlentäucher. Lies solche Bücher!

### ZUSAMMENFASSUNG

**Druckkraft** nennt man die Kraft, die senkrecht auf eine gedrückte Fläche wirkt. Der Druck ist von der Druckkraft und der Fläche abhängig.

Die Einheit des Drucks ist  $1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ technische Atmosphäre} = 1 \text{ at}$ .

Wie lautet die Gleichung zum Berechnen des Drucks?

**Ein Druck, der auf eine Flüssigkeit ausgeübt wird, breitet sich gleichmäßig nach allen Seiten aus.**

Schildere einen Versuch, der die gleichmäßige und allseitige Druckausbreitung zeigt!

**Flüssigkeiten können zur Kraftübertragung benutzt werden.**

Wie nennt man Einrichtungen, die mittels Flüssigkeiten Kraft übertragen?

**Die Druckkräfte verhalten sich wie die dazugehörigen Flächen.**

Wie verhalten sich an einer hydraulischen Einrichtung die Flächen und die Wege?

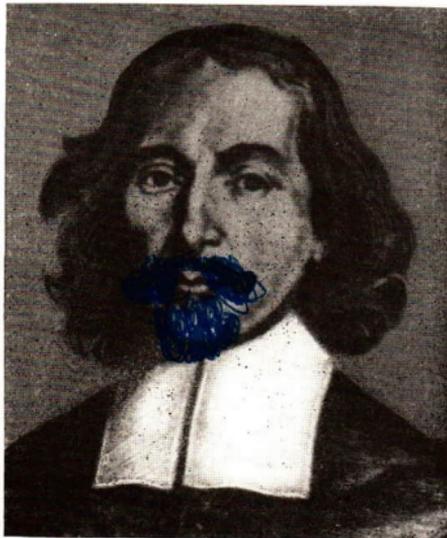
**Der Druck, der in Flüssigkeiten infolge des Eigengewichts der Flüssigkeit entsteht, wird als Schweredruck bezeichnet. Er hängt von der Höhe und der Wichte der Flüssigkeit ab.**

Wie lautet die Gleichung zum Berechnen des Schweredrucks?

## Druck in Gasen



OTTO VON GUERICKE (1602 bis 1686), ein Magdeburger Bürgermeister, entdeckte, daß die Luft einen Schweredruck besitzt. Er stellte die ersten Versuche zur Luftdruckmessung an. OTTO VON GUERICKE konstruierte das erste Barometer, mit dessen Hilfe er ein großes Unwetter vorhersagte. Das war die erste wissenschaftliche Wettervorhersage. Wie wirken Barometer? Welche physikalischen Gesetze haben sie zur Grundlage?



### 1. Der Schweredruck der Luft

Die Erde ist von einer Lufthülle umgeben. Diese reicht bis zu einer Höhe von etwa 500 km. Ihre Dichte nimmt zur Erdoberfläche zu, weil die oberen Luftschichten infolge ihres Gewichts auf die darunterliegenden drücken. Unmittelbar über der Erdoberfläche ist der Druck am größten.

**Die Luft übt auf alle Körper, die sie umgibt, einen Druck aus. Man nennt diesen Druck den atmosphärischen Luftdruck, kurz: Luftdruck.**

Zum Messen des Luftdrucks führte O. v. GUERICKE im Prinzip folgenden Versuch aus:

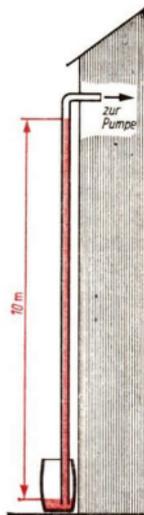
24

**V** Ein Rohr von über 10 m Länge, das unten in Wasser eintaucht, wird senkrecht an der Außenseite eines Hauses aufgestellt. Wird die Luft von oben her aus dem Rohr gepumpt, so steigt das Wasser etwa 10 m hoch.

O. v. GUERICKE kam zu der Folgerung:

**Der atmosphärische Luftdruck hält dem Schweredruck einer etwa 10 m hohen Wassersäule das Gleichgewicht.**

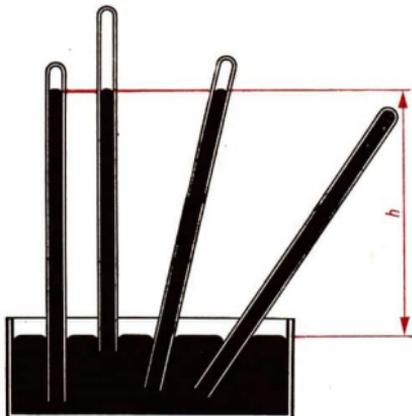
- *Berechne den Druck einer 10 m hohen Wassersäule!*



Der italienische Physiker TORRICELLI nahm zum Messen des Luftdrucks statt Wasser Quecksilber. Deshalb konnte das Rohr kürzer sein, und es war möglich, die Flüssigkeitssäule in einem Zimmer zu untersuchen.

25

**V** Eine 1 m lange, einseitig geschlossene Glasröhre wird mit Quecksilber gefüllt. Die freie Öffnung wird mit einem Finger verschlossen und die Röhre umgekehrt in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß gestülpt. Wird die freie Öffnung freigegeben, so fließt das Quecksilber nicht vollständig aus, sondern der Flüssigkeitsspiegel im Rohr sinkt nur wenig. Er bleibt in einer Höhe von etwa 70 bis 80 cm stehen.



Dieser Versuch zeigt: Der Luftdruck hält dem Schweredruck der Quecksilbersäule das Gleichgewicht.

Läßt man diese Versuchsanordnung längere Zeit stehen, so erkennt man, daß sich die Höhe der Quecksilbersäule ändert. Als Ursache hat man den sich ändernden Luftdruck erkannt. Die Länge der Quecksilbersäule ist somit ein Maß für die Größe des Luftdrucks.

Zu Ehren TORRICELLIS ist eine Einheit für den Luftdruck nach ihm benannt worden. Diese Einheit heißt **Torr**. Ein Luftdruck von einem Torr hält einer ein Millimeter hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht.

**Der mittlere Luftdruck in Meereshöhe – auch Normaldruck genannt – beträgt 760 Torr.**

Die Meereshöhe wird oft mit NN abgekürzt (Normal Null). Alle geografischen Höhenangaben sind über NN gemessen.

### ■ Beispiel

Zum Berechnen des mittleren Luftdrucks können wir die Werte des Versuchs 25 benutzen.

*Gegeben:*

$$h = 76 \text{ cm}$$

$$\gamma = 13,6 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$$

*Gesucht:*

$$p \left( \text{in } \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)$$

*Lösung:*

$$p = h \cdot \gamma$$

$$p = \frac{76 \text{ cm} \cdot 13,6 \text{ p}}{\text{cm}^3}$$

$$p = \frac{1034 \text{ p}}{\text{cm}^2} \approx \underline{\underline{1,03 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}}}$$

Der mittlere Luftdruck beträgt  $1,03 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1,03 \text{ at}$ .

Der Druck von  $1,033 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1,033 \text{ at}$  wird **physikalische Atmosphäre (atm)** genannt.

$$1,033 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1,033 \text{ at} \approx 1 \text{ atm} \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr}$$

■ **Beispiel**

Welche Höhe hat eine Quecksilbersäule, wenn der Luftdruck gerade 1 at beträgt?

Gegeben:

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

$$\gamma = 13,6 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$$

Gesucht:

$$h \text{ (in mm)}$$

Lösung:

$$p = h \cdot \gamma \quad /: \gamma$$

$$\frac{p}{\gamma} = h \quad / \text{Seiten vertauschen}$$

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

$$h = \frac{1000 \text{ p} \cdot \text{cm}^3}{\text{cm}^2 \cdot 13,6 \text{ p}}$$

$$h = 73,5 \text{ cm} = 735 \text{ mm}$$

Die Quecksilbersäule hat eine Höhe von 735 mm.

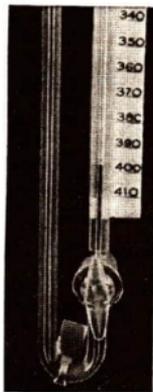
## 2. Geräte zur Druckmessung

**Barometer<sup>5</sup>** heißen die Geräte zum Messen des Schweredruck<sup>5</sup> der Luft. Nach Aufbau und Wirkungsweise unterscheidet man *Flüssigkeitsbarometer* (104/1a, b) und *statische Barometer* (104/1c, d).

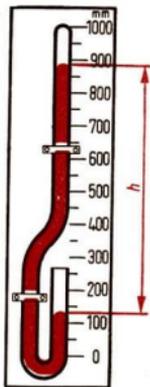
Steigt man auf einen Berg, zum Beispiel 1000 m hoch, und beobachtet dabei die Skale eines Barometers, dann stellt man fest, daß der Barometerstand allmählich sinkt. Dies liegt daran, daß beim Emporsteigen die Höhe der Luftsäule über einem abnimmt. Zum Berechnen des atmosphärischen Luftdrucks für verschiedene Höhen gilt folgende Überschlagsrechnung:

*Beim Ansteigen um 10,5 m fällt der Luftdruck um 1 Torr.*

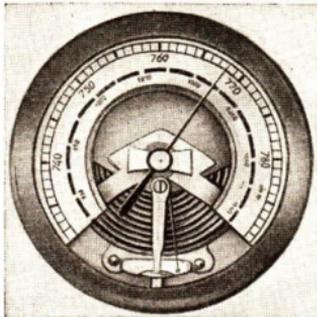
<sup>5</sup> baros (griech.): Schwere.



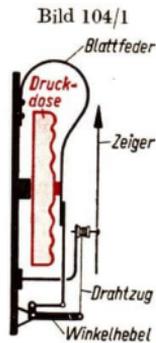
a



b



c



d

Bild 104/1

## ■ Beispiel

Wie hoch liegt eine Stadt, deren mittlerer Barometerstand 720 Torr beträgt?

Gegeben:

$$p_0 = 760 \text{ Torr}$$

$$p_1 = 720 \text{ Torr}$$

$$p_2 = p_0 - p_1$$

Gesucht:

$h$  (in m über NN)

Lösung:

$$h = 10,5 \frac{\text{m}}{\text{Torr}} \cdot p_2$$

$$h = 10,5 \frac{\text{m}}{\text{Torr}} \cdot 40 \text{ Torr}$$

$$\underline{\underline{h = 420 \text{ m}}}$$

Nebenrechnung:

$$p_2 = p_0 - p_1$$

$$p_2 = 760 \text{ Torr} - 720 \text{ Torr}$$

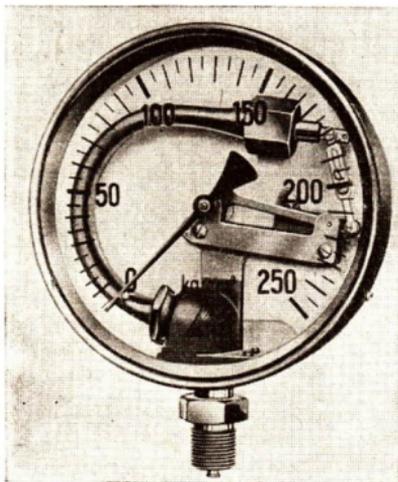
$$p_2 = 40 \text{ Torr}$$

Die Stadt liegt ungefähr 420 m über NN.

**Manometer**<sup>6</sup> heißen die Geräte zum Messen des Flüssigkeits- und Gasdrucks, z. B. in Dampfkesseln und Kfz-Schläuchen.

Es gibt verschiedene Arten von Manometern. Sie funktionieren im Prinzip wie Barometer. Manometer sind jedoch im Gegensatz zu Barometern auch für sehr große Drücke gebaut (Bild 105/1).

Bild 105/1 Röhrenfedermanometer. In der Industrie werden meist Metallmanometer verwendet, insbesondere zum Messen hoher Drücke. Wird der Druck in der Röhre erhöht, dann biegt sie sich etwas auf, so daß mittels Zeiger und Skale ein Ablesen des Drucks möglich ist



### 3. Wirkungen des Luftdrucks

**Preßluftbohrer, Preßluftmeißel und Preßluftpflömer** sind vor allem Arbeitsgeräte des Bergmanns, des Steinbrucharbeiters und des Metallarbeiters. Das Bild 107/2 zeigt einen Arbeiter mit einem Preßluftmeißel.

Man wählt den Antrieb mit Preßluft im Bergbau, weil bei Elektromotoren die Gefahr besteht, daß sich brennbare Gase durch Funken entzünden. Dadurch könnten schwere Bergwerksunglücke entstehen. Preßluftwerkzeuge werden auch für Straßenarbeiten und Abrißarbeiten eingesetzt. Derartige Werkzeuge belasten den Arbeiter infolge der Erschütterungen außerordentlich stark. In unseren Bergwerken und beim Straßenbau werden deshalb im Zuge der Mechanisierung die Druckluftwerkzeuge immer mehr durch automatisch arbeitende Maschinen ersetzt. Durch sie wird

<sup>6</sup> manos (griech.): dünn.

nicht nur die Arbeit der Menschen erleichtert, sondern auch die Arbeitsproduktivität wesentlich gesteigert.

**Pumpen.** Die Wirkung des Luftdrucks findet auch bei den Pumpen Anwendung. Pumpen werden in verschiedenen Formen und Arten vielseitig in der Technik angewandt. Sie können durch Muskel- oder Maschinenkraft angetrieben werden.

Bild 106/1 Die Saugpumpe. Sie ist eine Kolbenpumpe, die man an Orten ohne Wasserleitung als Handpumpe benutzt. In einem Zylinder gleitet ein dichtschließender Kolben. Beim Anheben des Kolbens entsteht im Pumpenzylinder ein Unterdruck, so daß der atmosphärische Luftdruck das Wasser aus dem Brunnen durch das Bodenventil in den Zylinder drückt.

Theoretisch könnte das Wasser bis zu einer Höhe von 10 m angesaugt werden. In der Praxis treten jedoch Verluste auf, die eine Höhe von nur 6 bis 7 Metern zulassen. Beim Abwärtsgleiten drückt der Kolben das Wasser durch das Kolbenventil in den oberen Zylinderraum, aus dem es beim erneuten Anheben des Kolbens ausfließen kann

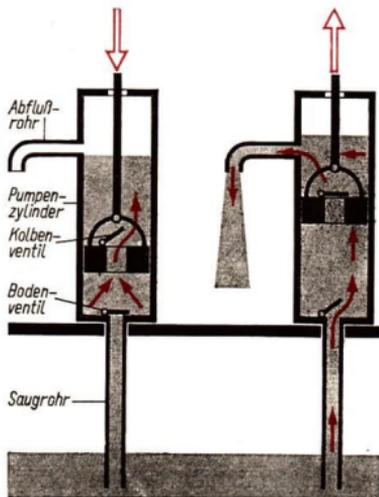
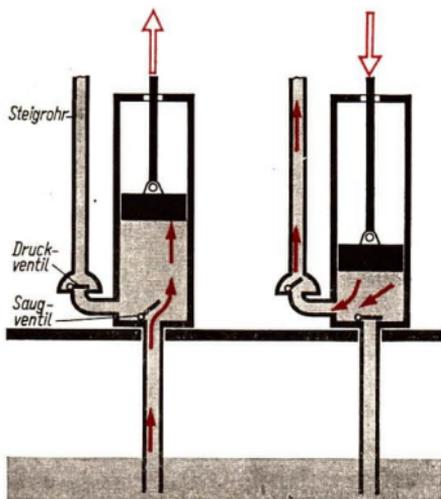


Bild 106/2 Die Saug-Druck-Pumpe ist eine Kolbenpumpe. Der Kolben, der kein Ventil besitzt, erzeugt auch hier beim Anheben einen Unterdruck, und der Luftdruck drückt das Wasser aus dem Saugrohr in den Zylinder. Beim Abwärtsgleiten drückt der Kolben das angesaugte Wasser in das Steigrohr, wobei sich das Druckventil öffnet.

Infolge der Druckkraft des Kolbens können auf diese Weise Förderhöhen bis zu 150 m erreicht werden. Damit ist ein wesentlicher Nachteil der Saugpumpe beseitigt. Jedoch kann auch die Druckpumpe das Wasser nur aus einer Tiefe von 6 bis 7 Metern ansaugen



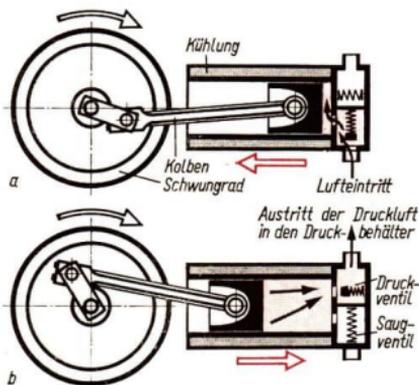


Bild 107/1 Schnitt durch einen Kompressor

Bild 107/2 Preßluftmeißel

Mit Kolben- oder Flügelverdichtern werden beispielsweise Gase in Gasflaschen gepreßt. Man unterscheidet bei den Verdichtern *Gebläse* und *Kompressoren*. Gebläse erzeugen Drücke bis etwa 3 at. Kompressoren (Bild) verdichten Gase bis zu etwa 10 at. Kompressoren werden zum Beispiel zum Aufpumpen von Autoreifen und zum Betrieb von Farbspritzpistolen verwendet

- Erkläre die Wirkungsweise des Kompressors im Vergleich zur Saug-Druck-Pumpe!

#### 4. Geschichtliche Entwicklung

Erste wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Pneumatik<sup>7</sup> erfolgten etwa um 100 v. U. Z. in Alexandria, dem damaligen wissenschaftlichen Zentrum Ägyptens. KTESIBIOS erfand die Druckpumpe und Feuerspritze, und sein Schüler HERON beschreibt eine große Anzahl pneumatischer Versuche. Es handelt sich vor allem um Geräte, mit denen die Priester ihre Mitmenschen täuschten, einschüchterten und in Abhängigkeit hielten (Bild 108/1 und 2).

Die Wirkungsweise der pneumatischen Apparate erklärt HERON mit dem sogenannten „horror vacui“<sup>8</sup>: Bei einer Pumpe würde unter dem Kolben ein leerer Raum entstehen. Die Natur habe jedoch einen Abscheu vor dem leeren Raum und erfülle ihn sofort wieder mit einem Stoff, in diesem Fall mit Wasser.

Diese Ansicht hielt sich sehr lange Zeit. Noch vor 400 Jahren bestritt man das Vorhandensein des leeren Raumes: „Die Existenz Gottes läßt keinen leeren Raum zu; denn der allgegenwärtige Gott kann dort nicht wirksam sein.“ Andere dagegen behaupteten ganz einfach, daß Gott überall wirksam sei, folglich gäbe es keinen leeren Raum. Auf solche Weise ist natürlich keine Naturforschung möglich.

Erst durch experimentelle Untersuchungen im 17. Jahrhundert bekam die Mechanik der Gase eine wissenschaftliche Grundlage. Unmittelbarer Anstoß waren Probleme der Praxis. GALILEO

<sup>7</sup> pneumatisch: durch Luftdruck bewegt, von Luft erzielt.

<sup>8</sup> horror vacui: soviel wie „Abscheu vor dem Leeren“.



Bild 108/1 Opferaltar. Wurde auf dem Altar ein Opferfeuer entzündet, dehnte sich die Luft in dem Bronzebehälter aus und drückte eine brennbare Flüssigkeit in die Figur; von da aus floß sie in das Feuer, so daß es erneut aufloderte

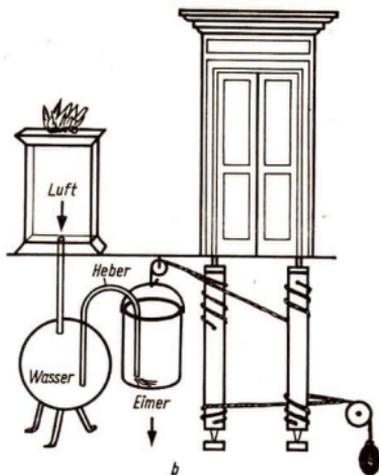


Bild 108/2 Tempelwunder. Die erwärmte Luft dehnt sich aus. Dabei gelangt Wasser durch den Heber in den Eimer. Der gefüllte Eimer sinkt infolge seines Gewichts herab. Mit Hilfe von Seilen und Rollen werden dadurch die Tempeltüren geöffnet

GALILEI untersuchte zum Beispiel folgendes Problem: „Ich sah einmal einen Brunnen, in welchem ... ein Pumpenstock angebracht war ..., und dieser Pumpenstock hatte einen Kolben mit einem Ventil (d. h. eine Saugpumpe) ... Der Apparat schaffte das Wasser gut und reichlich ... sobald aber das Wasser unter eine gewisse Höhe sank, arbeitete die Pumpe nicht mehr. Als ich das zum erstenmal sah, glaubte ich, die Pumpe sei verdorben, ich suchte den Meister auf, damit er sie zurechtmache. Dieser aber versicherte, es fehle nichts, als daß das Wasser, welches zu tief stehe, nicht auf solche Höhen gehoben werden könne; und er fügte hinzu, daß weder mit Pumpen noch mit anderen Maschinen ... es möglich sei, dasselbe ein Haar breit mehr als 18 Ellen (etwa 10 m) ansteigen zu lassen...“ Eine richtige Erklärung für diese Erscheinung konnte GALILEI nicht geben. Er suchte die Ursache ebenfalls in einer Art Widerstand vor dem leeren Raum.

Eine Erklärung gelang erst seinem Schüler EVANGELISTA TORRICELLI (1608 bis 1647). Er kam auf den Gedanken, an einer Quecksilbersäule zu untersuchen, ob auch hier nur eine bestimmte Länge der Flüssigkeitssäule möglich ist. TORRICELLI beauftragte seinen Mitarbeiter VIRIANI, den Versuch durchzuführen (Versuch 25).

Dieser beobachtete 1643 tatsächlich, daß die Quecksilbersäule stets bis zu einer bestimmten Höhe herabsank. TORRICELLI widmete sich daraufhin selbst wieder den Versuchen. Er erkannte, daß die Länge der Quecksilbersäule geringe Schwankungen aufwies (Wetter!). Da der „horror vacui“ kaum vom Wetter abhängen konnte, verließ TORRICELLI endgültig die alten Ansichten und erklärte seine Beobachtungen unter der Annahme eines Luftdrucks. Das erscheint uns heute selbstverständlich. Damals gehörte aber sehr viel Mut dazu, sich gegen die alten Vorstellungen auszusprechen, die für Jahrhunderte die Entwicklung der Wissenschaft gehemmt hatten.

BLAISE PASCAL (1623 bis 1662) wiederholte 'und erweiterte die Torricellischen Versuche und vermutete, daß die Quecksilbersäule auf dem Gipfel eines Berges kürzer sei als am Fuß. Ein Versuch auf dem Puy de Dôme bei Clermont zeigt die Richtigkeit dieser Annahme (1648).

