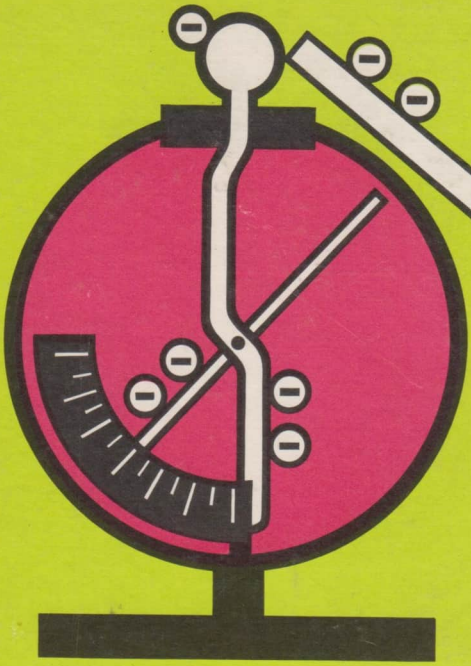
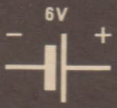


PHYSIK 8

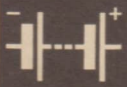
Elektrotechnische Schaltzeichen

Galvanisches Element, Akkumulator

Galvanisches Element, Akkumulator 6 V



Batterie, bestehend aus galvanischen oder Akkumulator-Elementen



Steckdose

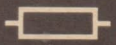
Steckdose

Buchse und Stecker

Lampe

Heizgerät

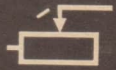
Widerstand, allgemein



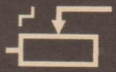
Widerstand mit 3 Anzapfungen

Widerstand, verstellbar

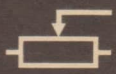
Widerstand, stetig verstellbar



Widerstand, stufig verstellbar



Spannungsteiler, verstellbar



Kreuzung von 2 Leitern ohne elektrische Verbindung

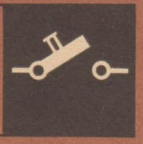
Kreuzung von 2 Leitern mit elektrischer Verbindung

Abzweigung eines Leiters

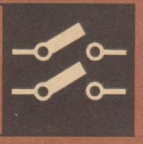
Abzweigung eines Leiters, trennbare elektrische Verbindung

Schalter, allgemein

Schalter, handbetätigt (Stellschalter)

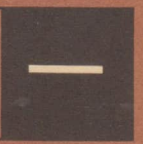


Schalter, zweipolig



Wechselstrom, Wechselspannung

Gleichstrom, Gleichspannung



Gleich- oder Wechselspannung, Gleich- oder Wechselstrom

Spannungsmesser

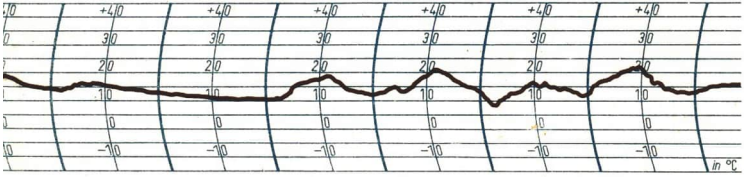
Spannungsmesser (Millivolt)

Strommesser

Strommesser (Milliampere)

PHYSIK

Lehrbuch für Klasse 8



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin

1972

Autoren:
Rolf Grabow (Wärmelehre)
Prof. Dr. Kurt Haspas (Ladung, Stromstärke, Spannung - Energie, Arbeit, Leistung)
Heinz Maguhn (Elektrischer Widerstand, Ohmsches Gesetz, Schülerexp. E 3)
Dr. Hansjoachim Lechner (Unverzweigter und verzweigter Stromkreis)
Eberhard Eichler (Schülerexperimente W 1, W 2, E 1, E 2)
Dr. Wolfgang Manthei (Schülerexperimente E 4, E 5, E 6)
in Zusammenarbeit mit der Redaktion Physik des Verlages
Dr. Rudolf Göbel (Nomogramme)
Redaktion: Werner Golm, Willi Wörstenfeld

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Schulbuch bestätigt

4. Auflage · Ausgabe 1969
Lizenz-Nr. 203 · 1000/71 (UN) · ES 11 H
Ausstattung: Manfred Behrendt
Illustrationen: Harri Förster
Technische Illustrationen: Heinrich Linkwitz
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden (III/9/1)
Gesetzt aus der Gill Grotesk
Redaktionsschluß: 15. 3. 1970
Bestell-Nr. 02 08 10-4 · Preis 1,80

Inhalt

Wärmelehre

Wärmeenergie 6

Zustandsgleichung des idealen Gases 18

Energieumwandlungen 23

Zur Wiederholung 39

Elektrizitätslehre

Regeln für den Umgang mit elektrischen Anlagen 42

Elektrische Ladung, elektrische Stromstärke, elektrische Spannung 44

Elektrische Energie, Arbeit, Leistung 62

Elektrischer Widerstand, Ohmsches Gesetz 70

Unverzweigter und verzweigter Stromkreis 80

Zur Wiederholung 96

Aufgaben

Fragen, Aufträge, Versuche 98

Schülerexperimente 115

Anhang

Lösungen 124

Nomogramme 127

Register 125

Im Lehrbuch verwendete Symbole

▼ Experimente

▶ Merksätze

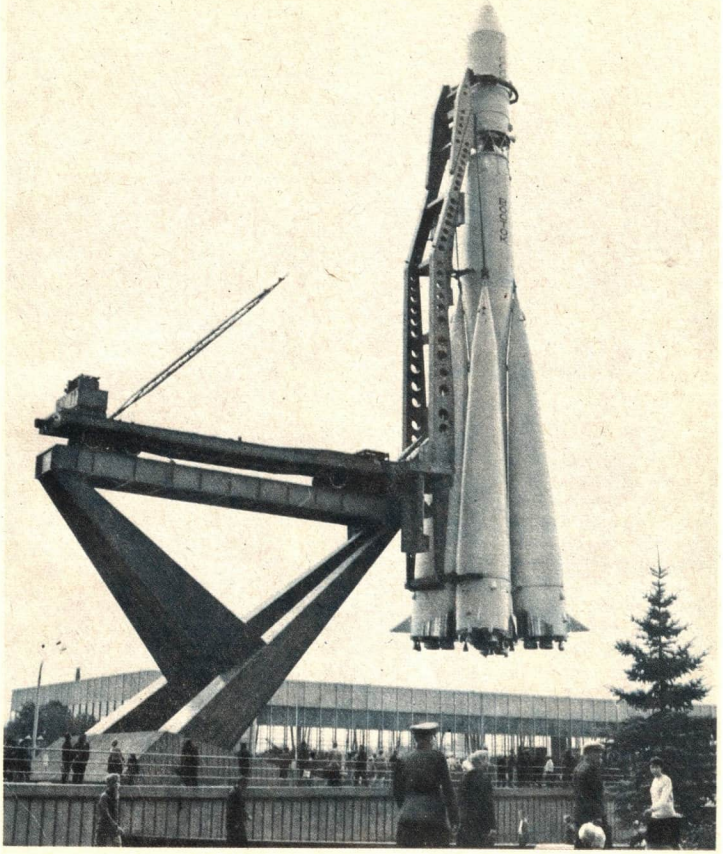
■ Beispiele

● Aufgaben

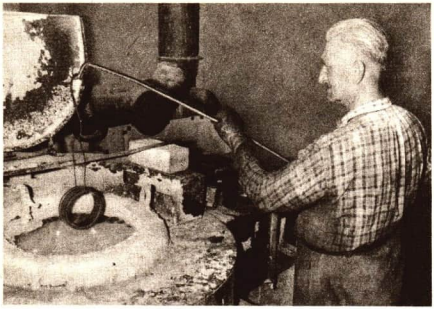
★ Aufgaben mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad

↗ siehe

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



Wärmelehre



Wärmeenergie

Werkstücke werden beim Härten in einem Härtebad abgeschreckt. Dabei kühlt sich das vorher glühende Werkstück ab, das Kühlbad erwärmt sich. Aber was bedeuten „Abkühlen" und „Erwärmen"? Was versteht man eigentlich unter dem Begriff Wärme?

Der Aufbau der Stoffe aus Atomen und Molekülen

Verschiedene physikalische und chemische Untersuchungen zeigen, daß sich Stoffe nicht beliebig weit teilen lassen. Vielmehr gibt es kleine Bausteine der Stoffe, die *Atome*. Sie sind so klein, daß sie nicht direkt beobachtet werden können. Oft treten mehrere Atome zu größeren Gebilden zusammen, die man *Moleküle* nennt. Auch diese sind winzig klein.

Bei unseren Betrachtungen in der Wärmelehre fassen wir Atome und Moleküle unter dem Begriff **Teilchen** zusammen.

Die Teilchen befinden sich in keinem der Aggregatzustände in Ruhe, sondern führen stets ungeordnete Bewegungen aus (Bild 6/2).

Im **gasförmigen Aggregatzustand** sind die Teilchen *frei beweglich* und bewegen sich im allgemeinen zickzackförmig, wobei – zwischen den Zusammenstößen der Teilchen untereinander – die Bahnen geradlinig sind.

Diese vereinfachende Feststellung gilt allerdings nur für atomare Gase. Bei molekularen Gasen (und auch bei Flüssigkeiten) treten noch andere Bewegungsformen der Teilchen auf, z. B. Drehungen der Moleküle.

Auf Grund der *fortschreitenden* Bewegung besitzen die Teilchen *kinetische* Energie, die von ihrer Masse und von ihrer Geschwindigkeit abhängt.

Die Teilchen eines Körpers im **festen Aggregatzustand** unterscheiden sich in ihrem Verhalten erheblich von den

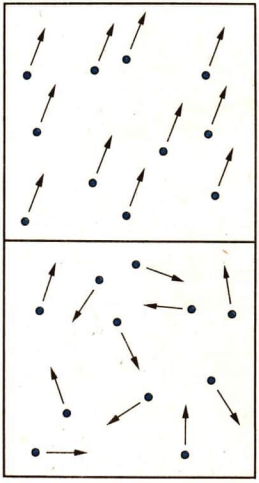


Bild 6/2 Geordnete (oben) und ungeordnete Bewegung (unten) von Teilchen

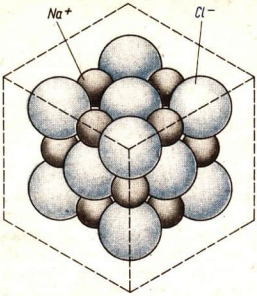


Bild 7/1 Beispiel für einen Gitteraufbau (Kochsalz). Die Kugeln stellen die elektrisch geladenen Natrium- und Chlorteilchen dar

Teilchen eines Gases: In Kristallen und kristallinen Körpern[1], dazu gehören auch die Metalle, sind die Gitterbausteine regelmäßig angeordnet; man spricht von einem *Gitteraufbau* (Bild 7/1). Der Zusammenhalt des Gitters wird durch *anziehende Kräfte* zwischen den Teilchen bewirkt. Außerdem wirken zwischen den Teilchen *abstoßende Kräfte*. Bei einem bestimmten *Gleichgewichtsabstand* der Teilchen voneinander ist die Gesamtkraft Null. Um die dadurch festgelegten Nullpunkte führen die Teilchen unregelmäßige Schwingungen aus. Sie sind also *nicht frei beweglich*, sondern verbleiben stets in einem bestimmten kleinen Bereich um diese Nullpunkte. Wie alle schwingenden Körper besitzen auch die schwingenden Teilchen *potentielle und kinetische* Energie, die sich während des Schwingungsvorganges laufend ineinander umwandeln.

Im **flüssigen Aggregatzustand** fehlt die regelmäßige Anordnung der Teilchen in Form eines Gitters, jedoch führen auch hier die Teilchen Schwingungen aus. Sie besitzen ebenfalls potentielle und kinetische Energie. Im Gegensatz zum Festkörper liegen aber die Nullpunkte, um die die Schwingungen erfolgen, nicht fest. Einzelne Teilchen können sich sprunghaft über kleinere Entfernungen verschieben.

Die bei Flüssigkeiten und Gasen auftretende fortschreitende Bewegung der Teilchen wurde durch viele Versuche nachgewiesen. Dazu gehören beispielsweise die Erscheinungen der Brownschen Bewegung und der Diffusion, die bereits in der Klasse 6 behandelt wurden.

Alle Stoffe bestehen aus Teilchen (Atome, Moleküle).
Die Teilchen sind in dauernder, ungeordneter Bewegung (fortschreitende Bewegung, Schwingung, Drehung).
In festen und flüssigen Körpern führen die Teilchen Schwingungen um ihre Nullpunkte aus.
Die Teilchen von Gasen bewegen sich nur fortschreitend (vereinfachende Annahme).
Alle Teilchen besitzen kinetische und potentielle Energie. Teilchen, die Drehungen ausführen können, besitzen außerdem Rotationsenergie.
Zwischen den Teilchen wirken anziehende und abstoßende Kräfte. Bei Gasen sind sie so gering, daß sie vernachlässigt werden können.

[1] Die Kristalle sind bei diesen Körpern mikroskopisch klein.

Temperatur und Teilchenbewegung

In der Physik haben bestimmte Wörter der Umgangssprache eine besondere Bedeutung, wie wir es schon am Beispiel des Wortes *Arbeit* in Klasse 7 kennenlernten. Das gilt z. B. auch für das Wort *Zustand*. Unter dem **Zustand eines Körpers** versteht man in der Physik alle meßbaren Eigenschaften des Körpers bzw. des Stoffes, aus dem der Körper besteht. Solche meßbaren Eigenschaften sind beispielsweise der Druck, die Dichte, das Volumen usw. Man nennt derartige Größen **Zustandsgrößen.**

In der Wärmelehre werden wir sehr oft eine weitere Zustandsgröße, die *Temperatur*, benutzen.

● *Welche Meßgeräte zur Bestimmung der Temperatur kennst du?*

Es soll untersucht werden, welche Zusammenhänge zwischen der Teilchenbewegung und der Temperatur bestehen. Dazu führen wir einen Diffusionsversuch durch.

1 ▼ Zwei flache Schalen enthalten etwa 1 cm hoch Wasser unterschiedlicher Temperatur. Aus einer Pipette lassen wir vorsichtig jeweils einen etwa gleich großen Tropfen Kaliumpermanganatlösung am Schalenrand in die Flüssigkeit gleiten. Wir beobachten, wie lange es dauert, bis sich die violette Färbung in der gesamten Flüssigkeit ausgebreitet hat.

Man erkennt, daß sich in der Flüssigkeit mit der höheren Temperatur die Färbung schneller ausbreitet. Dieses Versuchsergebnis kann nur so gedeutet werden, daß die Teilchenbewegung bei höherer Temperatur schneller ist.
Das gleiche Ergebnis liefern auch Versuche zur Brownschen Bewegung bei unterschiedlichen Temperaturen (Bild 8/1) und Diffusionsversuche in Gasen.
Mit Hilfe besonderer Versuchsanordnungen gelang es Wissenschaftlern, die Geschwindigkeit von Gasteilchen zu messen (Bild 8/2). Es zeigte sich, daß die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen bei höherer Temperatur größer ist.
Diese und andere Beobachtungen stehen in Übereinstimmung mit einer Theorie, die verschiedene Wärmeerscheinungen mit der Teilchenbewegung verknüpft. Wir wollen diese **kinetische Wärmetheorie** zuerst auf ein Gas anwenden.
Es wurde bereits gesagt, daß sich die Gasteilchen in dauernder, ungeordneter Bewegung befinden. Ihre Geschwindigkeiten sind unterschiedlich, daher unterscheiden sich auch die kinetischen Energien der Teilchen. Wegen der unvor-

Bild 8/1 Fettkügelchen von verdünnter Milch unter dem Mikroskop. Die Brownsche Bewegung wird heftiger, wenn die Temperatur der Flüssigkeit zunimmt

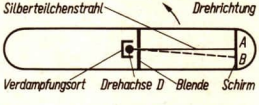


Bild 8/2 In einem luftleer gepumpten Glasgefäß, das sich sehr schnell um eine Achse D drehen kann, wird in D Silber verdampft. Die Gasteilchen bewegen sich als Silberteilchenstrahl mit einer Geschwindigkeit von 600 $\frac{m}{s}$ geradlinig nach einem (mitdrehbaren) Schirm. Dreht sich das Gefäß, so verschiebt sich die Auftreffstelle von A nach B. Warum? Aus der Drehzahl, den Entfernungen $\overline{DA}$ und $\overline{DB}$ kann die Geschwindigkeit der Silbermoleküle berechnet werden

stellbar großen Anzahl der Teilchen – schon in einem Kubikzentimeter eines Gases sind etwa 10^{19} Teilchen vorhanden[1] – stoßen sie sehr oft miteinander zusammen.
Beim Zusammenstoß von zwei Teilchen wird Energie von einem Teilchen auf das andere übertragen. Die *Summe der kinetischen Energie* beider Teilchen ist aber auch nach dem Zusammenstoß genauso groß wie vorher, nur ihre Verteilung auf die beiden Teilchen hat sich geändert.
Diese für zwei Teilchen gültige Betrachtung läßt sich auf die Gesamtheit der Gasteilchen übertragen: Solange die Temperatur des Gases konstant ist, bleibt die Summe der kinetischen Energien aller Teilchen unverändert.
Teilt man die gesamte kinetische Energie *aller* Teilchen des Gases durch die Anzahl der vorhandenen Teilchen, so ergibt sich eine **mittlere kinetische Energie.**
Wird das Gas (↗ S. 21) erwärmt, so bewegen sich die Teilchen mit größerer Geschwindigkeit. Es wächst die gesamte kinetische Energie aller Teilchen und damit auch die mittlere kinetische Energie.
Aus Klasse 6 ist uns andererseits bekannt, daß bei der Erwärmung eines Gases dessen Temperatur steigt.
Zwischen der mittleren kinetischen Energie der Teilchen und der Temperatur muß demnach ein Zusammenhang bestehen.
Wir kommen daher zu folgender Schlußfolgerung:
Nimmt die mittlere kinetische Energie der Teilchen eines Gases zu, so steigt die Temperatur des Gases. Die Temperatur sinkt, wenn die mittlere kinetische Energie abnimmt.

> Die Zustandsgröße Temperatur kennzeichnet die mittlere kinetische Energie der Teilchen.

Dieser Zusammenhang gilt nicht nur für Gase, sondern auch für Flüssigkeiten und Festkörper. Bei ihnen bedeutet eine Temperaturerhöhung die Vergrößerung der Schwingungsenergie der Teilchen.

> Die Änderung der Zustandsgröße Temperatur eines Körpers kennzeichnet die Änderung der mittleren kinetischen Energie seiner Teilchen.

[1] „Zählt" man in jeder Sekunde eine Million solcher Teilchen, so braucht man für die „Gesamtzählung" etwa 300000 Jahre!

Die Wärmemenge

Die kinetische Energie der Teilchen eines Körpers kann auf verschiedene Weise vergrößert werden. Am einfachsten geschieht es dadurch, daß man den Körper mit einem anderen Körper in Berührung bringt, dessen Teilchen eine größere kinetische Energie besitzen.

Die Teilchen der Flammengase eines Bunsenbrenners haben eine größere kinetische Energie als die Teilchen einer Metallkugel, die man in die Flamme hineinbringt. Es wird daher kinetische Energie von den Teilchen der Flammengase auf die Metallteilchen übertragen. Die Temperatur ϑ der Kugel steigt.[1]
Mit einem an das elektrische Netz angeschlossenen Tauchsieder kann man die kinetische Energie von Wasserteilchen vergrößern.

Früher glaubte man, daß die Wärme ein Stoff sei, der von einer Wärmequelle oder einem anderen Körper abgegeben und von dem zu erwärmenden Körper aufgenommen wird. Obwohl diese Ansicht falsch ist, sagt man beispielsweise noch heute: „Der Tauchsieder gibt an das Wasser eine bestimmte Wärmemenge ab." Da sich das Wort Wärmemenge in der Physik eingebürgert hat, werden wir es weiterhin benutzen.

Beachte: Einen Körper *erwärmen*, ihm eine *Wärmemenge zuführen*, heißt also stets: dem Körper wird *Energie zugeführt*. Umgekehrt bedeutet *abkühlen*, ihm eine *Wärmemenge entziehen*, stets: Der Körper gibt *Energie* an einen oder mehrere andere Körper ab. *Wärmemenge und Wärmeenergie sind also gleichwertige Begriffe.*

Die **Wärmemenge** kann als Energieart in den uns schon bekannten *Energieeinheiten* gemessen werden, also in **Kilopondmeter (kpm)** oder in **Wattsekunden (Ws).** In der Wärmelehre benutzt man oft noch eine andere Einheit, **die Kalorie (cal).**

1 cal = 4,187 Ws = 0,427 kpm
1 Ws = 0,239 cal = 0,102 kpm
1 kpm = 2,34 cal = 9,81 Ws
Eine größere Einheit ist die **Kilokalorie (kcal).**
1 kcal = 1 000 cal

[1] Um Verwechslungen mit der Zeit t auszuschließen, wird die in °C gemessene Temperatur mit ϑ (theta, griech. Buchstabe) bezeichnet. Ist die Anfangstemperatur ϑ_1, die Endtemperatur ϑ_2, so ergibt die Differenz $\vartheta_2 - \vartheta_1 = \Delta\vartheta$ (lies: delta theta) die Temperaturänderung (delta, griech. Buchstabe, Abkürzung für Differenz).

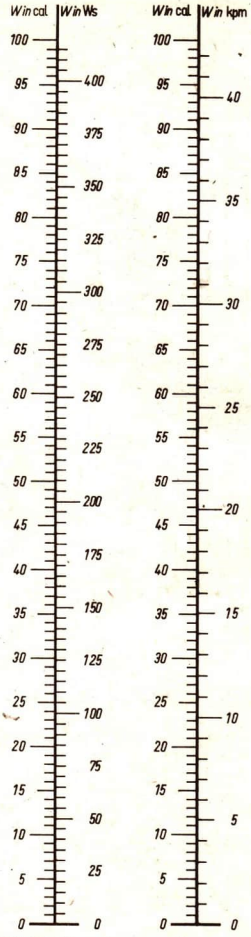


Bild 10/1 Umrechnung von Kalorien in Wattsekunden und Kilopondmeter und umgekehrt

Die Grundgleichung der Wärmelehre

Auch an den wärmsten Sommertagen ist im Schwimmbad die Wassertemperatur niedriger als etwa die Temperatur der Betoneinfassung oder der Holzplanken. Das hast du sicherlich schon selbst einmal festgestellt. Kannst du dafür eine Erklärung geben?
Um die hier vorliegenden Gesetzmäßigkeiten zwischen der einem Körper zugeführten Wärmemenge und der dadurch verursachten Temperaturzunahme aufzudecken, führen wir einige Versuche durch.

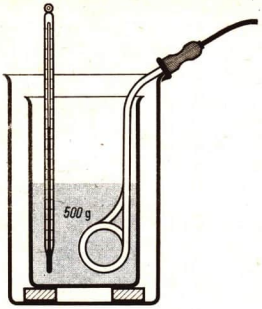


Bild 11/1 Versuchsanordnung zur Grundgleichung der Wärmelehre

2

In einem Becherglas, das zur besseren Wärmeisolierung auf Korkscheiben in ein zweites, größeres Glas gesetzt wurde, erwärmen wir 500 g Wasser mit einem Tauchsieder (Bild 11/1). Die Temperatur des Wassers messen wir nach jeweils 30 s. Durch eine vorherige Leistungsbestimmung ist bekannt, daß der Tauchsieder in jeder Sekunde eine Wärmemenge von 65 cal abgibt. Die Versuchsergebnisse werden tabellarisch und grafisch dargestellt (Tabelle 1 und Bild 11/2).

Tabelle 1:
Beispiel einer Meßreihe

Masse m des Wassers in g	Zeit t in s	abgegebene Wärmemenge W_w in cal	Temperatur ϑ in C	Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ in grd	W_w in $\frac{cal}{\Delta\vartheta}$ in $\frac{cal}{grd}$ (gerundete Werte)
500	0	0	18,0	—	—
500	30	1 950	21,6	3,6	542
500	60	3 900	25,1	7,1	549
500	90	5 850	28,8	10,8	542
500	120	7 800	32,2	14,2	550
500	150	9 750	35,8	17,8	549
500	180	11 700	39,5	21,5	544

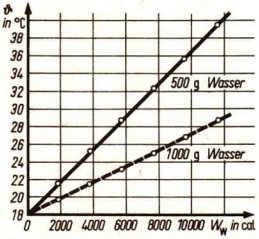


Bild 11/2 Grafische Darstellung der Meßergebnisse aus Versuch 2 (ausgezogene Kurve) und Versuch 3 (gestrichelte Kurve)

Die letzte Spalte der Tabelle 1 und der geradlinige Verlauf der ausgezogenen Kurve in Bild 11/2 zeigen: Die zugeführte Wärmemenge W_w und die Temperaturzunahme $\Delta\vartheta$ bei *konstanter Masse des Körpers* sind einander proportional:

$W_w \sim \Delta\vartheta$, für $m =$ konstant.

Mit der Teilchenvorstellung finden wir durch Überlegung das gleiche Ergebnis: Je länger der Tauchsieder angeschlossen ist, um so mehr Energie wird auf die Wasserteilchen übertragen. Deren mittlere kinetische Energie nimmt daher zu; die Temperatur steigt.

3

Führt man den Versuch 2 mit 1 000 g Wasser, also der doppelten Masse des gleichen Stoffes durch, so erhält man andere Werte. Die entsprechende Kurve wurde gestrichelt in Bild 11/2 eingezeichnet.

Ein Vergleich der beiden Kurven zeigt, daß zur gleichen Temperaturerhöhung bei doppelter Masse des zu erwärmenden Körpers die doppelte Wärmemenge zugeführt werden muß. Weitere Versuche mit anderen Wassermassen führen zu folgendem Ergebnis:

Bei *gleicher Temperaturerhöhung* ist die zugeführte Wärmemenge W_w proportional der Masse m des erwärmten Körpers:

$W_w \sim m$, für $\Delta\vartheta$ = konstant.

Auch hier ermöglicht die Teilchenvorstellung eine Erklärung: 1 000 g Wasser enthalten die doppelte Anzahl Wasserteilchen wie 500 g Wasser. Die zugeführte Energie verteilt sich daher auf die doppelte Anzahl Teilchen. Die mittlere kinetische Energie der Teilchen (und damit die Temperatur) hat deshalb nur um den halben Betrag zugenommen wie bei 500 g Wasser. Um die gleiche Temperaturerhöhung zu erreichen, muß die *doppelte* Wärmemenge zugeführt werden.

Beide Aussagen lassen sich zu folgender Proportionalität zusammenfassen:

$W_w \sim m \cdot \Delta\vartheta$.

Schließlich soll noch untersucht werden, ob der Stoff einen Einfluß auf die Temperaturänderung hat.

4 ▼ Mit der gleichen Versuchsanordnung wie im Versuch 2 werden 500 g Maschinenöl erwärmt. Die Tabelle 2 enthält einige Werte in Gegenüberstellung zu Werten aus Versuch 2.

Tabelle 2:
Beispiel einer Meßreihe

zugeführte Wärmemenge W_w in cal	erreichte Temperatur von 500 g	
	Öl in °C	Wasser in °C
0	18,0	18,0
1 950	48,0	21,6
3 900	55,8	25,1
5 850	63,7	28,8
7 800	71,5	32,2

Obwohl gleiche Wärmemengen zugeführt wurden und auch die Massen gleich sind, ist die Temperatur des Öls mehr angestiegen als die des Wassers. Offensichtlich hat der Stoff auch noch einen Einfluß auf die Temperaturänderung.

Fügt man in die Proportionalität $W_w \sim m \cdot \Delta\vartheta$ den Proportionalitätsfaktor c ein, so lassen sich die in den Versuchen 2 bis 4 ermittelten Gesetzmäßigkeiten in der **Grundgleichung der Wärmelehre** zusammenfassen. Sie gilt nicht nur, wenn einem Körper eine Wärmemenge zugeführt wird, sondern auch, wenn der Körper an die Umgebung eine Wärmemenge abgibt und sich dadurch abkühlt.

▶ Die einem Körper zugeführte oder von einem Körper abgegebene Wärmemenge W_w ist der Masse m des Körpers und der Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ proportional.	$W_w = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

Der Faktor c in der Gleichung heißt **spezifische Wärme.**[1]

Die *Einheit der spezifischen Wärme* erhält man aus der Grundgleichung der Wärmelehre, wenn diese nach c aufgelöst wird.

$$c = \frac{W_w}{m \cdot \Delta\vartheta}.$$

Mißt man die Wärmemenge in Kalorien (cal), die Masse in Gramm (g) und die Temperaturänderung in Grad (grd), so folgt für die Einheit der spezifischen Wärme

$$\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$$

(lies: *Kalorien je Gramm und Grad!*).

Tabelle 3:
Spezifische Wärme einiger Stoffe

Stoff	spezifische Wärme c (gerundete Werte) in $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$
Wasser	1,00
Eis	0,50
Maschinenöl	0,45
Kupfer	0,09

Die spezifische Wärme ändert sich mit der Temperatur des Körpers. In vielen Fällen kann man jedoch mit einem Durchschnittswert rechnen, wenn die Temperaturdifferenzen nicht zu groß sind. Die Tabelle 3 enthält die spezifischen Wärmen einiger Stoffe. Auffällig ist besonders die große spezifische Wärme von Wasser.

Lies zur Bedeutung der spezifischen Wärme des Wassers auf Seite 100, Aufgabe 35 nach!

Die Grundgleichung der Wärmelehre ermöglicht bei bekannter spezifischer Wärme, Masse und Temperaturänderung das Berechnen der Wärmemengen, die einem Körper zugeführt oder von ihm abgegeben werden.

Welche Wärmemenge ist notwendig, um 500 g Kupfer von 20 °C auf 800 °C zu erwärmen? Gib das Ergebnis auch in Wattsekunden an!

Gegeben:

$m = 500\ \text{g}$

$c = 0{,}09\ \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$

$\Delta\vartheta = 780\ \text{grd}$

Gesucht:

W_w

Lösung:

$W_w = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

$W_w = 0{,}09\ \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}} \cdot 500\ \text{g} \cdot 780\ \text{grd}$

$W_w = 35\,100\ \text{cal}$

$W_w = 35{,}1\ \text{kcal}$

$W_w \approx 147\,000\ \text{Ws}$

Die benötigte Wärmemenge beträgt 35,1 kcal ≈ 147 000 Ws.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 98, Nr. 1 bis 15

Der Wärmeaustausch

Soll eine heiße Speise schnell abgekühlt werden, so stellt man den Topf in eine größere Schüssel mit kaltem Wasser. Nach einiger Zeit hat sich der Topf mit der Speise abgekühlt. Das Wasser und die Schüssel sind dagegen wärmer gewor-

[1] Hier soviel wie arteigen, dem Stoff eigentümlich.

den. Dieser Vorgang dauert so lange an, bis alle beteiligten Körper die gleiche Temperatur angenommen haben. Man spricht von einem **Wärmeaustausch**[1] zwischen Körpern. Er tritt stets auf, wenn sich Körper unterschiedlicher Temperatur berühren.

Der Wärmeaustausch läßt sich mit der Teilchenvorstellung erklären (↗ S. 10): Durch die Berührung der beiden Körper wird kinetische Energie der Teilchen des Körpers mit der höheren Temperatur auf die Teilchen des Körpers mit der niederen Temperatur übertragen. Es wäre durchaus denkbar, daß der Körper niederer Temperatur Energie an den wärmeren Körper abgibt und sich abkühlt, während die Temperatur des wärmeren Körpers steigt. Ein solcher Vorgang würde dem Energieerhaltungssatz (↗ S. 29) nicht widersprechen; er wurde aber noch nie beobachtet. Man kann deshalb einen durch die Erfahrung bisher immer bestätigten Satz aufstellen:

> Der Wärmeaustausch zwischen zwei Körpern unterschiedlicher Temperatur erfolgt von selbst immer so, daß sich der Körper höherer Temperatur abkühlt und der Körper niederer Temperatur erwärmt.

Da die Wärmemenge eine Energieart ist, könnte man auf Grund des Energieerhaltungssatzes, den wir in der Klasse 7 behandelt haben, folgendes vermuten: Beim Wärmeaustausch nimmt der eine Körper die gleiche Wärmemenge (Energie!) auf, die der andere abgibt. Wir überprüfen diese Annahme durch einen Versuch:

5 ▼ In einem Becherglas befinden sich 250 g Wasser mit der Temperatur $\vartheta_1 = 14\,°C$. Wir gießen 400 g Wasser mit der Temperatur $\vartheta_2 = 36\,°C$ hinzu, rühren gut um (warum?) und messen die Mischungstemperatur ϑ_m. Sie sei beispielsweise 27 °C.

Durch Rechnung erhalten wir die vom wärmeren Wasser abgegebene Wärmemenge:

[1] Der Ausdruck „Austausch" stammt noch aus der Zeit, in der man zwischen „Wärme" und „Kälte" unterschied. (Es wurden „Wärme" und „Kälte" ausgetauscht.) – In Wirklichkeit erfolgt nur ein Energieübergang in einer Richtung.

Gegeben:

$m_2 = 400\ g$
$\vartheta_2 = 36\ °C$
$\vartheta_m = 27\ °C$
$c = 1\ \frac{cal}{g \cdot grd}$

Gesucht:

W_{w_2}

Lösung:

$W_{w_2} = c \cdot m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_m)$

$W_{w_2} = 1\ \frac{cal}{g \cdot grd} \cdot 400\ g \cdot 9\ grd$

$W_{w_2} = 3\,600\ cal$

Die vom wärmeren Wasser abgegebene Wärmemenge beträgt 3 600 cal.

Entsprechend ergibt sich die vom kälteren Wasser aufgenommene Wärmemenge:

Gegeben:

$m_1 = 250\ g$
$\vartheta_1 = 14\ °C$
$\vartheta_m = 27\ °C$

Gesucht:

W_{w_1}

Lösung:

$W_{w_1} = c \cdot m_1 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_1)$

$W_{w_1} = 1\ \frac{cal}{g \cdot grd} \cdot 250\ g \cdot 13\ grd$

$W_{w_1} = 3\,250\ cal$

Die vom kälteren Wasser aufgenommene Wärmemenge beträgt 3 250 cal.

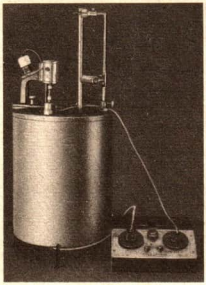
Ein Vergleich beider Werte zeigt, daß die aufgenommene Wärmemenge nur *annähernd* gleich der abgegebenen Wärmemenge ist. Das ist jedoch kein Widerspruch zu der eingangs geäußerten Vermutung. Wir ließen bei der Rechnung außer acht, daß nicht nur zwei Wassermengen am Wärmeaustausch beteiligt waren. Auch das Becherglas, das Thermometer und die umgebende Luft wurden erwärmt. Die dazu notwendige Wärmemenge betrug in unserem Beispiel 350 cal.

Das **Grundgesetz des Wärmeaustausches** erhält folgende allgemeine Fassung:

Beim Wärmeaustausch zwischen zwei oder mehreren Körpern ist die aufgenommene Wärmemenge gleich der abgegebenen Wärmemenge.	$W_{w_1} = W_{w_2}$

Man kann dieses Gesetz beispielsweise dazu benutzen, um die aus Brennstoffen frei werdende Wärmemenge zu ermitteln oder um die unbekannte spezifische Wärme eines Körpers zu bestimmen.

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 99, Nr. 16 bis 21
Schülerexperimente W 1 und W 2



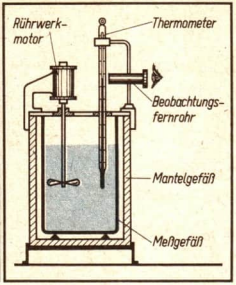


Bild 16/1 Kalorimeter. In einem Mantelgefäß befindet sich ein zweites Gefäß, das Meßgefäß. Der Wärmeaustausch zwischen Meßgefäß und Umgebung wird durch den Luftmantel zwischen den Gefäßen und durch den Deckel weitgehend gemindert

Damit bei solchen Messungen nur möglichst geringe Wärmemengen an die Umgebung abgegeben werden – andernfalls würden die Ergebnisse stark verfälscht –, verwendet man als Gefäße besondere **Kalorimeter**[1] (Bild 16/1). Gut eignen sich auch Thermosgefäße (Bild 16/2).

Bild 16/2 Thermosgefäße. Der fast luftleer gepumpte Raum zwischen den Gefäßwandungen isoliert noch besser als ein Luftmantel. Durch Verspiegeln der Innen- und Außenwandungen wird auch der Einfluß der Wärmestrahlung gering gehalten. Was weißt du über die Wärmeleitfähigkeit von Glas?

Innere Energie, Wärmemenge und absolute Temperatur

Bisher wurde als Energie der Teilchen eines Stoffes nur die kinetische Energie berücksichtigt. Im allgemeinen besitzen aber die Teilchen noch andere Energieformen, beispielsweise potentielle Energie. Moleküle, die Drehungen ausführen, verfügen außerdem über Rotationsenergie.

Die gesamte Energie, die die *Teilchen* eines Körpers bei einer bestimmten Temperatur besitzen, heißt die **innere Energie** W_i des Körpers. Sie charakterisiert den Energiezustand des Körpers.

Die potentielle und kinetische Energie, die ein Körper (nicht seine Teilchen!) besitzt, trägt zur inneren Energie nicht bei. So hängt z. B. die innere Energie einer Schraubenfeder bestimmter Temperatur nicht davon ab, ob die Feder gespannt oder entspannt ist, ob sie auf dem Tisch liegt oder ob sie sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt.

Wärmemenge, innere Energie und Temperatur müssen begrifflich streng getrennt werden, da sie unterschiedliche Bedeutung besitzen:

[1] cálor (lat.): warm; métron (griech.): Maß

Innere Energie W_i: *Summe der Energien aller Teilchen* eines Körpers (potentielle Energie der Teilchen, kinetische Energie der Teilchen, Rotationsenergie der Teilchen).

Wärmemenge W_w: Gesamte dem Körper *zugeführte* oder von ihm *abgegebene Wärmeenergie*.

Temperatur ϑ: Sie ist keine Energie, sondern kennzeichnet die *mittlere kinetische Energie* der Teilchen. Daher kann der Begriff Temperatur auf ein einzelnes Teilchen nicht angewendet werden. Je größer die mittlere kinetische Energie ist, um so höher ist die Temperatur des Körpers.

Gibt ein fester Körper an die Umgebung eine Wärmemenge ab, so sinkt seine Temperatur – die mittlere kinetische Energie der Teilchen nimmt ab. Es ist denkbar, daß die mittlere kinetische Energie der Teilchen bei fortdauernder Energieabgabe schließlich Null wird. (Die innere Energie wird dabei nicht Null, da sie neben der kinetischen Energie noch andere Energieformen enthält.) Die Temperatur, bei der das der Fall ist, wäre nach unserer Deutung der Temperatur die überhaupt tiefstmögliche. Die Physiker berechneten für diese Temperatur einen Wert von – 273,15 °C und benutzten ihn als Anfangspunkt einer Temperaturskale, die nach einem englischen Gelehrten *Kelvinskale* genannt wird. Nach dieser Skale angegebene Temperaturen heißen **absolute Temperaturen** oder *Kelvin-Temperaturen*. Ihre Einheit ist der **Grad Kelvin (°K).** Bei der Kelvinskale gibt es nur positive Temperaturangaben. Der Anfangspunkt 0 °K (– 273,15 °C) heißt **absoluter Nullpunkt.** Für Umrechnungen beider Skalen ineinander benutzt man die nebenstehenden Gleichungen.[1] Es bedeuten: T ... Formelzeichen für Kelvin-Temperatur, ϑ ... Formelzeichen für Celsius-Temperatur.

$$\frac{T}{°K} = \frac{\vartheta}{°C} + 273$$

$$\frac{\vartheta}{°C} = \frac{T}{°K} - 273$$

Welcher Kelvin-Temperatur entsprechen — 25 °C?

Gegeben:

$\vartheta = -25\ °C$

Gesucht:

T

Lösung:

$$\frac{T}{°K} = \frac{\vartheta}{°C} + 273$$

$$\frac{T}{°K} = \frac{-25\ °C}{°C} + 273$$

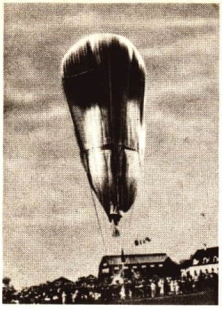
$$\frac{T}{°K} = -25 + 273 = 248$$

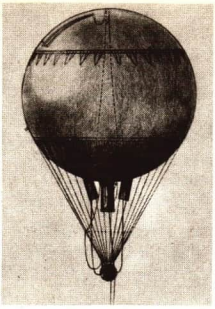
$$T = 248\ °K$$

Der Celsius-Temperatur — 25 °C entspricht die Kelvin-Temperatur 248 °K.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 99 und 100, Nr. 22 bis 34

[1] Bildet man den Quotienten aus einer physikalischen Größe und ihrer Einheit, so erhält man den Zahlenwert dieser Größe. Statt 273,15 setzen wir vereinfachend 273!





Zustandsgleichung des idealen Gases

Noch vor 30 Jahren waren Ballonaufstiege die einzige Möglichkeit, um wissenschaftliche Untersuchungen in größeren Höhen vorzunehmen. Das linke Bild zeigt einen Stratosphärenballon vor dem Aufstieg. Die birnenförmige Gestalt läßt erkennen, daß noch Füllgas in die Hülle gedrückt werden könnte. In größeren Höhen nimmt der Ballon Kugelgestalt an (rechtes Bild). Wie läßt sich dieser Sachverhalt erklären?

Die Ausdehnung fester und flüssiger Körper

Führen wir einem Körper eine Wärmemenge zu, so können verschiedene Veränderungen des Körpers erfolgen. Eine derartige Veränderung ist beispielsweise die Ausdehnung.

6 ▼ Bei Zimmertemperatur fällt die Eisenkugel durch die Bohrung hindurch. Erwärmt man die Kugel in der Flamme eines Bunsenbrenners, so paßt sie nicht mehr durch die Bohrung (Bild 18/2). Der Kugeldurchmesser und damit auch das Volumen sind größer geworden.

Bild 18/2 Ausdehnung eines festen Körpers durch Erwärmung

Vielfältige Untersuchungen haben ergeben:

> Bei den meisten festen Körpern vergrößert sich beim Erwärmen das Volumen; sie dehnen sich aus. Beim Abkühlen verringert sich das Volumen.

7 ▼ Ein Glaskolben, der mit einem Steigrohr versehen ist, wird mit Petroleum gefüllt und in Wasser höherer Temperatur getaucht. Das Volumen der Flüssigkeit vergrößert sich, was man an dem Emporsteigen des Petroleums im Steigrohr erkennt (Bild 18/3).

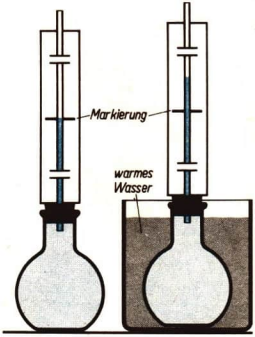


Bild 18/3 Ausdehnung einer Flüssigkeit durch Erwärmung

Mit einer Ausnahme (Wasser im Bereich von 0 °C bis 4 °C, ↗ S. 102, Aufgabe 41) gilt für alle Flüssigkeiten:

> Flüssigkeiten vergrößern beim Erwärmen ihr Volumen, sie dehnen sich aus. Beim Abkühlen verringern sie ihr Volumen.

Die Ausdehnung der festen und flüssigen Körper ist darauf zurückzuführen, daß durch die Energiezufuhr die Gleichgewichtsabstände der Teilchen (↗ S. 7) vergrößert werden. Dabei wird Arbeit verrichtet.

Gase und ihre Zustandsgrößen

In einer Werkstatt stehen zwei Sauerstoffflaschen mit einem Fassungsvermögen von je 40 l. Die eine Flasche wurde schon längere Zeit beim Schweißen benutzt, die andere kurz vorher neu gefüllt.

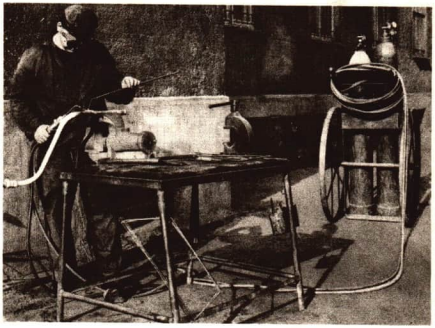


Bild 19/1

Die Angaben über die Gase in den Flaschen
(**Volumen** = 40 l, **Temperatur** = 20 °C)
reichen zur eindeutigen Kennzeichnung des Zustandes der Gase nicht aus. Die Gase unterscheiden sich, wie die Manometer anzeigen, auch in der *Zustandsgröße* **Druck**.

> Druck, Volumen und Temperatur bestimmen eindeutig den Zustand eines Gases.

Die Zustandsgrößen Druck p, Volumen V und absolute Temperatur T sind voneinander abhängig. Ändert sich eine der Größen, so ändert sich auch mindestens eine der anderen Zustandsgrößen, wie folgender Versuch zeigt.

8 In einem wassergefüllten Gefäß befindet sich eine Blechdose, die auf der einen Seite durch eine Gummimembran abgeschlossen ist. Der Druck, unter dem die in der Dose abgeschlossene Luft steht, wird mit Hilfe eines Manometers bestimmt (Bild 20/1). Beim Erwärmen des Wassers dehnt sich die Luft in der Dose aus, wie die Durchwölbung der Gummimembran erkennen läßt. Außerdem nimmt der Druck der eingeschlossenen Gasmenge zu.

Vergleiche auch Aufgabe 58, Seite 104!

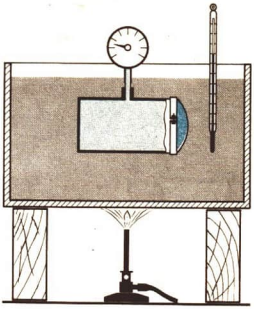


Bild 20/1

Durch vielfältige Untersuchungen wurde festgestellt, daß bei Änderungen des Zustandes eines Gases die Zustandsgrößen einem Gesetz folgen: Man bezeichnet dieses Gesetz als allgemeine Zustandsgleichung für das ideale Gas.

Bei einer abgeschlossenen Gasmenge ist das Produkt aus Druck und Volumen, dividiert durch die absolute Temperatur, konstant.	$\frac{p \cdot V}{T} =$ konstant

Kennzeichnet man durch den Index 1 den Anfangszustand und durch den Index 2 den Endzustand des idealen Gases, so kann man auch schreiben:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}.$$

Das *ideale Gas* gibt es in Wirklichkeit nicht, denn es ist dadurch gekennzeichnet, daß die Gasteilchen kein Eigenvolumen haben. Außerdem sollen zwischen den Teilchen keine Kräfte wirken.

Die wirklich vorkommenden Gase verhalten sich aber bei Temperaturen weit oberhalb der Verflüssigungstemperatur und bei niedrigen Drücken annähernd wie das ideale Gas.

Man kann deshalb die allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases in vielen Fällen in der Praxis anwenden. Dabei muß jedoch stets – wie bei allen anderen physikalischen Gesetzen – der *Gültigkeitsbereich* beachtet werden.

Bild 20/2 Louis Joseph Gay-Lussac (1778 bis 1850), Professor der Chemie in Paris. Er fand 1816 wichtige Gesetzmäßigkeiten zwischen Temperatur und Druck, bzw. Temperatur und Volumen der Gase. Diese Gay-Lussacschen Gesetze und das Boylsche Gesetz sind als Sonderfall in der allgemeinen Zustandsgleichung des idealen Gases enthalten (↗ S. 22).

Gib den Gültigkeitsbereich des Satzes von der Erhaltung der mechanischen Energie an!

Eine Gasflasche mit einem Fassungsvermögen von 40 l wurde bei einer Temperatur von 18 °C mit Sauerstoff unter einem Druck von 150 at gefüllt. Wieviel Liter Sauerstoff mit einem Druck von 2 at würden bei einer Temperatur von 23 °C verfügbar sein?

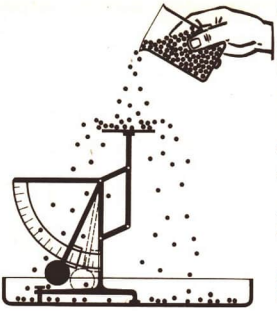


Bild 21/1 Modellversuch zum Gasdruck. Durch die Stöße der herabfallenden Schrotkugeln zeigt die Waage einen etwa gleichbleibenden Ausschlag

Gegeben:

$p_1 = 150$ at
$p_2 = 2$ at
$V_1 = 40$ l
$T_1 = 291$ °K
$T_2 = 296$ °K

Gesucht:

V_2

Lösung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2}$$

$$V_2 = \frac{150 \text{ at} \cdot 40 \text{ l} \cdot 296 \text{ °K}}{291 \text{ °K} \cdot 2 \text{ at}}$$

$$\underline{\underline{V_2 \approx 3\,052 \text{ l}}}$$

Bei einem Druck von 2 at und einer Temperatur von 23 °C sind etwa 3052 l Sauerstoff verfügbar.

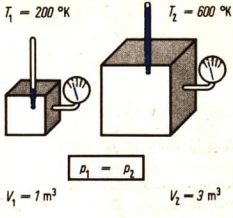
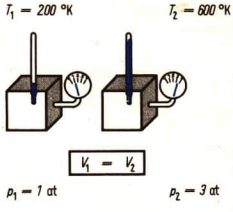
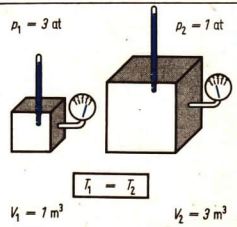
Den gesetzmäßigen Zusammenhang der Zustandsgrößen Druck, Volumen und Temperatur einer abgeschlossenen Gasmenge kann man mit der Teilchenvorstellung erklären:
Da sich das Gas in einem abgeschlossenen Raum befindet, stoßen die sich unregelmäßig bewegenden Teilchen nicht nur untereinander zusammen, sondern auch auf die Gefäßwände. Wir nehmen an, daß eine Gefäßwand als „Kolben" verschiebbar sei. Ein einzelnes Teilchen würde wegen seiner winzig kleinen Masse überhaupt keine meßbare Wirkung auf den Kolben ausüben. Auf die Kolbenfläche prallen aber gleichzeitig sehr viele Teilchen, so daß dadurch eine meßbare Kraft auftritt (Bild 21/1).
Den Quotienten aus der auf den Kolben wirkenden Kraft und der Kolbenfläche bezeichnen wir bekanntlich als Druck. Wir können also sagen: Das Gas hat den Druck p.
Erhöht man die Temperatur des Gases, so stoßen die Teilchen mit größerer Geschwindigkeit auf die Gefäßwände. Bei gleichbleibendem Volumen erhöht sich deshalb der Druck. Wird die Temperatur konstant gehalten, jedoch das dem Gas zur Verfügung stehende Volumen vergrößert, so treffen in einer bestimmten Zeit nicht mehr so viele Teilchen gegen die Wandungen: der Druck nimmt daher ab.

Spezialfälle der allgemeinen Zustandsgleichung

Bei manchen Zustandsänderungen von Gasen ist eine der drei Größen p, V oder T konstant. Die allgemeine Zustandsgleichung nimmt in diesen Fällen eine einfachere Form an. Bleibt der Druck konstant, so heißt diese Zustandsänderung *isobar*[1]. Bei der *isochoren*[2] Zustandsänderung bleibt das Volumen unverändert. Schließlich kann auch die Temperatur konstant sein. Diese Zustandsänderung heißt *isotherm*[3].

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 101, Nr. 36 bis 58

[1] isos (griech.): gleich; barys (griech.): schwer
[2] choros (griech.): Raum
[3] thermós (griech.): warm

Zustandsänderung	Herleitung	spezielles Gesetz	Bild
Isobare Zustandsänderung $p_1 = p_2 = p =$ konstant	$\frac{p \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2}$ Division durch p: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$V_1 : V_2 = T_1 : T_2$ Bei isobaren Zustandsänderungen verhalten sich die Volumina wie die absoluten Temperaturen. $V \sim T$ Das Volumen ist bei konstantem Druck der absoluten Temperatur proportional.	
Isochore Zustandsänderung $V_1 = V_2 = V =$ konstant	$\frac{p_1 \cdot V}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V}{T_2}$ Division durch V: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	$p_1 : p_2 = T_1 : T_2$ Bei isochoren Zustandsänderungen verhalten sich die Drücke wie die absoluten Temperaturen. $p \sim T$ Der Druck ist bei konstantem Volumen der absoluten Temperatur proportional.	
Isotherme Zustandsänderung $T_1 = T_2 = T =$ konstant	$\frac{p_1 \cdot V_1}{T} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T}$ Multiplikation mit T: $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$	$p_1 : p_2 = V_2 : V_1$ Bei isothermen Zustandsänderungen verhalten sich die Drücke umgekehrt wie die Volumina. $p \sim \frac{1}{V}$ Der Druck ist bei konstanter Temperatur dem Volumen umgekehrt proportional.	

Die Zustandsgleichung des idealen Gases ist ein **allgemeines Gesetz.** Aus einem solchen allgemeinen Gesetz können spezielle Gesetze abgeleitet werden, wenn man besondere Bedingungen zugrunde legt (z. B. daß der Druck konstant bleibt usw.). Diese Spezialfälle (Sonderfälle) sind also bereits im allgemeinen Gesetz enthalten.

Man nennt dieses Verfahren, das von uns in der Tabelle angewendet wurde, **Deduktion**[1] oder **deduktive Methode.** Wir gelangten vom *Allgemeinen zum Besonderen.*

Deduktiv gefundene Gesetze müssen experimentell bestätigt werden. Einige Möglichkeiten zur Bestätigung der Spezialfälle der Zustandsgleichung des idealen Gases werden auf den Seiten 103 und 104, Aufgaben 53, 54, 56, 57 beschrieben. Bei der experimentellen Überprüfung ist stets der Gültigkeitsbereich des Gesetzes zu beachten (↗ S. 20). Beispielsweise darf man die allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases auf Wasserdampf dann **nicht** anwenden, wenn dessen Temperatur bei normalem Druck unterhalb von etwa 150 °C liegt.

[1] deducere (lat.): herabführen, ableiten

Auf unseren Eisenbahnstrecken werden in den nächsten Jahren in stetig wachsendem Maße moderne Diesellokomotiven eingesetzt. Sie lösen die weniger leistungsfähigen Dampflokomotiven ab. Die Wirkungsweise des Dieselmotors beruht auf einem physikalischen Grundgesetz, dem ersten Hauptsatz der Wärmelehre.

Übergänge zwischen den Aggregatzuständen

Führt man einem Gas eine bestimmte Wärmemenge zu, so erhöht sich stets seine Temperatur. Es ergibt sich die Frage, ob sich auch die Temperatur eines Körpers im festen oder flüssigen Aggregatzustand stets erhöht, wenn man ihm eine Wärmemenge zuführt.
Wir können diese Frage verneinen, denn bereits in Klasse 6 lernten wir Versuche kennen, bei denen trotz Zufuhr einer Wärmemenge die Temperatur von Körpern nicht anstieg:

Ein Becherglas wird mit Eisstückchen und etwas Wasser gefüllt und unter ständigem Umrühren auf kleiner Flamme erwärmt. 9
Nach einem Zeitraum von jeweils 1 min wird die Temperatur ϑ gemessen. Die gemessenen Größen werden grafisch dargestellt.
Die Temperatur bleibt so lange nahezu unverändert, bis das gesamte Eis geschmolzen ist (Bild 23/2).

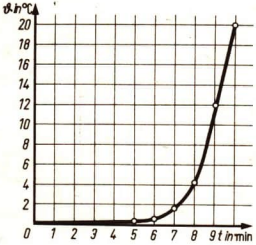
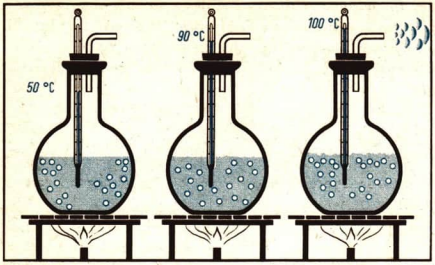


Bild 23/2 Schmelzdiagramm von Eis. – Worauf ist die geringe Temperaturzunahme gegen Ende des Schmelzens zurückzuführen?

Auch während des Siedens bleibt die Temperatur von Wasser konstant:

Ein mit Wasser von etwa 50 °C gefüllter Glaskolben wird mit einem Bunsenbrenner erwärmt (Bild 24/1). Wir setzen voraus, daß beim gleichmäßigen Brennen in gleichen Zeiten gleiche Wärmemengen an das Wasser abgegeben werden. Nach jeweils einer Minute wird die Temperatur gemessen. Aus der grafischen Darstellung (Bild 24/2) erkennen wir, daß die Temperatur anfangs proportional mit der Zeit (d. h. proportional mit der zugeführten Wärmemenge) zunimmt, jedoch nach Erreichen der Siedetemperatur trotz Zufuhr weiterer Wärmeenergie konstant bleibt. 10



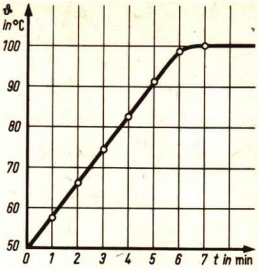


Bild 24/1 und 2

Die gleichen Beobachtungen kann man auch beim Schmelzen und Verdampfen anderer Körper machen. Verbinden wir diese Beobachtungen mit unseren Kenntnissen über die Beziehungen zwischen der Temperatur und der Teilchenbewegung (↗ S. 9), so kann man sagen:

> Während des Überganges zwischen den Aggregatzuständen bleibt die mittlere kinetische Energie der Teilchen unverändert. Trotz Zufuhr von Wärmeenergie tritt keine Temperaturerhöhung auf.

Die zugeführte Energie kann aber nicht „verschwunden" sein; das ist nach dem Energieerhaltungssatz unmöglich. Sie muß im Körper in irgendeiner Form enthalten sein. Bekanntlich unterscheiden sich die Körper im festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand durch die *Anordnung* der Teilchen (↗ S. 6 und 7). Beim Schmelzen geht beispielsweise der Gitteraufbau verloren, beim Verdampfen werden die Teilchen frei beweglich.

Um diese Änderungen der Teilchenanordnungen zu erreichen, muß „innere" Arbeit verrichtet werden. Diese Arbeit erhöht ebenfalls die innere Energie des Körpers.[1] Warum steigt aber die Temperatur trotz Zunahme der inneren Energie nicht an?

Zur Beantwortung dieser Frage müssen wir beachten, daß zur inneren Energie nicht nur die Schwingungsenergie und die kinetische Energie bei fortschreitender Bewegung gehören, sondern auch noch andere Energieformen, die mit

[1] Beim Verdampfen wird auch „äußere" Arbeit verrichtet, weil die Teilchen gegen den äußeren Druck aus der Flüssigkeit herausgetrieben werden müssen. Diese Arbeit ist jedoch im allgemeinen gering.

der Temperatur in keinem Zusammenhang stehen. In solche anderen Energieformen – wir können darauf in Klasse 8 nicht näher eingehen – hat sich die während der Änderungen des Aggregatzustandes zugeführte Wärmemenge umgewandelt.

> Die während des Schmelzens oder Verdampfens zugeführte Wärmemenge vergrößert andere Formen der inneren Energie, jedoch nicht die kinetische Energie der Teilchen.

Da sich beim Erstarren einer Flüssigkeit oder beim Kondensieren eines Dampfes die Temperatur ebenfalls nicht ändert, bleibt auch bei diesen Übergängen die mittlere kinetische Energie der Teilchen konstant. Die abgegebene Wärmemenge verringert demnach nur die obenerwähnten anderen Formen der inneren Energie.

Schmelz- und Verdampfungswärme

Die Änderungen der inneren Energie während der Übergänge zwischen den Aggregatzuständen lassen sich aus den zugeführten oder abgegebenen Wärmemengen bestimmen. Unter der **Schmelzwärme** versteht man die *während des Schmelzens vom Körper aufgenommene* Wärmemenge. Sie ist von der *Masse* des geschmolzenen Körpers abhängig und von dem *Stoff*, aus dem der geschmolzene Körper besteht. In der Tabelle 4 ist angegeben, welche Schmelzwärme notwendig ist, um jeweils 1 g eines bestimmten Stoffes zum Schmelzen zu bringen. So beträgt die Schmelzwärme für 1 g Blei 6,0 cal. Um zum Beispiel 80 g Blei (mit einer Temperatur von 328 °C – Schmelztemperatur) aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand umzuwandeln, ist eine Wärmemenge von 80 · 6 cal erforderlich. Die Temperatur des Bleis bleibt dabei unverändert, die zugeführte Wärmemenge (Schmelzwärme) erhöht die innere Energie des Körpers. Es wird eine Arbeit verrichtet, die zur Änderung der Anordnung der Teilchen führt.

Erstarrt eine Flüssigkeit, so wird an die Umgebung Wärmeenergie abgegeben. Diese abgegebene Wärmeenergie (**Erstarrungswärme**) ist genauso groß wie die Energie, die zum Schmelzen des Körpers nötig ist. Für Körper mit gleicher Masse und aus dem gleichen Stoff sind die Erstarrungswärme und die Schmelzwärme gleich groß.

Welche Wärmemenge wird frei, wenn 100 g Kupfer erstarren?

Tabelle 4:
Schmelz- bzw. Erstarrungswärme

Stoff	Schmelz- bzw. Erstarrungswärme für 1 g des Stoffes in cal (gerundete Werte)
Quecksilber	2,7
Blei	6
Zink	25
Kupfer	49
Eis/Wasser	80
Aluminium	95

Die *während des Verdampfens vom Körper aufgenommene* Wärmemenge heißt **Verdampfungswärme**. Auch sie ist für die Stoffe charakteristisch (↗ Tabelle 5) und hängt – genau wie die Schmelz- und Erstarrungswärme – von der Masse des Körpers ab.
Die *beim Kondensieren von Dampf frei werdende* Wärmemenge **(Kondensationswärme)** ist gleich der beim Verdampfen zugeführten Wärmemenge. Sie wird im folgenden Versuch benutzt, um Wasser zu erwärmen.

Tabelle 5:
Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme

Stoff	Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme für 1 g des Stoffes in cal (gerundete Werte)
Quecksilber	68
Äther	86
Benzol	94
Äthanol (Alkohol)	201
Ammoniak	327
Wasser	539

11 ▼ In ein wassergefülltes Kalorimeter wird Wasserdampf eingeleitet, der in dem kalten Wasser kondensiert (Bild 26/1). Dabei wird Wärmeenergie abgegeben, so daß die Temperatur des Wassers beträchtlich steigt.

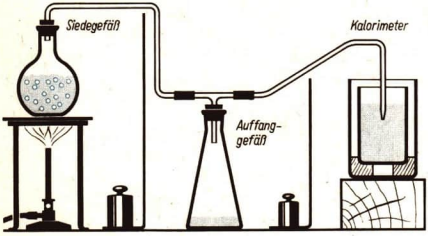


Bild 26/1

● *Lies über die Bedeutung der Schmelz- und Verdampfungswärme in der Natur und in der Technik auf Seite 107, Aufgabe 95 nach!*

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 105, Nr. 59 bis 73,
Seite 107, Nr. 95

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre

Wie in jeder anderen Wissenschaft, faßt man auch in der Physik die aus Beobachtungen, Experimenten und Überlegungen gefundenen Einzelerkenntnisse in Form *allgemeiner Gesetze* zusammen. Ein derartiges Gesetz für die Wärmelehre wollen wir nun kennenlernen.
Bei Zuführung einer Wärmemenge können an einem Körper bekanntlich bestimmte Zustandsänderungen auftreten:

Zufuhr einer Wärmemenge (Energie)

- Erhöhung der Temperatur (↗ S. 11)
- Änderungen des Aggregatzustandes (↗ S. 23 und 24)
- Volumenzunahme durch Ausdehnung (↗ S. 18)

Die beiden ersten Veränderungen lassen sich zusammenfassen: Bei der Temperaturerhöhung und bei der Änderung des Aggregatzustandes nimmt die innere Energie W_i zu; sie ändert sich um ΔW_i.[1]
Das Vergrößern des Volumens gegen von außen auf den Körper wirkende Kräfte – beispielsweise gegen die Wirkungen des Luftdrucks – bedeutet das Verrichten einer mechanischen Arbeit W_m.

Wie lautet die Definition der mechanischen Arbeit (↗ Klasse 7)?

Unsere Überlegungen können in mathematischer Form durch eine Gleichung ausgedrückt werden.[2] Man bezeichnet dieses Gesetz als **ersten Hauptsatz der Wärmelehre.**

Führt man einem Körper eine Wärmemenge zu, so ist die zugeführte Wärmemenge W_w gleich der Summe aus der Änderung der inneren Energie ΔW_i und der verrichteten Arbeit W_m.	$W_w = \Delta W_i + W_m$

Ein positives Vorzeichen bedeutet: es wird eine Wärmemenge zugeführt, die innere Energie nimmt zu, es wird mechanische Arbeit verrichtet. Ein negatives Vorzeichen bedeutet: es wird eine Wärmemenge abgegeben, die innere Energie nimmt ab, es wird eine mechanische Arbeit aufgewandt.
Der erste Hauptsatz gilt für Körper in beliebigen Aggregatzuständen, also auch für Gase.

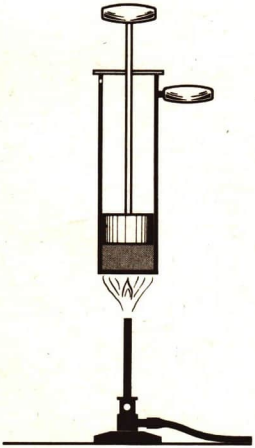


Bild 27/1

In einem Metallzylinder befindet sich Luft von Zimmertemperatur, die durch einen verschiebbaren Kolben abgeschlossen ist (Bild 27/1). Hält man den Zylinder über eine Flamme, so steigt die Temperatur der eingeschlossenen Luft. Die mittlere kinetische Energie, die ein Teil der inneren Energie des Körpers ist, nimmt zu. Außerdem verschiebt sich der Kolben, wobei mechanische Arbeit verrichtet wird. Es handelt sich um Hubarbeit (der Kolben besitzt ein Gewicht) und um Arbeit gegen den äußeren Luftdruck, der auf dem Kolben lastet.

Klemmt man den Kolben während des Versuches fest, so ist die mechanische Arbeit Null *(Erkläre!)*. Nach dem ersten Hauptsatz ergibt sich

[1] Lies: delta W_i (hier Differenz zweier Energien)
[2] Von dem Physiker Clausius 1857 aufgestellt.

$W_w = \Delta W_i + 0,$
$W_w = \Delta W_i$, für V = konstant.
Die zugeführte Wärmemenge bewirkt also *ausschließlich* eine Zunahme der inneren Energie des Gases. Die Temperatur steigt.
Ein anderer Sonderfall des ersten Hauptsatzes ist in der Technik von besonderer Bedeutung (↗ S. 31).

13 ▼ In einem dickwandigen Glaszylinder kann mit Hilfe eines Kolbens Luft zusammengedrückt werden (Bild 28/1). Die Verdichtung des Gases erfolgt aber so schnell, daß an die Umgebung nur eine sehr kleine Wärmemenge abgegeben wird. Es ist näherungsweise $W_w = 0$. Mit dem ersten Hauptsatz folgt deshalb
$0 = \Delta W_i + W_m$
$-W_m = \Delta W_i$.
Das negative Vorzeichen bei W_m besagt, daß eine mechanische Arbeit aufgewandt (zugeführt) wird. Deshalb erhöht sich die innere Energie der Luft, deren Temperatur zunimmt. Im Versuch erkennt man die erhebliche Temperaturzunahme daran, daß ein mit Schwefelkohlenstoff getränktes Stück Watte, das sich an der Kolbenunterseite befindet, aufflammt.

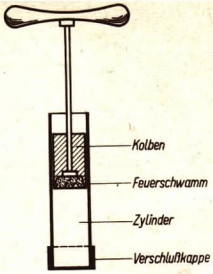


Bild 28/1 Pneumatisches Feuerzeug

Erster Hauptsatz und Energieerhaltungssatz

In der Klasse 7 lernten wir den Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie kennen. Bei der Umwandlung der mechanischen Energieformen ineinander bleibt die Summe aus potentieller und kinetischer Energie konstant. Die Ergebnisse von Versuchen, bei denen sich laufend Formen der mechanischen Energie ineinander umwandeln (z. B. beim Federschwinger, beim Pendel, bei einer hüpfenden Stahlkugel) zeigten jedoch, daß wegen der auftretenden Reibung nach einer gewissen Zeit überhaupt keine *mechanische* Energie mehr vorhanden ist. Kann man auch auf diese Vorgänge den ersten Hauptsatz der Wärmelehre anwenden?
Bei den genannten und bei vielen anderen Beispielen, bei denen scheinbar mechanische Energie „verlorengeht", wird stets eine Arbeit gegen die zwischen den Teilchen wirkenden Kräfte verrichtet. Diese *Reibungsarbeit*, *Verformungsarbeit* oder *Kompressionsarbeit* ist eine „zugeführte Arbeit" im Sinne des ersten Hauptsatzes. Dadurch erhöht sich die Temperatur der beteiligten Körper, die innere Energie nimmt um ΔW_i zu.

■ Ein fahrender Eisenbahnzug wird gebremst. Bremsteile und Räder erwärmen sich, an die Umgebung wird Wärme abgegeben. – Dreh- und Hobelspäne aus Stahl zeigen durch die bläuliche Anlaßfarbe, daß

sie sich beim Arbeitsprozeß außerordentlich stark erhitzt haben. – Ein dicker Kupferdraht wird hin- und hergebogen. Die dazu notwendige Arbeit führt zu einer Erwärmung.

Wir erkennen aus diesen Beispielen: Immer dann, wenn mechanische Energie scheinbar „verschwindet", tritt Wärmeenergie auf. Man hat daher den Energieerhaltungssatz der Mechanik erweitert:

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

Wärme entsteht allerdings nicht nur bei mechanischen Vorgängen, sondern auch durch chemische und elektrische Prozesse. Da der erste Hauptsatz der Wärmelehre jedoch keine Aussage darüber enthält, wie die Wärme entstanden ist, kann er auch in diesen Fällen angewandt werden.

Um den Satz von der Erhaltung der Energie auf beliebige Vorgänge auszudehnen, gibt man ihm folgende Form:

> Energie kann nicht verlorengehen und nicht erschaffen werden. Energie kann nur übertragen oder in eine andere Art (mechanische Energie, Wärmeenergie, elektrische Energie, chemische Energie) umgewandelt werden.

Dieses Gesetz ist von außerordentlich großer Bedeutung für alle Zweige der Naturwissenschaft und Technik. Alle Überlegungen zur Erforschung und Anwendung der Naturvorgänge müssen auf der Grundlage des Energieerhaltungssatzes erfolgen, da sie sonst zu falschen Ergebnissen führen. In Unkenntnis dieses Gesetzes wurde in der Vergangenheit immer wieder versucht, eine Maschine zu entwickeln, die ohne Energiezufuhr Arbeit verrichtet oder mit der mehr Energie gewonnen werden kann als aufgewendet wurde. Ein derartiges *Perpetuum mobile* kann es nach dem Satz von der Erhaltung der Energie nicht geben.
Der Energieerhaltungssatz ist ein **Erfahrungssatz.** Es gibt bisher keine Experimente und keine Beobachtungen, die dieser Erfahrung widersprechen. Das heißt, die gesamte vorhandene Energie bleibt ihrem Betrag nach unverändert. Die verschiedenen Energiearten wandeln sich zwar ständig ineinander um, aber die Summe aller Energien ist konstant.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 106, Nr. 74 bis 79

Die Entdeckung der Gleichwertigkeit von mechanischer Energie und Wärme

Noch am Anfang des 19. Jahrhunderts gab es zwei unterschiedliche Ansichten über das Wesen der Wärme. Viele Gelehrte erklärten die Wärmeerscheinungen mit der Annahme eines Wärmestoffes (↗ S. 10). Andererseits existierten Vorstellungen, daß die Wärme mit der Bewegung der Teilchen des Körpers zusammenhängt. Diese Auffassung konnte jedoch durch keinerlei Beweise gestützt werden und wurde sehr unklar formuliert.

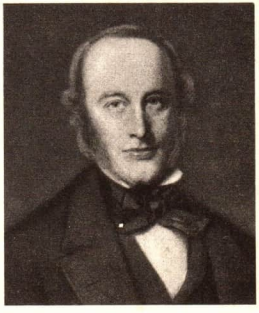
Erst die großen Fortschritte der Physik und Technik in der Periode der industriellen Revolution und des aufblühenden Kapitalismus brachten eine Veränderung. Beispielsweise bot die Dampfmaschine Anlaß, nach Beziehungen zwischen der von der Maschine verrichteten *Arbeit* und der durch die Kohleverbrennung erzeugten *Wärmemenge* und nach Verbesserungen des Wirkungsgrades zu suchen. Außerdem waren die Widersprüche zwischen experimentellen Ergebnissen (Wärmeentwicklung durch Reibungsarbeit) und der alten Wärmestofftheorie immer größer geworden. So konnte schon 1798 Benjamin Thompson (Graf Rumford) nachweisen, daß sich beim Bohren von Kanonenrohren das Kühlwasser bis zum Sieden erwärmte; also durch Reibung mehr Wärmemengen „erzeugt" werden konnten als nach der Wärmestofftheorie zu erwarten war.

Es ist daher kein Zufall, daß zwischen 1830 und 1845 verschiedene Forscher gleichzeitig um die Lösung der Probleme bemüht waren. Unter ihnen befanden sich kaum Physikprofessoren – sie waren zu sehr in alten Gedankengängen befangen – sondern vor allem Ingenieure, Ärzte und Angehörige anderer Berufe. Zwei Persönlichkeiten ragen besonders hervor: der deutsche Arzt Julius Robert Mayer (Bild 30/1) und der englische Gelehrte James Prescott Joule (Bild 30/2).

Mayer, der keine besondere physikalische Ausbildung durchlaufen hatte, wurde durch medizinische Untersuchungen zu seinen Arbeiten angeregt. Bereits in seiner ersten Veröffentlichung (1842) wies er darauf hin, daß sich mechanische Arbeit und Wärmemenge ineinander umwandeln können. Aus bereits bekannten physikalischen Werten bestimmte Mayer durch Rechnung näherungsweise die mechanische Energie, die einer Wärmemenge von 1 kcal gleichwertig ist. In einer zweiten Abhandlung (1845) vervollständigte und erweiterte der Gelehrte seine Gedanken und bezog auch die elektrische, magnetische und chemische Energie in seine Betrachtungen ein. Er kam zu folgenden bemerkenswert klaren Feststellungen, mit denen er seinen Zeitgenossen erheblich voraus war: „Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt *die vorhandene Energie* eine konstante Größe. ... Die *Energie* in ihren verschiedenen Formen kennenzulernen, die Bedingungen ihrer *Umwandlungen* zu erforschen, dies ist die einzige Aufgabe der Physik, denn die Erschaffung oder die Vernichtung der *Energie* liegt außer dem Bereiche menschlichen Denkens und Wirkens."[1] Mit seinen Gedanken fand Mayer bei den Physikern anfangs wenig Anklang. Die Untersuchungen von Joule wurden dagegen stark beachtet. Durch eine große Anzahl von Versuchen wies

Bild 30/1 Julius Robert Mayer (1814 bis 1878), deutscher Arzt und Naturforscher

Bild 30/2 James Prescott Joule (1818 bis 1889), englischer Gelehrter



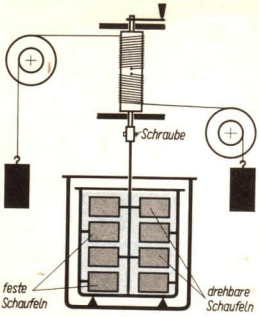


Bild 31/1 Versuchsanordnung Joules zur Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie. In einem mit Wasser oder Quecksilber gefüllten Kalorimeter wird ein Rührwerk durch herabsinkende Gewichtstücke in Bewegung gesetzt. Dadurch erwärmt sich die Flüssigkeit. Die Gewichtstücke können durch die Kurbel wieder gehoben werden, ohne daß sich dabei das Rührwerk dreht. Bei mehrfacher Wiederholung tritt eine gut meßbare Temperaturerhöhung der Flüssigkeit auf

Joule nach, daß sich mechanische, elektrische, chemische und Wärmeenergie ineinander umwandeln können. Am bekanntesten sind die zwischen 1845 und 1849 durchgeführten Versuche, bei denen durch Reibungsvorgänge in Flüssigkeiten Erwärmung auftrat (Bild 31/1). Als Mittelwert aus den Jouleschen Versuchen ergab sich, daß eine mechanische Arbeit von etwa 425 kpm notwendig ist, um dem Wasser die Wärmemenge von 1 kcal zuzuführen. Spätere, noch genauere Messungen ergaben den Wert von 427 $\frac{\text{kpm}}{\text{kcal}}$. Heute gilt für die Umrechnung der Einheiten folgende gesetzliche Vorschrift (↗ S. 10):

4186,8 Ws = 1 kcal = 426,9 kpm.

Ein Rammbär verrichtet eine Arbeit von 2000 kpm. Gib diese Arbeit in Wattsekunden und Kilokalorien an!

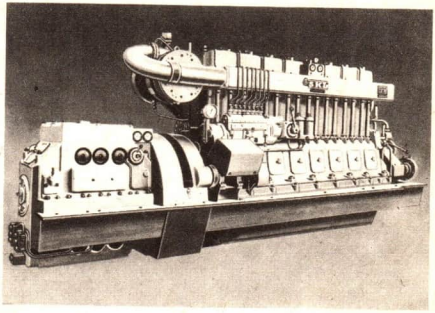
Der Dieselmotor

Eine wichtige Anwendung des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre finden wir in den Wärmekraftmaschinen. Für viele Verwendungszwecke hat sich der 1893 von dem deutschen Ingenieur Rudolf Diesel (Bild 31/2) erfundene *Dieselmotor* (Bild 31/3) besonders bewährt.

Welche Fahrzeuge und Maschinen werden häufig durch Dieselmotoren angetrieben?

Bild 31/2 Rudolf Diesel (1858 bis 1913), deutscher Ingenieur

Bild 31/3 Dieselmotor



[1] Im vorigen Jahrhundert wurden die einzelnen Begriffe sehr willkürlich benutzt. Deshalb sind statt der von Mayer benutzten Ausdrücke die heutigen physikalischen Bezeichnungen *kursiv* eingesetzt.

Die Hauptteile des Dieselmotors sind der Zylinder mit den Ventilen, der Kolben, die Pleuelstange mit der Kurbelwelle und die Einspritzpumpe (Bild 32/1).
Um die Arbeitsweise des Motors besser darstellen zu können, benutzt man eine Einteilung in *Takte*:

1. Takt (Bild 32/2a):
Der Kolben bewegt sich im Zylinder in Richtung der Kurbelwelle. Dadurch vermindert sich über dem Kolben der Gasdruck; durch das geöffnete Einlaßventil strömt Außenluft in den Zylinder *(Ansaugtakt)*.

2. Takt (Bild 32/2b):
Bei geschlossenen Ventilen wird die Luft durch den Kolben auf etwa $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{20}$ des ursprünglichen Volumens verdichtet. Dabei steigt die Temperatur der Luft auf 500 °C bis 750 °C, und der Druck wächst auf 25 at bis 45 at an *(Verdichtungstakt)*. Physikalisch liegt annähernd der auf Seite 28 behandelte Sonderfall vor, bei dem ein Gas so schnell verdichtet wird, daß kein Wärmeaustausch mit der Umgebung erfolgt. Es ist also $-W_m = \Delta W_i$.

3. Takt (Bild 32/2c):
Mit Hilfe einer Pumpe wird Brennstoff in zerstäubter Form eingespritzt, der sich in der heißen Luft entzündet. Die heißen Verbrennungsgase, sie haben eine Temperatur von rund 2100 °C, bewegen den Kolben *(Arbeitstakt)*.

In physikalischer Hinsicht erkennen wir den allgemeinen Fall des ersten Hauptsatzes: Die „zugeführte" Wärmemenge erhöht die innere Energie des Gases[1] und verrichtet äußere Arbeit ($W_w = \Delta W_i + W_m$).

4. Takt (Bild 32/2d):
Der Kolben schiebt die Verbrennungsgase durch das geöffnete Auslaßventil in die Außenluft *(Auspufftakt)*.

[1] Es ist zu beachten, daß sich auch die Zylinderwände erwärmen und dadurch ein Teil der Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben wird.

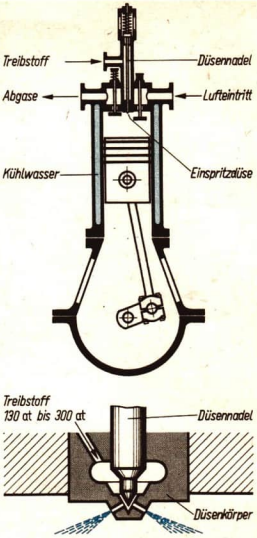


Bild 32/1 Hauptteile eines Dieselmotors (schematische Darstellung). Die Düse ist unten noch einmal vergrößert dargestellt!

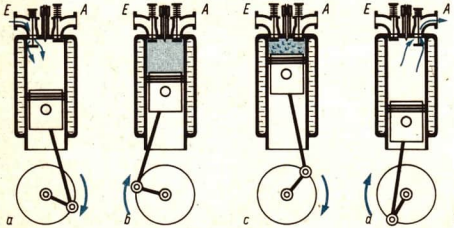


Bild 32/2

Nun sollen die vier Takte hinsichtlich der dabei jeweils auftretenden Arbeiten betrachtet werden.
Zum Ansaugen der Luft, zu deren Verdichtung und zum Ausstoßen der Verbrennungsgase ist mechanische Arbeit notwendig. Durch die Reibung zwischen Kolben und Zylinderwand tritt Reibungsarbeit auf. Auch an anderen Teilen des Motors (Pleuelstange, Kurbelwelle) muß Reibungsarbeit verrichtet werden.
Die aufgenommenen Gesamtarbeiten in den einzelnen Takten wollen wir mit W_1, W_2, W_3 und W_4 bezeichnen. Sie müssen der Maschine zugeführt werden, beim Anlassen beispielsweise durch einen Elektromotor. Befindet sich der Dieselmotor in Betrieb, so gibt er im dritten Takt die Arbeit W_m ab. Ist

$$W_m = W_1 + W_2 + W_3 + W_4,$$

so würde die abgegebene Arbeit gerade genügen, um die zuzuführende Arbeit zu decken: Der Motor „läuft aus eigener Kraft". Da aber der Motor andere Maschinen oder Fahrzeuge antreiben soll, muß stets

$$W_m > W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

sein.