Großes Aufsehen erregten die etwa zur gleichen Zeit vorgenommenen Versuche des Magdeburgers OTTO VON GUERICKE<sup>9</sup> (1602 bis 1686). GUERICKE stammte aus einer reichen Patrizierfamilie. Er studierte an verschiedenen Universitäten Jura, Mathematik, Mechanik und Befestigungslehre. Als Ratsherr seiner Heimatstadt wurden ihm daher auch Verteidigungsaufgaben übertragen, denen in den Wirren des 30jährigen Krieges besondere Bedeutung zukam. GUERICKE war ein äußerst vielseitiger Mensch, der mitten im Leben seiner Zeit stand. Seine Wahl zum Bürgermeister brachte viele Aufgaben mit sich, die viel Zeit beanspruchten. Um so bewunderungswürdiger sind GUERICKE'S wissenschaftliche Arbeiten, die er ohne Kenntnis der Torricellischen Versuche begonnen hatte. Das beträchtliche Vermögen ermöglichte GUERICKE aber auch Versuche großen Aufwands, die von aller Welt bestaunt wurden. Man schätzt, daß er rund 50000 Mark für die Versuche aufwandte.

Die bekannteste Erfindung GUERICKE'S ist die Luftpumpe. Er hatte zur Herstellung eines luftleeren Raumes ein Faß mit Wasser gefüllt und dieses mit einer Feuerspritzenpumpe aus dem Faß zu ziehen versucht (Bild 110/1).

Mehr darüber ist in dem Buch „Abenteuer mit Archimedes“, S. 143 bis 155, nachzulesen.



Bild 109/1 Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“ (1654). Wie groß die Druckkraft der Luft ist, bemerkte O. v. GUERICKE, als er ein mit Wasser gefülltes Faß luftleer pumpen wollte. Beim Leeren des Fasses mit einer Feuerspritzenpumpe strömte die Luft unter Sausen und Pfeifen von außen in das Faß. Er wiederholte den Versuch an einem Kupferkessel. Die *Druckkraft* der Luft drückte den Kessel zusammen. Schließlich gelang es ihm doch, genügend feste Gefäße anfertigen zu lassen, die, fast luftleer gepumpt, der Druckkraft der Luft standhielten. Zwei Halbkugeln, jede mit einem Durchmesser von 50 cm, wurden von dem atmosphärischen Luftdruck so stark zusammengehalten, daß die Pferde die Kugeln nicht trennen konnten

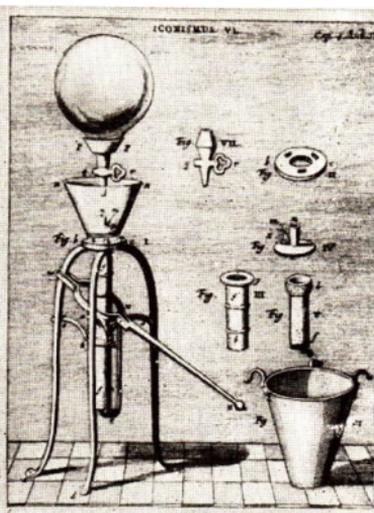


Bild 110/1 Originalabbildungen aus Guericke's „Experimenta Nova“ (Neues Experiment) links: Auspumpen einer Kupferkugel, rechts: Luftpumpe

GUERICKE gewann dadurch eine Vorstellung von der Größe der Druckkraft, die die Atmosphäre auf alle Körper ausübt. Im Jahre 1654 waren seine Versuche so weit gediehen, daß er mit geringer Mühe Gefäße auspumpen konnte. Auch ein Wasserbarometer hatte GUERICKE hergestellt.

### Überlege, zeichne, berechne!

- ?** 1. Mit welcher Kraft hält der Luftdruck den Deckel eines Einweckglases von  $100 \text{ cm}^2$  Fläche fest, wenn der Druck in dem Glase durch das Kochen auf 50 Torr zurückgegangen ist?
- \*2. Wie groß ist der Luftdruck, dem ein Pilot ausgesetzt ist, wenn er sich in 1200 m Höhe befindet? Weshalb sind in großen Höhen in Flugzeugen Druckkabinen erforderlich?
- B.** Aus einem 50 m tiefen Schacht ist das Wasser herauszupumpen. Welche Pumpen könnte man verwenden? Was muß man bei ihrem Einsatz beachten?
4. Wie hoch liegt dein Wohnort über dem Meeresspiegel (über NN)? Berechne daraus den mittleren Luftdruck für deinen Ort!
5. Warum sehen die Anzüge der Welt- raumfahrer (Bild 110/2) ähnlich wie die Taucheranzüge aus? Was muß man im Gegensatz zum Taucheranzug be- achten?



- Notiere während mehrerer Tage den Luftdruck (Wetterbericht hören, am Barometer in der Schule ablesen!) und erkläre, was es heißt, wenn im Wetterbericht ein „Tief“ bzw. ein „Hoch“ gemeldet wird!
- Welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten bewirken, daß Wasser aus einer Spritzflasche heraustritt?
- Stelle im polytechnischen Unterricht fest, wo Druckmessungen durchgeführt werden!

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



- Fülle ein Zahnputzglas vollkommen mit Wasser! Lege darauf eine Postkarte oder ein anderes Stück dünnen Karton! Drehe jetzt beides herum (bleibe vorsichtshalber über einer Schüssel)! Warum fällt der Karton nicht ab (Bild 111/1)?
- Welche physikalischen Vorgänge spielen sich beim Trinken mit einem Trinkröhrchen ab?
- Entleere mit Hilfe eines Schlauches eine Wanne mit Wasser! Erläutere dein Vorgehen!
- Schlage in eine Konservenbüchse (z. B. Fruchtsaftkonserve) mit einem Nagel ein Loch! Weshalb läuft der Saft nicht aus, wenn die Büchse mit der Öffnung nach unten gehalten wird? Erkläre den physikalischen Sachverhalt!

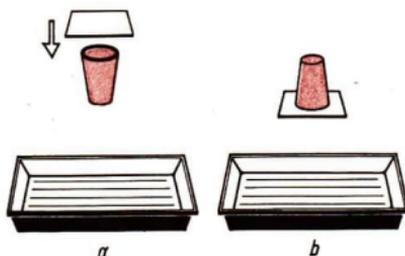


Bild 111/1

### ZUSAMMENFASSUNG

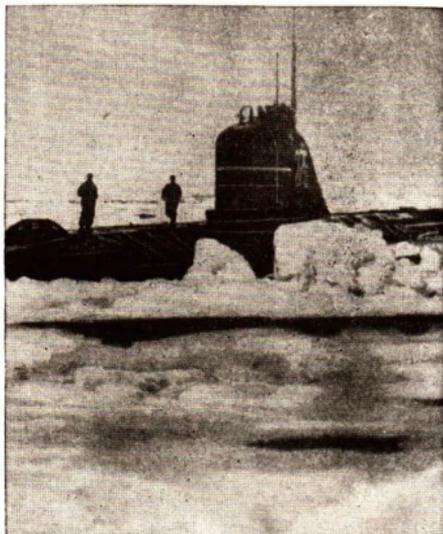
Die Luft übt auf alle Körper einen Druck aus. Er beträgt in Meereshöhe im Durchschnitt etwa 760 Torr. Der Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe ab.

Warum zerplatzt ein mit Wasserstoffgas gefüllter Ballon, wenn er in größere Höhen steigt?

Die zum Messen des Luftdrucks benutzten Geräte heißen Barometer. Die zum Messen des Flüssigkeits- und Gasdrucks benutzten Geräte heißen Manometer.

Wie arbeitet ein Dosenbarometer? Wo verwendet man Metallmanometer?

## Auftrieb und Schwimmen



Das Bild zeigt eines der besten Unterseeboote der Welt. Dieses sowjetische U-Boot kann sich infolge seines Atomtriebs lange Zeit unter Wasser bewegen.

Warum kann es in sehr kurzer Zeit auf- und untertauchen? Welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten wirken beim Tauchen und beim Schwimmen?

### 1. Das Archimedische Gesetz

Zum Ermitteln der Gesetze, die an einem in eine Flüssigkeit getauchten Körper auftreten, kann man die Kenntnisse über den Schweredruck anwenden.

Taucht man einen Körper, zum Beispiel einen Zylinder, in eine Flüssigkeit, zum Beispiel in Wasser, so wirkt der Schweredruck der Flüssigkeit von allen Seiten auf den Körper ein. Die Seitendrücke heben sich in ihrer Wirkung auf, weil sie gleich groß sind. Der Aufdruck ist in diesem Falle größer als der Bodendruck (Bild 112/2). Diese beiden Drücke heben sich also in ihrer Wirkung *nicht* auf. Der größere Aufdruck bewirkt, daß das Gewicht des Körpers im Wasser geringer ist als in der Luft.

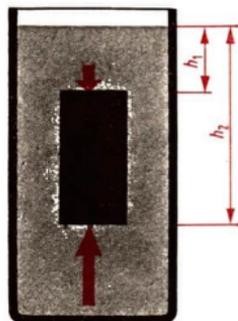
Die folgenden Versuche sollen diese Überlegung überprüfen.

26

**V** Tauche einen Eimer in ein Wasserfaß und fülle ihn! Halte den Eimer unter Wasser an einem Finger! Hebe den Eimer etwas an! Du mußt dich mehr anstrengen, um ihn zu halten. Hebe ihn ganz aus dem Wasser!

Bodendruck  
 $p_B = h_1 \cdot \gamma$

Aufdruck  
 $p_A = h_2 \cdot \gamma$



$$p_A > p_B$$

Bild 112/2 Bodendruck und Aufdruck

Vergleicht man die Kraft, die man in jedem Falle aufbringen muß, um denselben Eimer festzuhalten, so stellt man fest, daß die Kraft um so größer sein muß, je weiter der Eimer aus dem Wasser herausragt.

Im folgenden Versuch soll die aufzuwendende Kraft gemessen werden.

27

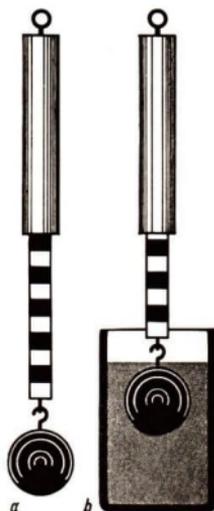
**V** Hänge an eine Federwaage einen metallischen Körper und miß sein Gewicht in Luft (Bild a)!

Tauche den Körper in Wasser und miß erneut (Bild b)!

Die Federwaage zeigt ein größeres Gewicht an, wenn der Körper in Luft ist. Er wird scheinbar leichter, wenn er ins Wasser getaucht wird. Durch diese Versuche wird die angestellte Überlegung bestätigt.

Wird der Versuch mit anderen Körpern wiederholt und werden dabei unterschiedliche Flüssigkeiten benutzt, dann kommt man zu gleichen Erkenntnissen. Alle Versuche bestätigen immer wieder das Ergebnis.

Wenn sich ein Körper in einer Flüssigkeit befindet, wirkt eine Kraft dem Gewicht des Körpers entgegen. Diese Kraft heißt Auftriebskraft, **Auftrieb** oder *statischer Auftrieb*. Durch den Auftrieb wird der Körper scheinbar leichter.



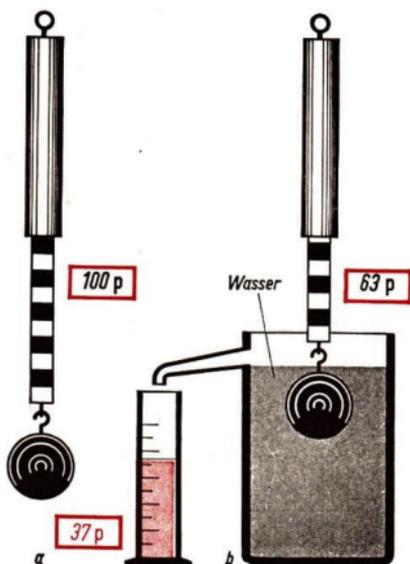
Jeder Körper, der in eine Flüssigkeit getaucht wird, verliert scheinbar an Gewicht, da er einen Auftrieb erfährt.

Der Auftrieb ist eine Kraft, die dem Gewicht des Körpers entgegenwirkt.

Es ergibt sich hieraus als neue Frage, wie groß der Auftrieb ist. Ein Versuch soll diese Frage klären.

28

**V** Wir nehmen eine Kugel aus Aluminium, deren Gewicht 100 p betragen möge, hängen sie an eine Federwaage und tauchen sie in Wasser. Dazu benutzen wir ein Überlaufgefäß mit einem Meßzylinder.



Es ist zu erkennen:

1. In Luft wiegt die Kugel 100 p.  
In Wasser wird die Kugel scheinbar um 37 p (100 p – 63 p = 37 p) leichter.  
*Der Auftrieb beträgt 37 p.*
2. Das Volumen des verdrängten Wassers beträgt 37 cm<sup>3</sup>.  
*Das Volumen der Kugel beträgt 37 cm<sup>3</sup>.*
3. Das Gewicht des verdrängten Wassers ist (vgl. Seite 24)

$$G = V \cdot \gamma$$

$$G = 37 \text{ cm}^3 \cdot 1 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$$

$$\underline{\underline{G = 37 \text{ p}}}$$

*Das Gewicht des verdrängten Wassers beträgt 37 p.*

Dieser Versuch zeigt, daß der Auftrieb genau so groß ist wie das Gewicht des verdrängten Wassers.

Um festzustellen, wie groß der Auftrieb in anderen Flüssigkeiten ist, wiederholen wir den Versuch mit Äthanol (Alkohol,

$$\gamma = 0,79 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}.$$

Es ist zu erkennen:

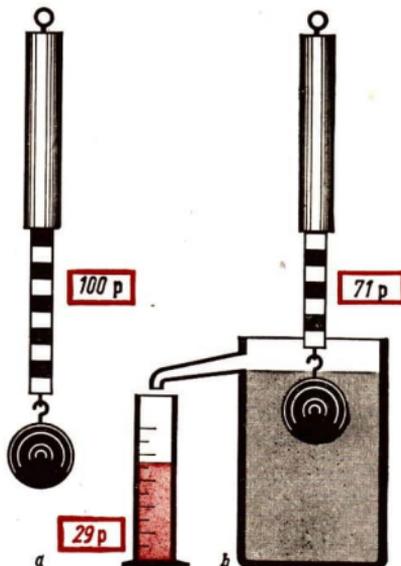
1. Die Kugel wiegt in der Luft 100 p, im Äthanol 71 p. Die Kugel wird scheinbar um 29 p leichter.  
*Der Auftrieb beträgt 29 p.*
2. Das Volumen des verdrängten Äthanol beträgt 37 cm<sup>3</sup>.  
*Das Volumen der Kugel beträgt 37 cm<sup>3</sup>.*
3. Das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist

$$G = V \cdot \gamma$$

$$G = 37 \text{ cm}^3 \cdot 0,79 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$$

$$\underline{\underline{G = 29,2 \text{ p} \approx 29 \text{ p}}}$$

*Das Gewicht des verdrängten Äthanol beträgt 29 p.*



Dieser Versuch zeigt, daß auch im Äthanol der Auftrieb gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist.

Viele andere Untersuchungen führen zu dem gleichen Ergebnis.

**Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit.**

**Auftrieb = Gewicht der verdrängten Flüssigkeit**

$$F_A = G_{F1}$$

Dieses Gesetz wird nach seinem Entdecker ARCHIMEDES das Archimedische Gesetz genannt.

Der Mensch bemüht sich, solche Naturgesetze aufzufinden und zu seinem Nutzen anzuwenden. Wir benutzen dieses Gesetz, um zum Beispiel die Dichte und Wichte von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern zu bestimmen und wenden es zum Beispiel beim Bau von Schiffen an.

## 2. Steigen, Schweben, Sinken, Schwimmen

Weshalb sinkt ein Ballon, der mit Luft gefüllt ist, während ein mit Wasserstoff gefüllter Ballon, wie er zum Aufstieg von Radiosonden in der Wetterforschung benutzt wird (Bild 115/1), immer höher steigt, bis er zerplatzt? Zur Beantwortung dieser Fragen wollen wir untersuchen, wie es kommt, daß ein Körper in Flüssigkeiten oder Gasen steigen, schweben oder sinken kann.

An einem Körper, der in Wasser eingetaucht ist (Bild 115/2), greifen zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung an. Die eine Kraft ist das Gewicht des Körpers, sie wirkt nach unten. Die andere Kraft ist der Auftrieb, sie wirkt nach oben. Wie beim Tauziehen wird sich der Körper nun in der Richtung bewegen, in der die größere Kraft wirkt.

**Ein Körper sinkt, wenn das Gewicht des Körpers größer ist als der Auftrieb.**

**Ein Körper steigt, wenn der Auftrieb größer ist als das Gewicht des Körpers.**

Außerdem gibt es die Möglichkeit, daß Auftrieb und Gewicht des Körpers gleich groß sind. Beide Kräfte halten sich das Gleichgewicht, es ist so, als würde überhaupt keine Kraft auf den Körper wirken. In diesem Falle können wir den Körper an jede beliebige Stelle innerhalb der Flüssigkeit bringen, ohne daß er sich von selbst nach oben oder unten bewegt.

**Ein Körper schwebt in einer Flüssigkeit, wenn der Auftrieb gleich dem Gewicht des vollständig eingetauchten Körpers ist.**

Man kann vermuten, daß in Gasen ebenso wie in Flüssigkeiten der Auftrieb wirkt. Das soll mit folgendem Versuch bestätigt werden:

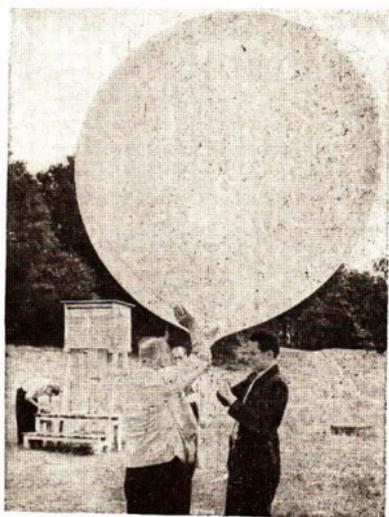


Bild 115/1

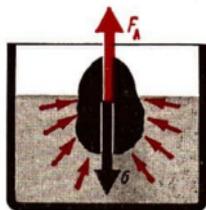
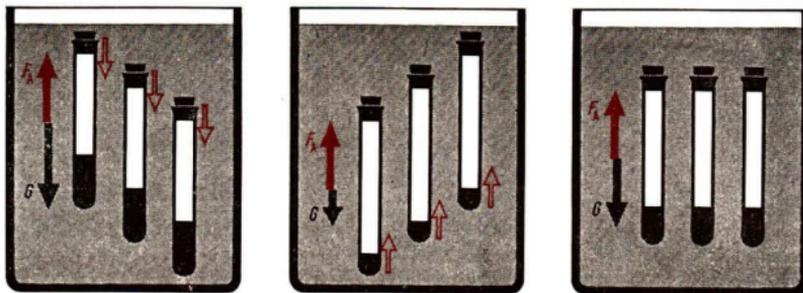


Bild 115/2 Kräfte an einem in Wasser eingetauchten Körper

Füllt man einen Ballon mit Luft, so ist die verdrängte Luftmenge zwar etwa genau so schwer wie die Luft im Ballon, aber das Gewicht der Gummihülle macht den Ballon schwerer als die verdrängte Luftmenge. Der Ballon sinkt. Nimmt man zur Füllung jedoch ein Gas, dessen Dichte wesentlich geringer ist als die Dichte der Luft, zum Beispiel Wasserstoff, so wird auch das Gesamtgewicht des Ballons noch kleiner sein als das Gewicht der verdrängten Luftmenge. Der Ballon steigt.

Auch in Gasen besteht also die gleiche Gesetzmäßigkeit wie in Flüssigkeiten:



Ein Körper sinkt in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, wenn das Gewicht des Körpers größer ist als der Auftrieb.

$$G_K > F_A$$

Ein Körper steigt in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, wenn das Gewicht des Körpers kleiner ist als der Auftrieb.

$$G_K < F_A$$

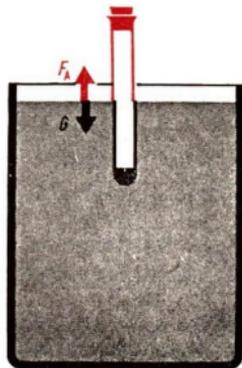
Ein Körper schwebt in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, wenn das Gewicht des Körpers genau so groß ist wie der Auftrieb.

$$G_K = F_A$$

Betrachten wir noch einen Sonderfall in Flüssigkeiten. Ein Körper, dessen Gewicht kleiner ist als der Auftrieb, steigt bis zur Flüssigkeitsoberfläche und schwimmt dann (Bild 116/2). Beim Aufsteigen des Körpers taucht ein Teil von ihm aus der Flüssigkeit heraus. Dadurch wird weniger Flüssigkeit verdrängt, und der Auftrieb wird kleiner. Ist schließlich der Auftrieb gleich dem Gewicht des Körpers geworden, steigt der Körper nicht mehr weiter, er schwimmt.<sup>10</sup>

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

<sup>10</sup> Auch das Bewegen von Körpern (z. B. Fische) unter der Flüssigkeitsoberfläche wird als Schwimmen bezeichnet, wenn sie sich auf Grund einer anderen Kraft als der besprochenen Auftriebskraft in einer Flüssigkeit bewegen.



### 3. Anwendungen des Auftriebs

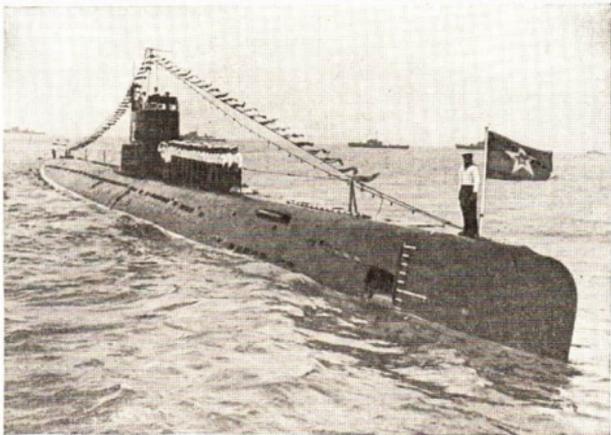
#### Schwimmen

In warmen Sommern nehmen wir gern ein Bad im kühlen Wasser. Kinder benutzen dabei oft mit Luft gefüllte Bälle, Matratzen usw. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, auf dem Wasser zu schwimmen.