Bei der Verbrennung des Treibstoffes wird eine Wärmemenge W_w frei (zugeführte Wärmemenge). Sie erhöht die innere Energie der Verbrennungsgase um ΔW_i. Gleichzeitig wird eine mechanische Arbeit W_m verrichtet, die eine Verschiebung des Kolbens bewirkt. Ein Teil dieser Arbeit wird als Reibungsarbeit und Kompressionsarbeit im Motor selbst wirksam, der größere Teil kann zum Antrieb von Maschinen oder Fahrzeugen genutzt werden.

Die Entwicklung der Wärmekraftmaschinen und die Verbesserung ihres Wirkungsgrades

In allen Wärmekraftmaschinen erfolgt eine Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie. Die beim Verbrennen des Brennstoffes frei werdende Wärmemenge läßt sich jedoch nur zum Teil als mechanische Arbeit nutzen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist man bestrebt, einen möglichst großen Teil der zugeführten Wärmemenge als mechanische Arbeit nutzbar zu machen (↗ S. 107, Aufgabe 93, 94). Inwieweit das bei den einzelnen Maschinen möglich ist, läßt deren Wirkungsgrad erkennen:

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 106, Nr. 80 bis 86

Wirkungsgrad η =	von der Maschine abgegebene mechanische Arbeit W_m / der Maschine zugeführte Wärmeenergie W_w	$\eta = \frac{W_m}{W_w}$

Die beiden Größen W_m und W_w sind in der gleichen Einheit anzugeben. Der Wirkungsgrad hat dann keine Einheit. Oft wird der Wirkungsgrad mit 100% multipliziert und in dieser Form benutzt (z. B. $\eta = 0{,}45$ oder $\eta = 45\%$). Da stets $W_m < W_w$ ist, gilt $0 < \eta < 1$.

Eine besonders übersichtliche Darstellung der nutzbaren und nicht nutzbaren Energieanteile ergibt sich aus Energiestreifendiagrammen (Bild 34/1).

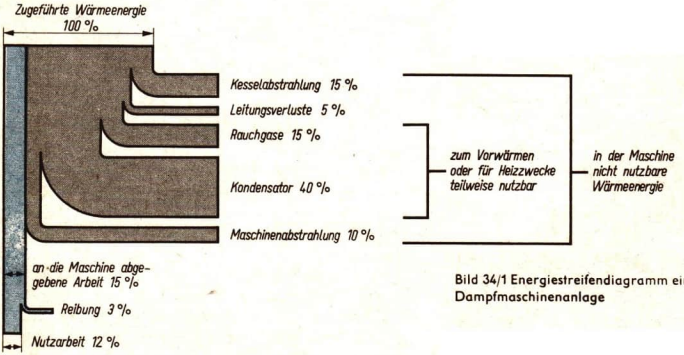
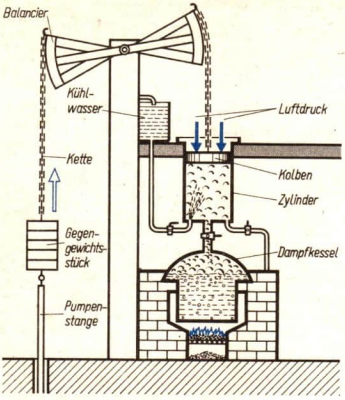


Bild 34/1 Energiestreifendiagramm einer Dampfmaschinenanlage

Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine wird durch deren Arbeitsweise und Konstruktion bestimmt. Es war stets das Bestreben der Erfinder und Konstrukteure, den Wirkungsgrad zu verbessern. Das zeigt deutlich auch die technische Entwicklung (↗ Tabelle 6, S. 38).
Die ältesten Wärmekraftmaschinen sind die Dampfmaschinen. Ihre Entwicklung findest du ausführlich in dem Buch von H. Friedt: Zur Geschichte der Dampfmaschine (Bücher für den Schüler, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1964) beschrieben. Wir wollen uns daher auf einige Konstruktionen beschränken.
Eine der ersten arbeitsfähigen Maschinen war die atmosphärische Dampfmaschine des Engländers Newcomen (1713).



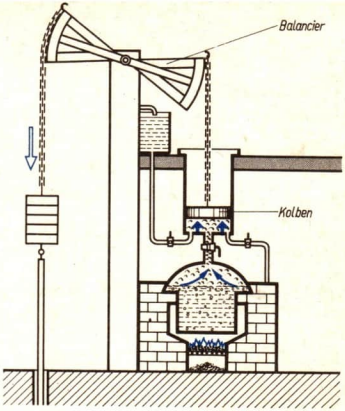


Bild 35/1 Newcomens atmosphärische Dampfmaschine. Welche Nachteile hatte das Einspritzen des kalten Wassers in den Zylinder?

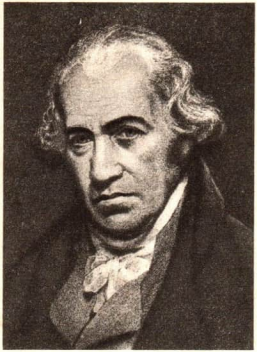
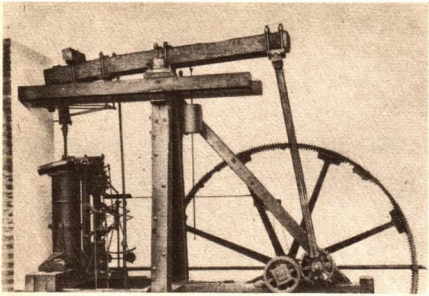
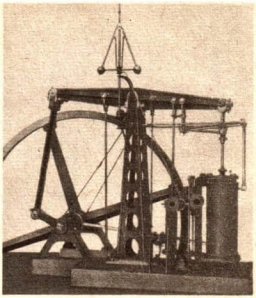


Bild 35/2 James Watt (1736 bis 1819), englischer Techniker

Der Kolben wurde durch das Gegengewichtsstück und das Pumpengestänge in die Höhe gezogen; gleichzeitig strömte Dampf in den Zylinder (Bild 35/1). Bei geschlossenem Einlaßventil wurde dann der Dampf durch eingespritztes Kaltwasser kondensiert. Es entstand ein Unterdruck im Zylinder. Infolgedessen drückte der äußere Luftdruck den Kolben wieder nach unten und gleichzeitig hob sich das Pumpengestänge.

Unabhängig von Newcomen baute der Russe Polsunow 1756 eine Doppelzylindermaschine nach dem gleichen Prinzip, die aber keine Verbreitung erlangte, da die damaligen gesellschaftlichen und ökonomischen Verhältnisse im zaristischen Rußland die technische Entwicklung stark hemmten. Als in England in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts der mechanische Webstuhl erfunden wurde, brauchte man neue Antriebsmaschinen. Auch zum Antrieb von Pumpen in den Bergwerken reichten menschliche und tierische Muskelkraft nicht mehr aus. Es bestand also ein erhebliches gesellschaftliches Bedürfnis für eine leistungsfähige Dampfmaschine. Sie wurde zu einem wesentlichen Teil durch den englischen Techniker James Watt (Bild 35/2) entwickelt. Bei dieser Dampfmaschine wirkte der Dampf abwechselnd auf beiden Seiten des Kolbens und verrichtete bei jedem Hub eine Arbeit (Bild 36/1). Besonders wichtig war die Einführung des Kondensators (↗ S. 101). Dadurch wurde die Kondensation des Dampfes im Zylinder, die den Wirkungsgrad der Newcomenschen Maschine stark vermindert hatte, in einen besonderen Maschinenteil verlegt.





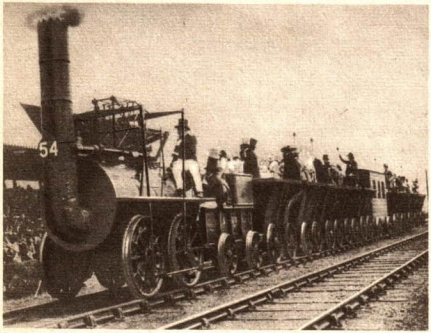


Bild 36/1 Wattsche Dampfmaschine aus dem Jahre 1788 mit Balancier, Parallelogrammführung und Planetenradgetriebe

Bild 36/2 Deutsche Dampfmaschine aus dem Jahre 1816. Sie war in einer Berliner Gold- und Silbermanufaktur bis 1902 in Betrieb

Bild 36/3 Naturgetreuer Nachbau der ersten englischen Eisenbahn

Bild 36/4 Nikolaus Otto (1832 bis 1881), deutscher Ingenieur

In dieser Wattschen Form trat die Kolbendampfmaschine ihren Siegeszug über alle Länder an und wurde bald das bedeutendste Antriebsmittel in der Industrie (Bild 36/2) und im Verkehrswesen (Bild 36/3).

Allerdings besaß die Dampfmaschine auch nicht zu übersehende Nachteile: Die Wärme des Brennstoffes konnte nicht unmittelbar genutzt werden; es war der Zwischenträger Dampf notwendig. Daher war ihr Wirkungsgrad (↗ S. 38) gering. Kleine Dampfmaschinen ließen sich überhaupt nicht rentabel betreiben, so daß für viele Zwecke nach wie vor eine geeignete Antriebsmaschine fehlte.

Der 1866 von Nikolaus Otto (Bild 36/4) erfundene *Gasmotor* fand deshalb schnell Verbreitung, zumal der hohe Leuchtgasverbrauch bald gesenkt werden konnte (Bild 37/1). Später ging man dazu über, ein Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder

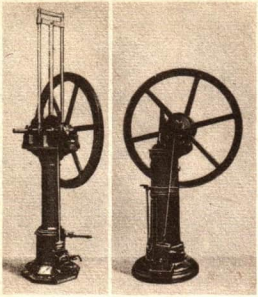


Bild 37/1 Links: Atmosphärische Gasmaschine von Otto 1866. Durch die sich ausdehnenden Verbrennungsgase wurde der Kolben nach oben getrieben. Erst dann wurde das Getriebe eingekoppelt, und der äußere Luftdruck verrichtete bei Verschiebung des Kolbens nach unten Arbeit
Rechts: Verbesserte atmosphärische Gasmaschine von Otto um 1875

zu verbrennen. Der Wirkungsgrad des *Ottomotors* lag über dem Wirkungsgrad der Dampfmaschine. Beim *Dieselmotor* konnte der Wirkungsgrad noch erhöht werden. Das hatte seinen Grund auch darin, daß inzwischen die theoretischen Grundlagen der Wärmelehre verbessert worden waren und für die Konstruktion genutzt werden konnten.

Die Nachteile aller Kolbenmaschinen bestehen darin, daß zunächst die hin- und hergehende Bewegung über Pleuelstange und Kurbelwelle in eine Drehbewegung umgewandelt werden muß. Das war vor allem beim Antrieb von Elektrogeneratoren sehr nachteilig. Neben den Wasserturbinen erlangten deshalb seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts *Dampfturbinen* (Bild 37/2) eine immer größere Bedeutung. In den Großkraftwerken sind sie auch heute noch die vorherrschende Maschinenform.

Es lag der Gedanke nahe, bei der Turbine den Brennstoff direkt und nicht über den „Umweg" Dampf zu nutzen. Derartige *Gasturbinen* waren im Prinzip schon vor 70 Jahren bekannt, ihre praktische Verwirklichung erfolgte aber erst vor etwa 25 Jahren, nachdem die Schwierigkeiten hinsichtlich der beim Bau der Gasturbine verwendeten Werkstoffe überwunden waren. Das Hauptanwendungsgebiet der Gasturbinen (Bild 37/3) ist heute das Flugwesen.

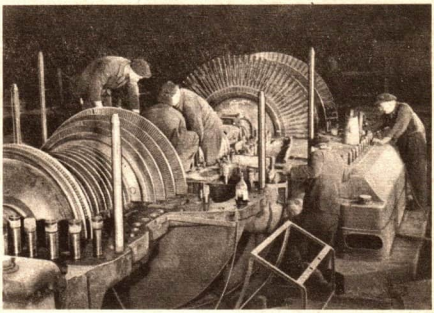


Bild 37/2 Montage einer Dampfturbine

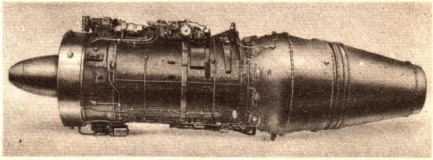


Bild 37/3 Gasturbine zum Flugzeugantrieb

Die Entwicklung auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen ist auch in unserer Zeit nicht zum Stillstand gekommen. Im letzten Jahrzehnt wurde der *Drehkolbenmotor* (Wankelmotor) entwickelt (Bild 38/1).

Die Verbesserungen des Wirkungsgrades (↗ Tabelle 6) in der zweihundertfünfzigjährigen Geschichte der Wärmekraftmaschinen waren vor allem dadurch möglich, daß wissenschaftliche Erkenntnisse aus verschiedenen physikalischen Bereichen in immer stärkerem Maße technisch genutzt wurden.

In der heutigen Zeit hat dieser bestimmende Einfluß der Wissenschaft alle Zweige der Wirtschaft und Industrie erfaßt.

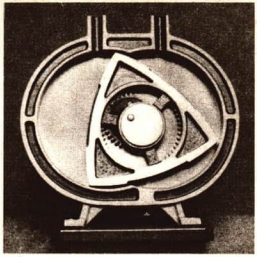


Bild 38/1 Schnittmodell eines Drehkolbenmotors

Tabelle 6:
Wirkungsgrad einiger Wärmekraftmaschinen (Durchschnittswerte)[1]

Maschine	Wirkungsgrad η
Newcomens Dampfmaschine	1%
Wattsche Dampfmaschine	3% bis 4%
Kolbendampfmaschine	12%
Mehrzylinderdampfmaschine	bis 18%
Hochdruckdampfturbine	30% bis 40%
Gasturbine	20% bis 28%
Ottomotor	bis 34%
Diesels erster Motor	24%
Dieselmotor	35% bis 40%

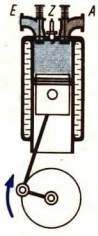
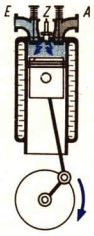
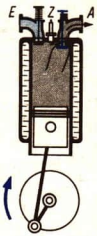
[1] Die Wirkungsgrade der Dampfmaschinen und -turbinen beziehen sich auf die Gesamtanlage (einschließlich Kessel, Dampfleitungen und Kondensator).

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 107, Nr 87 bis 94

Zur Wiederholung

Der Ottomotor ist heute die vorherrschende Antriebsmaschine für Straßenfahrzeuge. Die Übersicht zeigt den grundsätzlichen Aufbau und die Arbeitsweise eines Viertakt-Ottomotors (Bilder 39/1 bis 4). Wir wollen am Beispiel dieses Motors einige wichtige Begriffe und Gesetzmäßigkeiten der Wärmelehre wiederholen.

Die Arbeitsweise des Viertaktmotors

Takt	1. Takt	2. Takt	3. Takt	4. Takt
Bezeichnung	Ansaugen	Verdichten	Zünden und Ausdehnen	Ausschieben
Einlaßventil	geöffnet	geschlossen	geschlossen	geschlossen
Auslaßventil	geschlossen	geschlossen	geschlossen	geöffnet
Kolben bewegt sich in Richtung	Kurbelwelle	Zylinderkopf	Kurbelwelle	Zylinderkopf
Vorgang im Zylinder	Kraftstoff-Luft-Gemisch wird angesaugt	Gemisch wird verdichtet	Gemisch wird entzündet, verbrennt und dehnt sich aus	Verbrennungsgase werden ausgeschoben
Schematische Darstellung der Vorgänge	Bild 39/1	 Bild 39/2	 Bild 39/3	 Bild 39/4

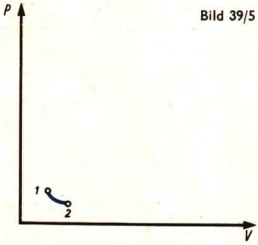


Bild 39/5

Vorgang	Physikalische Aussagen
Der Kolben bewegt sich in Richtung Kurbelwelle	Der Druck des noch im Zylinder befindlichen Restes an Verbrennungsgasen vermindert sich anfangs, da das Produkt $p \cdot V$ nahezu konstant ist (Teil 1—2 des Druck-Volumen-Diagramms, Bild 39/5).

Vorgang	Physikalische Aussagen
Das Einlaßventil öffnet sich. Über Ansaugleitungen und Vergaser wird Verbindung mit der Außenluft hergestellt. Im Vergaser wird Benzin in fein verteilter Form mitgerissen. Es verdampft im Ansaugsystem.	Die unter dem äußeren Luftdruck stehende Luft strömt über den Vergaser in Richtung auf den einen niedrigeren Druck aufweisenden Zylinderraum. In den Zylinder gelangt ein Kraftstoff-Luft-Gemisch. Der Druck bleibt während dieses Vorganges nahezu gleich (Teil 2—3 des Diagramms), jedoch nimmt das Gemisch die Umgebungstemperatur der Zylinderwandungen an. Zum Verschieben des Kolbens während des Ansaugtaktes ist eine mechanische Arbeit W_1 notwendig, die zugeführt wird.
Bei geschlossenem Einlaßventil wird das Gemisch verdichtet.	Da sich das Volumen vermindert, steigt der Druck des Gemischs (Teil 3—4 des Diagramms). Die zum Verdichten notwendige Arbeit W_2 erhöht die innere Energie des Gemischs um ΔW_i, das heißt, dessen Temperatur steigt.[1] An die Umgebung wird dabei nur wenig Wärme abgegeben, da die Verdichtung sehr schnell erfolgt.
Der an der Zündkerze überspringende Funken entzündet das Gemisch.	Beim Verbrennen des Gemischs wird eine Wärmemenge frei; das entspricht der Zuführung einer Wärmemenge. Diese Wärmemenge erhöht die innere Energie und damit die Temperatur. Die Temperatur des Gases steigt von etwa 400 °C auf über 2 000 °C. Die Verbrennung erfolgt in so kurzer Zeit, daß sich dabei das Volumen kaum verändert. Für V = konstant gilt aber $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$, der Druck im Zylinder steigt in sehr kurzer Zeit von 10 at auf über 25 at (Teil 4—5 des Diagramms); auf den Kolben wirkt eine große Kraft. Das Gasvolumen vergrößert sich, wobei der Druck abnimmt (Teil 5—6 des Diagramms). Die sich ausdehnenden Gase verrichten eine Arbeit W_m. Da keine neuen Wärmemengen hinzukommen, gilt $0 = \Delta W_i + W_m$, bzw. $W_m = -\Delta W_i$. Die innere Energie und damit die Temperatur vermindert sich.
Der Kolben wird durch die Druckkraft der Verbrennungsgase in Richtung Kurbelwelle getrieben.	

[1] siehe Seite 41 unten!

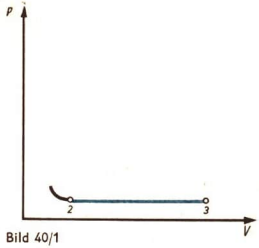


Bild 40/1

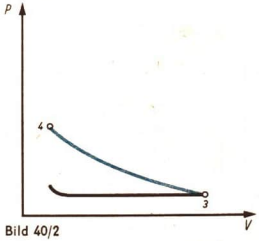


Bild 40/2

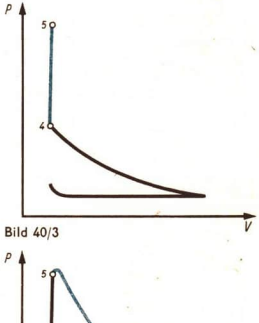


Bild 40/3

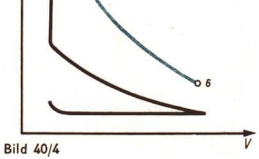


Bild 40/4

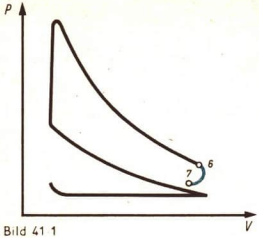


Bild 41/1

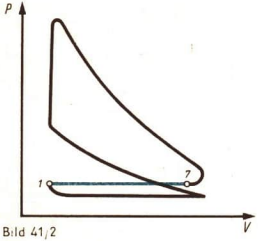


Bild 41/2

Vorgang	Physikalische Aussagen
Die Verbrennungsgase gelangen beim nächsten Kolbenhub durch das geöffnete Auslaßventil an die Außenluft.	Die Verbrennungsgase stehen noch immer unter einem höheren Druck als der Luftdruck. Beim Öffnen des Auslaßventils sinkt der Druck im Zylinder auf einen dem Luftdruck nahezu gleichen Wert ab (Teil 6—7 des Diagramms). Während des Ausschiebens bleibt der Druck dann nahezu konstant (Teil 7—1 des Diagramms). Zum Ausschieben der Verbrennungsgase ist eine Arbeit W_4 notwendig, die zugeführt werden muß.

Nach dem ersten Hauptsatz der Wärmelehre gilt auch für den Ottomotor

$$W_w = \Delta W_i + W_m.$$

Die während der Verbrennung des Gemischs frei werdende Wärmemenge W_w erhöht die innere Energie W_i bzw. wird als mechanische Arbeit W_m abgegeben. Der größte Teil (W_{ab}) kann zum Antrieb des Fahrzeugs genutzt werden, der Rest wird als Beschleunigungs-, Reibungs- und Kompressionsarbeit im Motor wirksam:

$$W_m = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_{ab}.$$

Da sich die Verbrennungsgase nicht in einem wärmeisolierten Raum befinden, erhöht sich aber nicht nur die innere Energie des Gases. Durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung erwärmen sich auch die Zylinderwände. Es wird daher durch die Wasserkühlung oder über die Kühlrippen eine bestimmte Wärmemenge an die Außenluft abgegeben (Bild 41/3).
Bei der Ausdehnung verrichten die Verbrennungsgase auf Kosten ihrer inneren Energie mechanische Arbeit. Dadurch kühlen sie sich ab. Aber auch die Auspuffgase enthalten wegen ihrer hohen Temperatur noch eine beträchtliche Wärmeenergie, die sich beispielsweise für die Heizung des Fahrzeuges nutzen läßt.

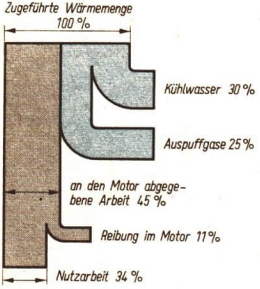


Bild 41/3 Energiestreifendiagramm eines Ottomotors

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 108, Nr. 96 bis 103

[1] Die Verdichtung darf nicht zu stark sein, da sonst die Temperatur des Gemisches über dessen Entzündungstemperatur steigen würde und sich das Gemisch unbeabsichtigt entzündet.

Regeln für den Umgang mit elektrischen Anlagen

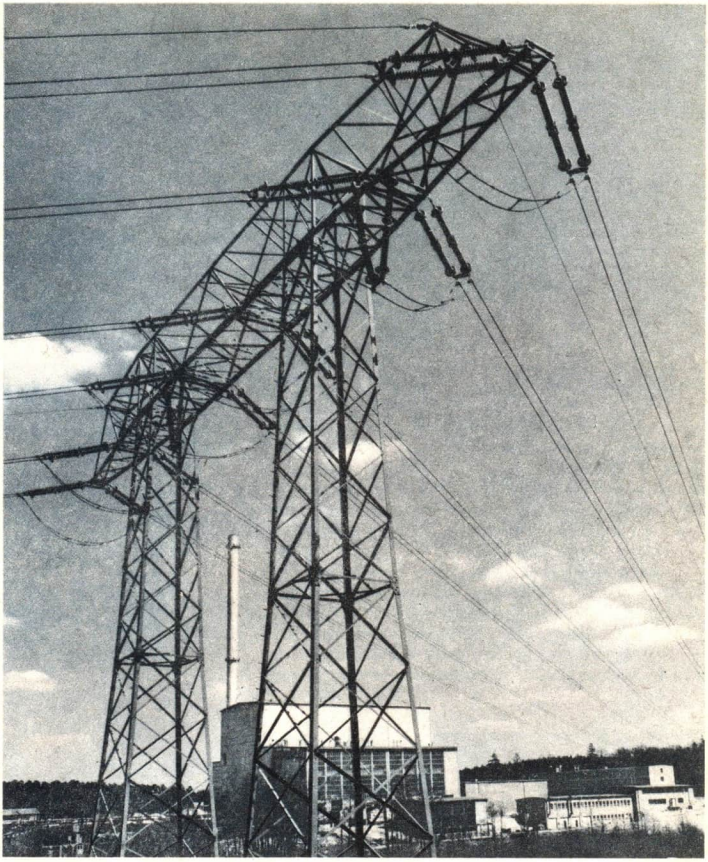
Bei der Benutzung elektrischer Anlagen sind besondere Aufmerksamkeit und Vorsicht notwendig, weil unsachgemäßes Umgehen mit ihnen zu gesundheitlichen Schäden oder gar zum Tode führen kann. Auch kann Sachschaden verursacht werden. Merke dir deshalb folgende *Regeln für den Umgang mit elektrischen Anlagen.*

a) Regeln für die Durchführung von *Schülerexperimenten in der Elektrizitätslehre:*

1. Die *Spannung* darf bei Schülerexperimenten *höchstens 42 V* betragen.
2. Der Aufbau einer elektrischen Versuchsanordnung erfolgt anhand eines *Schaltbildes.*
3. In jeden Stromkreis wird ein offener *Schalter* gelegt.
4. Die *Spannungsquelle* wird stets *zuletzt angeschlossen.*
5. Nachdem der Versuchsaufbau abgeschlossen ist, wird die *Schaltung* noch einmal *überprüft.* Beachte besonders die Schaltung von Strom- und Spannungsmesser!
6. Der *Schalter* wird erst *geschlossen,* wenn der *Lehrer* die *Schaltung kontrolliert* hat.
7. Der *Stromkreis* wird nur *so lange geschlossen, wie* es für die Versuchsdurchführung *notwendig* ist.

b) Regeln für die Benutzung *elektrischer Geräte und Anlagen:*

1. Geräte, Schalter, Steckdosen, Leitungen u. a., bei denen die *Isolation schadhaft* ist, dürfen *nicht in Betrieb* genommen werden (Lebensgefahr!).
2. *Knicke* und *Schlingen* in Kabeln sind zu *vermeiden.*
3. *Kabel* werden beim Herausziehen aus der Steckdose *stets am Stecker,* nie am Anschlußkabel *angefaßt.*
4. Elektrische Schalter, Geräte u. ä. dürfen *nie mit feuchten Händen berührt* werden (Lebensgefahr!).
5. Wasserleitungen und Teile von elektrischen Einrichtungen, die unter Spannung stehen, dürfen *nicht gleichzeitig berührt* werden.
6. Bei Reparaturen an elektrischen Geräten ist der *Netzstecker aus der Steckdose zu ziehen.*



Elektrizitätslehre

Elektrische Ladung, elektrische Stromstärke, elektrische Spannung

Die Glühlampe beginnt zu leuchten, ein Bügeleisen wird erwärmt, der Motor eines Staubsaugers arbeitet, wenn diese Geräte an eine Steckdose angeschlossen werden. Bei einem Gewitter treten gewaltige Entladungen in Form eines Blitzes auf. Die bei allen diesen Vorgängen auftretenden Gesetzmäßigkeiten sollen im folgenden untersucht werden.

Die elektrische Ladung

Im Physik- und Chemieunterricht der Klassen 6 und 7 haben wir folgende Kenntnisse gewonnen (↗ LB. Physik Kl. 6, S. 76 bis 82, LB. Chemie Kl. 7, S. 28 bis 29):
Die uns umgebenden Körper sind aus Atomen aufgebaut, die sich in ständiger Bewegung befinden und aufeinander Kräfte ausüben. Jedes dieser Atome ist zwar sehr klein, besteht aber trotzdem aus noch kleineren Bestandteilen. Dazu gehören die Protonen im Atomkern und die Elektronen in der Atomhülle. Die Elektronen bewegen sich um den Atomkern. Die Anzahl der Elektronen ist gleich der Anzahl der Protonen. Die Protonen sind elektrisch positiv geladen, und die Elektronen sind elektrisch negativ geladen. Der Betrag der elektrischen Ladung eines Protons und der eines Elektrons sind gleich. Der Betrag

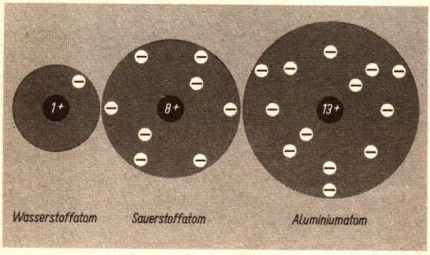


Bild 44/2 Verteilung der elektrischen Ladungen im neutralen Atom

der elektrischen Ladung im Atomkern ist genauso groß wie in der Atomhülle. Da die Ladungen ungleichartig sind, heben sich ihre Wirkungen nach außen hin auf. Das Atom ist als Teilchen weder positiv noch negativ geladen, es ist also nach außen elektrisch neutral (Bild 44/2).

Im Gegensatz zu den positiven Ladungsträgern, den Protonen, sind die negativen Ladungsträger, die Elektronen, in Leitern zum Teil frei beweglich; in Isolatoren dagegen gibt es nur sehr wenige frei bewegliche Elektronen. In Flüssigkeiten und Gasen können sich auch positive Ladungsträger bewegen.

Anstatt **elektrische Ladung** kann man auch **Elektrizitätsmenge** oder kurz **Ladung** sagen.

Trennung elektrischer Ladungen. Bringt man zwei Körper aus verschiedenen Stoffen (z. B. aus Wolle und Hartgummi) in innige Berührung und entfernt sie danach wieder voneinander, so stellt man fest, daß beide elektrisch geladen sind.

Überlege, ob beide Körper die gleiche Ladung zeigen! Begründe deine Meinung!

Eine solche Ladungstrennung kommt auch ungewollt und unerwünscht vor, z. B. bei Maschinen, mit denen Papier, Textilien oder Plastfolien hergestellt werden (Bild 45/1).

Die geschilderten Erscheinungen kann man auch gezielt hervorrufen und zur Ladungstrennung verwenden, z. B. mit einem Bandgenerator (Bild 45/2). In ihm läuft ein endloses Band aus Gummi oder Plast an einer Metallbürste vorbei, die dem Band Elektronen entzieht und diese einer Metallkugel zuführt.

Warum können Elektronen zur Metallkugel gelangen?

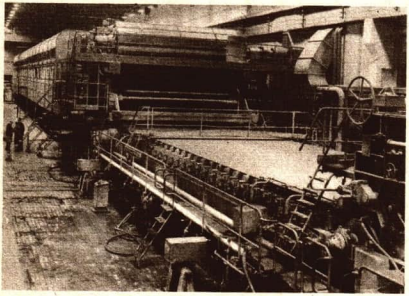


Bild 45/1 Papiermaschine. Das schnellbewegte Material und die Maschinenteile werden häufig elektrisch geladen. Ebenso wirkt die laufende Berührung zwischen Autoreifen und trockener Straße. Durch die auftretende Trennung der Ladungen kann es zu Funkenbildungen kommen (↗ S. 51)

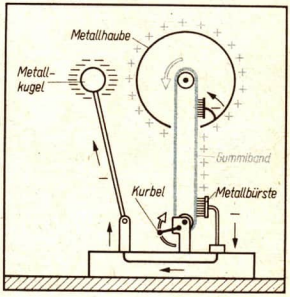


Bild 45/2 Bandgenerator

Auf dem Band besteht dann ein Mangel an Elektronen, auf der Metallkugel ein Überschuß an Elektronen. Das Band ist daher elektrisch positiv geladen, die Metallkugel elektrisch negativ.

> Elektronenmangel bedeutet positive Ladung.
> Elektronenüberschuß bedeutet negative Ladung.

Wenn das elektrisch positiv geladene Band in die Metallhaube läuft, entzieht es dieser über eine zweite Bürste Elektronen, bis es wieder neutral ist.

● *Welche Ladung zeigt demnach die Metallhaube?*

Kräfte zwischen elektrischen Ladungen. Mit dem Bandgenerator haben wir ein Gerät, um Ladungen zu trennen und ihre Eigenschaften zu untersuchen. Wir machen dazu folgenden Versuch:

14 ▼ Zwei Weihnachtsbaumkugeln hängen an zwei 1 m langen Seidenfäden nebeneinander, so daß sie einen Abstand von 2 cm bis 4 cm haben (Bild 46/1). Mit einem Probekörper, das ist häufig eine Metallkugel, die an einem Stab aus Plast befestigt ist (Bild 46/2), berühren wir zuerst die Metallhaube des Bandgenerators, dann gleichzeitig die beiden Weihnachtsbaumkugeln.

Wir **beobachten**, daß sich beide Weihnachtsbaumkugeln voneinander entfernen.

15 ▼ Nachdem wir die Weihnachtsbaumkugeln mit der Hand berührt haben, nehmen sie wieder ihre ursprüngliche Lage ein. Danach berühren wir mit dem Probekörper die Metallkugel des Bandgenerators und anschließend die beiden Weihnachtsbaumkugeln.

Wir **beobachten**, daß sich beide Weihnachtsbaumkugeln wiederum voneinander entfernen.

16 ▼ Wir ändern den Versuch in der Weise ab, daß wir mit dem Probekörper nacheinander zuerst die Metallhaube des Bandgenerators und die eine Weihnachtsbaumkugel berühren, danach die Metallkugel des Bandgenerators und die andere Weihnachtsbaumkugel.

Wir **beobachten**, daß sich jetzt die Kugeln einander nähern. Aus diesen Experimenten können wir folgende **Schlüsse ziehen**:

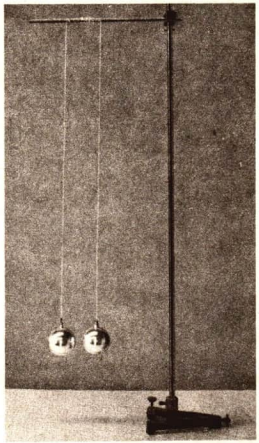


Bild 46/1 Doppelpendel

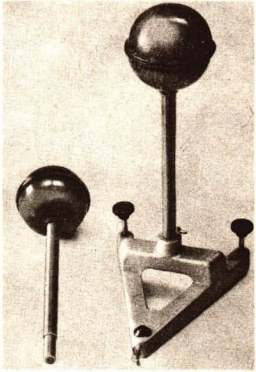


Bild 46/2 Probekörper

1. Elektrische Ladungen lassen sich von einem geladenen Körper auf andere Körper übertragen.
2. Elektrisch geladene Körper üben aufeinander Kräfte aus.
3. Körper mit gleichartigen elektrischen Ladungen stoßen einander ab.
4. Körper mit ungleichartigen elektrischen Ladungen ziehen einander an.

Diese Erscheinungen werden beim Elektroskop genutzt (Bild 47/1).

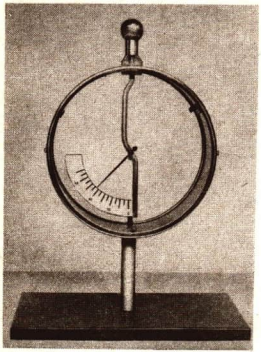
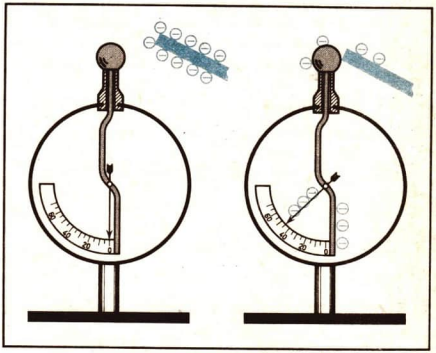


Bild 47/1 Aufbau und Wirkungsweise eines Elektroskops



Erkläre die Wirkungsweise des Elektroskops!

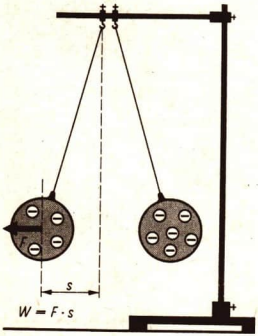


Bild 47/2 Arbeit bei der Bewegung geladener Kugeln

Die Versuche 14 bis 16 haben gezeigt, daß frei bewegliche Körper unter dem Einfluß der zwischen ihnen wirkenden Kräfte sich gegeneinander bewegen. Das bedeutet, daß eine Arbeit *W* verrichtet wird, die von der wirkenden Kraft *F* und dem vom Körper zurückgelegten Weg *s* abhängt (Bild 47/2). Sie tritt als kinetische Energie auf oder wird als potentielle Energie aufgespeichert. Diese wiederum stammt aus der Arbeit, die ursprünglich aufgewendet werden mußte, um die elektrischen Ladungen zu trennen.

Die beim Trennen von elektrischen Ladungen aufgewendete mechanische Arbeit wird in elektrische Energie umgewandelt. Diese kann wiederum in mechanische Arbeit umgewandelt werden.

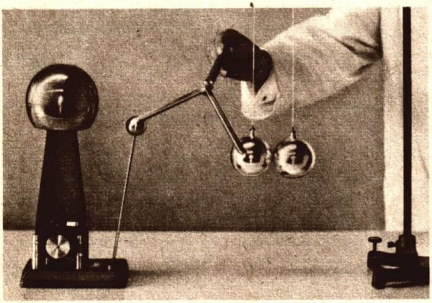
17 ▼ Wir laden eine Weihnachtsbaumkugel wie beim Versuch 15 elektrisch negativ auf und bringen sie in die Nähe der elektrisch negativ geladenen Metallkugel des Bandgenerators. Durch einige Drehungen der Kurbel werden mehr Elektronen zur Metallkugel des Bandgenerators befördert, sie wird also stärker elektrisch negativ aufgeladen.

Wir beobachten, daß die bewegliche Weihnachtsbaumkugel sich weiter von der Metallkugel des Bandgenerators entfernt.

> Die zwischen geladenen Körpern wirkenden Kräfte nehmen mit der elektrischen Ladung zu.

Die Teilbarkeit von elektrischen Ladungen

18 ▼ Wir hängen zwei ungeladene Weihnachtsbaumkugeln so auf, daß sie einander berühren (Bild 48/1). Verbinden wir kurzzeitig mit Hilfe einer „elektrischen Gabel" (Bild 48/2) die eine mit der Metallkugel des Bandgenerators, so beobachten wir, daß sich die beiden Weihnachtsbaumkugeln voneinander entfernen.



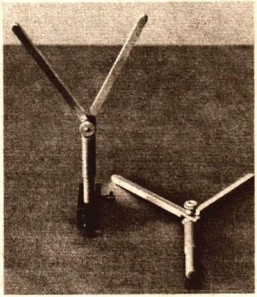


Bild 48/1 Doppelpendel
Bild 48/2 Elektrische Gabel

Daraus können wir schließen, daß sich die frei beweglichen Elektronen auf beide Weihnachtsbaumkugeln verteilt haben. Dadurch wurde auch die zweite Weihnachtsbaumkugel elektrisch geladen, und zwar gleichartig.

19 ▼ Wir ändern den Versuch 18 ab, indem wir nur eine Weihnachtsbaumkugel verwenden, die wir elektrisch negativ aufladen (Bild 49/1a). Nun berühren wir die Weihnachtsbaumkugel mit der Hand

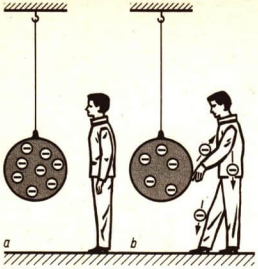


Bild 49/1 a) Kugel elektrisch aufgeladen (Kugel vergrößert gezeichnet)
b) bei der Berührung fließen die Elektronen zur Erde ab

und prüfen danach, ob sie geladen ist. Die Untersuchung zeigt, daß sie jetzt ungeladen ist.

Der Grund hierfür liegt darin, daß wir uns Mensch und Erde als eine zweite Kugel vorstellen können, auf die sich die Ladung der ersten Kugel verteilt hat (Bild 49/1b). Die Erde ist im Verhältnis zur geladenen Kugel ungeheuer groß, so daß sich die gesamte Ladung der Kugel so fein verteilt, daß wir auch mit den empfindlichsten Meßinstrumenten keine elektrische Ladung nachweisen können.

Die historischen Anfänge der Elektrizitätslehre

Die Geschichte der bis jetzt beschriebenen elektrischen Erscheinungen ist schon recht alt. Bereits 1670 hatte der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke eine „Elektrisiermaschine" erfunden, bei der durch Reibung elektrische Ladungen getrennt wurden. 1730 beobachtete der Engländer Gray, daß die elektrische Ladung durch bestimmte Stoffe fortgeleitet wird. Er teilte die Stoffe in Leiter und Isolatoren ein. Wenig später (1733) unterschied der Franzose Dufay die beiden Ladungsarten, die er positive bzw. negative Elektrizität nannte, und untersuchte die zwischen positiv und negativ geladenen Körpern wirkenden Kräfte.

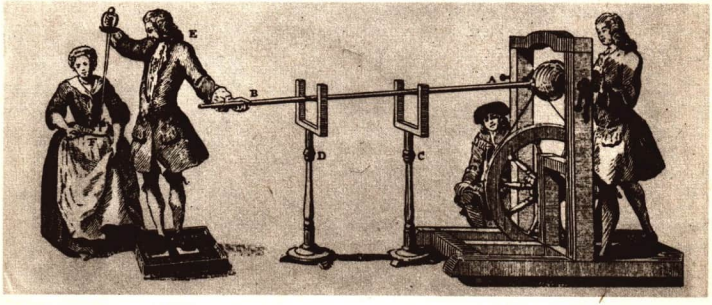


Bild 49/2 Vorführung elektrischer Erscheinungen

In dieser Zeit ahnte noch niemand, welche Bedeutung die Elektrizität einmal erlangen sollte. Die mit ihr verbundenen Erscheinungen wurden in Schaustellungen vorgeführt (Bild 49/2), die den gebildeten Menschen als geheimnisvoll, den ungebildeten aber wie Zauberei vorkamen.

Die kleinste elektrische Ladung

20 ▼ Wir stellen einen Probekörper isoliert auf den Tisch, laden ihn mit dem Bandgenerator elektrisch negativ auf und bringen in seine Nähe eine frei beweglich aufgehängte, ebenfalls negativ aufgeladene Kugel (Bild 50/1). Sie hat einen bestimmten Abstand l_0 von dem feststehenden Probekörper. Letzteren berühren wir nunmehr mit einem zweiten ungeladenen gleich großen Probekörper (Bild 50/2), entfernen diesen dann und leiten seine Ladung zur Erde ab.

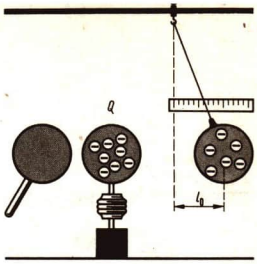


Bild 50/1

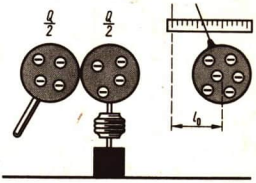


Bild 50/2

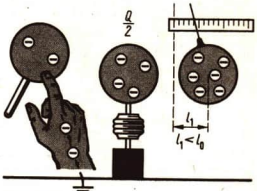


Bild 50/3

Wir beobachten, daß der Ausschlag der frei aufgehängten Kugel kleiner geworden ist (Bild 50/3).
Sofern der feststehende und der bewegliche Probekörper gleich groß sind, haben wir mit diesem Versuch die Ladung des feststehenden Probekörpers halbiert. Wiederholen wir den Vorgang immer wieder, so sinkt die Ladung des feststehenden Probekörpers auf $\frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16} \ldots$ der ursprünglichen Ladung. Der Ausschlag der frei beweglichen Kugel wird immer kleiner, schließlich ist er von uns nicht mehr meßbar. Es ergibt sich die Frage, ob man die elektrische Ladung des Standkörpers beliebig klein machen kann. Sie ist durch Versuche verneint worden. So wie man bei der fortwährenden mechanischen Teilung der Körper auf das Atom stößt, ergibt sich bei fortgesetzter Ladungsteilung eine kleinste, nicht mehr teilbare elektrische Ladung, die identisch mit der elektrischen Ladung eines Elektrons ist.

> Das Elektron trägt die kleinste, nicht mehr teilbare elektrische Ladung.

Man bezeichnet diese kleinste elektrische Ladung auch als **Elementarladung e.**

Die Einheit der elektrischen Ladung

Man hat eine Einheit festgelegt, die so groß ist wie die elektrische Ladung von $6{,}2 \cdot 10^{18}$ Elektronen. Dieser Einheit gab man zu Ehren des französischen Physikers Coulomb (1736 bis 1806) den Namen Coulomb (Kurzzeichen C). Das Formelzeichen für die elektrische Ladung ist **Q**.
Die *Einheit* der **elektrischen Ladung Q** ist das **Coulomb (C).**
$1\ C = 6{,}2 \cdot 10^{18}\ e$.

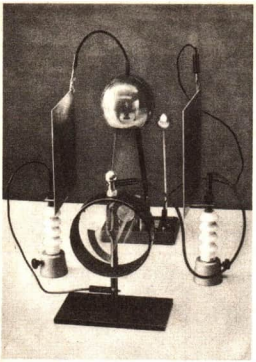


Bild 51/1 Aufladung eines Kondensators

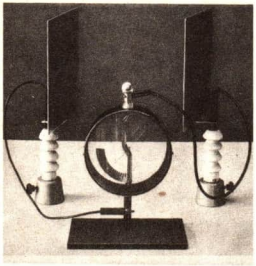


Bild 51/2

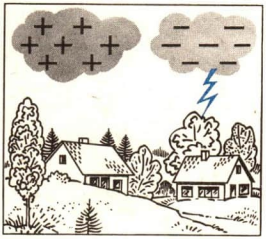


Bild 51/3

Der elektrische Strom

21

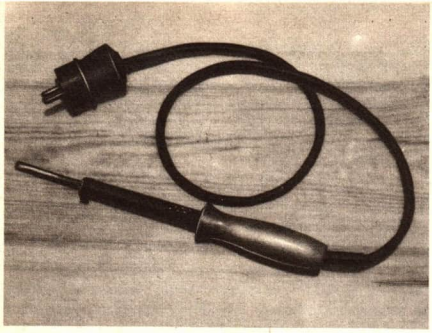
Zwei ebene Metallplatten stehen sich auf einem Tisch isoliert gegenüber. Die eine Metallplatte wird mit der Metallkugel und die andere mit der Metallhaube des Bandgenerators verbunden. Die Kurbel des Bandgenerators wird mehrmals gedreht. Ein Elektroskop zeigt an, daß beide Platten aufgeladen sind (Bild 51/1). Dieser Zustand bleibt auch erhalten, wenn die Verbindungen zum Bandgenerator gelöst werden (Bild 51/2).

Die beiden voneinander isolierten Metallplatten im Bild 51/2 bezeichnet man als **Kondensator**.
Berührt man die elektrisch negativ geladene Metallplatte mit einem kleinen Probekörper und führt diesen an die elektrisch positiv geladene Metallplatte des Kondensators, so beobachtet man einen Rückgang des Elektroskopausschlages. Wird dieser Vorgang mehrfach wiederholt, so nimmt jedesmal auch der Ausschlag des Elektroskops ab, bis er Null ist. Das bedeutet, daß die Platten des Kondensators entladen sind. Bei diesem Versuch sind die Elektronen der elektrisch negativ geladenen Platte, auf der ja ein Elektronenüberschuß herrscht, mit Hilfe des Probekörpers auf die elektrisch positiv geladene Platte des Kondensators, auf der Elektronenmangel herrscht, transportiert worden (↗ S. 46).

Überlege, was geschieht, wenn die negativ und positiv geladenen Platten des Kondensators mit einem metallischen Leiter verbunden werden!
Prüfe die Überlegung durch einen Versuch!

Werden zwei verschiedenartig geladene Körper durch einen metallischen Leiter verbunden, findet ein Ladungsausgleich statt. Den im Leiter vom negativ geladenen zum positiv geladenen Körper gerichteten Elektronenfluß nennt man den **elektrischen Strom.**

Der Ausgleich von elektrischen Ladungen kann auch durch Funken erfolgen. Das können wir z. B. bei einer eindrucksvollen Naturerscheinung beobachten, beim Gewitter. Hierbei werden elektrische Ladungen getrennt (Bild 51/3). Der Ladungsausgleich kann zwischen den Wolken oder zwischen den Wolken und der Erde durch einen Blitz erfolgen (Bild 44/1). Die sich beim Gewitter vollziehenden Vorgänge sind kompliziert und können an dieser Stelle noch nicht ausführlich dargelegt werden.



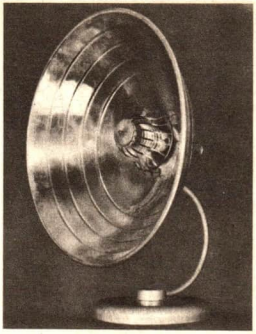


Bild 52/1 Wärmegeräte
a) Lötkolben, b) Heizsonne

Die Wirkungen des elektrischen Stromes. Der in einem Leiter fließende elektrische Strom ist nicht sichtbar. Wir können nur seine Wirkungen wahrnehmen, z. B. die *Wärmewirkungen* (Bild 52/1). Dabei wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Die elektrische Energie wiederum wurde aus der mechanischen Energie umgewandelt, die wir zur Ladungstrennung benötigen (↗ S. 47).

Man kann auch mit Hilfe chemischer Energie Ladungen trennen. Das geschieht z. B. in der Monozelle, die wir später besprechen werden (↗ S. 60).

Die elektrische Energie kann auch *Lichtwirkungen* hervorrufen (Bild 52/3).

22 ▼ Wir verbinden die aufgeladenen Platten eines Kondensators mit einer Glimmlampe (Bild 52/2) und beobachten ihr Aufleuchten.

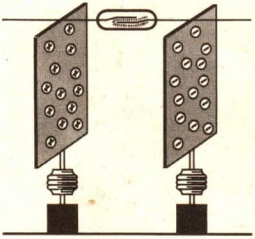
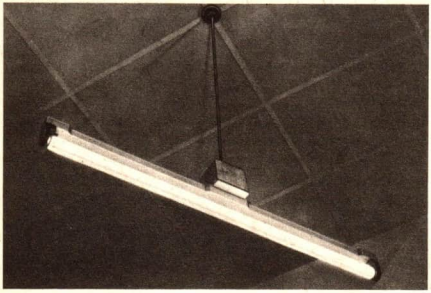


Bild 52/2 Kondensator mit Glimmlampe
Bild 52/3 Elektrische Lichtquellen



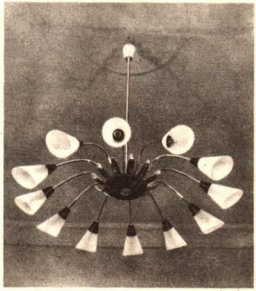


Bild 53/1

Wir kennen auch *chemische Wirkungen* des elektrischen Stromes.
Man wendet diese Wirkung des elektrischen Stromes in der Technik an, z. B. zur Gewinnung von Elektrolytkupfer, zum Oberflächenveredeln (Bild 53/1), zur Herstellung von Galvanoplastiken.
Der elektrische Strom kann auch *magnetische Wirkungen* hervorrufen, z. B. in der elektrischen Klingel (Bild 53/2), im Elektromotor, im Elektromagneten.

Stelle in einer Tabelle alle dir bekannten Geräte zusammen, die auf der Wirkung des elektrischen Stromes beruhen! Gib die Wirkungen an!

Bild 53/2 Elektrische Klingel

Die elektrische Stromstärke

Wiederholt man den Versuch 22 mehrere Male nacheinander, so beobachtet man, daß die Glimmlampe einmal stärker, das andere Mal schwächer aufleuchtet.

Was vermutest du über die Ursache dieser Erscheinung? Wie kannst du deine Vermutung prüfen? Vergleiche mit dem Versuch 17!

> Je größer die elektrische Ladung eines Körpers ist, desto stärker ist die zu beobachtende Wirkung, die der Elektronenfluß (der elektrische Strom) hervorruft.

Um den elektrischen Strom messen zu können, wurde die Größe **elektrische Stromstärke *I*** wie folgt festgelegt:

Bild 53/3 André-Marie Ampère

Die elektrische Stromstärke I ist der Quotient aus der elektrischen Ladung Q und der Zeit t.	$I = \frac{Q}{t}$

Nach dem französischen Physiker Ampère (1775 bis 1836) (Bild 53/3) heißt die *Einheit* der *elektrischen Stromstärke* **Ampere (A)**.

$1\,A = \frac{1\,C}{1\,s}$.

$1\,mA = 0{,}001\,A$,

$1\,\mu A = 0{,}000\,001\,A$.

Die Messung der elektrischen Stromstärke

Die Wirkungen des elektrischen Stromes (↗ S. 52) werden genutzt, um die elektrische Stromstärke zu messen. Im Werkunterricht benutzten wir bereits Strommesser (Bild 54/1), die auf den magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes beruhen. Sie sind durch verschiedene Meßbereiche den verschiedenen Stromstärken angepaßt.

● *Stelle die verschiedenen Meßbereiche eines Strommessers fest!*

Beim Messen der elektrischen Stromstärke werden in einem elektrischen Stromkreis der Strommesser, das elektrische Gerät und die Spannungsquelle immer hintereinandergeschaltet (↗ S. 61 und Bild 67/1).

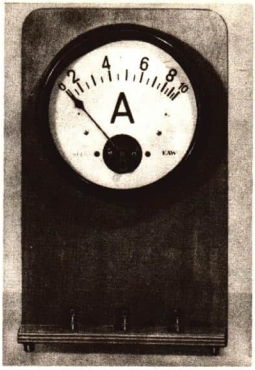


Bild 54/1 Strommesser

Das elektrische Feld

In den bisherigen Experimenten haben wir festgestellt, daß elektrisch geladene Körper Kräfte aufeinander ausüben und daß sie sich bewegen können. Nun wissen wir aus der Mechanik, daß zur Übertragung einer Kraft im allgemeinen Hilfsmittel wie Seile und Stangen notwendig sind. Wir müssen uns daher fragen, wie die Kräfteübertragung zwischen den elektrisch geladenen Körpern vor sich geht. Zur Beantwortung dieser Frage experimentieren wir wieder.

23 ▼ Wir verbinden die etwa 20 cm voneinander entfernten Platten eines Kondensators (↗ S. 51) kurzzeitig mit den Polen des Bandgenerators. Ein Elektroskop zeigt die elektrische Ladung an. Zwischen die Platten bringen wir als Probekörper ein elektrisch positiv geladenes Holundermarkkügelchen (Bild 54/2).

Wir beobachten, daß das Kügelchen von der einen Platte angezogen wird.

● *Von welcher Platte wird das Kügelchen angezogen?*

Diese Erscheinung tritt unabhängig davon auf, an welche Stelle des Raumes zwischen den Platten das Kügelchen gebracht wird; die Kraft auf das Kügelchen muß also an jeder Stelle wirken. Die Kraftwirkung verschwindet sofort, wenn die Platten leitend miteinander verbunden werden.
Zur Erklärung der Erscheinung müssen wir vermuten, daß durch die elektrischen Ladungen die Umgebung der Körper in nicht sichtbarer Weise beeinflußt wird.
Wir prüfen diese Vermutung durch ein Experiment:

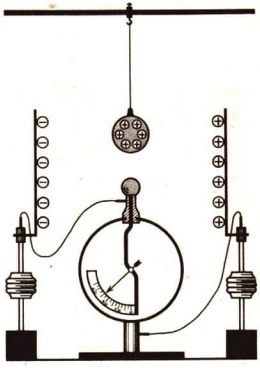
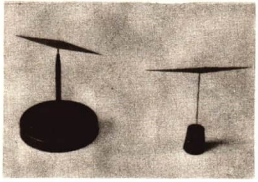


Bild 54/2 Bewegung eines geladenen Körpers zwischen den Platten eines Kondensators

Zwischen die Kondensatorplatten bringen wir eine waagerecht liegende Glasplatte, die auf Korkstopfen steht. (Die Korkstopfen sind zur besseren Übersicht nicht in die Bilder 55/2 und 3 eingezeichnet!) Auf sie stellen wir in mehreren Reihen eine Anzahl drehbarer Papierfähnchen (Bild 55/1), die ungeordnet in verschiedene Richtungen zeigen (Bild 55/2). Verbinden wir nunmehr die Kondensatorplatten mit den Polen des Bandgenerators, bemerken wir eine regelmäßige Ausrichtung der Fähnchen (Bild 55/3).



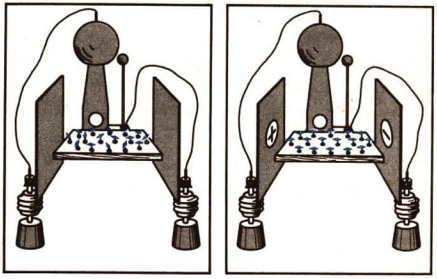


Bild 55/1 Bild eines drehbaren Papierfähnchens
Bild 55/2 Papierfähnchen im ungeladenen Kondensator
Bild 55/3 Papierfähnchen im geladenen Kondensator

Übertrage die Anordnung der Fähnchen in dein Heft und verbinde in jeder Reihe ihre Spitzen miteinander!

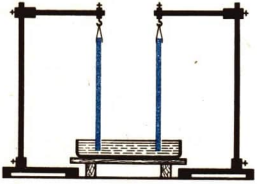


Bild 55/4

An Stelle der Papierfähnchen verwenden wir Grießkörner, die wir in Rizinusöl aufschwemmen. Die Aufschwemmung geben wir in eine flache Glasschale von etwa 10 cm Durchmesser. In die Schale hinein hängen wir die isoliert angebrachten Metallplatten (Bild 55/4), die wir anschließend mit den Polen des Bandgenerators verbinden. Auch hier ordnen sich die Grießkörner kettenförmig zu Linien (Bild 55/5).

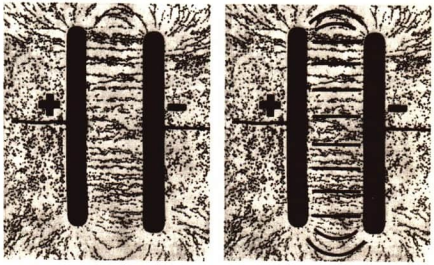


Bild 55/5 links: Grießkörnchen im geladenen Kondensator,
rechts: einige Linien sind besonders hervorgehoben

Die elektrischen Feldlinien. Bei den aufgezeichneten Linien bemerken wir, daß sie in der Mitte zwischen den Platten annähernd parallel, an deren Enden gekrümmt sind. Ein Versuch soll uns weitere Aufklärung über diese Linien geben:

26

Wir stellen zwei ungeladene Metallkugeln nebeneinander und verbinden sie mit den Polen des Bandgenerators (Bild 56/1). Nach ihrer Aufladung streuen wir als Probekörper kleine, zerzauste Wattestückchen auf die eine Metallkugel. Wir beobachten: Die Wattestückchen fliegen von der einen Kugel zur anderen, von dort wieder zurück zur ersten. Das wiederholt sich mehrere Male. Beobachten wir die Wattestückchen genauer, bemerken wir, daß sie sich auch auf gekrümmten Bahnen bewegen, die uns an die gekrümmten Linien beim Versuch 25 erinnern. Außerdem bemerken wir, daß sich die Bewegungen nicht in einer Ebene vollziehen, sondern räumlich um die Kugeln verteilt sind.

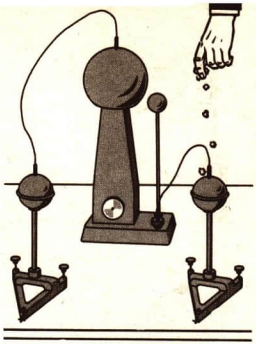


Bild 56/1 Das räumliche elektrische Feld

Erkläre, warum die Wattestückchen die hin- und hergehende Bewegung ausführen!

Aus den Versuchen gewinnen wir folgende Erkenntnisse:

> Im Raum um jeden geladenen Körper wirken Kräfte auf dort befindliche Probekörper. Man sagt: In diesem Raum besteht ein elektrisches Feld. Die Eigenschaften des Feldes werden durch die Kraftwirkungen beschrieben.

Das elektrische Feld ist ebenso Wirklichkeit wie z. B. ein Körper. Die Existenz des Feldes läßt sich durch seine Wirkungen nachweisen.
Die Kräfte ordnen kleine geladene und ungeladene Körper auf Linien, die wir **Feldlinien** nennen.

Die Feldlinien sind ein Modell, das die Kraftrichtung im elektrischen Feld erklären hilft. Es ist deshalb auch nicht möglich, eine bestimmte Anzahl der Feldlinien anzugeben. Wir haben schon öfter solche Modelle kennengelernt und wissen, daß sie nur ein ungefähres Abbild der Wirklichkeit sind (↗ LB. Kl. 6, S. 45). Das Modell der Feldlinien stammt von dem bedeutenden englischen Physiker Faraday (Bild 56/2).

Bild 56/2 Michael Faraday (1791 bis 1867)

Die Energie des elektrischen Feldes

Die Frage nach den Kraftwirkungen im Raum zwischen den geladenen Körpern (↗ S. 54) haben wir durch die Annahme des elektrischen Feldes erst zum Teil geklärt. Wir wissen aus der Mechanik, daß zum Bewegen von Körpern eine Arbeit aufgewendet werden muß. Das trifft natürlich auch auf geladene Körper zu, die in einem elektrischen Feld bewegt werden. Wir müssen also noch die Frage untersuchen, woher die Energie stammt, die zur Bewegung der Körper im elektrischen Feld führt. Wir machen zur Klärung ein *Gedankenexperiment.*

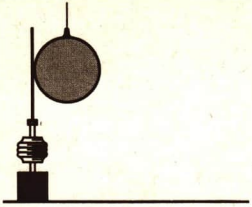


Bild 57/1

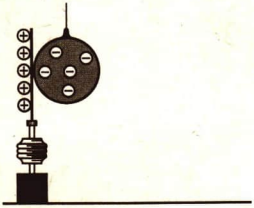


Bild 57/2

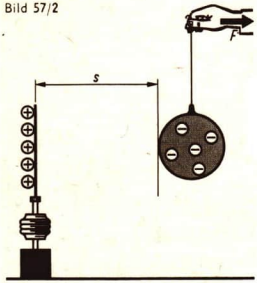


Bild 57/3

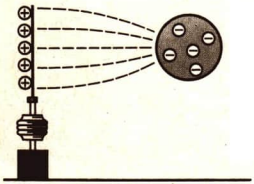


Bild 57/4

Wir denken uns eine ungeladene Kondensatorplatte, an die eine an einem Seidenfaden aufgehängte ebenfalls ungeladene Probekugel gebracht wurde (Bild 57/1). Dann werden durch die Berührung von Kugel und Platte beide, wenn auch sehr schwach, elektrisch geladen (↗ S. 45). Wir wollen annehmen, daß die Platte elektrisch positiv, die Kugel elektrisch negativ geladen wird (Bild 57/2).

Warum werden Platte und Kugel verschiedenartig geladen?

Nunmehr wird die Kugel von der Platte um die Strecke *s* (Bild 57/3) entfernt. Dabei muß mechanische Arbeit *W* aufgewendet werden, deren Betrag von der aufgewendeten Kraft *F* und dem Weg *s* der Kugel abhängt. In dieser Lage wird die Kugel festgehalten.

Warum müssen wir eine Kraft aufwenden, um die Kugel zu entfernen?

Wo ist nun die aufgewendete Arbeit geblieben? Es ist ein elektrisches Feld zwischen Kugel und Platte (Bild 57/4) entstanden, das wir durch die Feldlinien darstellen. Wir müssen annehmen, daß die verrichtete Arbeit in der geladenen Kugel oder in dem sie umgebenden elektrischen Feld als elektrische Energie aufgespeichert wird.

Wird nun im Gedankenexperiment die festgehaltene Kugel losgelassen, so wird sie sich wegen der zwischen ihr und der Platte wirkenden Kraft auf diese zu bewegen und kinetische Energie erlangen. Diese wird beim Aufprallen in Wärmeenergie umgesetzt. In diesem Augenblick ist auch das elektrische Feld mit seiner elektrischen Energie nicht mehr vorhanden.

Schildere zusammenfassend die gesamte Kette der Energieumwandlungen unseres Beispiels!

Wir fassen das Ergebnis unseres Gedankenexperiments zusammen:

Beim Entfernen der Körper voneinander werden auch ihre elektrischen Ladungen voneinander entfernt. Die dabei aufgewendete mechanische Arbeit ist dazu verwendet worden, ein elektrisches Feld aufzubauen. Die elektrische Energie des elektrischen Feldes ist so groß wie die aufgewendete mechanische Arbeit. Das elektrische Feld ist fähig, die geladene Probekugel zu bewegen. Die dazu benötigte Energie wird dem elektrischen Feld entnommen.

▶ Das elektrische Feld ist der Träger elektrischer Energie.

Die elektrische Spannung

Wir ändern unser Gedankenexperiment folgendermaßen ab:

28 ▼ Zwei Kondensatorplatten werden verschiedenartig aufgeladen. In das elektrische Feld zwischen ihnen wird eine Probekugel mit der positiven Ladung Q an den Ort A gebracht (Bild 58/1) und dann längs der Feldlinie um die Strecke s nach dem Ort B verschoben. Dabei muß eine mechanische Verschiebungsarbeit $W = F \cdot s$ aufgewendet werden. Wird umgekehrt die Probekugel mit der Ladung Q von B nach A bewegt, so gewinnt man eine mechanische Arbeit.

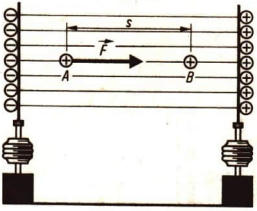


Bild 58/1 Eine positive Ladung wird im elektrischen Feld von A nach B bewegt

Diese wird der elektrischen Energie des Feldes entnommen, und sie ist so groß wie die Verschiebungsarbeit $W = F \cdot s$. Je größer die Ladung Q ist, desto größer ist auch die Verschiebungsarbeit W zwischen den Punkten A und B (↗ S. 47). Ebenso wird auch die gewonnene Energie größer.

▶ Den Quotienten aus der an einem geladenen Körper verrichteten Verschiebungsarbeit W und dessen elektrischer Ladung Q bezeichnet man als **elektrische Spannung U.**

Elektrische Spannung $= \dfrac{\text{Verschiebungsarbeit}}{\text{Ladung}}$	$U = \dfrac{W}{Q}$

Die Einheit der elektrischen Spannung. Um die Einheit der physikalischen Größe elektrische Spannung, kurz Spannung genannt, zu erhalten, sind die entsprechenden Einheiten für die physikalischen Größen Energie und Ladung in den Quotienten einzusetzen. Die Einheit der Ladung ist das Coulomb (C) (↗ S. 50). Als Einheit der Energie ist entweder

Bild 59/1 Alessandro Volta (1745 bis 1827)

die Einheit Kilopondmeter (kpm) oder die Einheit Wattsekunde (Ws) einzusetzen. Bei der Behandlung der Wärmeenergie haben wir mit der Wattsekunde bereits gerechnet (↗ S. 10); im folgenden Kapitel (↗ S. 68) werden wir diese Einheit näher kennenlernen.

Mit den Einheiten Wattsekunde und Coulomb erhalten wir die *Einheit* der *Spannung*, die nach dem Italiener Volta (Bild 59/1) den Namen **Volt (V)** führt.

$$1\ \text{V} = \frac{1\ \text{Ws}}{1\ \text{As}} = 1\ \frac{\text{W}}{\text{A}}.$$

$$1\ \text{mV} = 0{,}001\ \text{V},$$

$$1\ \text{kV} = 1\,000\ \text{V}.$$

Die Spannung bezieht sich also stets auf zwei Punkte eines elektrischen Feldes; ihr Vorhandensein bedeutet die Möglichkeit, zwischen diesen beiden Punkten eine Arbeit verrichten zu können.

Die elektrischen Spannungsquellen

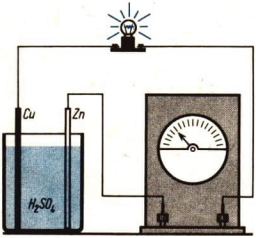


Bild 59/2 Schaltung von Volta-Element, Glühlampe und Strommesser

Wenden wir nun die Überlegungen unseres Gedankenexperimentes in der Praxis an. Um eine Spannung hervorzurufen, mit deren Hilfe in einem Leiter ein Elektronenstrom bewirkt werden kann, müssen Ladungen getrennt werden.

Dazu gibt es viele Möglichkeiten. Eine lernten wir beim Bandgenerator kennen (↗ S. 45). Andere beruhen auf chemischen Vorgängen. Bei der Elektrolyse beispielsweise werden chemische Verbindungen durch den elektrischen Strom zersetzt, es wird also elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Dieser Vorgang ist wie viele andere physikalische und chemische Vorgänge umkehrbar (↗ LB. Kl. 7, S. 49).

29 ▼

Tauche eine Kupfer- und eine Zinkplatte in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure, ohne daß sich die Platten berühren! Was beobachtest du an der Zinkplatte? Welcher chemische Vorgang spielt sich ab? Verbinde die beiden Metallplatten mit einer kleinen Glühlampe! Was zeigt das Aufleuchten der Glühlampe an? Weise den Strom mit einem Strommesser nach, den du nach der Schaltung im Bild 59/3 verwendest!

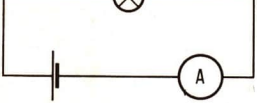


Bild 59/3 Schaltbild mit standardisierten elektrotechnischen Schaltzeichen. Weitere Schaltzeichen sind auf der vorderen inneren Umschlagseite abgebildet

Die galvanischen Elemente. Die Einrichtung in Versuch 29 wird nach ihrem Entdecker, dem Italiener Volta, auch Volta-Element genannt. (Das Wort Element hat hier einen anderen Sinn als in der Chemie.)

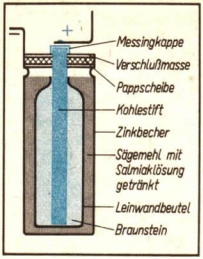


Bild 60/1 Monozelle a) Ansicht
b) Schnitt
Bild 60/2 Luigi Galvani (1737 bis 1798)

Ein anderes derartiges Element ist die Monozelle (Bild 60/1). Man faßt diese und andere Elemente als „galvanische Elemente" zusammen. Sie tragen ihren Namen nach dem Italiener Galvani (Bild 60/2), der als erster beobachtete, daß bei chemischen Vorgängen eine elektrische Spannung entstehen kann.

Ebenfalls auf chemischen Vorgängen beruht die Wirkungsweise des Akkumulators (Bild 60/3).

Mit diesen chemischen Spannungsquellen haben wir einfache Mittel in der Hand, das Verhalten des elektrischen Stromes näher zu untersuchen (↗ S. 51). Sie liefern wesentlich größere Stromstärken als die mittels Bandgeneratoren geladenen Körper. Bei den galvanischen Elementen werden elektrische Ladungen durch chemische Energie getrennt und auf zwei **Elektroden** gesammelt. Die Elektrode, auf der Elektronenüberschuß herrscht, ist der **Minuspol**, die andere der **Pluspol**.

Zwischen den Elektroden (Bild 59/2) besteht die Spannung U. Sie beträgt beim Voltaelement etwa 1 Volt, bei der Monozelle 1,5 V, beim Bleiakkumulator 2 V.

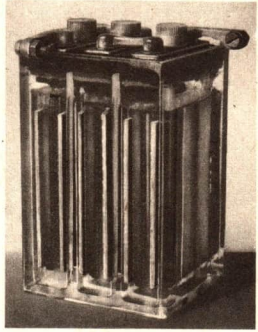


Bild 60/3 Akkumulator

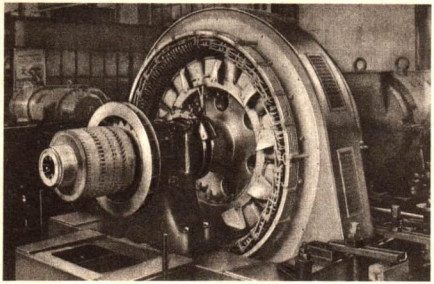


Bild 60/4 Generator

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 110, Nr. 104 bis 132
Schülerexperiment E 1, Seite 117

Der Generator. Von größter Bedeutung für die Praxis ist die Umwandlung von magnetischer Energie, die wiederum aus mechanischer gewonnen wird, in elektrische Energie. Das geschieht in großen Generatoren (Bild 60/4), deren Wirkungsweise wir später untersuchen werden.

In allen Spannungsquellen werden elektrische Ladungen getrennt.

Werden die beiden Pole einer Spannungsquelle über ein elektrisches Gerät miteinander verbunden, so entsteht ein elektrischer Stromkreis, und elektrische Ladungen fließen vom Minuspol zum Pluspol. Es fließt ein elektrischer Strom.

Trage in einer Tabelle die Spannungen aller Spannungsquellen ein, die dir aus dem Unterricht, aus der Produktionspraxis, aus dem Haushalt und den anderen Bereichen des täglichen Lebens bekannt sind!

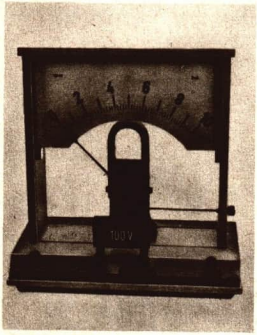


Bild 61/1 Spannungsmesser

Gleichstrom und Wechselstrom. In den bisher beschriebenen Spannungsquellen werden die Ladungen in der Weise getrennt, daß der eine Pol immer einen Elektronenüberschuß, der andere einen Elektronenmangel zeigt. Der Elektronenstrom erfolgt deshalb stets in der gleichen Richtung. Man spricht darum von **Gleichstrom**. Bei den meisten Generatoren werden die beiden Pole wechselseitig aufgeladen, d. h., derselbe Pol zeigt in einem bestimmten Augenblick einen Elektronenüberschuß, im nächsten einen Elektronenmangel. Der Elektronenstrom wechselt deshalb fortwährend seine Richtung. Man spricht darum vom **Wechselstrom**.

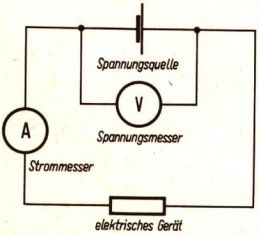
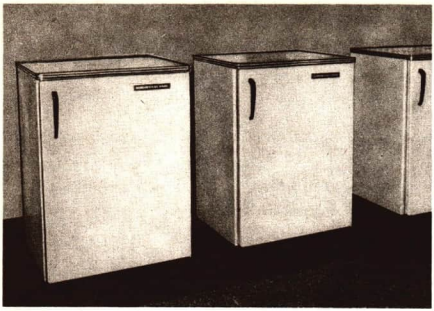


Bild 61/2 Schaltung von Strommesser und Spannungsmesser in einem Stromkreis

Spannungsmeßgeräte. Zur Messung der elektrischen Spannung verwendet man Spannungsmesser (Bild 61/1), deren Wirkungsweise wir später untersuchen werden.
In einem elektrischen Stromkreis werden Spannungsmesser stets parallel zur Spannungsquelle oder zum elektrischen Gerät geschaltet, während Strommesser und elektrische Geräte immer hintereinanderliegen (Bild 61/2).



Elektrische Energie, Arbeit, Leistung

In vielen Haushalten stehen neue elektrische Haushaltsgeräte, z. B. Küchenmaschinen, Kühlschränke, Waschmaschinen, elektrische Warmwasserbereiter. Jedes dieser Geräte hat eine bestimmte elektrische Leistung, der abgebildete Kühlschrank z. B. 200 Watt, die Waschmaschine 2200 Watt. Welche Bedeutung hat die Angabe der Leistung solcher elektrischer Geräte?

Die elektrische Energie und ihre Umwandlung

Bei den Untersuchungen über die Wirkungen des elektrischen Stromes (↗ S. 52) sind wir immer von folgender Überlegung ausgegangen: Die beobachteten Wirkungen sind darauf zurückzuführen, daß die elektrische Energie in andere Energiearten, also in mechanische, magnetische und chemische Energie sowie Wärme- und Lichtenergie umgewandelt wird. Wie uns bereits bekannt ist, kann bei Energieumwandlungen keine Energie verlorengehen (↗ S. 29). So ergibt z. B. ein bestimmter Betrag an elektrischer Energie stets einen gleich großen Betrag an Wärmeenergie. Dabei ist es gleichgültig, in welchen Geräten und unter welchen Bedingungen die Umwandlung geschieht. Auch bei der Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie ändert sich der Betrag der beteiligten Energien nicht.

Bei diesen Beispielen wurde vorausgesetzt, daß eine Energieart nur in e i n e andere Energieart umgewandelt wird. Wir wissen, daß das in der Praxis nicht der Fall ist. In einem Motor wird beispielsweise die elektrische Energie in mechanische und auch durch die unvermeidbare Reibung (↗ LB. Kl. 7) in Wärmeenergie umgewandelt. Bei einer Glühlampe bemerken wir nicht nur Lichtwirkungen des elektrischen Stromes, sondern auch Wärmewirkungen.

In diesen Fällen wird die elektrische Energie nicht nur in eine gewünschte, sondern auch in eine unerwünschte Energieart umgewandelt. Im selben Maße, wie deren Betrag wächst,

wird der Betrag der nutzbaren Energie kleiner; der Wirkungsgrad (↗ LB. Kl. 7, S. 40) des elektrischen Gerätes sinkt.
In eine Energiebilanz müssen wir also alle auftretenden Energiearten einbeziehen. Dann zeigt sich auch hier:

> Bei der Umwandlung elektrischer Energie in andere Energiearten ist die Summe aller Energien konstant.

Der Satz von der Erhaltung der Energie

Bei der Umwandlung der elektrischen Energie wird die Erfahrung aus der Mechanik (↗ LB. Kl. 7, S. 48) und aus der Wärmelehre (↗ LB. Kl. 8, S. 29) bestätigt. Wir können allgemein sagen:

> Bei der Umwandlung der verschiedenen Energiearten ineinander bleibt die Gesamtenergie erhalten.

Wie lautet der Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie?
Wie lautet der 1. Hauptsatz der Wärmelehre?

Die Bedeutung des Energieerhaltungssatzes

Der Satz von der Erhaltung der Energie ist von großer *theoretischer Bedeutung*, weil er zum Ausdruck bringt, daß es unmöglich ist, durch einen physikalischen oder chemischen Vorgang Energie zu „erzeugen", d. h. aus dem Nichts zu gewinnen. Immer müssen wir einen bestimmten Betrag einer Energieart aufwenden, wenn wir einen bestimmten Betrag einer anderen Energieart z. B. für technische Zwecke benötigen. In allen Fällen ist die Energie gleich groß. Ebenso geht niemals Energie „verloren".

Dieser äußerst wichtige Satz, der zum ersten Male von J. R. Mayer und H. Helmholtz (↗ S. 30) ausgesprochen worden ist, ist ein Satz ausschließlich aus der Erfahrung. Alle unsere Experimente, unsere gesamte Produktionspraxis bestätigen immer wieder seine Gültigkeit. Der Wahrheitsgehalt einer Aussage kann nur durch die Praxis überprüft und bestätigt werden. Dies ist ein wichtiger Bestandteil unserer marxistisch-leninistischen Weltanschauung.

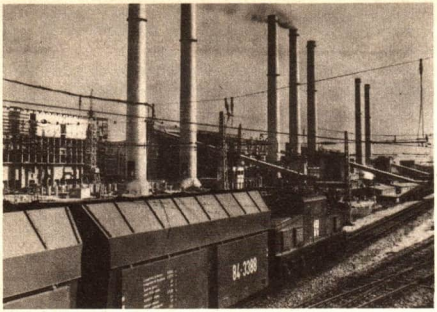


Bild 64/1 Kohlekraftwerk

Der Energieerhaltungssatz ist auch von großer *praktischer* Bedeutung für das tägliche Leben und für die Produktion. So wird z. B. zum Betrieb von Haushaltsgeräten und Maschinen, zur Beleuchtung von Wohnungen, Gebäuden und Straßen, zum Bewegen von Straßenbahnen, für Funk und Fernsehen elektrische Energie umgewandelt, ohne die ein modernes Leben undenkbar ist.

Diese elektrische Energie muß in den Elektrizitätswerken aus der chemischen Energie der Kohle (Bild 64/1), aus der mechanischen Energie des Wassers (Bild 64/2) oder aus der Kernenergie (Bild 65/1) umgewandelt werden. Haushalte, Betriebe und öffentliche Institutionen müssen für die Lieferung der elektrischen Energie bezahlen. Fast in jedem Ge-

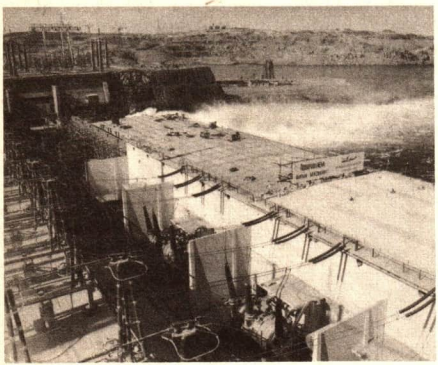


Bild 64/2 Wasserkraftwerk

Bild 65/1 Atomkraftwerk

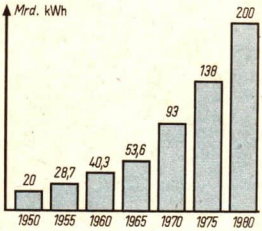


Bild 65/2 Gewinnung von Elektroenergie in der DDR und voraussichtlicher Bedarf bis 1980

genstand, den wir zur Hand nehmen, stecken Kosten für elektrisch betriebene Geräte und Maschinen. Unsere ständig wachsenden Bedürfnisse bedingen eine fortwährende Steigerung der Arbeitsproduktivität. Das wiederum ist nur durch die zunehmende Mechanisierung und Automatisierung möglich, z. B. durch den verstärkten Einsatz von elektrisch betriebenen Maschinen. Aus diesen Gründen hat sich der Energiebedarf in der DDR von 1955 bis 1965 etwa verdoppelt (Bild 65/2) und wird sich weiter erhöhen.

Ein eindrucksvolles Beispiel für die volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektroindustrie zeigt die von Lenin angeregte Elektrifizierung der Sowjetunion. Sie hat entscheidend dazu beigetragen, die Sowjetunion zu einem der mächtigsten Länder der Erde zu machen.

Die elektrische Arbeit

Wir wissen, daß die Wirkungen des elektrischen Stromes durch die mit den Ladungen verbundene elektrische Energie hervorgerufen werden. Deshalb hatten wir für die elektrische Stromstärke definiert (↗ S. 53):

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Durch Multiplikation mit t erhalten wir für die Ladung

Ladung = Stromstärke · Zeit; $Q = I \cdot t$.

Einheiten: 1 C = 1 As.

Diese Beziehung gestattet eine einfache Berechnung der Ladung durch die Messung von Stromstärke und Zeit.

Zwischen der bewegten Ladung Q und der elektrischen Arbeit W besteht eine Beziehung, die wir zur Definition der Span-

nung U benutzten (↗ S. 58). Danach war

$$U = \frac{W}{Q}.$$

Aus dieser Gleichung folgt durch Multiplikation mit Q für die elektrische Arbeit

$W = U \cdot Q$,

und durch Einsetzen von

$Q = I \cdot t$

ergibt sich:

$W = U \cdot I \cdot t$.