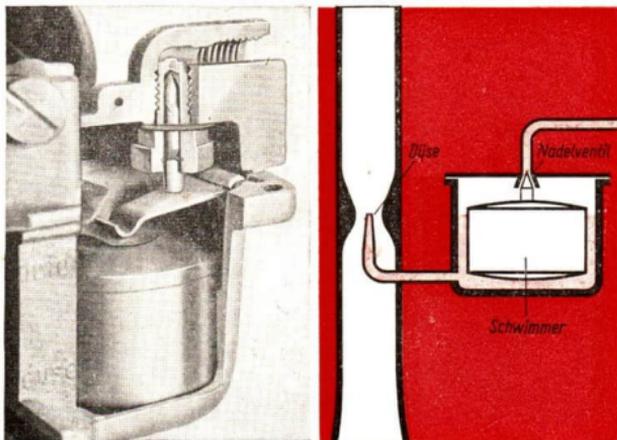
#### Unterseeboot

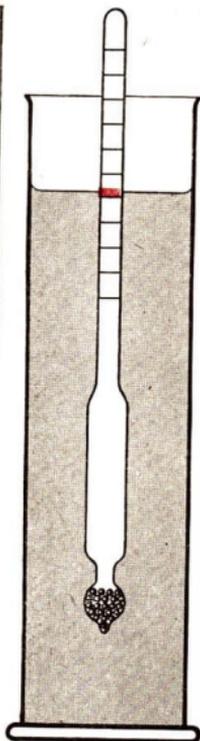
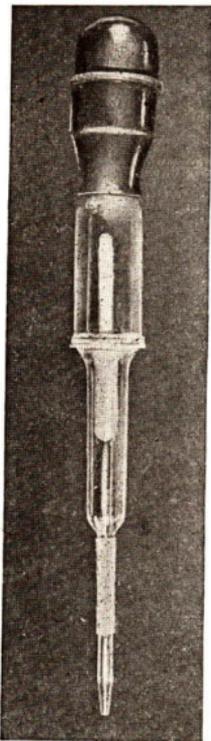
Ein U-Boot besteht aus einem druckfesten Hohlkörper. Es besitzt Tauchtanks, die mit Meerwasser gefüllt und mit Hilfe von Druckluft wieder entleert werden können. Dadurch kann das Gewicht des Bootes so reguliert werden, daß es schwimmen, sinken, schweben oder steigen kann. Ein U-Boot kann aber auch mit Rudern beim Fahren gelenkt werden.



#### Vergaser

In den Vergasern der Kraftfahrzeugmotoren reguliert ein Schwimmer den Zufluß des Treibstoffes. Was bewirkt hierbei der Auftrieb? Durch das vom Schwimmer betätigte Ventil kann immer nur so viel Treibstoff nachfließen, wie an der Düse des Vergasers vom Luftstrom mitgerissen wird.





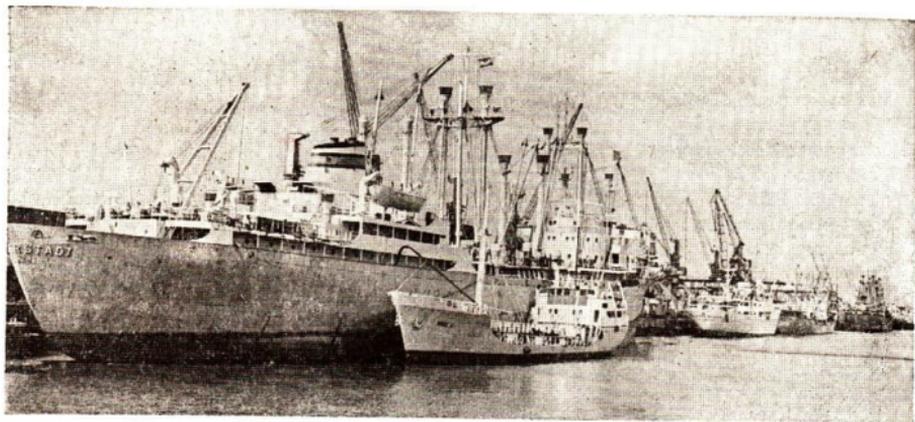
Aräometer sind Meßinstrumente, mit denen man die Dichte einer Flüssigkeit bestimmen kann (Bild 118/1). Ein schwimmender Körper taucht in eine Flüssigkeit mit großer Dichte nicht so tief ein wie in eine Flüssigkeit mit kleiner Dichte. Die Eintauchtiefe ist also ein Maß für die Dichte der Flüssigkeit. Bringen wir im Inneren des Reagenzglases im Bild 116/2 eine Skale an, dann haben wir bereits ein einfaches Aräometer.

#### 4. Vom Schiffbau in der DDR

Die Schiffbauindustrie hat in den Jahren nach dem Krieg und seit dem Bestehen der DDR große Taten vollbracht.

Bereits im Jahre 1946 wurde von der damaligen Militäradministration und der deutschen Wirtschaftskommission der Bau von Seeschiffswerften beschlossen. In der Folgezeit wurden auf den Werften in Warnemünde, Rostock, Stralsund und Wismar die verschiedensten Schiffstypen gebaut, angefangen vom Fischereifahrzeug

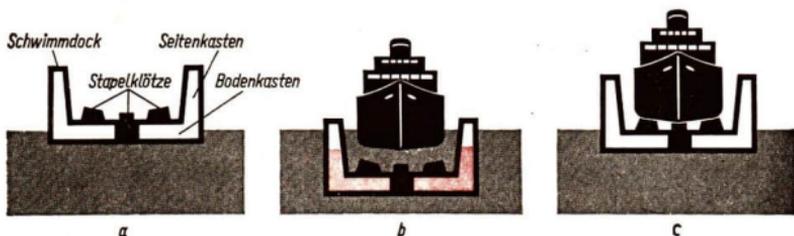
über Hochseefrachter und Fährschiff bis zum FDGB-Urlauberschiff. Unser modernster Umschlaghafen ist Rostock (Bild 118/2). Er ist für die DDR das Tor zur Welt, durch welches der Handel mit vielen Ländern der Erde betrieben wird.



## Überlege, zeichne, berechne!



1. Überlege, wo die Eintauchtiefen eines Schiffes größer bzw. kleiner sind; in der Ostsee (Rostock) oder in der Nordsee! Entnimm dem Erdkundebuch Angaben über den Salzgehalt der Meere! Was muß man also bei der Belastung mancher Schiffe berücksichtigen?
2. Ein Stück Marmor wiegt in der Luft 30 p und im Wasser 18,5 p. Wie groß ist seine Wichte?
3. ARCHIMEDES erhielt von König HIERON den Auftrag, eine von einem Goldschmied gefertigte Krone zu prüfen. ARCHIMEDES befestigte die Krone und einen Goldbarren vom Gewicht der Krone an einer Waage und erhielt aus seinen Messungen das Ergebnis, daß die Krone nicht aus purem Golde sei, sondern aus einem Gemisch von Gold und Silber bestehe. (Lies dazu: Karl Rezac, Abenteuer mit Archimedes, Kinderbuchverlag, Berlin, Seite 71 bis 77!) Erkläre, was ARCHIMEDES getan hat, um zu diesem Ergebnis zu kommen!
4. Ein Körper von 100 p wiegt in Wasser 60 p, in Alkohol 68 p. Wie groß ist die Wichte des Alkohols?
5. Warum ist ein Stück Stahl oder Blei im Wasser scheinbar leichter als in der Luft?
6. Um welchen Betrag ist ein Körper mit einem Volumen von  $1 \text{ dm}^3$ , in Äther eingetaucht, scheinbar leichter als in Luft (für Äther  $\gamma = 0,7 \frac{\text{P}}{\text{cm}^3}$ )?
7. Eine Stahlkugel ist in Wasser eingetaucht um 40 p leichter als in Luft. Wie groß ist ihr Volumen? Wie schwer ist sie in Luft (für Stahl  $\gamma = 7,9 \frac{\text{P}}{\text{cm}^3}$ )?
8. Wozu werden in Ladestationen für Akkumulatoren Aräometer benutzt?



9. Das Bild 119/1 zeigt das „Indockgehen“ eines Schiffes. Wodurch erreicht man das Sinken und Steigen des Schwimmdocks? Welche physikalischen Gesetze bewirken das Herausheben des Schiffes aus dem Wasser?

## Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Belaste eine im Wasser schwimmende deckellose Blechschachtel allmählich, bis sie sinkt! Welche Beziehung besteht zwischen der zunehmenden Eintauchtiefe und dem Gewicht der Schachtel einschließlich der Ballaststücke? Schneide die senkrechten Kanten mit einer Blechschere auf und biege die Seitenwände waagrecht! Lege diesen Körper auf die Wasseroberfläche! Erkläre, was geschieht!
2. Laß ein Spielzeugboot im Wasser schwimmen und belaste es so, daß es tief ins Wasser taucht! Markiere den Wasserstand! Löse Salz im Wasser, setze das Boot erneut ein und erkläre den Unterschied der Eintauchtiefe!

3. Nimm ein Reagenzglas, fülle etwas Wasser hinein und verschließe es mit einem Stopfen!  
Du kannst einen sinkenden, einen steigenden und einen schwebenden Körper herstellen, je nachdem, wieviel Wasser du hineinfüllst.
4. Baue ein Aräometer! Bringe mit Hilfe eines geeichten Aräometers eine Skale an!
5. Drücke einen Gummiball unter Wasser! Was stellst du fest?
6. An einer Balkenwaage sind zwei gleich schwere Körper aufgehängt. Der Waagebalken ist also im Gleichgewicht. Überlege, ob das Gleichgewicht gestört wird, wenn:
  - a) beide Körper, die aus dem gleichen Stoff sind, ins Wasser getaucht werden,
  - b) der eine Körper in Wasser, der andere Körper in Spiritus getaucht wird,
  - c) der eine Körper aus Stahl, der andere Körper aus Aluminium ist und beide in Wasser getaucht werden!
 Prüfe alle drei Fälle nach!
7. Welche Kräfte wirken auf einen Körper, der vollkommen in Wasser eingetaucht ist?  
Bestätige deine Überlegung mit einem Metallkörper, der an einer Federwaage hängt!

### ZUSAMMENFASSUNG

**Der Auftrieb, den ein Körper in einer Flüssigkeit bzw. in einem Gas erfährt, ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit bzw. des verdrängten Gases.**

Wovon hängt der Auftrieb ab?

**Der Auftrieb ist eine Kraft, die dem Gewicht des Körpers entgegenwirkt.**

Vergleiche den Auftrieb eines Körpers in Wasser und in Luft!

**Ist der Auftrieb kleiner als das Gewicht des Körpers, so sinkt der Körper.**

Wie lautet der mathematische Ausdruck dieser Aussage?

**Ist der Auftrieb größer als das Gewicht des Körpers, so steigt der Körper.**

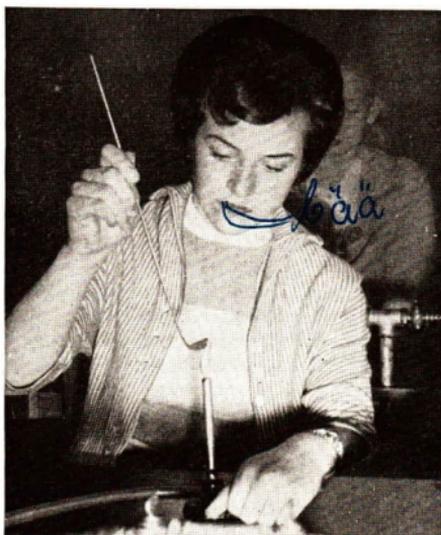
Unter welchen Bedingungen steigt ein Körper nicht aus dem Wasser hoch in die Luft?

**Beim schwimmenden und beim schwebenden Körper sind Auftrieb und Gewicht gleich groß.**

Welcher Unterschied besteht zwischen Schweben und Schwimmen?

## Strömende Flüssigkeiten und Gase

Das Gebiet der Physik, das sich mit **ruhenden** Flüssigkeiten und Gasen beschäftigt, nennt man **Hydro- und Aerostatik**; dazu gehören zum Beispiel der Schweredruck und der Auftrieb. In den folgenden Abschnitten werden Vorgänge aus dem Gebiet der **strömenden** Flüssigkeiten und Gase untersucht. Dieses Gebiet heißt **Hydro- und Aerodynamik**. Das nebenstehende Bild zeigt einen Bunsenbrenner. Warum verändert sich die Flamme, wenn man die Größe der Einströmöffnung für die Luft ändert?



### 1. Strömung und Stromlinien

Wenn Flüssigkeiten oder Gase in Rohren strömen (z. B. Wasser in einer Wasserleitung, Gas in einer Gasleitung) oder einen Körper umströmen (z. B. Wasser um Schiffe, Luft um Kraftwagen und Flugzeuge), treten Widerstände auf, die unter anderem von der Form der Strömung abhängig sind. Eine besonders wichtige Aufgabe ist es, die Strömungswiderstände möglichst klein zu halten. Hierzu muß man den Strömungsverlauf genau kennen. Der folgende Versuch zeigt eine Möglichkeit, den *Strömungsverlauf* sichtbar zu machen.

30

**V** In ein langsam fließendes Gewässer bringen wir einen Körper und streuen einige Meter vor ihm Sägemehl auf das Wasser. Es ergeben sich ähnliche Bahnen, wie sie im Bild zu erkennen sind.

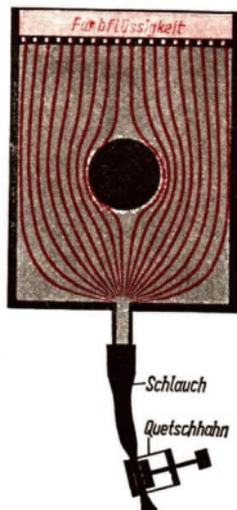


Den *sichtbaren* Verlauf der Strömung bezeichnet man als *Stromlinienbild* und den Weg eines Teilchens als *Bahnlinie*.

Wenn sich in einem fließenden Gewässer (oder Gas) auch nach *längerer* Zeit das Stromlinienbild nicht geändert hat, die Strömung also ein *gleichbleibendes* (konstantes) Verhalten zeigt, so nennt man eine solche Strömung *stationäre Strömung*.

**V** Durch ein Stromliniengerät fließt langsam Wasser. Ein Quetschhahn reguliert die Ausfließgeschwindigkeit des Wassers. Aus einem Kasten strömt durch feine Öffnungen Tinte. Der Verlauf der Strömung ist durch die entstehenden Linien deutlich zu erkennen.

Die Bahnlinie eines Teilchens einer strömenden Flüssigkeit oder eines strömenden Gases bezeichnet man in einer stationären Strömung als Stromlinie. In einer stationären Strömung bleibt das Stromlinienbild immer gleich.



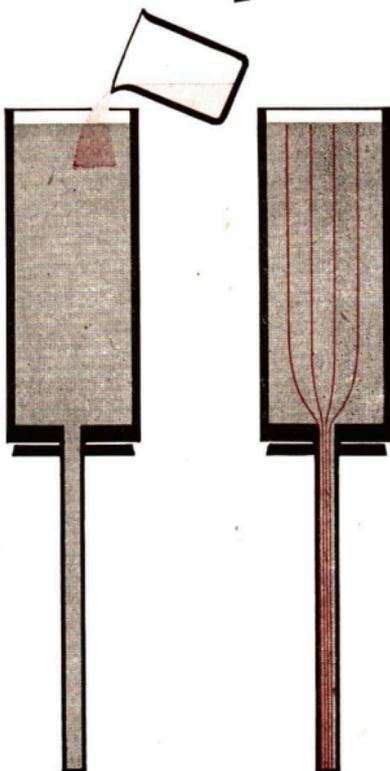
## 2. Strömungsgeschwindigkeit und Querschnitt

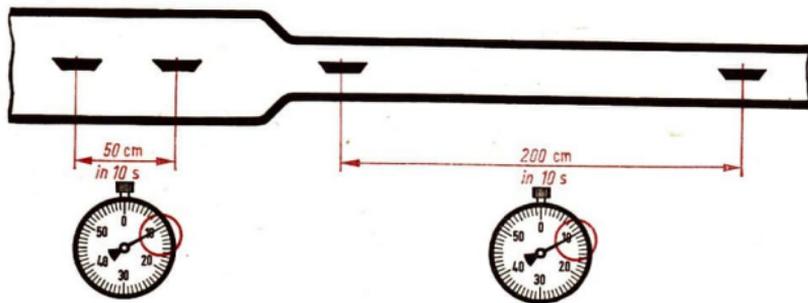
**V** Stelle den Versuchsaufbau her, wie ihn das Bild zeigt. Benutze ein etwa 0,5 m langes Glasrohr mit einem inneren Durchmesser von 3 bis 4 cm und ein ebenso langes Rohr mit einem inneren Durchmesser von etwa 5 mm.

Halte die Öffnung des engen Rohres zu und fülle beide Rohre mit Wasser! Gieße etwas Tinte nach und gib die untere Öffnung frei! Verfolge den Weg der fließenden Tinte! Vergleiche die Geschwindigkeit in beiden Rohren!

Anmerkung: In der Zeichnung sind oberes und unteres Rohr verkürzt gezeichnet.

Die Stromlinien im engen Rohr verlaufen dichter als im weiten. Die Geschwindigkeit der strömenden Flüssigkeit ist im engen Rohr größer als im weiten Rohr. Dieses läßt sich durch Messen und Rechnen bestätigen.





### ■ Beispiel

In einer stationären Strömung wurde die Geschwindigkeit des fließenden Wassers aus der Geschwindigkeit kleiner Teilchen (in unserem Bild kleine Schiffe) ermittelt. Es wurden jeweils die Wege gemessen, die in 10 s zurückgelegt wurden.

#### weites Rohr

Gemessen:  $s_1 = 50 \text{ cm}$

$$t_1 = 10 \text{ s}$$

Gesucht: Geschwindigkeit  $v_1$  des Wassers  
(in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

Lösung:

$$v_1 = \frac{s_1}{t_1}$$

$$v_1 = \frac{50 \text{ cm}}{10 \text{ s}}$$

$$v_1 = 5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_1 = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### enges Rohr

Gemessen:  $s_2 = 200 \text{ cm}$

$$t_2 = 10 \text{ s}$$

Gesucht: Geschwindigkeit  $v_2$  des Wassers  
(in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

Lösung:

$$v_2 = \frac{s_2}{t_2}$$

$$v_2 = \frac{200 \text{ cm}}{10 \text{ s}}$$

$$v_2 = 20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Im engen Rohr ist die Geschwindigkeit viermal so groß wie im weiten.

**Je dichter die Stromlinien in einer Strömung verlaufen, desto größer ist die Strömungsgeschwindigkeit.**

Welche Wasservolumina fließen nun in einer bestimmten Zeit, zum Beispiel in einer Sekunde, durch den Querschnitt des weiten bzw. des engen Rohrs?

### ■ Beispiel

Die Querschnitte im obigen Beispiel sollen  $A_1 = 0,4 \text{ m}^2$  (im weiten Rohr) und  $A_2 = 0,1 \text{ m}^2$  (im engen Rohr) betragen. Die Durchflussmengen je Sekunde  $Q_1$  und  $Q_2$  (Bild 124/1) erhält man aus dem Produkt des Querschnittes und der betreffenden Geschwindigkeit.

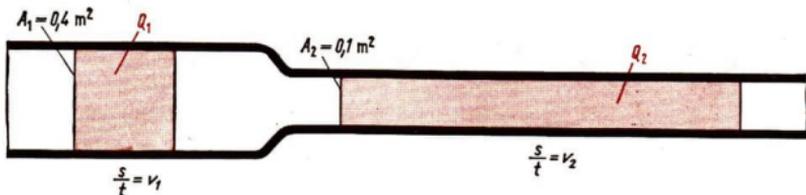


Bild 124/1 Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Rohrquerschnitten

**weites Rohr**

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1$$

$$Q_1 = 0,4 \text{ m}^2 \cdot 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_1 = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

In jeder Sekunde fließen  $0,02 \text{ m}^3$  Wasser durch das weite Rohr.

**enges Rohr**

$$Q_2 = A_2 \cdot v_2$$

$$Q_2 = 0,1 \text{ m}^2 \cdot 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_2 = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

In jeder Sekunde fließen  $0,02 \text{ m}^3$  Wasser durch das enge Rohr.

Es ist zu erkennen, daß die Durchflußmengen gleich groß sind oder – anders ausgedrückt – daß bei einer stationären Strömung das Produkt aus Querschnitt und Strömungsgeschwindigkeit an allen Stellen der Strömung, auch wenn Verengungen oder Erweiterungen auftreten, konstant ist.

Dieses Ergebnis ergibt sich auch bei allen weiteren Untersuchungen.

Allgemein gilt:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

■ **Beispiel:**

Ein Gartenschlauch mit einem Querschnitt  $A_1 = 6 \text{ cm}^2$  hat eine Düse, deren Querschnitt  $A_2 = 0,5 \text{ cm}^2$  beträgt. Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit  $v_2$  an der Düse, wenn das Wasser im Schlauch eine Geschwindigkeit  $v_1$  von  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  hat?

Gegeben:

$$A_1 = 6 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 0,5 \text{ cm}^2$$

$$v_1 = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Gesucht:

$$v_2 \left( \text{in } \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Lösung:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad / : A_2$$

$$\frac{A_1 \cdot v_1}{A_2} = v_2 \quad / \text{Seiten vertauschen}$$

$$v_2 = \frac{A_1 \cdot v_1}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{6 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ m}}{0,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}}$$

$$v_2 = \frac{12 \cdot 1 \text{ m}}{\text{s}}$$

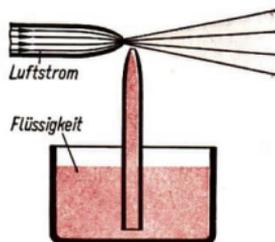
$$v_2 = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Strömungsgeschwindigkeit an der Düse beträgt  $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

### 3. Druck in strömenden Flüssigkeiten und Gasen

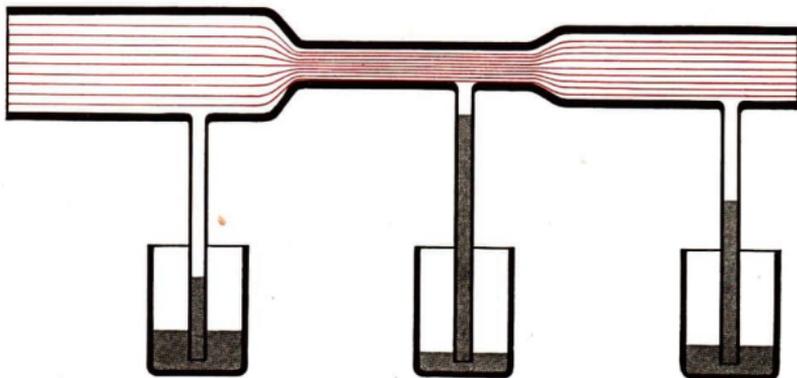
33

**V** Stelle ein Glasrohr in eine Flüssigkeit und richte senkrecht gegen seine obere Öffnung ein Rohr mit einer Spitze! Blase durch das waagerechte Rohr! Die Flüssigkeit steigt im senkrechten Rohr und wird im Luftstrom zerstäubt.