Die elektrische Arbeit ist das Produkt aus Spannung, Stromstärke und Zeit.	$W = U \cdot I \cdot t$

Eine *Einheit* der **Arbeit** ist die **Wattsekunde (Ws).**

1 Ws = 1 VAs,

1 kWh = 3 600 000 Ws.

Die Messung der elektrischen Arbeit

In der Praxis mißt man die elektrische Arbeit durch Elektrizitätszähler (Bild 66/1). In ihnen wird durch den elektrischen Strom eine Scheibe gedreht. Die Anzahl der Umdrehungen ist ein Maß für die in einem elektrischen Gerät (Heizofen, Glühlampe, Motor) umgewandelte elektrische Energie und wird mit einem Zählwerk gemessen. Liest man die angezeigten Arbeiten vor und nach der Benutzung eines bestimmten elektrischen Gerätes ab, so ergibt die Differenz die verrichtete elektrische Arbeit.

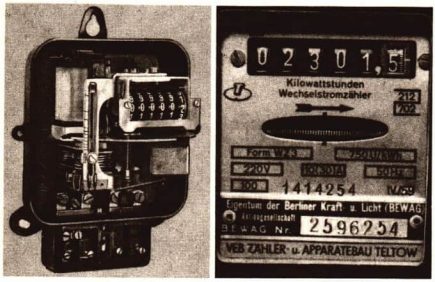


Bild 66/1 Kilowattstundenzähler. Links: geöffnet, rechts: Typenschild

Lies an einem Kilowattstunden-Zähler bei abgeschalteten Geräten den Zählerstand ab! Beobachte, sobald ein elektrisches Gerät, z. B. ein Bügeleisen, eingeschaltet wird, den Zähler! Notiere den Zählerstand, wenn das Gerät etwa 10 min in Betrieb ist! Ermittle die während dieser Zeit verrichtete Arbeit!

Beziehungen zwischen den Energieeinheiten

Wenn elektrische Energie in eine andere Energieart umgewandelt wird, bleibt die Gesamtenergie erhalten (↗ S. 63). Das drückt sich auch dadurch aus, daß zwischen den Energieeinheiten (z. B. Ws, cal) bestimmte Beziehungen bestehen (↗ S. 10). Diese Beziehungen sind gesetzlich festgelegt. So ist 1 cal = 4,186 8 Ws.

1 cal = 4,187 Ws
1 Ws = 0,239 cal

Die Zahlenwerte 0,239 und 4,187 sind aus der historischen Entwicklung zu verstehen. Der in der „Tafel der gesetzlichen Einheiten" gegebenen Festsetzung liegen früher experimentell gefundene Zusammenhänge zugrunde.

Ein Versuch soll veranschaulichen, wie die Konstante früher experimentell bestimmt worden ist:

30

Ein Thermosgefäß wird mit 500 g Wasser von Zimmertemperatur ($\vartheta_1 = 18\,°C$) gefüllt und mit einem Tauchsieder 60 s lang erwärmt (Bild 67/1). Innerhalb dieser Zeit ist die Temperatur gestiegen (auf $\vartheta_2 = 32\,°C$). Die Stromstärke beträgt 2,28 A bei einer Spannung $U = 220$ V.

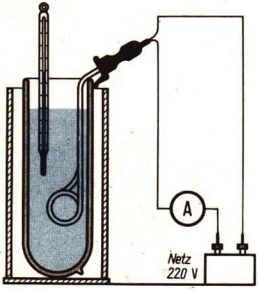


Bild 67/1 Versuchsanordnung zur Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie

Die zum Erwärmen des Wassers erforderliche elektrische Energie ist also

$W_1 = U \cdot I \cdot t$

$W_1 = 220\text{ V} \cdot 2{,}28\text{ A} \cdot 60\text{ s}$

$W_1 = 30\,100\text{ Ws}.$

Andererseits beträgt die zum Erwärmen des Wassers benötigte Wärmeenergie (↗ S. 12):

$W_2 = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

$W_2 = 1\,\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}} \cdot 500\text{ g} \cdot 14\text{ grd}$

$W_2 = 7000\text{ cal}.$

Aus der Gleichsetzung beider Energien ergibt sich:

30 100 Ws = 7000 cal

1 Ws = 0,232 cal

Warum ist unser experimentell ermittelter Wert kleiner als der gesetzlich festgelegte?

■ Die elektrische Energie kann auch in mechanische umgewandelt werden, z. B. dadurch, daß ein Motor einen Körper vom Gewicht G um die Strecke h hebt.

● *Überlege, wie man das zuletzt genannte Beispiel dazu verwenden könnte, die Beziehung zwischen den Einheiten Kilopondmeter und Wattsekunde zu ermitteln! Welche physikalischen Größen müßte man messen? Welche müßten gleichgesetzt werden?*

1 Ws = 0,102 kpm
1 kpm = 9,81 Ws

1 Ws = 0,239 cal = 0,102 kpm
1 cal = 4,187 Ws = 0,427 kpm
1 kpm = 9,81 Ws = 2,34 cal

Auch die Beziehung zwischen den Energieeinheiten Wattsekunde und Kilopondmeter ist gesetzlich festgelegt (↗ S. 10). Die Übersicht zeigt noch einmal, wie man die Einheiten der Energie, der Arbeit und der Wärmemenge ineinander umrechnen kann.

Die elektrische Leistung

Auf die gleiche Weise, wie die mechanische Leistung aus der mechanischen Arbeit abgeleitet wird (↗ LB. Kl. 7, S. 52), geschieht dies bei der **elektrischen Leistung:**

$$\text{Elektr. Leistung} = \frac{\text{elektr. Arbeit}}{\text{Zeit}}; \qquad P = \frac{W}{t}.$$

Da $W = U \cdot I \cdot t$ ist, können wir für die Leistung P schreiben:

$$P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} \text{ oder } P = U \cdot I.$$

▶ Die elektrische Leistung ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke.	$P = U \cdot I$

Eine *Einheit* der **Leistung** ist das **Watt (W).**
1 W = 1 VA,
1 kW = 1 000 W,
1 MW = 1 000 kW = 1 000 000 W.

31 ▼ Wir wollen die Leistung einer elektrischen Kochplatte bestimmen. Demnach müssen wir die Spannung U messen, die an der Kochplatte liegt, und die Stromstärke I. Dazu schalten wir einen Strommesser in den Stromkreis und einen Spannungsmesser an die Buchsen der Kochplatte (Bild 68/1).

Wir messen $I = 2{,}3$ A,
$U = 220$ V.

Gegeben:	Lösung:
$I = 2{,}3$ A	$P = U \cdot I$
$U = 220$ V	$P = 220\ \text{V} \cdot 2{,}3\ \text{A}$
	$P = 506$ VA
Gesucht:	$P = 506$ W
P	

Die Leistung der elektrischen Kochplatte beträgt 506 W.

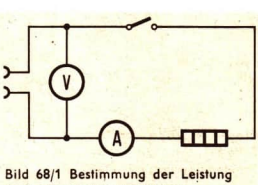


Bild 68/1 Bestimmung der Leistung einer elektrischen Kochplatte

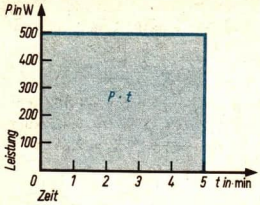


Bild 69/1 Diagramm der elektrischen Leistung

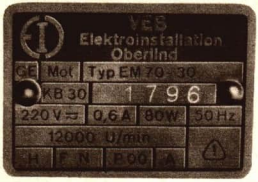


Bild 69/2 Typenschild eines elektrischen Gerätes

Die Beziehung zwischen elektrischer Leistung und elektrischer Arbeit

Das Ergebnis des Versuchs 31 wird in ein Diagramm eingetragen, das die Beziehung zwischen der Leistung und der Zeit wiedergibt (Bild 69/1). Die Leistungskurve ist eine zur Zeitachse parallele Gerade, weil die Leistung während der ganzen Versuchsdauer konstant bleibt. Brechen wir den Versuch nach einer bestimmten Zeit ab, so sinkt die Leistung auf Null. Die Leistungskurve umschließt somit ein Rechteck, dessen Inhalt gleich dem Produkt aus Leistung und Zeit ist. Physikalisch bedeutet das Produkt $P \cdot t$ die der elektrischen Kochplatte zugeführte elektrische Arbeit, weil $W = P \cdot t$ ist.

Vergleiche diese Darstellung mit dem Arbeitsdiagramm, wenn eine mechanische Kraft längs eines bestimmten Weges wirkt (↗ *LB. Kl. 7, S. 24*).

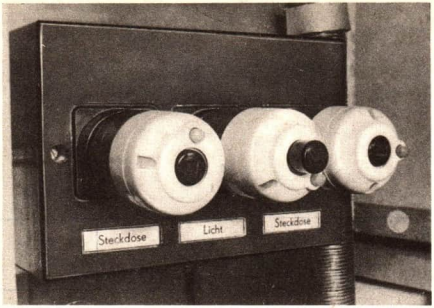
Bei allen elektrischen Geräten wird die Leistung auf einem Typenschild angegeben (Bild 69/2). Aus ihr kann die Stromstärke berechnet werden, wenn die benötigte Spannung bekannt ist.

Lies die Leistung auf dem Typenschild (Bild 69/2) ab!

In der folgenden Übersicht sind die untersuchten physikalischen Größen zusammengefaßt:

Physikalische Größe	Formelzeichen	Gleichung	Name der Einheit	Kurzzeichen
Elektrische Stromstärke	I	$I = \frac{Q}{t}$	Ampere	A
Elektrische Spannung	U	$U = \frac{W}{Q}$	Volt	V
Elektrische Ladung	Q	$Q = I \cdot t$	Coulomb, Ampere-sekunde	C As
Elektrische Arbeit	W	$W = U \cdot I \cdot t$	Watt-sekunde	Ws
Elektrische Leistung	P	$P = \frac{W}{t}$ $P = U \cdot I$	Watt	W

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 111, Nr. 133 bis 140
Schülerexperiment E 2, Seite 118



Elektrischer Widerstand, Ohmsches Gesetz

Kurzschluß! — Die Sicherung hat den Stromkreis unterbrochen. — Dadurch wurde beispielsweise die Gefahr eines Wohnungsbrandes beseitigt. Welche Gesetze liegen diesem Vorgang zugrunde?

Der Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke

Wie wir bereits wissen, fließt ein Strom, wenn an den Enden eines Leiters eine Spannung liegt. Es ergibt sich die Frage, ob sich die Stromstärke ändert, wenn die Spannung geändert wird. Man kann zunächst Vermutungen über das Ergebnis anstellen. Die Vermutungen müssen dann experimentell überprüft und dadurch bestätigt oder verworfen werden. Mit unseren Kenntnissen über Stromstärke und Spannung vermuten wir, daß ein Erhöhen der angelegten Spannung die Stromstärke vergrößert. Um diese Vermutung zu überprüfen, wird ein Experiment nach Bild 70/2 durchgeführt.

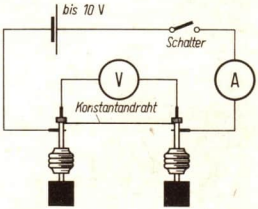


Bild 70/2 Versuchsaufbau zur experimentellen Untersuchung der Beziehungen zwischen Spannung und Stromstärke

32 ▼ An einen Konstantandraht werden der Reihe nach verschiedene Spannungen gelegt und gemessen. Außerdem wird mit einem Strommesser die jeweilige Stromstärke gemessen. Die Werte werden tabellarisch dargestellt.

Nr. der Messung	U in V	I in A	$\frac{U}{I}$ in $\frac{V}{A}$
1	3,6	0,50	7,2
2	6,2	0,86	7,2
3	8,7	1,19	7,3
4	10	1,44	7,0

Tabelle 7: Beispiel einer Meßreihe

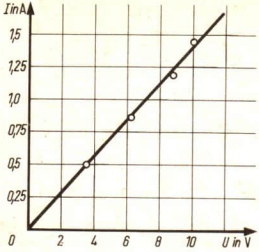


Bild 71/1 Grafische Darstellung der Meßwerte aus Versuch 32

Wird in einem Stromkreis die Spannung geändert, so ändert sich auch die Stromstärke.
Die Kurve in Bild 71/1 zeigt, daß alle Meßwerte annähernd auf einer Geraden liegen. Die Stromstärke ist also der Spannung proportional.
Bildet man in der Tabelle die Quotienten aus der Spannung und der Stromstärke, so erhält man – von Meßfehlern abgesehen – konstante Werte.[1] Das zeigt ebenfalls die Proportionalität von Stromstärke und Spannung.

Stromstärke und Spannung sind einander proportional.	$I \sim U$

Bild 71/2 Georg Simon Ohm (1789 bis 1854)

Führt man den gleichen Versuch mit anderen Drähten durch, so ergeben sich ebenfalls konstante Werte, die sich von dem Versuch mit dem Konstantandraht durch ihren Zahlenwert unterscheiden.
Der erste, der diesen wichtigen Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke experimentell erfaßte, war der deutsche Physiker Georg Simon Ohm (Bild 71/2). Nach ihm heißt das nachfolgende Gesetz **Ohmsches Gesetz.**

Für ein und denselben Leiter ist der Quotient aus Spannung und Stromstärke konstant.	$I \sim U$ $\frac{U}{I} = \text{konstant}$

Georg Simon Ohm wurde 1789 in Erlangen geboren. Er entstammt einer alten westfälischen Schlosserhandwerkerfamilie. Nach verschiedenen Anstellungen als Lehrer war G. S. Ohm von 1817 bis 1826 als Oberlehrer am Kölner Gymnasium tätig, wo er 1826 das nach ihm benannte Gesetz entdeckte. Seine großartige Leistung fand zunächst keine Anerkennung. So verwarf man mit kränkenden und beleidigenden Worten seinen Anspruch auf eine Professur. Daraufhin forderte G. S. Ohm seine Entlassung aus dem preußischen Schuldienst. Mit primitiven experimentellen Mitteln führte er zielstrebig seine Untersuchungen weiter und entdeckte andere wichtige Gesetzmäßigkeiten. Die breite Anerkennung durch die Wissenschaft setzte in Deutschland erst ein, nachdem ihn das Ausland ausgezeichnet hatte. Endlich wurde er 1833 als Direktor und Professor für Physik an die Polytechnische Schule in Nürnberg berufen. Später siedelte er nach München um und verstarb am 6. Juli 1854.

[1] Die Temperatur des Leiters wird nicht berücksichtigt.

Die Definition des elektrischen Widerstandes; die Einheit Ohm

Aus der Tatsache, daß für verschiedene Leiter der Quotient $\frac{U}{I}$ jeweils konstant ist, ergibt sich die Möglichkeit, als Proportionalitätsfaktor eine weitere physikalische Größe einzuführen. Man nennt sie den **elektrischen Widerstand R.**

▶ Der elektrische Widerstand ist der Quotient aus Spannung und Stromstärke.	$R = \frac{U}{I}$

Ohm zu Ehren wurde die *Einheit* des elektrischen Widerstandes mit **Ohm (Ω)** benannt.

$$1\,\Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$$
$$1\ \text{k}\Omega = 1\,000\,\Omega$$
$$1\ \text{M}\Omega = 1\,000\,000\,\Omega$$

Beachte: Das Wort Widerstand wird in mehrfacher Bedeutung gebraucht, und zwar für die physikalische Größe, für die Eigenschaft des Leiters, dem Stromfluß einen Widerstand entgegenzusetzen, und für elektrische Bauelemente, die man in den Stromkreis einschaltet.[1]

Die Definition $R = \frac{U}{I}$ gibt die Möglichkeit, in einem Stromkreis den Widerstand R eines Gerätes zu bestimmen, wenn die zusammengehörigen Werte für die Spannung U und die Stromstärke I bekannt sind.

■ Wie groß ist der Widerstand eines Gerätes in einem Stromkreis, wenn die Stromstärke 0,2 A und die Spannung 6 V betragen?

Gegeben:

$I = 0{,}2\ \text{A}$

$U = 6\ \text{V}$

Gesucht:

R

Lösung:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{6\ \text{V}}{0{,}2\ \text{A}}$$

$$\underline{\underline{R = 30\,\Omega}}$$

Der Widerstand beträgt 30 Ω.

[1] Um Verwechslungen zu vermeiden, werden wir, wo notwendig, die Bauelemente technische Widerstände nennen.
Um nicht zu sagen: der elektrische Widerstand des technischen Widerstandes beträgt 100 Ω, sprechen wir in solchen Fällen kurz von einem „Widerstand von 100 Ω".

Schülerexperiment E 3, Seite 119

Bild 73/1 Bewegung von freien Elektronen im metallischen Leiter (ohne elektrisches Feld)

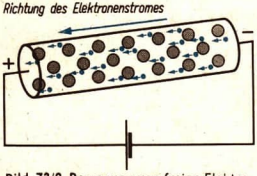


Bild 73/2 Bewegung von freien Elektronen im metallischen Leiter (mit elektrischem Feld)

Deutung des Widerstandes der Metalle mit Hilfe der Elektronenbewegung

In den metallischen Leitern sind in unterschiedlicher Anzahl freie Elektronen im Gitter vorhanden (Bild 73/1). Sie bewegen sich ungeordnet und treten hierbei oft mit den Gitterbausteinen in Wechselwirkung. Diese ungeordnete Bewegung der Elektronen stellt keinen Transport von Ladungen *in eine bestimmte Richtung* dar und ist daher kein elektrischer Strom.
Wenn jedoch innerhalb des metallischen Körpers ein elektrisches Feld erzeugt wird (z. B. durch eine angelegte Spannung), so erhalten die Elektronen eine zusätzliche Beschleunigung (Bild 73/2). Diese zusätzliche Beschleunigung führt zu einer geordneten Bewegung der freien Elektronen und stellt einen Ladungstransport *in eine bestimmte Richtung* dar. Es fließt ein elektrischer Strom.
Die verschiedenen Metalle zeigen einen unterschiedlichen Aufbau und haben unterschiedlich viel freie Elektronen. Deshalb setzen die metallischen Leiter dem Stromfluß einen unterschiedlich großen Widerstand entgegen.

Gültigkeitsbereich des Ohmschen Gesetzes

Es wurde bisher angenommen, daß das Ohmsche Gesetz $I \sim U$ allgemeingültig ist. Es gibt aber Bedingungen, die die Gültigkeit dieses Gesetzes auf einen bestimmten Bereich beschränken. Beim Anlegen eines elektrischen Feldes an einen Leiter aus Metall werden die freien Elektronen zunächst beschleunigt. Es kommt zu Wechselwirkungen mit den Gitterbausteinen des Metalls, aus dem der Leiter besteht. Dabei geben die freien Elektronen auch Energie an die Gitterbausteine ab. Die Schwingungsenergie der Gitterbausteine nimmt zu; der Leiter erwärmt sich, sein Widerstand wächst (↗ S. 78).
Das Gesetz $I \sim U$ gilt deshalb nur unter der Bedingung, daß die Temperatur während der Messungen konstant bleibt. Die Definition für den Widerstand $R = \frac{U}{I}$ ist hingegen allgemeingültig.

Technische Widerstände

Die Eigenschaft der Körper, einen Widerstand zu besitzen, macht man sich beim Bau **technischer Widerstände** zunutze (Bild 74/1). Auf einem Isolator, z. B. einem Keramik-

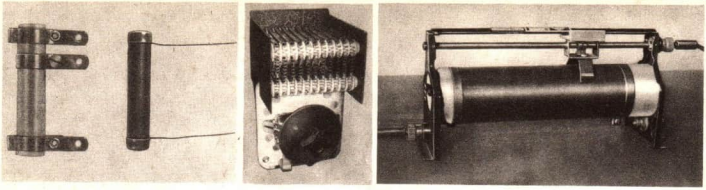


Bild 74/1 Technische Widerstände
a) Festwiderstand
b) Kurbelwiderstand
c) Schiebewiderstand

körper, sind Drähte aus Konstantan, Nickelin usw. montiert. Bei manchen Ausführungen kann man auf einer Führungsschiene mit einem Gleitkontakt verschieden lange Stücke abgreifen. Verbindet man einen Pol der Spannungsquelle mit dem einen Drahtende, den anderen Pol mit dem Gleitkontakt, so kann man durch Verstellen des Gleitkontaktes den elektrischen Widerstand des Gerätes zwischen Null und dem Höchstwert ändern und damit bei gegebener Spannung die Stromstärke. Für die technischen Widerstände werden in den Schaltungen standardisierte Symbole verwendet (↗ vordere innere Umschlagseite).

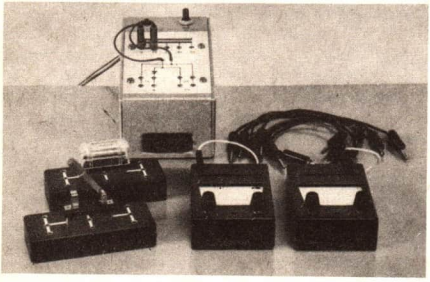


Bild 74/2 Zeichne das Schaltbild für einen Stromkreis aus Gleichspannungsquelle, Strom- und Spannungsmesser, Schalter und technischem Widerstand mit standardisierten Symbolen!

Das Widerstandsgesetz

Der Widerstand ist eine wichtige Eigenschaft der Leiter. Wie wir bereits wissen, hängt er bei Metallen von der Art des Metalles ab. Da in einem Leiter die Anzahl der freien Elektronen, die durch den Querschnitt hindurchströmen können, zunimmt, wenn sich der Querschnitt des Leiters vergrößert, ist zu vermuten, daß der Querschnitt des Leiters auch einen Einfluß auf seinen Widerstand haben könnte. Auch die Länge

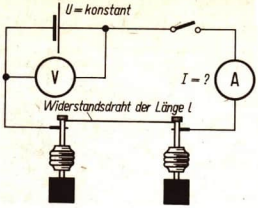


Bild 75/1 Schaltbild zur experimentellen Untersuchung der Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge

des Leiters könnte einen Einfluß auf den Widerstand haben. Es sollen deshalb zu diesen Fragen experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden. Dabei wird jeweils nur die Beziehung zwischen zwei der gegebenen Größen untersucht, während die übrigen beeinflussenden Größen konstant gehalten werden.

Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge des Leiters

Nach Bild 75/1 wird ein Widerstandsdraht bestimmter Länge an eine Spannungsquelle (U = konstant) angeschlossen. Es wird die Stromstärke gemessen und in eine Tabelle eingetragen. Dann wird der Versuch mit Drähten doppelter, dreifacher und vierfacher Länge wiederholt. Abschließend wird R aus U und I berechnet.

Tabelle 8: Beispiel einer Meßreihe

Nr. der Messung	U in V	I in A	R in Ω	l in cm	$\frac{R}{l}$ in $\frac{\Omega}{cm}$
1	5,0	2,9	1,7	50	0,034
2	5,0	1,4	3,6	100	0,036
3	5,0	1,0	5,0	150	0,033
4	5,0	0,7	7,1	200	0,036

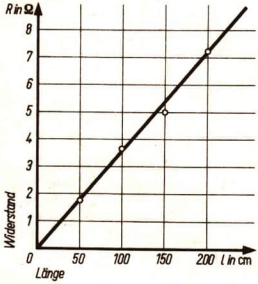


Bild 75/2 Grafische Darstellung der Meßwerte aus Versuch 33

Die grafische Darstellung in Bild 75/2 ergibt eine Gerade. Widerstand und Länge des Leiters sind demnach proportional.

Berechnet man die Quotienten $\frac{R}{l}$, so erhält man, von kleinen, durch Meßfehler bedingte Abweichungen abgesehen, konstante Werte.

Durch viele weitere Versuche kann die direkte Proportionalität von Widerstand und Leiterlänge festgestellt werden.

Der Widerstand ist der Länge des Leiters proportional.	$R \sim l$

Deute diese Aussage mit Hilfe der Elektronenbewegung!

Die Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt des Leiters

Der im Versuch 33 verwendete Draht hatte einen bestimmten Querschnitt, der durch Messung des Durchmessers und durch Rechnung $\left(A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}\right)$ ermittelt werden kann.

34 ▼ Wir schalten nun Drähte mit doppeltem, drei- und vierfachem Querschnitt an eine Spannungsquelle. Es werden wieder die Spannung und die Stromstärke gemessen und der Widerstand berechnet.

Tabelle 9: Beispiel einer Meßreihe

Nr. der Messung	U in V	I in A	R in Ω	A in mm²	$R \cdot A$ in Ω · mm²
1	2,4	1,48	1,6	0,16	0,26
2	1,8	2,50	0,72	0,32	0,23
3	1,4	2,80	0,50	0,48	0,24
4	1,4	3,18	0,44	0,64	0,28

Die Auswertung der Tabelle läßt erkennen: $R \cdot A =$ konstant

Der Widerstand ist dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional.	$R \sim \frac{1}{A}$

Der spezifische Widerstand — das Widerstandsgesetz

Die Ergebnisse der beiden vorhergehenden Abschnitte besagen, daß der Widerstand eines Leiters von der Länge und dem Querschnitt abhängt. Die beiden Beziehungen $R \sim l$ und $R \sim \frac{1}{A}$ können zu der Aussage $R \sim \frac{l}{A}$ zusammengefaßt werden. Setzt man den Proportionalitätsfaktor – er soll ϱ genannt werden – ein, so ergibt sich die Gleichung

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}.$$

Der Proportionalitätsfaktor ϱ wird als **spezifischer Widerstand** bezeichnet. Er ist ein Materialwert, wie zum Beispiel

die Dichte ϱ.[1] Die *Einheit* des spezifischen Widerstandes erhält man, wenn die Gleichung $R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$ nach ϱ aufgelöst wird.

Man erhält: $\varrho = \frac{R \cdot A}{l}$.

Durch Einsetzen der entsprechenden Einheiten ergibt sich

$$\frac{\Omega \cdot m^2}{m} = \Omega m.$$

Üblich ist es auch noch, den Querschnitt A in mm^2 anzugeben. Es folgt daraus für den spezifischen Widerstand die Einheit

$$\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}.$$

Tabelle 10:
Spezifischer Widerstand einiger Stoffe

Stoff	Spezifischer Widerstand ϱ in $\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$
Silber	0,015
Kupfer	0,016
Aluminium	0,024
Platin	0,098

Die Tabelle 10 enthält die spezifischen Widerstände einiger Stoffe.

Weitere spezifische Widerstände findest du im Tafelwerk Seite 39!

Die Ergebnisse zeigen, daß der Widerstand eines metallischen Leiters bei konstanter Temperatur von seiner Länge l, seinem Querschnitt A und seinem spezifischen Widerstand ϱ abhängig ist.

Die Gleichung

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}, \text{ wenn } \vartheta = \text{konstant}$$

bezeichnet man als **Widerstandsgesetz.**

Das Widerstandsgesetz ermöglicht, ohne Spannungs- und Stromstärkemessungen Widerstandsberechnungen durchzuführen, wenn spezifischer Widerstand, Länge und Querschnitt der Leiter bekannt sind.

Ein Leiter aus Kupfer hat eine Länge von 70 m und einen Querschnitt von 1,7 mm^2. Wie groß ist sein Widerstand?

Gegeben:

$\varrho = 0{,}016 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

$l = 70\ m$

$A = 1{,}7\ mm^2$

Gesucht:

R

Lösung:

$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$

$R = 0{,}016 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{70\ m}{1{,}7\ mm^2}$

$R = 0{,}016 \cdot \frac{70}{1{,}7}\ \Omega$

$\underline{\underline{R \approx 0{,}7\ \Omega}}$

Der Widerstand beträgt 0,7 Ω.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 112, Nr. 141 bis 158

[1] Beachte: Das Formelzeichen ϱ wird für die Dichte und für den spezifischen Widerstand eines Stoffes benutzt. Die Größen dürfen nicht verwechselt werden.

Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur

35 In einem Stromkreis ist ein Eisendraht mit einem Strommesser in Reihe geschaltet (Bild 78/1). Erwärmt man den Draht durch eine Flamme, so stellt man am Strommesser eine Verringerung des Ausschlags fest.

Da die Spannung konstant ist, folgt aus der Gleichung $R = \frac{U}{I}$, daß sich der Widerstand dieses Leiters mit der Temperaturerhöhung vergrößert hat. Weitere Versuche mit anderen metallischen Leitern zeigen das gleiche Verhalten. Läßt man die Leiter wieder abkühlen, so nimmt die Stromstärke wieder zu; der Widerstand nimmt also beim Abkühlen ab.

Beim Erwärmen eines metallischen Leiters verändern sich einige physikalische Eigenschaften, z. B. Temperatur, Länge und Dichte. Die Anzahl der freien Elektronen ändert sich jedoch nicht. Beim Erwärmen erhöhen sich die Schwingungen der Gitterbausteine. Dadurch wird die Beweglichkeit der freien Elektronen im Leiterinneren verkleinert. Der Widerstand des Leiters wird größer.

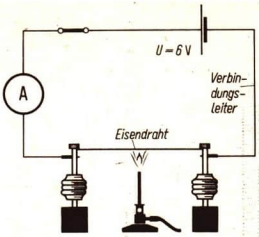


Bild 78/1 Nachweis der Abhängigkeit des Widerstandes eines Eisendrahtes von der Temperatur

> Der Widerstand eines metallischen Leiters ist von der Temperatur abhängig, er wird beim Erwärmen größer.

Die Halbleiter und ihr Verhalten beim Erwärmen

Stoffe, deren spezifischer Widerstand zwischen dem der Metalle und der Isolatoren liegt, bezeichnet man als Halbleiter. Bauelemente aus Halbleitern sind für viele Aufgaben der modernen Technik unentbehrlich (Bild 78/2). Halbleiterbauelemente finden beispielsweise in der Rundfunk- und Fernsehtechnik vielfältige Anwendung (Dioden, Transistoren).

36 Erwärmt man verschiedene Halbleiter, so stellt man fest, daß ihr Widerstand beim Erwärmen abnimmt.

Dieses Verhalten ist folgendermaßen zu erklären: Wie bei metallischen Leitern erhöhen sich beim Erwärmen die Schwingungen der Gitterbausteine. Durch diesen Vorgang allein würde der Widerstand größer werden. Gleichzeitig aber zeigt sich eine für Halbleiter typische Erscheinung: Beim Erwärmen werden auf Grund der zugeführten Wärme-

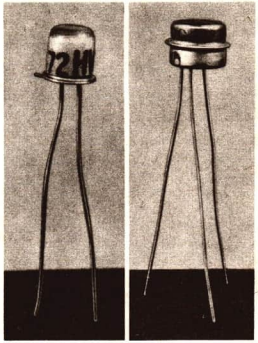


Bild 78/2 Halbleiterbauelemente
a) Germaniumdiode b) Transistor.
Sie bauen sich hauptsächlich aus den Elementen Germanium und Silizium auf und müssen durch komplizierte Verfahren ihre geforderten Eigenschaften erhalten. Kleine Abmessungen, einfache Stromversorgung und hohe Lebensdauer zeichnen zum Beispiel den Transistor gegenüber der herkömmlichen Röhre aus

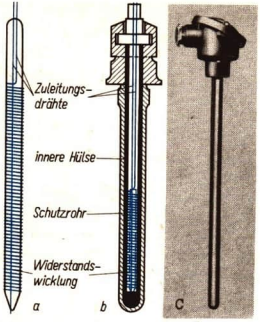


Bild 79/1 Meßeinsatz eines Widerstandsthermometers
a) Isolierkörper mit Meßdrähten
b) Schnittzeichnung
c) Ansicht

Bild 79/2 In Grad Celsius geteilte Skale eines Strommessers. Beim Widerstandsthermometer fließt durch eine Wendel (z. B. aus Platin) Strom. Ändert sich die Temperatur, so ändert sich der Widerstand der Wendel. Ein Erhöhen der Temperatur hat ein Vergrößern des Widerstandes zur Folge; die Stromstärke nimmt ab. Das Meßgerät ist mit einer Teilung in Grad Celsius (°C) versehen

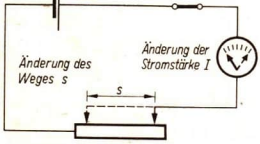


Bild 79/3 Darstellung der Umwandlung einer nichtelektrischen Größe (Weg) in eine elektrische Größe (Stromstärke)

energie weitere Elektronen frei. Diese stehen als weitere Ladungsträger zur Verfügung. Durch diesen Vorgang würde der Widerstand abnehmen.
Die beiden beschriebenen Vorgänge finden im Halbleiter gleichzeitig statt. Als Ergebnis stellt man fest:

> Werden Halbleiter erwärmt, so nimmt ihr Widerstand ab.

Elektrische Messung nichtelektrischer Größen

Die Aufgabe der modernen *Betriebsmeßtechnik* ist es, Messungen so durchzuführen, daß der Produktionsablauf nicht unterbrochen und verzögert wird. Auch müssen die Meßwerte oft auf kleinere und auch auf größere Entfernungen übertragen werden. Dazu braucht man zwischen der Meßstelle und der Anzeigestelle eine Fernübertragung.
Da sich elektrische Größen verhältnismäßig leicht über größere Entfernungen übertragen lassen, werden nichtelektrische Größen umgeformt. Dazu benötigt man Meßfühler. Solche Meßfühler sind z. B. Bimetallstreifen, Schwimmer in einer Flüssigkeit; Halbleitermaterialien.

1. Es soll die Temperatur des Verbrennungsmotors eines Fahrzeugs gemessen werden. Es ist umständlich, häufig die Fahrt zu unterbrechen, um die Messung mit einem Flüssigkeitsthermometer durchzuführen. Es ist also erforderlich, die Messung während des Betriebes des Motors vorzunehmen. – Man weiß, daß der Widerstand der elektrischen Leiter von der Temperatur abhängt. Dieser Zusammenhang gestattet die Konstruktion eines Meßgerätes, das als Widerstandsthermometer bekannt ist (Bilder 79/1 und 2).
Es kann – wenn notwendig – in großer Entfernung von der Meßstelle angebracht sein. Bei dieser Messung treten der Reihe nach die Größen Temperatur ϑ, Widerstand R, Stromstärke I, Winkel α (am Meßgerät) auf. Dafür schreibt man auch in Kurzform: $\vartheta \rightarrow R \rightarrow I \rightarrow \alpha$.

2. Mit einem Schiebewiderstand (Bild 79/3) kann eine mechanische Größe (der vom Gleitkontakt zurückgelegte Weg) in eine elektrische Größe (Stromstärke) umgeformt werden. Das Meßgerät ist mit einer Teilung in Millimeter oder Zentimeter versehen. Die beteiligten Größen sind: Länge $l \rightarrow$ Widerstand $R \rightarrow$ Stromstärke $I \rightarrow$ Winkel α des Zeigerausschlags oder kürzer: $l \rightarrow R \rightarrow I \rightarrow \alpha$.

Informiere dich bei der produktiven Arbeit über weitere Beispiele für die elektrische Messung nichtelektrischer Größen!

Unverzweigter und verzweigter Stromkreis

In unseren Haushalten werden viele Anlagen, Geräte und Maschinen mit elektrischer Energie betrieben. Erwähnt seien hier nur die Glühlampen, das Radio, der Tauchsieder, der Staubsauger und der Rasierapparat. Auf den Geräten ist jeweils vermerkt, für welche Spannung sie vorgesehen sind. Wie sind diese Energiewandler geschaltet? Welche Gesetze mußten beim Verlegen der Leitungen beachtet werden?

Teilspannungen an einem stromdurchflossenen Leiter

Bei manchen elektrischen Modelleisenbahnen mit einem langen Schienenstrang kann man beobachten, daß der Zug entlang dem Schienenstrang verschiedene Geschwindigkeiten hat. Untersucht man diese Erscheinung, so stellt man fest, daß die Geschwindigkeit dort am größten ist, wo die Spannung an die Schienen gelegt wird (Bild 80/2). Zur Erklärung dieser Erscheinung wollen wir die Spannungsverhältnisse in einem elektrischen Stromkreis näher untersuchen.

Die Spannung U ist definiert als Quotient aus der Verschiebungsarbeit W und der bewegten elektrischen Ladung Q (↗ S. 58). Da in einem stromdurchflossenen Leiter fortwährend Elektronen bewegt werden und dazu eine Verschie-

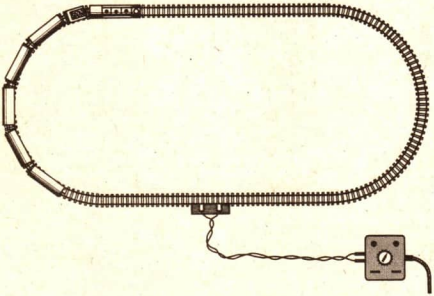


Bild 80/2 Die Geschwindigkeit nimmt ab, wenn sich der Zug von der Anschlußschiene entfernt

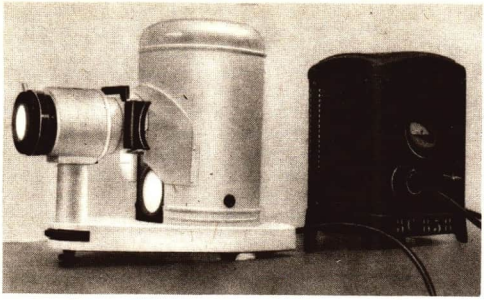
bungsarbeit aufgewendet werden muß, tritt zwischen zwei verschiedenen Stellen eines Leiters immer eine Spannung auf. Man bezeichnet diese Spannung als **Teilspannung** U_1, U_2, U_3. Die an den Polen der Spannungsquelle anliegende Spannung heißt **Gesamtspannung** U_{ges}.
Die Verschiebungsarbeit und damit auch die auftretenden Teilspannungen sind vom Widerstand des Leiters bzw. der in den Stromkreis geschalteten Bauelemente (z. B. Glühlampe, Strommesser) abhängig.
Da diese Widerstände meist unterschiedlich sind, treten auch an den verschiedenen Stellen unterschiedliche Teilspannungen auf.

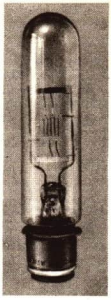
> Zwischen zwei verschiedenen Stellen eines stromdurchflossenen Leiters treten immer Teilspannungen auf. Sie sind abhängig vom elektrischen Widerstand, der zwischen den beiden Stellen des stromdurchflossenen Leiters besteht.

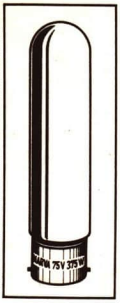
Bei der erwähnten Modelleisenbahn stellt man fest, daß sich zwischen dem Motor der Lokomotive und der Spannungsquelle die Schienen befinden, durch die der Strom zum Motor geleitet wird. Befindet sich die Lokomotive unmittelbar an der Spannungszuführung zur Schiene, so ist der stromdurchflossene Leiter (Schiene) zwischen Spannungsquelle und Motor sehr kurz. Es tritt an der Schiene nur eine ganz geringe Teilspannung auf. Fast die gesamte Spannung liegt am Motor. Befindet sich die Lokomotive weitab von der Spannungszuführung, so wird ein langes Stück der Schiene vom Strom durchflossen. An diesem Schienenstück tritt eine größere Teilspannung auf. Da die Spannung an der Spannungsquelle gleich blieb, muß die Spannung am Motor um die Teilspannung verringert sein. Diese verringerte Spannung am Motor der Lokomotive bewirkt eine geringere Geschwindigkeit der Lokomotive.

Gesetzmäßigkeiten im unverzweigten Stromkreis

Schon oft wurden im Unterricht Bilder mit Hilfe eines Projektors abgebildet (Bild 82/1a). Wie hell das Bild auf der Leinwand ist, hängt unter anderem von der Projektionslampe ab. Die Lampe (Bild 82/1b) des abgebildeten Projektors mit den Angaben 75 V; 375 W (Bild 82/1c) kann nicht direkt an die Steckdose mit einer Spannung von 220 V angeschlossen werden. Sieht man sich die Schaltung in Bild 82/2 an,







so erkennt man, daß noch ein technischer Widerstand vor die Lampe geschaltet wurde.

Um festzustellen, wie groß der Widerstand in unserem Beispiel sein muß, müssen die Gesetzmäßigkeiten dieses Stromkreises bekannt sein. Ein solcher Stromkreis wird auch **unverzweigter Stromkreis** genannt, weil die elektrischen Schaltelemente, z. B. Widerstand und Lampe, ohne Verzweigung in einer Reihe geschaltet sind (Bild 82/3). Man spricht beim unverzweigten Stromkreis auch von einer *Reihenschaltung*.

Bild 82/1
a) Zeiss-Kleinbildprojektor,
b) Projektionslampe,
c) Sockel mit Beschriftung

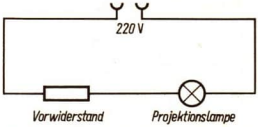
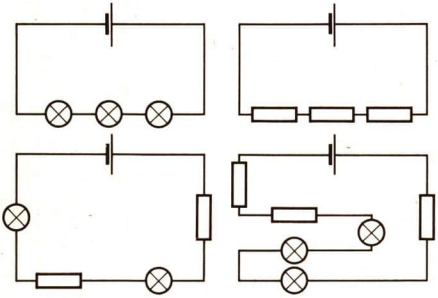
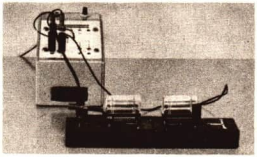


Bild 82/2 Schaltung der Projektionslampe mit Vorwiderstand



Wir wollen untersuchen, welche Zusammenhänge zwischen den Spannungen, zwischen den Stromstärken und zwischen den Widerständen bestehen.