Man kann aus dem Verhalten der Flüssigkeit vermuten, daß im *Steigrohr* ein geringerer Luftdruck als *außerhalb* herrscht.

Der folgende Versuch soll zeigen, ob diese Vermutung richtig ist:



34

**V** Durch ein Rohr mit einer Verengung und einer Erweiterung strömt Luft. Dabei beobachtet man, daß in den Manometern die Meßflüssigkeit steigt.

Der Schweredruck der Luft drückt die Flüssigkeit in die Manometer. Der Luftdruck ist also größer als der Druck, der senkrecht zur Strömungsrichtung wirkt. Vergleicht man den Stand der Flüssigkeit in den Rohren, so erkennt man, daß er dort am höchsten ist, wo das Rohr sehr eng, also die Geschwindigkeit des strömenden Gases am größten ist.

Der Druck, der senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen wird, heißt statischer Druck.

Der statische Druck ist um so kleiner, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist und je enger die Stromlinien verlaufen.

Vergleichen wir die Größe des statischen Drucks aus unserem Beispiel mit der Größe des Luftdrucks, so stellen wir fest, daß der statische Druck in jedem Falle kleiner ist. Man spricht in einem solchen Falle von **Unterdruck**.

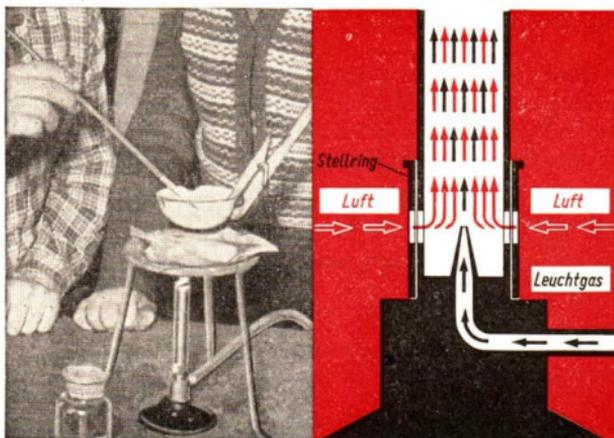
Durch die vorbeiströmende Luft wird die Flüssigkeit (s. Versuch 34) angesaugt, man spricht deshalb auch von der Sogwirkung oder kurz vom **Sog**. Der Sog ist besonders groß, wenn der Rohrquerschnitt sehr eng ist; deshalb werden in der Technik zum Erzielen großer Sogwirkungen Düsen verwendet. (Vgl. dazu auch Bild 117/3, Vergaser!)

#### 4. Anwendungen des statischen Drucks



##### Spritzpistole

Die Wirkung der Spritzpistole beruht auf dem Unterdruck an einer Rohrverengung. An der Düse sinkt der statische Druck so sehr, daß durch den Schweredruck der Luft die Farbflüssigkeit bis an die Stelle gedrückt wird, an der sie von dem Luftstrom mitgerissen wird. Mit Spritzpistolen können Farben fein verteilt aufgetragen werden.



##### Bunsenbrenner

Der Bunsenbrenner beruht in seiner Wirkungsweise ebenfalls auf der Sogwirkung durch die Verringerung des statischen Drucks. Im Bunsenbrenner strömt z. B. Stadtgas aus einer Rohrverengung aus. Durch den dabei auftretenden Sog wird Luft angesaugt. Die zugeführte Luftmenge kann durch einen Stellring verändert werden.

## Überlege, zeichne, berechne!



1. Auf der Seite 117 ist der Vergaser eines Verbrennungsmotors abgebildet. Zeichne den Stromlinienverlauf der angesaugten Luft auf und erkläre, warum das Benzin aus der Nadeldüse herausgerissen wird!
2. Wie groß ist die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases, das aus einer Düse mit einem Querschnitt von  $2 \text{ mm}^2$  austritt? Der Rohrquerschnitt beträgt  $10 \text{ mm}^2$  und die Geschwindigkeit im Rohr  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
3. Wieviel Wasser läuft in einer Sekunde durch einen Rohrquerschnitt von  $1500 \text{ cm}^2$ , wenn die Strömungsgeschwindigkeit  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  beträgt?
4. Betrachte die beiden nachstehenden Bilder, lies den Text und beantworte die im Text gestellten Fragen! Erkläre die eingezeichneten Schemata!

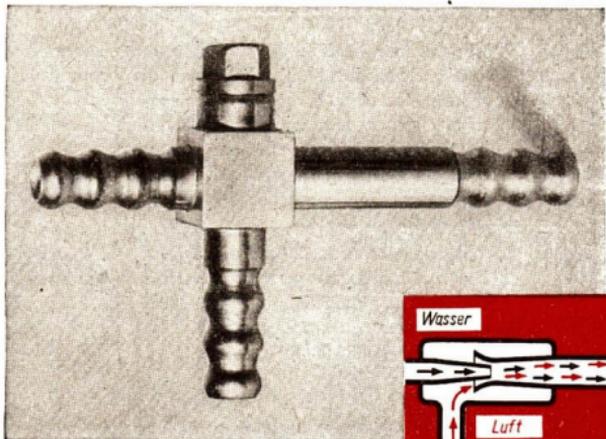
### Absaugen eines Daches

Das Dach eines Hauses ist bei starkem Wind einem großen Sog ausgesetzt. Über dem Dach verengen sich die Stromlinien der vorbeiströmenden Luft, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit groß und der statische Druck klein wird. Durch den Druck der ruhenden Luft im Haus kann das Dach abgehoben werden. Warum legen manche Bewohner von Bauernhäusern im Gebirge Steine auf ihre Dächer?



### Wasserstrahlpumpe

Wasserstrahlpumpen aus Glas oder Metall werden in chemischen Laboratorien verwendet. Erläutere ihre Wirkungsweise! Wodurch wird hier ein Unterdruck erzeugt? Durch Wasserstrahlpumpen kann der Luftdruck in einem Gefäß bis auf 12 Torr vermindert werden.



- \*5. In einem Behälter soll die Flüssigkeitsmenge auf einem bestimmten Wert (Sollwert) gehalten werden. Man könnte sich dazu an einem Wasserstandsglas informieren, wie hoch der Wasserstand jeweils ist (Istwert) und gegebenenfalls mit der Hand den Schieber verstellen (anheben oder senken). Zeichne unter Zuhilfenahme eines Schwimmers und eines Hebels eine Vorrichtung, die das Verstellen des Schiebers selbsttätig vornimmt!

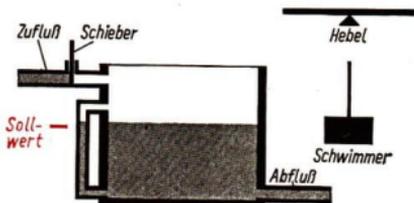


Bild 128/1

6. Zum Messen von Gasmengen können die Gesetze strömender Gase ausgenutzt werden. Warum steigt die Flüssigkeit im linken Schenkel des U-Rohrs (Bild a)? Wie muß die Drosselklappe verstellt werden, wenn die benötigten Gasmengen zu groß sind? An welcher Stelle (A oder B?) der Kapsel mit Membran müßte man den rechten Schenkel des U-Rohrs anschließen, damit ein selbsttätiges Verstellen der Drosselklappe erreicht wird (Bild b)? Welchen Vorteil bringt eine solche Vorrichtung?

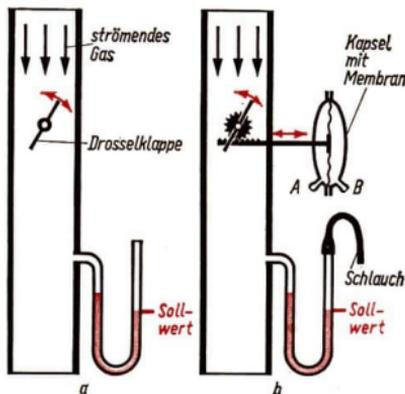


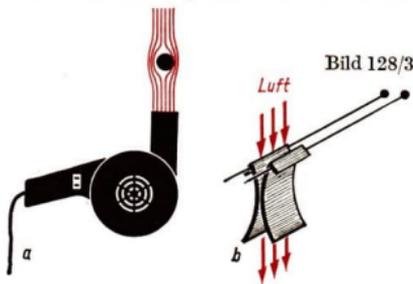
Bild 128/2

- \*7. Aus einem Behälter mit einem Querschnitt von  $2\text{ m}^2$  fließt Wasser mit einer Strömungsgeschwindigkeit von  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (Rohrquerschnitt  $50\text{ cm}^2$ ). Wieviel Liter Wasser müssen in jeder Sekunde in den Behälter nachfließen, damit der Wasserstand unverändert bleibt? Ändert sich die Ausflußgeschwindigkeit, wenn kein Wasser zufließt?

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



- Ein Tischtennisball schwebt im Luftstrom einer senkrecht nach oben gerichteten Warmluftdusche (Bild 128/3a). Neigt man die Warmluftdusche langsam, bis ihr Rohr einen Winkel von etwa  $45^\circ$  mit der Horizontalen bildet, so fällt der Ball nicht etwa, sondern schwebt weiter an der Unterseite des Luftstromes. Führe den Versuch selbst durch und erkläre die Erscheinung!
- Wie erklärst du es, daß zum Beispiel 2 Postkarten, die im geringen Abstand voneinander aufgehängt sind, sich nähern, wenn du zwischen beiden hindurchbläst (Bild 128/3b)?



3. Stelle zwei brennende Kerzen eng nebeneinander und blase zwischen beiden hindurch! Was beobachtest du?
4. Baue dir nach nebenstehender Skizze (Bild 129/1) einen Zerstäuber! (Stopfen mit zwei Bohrlöchern versehen!) Spritze mit ihm Parfüm oder Desinfektionsmittel! Erkläre, wie er funktioniert!
5. Nimm zwei kleine Spielzeugschiffe und laß sie eng nebeneinander fahren! Weshalb nähern sie sich? Fertige eine Skizze an! Zeichne das Stromlinienbild! Was folgt daraus für große Schiffe? Warum darf man nicht nahe an ein fahrendes Schiff schwimmen oder mit einem Boot fahren?<sup>11</sup>



Bild 129/1

## ZUSAMMENFASSUNG

**Ist das Stromlinienbild einer strömenden Flüssigkeit oder eines strömenden Gases zeitlich unveränderlich, dann handelt es sich um eine stationäre Strömung.**

Wie kann der Verlauf der Strömung sichtbar gemacht werden?

**Das Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsquerschnitt ist bei der stationären Strömung gleich groß.**

Wie heißt der mathematische Ausdruck dieses Gesetzes?

**Der Druck in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, der senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen wird, heißt der statische Druck. Er ist von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig**

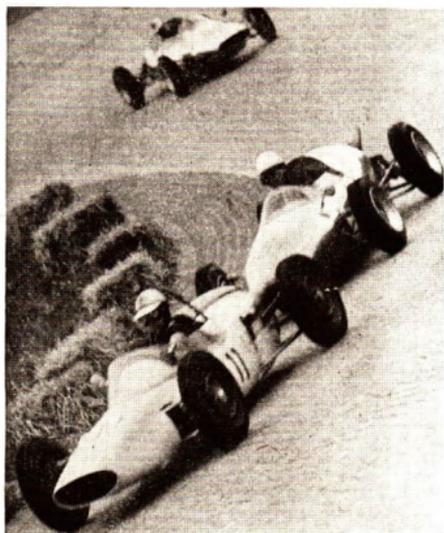
In welchen Geräten nutzt man diese Erscheinung in der Technik aus?

<sup>11</sup> Lies auch, „Unterhaltsame Physik“, Teil 2, Volkseigener Verlag Volk und Wissen, Seite 35 bis 38!

## Strömungswiderstand



Die Form eines Ackerwagens ist nur davon abhängig, womit er beladen werden soll. Bei der Gestaltung der Form eines Kraftwagens muß man dagegen berücksichtigen, daß bei schneller Fahrt die Luftströmung eine Kraft ausübt. Welche Form muß die Karosserie schneller Fahrzeuge, zum Beispiel eines Rennwagens, haben, damit die Kraft der strömenden Luft möglichst klein bleibt?



### 1. Ursachen des Strömungswiderstandes

35

**V** Fahre mit einem Fahrrad oder einem Roller bergab! Beuge dabei einige Male den Oberkörper über den Lenker und richte ihn wieder auf!

Bei aufgerichtetem Oberkörper ist deutlich die Kraft der Luft zu spüren. Bei gesenktem Oberkörper ist die Kraft geringer. Man kann durch Messungen feststellen, daß die Geschwindigkeit größer wird, sobald man sich über den Lenker beugt.

36

**V** Setze ein Boot auf ruhiges Wasser und stoße es ab! Nach einer kurzen Fahrt kommt das Boot zur Ruhe.

Das Wasser hemmt die Bewegung des Bootes. Der Antriebskraft wirkt offenbar eine andere Kraft entgegen.

Die Bewegung eines Körpers in einer Flüssigkeit oder in einem Gas wird von der Flüssigkeit bzw. dem Gas gebremst. Es tritt eine Kraft auf, die man **Strömungswiderstand** nennt. Bei Bewegungsvorgängen in Luft wird der auftretende Strömungswiderstand auch als *Luftwiderstand* bezeichnet.

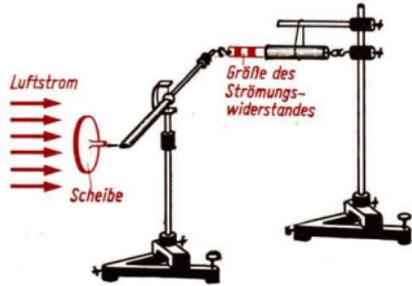
Ein ruhender Körper bremst die ihn umströmenden Flüssigkeiten und Gase. Es ist also gleichgültig, ob sich der Körper bewegt (z. B. Radfahrer in der Luft) oder der Stoff, in dem sich der Körper befindet (z. B. Brückenpfeiler im Wasser eines Flusses).

**Die Kraft, die der Bewegung eines Körpers in einer Flüssigkeit oder einem Gas entgegenwirkt, nennt man Strömungswiderstand.**

Um festzustellen, wovon der Strömungswiderstand abhängt, sollen einige Versuche durchgeführt werden.

37

- V** An dem waagerechten Stab werden verschiedene Versuchskörper, wie Scheiben, Kugeln und Stromlinienkörper, befestigt. Bläst man mit einem Luftstromerzeuger den Versuchskörper an, so kann an einer Federwaage die vom Luftstrom auf den Körper wirkende Druckkraft abgelesen werden. Diese Kraft ist gleich dem Strömungswiderstand. Man verändert
- die Geschwindigkeit des Luftstromes,
  - die Größe der angeströmten Fläche (große Scheibe, kleine Scheibe),
  - die Form des Versuchskörpers (Scheibe, Kugel),
  - die Oberfläche des Körpers (glatte Kugel, rauhe Kugel).



Folgende Gesetzmäßigkeiten sind festzustellen:

- Wird die *Geschwindigkeit* des Luftstromes vergrößert, dann vergrößert sich auch der Strömungswiderstand.
- Wird die angeströmte *Fläche* vergrößert, dann vergrößert sich auch der Strömungswiderstand.
- Wird die *Form* des Körpers verändert, dann verändert sich auch die Größe des Strömungswiderstandes (Bild 131/2).
- Wird die *Oberfläche* verändert, dann verändert sich auch die Größe des Strömungswiderstandes.

Der Strömungswiderstand hängt auch noch von der Art des strömenden Stoffes ab. Er ist im Wasser größer als in der Luft.

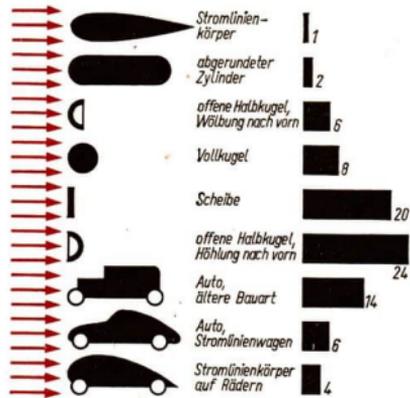


Bild 131/2 Größe des Luftwiderstandes verschieden geformter Körper im Vergleich zum Stromlinienkörper. Die Scheibe gleichen Querschnitts hat einen 20mal so großen Strömungswiderstand wie der abgebildete Stromlinienkörper. Welcher Körper hat einen 6mal so großen Strömungswiderstand wie der Stromlinienkörper?

Aus allen Versuchen folgt:

**Der Strömungswiderstand hängt von der Strömungsgeschwindigkeit, von der Art des strömenden Stoffes, von der Größe der angeströmten Fläche, von der Form und von der Oberflächenbeschaffenheit des angeströmten Körpers ab.**

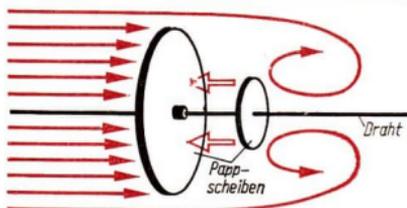
- *Weshalb sind moderne Rennmotorräder stromlinienverkleidet?*

## 2. Die Wirbelbildung

38

**V** Streue auf das Wasser einer Wanne oder einer Schüssel Bärklappsporen oder Sägemehl und ziehe eine Holzplatte durch das Wasser, wie es das Bild zeigt! Es ist zu beobachten, daß sich hinter der Platte Wirbel bilden.

Eine Pappscheibe wird fest an einem Draht angebracht. Eine kleinere Pappscheibe wird so auf den Draht geschoben, daß sie gleiten kann. Mit einem Luftstromerzeuger wird die große Scheibe angeblasen. Die kleine Scheibe, die sich hinter der großen befindet, bewegt sich auf die große Scheibe zu.



Die Wirbel, die hinter der großen Scheibe entstanden sind, rufen einen Sog hervor. Dieser Sog bewirkt, daß sich die kleine Scheibe bewegt, er übt aber auch eine Kraft auf die große Scheibe aus. Die Richtung dieser Kraft ist der Bewegungsrichtung entgegengesetzt. Deshalb hemmt die Wirbelbildung die Fortbewegung.

Hinter dem Körper im Bild 132/3 ist die Wirbelbildung sehr gering. Wofür wird diese Körperform deshalb benutzt? Durch besonders geformte Körper kann die Wirbelbildung stark vermindert werden.

Es gibt Fälle, in denen die Wirbelbildung erwünscht ist.

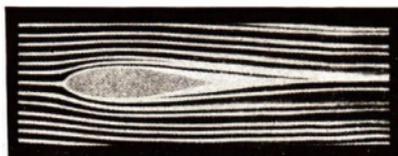


Bild 132/3

**Hinter einem bewegten Körper können sich Wirbel bilden. Wirbel verursachen einen Sog und damit den Strömungswiderstand. Sie wirken bewegungshemmend. Der Stromlinienkörper ist ein Körper mit sehr geringer Wirbelbildung.**

### 3. Ausnutzung der Wirbelbildung

#### Fallschirmsprung

Beim Fallschirmsprung wird der Sog von Wirbeln offener Halbkugelformen ausgenutzt. Der große Strömungswiderstand des Schirmes bewirkt, daß der Fallschirmspringer langsam zur Erde fällt.



#### Steherrennen

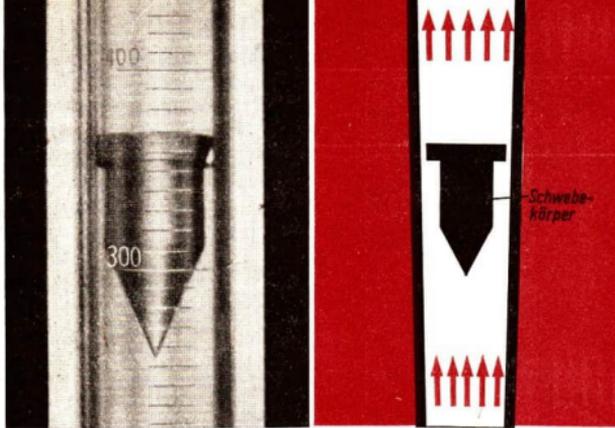
Beim Steherrennen wird der Sog der Wirbel hinter dem Motorradfahrer, dem Schrittmacher, ausgenutzt. Der Radrennfahrer fährt im „Wind-schatten“ und wird von den Wirbeln zum Schrittmacher hin gezogen.

Diese Kraft reicht nicht aus, um den Fahrer „nachzuziehen“. Er muß durch seine Muskelkraft dafürsorgen, daß er in dem Gebiet der Wirbel bleibt, um die zusätzliche Zugkraft zu nutzen.



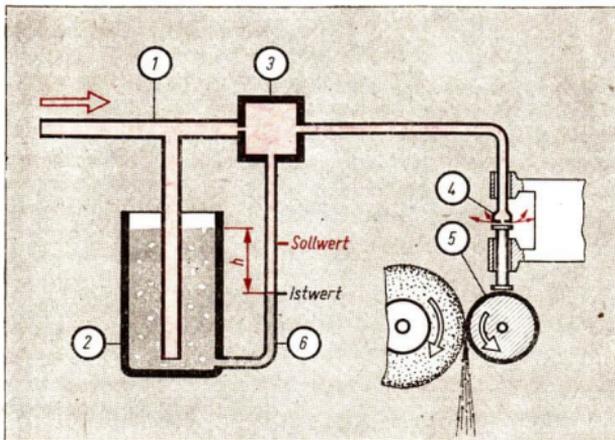
#### Überlege, zeichne, berechne!

1. Zeichne das Stromlinienbild eines umströmten zylindrischen Körpers!
2. Wovon hängt der Strömungswiderstand eines Körpers ab?
3. Zeichne das Stromlinienbild, das sich um einen mit Stromlinienverkleidung ausgestatteten Rennwagen ergibt!
4. Nenne Beispiele, die zeigen, wie man den Luftwiderstand herabsetzen kann!
5. In der modernen Produktion werden immer mehr Arbeitsgänge automatisiert. Dabei ist die Meßtechnik von großer Bedeutung. Bei solchen Meßverfahren werden häufig die Gesetze der Hydro- und Aeromechanik angewendet. Beispiele zeigt die Seite 134. Studiere sorgfältig Text und Abbildungen und beantworte die im Text enthaltenen Fragen !



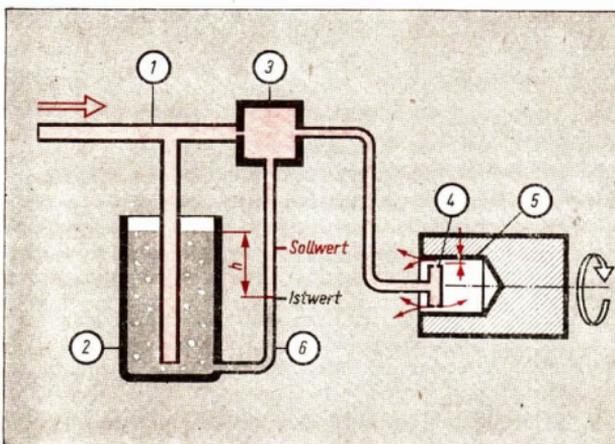
### Durchflußmessung

Zum Messen von Flüssigkeiten und Gasen nutzt man die Tatsache aus, daß strömende Flüssigkeiten und Gase auf einen Körper eine Kraft ausüben. Wovon ist diese Kraft abhängig? In welche Richtung wirkt diese Kraft? Welche Kraft wirkt entgegengesetzt? Der schwebende Körper liefert eine Meßwertanzeige, die der Strömungsgeschwindigkeit und damit dem Durchfluß entspricht.