Dabei beschränken wir uns auf einen unverzweigten Stromkreis, der aus einer Spannungsquelle, einem Schalter und zwei technischen Widerständen besteht (Bild 82/4).



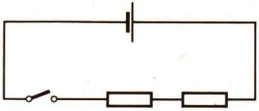


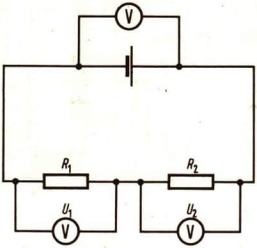
Bild 82/3 Links: Unverzweigte Stromkreise (4 Beispiele)

Bild 82/4 Rechts: Unverzweigter Stromkreis mit zwei Widerständen. Oben: Foto, unten: Schaltbild

Die Spannung im unverzweigten Stromkreis

37

Wir bauen einen unverzweigten Stromkreis nach Bild 83/1 auf. Da zwischen zwei Stellen eines Stromkreises eine Teilspannung auftritt



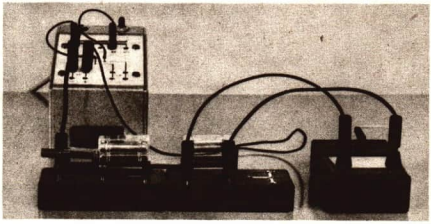


Bild 83/1 Spannungsmessung am unverzweigten Stromkreis. Links: Schaltbild, rechts: Versuchsaufbau

(↗ S. 81), müssen an den Widerständen R_1 und R_2 die Teilspannungen U_1 und U_2 liegen. U_1, U_2 und die Gesamtspannung U_{ges} werden gemessen und in einer Tabelle festgehalten.

Tabelle 11: Beispiel einer Meßreihe

U_1 in V	U_2 in V	U_{ges} in V (gemessen)	$U_1 + U_2$ in V (addiert)
1,8	1,7	3,7	3,5
2,0	2,1	4,2	4,1
2,4	2,4	4 9	4,8
4,2	4,2	8,4	8,4

Wir erkennen unter Berücksichtigung der Meßfehler, daß $U_1 + U_2 = U_{ges}$ ist.
Bei anderen Widerständen und anderen Gesamtspannungen können wir immer wieder feststellen, daß diese Beziehung gilt.

In einem unverzweigten Stromkreis ist die Gesamtspannung gleich der Summe der Teilspannungen.	$U_{ges} = U_1 + U_2$

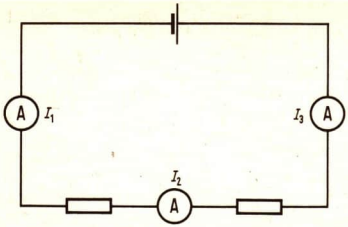
Die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis

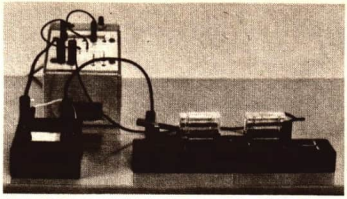
Die Stromstärke kann zwischen der Spannungsquelle und dem ersten technischen Widerstand, zwischen den beiden technischen Widerständen und zwischen dem zweiten technischen Widerstand und der Spannungsquelle gemessen werden (Bild 84/1).

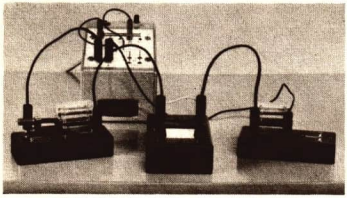
Vermutung:

Der Strom kommt infolge der angelegten Spannung zustande. Der Elektronenstrom fließt dabei durch die Verbindungsleiter, durch die Strommesser und durch die technischen Widerstände, ohne sich zu verzweigen und dabei aufzuteilen. Die Elektronen bewegen sich demnach durch alle Teile des Stromkreises. Wir vermuten, daß die an den einzelnen Stellen gemessenen Stromstärken gleich sind.

Schülerexperiment E 4, Seite 120







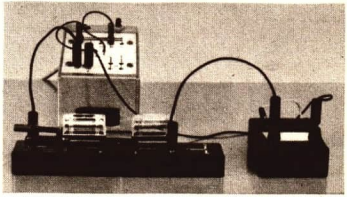


Bild 84/1 Stromstärkemessung im unverzweigten Stromkreis. Links oben: Schaltbild, rechts oben: Versuchsaufbau – Messen der Stromstärke I_1, links unten: Versuchsaufbau – Messen der Stromstärke I_2, rechts unten: Versuchsaufbau – Messen der Stromstärke I_3

38

Versuchsdurchführung:

Der Versuch wird entsprechend Bild 84/1 aufgebaut. An den bezeichneten Stellen werden die Stromstärken I_1, I_2 und I_3 gemessen. Bei einer Spannung von beispielsweise 8 V werden verschiedene technische Widerstände benutzt.

Auswertung:

Tabelle 12: Beispiel einer Meßreihe

Nr. der Messung	I_1 in A	I_2 in A	I_3 in A
1	0,43	0,43	0,43
2	0,65	0,64	0,65

Führe selbst weitere Messungen durch und notiere die Werte! Überprüfe die gefundenen Werte bezüglich der aufgestellten Vermutung!

Ergebnis:

In einem unverzweigten Stromkreis ist die Stromstärke an allen Stellen gleich.	$I = I_1 = I_2 = I_3$

Die Versuchsergebnisse bestätigen unsere Vermutung.

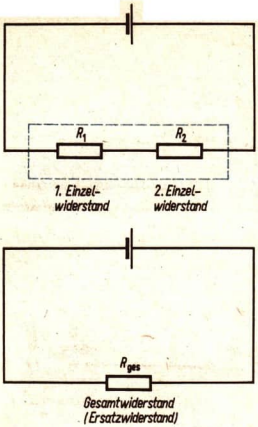


Bild 85/1 Bei gleicher Spannung ändert sich die Stromstärke nicht, wenn man die beiden Einzelwiderstände mit einem Ersatzwiderstand vertauscht

Der Widerstand im unverzweigten Stromkreis

Die Gesetzmäßigkeiten für die Spannungen und für die Stromstärken im unverzweigten Stromkreis wurden experimentell gefunden. Die Gesetzmäßigkeiten für die Widerstände sollen theoretisch hergeleitet werden.

Die beiden Widerstände sind R_1 und R_2. Wir nennen sie im folgenden Teilwiderstände. Außerdem wollen wir noch einen Gesamtwiderstand R_{ges} betrachten. Dieser Gesamtwiderstand sei der Widerstand eines Bauelements, das man als Ersatz für zwei Bauelemente mit den beiden Widerständen R_1 und R_2 in den Stromkreis einschalten kann, ohne daß sich die Stromstärke ändert (Bild 85/1).

Im unverzweigten Stromkreis[1] gilt für die Spannung

$$U_{ges} = U_1 + U_2. \qquad (1)$$

Dividiert man die Gleichung (1) durch die Stromstärke I, die ja an allen Stellen des unverzweigten Stromkreises gleich ist, so erhalten wir

$$\frac{U_{ges}}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I}. \qquad (2)$$

Da der Widerstand als Quotient aus Spannung und Stromstärke definiert ist

$$R = \frac{U}{I}, \text{ folgt } R_{ges} = \frac{U_{ges}}{I}; \; R_1 = \frac{U_1}{I}; \; R_2 = \frac{U_2}{I}, \text{ und} \qquad (3)$$

man kann die Gleichung (2) durch Einsetzen von (3) wie folgt umformen:

$$R_{ges} = R_1 + R_2.$$

In einem unverzweigten Stromkreis ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Teilwiderstände.	$R_{ges} = R_1 + R_2$

Leitet man eine Gesetzmäßigkeit wie im vorliegenden Fall theoretisch ab, das heißt ohne Durchführung von Experimenten, so muß man diese Gesetzmäßigkeit experimentell bestätigen.

Entwickle dazu eine Schaltskizze! Überlege, welche Größen gemessen und welche Meßgeräte eingeschaltet werden müssen! Fertige eine Tabelle an, in welche die gemessenen Werte eingetragen werden und aus welcher die Bestätigung der theoretisch erarbeiteten Gesetzmäßigkeit zu ermitteln ist.

[1] Bei diesen Ableitungen sind die einzelnen Gleichungen mit Nummern in runden Klammern gekennzeichnet. Dadurch kann man bequem auf verwendete Gleichungen hinweisen.

Der Vorwiderstand des Projektors

Mit den gewonnenen Erkenntnissen können wir den Vorwiderstand des Projektors (Bild 82/2) berechnen.

■ Der Projektor soll an eine Spannungsquelle mit einer Spannung $U = 220\ V$ angeschlossen werden. Da die Spannung U_L an der Glühlampe nur 75 V betragen darf, muß die restliche Spannung U_V am Vorwiderstand liegen.

Gegeben:

$U_L = 75\ V$

$U_{ges} = 220\ V$

Gesucht:

U_V

Lösung:

$U_{ges} = U_L + U_V$

$U_V = U_{ges} - U_L$

$U_V = 220\ V - 75\ V$

$\underline{\underline{U_V = 145\ V}}$

Die Teilspannung U_V am Vorwiderstand muß 145 V betragen.

■ Zur Berechnung des Widerstandes R_V benötigen wir noch die Stromstärke I im Stromkreis, da $R_V = \frac{U_V}{I}$ ist. Wir erhalten sie aus der Leistung der Lampe.

Gegeben:

$P_L = 375\ W$

$U_L = 75\ V$

Gesucht:

I

Lösung:

$P_L = U_L \cdot I$

$I = \frac{P_L}{U_L}$

$I = \frac{375\ W}{75\ V}$

$\underline{\underline{I = 5\ A}}$

Die Stromstärke beträgt 5 A.

■ Im unverzweigten Stromkreis ist aber die Stromstärke I überall gleich, so daß auch ein Strom mit einer Stromstärke von 5 A durch den Vorwiderstand fließt. Dieser ergibt sich zu:

Gegeben:

$I = 5\ A$

$U_V = 145\ V$

Gesucht:

R_V

Lösung:

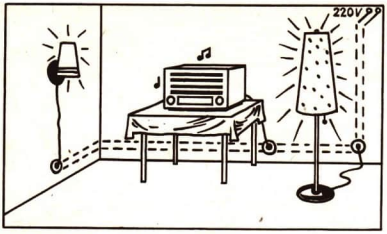
$R_V = \frac{U_V}{I}$

$R_V = \frac{145\ V}{5\ A}$

$\underline{\underline{R_V = 29\ \Omega}}$

Der Vorwiderstand des Projektors muß bei der verwendeten Glühlampe 29 Ω betragen.

Fragen, Aufträge, Versuche, Seite 113, Nr. 159 bis 166



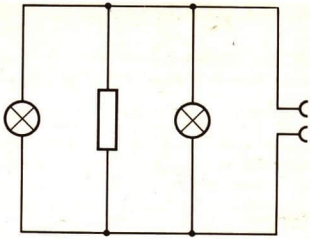


Bild 87/1 Anschluß mehrerer elektrischer Geräte im Haushalt. Links: schematisch, rechts: Schaltbild

Gesetzmäßigkeiten im verzweigten Stromkreis

Im Haushalt müssen oft mehrere elektrische Geräte, wie z. B. Leuchte, Bügeleisen, Küchenmaschine, gleichzeitig eingeschaltet sein (Bild 87/1 links). Betrachtet man das Schaltbild, so ist zu erkennen, daß alle Geräte parallel geschaltet sind (Bild 87/1 rechts). Im Stromkreis treten Verzweigungen auf. Ein solcher Stromkreis wird **verzweigter Stromkreis** genannt (Bild 87/2). Man spricht beim verzweigten Stromkreis auch von einer *Parallelschaltung*.

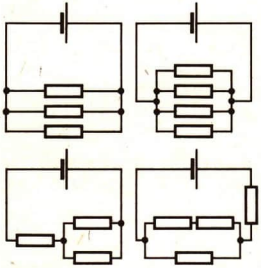


Bild 87/2 Verzweigte Stromkreise

Unsere Untersuchungen beschränken sich auf einen verzweigten Stromkreis mit zwei Widerständen (Bild 87/3).

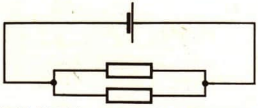


Bild 87/3 Verzweigter Stromkreis mit zwei Widerständen

Die Spannung im verzweigten Stromkreis

Die Spannung kann an der Spannungsquelle oder an den beiden technischen Widerständen gemessen werden (Bild 87/4). Den Widerstand der Verbindungsleiter können wir, weil er sehr klein ist im Verhältnis zu R_1 und R_2, vernachlässigen. Mit unseren Kenntnissen können wir bereits vermuten, daß im verzweigten Stromkreis die Spannung an den Teilwiderständen gleich der Spannung an der Spannungsquelle ist.
Durch ein Experiment nach Bild 87/4 läßt sich diese Vermutung bestätigen.

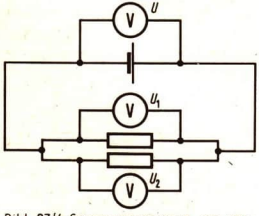


Bild 87/4 Spannungsmessung am verzweigten Stromkreis (Schaltbild)

In einem verzweigten Stromkreis sind die Spannungen an der Spannungsquelle und an den Teilwiderständen gleich.	$U = U_1 = U_2$

Die Stromstärke im verzweigten Stromkreis

Um Aussagen über die Stromstärke in einem verzweigten Stromkreis zu machen, muß man die Elektronenbewegung untersuchen $\left(I = \frac{Q}{t}\right)$. Die Bewegung der Elektronen erfolgt von der Spannungsquelle durch die Verbindungsleiter bis zur Verzweigungsstelle (Knoten). Von dort bewegen sich die Elektronen über die beiden Zweige mit den Widerständen R_1 und R_2 zum anderen Knoten und zurück zur Spannungsquelle.

Es ist zu vermuten, daß die Gesamtstromstärke I_{ges} gleich der Summe der Teilstromstärken I_1 und I_2 (Bild 88/1) ist.

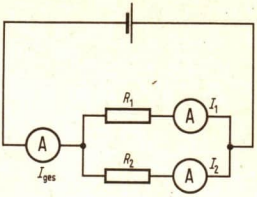
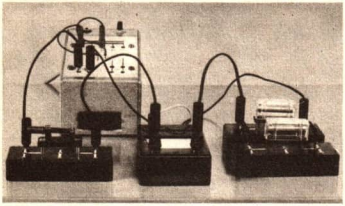
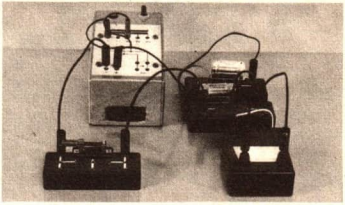
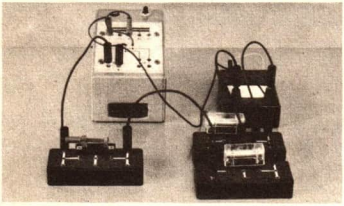


Bild 88/1 Stromstärkemessung im verzweigten Stromkreis (Schaltbild)







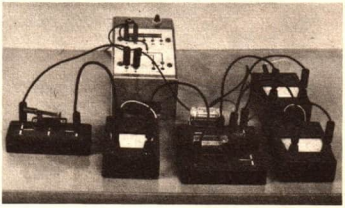


Bild 88/2 Messen der Stromstärken. Links oben: I_{ges}, rechts oben: I_1, links unten: I_2, rechts unten: gleichzeitiges Messen von I_{ges}, I_1 und I_2

39 In einem Experiment nach Bild 88/2 werden die Stromstärken I_{ges}, I_1 und I_2 gemessen und in eine Tabelle eingetragen.

Tabelle 13: Beispiel einer Meßreihe

U in V	I_{ges} in mA	I_1 in mA	I_2 in mA	$I_1 + I_2$ in mA
4	100	64	34	98
6	180	115	60	175
8	254	160	83	243
10	328	215	110	315
12	400	265	130	395

Schülerexperiment E 5, Seite 121

In einem verzweigten Stromkreis ist die Gesamtstromstärke gleich der Summe der Teilstromstärken.	$I_{ges} = I_1 + I_2$

Der Widerstand im verzweigten Stromkreis

Die Aussage über die Widerstände soll wie im unverzweigten Stromkreis theoretisch hergeleitet werden (↗ S. 85).
Für den verzweigten Stromkreis gilt

$$I_{ges} = I_1 + I_2. \qquad (1)$$

Da man eine Beziehung für den Widerstand R finden will, muß die Stromstärke I durch den Widerstand R ausgedrückt werden. Es ist

$$R = \frac{U}{I} \text{ oder umgestellt}$$

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (2)$$

Damit können I_{ges}, I_1 und I_2 durch R ausgedrückt werden.

$$I_{ges} = \frac{U}{R_{ges}};\ I_1 = \frac{U}{R_1};\ I_2 = \frac{U}{R_2}. \qquad (3)$$

Unter Benutzung von (3) läßt sich (1) jetzt folgendermaßen darstellen:

$$\frac{U}{R_{ge}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}. \qquad (4)$$

Diese Gleichung läßt sich noch vereinfachen, wenn man durch U dividiert. Man erhält:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \qquad (5)$$

Betrachtet man die Gleichung (5), so erkennt man, daß der Gesamtwiderstand stets kleiner als jeder Teilwiderstand ist.

Wähle Beispiele für R_1 und R_2 und überprüfe rechnerisch diese Aussage! Verwende dazu auch das Nomogramm!

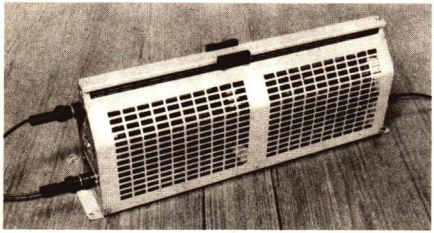
In einem verzweigten Stromkreis ist der Kehrwert des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der Kehrwerte der Teilwiderstände.	$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Überprüfe dieses theoretisch gefundene Ergebnis durch ein Experiment! Fertige eine Tabelle mit den Meßwerten an!

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 113, Nr. 167 bis 169, Nr. 171,
Seite 114, Nr. 172 bis 174

Spannungsteiler (Potentiometer)

Für viele Zwecke, z. B. beim Experimentieren, benötigt man verschieden große Spannungen. Oft ist aber nur eine Spannungsquelle vorhanden. Hat man z. B. einen Bleiakkumulator mit 3 Zellen, so können Spannungen von 2 V, 4 V und 6 V abgenommen werden. Wie bekommt man aber Spannungen von beispielsweise 1,5 V und 4,5 V?
Die in den vergangenen Abschnitten gefundenen Gesetzmäßigkeiten können uns bei der Lösung dieser Aufgabe weiterhelfen.



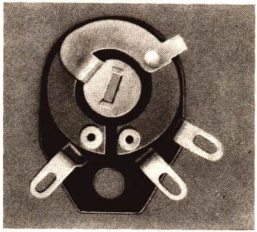


Bild 90/1 Links: Schiebewiderstand mit 3 Anzapfungen, rechts: Drehwiderstand mit 3 Anzapfungen

40

Wir benutzen einen technischen Widerstand, der mit einem Gleitkontakt versehen ist (Schiebe- oder Drehwiderstand, Bild 90/1). Der Gleitkontakt unterteilt den Widerstand R_{ges} in zwei Teilwiderstände, die wir R_1 und R_2 nennen wollen (Bild 90/2a). Man kann auch zwei getrennte Widerstände zeichnen (Bild 90/2b).

Da die Stellung des Gleitkontakts verändert werden kann, ändern sich beim Verstellen die Widerstände R_1 und R_2. Um den Betrag, um den beispielsweise R_1 kleiner wird, wird R_2 größer. Stets gilt dabei:
$R_1 + R_2 = R_{ges}$.
Legt man eine Spannung U_{ges} an, so treten an den Widerständen Teilspannungen auf. Sie sind im Bild 90/2c mit U_1 und U_2 bezeichnet. Ändert man nun durch Verschieben des Gleitkontakts die Teilwiderstände, so ändern sich auch die Teilspannungen. Um den Betrag, um den beispielsweise U_1 kleiner wird, wird U_2 größer. Dabei gilt: $U_1 + U_2 = U_{ges}$.
Das Bild 91/1 zeigt den entsprechenden Versuchsaufbau.
Wir wollen im folgenden nur den Widerstand R_1 betrachten. Ist beispielsweise $R_1 = 0$, so ist auch $U_1 = 0$ (Bild 91/2). Ist $R_1 = R_{ges}$, so ist auch $U_1 = U_{ges}$ (Bild 91/3).
Beim Verstellen des Gleitkontaktes des Widerstandes erhält man viele Zwischenwerte (Bild 91/4).

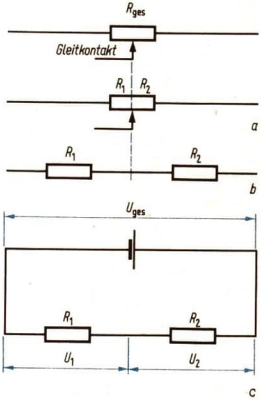


Bild 90/2 a bis c Entwicklung der Spannungsteilerschaltung

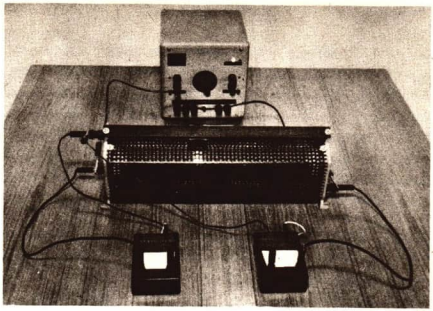


Bild 91/1 Versuchsaufbau zur Spannungsteilerschaltung

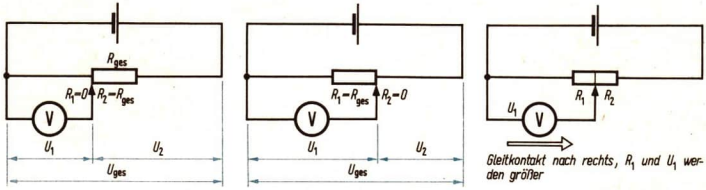


Bild 91/2 Die Spannungsteilerschaltung: $R_1 = 0$; $U_1 = 0$

Bild 91/3 $R_1 = R_{ges}$; $U_1 = U_{ges}$

Bild 91/4 Es lassen sich viele Zwischenwerte einstellen

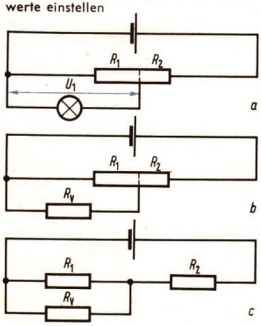


Bild 91/5 a, b, c Ein angeschlossenes elektrisches Gerät beeinflußt die Spannung U_1

Es ist demnach festzustellen: Wird an den Enden eines Widerstandes mit Gleitkontakt eine Spannung angelegt, so kann zwischen dem einen Ende des Widerstandes und dem Gleitkontakt bei stufenloser Veränderung jede Spannung zwischen Null und der angelegten Spannung abgegriffen werden. Einen technischen Widerstand in dieser Schaltung nennt man **Spannungsteiler** oder **Potentiometer,** die Schaltung selbst *Spannungsteilerschaltung.* Auf der vorderen inneren Umschlagseite ist das Schaltzeichen für einen Spannungsteiler wiedergegeben.

Schließt man an einen Spannungsteiler ein elektrisches Gerät an (Bild 91/5 a), so ändert sich die Spannung U_1, weil der Widerstand R_V des Gerätes jetzt zu dem Widerstand R_1 parallelgeschaltet wird (Bild 91/5 b). Der Ersatzwiderstand der beiden Widerstände R_1 und R_V ist aber kleiner als der Einzelwiderstand R_1 für sich allein (Bild 91/5 c). Deshalb ist auch jetzt U_1 kleiner geworden.

Die Spannung U_1 hängt nicht nur vom Verhältnis der Widerstände R_1 und R_2 ab, sondern auch vom Widerstand des angeschlossenen Gerätes.

Erläutere das Bild 91/5!

Anwendungen der Spannungsteiler

Im Kapitel über das Widerstandsgesetz haben wir Beispiele für das Messen nichtelektrischer Größen durch elektrische Größen kennengelernt. Auch der Spannungsteiler bietet zwei grundsätzliche Anwendungsmöglichkeiten. Es können die Meßwerte für Winkel und Längen in Meßwerte für Spannungen umgewandelt werden (Bild 92/1 a, b). Das Bild 92/2 zeigt eine schematische Darstellung einer Flüssigkeitsstandsmessung unter Verwendung eines Potentiometers.

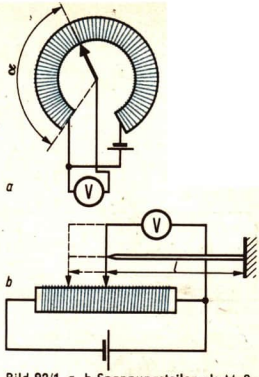


Bild 92/1 a, b Spannungsteiler als Meßfühler für Winkel- und Längenmessung

- *Stelle für die Meßanordnung die Wirkungskette (↗ S. 79) auf und begründe, warum es sich hier um die elektrische Messung einer nichtelektrischen Größe handelt!*
  Entwirf eine Meßanordnung zur elektrischen Messung der Kraftstoffmenge im PKW unter Verwendung eines Spannungsteilers!

Meßbereichserweiterung bei Strom- und Spannungsmesser

Strommesser. Die Stromstärke mißt man mit Hilfe von Strommessern. Dem Bau dieser Meßgeräte liegen bestimmte Wirkungen des elektrischen Stromes zugrunde, z. B. die magnetische Wirkung. Da der Strom durch ein Meßwerk, z. B. eine Spule, fließen muß, hat jeder Strommesser einen elektrischen Widerstand. Dieser elektrische Widerstand soll recht klein sein, damit sich beim Einschalten des Strommessers in den Stromkreis die zu messende Stromstärke nur unmerklich ändert.

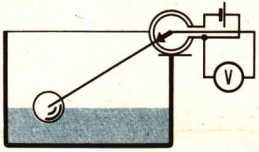


Bild 92/2 Schematische Darstellung einer elektrischen Flüssigkeitsstandsmessung unter Verwendung eines Spannungsteilers

- *Begründe diese Aussage, indem du die Gesetze des unverzweigten Stromkreises anwendest!*

Auf dem Strommesser ist vermerkt, welche Stromstärke bei Vollausschlag angezeigt wird. Wie kann erreicht werden, daß mit dem Gerät auch eine größere Stromstärke gemessen werden kann?
Durch das Meßwerk darf nur die zugelassene Höchststromstärke fließen, da sonst eine Zerstörung des Meßwerkes erfolgen würde. Es muß deshalb der zu messende Strom so aufgeteilt werden, daß nur ein Teil des Gesamtstroms durch das Meßwerk fließt. Das erreicht man mit Hilfe eines verzweigten Stromkreises. Der restliche Strom fließt dann durch einen parallelgeschalteten technischen Widerstand (Nebenwiderstand). Durch diese Maßnahme kann der Meßbereich eines Strommessers erweitert werden (Bild 92/3).

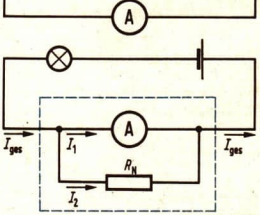


Bild 92/3 Meßbereichserweiterung des Strommessers

Schalte einen elektrischen Stromkreis und miß die Stromstärke! Schalte parallel zum Meßgerät einen Widerstand von 1 Ω bis 5 Ω! Beobachte den Ausschlag auf dem Meßgerät!

> Der Meßbereich eines Strommessers kann durch Parallelschalten eines Widerstandes vergrößert werden.

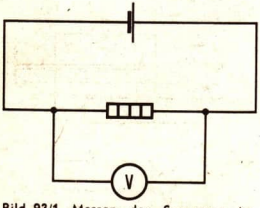


Bild 93/1 Messen der Spannung im Stromkreis

Spannungsmesser. Zur Messung der Spannung wird das Meßgerät parallel geschaltet (Bild 93/1). Dadurch verzweigt sich der Elektronenstrom, ein Teil des Stromes fließt durch den Spannungsmesser. Bei der Spannungsmessung soll ein möglichst kleiner Strom durch den Spannungsmesser fließen. Deshalb muß der Widerstand des Spannungsmessers groß sein.

Auf dem Spannungsmesser wird die Spannung bei Vollausschlag angegeben.

Es soll beispielsweise eine Spannung von 220 V gemessen werden. Es steht aber nur ein Spannungsmesser mit einem Meßbereich von 0 bis 110 V zur Verfügung. Der Meßbereich des Spannungsmessers muß erweitert werden. Die zu messende Spannung muß so aufgeteilt werden, daß am Meßgerät nicht mehr als die höchstzulässige Spannung liegt. Die restliche Spannung muß, ähnlich wie im Beispiel des Projektors (↗ S. 86), an einem Vorwiderstand als Teilspannung auftreten.

Da im unverzweigten Stromkreis die Gesamtspannung gleich der Summe der Teilspannungen ist, kann zur Meßbereichserweiterung eines Spannungsmessers das Meßgerät mit einem Widerstand in Reihe geschaltet werden (Bild 93/2).

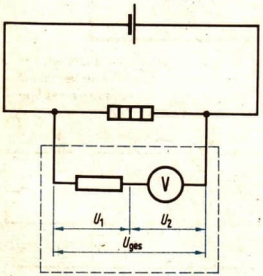


Bild 93/2 Meßbereichserweiterung des Spannungsmessers

Überlege, warum im vorangegangenen Beispiel der vorgeschaltete Widerstand genauso groß sein muß wie der Widerstand des Spannungsmessers!

> Der Meßbereich eines Spannungsmessers kann durch Vorschalten eines Widerstandes erweitert werden.

Vielfachmeßgerät (Bilder 94/1 a, b). Die Vorwiderstände für die Spannungsmessung und die Nebenwiderstände für die Stromstärkemessung sind in das Gerät eingebaut. Durch einen Schalter kann man die entsprechenden Meßbereiche einschalten.

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 113, Nr. 170,
Seite 114, Nr. 175 bis 178

Beim Messen mit dem Vielfachmesser schaltet man immer erst den größten Bereich ein. Ist nur ein geringer Ausschlag vorhanden, so schaltet man stufenweise die niedrigeren Meßbereiche ein, und zwar so lange, bis der Ausschlag groß genug ist. Achtung! Weiteres Herunterschalten würde das Meßwerk zerstören! Meßgeräte sind auch sehr stoßempfindlich. Man muß sie deshalb sehr vorsichtig behandeln.

Bild 94/1 a, b Vielfachmeßgerate

Weitere Anwendungen der Gesetzmäßigkeiten des unverzweigten und verzweigten Stromkreises

Heizstufen elektrischer Heizkissen. Bei einem elektrischen Heizkissen können durch einen dreistufigen Schalter drei Heizstufen eingestellt werden. Die Heizwendel besteht aus zwei gleichen Teilen, die verschieden geschaltet werden können. Die vom Heizkissen aufgenommene elektrische Energie wird in Wärmeenergie umgewandelt. Das bedeutet, daß eine größere Wärmeentwicklung mit einer größeren elektrischen Arbeit verbunden ist.

Die elektrische Arbeit ist das Produkt aus Spannung, Stromstärke und Zeit (↗ S. 66). Da die angelegte Spannung konstant ist, ist die elektrische Arbeit nur noch von der Zeit und der Stromstärke abhängig. Die Stromstärke wiederum ist bei konstanter Spannung um so größer, je kleiner der Widerstand ist.

Die niedrige Heizstufe (Bild 94/2 a), d. h. eine geringe elektrische Arbeit, erreicht man durch Hintereinanderschalten der Widerstände ($R_{ges} = R_1 + R_2$). Die mittlere Heizstufe (Bild 94/2 b) wird durch Einschalten nur einer Heizwendel ($R_{ges} = R_1$) erreicht. Die größte elektrische Arbeit (Bild 94/2 c) wird bei der Parallelschaltung der beiden Heizwendeln verrichtet $\left(\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$.

Gib für die Schalterstellungen in a, b und c an, welche Heizwendel jeweils eingeschaltet ist!

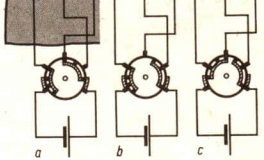


Bild 94/2 a, b, c Elektrisches Heizkissen mit Dreistufenschalter.

Die Wheatstonesche Meßbrücke zur Messung von Widerständen

Nach Schaltung 95/1 wird mit Hilfe dreier bekannter Widerstände ein vierter unbekannter bestimmt. Dabei sind die Widerstände R_2 und R_3 verstellbare Widerstände, wobei der Kontakt D dem Gleitkontakt entspricht, den wir bei der Spannungsteilerschaltung kennengelernt haben. Der Gleit-

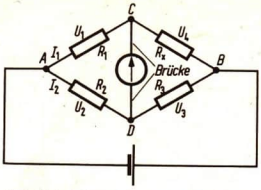


Bild 95/1 Wheatstonesche Meßbrücke (Schaltbild)

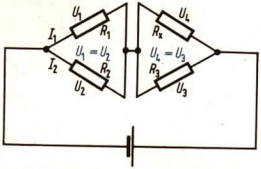
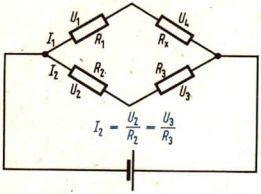


Bild 95/2 a

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_4}{R_x}$$



$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3}$$

Bild 95/2 b

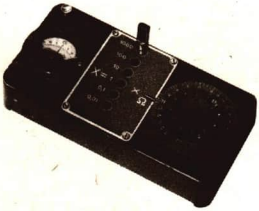


Bild 95/3 Wheatstonesche Meßbrücke (Ansicht)

kontakt wird so verstellt, daß kein Ausschlag mehr auf dem Meßgerät abzulesen ist. Dies bedeutet, daß zwischen den Punkten C und D keine Spannung besteht. Ist dieser Zustand erreicht, so gilt die Beziehung

$R_x : R_3 = R_1 : R_2$.

Wie kommt diese Beziehung zustande?

Da zwischen C und D keine Spannung besteht, gilt nach den Gesetzmäßigkeiten des verzweigten Stromkreises (Bild 95/2 a)

$$U_1 = U_2 \quad \text{und} \tag{1}$$

$$U_4 = U_3. \tag{2}$$

Die Teilstromstärken I_1 und I_2 wollen wir durch die zugehörigen Spannungen und Widerstände ausdrücken und dabei die Gesetzmäßigkeiten des unverzweigten Stromkreises auf jeweils einen Zweig anwenden (Bild 95/2 b).

Es gilt:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_4}{R_x}. \tag{3}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3}. \tag{4}$$

Da nach den Gleichungen (1) und (2) $U_1 = U_2$ und $U_4 = U_3$ ist, ergibt sich aus Gleichung (4)

$$I_2 = \frac{U_1}{R_2} = \frac{U_4}{R_3}. \tag{5}$$

Die Gleichung (5) ergibt umgewandelt

$$\frac{U_1}{U_4} = \frac{R_2}{R_3}. \tag{6}$$

Die Gleichung (3) ergibt umgewandelt

$$\frac{U_1}{U_4} = \frac{R_1}{R_x}. \tag{7}$$

Aus (6) und (7) folgt, weil die linken Seiten gleich sind,

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_1}{R_x}.$$

Durch Multiplikation mit R_x und Division durch R_2 erhält man

$$\boxed{R_x : R_3 = R_1 : R_2}$$

Diese Beziehung bildet die Grundlage für die Wheatstonesche Meßbrücke. Eine Ausführung zeigt das Bild 95/3.

Ökonomische Bedeutung der elektrischen Energie

Der Energieerhaltungssatz besagt, daß Energie weder gewonnen werden noch verlorengehen kann. Sie kann sich nur von einer Energieart in eine andere umwandeln. Bild 96/1 zeigt an einigen Beispielen, in welche Energiearten die elektrische Energie umgewandelt werden kann.
Die einfachen Umwandlungsmöglichkeiten der elektrischen Energie bilden einen Vorteil dieser Energieart. Die elektrische Energie ist für jeden Produktionsprozeß notwendig. Sie wird meist aus der chemischen Energie der Brennstoffe (z. B. Braunkohle) oder aus der mechanischen Energie des strömenden Wassers gewonnen.
Früher mußte die Kohle über weite Entfernungen von ihrem Fundort bis zum Betrieb transportiert werden. Dort wurde sie verbrannt und Dampf erzeugt. Dieser Dampf trieb über eine Dampfmaschine die Arbeitsmaschinen an. Heute werden in der Nähe der Braunkohlentagebaue Kraftwerke errichtet. In diesen Kraftwerken wird die Kohle verbrannt, die freiwerdende Wärmemenge wird in elektrische Energie umgewandelt. Diese wird über Hochspannungsleitungen zu den einzelnen Betrieben übertragen und treibt dort die Maschinen an. So entfällt der sehr aufwendige Transport der Kohle, und nicht jeder Betrieb muß Dampfmaschinen haben. Dadurch werden Geld und Arbeitskräfte gespart (Bild 96/2).
Während man bei der Übertragung von mechanischer Energie mit Verlusten bis zu 40 % rechnet, liegen die Übertragungsverluste bei elektrischer Energie im Mittel bei 6%. Daraus wird ersichtlich, daß die elektrische Energie gute Übertragungseigenschaften aufweist.
Elektrische Energie läßt sich kaum speichern. Man kann zwar elektrische Energie in chemische Energie (Akkumulatoren) oder mechanische Energie (Pumpspeicherwerke) umwandeln, jedoch sind diese Energien gering im Verhältnis zum Energiebedarf unseres Landes.

> Die elektrische Energie hat große ökonomische Bedeutung, da sie leicht in andere Energiearten umwandelbar ist, sich einfach transportieren läßt und aufteilbar ist.

- *Warum ist die sparsame Energieentnahme volkswirtschaftlich bedeutungsvoll?*

Zur Wiederholung

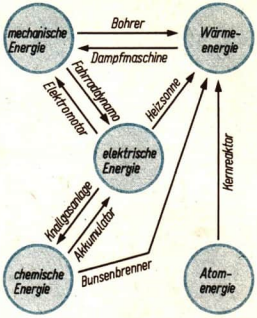


Bild 96/1 Beispiele für Energieumwandlungen. Nenne weitere Beispiele!

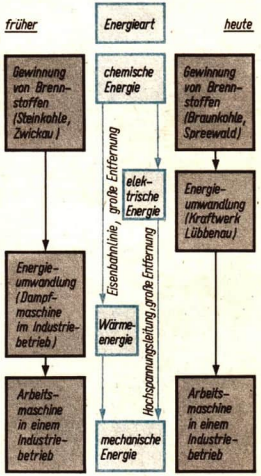


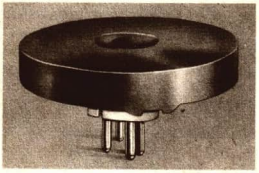
Bild 96/2 Beispiel für Energieweiterleitung (früher und heute). Worin liegen die Vorteile, wenn an Stelle der Brennstoffe die elektrische Energie über große Entfernungen geleitet wird?

Fragen, Aufträge, Versuche,
Seite 114, Nr. 179 bis 190

Das Widerstandsthermometer

Ein Meßgerät zur elektrischen Messung nichtelektrischer Größen ist das Widerstandsthermometer, welches in der Forschung und in der Technik immer häufiger eingesetzt wird. Die Bilder 79/1 und 79/2 zeigen ein solches Gerät.

Stelle fest, welche Gesetzmäßigkeiten insgesamt dieser Meßapparatur zugrunde liegen! Überlege dabei, welche Kenntnisse aus den einzelnen Stoffgebieten der Physik benötigt werden!



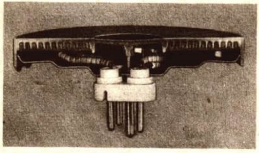


Bild 97/1 Aufbau eines elektrischen Kochherds
a) Ansicht
b) einzelne Kochplatte
c) Schnitt durch eine Kochplatte

Die elektrische Kochplatte

Wir wollen feststellen, welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten bei der elektrischen Kochplatte angewandt werden. Zuerst ermitteln wir, welche **Energieumwandlung** erfolgt (Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie). Diese Wärmeenergie soll aber nicht die ganze Umgebung heizen. Es kommt deshalb darauf an, die Wärmeenergie auf den Inhalt des Topfes zu übertragen. Deshalb sind Kochplatte und Boden des Topfes geschliffen, so daß ein guter Wärmeaustausch zwischen diesen beiden Flächen besteht (Bild 97/1). Zweitens fragen wir nach der **Leistung** der Kochplatte. Die elektrische Leistung ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke und läßt sich aus diesen Größen berechnen. Drittens wollen wir feststellen, welche **Arbeit** eine Kochplatte verrichtet. Dazu müssen wir neben der Leistung noch die Zeit kennen. Viertens interessiert uns auch der **Wirkungsgrad** der Anlage.

Welche Wärmeenergie kann mit einer Kochplatte (220 V, 1000 W) bei einem Wirkungsgrad von 70% aus der elektrischen Energie gewonnen werden?

Fünftens untersuchen wir, wie mit den **Gesetzen des unverzweigten und verzweigten Stromkreises** drei verschiedene Heizstufen mit zwei Heizwendeln ermöglicht werden (↗ S. 94).

Gib die Schaltungen für die drei Heizstufen an!

Sechstens läßt sich aus den Beziehungen zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand auch der **Widerstand** einer einzelnen Heizwendel ermitteln.

Die drei Heizstufen der elektrischen Kochplatte haben eine Leistung von 250 W, 500 W und 1000 W. Wie groß ist der Widerstand einer Heizwendel?