### Berührungsfreies Messen

Zum Messen eines Außendurchmessers, zum Beispiel beim Außenrundscheifen von Wellen (Bild Mitte) und zum Messen eines Innendurchmessers, zum Beispiel beim Herstellen von Bohrungen auf der Drehmaschine (Bild unten), benutzt man Meßvorrichtungen, deren Prinzip auf einer Druckwirkung in Gasen beruht. Sie heißen Druckluftfeinzeiger. Die in das Rohr (1) einströmende Luft erhält infolge des angeschlossenen Druckausgleichgefäßes (2) einen gleichmäßigen Druck, durch den diese Luft über eine Druckkammer (3) zur Meßdüse (4) strömt. Entsprechend dem Abstand der Meßdüse von der Werkstückoberfläche (5) wird die Luft am Ausströmen mehr oder weniger gehindert, und es entsteht eine Stauwirkung in der Meßdüse, die auch auf die Flüssigkeitssäule (6) wirkt.



Der Stand dieser Flüssigkeitssäule ist ein Maß für die Größe des Durchmessers. Wird  $h$  größer oder kleiner, wenn der Durchmesser der Bohrung größer wird? Wann muß die Bearbeitung beendet, das heißt die Maschine abgestellt werden? Überlege, welche Vorteile sich für die Produktion ergeben!

### Versuche es selbst! Prüfe nach!



1. Halte verschiedene Körper in fließendes Wasser und beobachte die Wirbelbildung! Bei welchen Körpern ist die Wirbelbildung gering?
2. Wickle einen zylindrischen Körper aus Papier und laß ihn auf einer geneigten Ebene abrollen! Wie verhält er sich, wenn er die geneigte Ebene verläßt und durch die Luft zur Erde fliegt? Wie erklärst du dir den sonderbaren Verlauf?
3. Bewege ein Pappstück durch die Luft und anschließend durch Wasser! In welchem Stoff ist der Strömungswiderstand größer? Wovon hängt er in diesem Fall ab?
4. Beobachte Radrennfahrer oder beachte Berichte und Reportagen! Wie fahren Gruppen von Rennfahrern bei Seitenwind? Begründe es!
5. Betrachte die Formen der Vögel und Fische! Welchen Vorteil haben solche Formen?

### ZUSAMMENFASSUNG

**Die Kraft, die eine Strömung auf einen Körper ausübt, nennt man Strömungswiderstand.**  
Wovon hängt die Größe des Strömungswiderstandes ab?

**Der Strömungswiderstand hängt von der Strömungsgeschwindigkeit, von der Art des strömenden Stoffes, von der Größe der angeströmten Fläche, von der Form und der Oberflächenbeschaffenheit des angeströmten Körpers ab.**

Wie ändert sich der Strömungswiderstand, wenn die angeströmte Fläche verkleinert wird?

**Ein Stromlinienkörper ist ein Körper mit kleinem Strömungswiderstand.**

Nenne Beispiele aus der Technik, wo Stromlinienkörper verwendet werden!

**Hinter einem umströmten Körper können sich Wirbel bilden, die die Bewegung hemmen.**  
Weshalb sollen sich Schwimmer niemals in der Nähe fahrender Schiffe aufhalten?

## Das Fliegen



Im Luftverkehr besteht aus Gründen der Wirtschaftlichkeit das Bestreben, immer größere und schnellere Flugzeuge einzusetzen. In der Sowjetunion wurde deshalb das Großflugzeug IL-62 konstruiert, das für Langstreckenflüge eingesetzt wird.

Das Flugzeug bietet 182 Passagieren Platz und hat ein Fluggewicht von 155 000 kp. Wie es möglich ist, solch ein schweres Flugzeug zum Fliegen zu bringen, soll die im folgenden Abschnitt beschriebene physikalische Erscheinung erklären.



### 1. Der dynamische Auftrieb

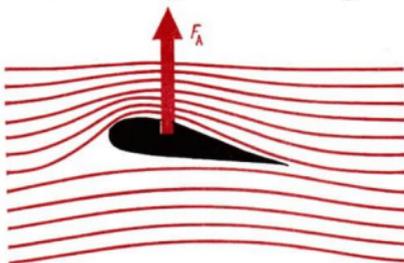
Auf den Seiten 113 bis 116 wurde dargestellt, daß jeder Körper, der sich in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, zum Beispiel Luft, befindet, einen Auftrieb erfährt.

- *Wie heißt dieser Auftrieb und weshalb nennt man ihn so?*

Dieser Auftrieb reicht *nicht* aus, um Flugzeuge in die Luft zu heben, weil er wesentlich kleiner ist als das Gewicht des Flugzeugs. Es muß also noch eine andere Kraft vorhanden sein. Wodurch sie hervorgerufen wird, soll der folgende Versuch zeigen.

39

**V** Ein Körper, wie ihn das nebenstehende Bild zeigt, wird in einen Luftstrom gehalten. Der Körper hat die Form eines Stückes aus der Tragfläche (Profil) eines Flugzeuges. Der Verlauf der Luftströmung wird sichtbar, wenn gleichzeitig Rauch durchgeblasen wird. Betrachte die Stromlinien, die in das nebenstehende Schema eingezeichnet sind!



Das Bild zeigt, daß die Stromlinien an der Oberseite stark zusammengedrängt sind. Der *statische* Druck ist demnach an der Oberseite der Tragfläche kleiner als der Druck der umgebenden Luft, das heißt, es herrscht dort ein Unterdruck oder

Sog. An der Unterseite des Profils wird der Stromlinienverlauf so geändert, daß dadurch unter dem Profil ein größerer Druck herrscht als über dem Profil. Durch diese unterschiedlichen Drücke entsteht eine Kraft. Sie entsteht auch, wenn sich der Körper bewegt und die Luft ruht.

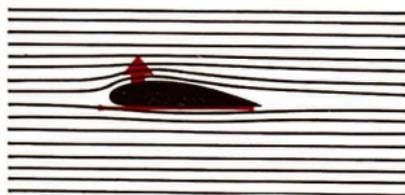
Diese Kraft, die am bewegten Flugkörper wirkt, heißt dynamischer Auftrieb.

An der Oberseite einer bewegten Tragfläche entsteht ein Sog und an der Unterseite ein Druck. Druck und Sog rufen eine Kraft hervor, die dynamische Auftriebskraft.

- *Wodurch unterscheiden sich statischer und dynamischer Auftrieb?  
Wovon hängt die Richtung der dynamischen Auftriebskraft ab?*

Der dynamische Auftrieb wird zu etwa zwei Dritteln durch den Sog und zu etwa einem Drittel durch den Druck erzeugt. Die Größe der Anteile hängt von der **Profilform** der Tragfläche (Bild 137/1) und dem **Anstellwinkel** ab, unter dem die Tragfläche angeströmt wird (Bild 137/2a bis c).

Bild 137/2



a  $\alpha = 0$ , geringer Auftrieb



b  $\alpha > 0$ , großer Auftrieb



c kein Auftrieb mehr

Bild 137/1 Einige gebräuchliche Profilformen für bestimmte Geschwindigkeiten. In den aerodynamischen Versuchsanstalten wurde das Verhalten der verschiedensten Profilformen untersucht, so daß man gegenwärtig für jeden Zweck die günstigste Form auswählen kann. Suche in Büchern, Zeitschriften und Bauplänen Profilformen von Flugmodellen und vergleiche sie miteinander!

## 2. Flugzeuge

Der dynamische Auftrieb entsteht, wenn das Tragflächenprofil umströmt wird. Dieses Umströmen wird durch die Vorwärtsbewegung des Flugzeuges hervorgerufen.

- *Nenne einige Beispiele, die zeigen, auf welche Weise Flugzeuge vorwärts bewegt werden!*

Motorflugzeuge werden mit einem eingebauten Triebwerk vorwärts bewegt. Bei dem abgebildeten zweimotorigen Flugzeug besteht das Triebwerk aus den Motoren und den Luftschrauben. Die Luftschraube schleudert die Luft in einem Strahl in großer Kraft rückwärts. Dabei entsteht eine Schubkraft, die das Flugzeug nach vorn treibt. Der Querschnitt der Luftschraubenblätter hat ebenfalls eine Profilform.

- *An welcher Seite der Luftschraube entsteht ein Sog?*

Der abgebildete Flugzeugtyp wird in der ČSSR gebaut. Bei der „Interflug“, der Luftverkehrsgesellschaft der DDR, werden Flugzeuge von diesem Typ als Lufttaxi eingesetzt.

- *Merke dir die Bezeichnungen in diesem Bild!*

Flugzeuge mit feststehenden Tragflächen wie im Bild 138/1 werden als *Starrflügel-Flugzeuge* bezeichnet. Neben diesen kennt man noch *Drehflügel-Flugzeuge*, zu denen die Hubschrauber gehören. Auch beim Hubschrauber entsteht ein dynamischer Auftrieb. Er wird durch die senkrecht nach oben wirkende Hubschraube erzeugt.

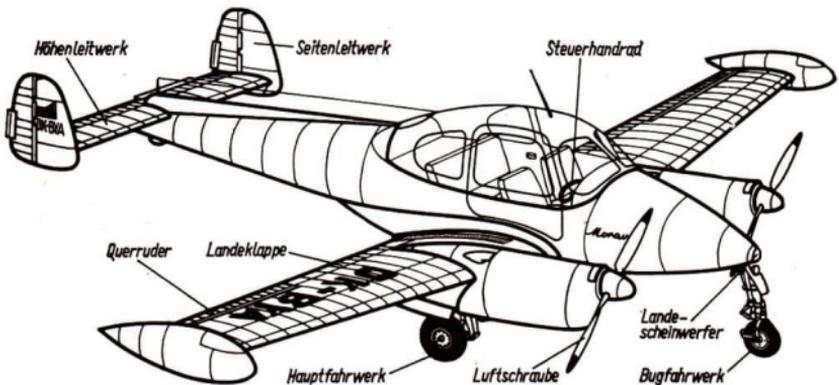
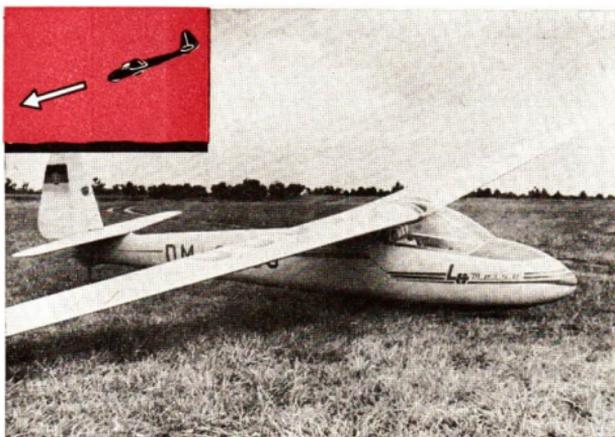


Bild 138/1 Aero-Taxi; Morava L-200

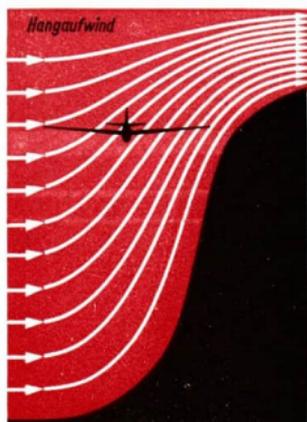
## Segelflugzeuge

Segelflugzeuge werden zum Beispiel durch Schleppflugzeuge oder Seilwinden auf eine Höhe von 300 bis 800 m gebracht. Aus dieser Höhe gleitet das Flugzeug bei ruhiger Luft auf geneigter Flugbahn wieder zur Erde, weil eine Vorwärtsbewegung ohne Antriebsmaschine nur auf einer nach unten geneigten Bahn (Schlitten, treibender Schleppkahn) erfolgen kann.



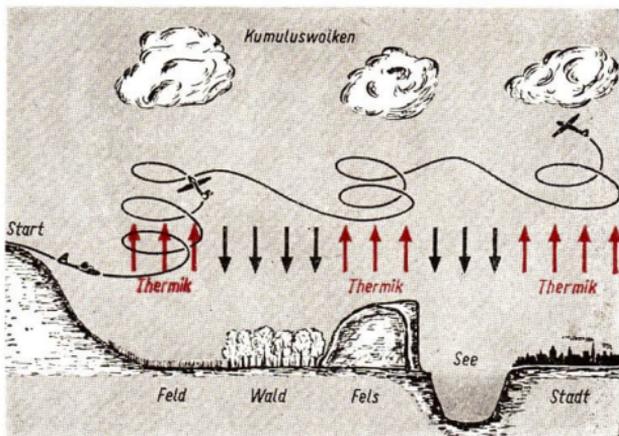
## Hangaufwind

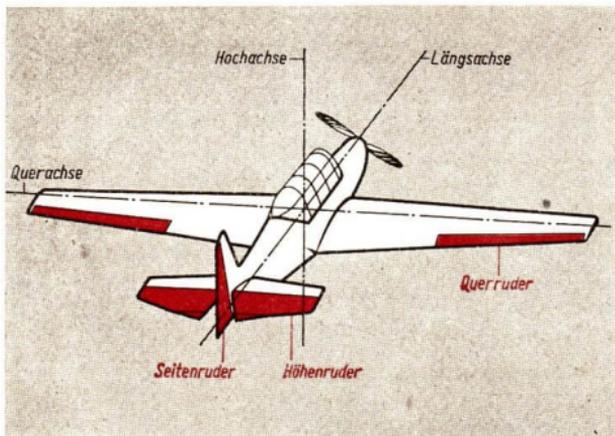
Von den Segelfliegern wird oft der Hangaufwind ausgenutzt. Er entsteht an Boden-erhebungen, wenn Luftströmungen, die parallel zur Erdoberfläche verlaufen, nach oben abgelenkt werden. *Im Aufwind* kann mit einem Segelflugzeug beliebig lange gesegelt werden, wenn die senkrechte Aufwindgeschwindigkeit größer ist als die Sinkgeschwindigkeit des Segelflugzeuges.



## Thermiksegeln

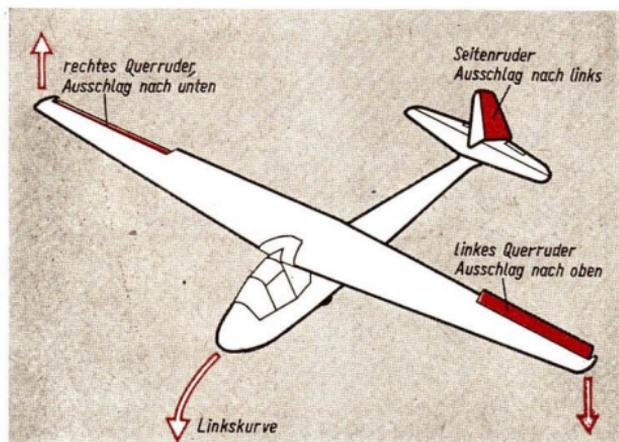
Der Wärmeeuftrieb der Luft wird für Höhen- und Streckenflüge genutzt. Erkläre, warum die Luft nach oben steigt! Die Warmluftströmungen werden *Thermik* genannt.





## Ändern der Flugrichtung

Man unterscheidet am Flugzeug drei Achsen: die *Längs-*, die *Quer-* und die *Hochachse*. Ein Flugzeug ist um diese Achsen drehbar. Soll sich das Flugzeug um die *Hochachse* drehen, muß das *Seitenruder* verstellt werden. Wie erreicht man eine Drehung um die *Längsachse*? Um welche Achse bewegt sich die Maschine, wenn das *Höhenruder* betätigt wird?



## Leitwerke

Zum Fliegen und zum Steuern sind *Leitwerke* erforderlich. Durch Verstellen der *Höhen-*, *Seiten-* oder *Querruder* entstehen Seitenkräfte (dynamischer Auftrieb), durch die das Flugzeug in die gewünschte Richtung gedreht wird. Bei großen Flugzeugen werden die Ruder automatisch von einer Steueranlage betätigt und entsprechend der Fluglage oder dem zu fliegenden Kurs verstellt (Autopilot).



## Formen der Tragflächen

Segelflugzeuge besitzen sehr schlanke gerade Tragflächen, während bei Motorflugzeugen eine gedrungene Form Verwendung findet. Flugzeuge mit hoher Unterschallgeschwindigkeit besitzen meist pfeilförmige Tragflächen, Flugzeuge mit Überschallgeschwindigkeit haben meist keilförmige Tragflächen.

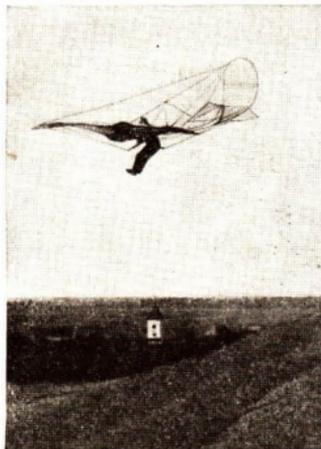


Bild 141/1 Lilienthals Flugapparat

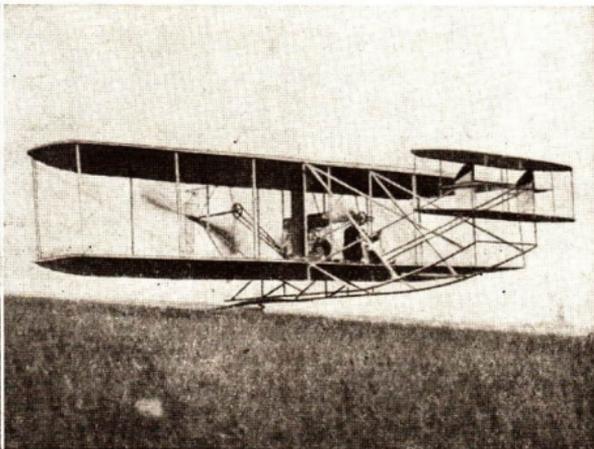


Bild 141/2 Motorflugzeug von Wright

### 3. Entwicklung und Einsatz des Flugzeuges

Überlieferte Sagen und Fluggedanken reichen zurück bis ins 8. Jahrhundert v. u. Z. Infolge der geringen Fertigkeiten und der primitiven Werkzeuge und Werkstoffe war es damals noch nicht möglich, die aus der Beobachtung der Umwelt abgeleitete Möglichkeit des Vogelfluges zu verwirklichen.

Die Versuche dazu erstrecken sich auf einen Zeitraum, in dem die handwerklichen Fertigkeiten dazu vorhanden waren. Trotzdem gelang es bis zum Anfang des 18. Jahrhunderts nicht, zu fliegen. Das lag daran, daß erst zu diesem Zeitpunkt begonnen werden konnte, die physikalischen Bedingungen des Fliegens zu untersuchen. Der Engländer Sir G. CAYLEY erkannte um 1799 erstmals wichtige Strömungsgesetze und erprobte erste Flugapparate. Der Deutsche OTTO LILIENTHAL (Bild links) verwirklichte erstmals den Gleitflug. 1903 flogen die Brüder O. und W. WRIGHT (Bild rechts) zum ersten Male mit einem Motorflugzeug.

Heute wird das Flugzeug als wichtiges Verkehrs- und Transportmittel eingesetzt. Mit Großflugzeugen werden Strecken wie Moskau — La Habana (etwa 11000 km) ohne Zwischenlandung in einem halben Tag zurückgelegt. Leicht verderbliche Nahrungsmittel oder dringend benötigte Medikamente werden in wenigen Stunden ans Ziel gebracht. Mit Wirtschaftsflugzeugen werden die großen Felder der LPG zum günstigsten Zeitpunkt aus der Luft gedüngt. Mit Hubschraubern werden Bau- und Montagearbeiten an schwer zugänglichen Stellen unter Einsparung von Arbeitskräften, Arbeitszeit und Geld ausgeführt.

Eine besonders wichtige Aufgabe bei der Sicherung der DDR gegen Grenz- und Luftraumverletzungen kommt dem Flugzeug bei den Luftstreitkräften der NVA zu.



Bild 142/1 Das sowjetische Turboprop-Flugzeug (Gasturbinen-Propeller-Triebwerk) vom Typ IL-18 wird als Großflugzeug von vielen Luftverkehrsgesellschaften auf internationalen Fluglinien eingesetzt. Es erreicht eine Reisefluggeschwindigkeit von 650 km/h. Zu den führenden Ländern des Flugzeugbaus gehört die Sowjetunion seit mehr als dreißig Jahren.



Bild 142/2 Unsere Luftstreitkräfte verfügen über moderne Flugzeuge, die uns von der Sowjetunion zur Verfügung gestellt wurden. Solange friedensfeindliche Kräfte die Menschheit bedrohen, müssen auch Luftstreitkräfte bereitstehen, unsere Grenzen zu schützen und gegebenenfalls zu verteidigen.

- *Berechne die durchschnittliche Flugzeit einer IL 18 von Berlin bis Bukarest bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit  $v = 650 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  und einer Strecke  $s = 810 \text{ km}$ !*  
*Wieviel Umdrehungen führt jede der vier Luftschrauben bei einer Drehzahl von  $1500 \frac{1}{\text{min}}$  während dieser Zeit aus?*

**Überlege, zeichne, berechne!**



1. Auf welche Weise entstehen der statische und der dynamische Auftrieb?
2. Zeichne den Stromlinienverlauf um ein Tragflächenprofil!
3. Zeichne den Stromlinienverlauf um ein Seitenleitwerk, wenn das Flugzeug eine Linkskurve fliegen soll!
4. Beschreibe das Entstehen der Thermik!
5. Schildere die Entwicklung der Luftfahrt! Verwende dazu deine Kenntnisse aus Zeitschriften und Büchern!

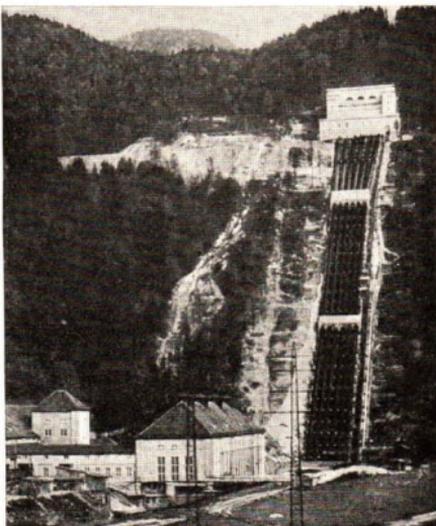
**Versuche es selbst! Prüfe nach!**



1. Baue dir ein Flugmodell und blase es mit einer Luftdusche an! Was stellst du fest, wenn der Anstellwinkel verändert wird?
2. Untersuche mit einem Fähnchen oder einem Tuch bei entsprechendem Wind an einem Hang, Zelt oder einer schräg gespannten Decke die Wirkung des Hangaufwindes!
3. Weshalb muß man beim Drachensteigen mitunter erst mit dem Drachen gegen den Wind rennen, während er sich später in der Luft hält, auch wenn man steht? Wieso treten an der Leine Zugkräfte auf?
4. Untersuche am Flugmodell das Profil der Tragflächen! Vergleiche mit dem Bild 137/1!

# Wasserkraftmaschinen

Die Technik hilft dem Menschen, schwere körperliche Arbeit immer mehr durch Maschinen verrichten zu lassen. Dazu müssen die in der Natur zur Verfügung stehenden Energien in immer stärkerem Maße genutzt werden. Ein Beispiel dafür sind Wasserkraftwerke. Der größte Teil der Elektroenergie wird in der DDR allerdings in Dampfkraftwerken erzeugt, da wir zwar über verhältnismäßig große Braunkohlevorkommen verfügen, aber die Möglichkeiten, Wasserkräfte auszunutzen, bei uns nur gering sind.



## 1. Energieumwandlung bei strömenden Flüssigkeiten

Eine gegebene Wassermasse hat bezüglich eines tiefer liegenden Ortes eine bestimmte Lageenergie.

- *Wovon ist die Größe der Lageenergie abhängig?*

Wenn Wasser zu Tal strömt, wandelt sich die Lageenergie in Bewegungsenergie um.

- *Wovon hängt die Bewegungsenergie ab?*

Die beiden Arten der Wasserräder (Bild 144/1) zeigen die zwei Möglichkeiten, wie die mechanische Energie des Wassers in modernen Wasserkraftwerken ausgenutzt wird. Bei ihnen wird das Wasser den *Wasserturbinen* zugeleitet, wobei die *Gefällhöhe* aus technischen Gründen von Bedeutung ist. Ab 50 m Gefällhöhe sprechen wir von *Hochdruckkraftwerken* (Bilder 144/2 und 3). Ein typisches Hochdruckkraftwerk ist das Talsperrenkraftwerk. Hochdruckanlagen sind in Europa vor allem im Alpengebiet zu finden. Die größte Gefällhöhe wird im Kraftwerk Chandoline in der Schweiz ausgenutzt und beträgt 1750 m.

Bei Gefällhöhen unterhalb von 50 m werden *Niederdruckkraftwerke* gebaut. Bei ihnen wird das Wasser den Turbinen direkt (ohne Druckrohre) zugeführt (Bilder 145/1 und 2). Ein typisches Niederdruckkraftwerk ist das Staukraftwerk an einem Fluß. Niederdruckanlagen sind zum Beispiel die großen Wasserkraftwerke an der Wolga. Je nach der Art des Wasserkraftwerkes werden verschiedene Turbinen angewendet.

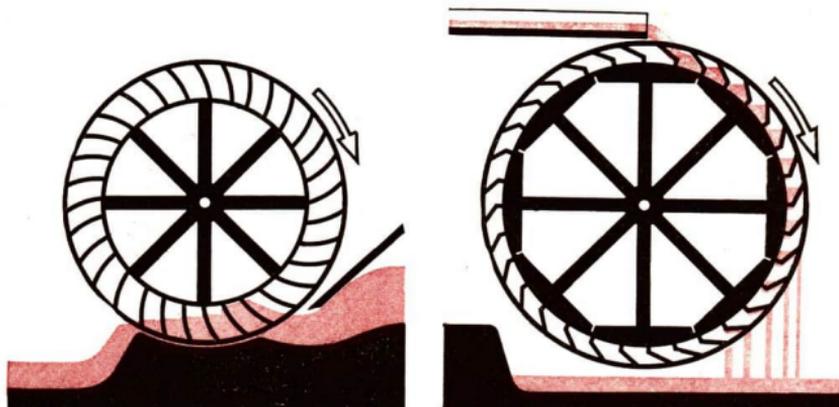


Bild 144/1 Die mechanische Energie des Wassers wird schon seit Jahrtausenden zum Antrieb von Wasserrädern ausgenutzt, die ihrerseits wieder Mühlen, Sägewerke, Hammerschmieden u. a. in Gang setzen.

Unterschlängige Wasserräder nutzen die Bewegungsenergie des strömenden Wassers. Der Wirkungsgrad beträgt höchstens 35%.

Oberschlängige Wasserräder nutzen die Lageenergie des Wassers. Der Wirkungsgrad beträgt bis 75%.

Wasserräder werden nur noch selten gebaut. Ihr Wirkungsgrad ist zu klein.

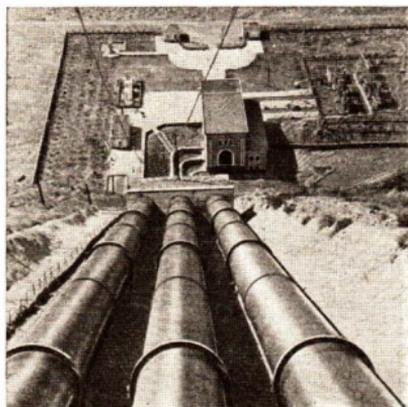


Bild 144/2 Druckrohre des Wasserkraftwerkes bei Ordshonikidse (UdSSR). Gefällhöhe: 160 m

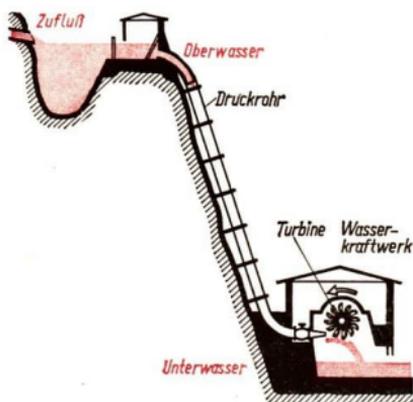


Bild 144/3 Schematische Darstellung eines Hochdruckwasserkraftwerkes

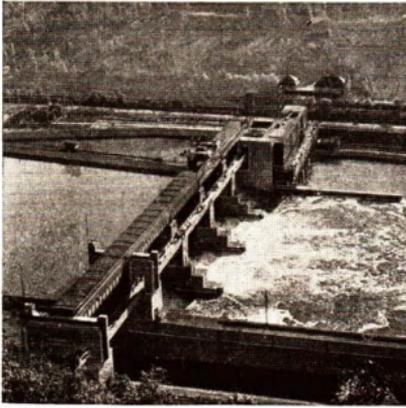


Bild 145/1 Staustufe an einem Fluß. Das Wasserkraftwerk liegt am gegenüberliegenden Ufer.

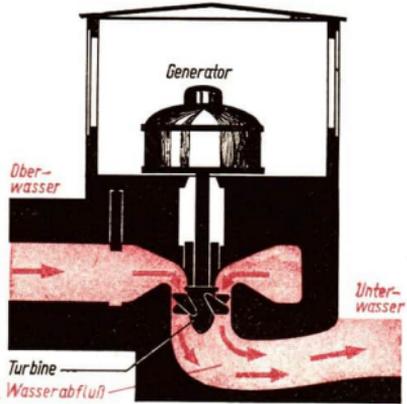


Bild 145/2 Schematische Darstellung eines Niederdruckwasserkraftwerkes

## 2. Wasserturbinen

In *Wasserturbinen* wird die mechanische Energie des Wassers auf Räder und Wellen übertragen. Werden von diesen zum Beispiel Elektrogeneratoren angetrieben, wird die mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt.

Wasserturbinen bestehen aus einem *Leitapparat*, der das Wasser in geeigneter Weise lenkt, und aus einem *Laufgrad*, das die mechanische Energie des Wassers aufnimmt.

Wir wollen an je einem Beispiel zwei Turbinenarten kennenlernen:

### Übersicht über die beiden Turbinenarten

	Freistrahlturbine (Peltonturbine)	Überdruckturbine (Kaplanturbine)
Vorläufer	unterschlächtiges Wasserrad	oberschlächtiges Wasserrad
Ausgenutzte Energie des Wassers	hauptsächlich: kinetische Energie	hauptsächlich: potentielle Energie
Notwendige Gefällhöhe	groß	klein
Wasserverbrauch	gering	groß
Anwendung	Hochdruckkraftwerk	Niederdruckkraftwerk

### Freistrahlturbine

Wird für Hochdruckkraftwerke benutzt.  
Beispiel: Pelton-turbine (nach ihrem Erfinder benannt).

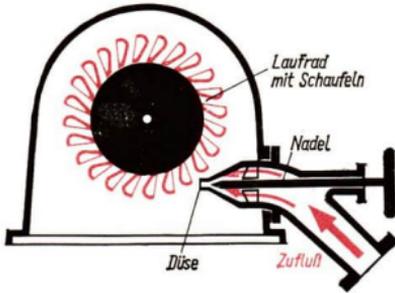


Bild 146/1 Schematische Darstellung einer Freistrahlturbine

Der Leitapparat besteht hier aus dem Druckrohr und einer Düse, durch die das Wasser mit großer Geschwindigkeit auf das Laufrad prallt.

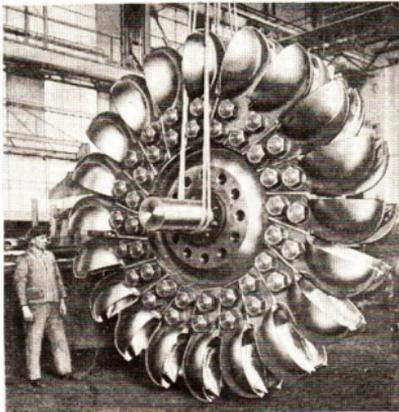


Bild 146/3 Laufrad einer Freistrahlturbine

Beim Austritt aus den Schaufeln ist die Geschwindigkeit des Wassers nahezu Null. Es wird also fast die gesamte *Bewegungsenergie* des Wassers auf das Laufrad übertragen.

### Überdruckturbine

Wird für Niederdruckkraftwerke benutzt.  
Beispiel: Kaplanturbine (nach ihrem Erfinder benannt).

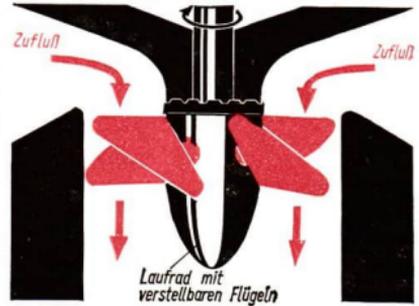


Bild 146/2 Schematische Darstellung einer Kaplanturbine

Das Wasser strömt mit einem Überdruck durch das Laufrad, wodurch das Rad - völlig in Wasser - in Umdrehungen versetzt wird.

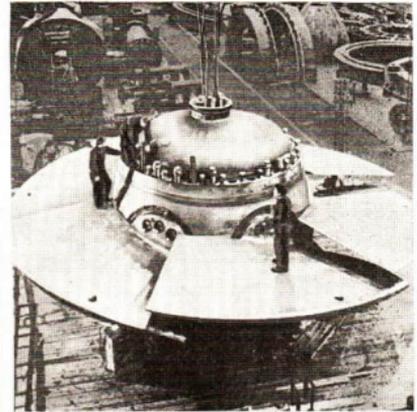


Bild 146/4 Laufrad einer Überdruckturbine

Das Laufrad befindet sich in einem Rohr, das völlig vom strömenden Wasser erfüllt ist. Beim Durchströmen des Laufrades übt das Wasser Kräfte auf die Flügel aus wie der Wind auf die Windmühlenflügel.

### Freistrahlturbine (Fortsetzung)

Durch eine Düsenadel ist die Wasserzufuhr verstellbar und damit das Arbeitsvermögen der Turbine veränderbar.

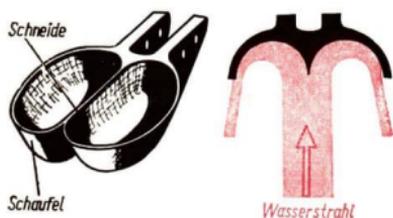
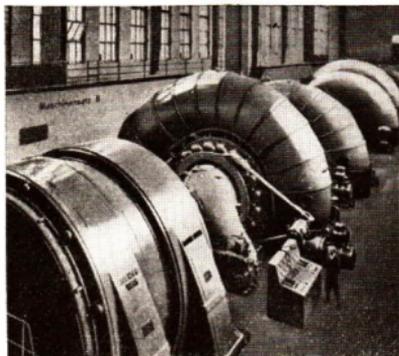


Bild 147/1 Bau und Wirkungsweise der Schaufeln

Jede Schaufel hat in der Mitte eine Schneide. Dadurch wird der Wasserstrahl in zwei Halbstrahlen verteilt und um fast 180° umgelenkt.

Bild 147/3 Kraftwerk mit Freistrahlturbinen



Freistrahlturbinen benötigen geringe Wassermengen bei einer großen Gefällhöhe.

Der Wirkungsgrad beträgt oft über 90%.

Die größte Einzelleistung einer Freistrahlturbine beträgt 110000 kW (Wasserkraftwerk Cimengo, Italien).

### Überdruckturbine (Fortsetzung)

Durch Verändern der Stellung der Flügel kann man die Drehzahl der wechselnden Belastung anpassen.

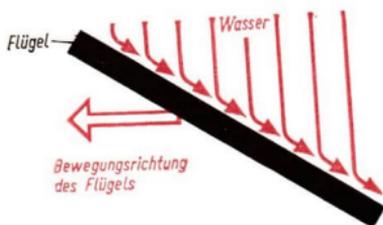


Bild 147/2 Bau und Wirkungsweise der Flügel

Jeder Flügel ist etwas schräg gestellt. Das durchströmende Wasser wirkt auf die Flügel. Diese werden dadurch bewegt.

Bild 147/4 Kraftwerk mit Überdruckturbinen



Überdruckturbinen benötigen große Wassermengen bei einer kleinen Gefällhöhe.

Der Wirkungsgrad beträgt oft über 90%.

Die größte Einzelleistung einer Überdruckturbine beträgt 126000 kW (Wasserkraftwerk Kuibyschew, Sowjetunion).

### 3. Die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftwerke

Ursprünglich standen dem Menschen als Energiequellen nur seine Muskelkraft und die Kraft von Arbeitstieren zur Verfügung. Mit den Wasserrädern lernte er aber bald, andere Energiequellen für sich zu nutzen. 1884 entwickelte Pelton die nach ihm benannte Turbine. 1921 wurde erstmalig eine Kaplan turbine gebaut. Damit war die technische Grundlage für den Bau großer Wasserkraftwerke gegeben. Die erste Anlage in Deutschland, die von praktischer Bedeutung war, entstand 1891 bei Lauffen am Neckar. Mit ihr wurde ein Generator betrieben, dessen Strom nach Frankfurt a. M. geleitet wurde.

Tabelle 5: Übersicht über die größten Wasserkraftwerke in der Welt

Kraftwerk	Leistung
Wolgograd (UdSSR)	2310000 kW
Kuibyschew (UdSSR)	2100000 kW
Grand Coulee (USA)	1974000 kW

Der Bau von Wasserkraftanlagen ist nicht nur von Bedeutung für die Energieversorgung, sondern auch für die Schifffahrt, die Landbewässerung, die Trink- und Brauchwasserversorgung und den Hochwasserschutz. Deshalb bauen wir auch in der DDR viele Talsperren. Der Anteil der Wasserkraftanlagen an der Energieversorgung unseres Landes ist allerdings sehr gering, etwa 2%. Der größte Teil der elektrischen Energie wird bei uns in Wärmekraftanlagen erzeugt.

**Überlege, zeichne, berechne!**

- ?** 1. Rechne die Leistungen der auf Seite 148 angegebenen größten Wasserkraftwerke der Welt in  $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$  um!
2. Wie groß ist bei den in Aufgabe 1 genannten Wasserkraftwerken die Antriebsleistung des Wassers, wenn die angegebenen Leistungswerte Nutzleistungen bedeuten und der Wirkungsgrad etwa 90% beträgt?
- \*3. Eine Peltonturbine erzielt bei einer Gefällhöhe von 195 m und einem Wasserverbrauch von  $9,4 \text{ m}^3$  je Sekunde eine Leistung von 15000 kW. Berechne den Wirkungsgrad!

### ZUSAMMENFASSUNG

An einer bewegten Tragfläche entsteht an der Oberseite ein Sog und an der Unterseite ein Druck. Beide vereinigen sich zum dynamischen Auftrieb.

Erkläre das mit Hilfe des Stromlinienbildes am Tragflächenprofil!

**Wir unterscheiden Hochdruckkraftwerke und Niederdruckkraftwerke.**

Welche Art wird in Gebirgsgegenden und welche wird im Flachland öfter vorkommen?

**Wichtige Turbinenarten sind die Peltonturbine und die Kaplan turbine.**

Welche Energieumwandlungen finden jeweils statt?

## Versuchsauftrag 1

### Aufgabe:

Bestimme die Durchschnittsgeschwindigkeit!

### Geräte:

Meßband  
Stoppuhr

### Versuchsablauf:

1. Miß eine Strecke von 100 m ab!
2. Miß die Zeit, die
  - a) ein Fußgänger
  - b) ein Läufer
  - c) ein Radfahrer
  - d) ein Auto
  - e) eine Straßenbahnbenötigt, um diesen Weg zurückzulegen!
3. Fertige ein Protokoll nach nachstehendem Muster an!

### Protokoll Nr. ...

Name  
Datum

#### 1. Aufgabe:

#### 2. Geräte:

#### 3. Versuchsbeschreibung:

#### 4. Messungen:

- a) Zeit für Fußgänger  $t_0 = \dots$  s  
Zeit für Läufer  $t_1 = \dots$  s  
Zeit ...

#### b) Berechnung:

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

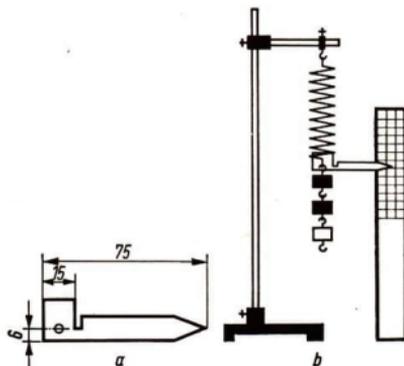
#### 5. Ergebnis:

## Versuchsauftrag 2

**Aufgabe:** Fertige für eine Schraubenfeder eine Skale an, damit diese Feder als Dynamometer (Kraftmesser) benutzt werden kann!

**Geräte:**

V-Fuß  
Stativstab 50 cm  
Stativstab 15 cm  
Kreuzmuffe  
Ring mit Haken  
Schraubenfeder  
Satz Wägestücke  
Reiter der optischen Bank  
(als Fuß für die Skale)  
Pappstreifen mit aufgeklebtem  
Millimeterpapier  
Kartonstreifen



**Versuchsablauf:**

1. Baue die Versuchsanordnung nach dem Bild b zusammen!
2. Fertige einen Zeiger aus Karton an (Bild a) und befestige ihn an der Feder!
3. Hänge ein 10-p-Wägestück an die Feder, damit diese eine kleine Vorspannung erhält! Das Ergebnis der Aufgabe wird dadurch genauer.
4. Markiere den Zeigerstand mit dem Bleistift auf dem Millimeterpapier!
5. Hänge nacheinander weitere 10 Stück 10-p-Wägestücke an die Feder und markiere jeweils den Zeigerstand!
6. Vervollständige deine Markierungen zu einer Skale!

**Ergebnis:**

Die mit einer Skale versehene Schraubenfeder kann als Dynamometer benutzt werden.

## Versuchsauftrag 3

**Aufgabe:**

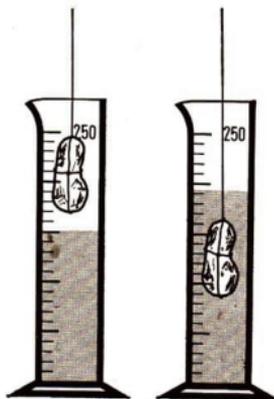
Bestimme die Dichte fester und flüssiger Stoffe!

**Geräte:**

Meßzylinder	Becherglas 50 ml
Schalenwaage bis 100 g	Methanol
Körper aus verschiedenen Stoffen	Kochsalzlösung
	Stativ mit Zubehör

### Versuchsablauf:

1. Bestimme die Massen der Körper mit der Schalenwaage (Bild 154/1a)!
2. Bestimme das Volumen der Körper nach dem Verfahren der Wasserverdrängung (Bild 151/1)!
3. Stelle die Masse des Becherglases fest!
4. Fülle 50 ml  $\approx$  50 cm<sup>3</sup> Methanol in das Becherglas!
5. Bestimme die Masse der Flüssigkeit!
6. Wiederhole Punkt 4 und 5 mit der Kochsalzlösung!
7. Fertige ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster an!



Name  
Datum

### Protokoll Nr. ...

1. Aufgabe:
2. Versuchsaufbau (Geräte):
3. Versuchsbeschreibung:
4. a) Messungen:

Körper bzw. Stoff	Masse $m$ in g	Volumen $V$ in cm <sup>3</sup>	Dichte $\rho$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

b) Berechnungen:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

5. Ergebnis:

### Versuchsauftrag 4

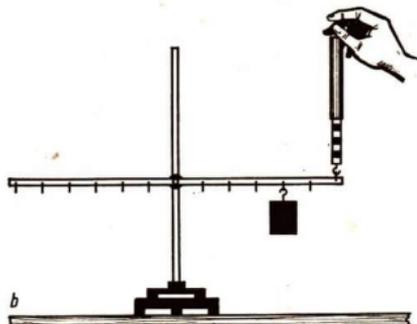
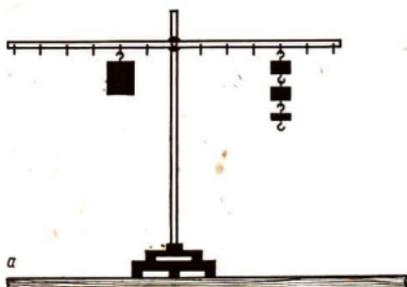
Aufgabe:

Bestätige das Hebelgesetz!