Fragen, Aufträge, Versuche

Zu den Aufgaben mit einer farbigen Zahl sind auf der Seite 124 die Lösungen angegeben!

Wärmelehre

Wärmeenergie (Seiten 6 bis 17)

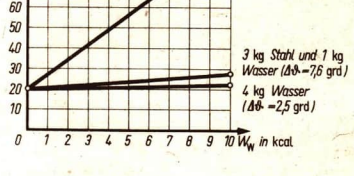
1. Gib folgende Temperaturen auch in °K bzw. in °C an:
   a) — 55 °C b) 186 °K c) 0 °C
   d) 100 °K e) 100 °C f) 0 °K.
2. Warum ist eine physikalische Unterscheidung von „Kältegraden" und „Wärmegraden" sinnlos und falsch?
3. „Heute war es aber sehr heiß", sagte ein Schüler zu einem anderen. „Die Temperatur betrug 307 Grad." „Das ist doch unmöglich", antwortete dieser. „Mein Thermometer zeigte nur 34 Grad an." – Was meinst du zu diesem Gespräch?
4. Wie groß ist die Wärmemenge, die das gestaute Wasser der Bleiloch-Saaletalsperre (225 000 000 m^3 Wasser) abgibt, wenn die mittlere Temperatur von 12 °C auf 10 °C sinkt?
   Hinweis: 1 m^3 Wasser hat eine Masse von 1 000 kg.
5. Ein Tauchsieder gibt in einer Sekunde 70 cal ab. Wie lange dauert es, bis 700 g Wasser von 21 °C auf 100 °C erwärmt werden?
6. Welche Wärmemenge ist erforderlich, um a) 1,5 l Wasser von 15 °C auf 38 °C zu erwärmen, b) um 21 l Wasser von 45 °C bis auf 80 °C zu erwärmen?

*7. Ein Klein-Gas-Wassererhitzer hat eine Leistung von 125 $\frac{kcal}{min}$. Was bedeutet diese Angabe? Erläutere an Beispielen mit verschiedenen Wassermengen und Temperaturdifferenzen die Leistungsangabe!

8. Vier Kugeln mit einer Masse von je 100 g, die aus Kupfer, Blei, Stahl bzw. Silber bestehen, wird jeweils eine Wärmemenge von 300 cal zugeführt. Gib die Reihenfolge der Stoffe nach der Höhe der dadurch auftretenden Temperaturdifferenzen an! Benutze das Tafelwerk S. 37!
9. In einem Aluminiumtopf werden 1 000 g Wasser um 60 grd erwärmt. Welche Wärmemenge ist erforderlich, wenn an die Umgebung keine Wärme abgegeben werden soll? Der Aluminiumtopf hat eine Masse von 320 g.
   Anleitung: Berechne
   W_1 für das Wasser, W_2 für den Topf!

*10. Auf welche Temperatur kühlen sich 100 g Kupfer von 80 °C ab, wenn man ihnen eine Wärmemenge von 500 cal entzieht!

11. Zwei kleine Bechergläser werden mit 50 g Glyzerin $\left(c = 0{,}57 \frac{cal}{g \cdot grd}\right)$ bzw. mit 50 g Wasser gleicher Temperatur gefüllt und auf eine elektrische Kochplatte gestellt. Was kannst du über die Temperaturen der Flüssigkeiten aussagen, wenn beide über eine bestimmte Zeit erwärmt werden?
12. Welche Wärmemenge gibt ein Drehmeißel aus Stahl der Masse 500 g beim Härten an das Abschreckbad ab, wenn seine Anfangstemperatur 650 °C und seine Endtemperatur 30 °C betragen?
13. In ein Becherglas, das mit heißem Wasser gefüllt ist, werden eine Stahlschraube und eine Aluminiumschraube gleicher Masse gelegt. Erwärmen sich beide auf die gleiche Temperatur? Nehmen beide die gleiche Wärmemenge auf?
14. Die spezifische Wärme von Platin beträgt 0,03 $\frac{cal}{g \cdot grd}$. Formuliere aus dieser Angabe einen Satz in der Form „Zum Erwärmen von ..... notwendig"!
15. Erkläre das ϑ-W_w-Diagramm (Bild 98/1)!



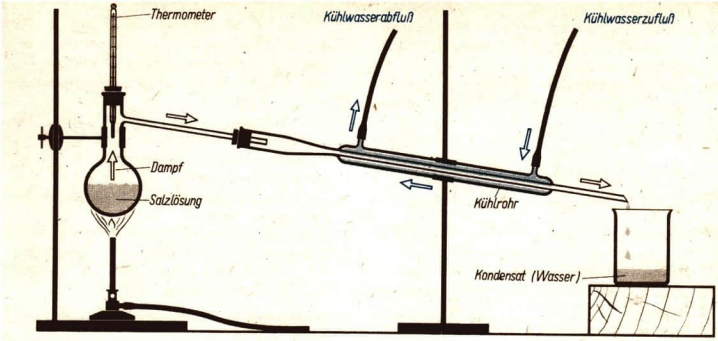


Bild 99/1 zu 24.

*16. In einem Kalorimeter befinden sich 100 g Wasser von 20 °C. Eine auf 100 °C erwärmte Metallkugel der Masse 100 g wird hineingegeben. Die Mischungstemperatur beträgt 22,3 °C. Wie groß ist die spezifische Wärme des Stoffes, aus dem die Kugel besteht? (Die an das Kalorimeter und an die Umgebung abgegebenen Wärmemengen bleiben unberücksichtigt.)

17. Zur Erwärmung von 100 g Zink um 15 grd sind 135 cal erforderlich. Berechne die spezifische Wärme!

18. Die Tabelle enthält einige beim Härten verwendete Abschreckmittel, ihre Wirkungen und spezifischen Wärmen.

Abschreck-mittel	Wirkung	Spezifische Wärme in $\frac{cal}{g \cdot grd}$
Wasser	kräftig	1,0
Petroleum	weniger mild	0,5
Öl	mild	0,4
Preßluft	sehr mild	0,24

Erkläre den Zusammenhang zwischen der spezifischen Wärme des Abschreckmittels und der Wirkung! Beachte, daß der Härtegrad von der „Abschreckgeschwindigkeit" abhängt!

19. Bestätige in einem Hausversuch die Gültigkeit des Grundgesetzes des Wärmeaustausches durch einen Mischungsversuch! Benutze dazu: Küchenwaage, Thermosflasche, Einkochthermometer (kein Fieberthermometer!)!
Wie erklärst du die Abweichungen?

20. Wir entnehmen einem Heißwasserspeicher 2 l Wasser, das von 15 °C auf 90 °C erwärmt wurde.
a) Welche Wärmemenge war zur Erwärmung notwendig?
b) Wieviel Leitungswasser von 15 °C müssen wir hinzugeben, um eine Mischungstemperatur von 38 °C zu erreichen?

21. Bei allen Mischungsversuchen treten Abweichungen zwischen den errechneten und gemessenen Werten auf, wenn man formuliert: Vom warmen Wasser abgegebene Wärmemenge = vom kalten Wasser aufgenommene Wärmemenge. Erkläre!

*22. Wie groß ist die Zunahme der inneren Energie eines Aluminiumzylinders von 20 cm Höhe und 5 cm Durchmesser, der von 20 °C auf 100 °C erwärmt wurde $\left(\varrho_{Al} = 2{,}7\ \frac{g}{cm^3}\right)$?

23. Warum ist die jährliche Temperaturschwankung beim Seeklima geringer als beim Landklima?

24. Erkläre die Wirkungsweise des Kühlers beim Destillieren (Bild 99/1)!

25. Warum wird bei Zentralheizungen Wasser als Umlaufflüssigkeit verwendet?

26. Warum ist kein Wärmeaustausch zwischen Körpern gleicher Temperatur möglich? Erkläre mit Hilfe der Teilchenvorstellung!

27. Wie kann man den Temperaturausgleich zwischen zwei Körpern unterschiedlicher Temperatur durch die Teilchenvorstellung deuten?
28. Wodurch unterscheiden sich die verschiedenen Aggregatzustände? Erkläre mit Hilfe der Teilchenvorstellung!
*29. Bei Zimmertemperatur besitzen Gasmoleküle mittlere Geschwindigkeiten zwischen 400 $\frac{m}{s}$ und 1400 $\frac{m}{s}$. Warum dauert es trotzdem länger als Bruchteile von Sekunden, bis man beispielsweise Parfümgeruch in einem Zimmer wahrnimmt?
30. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der mittleren kinetischen Energie der Teilchen und der Temperatur?
31. Auf eine Platte aus Stearin werden an verschiedenen Stellen Kugeln gleicher Masse aus Blei, Kupfer und Stahl gelegt, die vorher durch Erwärmung in einem Ölbad auf gleiche Temperatur gebracht wurden. Die Stahlkugel sinkt am tiefsten ein, dann folgen die Kupfer- und die Bleikugel. Wie läßt sich dieses Versuchsergebnis erklären?
32. Erkläre mit der Teilchenvorstellung die Wirkungsweise eines Thermometers!
33. Warum ist es unzweckmäßig, zur Temperaturmessung kleiner Flüssigkeitsmengen große Thermometer, die mit viel Quecksilber gefüllt sind, zu benutzen? Beantworte diese Frage unter Benutzung der Begriffe Wärmeaustausch, Wärmemenge und Temperatur!
34. In einem Becherglas befinden sich 2000 g Wasser, in einem anderen 1000 g Wasser und ein Stahlkörper der Masse 1000 g. Durch einen Tauchsieder wird jeweils 5 min erwärmt. Warum sind die Temperaturen danach unterschiedlich, obwohl die Anfangstemperaturen übereinstimmten und in beiden Fällen die gleiche Wärmemenge zugeführt wurde?
35. Halte über das Thema **„Die Bedeutung der großen spezifischen Wärme des Wassers“** einen Vortrag! Benutze zur Vorbereitung darauf die nachstehenden Zusammenfassungen und Beispiele und erweitere sie durch eigene Überlegungen und durch weitere Beispiele!

a) Die hohe spezifische Wärme des Wassers ist in der Natur von großem Einfluß auf den Wärmeaustausch zwischen Wasser und Luft. Dadurch wird das Klima wesentlich beeinflußt.

Welchen Einfluß hat der Golfstrom auf das Klima Nordeuropas?

Große Wärmemengen sind erforderlich, damit die Wassertemperatur von Seen **oder** Meeren merklich zunimmt. In der Nähe großer Wasserflächen ist daher auch im Frühjahr die Temperatur niedriger als im Binnenland. Im Herbst kann man dagegen das Umgekehrte beobachten. In der Umgebung großer Wasserflächen, zum Beispiel in Küstengebieten, werden auch plötzliche große Temperaturschwankungen dadurch gemildert, daß bei der Abkühlung der Luft das Wasser große Wärmemengen an diese abgibt. In Wüstengebieten kommt es dagegen zu sehr großen Temperaturschwankungen, weil die ausgleichende Wirkung des Wassers fehlt.

Suche auf der Temperaturkarte von Mitteleuropa (Schulatlas) Gebiete, die auf dem gleichen (z. B. dem

Bild 100/1 zu 35 b

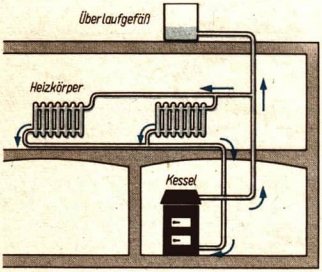
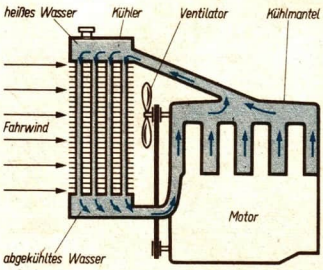


Bild 100/2 zu 35 b



52.) Breitengrad liegen, aber unterschiedliche mittlere Temperaturen aufweisen! Erkläre!

b) Da von allen Flüssigkeiten Wasser die größte spezifische Wärme besitzt, wird es in der Technik vor allem dort verwendet, wo große Wärmemengen zu- oder abgeführt werden sollen. Dazu drei Beispiele:

Warmwasserheizung (Bild 100/1)

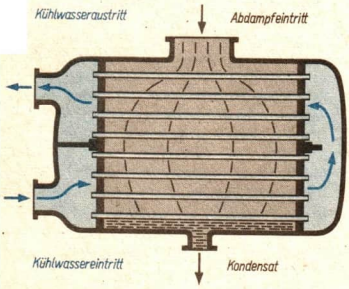
In der Kesselanlage nimmt das Wasser eine große Wärmemenge auf. Bei einer Erwärmung von 20 °C auf 80 °C sind das je Kilogramm Wasser 60 000 cal. Das erwärmte Wasser steigt in den Rohrleitungen nach oben und gibt diese Wärmemenge nach und nach in den Heizkörpern an die Luft ab. Abgekühlt sinkt es wieder nach unten und erwärmt sich erneut. Würde man an Stelle von Wasser andere Umlaufflüssigkeiten benutzen, so wäre bei gleichen Temperaturunterschieden die abgegebene Wärmemenge erheblich geringer.

Motorkühlung (Bild 100/2)

Der Motor eines Kraftfahrzeuges erwärmt sich während des Betriebes außerordentlich stark. Die Zylinder sind deshalb – wenn keine Luftkühlung benutzt wird – von einem mit Wasser gefüllten Mantel umgeben. Infolge der Wärmeströmung oder durch eine Pumpe in Umlauf gesetzt, zirkuliert das Wasser zwischen Kühler und Motorblock. Es nimmt im Mantel Wärmemengen von den erwärmten Zylinderwandungen auf und gibt sie im Kühler an die umgebende Luft ab. Ein vom Motor angetriebener Ventilator sorgt dafür, daß ständig Luft durch den Kühler strömt.

Welche Bedeutung hat die Menge des Kühlwassers für den Kreislauf?

Bild 101/2 zu 35 b



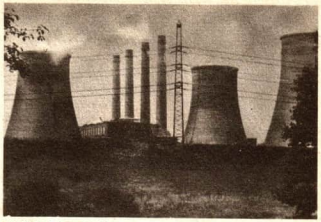


Bild 101/1 zu 35 b

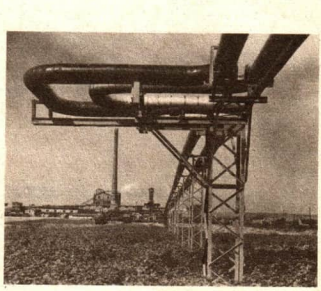
Kondensator (Bild 101/2)

In Kraftwerken streicht der von den Dampfturbinen kommende Dampf im Kondensator an den vom Kühlwasser durchflossenen Röhren vorbei und gibt dabei Wärme an das Wasser ab. Das Kühlwasser wird dann in hohe Kaminkühler (Bild 101/1) gepumpt und rieselt über Holzroste nach unten in ein Becken. Dabei gibt es die Wärme an die von unten nachströmende kalte Luft ab. Oft wird das Kühlwasser aber auch für Warmwasserheizungen z. B. für Gebäude, Gewächshäuser und Fischaufzuchtteiche genutzt.

Zustandsgleichung des idealen Gases (Seiten 18 bis 22)

36. Wobei wird die Längen- oder Volumenänderung fester Körper durch Erwärmen berücksichtigt?
37. Erkläre den Zweck der Schleife in der Dampfleitung (Bild 101/3)!

Bild 101/3 zu 37.



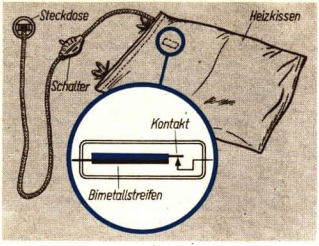


Bild 102/1 zu 38.

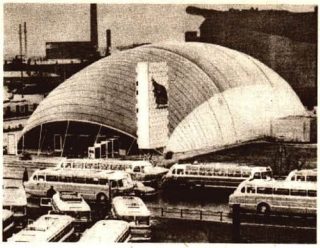
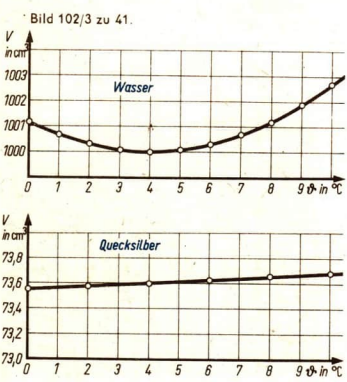


Bild 102/2 zu 45.

38. Beschreibe die Wirkungsweise des Bimetallschalters eines Heizkissens (Bild 102/1)! Beachte, daß sich die beiden vernieteten Metallstreifen bei gleicher Temperaturerhöhung unterschiedlich ausdehnen!
39. In welchen Meßgeräten wird die Volumenänderung flüssiger Körper bei Temperaturänderung genutzt? Welche Flüssigkeiten verwendet man meist? Welche Anforderungen werden an sie gestellt?
*40. Bei genauer Beobachtung zeigt sich bei Versuch V 7, Seite 18, daß die Flüssigkeitssäule anfangs etwas fällt und erst danach zu steigen beginnt. Erkläre!
*41. In Bild 102/3 oben ist das Volumen, das 1 kg Wasser einnimmt, in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Erkläre den Kurvenverlauf und vergleiche mit der entsprechenden Kurve für 1 kg Quecksilber (Bild unten)! Bekanntlich ist die Dichte der Quotient aus Masse und Volumen. Wie ändert sich in beiden Fällen die Dichte mit der Temperatur?

Bild 102/3 zu 41.



42. Warum nimmt in größeren Höhen ein Stratosphärenballon (Bild 18/1) Kugelgestalt an?
43. Erkläre, warum ein eingebeulter Tischtennisball im warmen Wasser wieder seine ursprüngliche Gestalt annehmen kann!
44. Lege einen wenig aufgeblasenen Luftballon (auf einer Unterlage) auf einen warmen Kachelofen oder bestrahle ihn mit einer Heizsonne! Was bemerkst du nach einiger Zeit? Erkläre!
45. Traglufthallen (Bild 102/2) können nur durch eine „Luftschleuse" betreten werden (ein Vorraum mit Türen nach außen und zur eigentlichen Halle). Erkläre!
*46. Das Beispiel auf Seite 21 ergab bei einem Druck von 2 at ein Volumen von 3052 l. Warum ist es falsch, zu sagen, daß man *diese* Gasmenge der Flasche *entnehmen* kann? Wie groß ist die bei einem Druck von 2 at in der Flasche verbliebene Gasmenge?
47. Besonders im Sommer steigt der Reifendruck von Kraftfahrzeugen nach längerer Fahrt um 0,1 at bis 0,3 at an. Erkläre diese Erscheinung!
48. Bei welcher Temperatur nimmt das ideale Gas den doppelten Raum ein wie bei 20 °C, wenn der Druck konstant bleibt?
49. Im Reifen eines Fahrzeuges mögen bei 10 °C 12 500 cm³ Luft enthalten sein, die unter einem Druck von 1,6 at stehen. Wie verändert sich der Druck, wenn durch Sonneneinstrahlung die Temperatur auf 50 °C ansteigt? (Wir wollen das Reifenvolumen als konstant annehmen.)

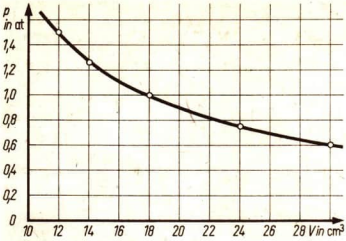


Bild 103/1 zu 52.

50. Wenn Fahrräder in praller Sonne längere Zeit abgestellt werden, sollte man die Reifen abdecken, weil sonst der Gummi schneller brüchig wird. Manche Leute begründen das Abdecken damit, daß sonst die Reifen „platzen" würden. Was meinst du dazu? (Vergleiche auch mit Aufgabe 49!)

51. Eine Gasflasche vom Volumen 40 l enthält Gas unter einem Druck von 120 at. Wieviel Liter Gas würden bei gleicher Temperatur mit einem Druck von 1,5 at vorhanden sein?

Bild 103/1 zeigt in grafischer Darstellung den Zusammenhang zwischen Druck und Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge (für T = konstant).

a) Entnimm der Darstellung fünf zusammengehörige Meßwerte und weise durch Rechnung die Beziehung $p \cdot V$ = konstant nach!

b) Wie ändert sich das Volumen, wenn der Druck verdoppelt wird?

c) Wie ändert sich der Druck, wenn das Volumen auf die Hälfte vermindert wird?

53. Die Versuchsanordnung nach Bild 103/2 zeigt eine Möglichkeit, den Spezialfall der Zustandsgleichung für p = konstant experimentell nachzuweisen.

Welche Messungen müssen im einzelnen vorgenommen werden? Welche Meßgeräte benötigt man? Beschreibe ausführlich, wie du den Versuch durchführen würdest!

54. In ein ungleichschenkliges U-Rohr wird eine geringe Menge Quecksilber gefüllt und dann der Hahn geschlossen (Bild 103/3). Unter welchem Druck steht das im kurzen Schenkel abgeschlossene Gas?

Gießt man in den langen Schenkel eine größere Menge Quecksilber, so verringert sich das Volumen der abgeschlossenen Gasmenge. Der Druck, unter dem das Gas dann steht, errechnet sich aus $p = p_0 + p_1$, wobei p_0 der äußere Luftdruck und p_1 der Schweredruck der Quecksilbersäule der Länge $l_2 - l_1$ sind. Beschreibe, wie bei konstanter Temperatur mit dieser Versuchsanordnung ein Spezialfall (welcher?) der Zustandsgleichung des idealen Gases bestätigt werden kann!

* 55. Wie ändert sich die jeweils fehlende Zustandsgröße des Gases?

a) V = konstant, T nimmt zu,

b) p = konstant, T nimmt ab,

c) T = konstant, V nimmt zu,

Bild 103/2 zu 53.

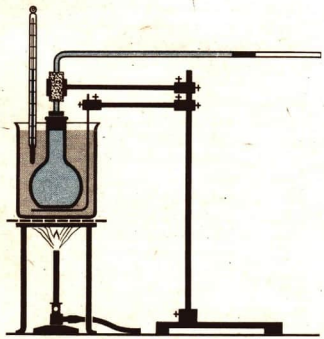


Bild 103/3 zu 54.

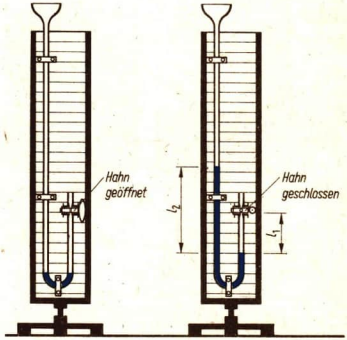
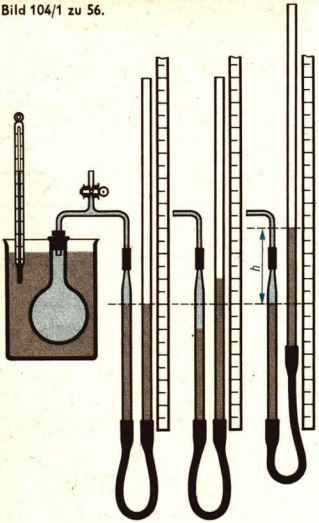


Bild 104/1 zu 56.



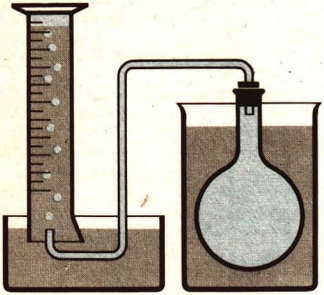
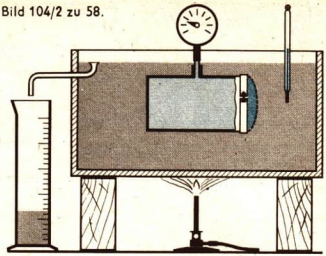


Bild 104/3 zu 57.

d) T = konstant, p nimmt zu.
Erkläre die Veränderung der jeweils fehlenden Zustandsgröße mit der Teilchenvorstellung!

Bild 104/2 zu 58.



56. Erkläre, wie mit der Versuchsanordnung nach Bild 104/1 die Gesetzmäßigkeit $p_1 : p_2 = T_1 : T_2$ (für V = konstant) bestätigt werden kann!

57. Der Meßzylinder (Bild 104/3) wird vollständig mit Wasser gefüllt. Erwärmt man den Kolben in einem Wasserbad, so vergrößert sich das Gasvolumen, wie man an der Wasserverdrängung im Meßzylinder erkennt. Welcher Spezialfall der Zustandsgleichung kann mit dieser Anordnung bestätigt werden?
Welche Messungen sind im einzelnen auszuführen? Wie könnte man das Anfangsvolumen experimentell (nicht durch Rechnung) bestimmen?

*58. Bild 104/2 zeigt eine Versuchsanordnung zur Bestätigung der allgemeinen Zustandsgleichung. Es handelt sich dabei um eine Abänderung der in Bild 20/1 angegebenen Versuchsanordnung.
Bei der Volumenänderung des Gases fließt durch das Überlaufrohr Wasser aus, das in einem Meßzylinder aufgefangen wird. Von dieser Gesamtmenge ΔV_{ges} muß die durch die Ausdehnung der Flüssigkeit verdrängte Menge ΔV_{Wasser} subtrahiert werden. Dazu benutzt man eine in einem Vorversuch (ohne Luftausdehnung) aufgestellte Korrekturkurve.

Beispiel einer Meßreihe

Bedeutung der Formelzeichen:

p_0 ... Luftdruck
Δp ... Überdruck (vom Manometer angezeigt)
p ... Gesamtdruck
ΔV_{ges} ... gesamte verdrängte Wassermenge
ΔV_{Was} ... durch Ausdehnung des Wassers verdrängte Flüssigkeitsmenge
ΔV ... Volumenzunahme des Gases
V_0 ... Anfangsvolumen des Gases (der Dose)
V ... Gesamtvolumen des Gases

T in °K	Δp in Torr	$p = p_0 + \Delta p$ in Torr	ΔV_{ges} in cm³	ΔV_{Was} in cm³	$\Delta V = \Delta V_{ges} - \Delta V_{Was}$ in cm³	$V = V_0 + \Delta V$
295	—	757	—	—	—	595
298	8	765	27	11	16	611
303	12	769	37	19	18	613
308	18	775	64	31	33	628

Überprüfe durch Rechnung, ob $\frac{p \cdot V}{T}$ konstant ist!

Energieumwandlungen (Seiten 23 bis 38)

59. Die Herstellung von Werkstücken durch Gießen zählt zu den wichtigsten technologischen Verfahren. Beim a) Erstarren und b) Abkühlen des Gußstückes werden große Wärmemengen an die Umgebung abgegeben. Berechne diese Wärmemengen für ein Graugußstück mit der Masse 20 kg aus folgenden Angaben:
Schmelzwärme für 1 g Grauguß: 28 cal,
Schmelztemperatur von Grauguß: 1160 °C,
spezifische Wärme von Grauguß: $0{,}11 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$,
Endtemperatur des Gußstückes: 25 °C.

60. Beim Erstarren von 5 kg einer Metallschmelze werden 245 kcal an die Umgebung abgegeben. Um welches Metall handelt es sich? Benutze das Tafelwerk!

61. Weshalb steigt die Temperatur eines Körpers während des Schmelzens nicht an? Was bewirkt die zugeführte Wärmemenge?

*62. a) Welche Wärmemenge wird benötigt, um 10 kg Eis zu schmelzen?
b) Wieviel Kilogramm Blei könnten mit der gleichen Wärmemenge geschmolzen werden?

63. Wie läßt sich die abkühlende Wirkung von Eiswürfeln in Flüssigkeiten erklären?

64. Es wurde der Vorschlag gemacht, in frostgefährdeten Kellern große, mit Wasser gefüllte Gefäße aufzustellen. Wie beurteilst du die Zweckmäßigkeit einer solchen Maßnahme?

*65. Entwickle eine Versuchsanordnung
a) zur Bestimmung der Schmelzwärme für 1 g Eis,
b) zur Bestimmung der Verdampfungswärme für 1 g Wasser!
Welche Messungen müssen im einzelnen vorgenommen werden?

66. Warum beschlägt eine kalte Fensterscheibe, wenn man sie anhaucht?

67. Welcher Unterschied besteht zwischen Verdunsten und Sieden einer Flüssigkeit?

*68. In einem wassergefüllten Kochtopf wird ein zweiter, kleinerer Topf gestellt, der ebenfalls Wasser enthält. Auch wenn das Wasser im äußeren Gefäß siedet, erreicht das Wasser im inneren Gefäß nicht die Siedetemperatur. Erkläre!

69. Welche Wärmemenge geben 20 g *Wasserdampf* von 100 °C bei Abkühlung auf 80 °C ab?
Welche Wärmemenge geben 20 g *Wasser* von 100 °C bei Abkühlung auf 80 °C ab?
Vergleiche die beiden Werte miteinander und erkläre!

*70. In einer Dampfheizungsanlage werden täglich 3000 kg Wasser bei normalem Luftdruck verdampft.
a) Welche Wärmemenge ist dazu erforderlich, wenn die Anfangstemperatur des Wassers 20 °C beträgt?
b) Welche Wärmemenge wird *beim Kondensieren* des Dampfes abgegeben?
c) Vergleiche die beiden Wärmemengen und erkläre die Differenz!

71. Kartoffeln benötigen in siedendem Wasser etwa 20 min bis 30 min, um gar zu werden. Obwohl schon die Sparflamme des Gasbrenners ausreicht, um die Siedetemperatur aufrechtzuerhalten, wird oft auf „große Flamme" gedreht. Begründung: „Wenn man mehr Wärme zuführt, werden die Kartoffeln doch schneller gar." Was meinst du? Begründe deine Meinung!

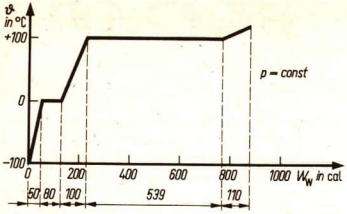


Bild 106/1 zu 73.

*72. Welche Wärmemenge wird frei, wenn sich 30 kg Aluminium von 750 °C auf 20 °C abkühlen? Wir nehmen vereinfacht an, daß die spezifische Wärme von Aluminium im festen und flüssigen Aggregatzustand gleich ist. Die Schmelztemperatur von Aluminium beträgt 660 °C.

*73. Bild 106/1 zeigt ein ϑ-W_w-Diagramm für die Erwärmung von 1 g Wasser von −100 °C auf +125 °C. Erkläre den Kurvenverlauf!
Beachte besonders die Teile der Kurve, die waagerecht verlaufen! Welche Bedeutung haben die besonders hervorgehobenen Wärmemengen?

74. Je 20 g des gleichen Stoffes sollen im festen, im flüssigen und im gasförmigen Aggregatzustand vorliegen. Ist die innere Energie gleich? Erkläre!

75. Warum erwärmt sich die Luftpumpe, wenn man einen Fahrradschlauch aufpumpt?

76. In einer Schlagmühle werden Kaffeebohnen zerkleinert. Warum weisen Kaffeepulver und Behälter danach eine höhere Temperatur auf?

*77. In einen großen Glasballon nach Bild 106/2 kann durch ein Gummigebläse Luft gedrückt werden. Die dadurch auftretenden Druckänderungen zeigt ein Flüssigkeitsmanometer an. Die Volumenänderung durch Verschiebung der Flüssigkeitssäule ist so gering, daß V = konstant angenommen werden kann.

Bild 106/2 zu 77.

a) Durch mehrmaliges Pumpen wird zusätzlich Luft in den Behälter gedrückt. Das Manometer zeigt – entsprechend den Erwartungen – einen Druckanstieg. Dieser Überdruck verringert sich aber mit der Zeit etwas und bleibt dann konstant. Luft konnte während des Versuches nicht ausströmen. Warum war der Druck anfangs etwas größer?
b) Der Absperrhahn wird *kurzzeitig* geöffnet und dann wieder geschlossen. In der Flasche müßte dann der gleiche Druck wie außen herrschen. Das Manometer zeigt aber einen Unterdruck an. Allmählich steigt der Druck in der Flasche dann jedoch auf den Außendruck an. Warum war der Druck anfangs geringer?
Hinweis: Beachte den ersten Hauptsatz und die Gasgesetze!

78. Erkläre, weshalb schlecht geschmierte und ungenügend geölte Maschinen neben hohem Materialverschleiß große „Energieverluste" aufweisen!

79. Was versteht man unter einem Perpetuum mobile? Weshalb ist die Konstruktion eines Perpetuum mobile unmöglich?

*80. Als Mayer dem Physikprofessor Jolly seine neuen Gedanken über die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie erläuterte, meinte dieser, daß dann ja beispielsweise Wasser durch Schütteln wärmer werden müßte. Darauf ging Mayer ohne ein weiteres Wort. Mehrere Wochen später, Jolly hatte den Vorfall längst vergessen, kam Mayer erneut und setzte ohne Einleitung das Gespräch mit folgenden Worten in schwäbischem Dialekt fort: „Es ischt aso" (es ist auch so)!
Man kann aus dieser Anekdote auf mancherlei schließen. Äußere dich dazu!

81. Wie vermeidet man beim Bohren von Eisenteilen das übermäßige Erwärmen des Bohrers?
Nenne weitere Beispiele aus der Technik, in denen durch Reibung unerwünscht Wärme auftritt!
Gib für jedes Beispiel an, welche Mittel der Mensch einsetzt, um unerwünschte Folgen zu vermeiden!

82. Wie hoch könnte man einen Körper vom Gewicht 50 kp heben, wenn dazu die Wärmemenge „benutzt" würde, die eine Tasse Kaffee (150 g) bei Abkühlung von 90 °C auf 25 °C abgibt?

83. Eine Bleikugel mit einem Gewicht von 1,5 kp fällt 100 m tief.
a) Welche Wärmemenge ist der mechanischen Energie der Kugel gleichwertig?

b) Um wieviel Grad würde sich die Temperatur der Kugel ($m = 1{,}5$ kg) erhöhen, wenn die gesamte zur Verfügung stehende Wärmemenge die Kugel erwärmen würde?

c) Eine Stahlkugel gleichen Gewichts fällt aus der gleichen Höhe herab. Überlege, ob die Stahlkugel die gleiche Temperaturerhöhung erfährt wie die Bleikugel!

84. Warum war gerade England das Land, in dem die ersten einsatzfähigen Dampfmaschinen entwickelt wurden?

85. Welche Vorteile besitzen Verbrennungskraftmaschinen gegenüber Dampfmaschinen?

86. Wie kann man die Temperaturzunahme eines Gases durch Kompression mit Hilfe der Teilchenvorstellung erklären? Beachte zur Beantwortung dieser Frage folgendes Beispiel: Ein Tischtennisball prallt einmal gegen einen ruhig gehaltenen Schläger, ein anderes Mal gegen einen dem Ball entgegen bewegten Schläger. Was läßt sich über die Ballgeschwindigkeiten nach dem Aufprall sagen?

87. Besorge dir aus einer Bücherei folgende Bücher und berichte in einem Vortrag im Unterricht über die Entwicklung des Diesel- und des Ottomotors:
Sittauer, Hans-Leo: Diesel – Eine Erfindung erobert sich die Welt, Transpress-Verlag, Berlin 1961.
Curth-Hartung: 1000 PS und mehr. Verlag Neues Leben, Berlin 1955.

*88. Wende den ersten Hauptsatz auf das Schleifen von Werkstücken an!
Warum werden Schleifscheibe und Werkstück gekühlt?

89. In die Lufthülle der Erde eindringende Meteore erreichen nur in seltenen Fällen die Erdoberfläche. Was geschieht mit ihrer kinetischen Energie, wenn sie in größeren Höhen verglühen?

90. Bei einigen Volksstämmen, die noch in diesem Jahrhundert auf sehr niedriger Kulturstufe lebten, wurden Vorrichtungen (Bild 107/1) benutzt, die eine Anwendung des ersten Hauptsatzes darstellen. Erkläre die physikalische Wirkungsweise dieser Feuerbohrer! Baue selbst eine solche Vorrichtung!
Als Stab verwende Hartholz (Eiche), als Unterlage Weichholz (Kiefer)!
Benutze eventuell eine Handbohrmaschine!

91. Wie läßt sich mit einem elektrischen Küchenmixgerät die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie experimentell nachweisen?

92. Ein abgeschossenes Kleinkalibergeschoß (Kaliber 22) besitzt eine Energie von 14,2 kpm. Welche Wärmemenge tritt beim Eindringen des Geschosses in einen Holzquader auf, wenn das Geschoß darin steckenbleibt?

93. Über die ersten atmosphärischen Dampfmaschinen – ihre Zylinder waren bis zu 3 m lang – wurde folgende (scherzhaft gemeinte) Klage geführt: Sie erfordern ein Erzbergwerk, um sie bauen zu können und ein eigenes Kohlebergwerk, um sie überhaupt betreiben zu können.
Worauf spielte man hiermit an?

94. Warum hatte die Dampfmaschine von Newcomen einen außerordentlich geringen Wirkungsgrad? Lies zur Beantwortung dieser Frage auf Seite 35 nach!

95. Arbeite den folgenden Abschnitt durch und beantworte die gestellten Fragen!

Die Bedeutung der Schmelz- und der Verdampfungswärme in der Praxis

Eis besitzt eine außerordentlich große Schmelzwärme. Es dauert deshalb geraume Zeit, bis bei Temperaturanstieg Eis und Schnee in der Natur schmelzen.

Was würde eintreten, wenn die Schmelzwärme von Eis klein wäre?

Andererseits werden beim Erstarren von großen Wasserflächen erhebliche Wärmemengen frei, die anfangs ein weiteres Absinken der Temperatur verhindern.

Fast alle Metalle besitzen große Schmelzwärmen. *Informiere dich im Tafelwerk, S. 37, über die Schmelzwärmen einiger Metalle!*

Im Hütten- und Gießereiwesen werden deshalb zum Schmelzen erhebliche Energien in Form von Wärmeenergie benötigt.

Bild 107/1 zu 90.

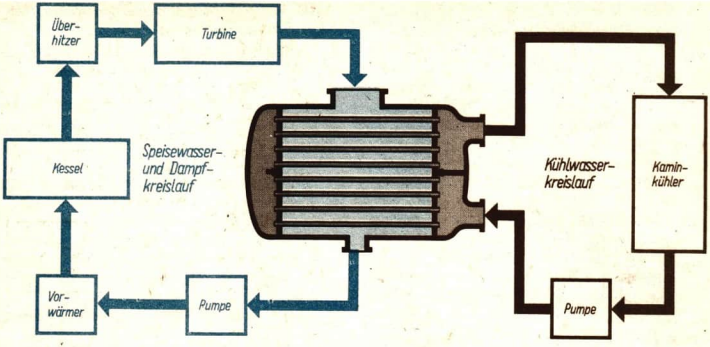


Bild 108/1 zu 96.

Welche Möglichkeiten gibt es, um die zum Schmelzen von Metallen notwendigen Wärmemengen zuzuführen?

Das flüssige Metall wird meist sofort weiterverarbeitet, um eine nochmalige Erwärmung zu vermeiden. Beispielsweise gelangt das geschmolzene Roheisen nach dem Abstich des Hochofens sofort zum Stahlwerk.

Warum erstarrt es während des Transportes nicht?

Die hohe Verdampfungswärme des Wassers ist einer der Gründe für die Verwendung von Wasserdampf in Dampfheizungsanlagen. Die beim Verdampfen im Kessel aufgenommene Wärmemenge wird in den Heizkörpern bei der Kondensation an die Umgebung abgegeben. Bereits geringe Dampfmengen reichen daher zur Übertragung großer Wärmemengen aus.

Bei der Destillation von Flüssigkeiten werden diese durch Zufuhr einer Wärmemenge zuerst in Dampf umgewandelt. An anderer Stelle erfolgt dann durch Entzug einer Wärmemenge wieder Verflüssigung. Man benutzt dieses Verfahren oft, um Stoffgemische zu trennen (Bild 99/1).

Welchen Stoff benutzt man als Kühlflüssigkeit?

Die besondere Eignung des Wassers als Feuerlöschmittel ist u. a. ebenfalls auf dessen große Verdampfungswärme zurückzuführen.

Welche physikalischen Vorgänge treten auf, wenn beispielsweise brennendes Holz durch Wasser gelöscht wird?

Zur Wiederholung (Seiten 39 bis 41)

96. Beschreibe die Vorgänge in einem Wärmekraftwerk (Bild 108/1) in physikalischer Hinsicht; benutze u. a. folgende Begriffe: Verdampfungs- und Kondensationswärme, spezifische Wärme, Wärmeenergie, mechanische Arbeit!

97. Die nachstehenden Sätze enthalten physikalisch falsche Aussagen. Begründe jeweils, warum die Aussagen unzutreffend sind und stelle sie richtig!

a) In einem Gefäß vom Volumen 500 cm^3 befindet sich ein Gas unter einem Druck von 2 at. Wir vergrößern allmählich das Volumen bei gleichbleibender Temperatur auf 1000 cm^3. Der Druck beträgt danach nur noch 0,5 at (↗ S. 22).

b) Um 1 g Eis von — 2 °C auf + 2 °C zu erwärmen, sind 4 cal notwendig (↗ S. 25).

c) Alle Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen zusammen (↗ S. 18).

d) Jedes einzelne Teilchen eines Gases besitzt eine bestimmte Temperatur (↗ S. 17).

98. Nenne Einheiten für folgende physikalische Größen:

Wärmemenge, mechanische Arbeit, Temperatur, innere Energie, Schmelzwärme, Wirkungsgrad, Druck, Masse, Verdampfungswärme, Temperaturdifferenz, spezifische Wärme, Volumen, potentielle Energie, Wärmeenergie, kinetische Energie!