Geräte:

Stativfuß  
Kreuzmuffe  
Hebel  
Achszapfen 30 mm

Stativstab 50 cm  
Satz Wägestücke  
Federwaage bis 100 p



*Versuchsablauf:*

- A.
  1. Baue die Versuchsanordnung nach Bild a auf!
  2. Bereite ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster vor (S. 153, oben)!
- B. Zweiseitiger Hebel
  1. Hänge eine Last  $F_2 = 100 \text{ p}$  an der linken Seite des Hebels auf!
  2. Stelle das Gleichgewicht am Hebel her, indem du an der rechten Seite des Hebels eine Kraft  $F_1 = 50 \text{ p}$  angreifen läßt!
  3. Miß die zu  $F_2$  und  $F_1$  gehörenden Hebelarme  $l_2$  und  $l_1$ !
  4. Bilde jeweils das Produkt aus Kraft und Kraftarm bzw. Last und Lastarm ( $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ )!
  5. Trage alle Werte in das Protokoll ein!
  6. Hänge an der linken Hebelseite eine Last  $F_2 = 100 \text{ p}$  auf und lasse an der rechten Hebelseite eine beliebige Kraft  $F_1$  wirken!  
Der Hebel soll im Gleichgewicht sein!
  7. Wiederhole Punkt 3 bis 5!
  8. Wiederhole Punkt 1 bis 5 mit folgenden Kräften:  
 $F_2 = 120 \text{ p}$ ;  $F_1 = 40 \text{ p}$ !
  9. Hänge an der linken Hebelseite eine Last  $F_2 = 100 \text{ p}$  am Lastarm  $l_2 = 8 \text{ cm}$  auf!
  10. Berechne die Kraft  $F_1$ , die den Hebel mit dem Kraftarm  $l_1 = 20 \text{ cm}$  ins Gleichgewicht bringt!
  11. Prüfe das Ergebnis am Hebel nach!
- C. Einseitiger Hebel
  1. Hänge an der rechten Hebelseite eine Last  $F_2 = 100 \text{ p}$  mit dem Lastarm  $l_2 = 8 \text{ cm}$  auf (Bild b)!
  2. Miß die Kraft  $F_1$  mit der Federwaage am Ende der rechten Hebelseite!
  3. Miß den zu  $F_1$  gehörenden Kraftarm  $l_1$ !
  4. Verfahre weiter wie unter B Punkt 4 und 5!

1. Aufgabe:
2. Versuchsaufbau (Geräte, Skizze):
3. a) Messungen:

Messung Nr.	$F_1$ in p	$l_1$ in cm	$F_2$ in p	$l_2$ in cm	$F_1 \cdot l_1$ in pcm	$F_2 \cdot l_2$ in pcm
1						
2						
3						
4						
5						

b) Berechnungen:

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

4. Ergebnis:

### Versuchsauftrag 5

*Aufgabe:*

Wäge mit verschiedenen Hebelwaagen einige Körper!

*Geräte:*

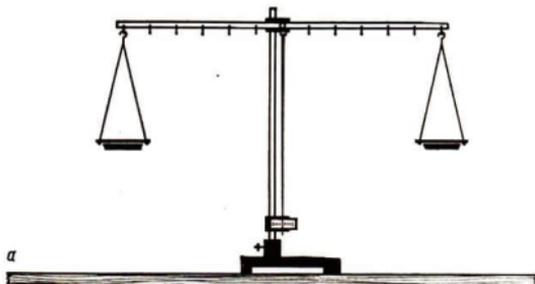
V-Fuß	2 Waageschalen
Stativstab 50 cm	Drahtbügel
2 Kreuzmuffen	Reiter für Waagebalken
Aohszapfen 30 mm	Brett für geneigte Ebene
Hebel	Brücke für Dezimalwaage
Satz Wägestücke	Zugstange 340 mm
Zeiger	Zugstange 380 mm
Skale	verschiedene Körper
Waagebalken	

*Versuchsablauf:*

- A.
  1. Bereite ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster vor (S. 154, unten)!
  2. Überlege, welche Formelzeichen und welche Einheiten (Kurzzeichen) in die Tabelle eingetragen werden müssen!
- B. Die Schalenwaage
  1. Baue die Waage nach Bild 154/1a zusammen!
  2. Wäge die Körper!
  3. Trage die gemessenen Werte in das Protokoll ein!

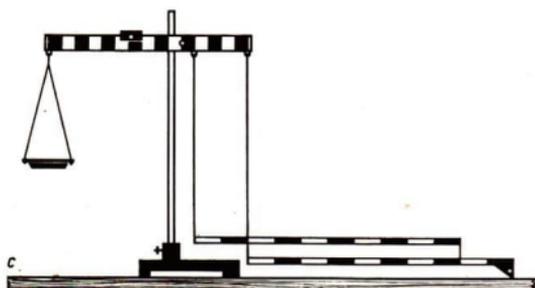
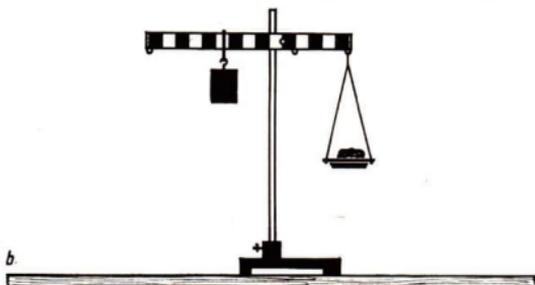
C. Die Schnellwaage

1. Baue die Waage nach Bild b zusammen!
2. Tariere die Waage mit Hilfe der Wägestücke!
3. Wäge auch hier die Körper, indem du mit Hilfe des 100-p-Wägestückes am Waagebalken das Gleichgewicht herstellst!
4. Welches physikalische Gesetz hilft dir bei der Ermittlung der Ergebnisse?
5. Trage die Werte in das Protokoll ein!



D. Die Dezimalwaage (Brückenwaage)

1. Baue die Waage nach Bild c zusammen!  
(Beachte dabei, daß der Blechwinkel der Brücke in die Nut des Grundbrettes eingesetzt werden muß! Mit dem Reiter am Waagebalken wird die Waage ins Gleichgewicht gebracht.)
2. Wäge nun nochmals die Körper!
3. Was mußt du beim Wägen mit der Dezimalwaage beachten?
4. Trage die Werte in das Protokoll ein!
5. Welche physikalische Größe hast du durch diese Wägungen ermittelt?



Protokoll Nr. ...

Name

Datum

1. Aufgabe:

2. Messungen:

Körper	Wägung mit der		
	Schalenwaage .. in ...	Schnellwaage .. in ...	Dezimalwaage .. in ...

3. Ergebnis: (Die ermittelten Werte als Satz und die Antworten zu den Fragen C 4., D 3. und D 5.)

## Versuchsauftrag 6

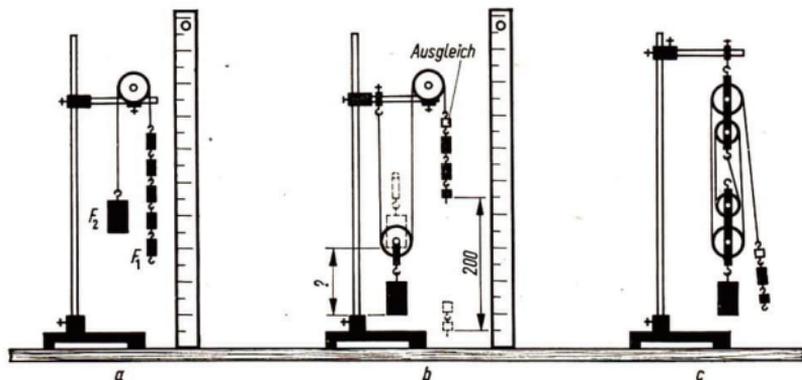
### Aufgabe:

Bestätige das Gesetz von der Erhaltung der mechanischen Arbeit an Rolle und Flaschenzug!

### Geräte:

V-Fuß mit Stab 50 cm  
2 Kreuzmuffen  
Stativstab 15 cm  
Achszapfen 30 mm  
Rolle  
Ring mit Haken

Schnur  
Wägesatz  
lose Rolle  
Flaschenzug  
Lineal



### Versuchsablauf:

- Baue mit den Geräten das Modell
  - der festen Rolle
  - der losen Rolle
  - des Flaschenzugesnach Bild a bis c zusammen!
- Bereite ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster vor (S. 156, oben)!
- Hänge jeweils eine Last  $F_2 = 100 \text{ p}$  an die Versuchsanordnung!
- Bestimme die Kraft  $F_1$ , die jeweils das Gleichgewicht herstellt!
- Laß die Kraft jeweils einen Weg von  $s_1 = 20 \text{ cm}$  zurücklegen und miß den Weg, den jeweils die Last zurücklegt!
- Berechne die jeweils verrichtete Arbeit auf der Last- und Kraftseite!
- Trage alle Werte in das Protokoll ein!

Bemerkung: Vergiß nicht, das Gewicht von Rolle und Flaschenzug auszugleichen!

1. Aufgabe:
2. Versuchsaufbau (Geräte, Skizzen):
3. a) Messungen:

	Last $F_2$ in p	Weg $s_2$ in cm	Kraft $F_1$ in p	Weg $s_1$ in cm	Arbeit $W_2 = F_2 \cdot s_2$ in pcm	Arbeit $W_1 = F_1 \cdot s_1$ in pcm
a) feste Rolle						
b) lose Rolle						
c) Flaschenzug						

b) Berechnungen:  $W_2 = F_2 \cdot s_2$

$W_1 = F_1 \cdot s_1$

4. Ergebnis:

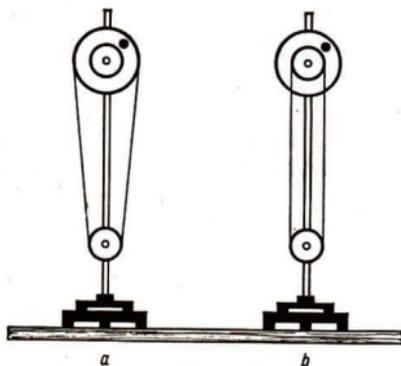
### Versuchsauftrag 7

*Aufgabe:*

Bestimme das Übersetzungsverhältnis am Seiltrieb!

*Geräte:*

- V-Fuß
- Stativstab 50 cm
- 2 Kreuzmuffen
- 2 Achszapfen 30 mm
- Stufenscheibe mit Kurbel
- Rolle
- Schnur



*Versuchsablauf:*

1. Baue den Seiltrieb nach Bild a zusammen! Lege die Schnur zunächst auf die große Rolle der Stufenscheibe!
2. Stelle die Stufenscheibe so, daß sich die Kurbel genau oben befindet und markiere die Stellung der unteren Rolle mit einem Bleistiftstrich!
3. Mache mit der Kurbel eine bestimmte Anzahl ganzer Umdrehungen und zähle dabei die Umdrehungen der unteren Rolle!
4. Führe den Versuch zur Kontrolle mehrere Male durch!
5. Wiederhole den Versuch mit der kleinen Rolle der Stufenscheibe (Bild b)!

6. Was sagt das Übersetzungsverhältnis über die Art des Seiltriebes aus?

7. Fertige ein Protokoll an mit:

1. Aufgabe:

2. Berechnung:  $i = \frac{n_1}{n_2}$

3. Ergebnis:

### Versuchsauftrag 8

*Aufgabe:*

Untersuche die Reibungskräfte verschiedener Stoffe!

*Geräte:*

Stativfuß mit Stab 50 cm

Stativstab 15 cm

2 Kreuzmuffen

Achszapfen 30 mm

Brett für Brückenwaage

Klotz

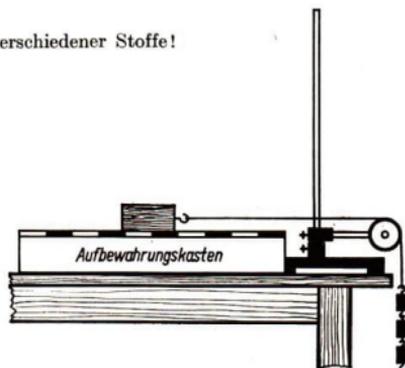
Rolle

Schnur

Satz Wägestücke

Sandpapier

Stoff



*Versuchsablauf:*

1. Baue die Versuchsanordnung nach dem Bild auf!
2. Berechne ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster vor!
3. Bestimme die Haftreibungskraft zwischen den verschiedenen Stoffen nach der nachstehenden Tabelle!  
Beachte: Die Haftreibungskraft hält der Zugkraft das Gleichgewicht, wenn der Klotz gerade noch in Ruhe bleibt.  
Führe immer 3 Messungen durch und bilde den Mittelwert!
4. Führe zum Vergleich einen Versuch zum Feststellen der Gleitreibungskraft durch!  
Beachte: Die Gleitreibungskraft hält der Kraft das Gleichgewicht, die notwendig ist, um den Körper gerade noch in Bewegung zu halten.
5. Trage alle Werte in das Protokoll ein!

Protokoll Nr. ...

Name

Datum

1. Aufgabe:

2. Versuchsaufbau (Geräte, Skizze):

### 3. Messungen:

#### a) Haftreibungskraft in ...

Messung	Holz/Holz	Holz/Sandpapier	Holz/Stoff
1			
2			
3			
Mittelwert:			

#### b) Gleitreibungskraft in ...

Messung	Holz/Holz	Holz/Sandpapier	Holz/Stoff
1			
2			
3			
Mittelwert:			

### 4. Ergebnis:

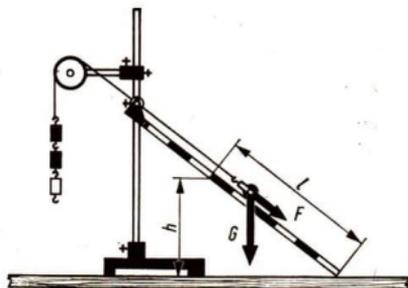
## Versuchsauftrag 9

### Aufgabe:

- Berechne die Hangabtriebskraft an der geneigten Ebene mit Hilfe des Gesetzes von der Erhaltung der mechanischen Arbeit!
- Miß die Hangabtriebskraft!

### Geräte:

Stativfuß mit Stab 50 cm  
3 Kreuzmuffen  
Achszapfen 70 mm  
Achszapfen 30 mm  
Stativstab 15 cm  
Rolle  
Brett für geneigte Ebene  
Wagen für geneigte Ebene (200 p)  
Satz Wägestücke  
Schnur  
Lineal



### Versuchsablauf:

- Baue die Versuchsanordnung nach dem Bild zusammen!
- Bereite ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster vor!

- Berechne die jeweiligen Hangabtriebskräfte aus den gegebenen Größen: Gewicht des Körpers, Höhe und Länge der geneigten Ebene! Trage die berechneten Werte in das Protokoll ein!
- Miß bei den gegebenen Größen (Gewicht, Höhe, Länge) die jeweilige Hangabtriebskraft!
- Vergleiche deine Berechnungen mit den experimentellen Ergebnissen und kontrolliere gegebenenfalls nochmals! Wodurch wird das Meßergebnis beeinflusst?

Protokoll Nr. ...

Name

Datum

- Aufgabe:
- Versuchsaufbau (Geräte, Skizze):
- Berechnungen und Messungen:

Gewicht $G$ in p	Höhe $h$ der geneigten Ebene in cm	Länge $l$ der geneigten Ebene in cm	Hangabtriebskraft $F$	
			berechnet in p	gemessen in p
200	15	30		
200	7,5	30		
200	6	40		
200	12	40		

$$F_H = \frac{G \cdot h}{l}$$

### Versuchsauftrag 10

Aufgabe:

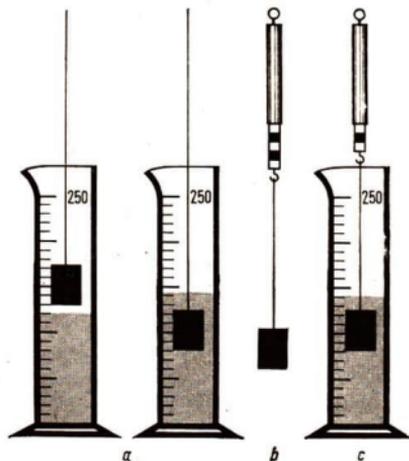
Bestimme den Auftrieb!

Geräte:

Federwaage bis 100 p  
Meßzylinder 250 ml  
Bindfaden  
verschiedene Körper

Versuchsablauf:

- Bereite ein Protokoll nach dem nachstehenden Muster vor (S. 160, oben)!
- Befestige die Körper an Bindfäden!
- Bestimme das Volumen der Körper mittels Wasserverdrängung (Bild a)!
- Bestimme das Gewicht der Körper in Luft (Bild b)!
- Tauche die an der Federwaage hängenden Körper vollständig ins Wasser und lies dabei das scheinbare Gewicht an der Federwaage ab (Bild c)!



- Errechne den jeweiligen Auftrieb aus der Gewichtsdifferenz!
- Trage alle Werte in das Protokoll ein!
- Was versteht man unter Auftrieb?

Protokoll Nr. ...

Name

Datum

- Aufgabe:
- Versuchsaufbau (Geräte, Skizze):
- a) Messungen:

Gewicht d. Körper		Auftrieb $G_l - G_w$ in p	Verdrängte Wassermenge	
in Luft $G_l$ in p	in Wasser $G_w$ in p		Volumen $V$ in $\text{cm}^3$	Gewicht $G_{H_2O}$ in p

- b) Berechnungen:

$$G_l - G_w =$$

4. Ergebnis:

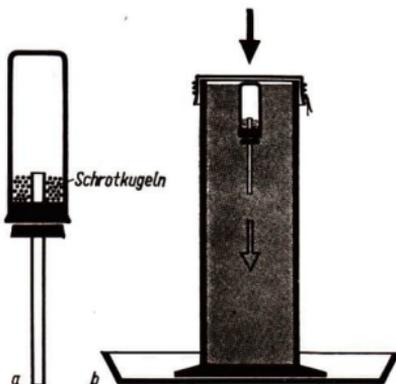
### Versuchsauftrag 11

#### Aufgabe:

Führe Untersuchungen am selbsthergestellten kartesischen Taucher durch!

#### Geräte:

Tablettenröhrchen etwa 60 mm lang  
durchbohrter Stopfen zum Tabletten-  
röhrchen passend  
Glasrohr etwa 5 mm  $\varnothing$  und 70 mm lang  
hoher Standzylinder  
Gummihaut (Luftballon)  
Bindfaden  
Schrotkugeln



#### Versuchsablauf:

- Stelle den behelfsmäßigen Taucher nach dem Bild a her!
- Fülle so viel Schrotkugeln in den Taucher (Tablettenröhrchen), daß er in aufrechter Lage in dem fast vollständig mit Wasser gefüllten Standzylinder schwimmt und mit seinem Scheitel gerade an der Wasseroberfläche zu sehen ist (Bild b)!
- Spanne die Gummimembran über den Standzylinder und binde sie fest!
- Wenn du nun mit der Hand auf die Gummimembran drückst, kannst du den Taucher zum Sinken bringen. Du kannst den Druck so regeln, daß der Taucher im Wasser schwebt.

- Wann steigt, schwebt oder sinkt der Taucher?  
Beobachte den Wasserstand im Glasröhrchen!
- Durch den Druck auf die Gummimembran herrscht im Zylinder ein erhöhter Druck. Dieser Druck breitet sich durch das Wasser bis in das Innere des Tauchers aus! Welches physikalische Gesetz ist hierbei in Anwendung?
- Fertige ein Protokoll an mit:
  - Aufgabe:
  - Versuchsaufbau (Skizze):
  - Ergebnis:

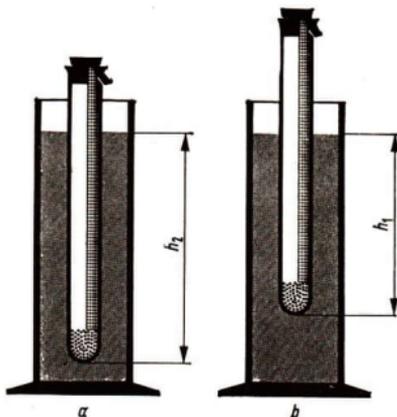
### Versuchsauftrag 12

#### Aufgabe:

Bestimme die Dichte einer Kochsalzlösung mit einem selbsthergestellten behelfsmäßigen Aräometer!

#### Geräte:

Standzylinder  
Reagenzglas mit Stopfen  
Schrotkugeln  
Streifen Millimeterpapier 15 mm breit  
Meßschieber  
Kochsalzlösung



#### Versuchsablauf:

- Fülle den Standzylinder mit klarem Wasser!
- Fülle das Reagenzglas so weit mit Schrotkugeln, daß es im Wasser, etwa 30 mm herausragend, aufrecht schwimmt!
- Beschrifte den Streifen Millimeterpapier je Zentimeter mit fortlaufenden Zahlen und führe ihn in das Reagenzglas ein!
- Kniffe den Streifen oben um und verschließe das Reagenzglas mit dem Stopfen!
- Tauche das Reagenzglas (jetzt behelfsmäßiges Aräometer) ins Wasser (Bild a)!
- Lies die Lage des Wasserspiegels an der Skale des Millimeterpapiers ab und notiere sie!
- Miß mit dem Meßschieber die Eintauchtiefe  $h_2$  (vom Boden des Reagenzglases bis zur notierten Stelle)!
- Fülle den Standzylinder mit der Kochsalzlösung!
- Wiederhole Punkt 6 und 7! Diese Eintauchtiefe sei  $h_1$ .
- Berechne die Dichte der Kochsalzlösung!

Die Dichten stehen zu den Eintauchtiefen im indirekten Verhältnis:

$$\rho_1 : \rho_2 = h_2 : h_1 \text{ umgeformt } \rho_1 = \rho_2 \cdot \frac{h_2}{h_1}$$

Da Wasser die Dichte  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  hat, ergibt sich für die Dichte der Kochsalzlösung

$$\rho_1 = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{h_2}{h_1}.$$

11. Fertige ein Protokoll an mit:

1. Aufgabe:
2. Versuchsaufbau (Skizze):
3. Messungen und Berechnungen:
4. Ergebnis:

### Versuchsauftrag 13

*Aufgabe:*

Bestimme die Dichte verschiedener Flüssigkeiten!

*Geräte:*

Aräometer für Dichten über  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Aräometer für Dichten unter  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

hoher, enger Standzylinder (Meßzylinder)

verschiedene Flüssigkeiten (Kochsalzlösungen, Kupfervitriollösungen, Spiritus, Petroleum usw.)

*Versuchsablauf:*

1. Fülle den Standzylinder etwa  $\frac{3}{4}$  mit klarem Wasser!
2. Tauche nacheinander beide Aräometer in das Wasser und überzeuge dich davon, daß beide bis zum Zahlenwert 1 eintauchen!
3. Fülle die Kochsalzlösung in den Standzylinder!
4. Bestimme mit dem entsprechenden Aräometer die Dichte!
5. Bestimme die Dichte auch für die übrigen Flüssigkeiten!  
Bemerkung: Der Standzylinder muß vor dem Einfüllen der neuen Flüssigkeit gesäubert werden.
6. Überlege, welches Aräometer du für die einzelnen Flüssigkeiten verwenden mußt!
7. Warum darf man brennbare Flüssigkeiten nicht mit Wasser löschen?
8. Fertige ein Protokoll an mit:
  1. Aufgabe:
  2. Versuchsaufbau (Geräte):
  3. Messungen:
  4. Ergebnis:

## Versuchsauftrag 14

### Aufgabe:

Untersuche die Abhängigkeit des Strömungswiderstandes von der Form, der Größe und der Oberflächenbeschaffenheit des angeströmten Körpers!