99. Welche physikalischen Größen können in den folgenden Einheiten gemessen werden? kpm, °C, Ws, °K, cal, $\frac{m}{s}$, g, $\frac{cal}{g \cdot grd}$, Torr, cm^3.

*100. Bild 109/1a zeigt Ausschnitte aus dem *p-V*-Diagramm eines Ottomotors, Bild 109/1b aus dem eines Dieselmotors.

a) Welche Zustandsänderungen stimmen bei beiden Maschinen annähernd überein?

b) Der dick gezeichnete Teil der Kurve zeigt jeweils die Druck- und Volumenänderungen während der Verbrennung. Warum bezeichnet man Ottomotoren als Gleichraummaschinen, Dieselmotoren als Gleichdruckmaschinen?

(Darin liegt auch der Hauptunterschied zwischen diesen Motoren, nicht in der Verwendung von Schweröl bzw. Benzin!)

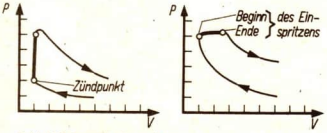
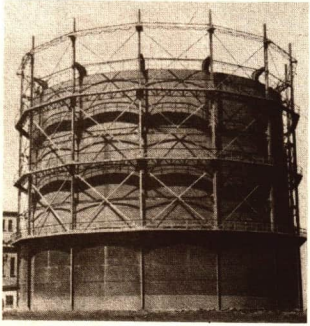


Bild 109/1 a und b zu 100.

101. Bei starker Beanspruchung des Fahrzeugmotors (z. B. durch lange Bergauffahrt) kann das Kühlwasser zu sieden beginnen. Erkläre unter Benutzung der Begriffe innere Energie, Temperatur, Wärmeaustausch, Verdampfungswärme usw. die dabei auftretenden physikalischen Vorgänge!

Bild 109/2 zu 103.



102. Die Tabelle enthält einige Temperaturangaben für Motore.

	Ottomotor	Dieselmotor
Verdichtungstemperatur in °C	300 bis 500	500 bis 750
Verbrennungshöchsttemperatur in °C	2000 bis 2800	1400 bis 2000
Temperatur der Auspuffgase in °C	800 bis 1200	400 bis 750

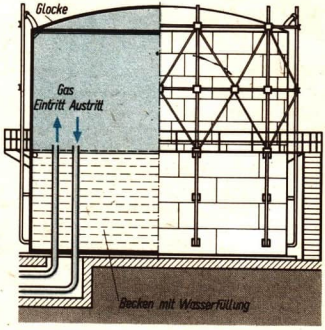
Vergleiche die Werte und beantworte folgende Fragen:

a) Wodurch wird die höhere Verdichtungstemperatur beim Dieselmotor erreicht?

b) Die Höchsttemperatur der inneren Zylinderwandungen eines Motors darf etwa 200 °C nicht überschreiten, da sonst der Verschleiß zu groß und die Schmierung ungenügend wird. Wodurch erreicht man diese verhältnismäßig niedrige Temperatur, obgleich selbst die Auspuffgase noch sehr heiß sind?

103. Beschreibe an Hand des Bildes 109/3 den Aufbau eines Gasometers in einem Gaswerk und überlege, warum der Druck auch bei Temperaturänderungen und bei Gasentnahme nahezu konstant bleibt!

Bild 109/3 zu 103.



Elektrizitätslehre

Elektrische Ladung, elektrische Stromstärke, elektrische Spannung (Seiten 44 bis 61)

104. Wodurch ist es möglich, elektrische Ladungen zu trennen?
Nenne ein Gerät, mit dessen Hilfe man elektrische Ladungen gut trennen kann!
105. Wie kann man feststellen, ob ein Körper eine positive oder eine negative Ladung trägt?
106. Erkläre mit Hilfe der freien Elektronen den Unterschied zwischen Leitern und Isolatoren!
*107. Gib die Ladung eines Elektrons in Coulomb an!
108. Warum kann man einen positiv geladenen Körper durch leitende Verbindung mit der Erde entladen, obwohl die positiven Ladungen in festen Körpern unbeweglich sind?
109. Warum sträuben sich trockene Haare beim Kämmen mit einem Kamm aus Plastwerkstoff und warum nicht, wenn man einen Metallkamm verwendet?
110. Warum gelingen die Versuche 14 und 15 (Seite 46) bei feuchter Luft nur schlecht, manchmal sogar gar nicht?
111. Stelle dir ein einfaches Elektroskop auf folgende Weise selber her! Ein Tablettenröhrchen wird außen mit einem schmalen Streifen Alu-Folie beklebt. Ein zweiter, etwa gleich langer Streifen hängt durch die Bohrung eines Gummistopfens in das Reagenzglas. Klebe den Boden des Glases mit Alleskleber auf ein Brettchen (Bild 110/1)!
112. Untersuche mit dem Elektroskop aus Aufgabe 111 verschiedene Plastwerkstoffe, Glas usw., die du vorher mit Seide, Wolle, Folie, Gummi usw. gerieben hast, auf ihre Ladung!
Stelle die Ergebnisse in einer Übersicht zusammen und vergleiche mit deinen Mitschülern!
Überprüfe im Zweifelsfalle!
113. Lade das Elektroskop mit einem Glasstab (oder einer Glasröhre, einem Stückchen Fensterglas usw.) auf! Bringe danach ein geriebenes Lineal mit dem Elektroskop in Verbindung! Erkläre, was du beobachtet hast!
114. Hänge zwei Holundermarkstückchen an Seidenfäden auf und wiederhole damit (Bild 110/2) den Versuch 14 aus dem Lehrbuch!
115. Hänge einen geriebenen Stab aus Hartgummi oder Plastwerkstoff (Lineal, Winkelmesser usw.) wie im Bild 110/3 auf und bringe andere geriebene Körper in die Nähe seiner Enden! Beobachte und erkläre!
*116. Die Kugel eines Bandgenerators trägt eine Ladung von $6{,}2 \cdot 10^{10}$ Elektronen.
Wie groß ist die mittlere Stromstärke I, wenn die Elektronen in einer Sekunde abfließen?
117. Wie groß ist die Stromstärke, wenn von einem geladenen Körper 0,03 C in 0,01 s abfließen?

Bild 110/1 zu 111.

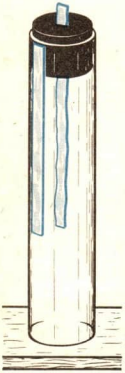


Bild 110/2 zu 114.

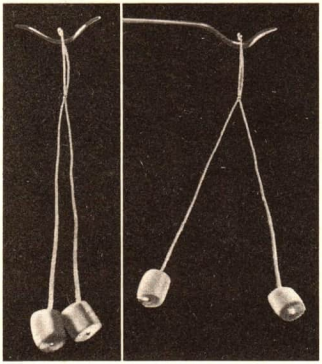
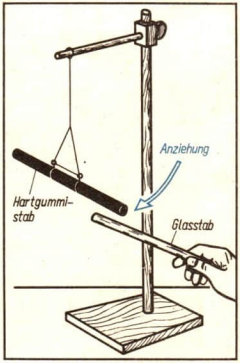


Bild 110/3 zu 115.



118. Gib für die folgenden Beispiele den Zahlenwert der gemessenen Größen an! Beachte: Der Vollausschlag entspricht dem Meßbereich, der Teilausschlag entspricht dem gesuchten Zahlenwert.
Daraus ergibt sich:
gesuchter Zahlenwert =

$$\frac{\text{Meßbereich} \cdot \text{Teilausschlag}}{\text{Vollausschlag}}$$

$$\frac{\text{Meßbereich}}{\text{Vollausschlag}} = \text{Multiplikationsfaktor}$$

Zahlenwert = Multiplik.-Faktor · Teilausschlag

Meß-bereich	Voll-ausschlag	Mul-tipl.-Fak-tor	Teil-ausschlag	gesuch-ter Zahlen-wert
2 500 mA	50 Skalent.	50	35 Skalent.	1 650
5 V	50 Skalent.	0,1	42 Skalent.	4,2
10 mA	50 Skalent.	0,2	23 Skalent.	4,6
50 V	50 Skalent.	1	16 Skalent.	16
25 mA	50 Skalent.	0,5	47,5 Skalent.	23,5
10 V	50 Skalent.	0,2	31,3 Skalent.	6,26

119. Tauche in ein Becherglas mit gesättigter Kupfersulfatlösung zwei Eisennägel und verbinde sie mit den Polen einer Flachbatterie! Beobachte die Kupferabscheidung!

120. Verbinde die Pole einer Flachbatterie mit einer Glühlampe von 4 V! Schalte einen Strommesser dazwischen und bestimme die Stromstärke! Wechsele den Meßbereich des Strommessers! Schalte der Glühlampe eine zweite parallel!
Gib die gemessenen Stromstärken in Milliampere und Ampere an!

121. Bei Erwärmung dehnen sich die meisten Körper aus. Überlege, wie man diese Erscheinung zur Messung der Stromstärke ausnutzen kann! Konstruiere ein Versuchsmodell!

122. Die Platten eines Kondensators sind verschiedenartig geladen. Wie kann man die Ladungsart beider Platten feststellen?

123. Von zwei isoliert aufgehängten Kugeln ist eine geladen. Wie stellt man mit Hilfe eines geladenen Plattenkondensators fest, welche geladen ist?

*124. Warum ist keine Arbeit erforderlich, wenn man einen geladenen Körper parallel zu den Platten eines Kondensators bewegt?

125. Stelle zwei Kondensatorplatten in etwa 10 cm Abstand auf und lade sie mit einem Bandgenerator! Umwickle einen Tischtennisball mit Alufolie und hänge ihn an einem etwa 1 m langen Seidenfaden zwischen die Kondensatorplatten! Erkläre das Bewegungsspiel!

126. Stelle ein drehbares Papierfähnchen aus einem passend zugeschnittenen steifen Papier und einem Druckknopf her!
Bringe geriebene Körper in seine Nähe! Taste mit dem Fähnchen die Umgebung der Metallkugel und der Haube des Bandgenerators ab! Zeichne den Verlauf der Feldlinien!

*127. In einem elektrischen Feld wird ein Körper mit der Ladung 1 Coulomb zwischen zwei 10 cm auseinanderliegenden Punkten verschoben. Man braucht dazu eine Kraft von 0,1 kp. Wie groß ist die Spannung zwischen den beiden Punkten, wenn 1 kpm ≈ 10 Ws ist?

128. An den Enden eines Leiters herrscht eine Spannung von 1 Volt. Welche elektrische Arbeit W ist notwendig, wenn eine Ladung von 3 Coulomb durch den Leiter transportiert werden soll?

129 Wie groß ist die Stromstärke in der Aufgabe 128, wenn die Ladung in einer Sekunde durch den Leiter fließt?

130. Schalte eine Flachbatterie, ein Glühlämpchen und einen Spannungsmesser hintereinander! Was beobachtest du und was ist an dieser Schaltung falsch?

131. Nimm eine verbrauchte Flachbatterie auseinander und fertige eine Schnittzeichnung an!

132. Tauche zwei verschiedenartige Metallplatten in verdünnte Schwefelsäure (Vorsicht!) und miß die Spannung! Verwende andere Metallplatten! Wie hängt die Spannung von Form und Größe der Platten ab?

Elektrische Energie, Arbeit, Leistung (Seiten 62 bis 69)

133. Welche elektrische Arbeit ist notwendig, um die Ladung 1 Coulomb zwischen 2 Punkten zu transportieren, zwischen denen die Spannung $U = 10$ V herrscht?

134. Ein Elektrizitätszähler macht 600 Umdrehungen, wenn er 1 kWh mißt. Beim Einschalten eines Elektroofens hat der Zähler in einer halben Stunde 300 Umdrehungen gemacht. Wie groß ist der Energiebedarf des Ofens in dieser Zeit?

135. In einem Betrieb brennen 20 Lampen zu je 100 Watt täglich 2 Stunden unnötig. Welche elektrische Energie wird in 6 Tagen vergeudet?

136. Ein Kran hebt eine Last von 500 kp um 36 m. Welche elektrische Energie muß dem Motor zugeführt werden, wenn er einen Wirkungsgrad von 90 % hat?

137. Ermittle zu Hause mit Hilfe eines Kilowattstundenzählers die Leistung eines elektrischen Gerätes (Tauchsieder, Heizsonne, Kochplatte). Zähle nach dem Einschalten des Gerätes, wieviel Umdrehungen die Scheibe des Zählers in drei Minuten macht! Daraus und aus der Angabe des Kilowattstundenzählers, wieviel Umdrehungen für eine Kilowattstunde notwendig sind, kannst du die Leistung des Gerätes berechnen!
Vergleiche den ermittelten Wert mit dem Aufdruck auf dem Gerät!

138. Ein Fernsehgerät hat eine Leistungsaufnahme von 180 Watt. Was kostet der monatliche Betrieb, wenn es täglich 3 Stunden eingeschaltet wird und der Preis für die Kilowattstunde 8 Pfennig beträgt?

139. Die Batterie eines PKW „Trabant" kann 56 Stunden lang einen Strom mit der Stromstärke von 1 A liefern. Wie lange könnten z. B. die beiden Autoscheinwerfer von je 45 Watt betrieben werden, bis die Batterie entladen ist? Die Betriebsspannung beträgt 6 Volt.

140. Welche Leistung (in PS) hat ein Elektromotor, wenn er bei einer Spannung $U = 220$ V von einem Strom mit der Stromstärke $I = 6$ A durchflossen wird und einen Wirkungsgrad von 0,85 hat (1 PS = 736 W)?

Elektrischer Widerstand, Ohmsches Gesetz (Seiten 70 bis 79)

141. Ein Bügeleisen mit einem Widerstand von 80 Ω wird an eine Leitung mit einer Spannung von 220 V angeschlossen. Wie groß ist die Stromstärke?

142. a) Welchen Widerstand hat eine Glühlampe für 220 V, wenn die Stromstärke 200 mA beträgt?
b) Welchen Widerstand hat eine Glühlampe für 220 V, wenn die Stromstärke 400 mA beträgt?

143. Ein Leitungsprüfer zeigt einen Widerstand von 1 kΩ an. Die Spannung der Batterie im Prüfgerät beträgt 4,5 V. Wie groß ist die Stromstärke, die durch das Prüfgerät fließt?

144. Eine Glühlampe hat einen Widerstand von 647 Ω. Durch die Lampe fließt ein Strom mit der Stromstärke von 0,34 A. Berechne die Betriebsspannung!

145. Ein Widerstand von 8 Ω ist nach Gebrauchsanweisung mit Stromstärken bis zu 5 A belastbar. Berechne die Spannung, die man höchstens an seine Anschlüsse legen darf!

146. Welchen Widerstand hat eine leuchtende Glühlampe, wenn bei einer Spannung von 125 V eine Stromstärke von 0,48 A gemessen wird?

147. Eine Glühlampe trägt die Angabe 6 V; 3 W.
a) Wie groß ist ihr Widerstand?
b) Wie groß ist die Stromstärke?
c) Wie groß ist die Arbeit, wenn die Glühlampe 24 Stunden lang in Betrieb ist?

148. Eine Radioröhre hat eine Heizspannung von 6,3 V. Durch den Heizfaden fließt ein Strom mit der Stärke 300 mA. Wie groß ist der Widerstand des Heizfadens?

149. Ein Heizofen für eine Spannung von 220 V hat eine Leistung von 500 W.
a) Wie groß ist die Stromstärke?
b) Wie groß ist der Widerstand?

*150. Auf einer Rolle befinden sich 25 m Konstantandraht mit einem Durchmesser von 0,1 mm. Wie groß ist der Widerstand dieses Drahtes?

151. Der Widerstand einer 480 m langen Aluminiumleitung soll 2,4 Ω nicht überschreiten. Welcher Querschnitt muß für die Leitung gewählt werden?

152. Bei der Montage einer Klingelanlage werden 70 m Kupferdraht von 0,8 mm Durchmesser verlegt. Wie groß ist der Leitungswiderstand?

*153. Der Keramikkörper eines Schiebewiderstandes von 35 mm Durchmesser ist mit 380 Windungen eines Drahtes von 0,8 mm Durchmesser umwikkelt. Der Widerstand des Drahtes beträgt 41,5 Ω. Aus welchem Stoff besteht der Draht?

154. a) Welchen Widerstand hat eine Leitung aus Kupferdraht von 30 m Länge und 0,5 mm² Querschnitt?
b) Welchen Querschnitt müßte ein Aluminiumdraht gleicher Länge erhalten, wenn er den gleichen Widerstand haben soll?

155. Der Widerstand einer bestimmten Spulenwicklung soll 8 Ω betragen. Die Wicklung wird aus Kupferdraht von 0,5 mm Durchmesser hergestellt. Wieviel Meter Draht sind erforderlich?

156. Die Wendel eines Heizkörpers hat einen Widerstand von 50 Ω. Sie besteht aus einem Draht mit dem Querschnitt 1 mm² und dem spezifischen

Widerstand von $1{,}2\,\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$. Wieviel Wendeln kann man aus 1 km Draht herstellen?

157. Das 36adrige Kabel einer 40 km langen Telefonleitung hat je Ader einen Querschnitt von 2,5 mm² und einen Widerstand von 27,2 Ω. Aus welchem Material sind die Adern hergestellt?

158. Ersinne eine Konstruktion, bei der die nichtelektrische Größe Temperatur (zum Beispiel im Zylinderkopf eines Motors) elektrisch mit Halbleitern gemessen werden kann!

Unverzweigter und verzweigter Stromkreis (Seiten 80 bis 95)

*159. Zwei Widerstände aus Konstantandraht (mit gleichem Querschnitt) werden hintereinandergeschaltet. Die Länge des einen Drahtes ist viermal so groß wie die des anderen. Wie groß ist der Gesamtwiderstand, bezogen auf den Widerstand des kurzen Drahtes? Begründe die Antwort mit Hilfe des Widerstandsgesetzes!

160. Ermittle die gesuchten Größen in einem unverzweigten Stromkreis:

a) $R_1 = 20\,\Omega$ $R_2 = 40\,\Omega$ $R_{ges} =$
$R_1 = 1\,k\Omega$ $R_2 =$ $R_{ges} = 1{,}5\,k\Omega$
$R_1 =$ $R_2 = 3\,M\Omega$ $R_{ges} = 3{,}2\,M\Omega$

b) *Gegeben:*
$R_1 = 5\,\Omega$
$R_2 = 10\,\Omega$
$I = 2\,A$
Gesucht:
U_1
U_2
U_{ges}
R_{ges}

c) *Gegeben:*
$U_{ges} = 150\,V$
$R_1 = 3\,k\Omega$
$I = 10\,mA$
Gesucht:
U_1
U_2
R_2
R_{ges}

161. Ein Filmvorführgerät und ein Vorwiderstand bilden einen unverzweigten Stromkreis. Die Spannung an der Spannungsquelle beträgt 110 V. Die Stromstärke beträgt 2,5 A. Am Vorwiderstand R_V wird eine Spannung von 35 V gemessen. Wie groß ist der Widerstand des Filmvorführgerätes?

162. Eine elektrische Bogenlampe hat einen Widerstand von 5 Ω. Zum Betrieb wird eine Spannung von 30 V benötigt. Wie groß muß der Vorwiderstand sein, wenn eine Spannungsquelle mit einer Spannung von 50 V zur Verfügung steht?

163. Auf den Kerzen der elektrischen Weihnachtsbaumbeleuchtung ist eine zulässige Spannung von 15 V vermerkt. Die gesamte Weihnachtsbaumbeleuchtung kann ohne Verwendung eines Vorwiderstandes an eine Spannungsquelle von 220 V angeschlossen werden.

a) Wie sind die Kerzen geschaltet?
b) Wieviel Kerzen müssen vorhanden sein?
c) Fertige eine Skizze an!

164. Die Glühlampen zur Beleuchtung der Skale eines Rundfunkgerätes tragen unter anderem die Angabe 0,2 A. Es sind 2 Lampen hintereinandergeschaltet. Die Gesamtspannung beträgt 4 Volt. Wie groß ist der Widerstand einer Glühlampe?

165. An eine Spannungsquelle von 220 V werden Glühlampen gleichen Widerstandes für 110 V angeschlossen.

a) Wie müssen die Glühlampen geschaltet werden? b) Wieviel Glühlampen sind anzuschließen?

166. Ein Bastler hat zur Beleuchtung einer Kinderpuppenstube als Spannungsquelle eine Flachbatterie vorgesehen. Ihm stehen aber nur Glühlampen für 1,5 V Spannung zur Verfügung. Wie kann er sich behelfen?

167. Zwei Drähte (gleicher Stoff, gleiche Länge, gleicher Querschnitt) werden parallelgeschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand, bezogen auf einen Einzelwiderstand? Begründe!

168. Berechne die fehlenden Größen in einem verzweigten Stromkreis!

a) $R_1 = 20\,\Omega$ $R_2 = 30\,\Omega$ $R_{ges} = \ldots$
$R_1 = 40\,\Omega$ $R_2 = \ldots$ $R_{ges} = 15\,\Omega$

b) *Gegeben:*
$U = 20\,V$
$I_1 = 0{,}4\,A$
$I_2 = 0{,}6\,A$
Gesucht:
I_{ges}
R_{ges}
R_1
R_2

c) *Gegeben:*
$U = 60\,V$
$I_{ges} = 3\,A$
$R_1 = 30\,\Omega$
Gesucht:
I_1
I_2
R_2
R_{ges}

169. In einer Leuchte sind zwei Glühlampen für eine Spannung von 220 V parallelgeschaltet. Die Leistungen der Lampen betragen 40 W bzw. 60 W. Wie groß ist die Gesamtstromstärke?

170. Bei einem Spannungsmesser kann der Meßbereich durch Vorschalten eines Widerstandes erweitert werden. Es soll der Meßbereich eines Strommessers erweitert werden. Wie kann das erreicht werden? Lies auf der Seite 92 nach und fertige eine Skizze an!

171. In einem Haushalt (Netzspannung 220 V) sollen zwei elektrische Geräte angeschlossen werden. Die Widerstände der Geräte betragen 50 Ω und

100 Ω. Überprüfe, ob dies möglich ist, wenn die Sicherung des Haushalts eine Gesamtstromstärke von 6 A zuläßt!

172. Zwei Leiter aus Blei und Konstantan mit Längen von je 2 m und Querschnitten von je 0,4 mm² sind parallelgeschaltet. Wie groß ist die Stromstärke im Konstantandraht, wenn durch den Bleidraht ein Strom mit der Stromstärke 2,0 A fließt?

173. In einem Spielzeugauto sind zur Beleuchtung 2 Glühlampen 3,5 V; 0,2 A und 2 Glühlampen 3,5 V; 0,1 A angeschlossen. Die Spannungsquelle ist eine Flachbatterie. Wie sind die Lampen geschaltet? Fertige eine Skizze an! Berechne I_{ges}!

174. Eine Fahrradbeleuchtung hat eine Glühlampe 6 V; 3 W an der Frontleuchte und eine Glühlampe 6 V; 0,3 A als Schlußleuchte. Wie groß ist die Gesamtstromstärke, wenn die Lampen parallelgeschaltet sind?

175. In vielen Filmtheatern wird das Licht nicht einfach ein- oder ausgeschaltet. Es ist eine langsame Abnahme der Helligkeit festzustellen. Entwirf eine Schaltung, mit der sich eine solche Anlage bauen läßt!

176. Begründe die Wirkungsweise des Spannungsteilers! Fertige ein Schaltbild an!

177. An einem Konstantandraht (gleichbleibender Querschnitt, Länge 2 m) liegt bei gleichbleibender Temperatur eine Gesamtspannung von 20 V. Wie lang muß das Teilstück des Leiters sein, an dem eine Teilspannung von 5 V abgenommen werden kann?

*178. Überprüfe rechnerisch, ob die Gleichung

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$ zu der Gleichung

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$ äquivalent ist!

Zur Wiederholung (Seiten 96 bis 97)

179. In der DDR betrug die „Erzeugung" von Elektroenergie

1950	20 Mrd. kWh,
1955	28,7 Mrd. kWh,
1960	40,3 Mrd. kWh und
1965	53,6 Mrd. kWh.

Sie wird voraussichtlich wie folgt gesteigert:

1970	93 Mrd. kWh,
1975	138 Mrd. kWh,
1980	200 Mrd. kWh.

Stelle die Werte in einem Säulendiagramm grafisch dar!

180. Im Jahre 1980 wird der Energiebedarf voraussichtlich 200 Mrd. Kilowattstunden betragen. Davon entfallen auf die Landwirtschaft 11 Mrd. kWh, auf Handel, Gewerbe und Verwaltung 15 Mrd. kWh, auf die Haushalte 20 Mrd. kWh. Der Anteil für Industrie und Verkehr beträgt 119 Mrd. kWh. Der Rest setzt sich aus dem Eigenbedarf der Energiebetriebe und den „Verlusten" zusammen. Stelle die Werte in einem Kreisdiagramm grafisch dar!

181. Eine Glühlampe für eine Fahrradleuchte hat die Daten 6 V; 0,3 A. Berechne die Leistung!

182. Ein Tauchsieder hat eine Leistung von 800 Watt. Er wird an eine Spannung von 220 V angeschlossen. Wie groß ist die Stromstärke?

183. Ein Elektroherd mit 4 Platten hat eine Leistungsaufnahme von 7,9 kW. Die Netzspannung beträgt 220 V. Wie muß die Sicherung bemessen sein, durch die der Herd abgesichert ist?

184. Ein Elektromotor verrichtet eine Arbeit von 10000 kpm. Gib diese Arbeit in Kilowattstunden an!

185. Ein elektrischer Strom durchfließt eine Heizwendel und erzeugt dabei eine Wärmemenge von 185 cal. Welche Arbeit verrichtet der Strom?

186. Welche Arbeit verrichtet ein Elektromotor innerhalb von 15 min, wenn bei einer Spannung von 220 V die Stromstärke 0,5 A beträgt?

*187. Ein Tauchsieder hat eine Leistungsaufnahme von 300 W. Wie lange dauert das Erwärmen von $\frac{1}{4}$ l Wasser von 15 °C bis zum Sieden? („Wärmeverluste" werden nicht berücksichtigt.)

188. Eine für 220 V vorgesehene Glühlampe hat eine Leistungsaufnahme von 25 W. Wie groß ist ihr elektrischer Widerstand?

189. In einem elektrischen Stromkreis sind eine Glühlampe mit einem Widerstand von 1600 Ω und ein Wärmegerät in Reihe geschaltet. Der Gesamtwiderstand beträgt 2000 Ω. Wie groß ist der Widerstand des Wärmegerätes?

*190. In einem Stromkreis sind 5 Glühlampen, von denen jede einen Widerstand von 1600 Ω besitzt, parallelgeschaltet. Wie groß ist der Gesamtwiderstand?

191. In einem Haushalt sind folgende Geräte parallelgeschaltet: 3 Glühlampen 25 W, 3 Glühlampen 60 W, 1 Rundfunkempfänger 80 W, 1 Tauchsieder 800 W. Wie groß ist die Leistung, wenn alle Geräte eingeschaltet sind?

Bestimmen der Mischungstemperatur zweier Wassermengen — W 1

Aufgabe

Bestimme die Wärmemengen, die beim Mischen zweier Wassermengen unterschiedlicher Temperatur vom warmen Wasser abgegeben und vom kalten Wasser aufgenommen werden!

Vorbetrachtungen

1. Was versteht man unter Wärmemenge?
2. Wie lautet die Gleichung zur Berechnung der Wärmemenge?
3. Welche zur Berechnung der Wärmemenge notwendigen physikalischen Größen müssen gemessen werden, welche kann man dem Tafelwerk entnehmen?
4. Wie groß ist die spezifische Wärme von Wasser?

Geräte und Hilfsmittel

Becherglas (300 ml) mit Wasser
2 Bechergläser, 200 ml
Meßzylinder
Thermometer (bis 100 °C)
Rührer
Wärmequelle

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Fülle in das erste Becherglas 50 ml Wasser, in das zweite Becherglas 100 ml Wasser (Protokoll)!
3. Erwärme die 100 ml Wasser auf etwa 35 °C!
4. Mißt die Temperatur ϑ_w des warmen Wassers und die Temperatur ϑ_k des kalten Wassers (Protokoll)!
5. Mische die beiden Wassermengen, indem du das kalte Wasser in das warme Wasser gießt, rühre gut um und stelle die Mischungstemperatur ϑ_m fest (Protokoll)!
6. Berechne die Temperaturdifferenzen, um die sich das kältere Wasser erwärmt und das wärmere Wasser abgekühlt hat (Protokoll)!
7. Berechne die Wärmemengen, die vom warmen Wasser abgegeben und die vom kalten Wasser aufgenommen wurden, und vergleiche sie (Protokoll)! Benutze den Rechenstab!
8. Nenne Fehlerquellen, die bei diesem Experiment auftreten können! Weshalb ist es günstiger, das kalte in das warme Wasser zu gießen und nicht umgekehrt?

Protokoll W 1

Bestimmen der Mischungstemperatur zweier Wassermengen

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...

Meßwerte und Berechnungen:

	kaltes Wasser	warmes Wasser
Masse	$m_k =$	$m_w =$
Temperatur	$\vartheta_k =$	$\vartheta_w =$
spezifische Wärme des Wassers	$c_w =$	
Mischungstemperatur	$\vartheta_m =$	
Temperaturdifferenz	$\Delta\vartheta_k = \vartheta_m - \vartheta_k$	$\Delta\vartheta_w = \vartheta_w - \vartheta_m$
	$\Delta\vartheta_k =$	$\Delta\vartheta_w =$
Wärmemenge	$W_{W_{aufgen.}} =$	$W_{W_{abgeg.}} =$

Vergleich der Wärmemengen:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der spezifischen Wärme eines festen Stoffes — W 2

Aufgabe

Bestimme die spezifische Wärme eines festen Stoffes!

Vorbetrachtungen

1. Weshalb hat die spezifische Wärme des Wassers eine besondere Bedeutung?
2. 1 kg Wasser und 1 kg Stahl sollen jeweils um die gleiche Temperaturdifferenz erwärmt werden. Für welchen Stoff benötigt man eine größere Wärmemenge? Benutze die Tabelle auf Seite 37 des Tafelwerks und begründe!
3. Beschreibe, wie man die Einheit der spezifischen Wärme $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$ mit Hilfe der Gleichung $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ ermitteln kann!
4. Wie lautet das Gesetz für den Wärmeaustausch?

Geräte und Hilfsmittel

Becherglas mit 250 ml Wasser
Becherglas, 200 ml
Reagenzglas
Reagenzglashalter
Thermometer (bis 100 °C)
Rührer
Wärmequelle
Meßzylinder
100 g eines festen Stoffes, granuliert

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Fülle in das leere Becherglas 100 ml Wasser und miß die Temperatur (Protokoll)!
3. Schütte die Körner in das Reagenzglas! Erwärme die restlichen 150 ml Wasser bis zum Sieden und erwärme die Körner (den festen Körper) durch Eintauchen des Reagenzglases in das siedende Wasser! Benutze den Reagenzglashalter!
4. Schütte den festen Körper (die Körner) in das kalte Wasser, rühre gut um und miß die Mischungstemperatur (Protokoll)!
5. Berechne die Temperaturdifferenzen, um die sich das Wasser erwärmt und der feste Körper abgekühlt hat (Protokoll)!
6. Berechne die spezifische Wärme c_f des festen Körpers mit Hilfe der im Protokoll angegebenen Gleichung (Protokoll)! Benutze den Rechenstab!
7. Ermittle mit Hilfe des Tafelwerks, Seite 37, um welchen Stoff es sich handeln kann!
8. Gib Fehlerquellen an!

Protokoll W 2

Bestimmen der spezifischen Wärme eines festen Stoffes

Name: Klasse:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...

Meßwerte und Berechnungen:

	Wasser	Körper aus festem Stoff
Masse	$m_w =$	$m_f =$
Temperatur	$\vartheta_w =$	$\vartheta_f =$
Mischungstemperatur	$\vartheta_m =$	
Temperaturdifferenz	$\Delta\vartheta_w = \vartheta_m - \vartheta_w$	$\Delta\vartheta_f = \vartheta_f - \vartheta_m$
	$\Delta\vartheta_w =$	$\Delta\vartheta_f =$
spezifische Wärme	$c_w =$	$c_f =$ (gesuchte Größe)

Gleichung zur Berechnung der spezifischen Wärme c_f des festen Stoffes:

$$c_f = \frac{m_w \cdot c_w \cdot \Delta\vartheta_w}{m_f \cdot \Delta\vartheta_f}$$

Ergebnis: $c_f =$

Stoff, aus dem der feste Körper bestehen kann:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen von Spannung und Stromstärke im Gleichstromkreis

E 1

Aufgabe

Miß Spannung und Stromstärke in einem Gleichstromkreis!

Vorbetrachtungen

1. Wie werden Strom- und Spannungsmesser im Gleichstromkreis geschaltet?
2. Gib die Schaltzeichen für Strom- und Spannungsmesser an!
3. Gib Formelzeichen und Einheiten für Stromstärke und Spannung an!

Geräte und Hilfsmittel

Spannungsquelle (0 bis 10 V, einstellbar)
Schalter
Widerstand (20 Ω, bis 1 A belastbar)
Strommesser (1 A —)
Spannungsmesser (10 V —)
Verbindungsleiter

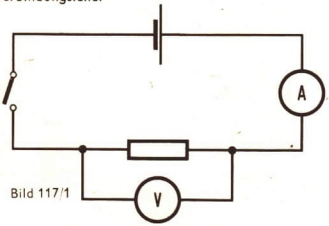


Bild 117/1

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Baue die Versuchsanordnung nach Bild 117/1 auf! Beachte, daß die Spannungsquelle zuletzt angeschlossen wird!
3. Laß die Schaltung vom Lehrer überprüfen!
4. Führe mehrere Messungen durch, indem du an der Spannungsquelle in Stufen von etwa 1 V die Spannung von 0 V beginnend bis 10 V einstellst! Miß jeweils Stromstärke und Spannung und trage die Meßwerte in das Protokoll ein! Unterbrich den Stromkreis, wenn du eine andere Spannung einstellst, indem du den Schalter öffnest!
5. Stelle den Zusammenhang zwischen I und U in einem Diagramm dar (Protokoll)! Wähle einen geeigneten Maßstab!
6. Überlege, welche Fehler die Messungen beeinflussen können!

Protokoll E 1

Bestimmen von Spannung und Stromstärke im Gleichstromkreis

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...

Schaltskizze:

Meßwerte:

Messung Nr.	U in...	I in...
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Diagramm:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der Leistung des elektrischen Stromes

E 2

Aufgabe

Bestimme die Leistung des elektrischen Stromes an einem elektrischen Gerät!

Vorbetrachtungen

1. Welche Größen müssen gemessen werden, um die Leistung des elektrischen Stromes ermitteln zu können?
2. Nenne Einheiten für die physikalische Größe Leistung, die du in der Mechanik und in der Elektrizitätslehre kennengelernt hast!
3. Welche physikalische Größe wird mit dem in jedem Haushalt befindlichen „Elektrizitätszähler" gemessen?
4. Welcher Zusammenhang besteht zwischen Arbeit und Leistung?

Geräte und Hilfsmittel

Spannungsquelle, einstellbar
Schalter
Glühlampe in Fassung
Strommesser
Spannungsmesser
Verbindungsleiter

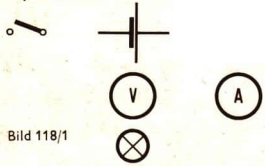


Bild 118/1

Arbeitsanweisung

1. Bereite das Protokoll vor!
2. Vervollständige die Schaltskizze (Bild 118/1), wenn du sie in das Protokoll überträgst, so, daß mit der entsprechenden Schaltung die gestellte Aufgabe gelöst werden kann!
3. Baue die Versuchsanordnung nach der Schaltskizze auf!
4. Ermittle die Betriebsspannung für die Glühlampe aus ihrer Beschriftung und trage sie in das Protokoll ein!
5. Laß Schaltung, Schaltskizze und abgelesene Spannung vom Lehrer überprüfen!
6. Stelle den für die Spannung abgelesenen Wert an der Spannungsquelle ein!
   Miß Stromstärke und Spannung (Protokoll)! Schließe den Stromkreis nur so lange, wie es für die Messung notwendig ist!
7. Wiederhole die Messung zweimal (Protokoll)!
8. Berechne die Leistung für jede der drei Messungen und bilde den Mittelwert (Protokoll)!
   Benutze zur Berechnung den Rechenstab!
9. Führe eine Fehlerbetrachtung durch!

Protokoll E 2

Bestimmen der Leistung des elektrischen Stromes

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...

Schaltskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Gleichung für die Leistung:
Betriebsspannung der Glühlampe:

Messung Nr.	U in...	I in...	P in...
1			
2			
3			
Summe	—	—	

Berechnung des Mittelwertes:

Ergebnis:

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen des Widerstandes

E 3

Aufgabe

Ermittle mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes den Widerstand einer Spule!

Vorbetrachtungen

1. Wie lautet das Ohmsche Gesetz?
2. Welche Größen muß man messen, um den Widerstand berechnen zu können?
3. Wie sind Strom- und Spannungsmesser im Stromkreis zu schalten?

Geräte und Hilfsmittel

Spannungsquelle
Widerstand (z. B. Spule 1500 Wdg.)
Spannungsmesser
Strommesser
Verbindungsleiter

Arbeitsanweisung

1. Zeichne eine Schaltskizze, nach der die Messungen durchgeführt werden sollen (Protokoll)!
2. Baue die Schaltung nach der Skizze auf und lasse sie vom Lehrer kontrollieren!
3. Lege nach Abnahme der Schaltung durch den Lehrer eine Gleichspannung von $\approx$ 2 V an und erhöhe sie nach und nach! Lies die dazugehörigen Werte für die Stromstärke ab und trage Spannung und Stromstärke in die zweite und dritte Spalte der Tabelle ein (Protokoll)! Führe 4 Messungen durch!
4. Berechne aus den Wertepaaren den Widerstand und trage ihn in die vierte Spalte der Tabelle ein! (Nomogramm- bzw. Rechenstabgenauigkeit, Protokoll!) Bilde aus den ermittelten Widerständen den Mittelwert!
5. Welche Erkenntnis kannst du aus dem Versuchsergebnis gewinnen?
   a) Untersuche den Zusammenhang zwischen der Spannung U und der Stromstärke I!
   b) Welche Aussage über den Widerstand R kannst du machen?
6. Stelle in einem I-U-Diagramm die Meßwertepaare grafisch dar! Erläutere den Kurvenverlauf schriftlich (Protokoll) und vergleiche mit der Aussage unter 5 a)!
7. Führe eine Fehlerbetrachtung durch (Protokoll)!

Protokoll E 3

Bestimmen des Widerstandes

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antworten zu den Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...
3. ...

Versuchsskizze:

Meßwerte und Berechnungen:

Messung Nr.	U in V	I in A	R in Ω
1 2			
2 4			
3 6			
4 10			
Summe	—	—	

Berechnung des Mittelwertes:

Ergebnis:

a) ...
b) ...
Diagramm
Kurvenverlauf ...

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der Stromstärken und Spannungen im unverzweigten Stromkreis

E 4

Aufgabe

1. Miß an verschiedenen Stellen eines unverzweigten Stromkreises die Stromstärke!
2. Ermittle die jeweilige Teilspannung an den Schaltelementen des Stromkreises!

Vorbetrachtungen

1. Auf welche Abschnitte des unverzweigten Stromkreises (Bild 120/1) beziehen sich die Gleichungen $\frac{U_1}{R_1} = I$, $\frac{U_2}{R_2} = I$, $\frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} = I$ und $\frac{U}{R} = I$?
2. Was sagen die vier Gleichungen über die Stromstärke in den vier Leiterabschnitten aus?

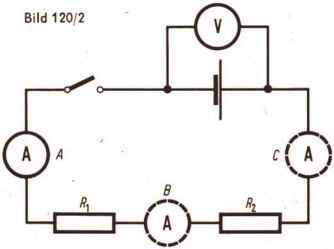
Geräte und Hilfsmittel

Spannungsquelle
Strommesser
Spannungsmesser
Widerstand (50 Ω)
Widerstand (100 Ω)
Schalter
Verbindungsleiter

Arbeitsanweisung

1. a) Lege die beiden Widerstände und den Schalter in Reihe (Bild 120/2) und greife an der Spannungsquelle eine Spannung von etwa 4 V ab!

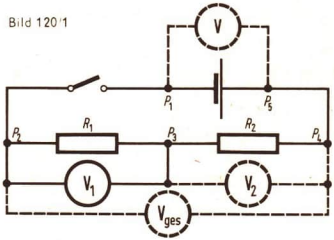
Bild 120/2



b) Schalte nacheinander den Strommesser an den Stellen A, B und C in den Stromkreis und trage die Meßergebnisse in die Tabelle 1 ein (Protokoll)!
c) Wiederhole den gleichen Versuch bei einer Spannung U von etwa 8 V und bei einer Spannung U von etwa 12 V (Protokoll, Tabelle 1)!

2. a) Baue die Versuchsanordnung nach Bild 120/1 auf! Greife an der Spannungsquelle eine Spannung U von etwa 4 V ab! Miß nacheinander die Gesamtspannung U_{ges}, die Teilspannung U_1 und die Teilspannung U_2 (Protokoll, Tabelle 2)!

Bild 120/1



b) Wiederhole den Versuch bei einer Spannung U von etwa 8 V und bei einer Spannung U von etwa 12 V (Protokoll, Tabelle 2)!
c) Stelle eine mathematische Beziehung zwischen den Größen U_{ges}, U_1 und U_2 her!

Protokoll E 4

Bestimmen der Stromstärken und Spannungen im unverzweigten Stromkreis

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antworten zu den Fragen der