### Geräte:

Verschiedene Versuchskörper  
Luftdusche  
Stativmaterial  
Einkomponentenwaage

oder (2 V-Füße

Stativstab 50 cm

2 Kreuzmuffen

Achszapfen 30 mm

Hebel, Skale

Zeiger

2 Kreuzmuffen

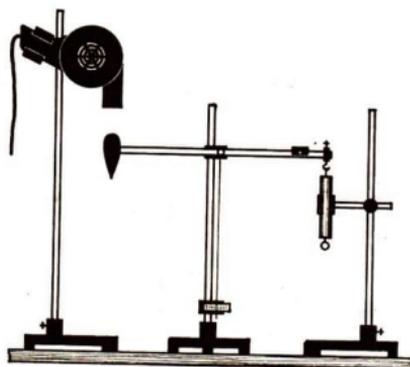
Stativstab 75 cm

Stativstab 15 cm

Lineal)

### Versuchsablauf:

1. Baue die Versuchsanordnung nach dem Bild zusammen!
2. Ermittle den Strömungswiderstand der verschiedenen Körper! Beachte, daß die Luftdusche immer den gleichen Abstand vom Versuchskörper haben muß!
3. Fertige ein Protokoll an mit:
  1. Aufgabe:
  2. Meßtabelle:
  3. Ergebnis:



## Versuchsauftrag 15

### Aufgabe:

Meß den Auftrieb eines Tragflächenmodells in Abhängigkeit vom Anstellwinkel!

### Geräte:

Tragflächenmodell  
Luftdusche mit Stativmaterial zum Aufstellen  
Winkelmesser mit Lot  
Einkomponentenwaage mit Federwaage 100 p

oder (2 V-Füße

Stativstab 50 cm

2 Kreuzmuffen

Achszapfen 30 mm

Hebel, Skale

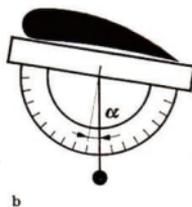
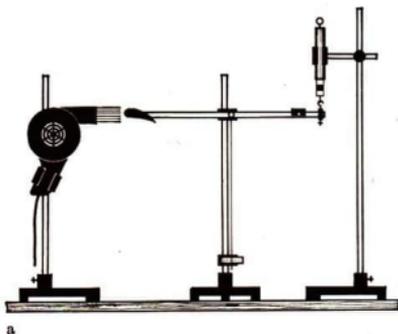
Zeiger

2 Kreuzmuffen

Stativstab 75 cm

Stativstab 15 cm

Lineal)



**Versuchsablauf:**

1. Baue die Versuchsanordnung mit der Einkomponentenwaage entsprechend dem Bild a auf!
2. Verändere den Anstellwinkel mit Hilfe des Winkelmessers (Bild b) um jeweils  $10^\circ$  in einem Winkelbereich von  $-30^\circ$  bis  $+50^\circ$ !  
 Bemerkung: Um genaue Meßwerte zu erhalten, muß das Tragflächenmodell immer genau in der Mitte des Luftstroms liegen. Hierzu muß die Federwaage entsprechend gespannt werden.
3. Trage die gemessenen Werte in eine Tabelle nach folgendem Muster ein:

Anstellwinkel $\alpha$ in Grad	$-30$	$-20$	$-10$ bis $+50$
Auftrieb $F_A$ in p			

4. Was erkennst du aus der Tabelle?
5. Fertige ein Protokoll an mit:
  1. Aufgabe:
  2. Meßtabelle:
  3. Ergebnis:

## 2. Formelzeichen und Einheiten

Abschnitte	physikalische Größe	Formelzeichen	Einheiten (Kurzzeichen)
<i>Über die Bewegung der Körper</i>	Weg	$s$	cm, m, km
	Zeit	$t$	s, min, h
	Geschwindigkeit	$v$	$\frac{m}{s}$ , $\frac{km}{h}$ , $\frac{km}{s}$
	Drehzahl	$n$	$\frac{l}{min}$ , $\frac{l}{s}$
<i>Kraft und Masse, zwei wichtige Grundbegriffe</i>	Kraft	$F$	mp, p, kp, Mp
	Masse	$m$	mg, g, kg, dt, t
	Rauminhalt, Volumen	$V$	cm <sup>3</sup> , dm <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> , l, hl
	Dichte	$\rho$	$\frac{g}{cm^3}$ , $\frac{kg}{dm^3}$ , $\frac{kg}{m^3}$
<i>Arbeit und Leistung</i>	Arbeit	$W$	pem, kpm, Ws
	Leistung	$P$	$\frac{kpm}{s}$ , W, PS
<i>Vom Hebel</i>	Kraftarm	$l_1$	cm, m
	Lastarm	$l_2$	cm, m
<i>Wellrad und Kurbel</i>	Kreisumfang	$u$	mm, cm, m
	Übersetzungsverhältnis	$i$	ohne
<i>Mechanische Energie Das Zusammenwirken kraftumformender Ein- richtungen</i>	Energie	$W$	pem, kpm
	Energie der Lage (potentielle Energie)	$W_{pot}$	pem, kpm
	Energie der Bewegung (kinetische Energie)	$W_{kin}$	pem, kpm
	Wirkungsgrad	$\eta$	ohne
<i>Druckkraft und Druck</i>	Druckkraft	$F$	p, kp, Mp
	Druck	$p$	$\frac{kp}{cm^2}$ , at
	Fläche	$A$	mm <sup>2</sup> , cm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup>
<i>Druck in Gasen</i>	Luftdruck	$p$	Torr, at, atm
<i>Auftrieb und Schwimmen</i>	Auftrieb	$F_A$	p, kp

### 3. Merksätze und Gleichungen

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
<i>Über die Bewegung der Körper</i>	<p>Unter Geschwindigkeit versteht man das Verhältnis des zurückgelegten Weges zur benötigten Zeit.</p> <p>Unter Drehzahl versteht man das Verhältnis der Anzahl der Umdrehungen zur benötigten Zeit.</p>	$v = \frac{s}{t}$ $n = \frac{U}{t}$
<i>Kraft und Masse, zwei wichtige Grundbegriffe</i>	<p>Durch eine Kraft kann ein Körper umgeformt werden.</p> <p>Durch eine Kraft kann ein Körper in Bewegung gesetzt oder in seiner Bewegung gebremst werden.</p> <p>Das Gewicht der Körper ist eine Kraft.</p> <p>Jeder ruhende Körper bleibt in Ruhe, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.</p> <p>Jeder in Bewegung befindliche Körper bewegt sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit geradlinig weiter, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.</p> <p>Die Trägheit ist eine Eigenschaft der Körper.</p> <p>Unter Dichte versteht man das Verhältnis der Masse eines Körpers zu seinem Volumen.</p>	$\rho = \frac{m}{V}$
<i>Arbeit und Leistung</i>	<p>Unter Arbeit versteht man das Produkt aus aufgewendeter Kraft und zurückgelegtem Weg, wenn Kraft und Wegrichtung zusammenfallen.</p> <p>Unter Leistung versteht man das Verhältnis von einer Arbeit zur Zeit.</p>	$W = F \cdot s$ $P = \frac{W}{t}$
<i>Vom Hebel</i>	<p>Ein Hebel ist ein starrer Körper, der drehbar ist und Kräfte übertragen kann. Er ist im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Kraft und Kraftarm gleich dem Produkt aus Last und Lastarm ist.</p>	$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
<i>Rollen</i>	<p>An der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist.</p> <p>Der Kraftweg ist gleich dem Lastweg.</p> <p>An der losen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die am freien Seilende angreifende Kraft halb so groß wie die Last ist.</p> <p>Der Kraftweg beträgt das Doppelte des Lastweges.</p> <p>Am Flaschenzug herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich dem Quotienten aus der Last und der Anzahl der tragenden Seilstücke ist.</p>	$F_1 = F_2$ $s_1 = s_2$ $F_1 = \frac{F_2}{2}$ $s_1 = 2 s_2$ $F_1 = \frac{F_2}{n}$
<i>Wellrad und Kurbel</i>	<p>Am Wellrad herrscht Gleichgewicht, wenn das Produkt aus der Kraft und dem Radius des Rades gleich dem Produkt aus der Last und dem Radius der Welle ist.</p> <p>Den Quotienten aus der Drehzahl des treibenden Rades und der Drehzahl des getriebenen Rades bezeichnet man als Übersetzungsverhältnis.</p>	$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ $i = \frac{n_1}{n_2}$
<i>Geneigte Ebene, Keil und Schraube; Satz von der Erhaltung der mech. Arbeit</i>	<p>Bei allen kraftumformenden Einrichtungen ist die Arbeit auf der Kraftseite gleich der Arbeit auf der Lastseite.</p>	$W_1 = W_2$ $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$
<i>Mechanische Energie</i>	<p>Die Lageenergie eines gehobenen Körpers ist gleich dem Produkt aus seinem Gewicht und der Höhe, um die er gehoben wurde.</p> <p>Die Bewegungsenergie eines Körpers hängt von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ab.</p> <p>Bei der Umwandlung der mechanischen Energieformen ineinander bleibt die gesamte mechanische Energie erhalten, sofern man von der Reibungswärme absieht.</p>	$W_{\text{pot}} = G \cdot h$ $W_{\text{pot}} + W_{\text{kin}} = \text{const}$
<i>Das Zusammenwirken kraftumformender Einrichtungen</i>	<p>Unter dem Wirkungsgrad einer Maschine versteht man das Verhältnis von Nutzleistung zur Antriebsleistung.</p>	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
<i>Druckkraft und Druck</i>	<p>Druckkraft ist die Kraft, mit der ein Körper senkrecht auf seine Unterstützungsfläche drückt.</p> <p>Unter Druck versteht man das Verhältnis einer Druckkraft zur gedrückten Fläche.</p>	$p = \frac{F}{A}$

(Fortsetzung)

Abschnitte	Merksätze	Gleichungen
<i>Druck in Flüssigkeiten</i>	<p>In Flüssigkeiten breitet sich ein Druck nach allen Seiten gleichmäßig stark aus. Flüssigkeiten übertragen den Druck. Die mechanische Arbeit an den Kolben verbundener Zylinder ist gleich. In gleicher Tiefe ist der Schweredruck nach allen Seiten gleich groß.</p>	$W_1 = W_2$ $p = h \cdot \gamma$
<i>Druck in Gasen</i>	<p>Die Luft übt auf alle Körper, die sie umgibt, einen Druck aus. Man nennt diesen Druck den atmosphärischen Luftdruck, kurz Luftdruck. Der mittlere Luftdruck über NN beträgt 760 Torr.</p>	
<i>Auftrieb und Schwimmen</i>	<p>Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit.</p>	$F_A = G_{F1}$
<i>Strömende Flüssigkeiten und Gase</i>	<p>Bleibt das Stromlinienbild immer gleich, dann liegt eine stationäre Strömung vor. Bei einer stationären Strömung ist das Produkt aus dem Querschnitt und der Strömungsgeschwindigkeit überall gleich groß. In der gleichen Zeit ist die zufließende Wassermenge gleich der abfließenden Wassermenge. Senkrecht zur Strömungsrichtung mißt man den statischen Druck. Er nimmt bei zunehmender Strömungsgeschwindigkeit ab.</p>	$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ $Q_1 = Q_2$
<i>Strömungswiderstand</i>	<p>Die Kraft, die eine Strömung auf einen Körper ausübt, nennt man Strömungswiderstand.</p>	
<i>Das Fliegen</i>	<p>An der Oberseite einer bewegten Tragfläche entsteht ein Sog und an der Unterseite ein Druck. Druck und Sog rufen eine Kraft hervor, die dynamische Auftriebskraft.</p>	
<i>Wasserkraftmaschinen</i>	<p>Bei den Wasserkraftmaschinen wird die mechanische Energie von Flüssigkeiten in elektrische Energie umgewandelt. Wichtige Turbinenarten sind die Freistrahlund die Überdruckturbinen.</p>	

## 4. Lösungen

### Grundbegriffe der Mechanik

Seite 12/13

2.  $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

6. Sekundenzeiger  $\frac{1}{\text{min}}$   
Minutenzeiger  $\frac{1}{60 \text{ min}} \left( \frac{1}{60} \text{ je Minute} \right)$

Stundenzeiger  $\frac{1}{720 \text{ min}} \left( \frac{1}{720} \text{ je Minute} \right)$

Seite 25

3.  $m = 113,4 \text{ kg}$

5.  $\rho = 2,72 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  (Aluminium)

Seite 29/30

3.  $W = 2730 \text{ kpm}$ ; 6.  $P = 227,5 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

9.  $P = 450 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

### Aus der Mechanik der festen Körper

Seite 39

8.  $m_2 = 45 \text{ kg}$  (48 kg, 49 kg) betragen die Massen, die das Gleichgewicht herstellen

Seite 49

2.  $F_1 = 75 \text{ kp}$ ;  $s_1 = 4 \text{ m}$ ;  $W = 300 \text{ kpm}$

Seite 58

4.  $i = 8 \left( \frac{1}{2}, \frac{8}{7}, 10 \right)$

Seite 67

2.  $h = 0,75 \text{ m}$

3.  $F_H = 430 \text{ kp}$ ;  $W = 51 600 \text{ kpm}$

Seite 74

3.  $W = 600 \text{ kpm}$

Seite 83

4.  $\eta = 0,67$  oder 67 %

5.  $P = 0,975 \text{ kW} \approx 1 \text{ kW}$

### Aus der Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

Seite 90

1.  $p = 0,8 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ ; 5.  $F = 1000 \text{ kp}$

Seite 100/101

1.  $p = 0,4 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$ ; 4.  $p = 1,02 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$

6.  $F_1 = 60 \text{ kp}$ ;  $W = 12 000 \text{ kpm}$ ;  $s_1 = 200 \text{ m}$

Seite 110

1.  $F \approx 96,6 \text{ kp}$

Seite 119

2.  $\gamma \approx 2,6 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$ ; 4.  $\gamma = 0,8 \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$

Seite 127

2.  $v_2 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; 3.  $Q = 1,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Seite 148

1. Wolgograd  $P \approx 236 000 000 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

Kuibyschew  $P \approx 214 000 000 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

Grand Coulee  $P \approx 201 000 000 \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$

- Achse 51  
 Angriffspunkt 33  
 Anzahl der Umdrehungen 11  
 Antriebsleistung 81  
 Aräometer 118  
 Arbeit 26  
 Arbeit am Hebel 36  
 Arbeit an Rolle und Flaschenzug 42, 44, 47  
 Arbeit am Wellrad 53  
 ARCHIMEDES 67, 115  
 Archimedisches Gesetz 112  
 Atmosphäre, physikalische 104  
 Atmosphäre, technische 89  
 Aufdruck 98  
 Auftrieb, dynamischer 136  
 Auftrieb, statischer 113  
  
 Barometer 104  
 Befestigungskeil 65  
 Befestigungsschraube 64  
 berührungsfreies Messen 134  
 Bewegung, geradlinige 8, 11  
 Bewegung, gleichförmige 11  
 Bewegung, ungleichförmige 11  
 Bewegungsenergie 72  
 Bewegungszustand 15  
 Bodendruck 98  
 Brechstange 32  
 Bunsenbrenner 126  
  
 Dezimalwaage 38  
 Dezitonne 21  
 Dichte 23  
 Dichtetabelle 24  
 Drehbewegung 11  
 Drehmaschine 78  
 Drehzahl 11  
  
 Drehzahltafel 12  
 Druck 87  
 Druck, statischer 125  
 Druckkraft 86 ff.  
 Druckpumpe 107  
 Druckschraube 64  
 Durchflußmessung 134  
 Dynamometer 16  
  
 Energie, kinetische 72  
 Energie, mechanische 73  
 Energie, potentielle 71  
  
 Fahrrad 77  
 Fallschirm 133  
 Federwaage 16  
 Flaschenzug 45  
 Füllstandsregelung 128  
  
 GALILEI 107  
 geneigte Ebene 60  
 Geschwindigkeit 9  
 Geschwindigkeitstabelle 10  
 Getriebe 54  
 Gewicht 15  
 Gleitreibung 80  
 v. GUERICKE 102  
  
 Haltekeil 65  
 Hangabtriebskraft 61  
 Hangaufwind 139  
 Hebel 32  
 Hebel, einseitiger 33  
 Hebel, gleicharmiger 34  
 Hebel, ungleicharmiger 34  
 Hebel, zweiseitiger 33  
 Hebelarm 33  
 Hebelgesetz 34  
  
 Hebelwaagen 37  
 HERON 107  
 hydraulische Bremse 96  
 hydraulische Maschinen 95 f.  
 hydraulische Presse 96  
 hydraulischer Wagenheber 95  
  
 Keil 64  
 Keil, einseitiger 64  
 Keil, zweiseitiger 64  
 Keilwinkel 64  
 Kettentrieb 54  
 Klobenzug 50  
 Kneifzange 36  
 Kompressor 107  
 Kraft 14 ff.  
 Kraftarm 33  
 Kraftbetrag 17  
 Kraftmessung 15  
 Kraftrichtung 16  
 Kraftübertragung 33  
 kraftumformende Einrichtung 31 ff.  
 Kraftweg 36  
 Kugellager 80  
 Kurbel 53  
 Kurbelwelle 54  
  
 Lageenergie 71  
 Last 33  
 Lastarm 33  
 Lastweg 36  
 Leistung 28  
 Leitwerk 140  
 LILIENTHAL 141  
  
 Manometer 105  
 Masse 20 ff.

- MAYER** 74  
 Meßdüse 134  
  
 Naturgesetz 20  
 Normalkraft 62  
 Nutzleistung 81  
  
**Papierschnidmesser** 32  
**PASCAL** 109  
 Präzisionswaage 38  
  
**Reibung** 80  
 Riementrieb 54  
 Rolle 41  
 Rolle, feste 41  
 Rolle, lose 43  
 Rollenlager 80  
 Rollreibung 80  
 römische Schnellwaage 38  
  
 Satz von der Erhaltung der  
   mechanischen Arbeit 69  
 Satz von der Erhaltung der  
   mechanischen Energie 73  
 Saugpumpe 106
- Schalenwaage 37  
 Schlupf 55, 57  
 Schraube 64  
 Schraubenfeder 16  
 Schweben 115  
 Schweredruck 97, 102  
 Segelflugzeug 139  
 Seil 41  
 Seitendruck 98  
 selbstfahrender Lader 79  
 Sicherheitsventil 36  
 Sinken 115  
 Sog 137  
 Spritzpistole 126  
 Steigen 115  
 Stromlinien 121  
 Strömung 121  
 Strömungsgeschwindigkeit 122  
 Strömungsquerschnitt 122  
 Strömungswiderstand 130  
 Stufenrolle 52  
  
 Tafelwaage 37  
 Thermiksegeln 139  
**TORRICELLI** 103  
 Trägheit 19
- Transportschraube 64  
  
**Übersetzungsverhältnis** 56  
 Umlenkrolle 48  
  
**Vergaser** 117  
 Volumen 23  
  
**Waagebalken** 37  
**Wasserkraftmaschinen** 143ff.  
 Wasserstrahlpumpe 127  
 Weg 9  
 Welle 51  
 Wellrad 51  
 Wichte 24  
 Winkelhebel 40  
 Wirbel 132  
 Wirkungsgrad 80  
 Wirkungslinie 33  
**WRIGHT** 141  
 Wurfhebel 40  
  
**Zahnradtrieb** 55  
 Zeit 9  
 Zugkraft 41  
 Zugschraube 64

### Quellennachweis der Abbildungen

Die Zeichnungen wurden nach Vorlagen von Heinrich Linkwitz, Berlin und Rudolf Schulz-Debowski, Berlin, angefertigt.

Foto Brüning: 121/1. Bildstelle des Deutschen Bauernverlages, Berlin: 801/1. Deutsche Bauausstellung, Berlin: 31/1. Deutsche Fotothek, Dresden (Möbius): 145/1. Werkfoto VEB Flugzeugwerke Lommatzsch: 139/1. Freie Welt, Berlin: 146/4. Werner Frünzel, Berlin: 60/1. Werkfoto Großdrehmaschinenwerk „7. Oktober“, Berlin: 76/1. Johannes Jaeger, Klingenthal: 63/1. Dietrich Kühlmann, Leipzig: 99/2. Heinz Krüger, Falkensee: 38/1. Fotokino Krütgen, Halle: 36/3, 47/1, 47/2, 48/2, 48/3, 71/1, 84/1. Fritz Leissner, Dresden: 38/2. Foto Lindner: 36/2. Werkfoto VEB „Madi“, Dresden: 91/1. Werkfoto VEB Mähdrescher-Werk, Weimar: 79/1. Werkfoto VEB Meßgeräte und Armaturenwerk „Karl Marx“: 105/1. Brigitte Meyer, Berlin: 85/1, 117/1. Wolf Mucke, Leipzig: 127/2. Museum für Deutsche Geschichte, Berlin: 7/3. Arthur Nauert, KG., Leipzig: 63/3. Pisarek, Berlin: 67/3. Seifert, Volk und Wissen, Berlin: 14/1, 31/1, 32/1, 54/1, 65/2, 78/1, 82/1, 82/2, 82/3, 104/1, 117/3, 118/1, 134/1. Heinz A. F. Schmidt, Berlin-Wendenschloß: 141/1. Wolfgang Schünke, Berlin: 99/2. Werkfoto Stahl- und Walzwerk Gröditz: 69/1. W. Stiehr, Berlin: 87/2, 126/2. Werkfoto VEB Traktorenwerk Schönebeck/E.: 7/4, 88/1. Volk und Wissen, Archiv, Berlin: 7/1, 21/2, 37/2, 38/3, 48/1, 57/1, 57/2, 57/3, 58/1, 65/1, 67/2, 77/1, 80/1, 88/1, 89/2, 95/1, 96/3, 104/1, 107/2, 109/1, 110/1, 143/1, 146/3. Friedrich Weimer, Dresden-Hellerau: 65/3. W. Wolf, Wurzen: 67/2. Zentralbild, Berlin: 5/1, 6/1, 6/2, 6/3, 8/1, 14/2, 14/3, 26/1, 31/2, 31/4, 41/1, 51/1, 60/1, 63/2, 86/1, 87/1, 99/1, 100/1, 100/2, 110/2, 112/1, 115/1, 117/1, 118/2, 127/1, 130/1, 133/1, 133/2, 136/1, 139/2, 140/3, 141/2, 142/1, 142/2, 144/2, 147/3, 147/4. Physikerbildnisse: Volk und Wissen, Archiv, Berlin: Otto von Guericke.

Bei Empfang und Abgabe des Lehrbuches vom Schüler auszufüllen				
Lfd. Nr.	Name	Schuljahr	Zustand des Buches	
			bei Empfang	bei Abgabe
1		19 <u>66/67</u>	neu	
2		19 <u>67/68</u>		
3		19 <u>68/69</u>		
4		19 <u>69/70</u>		

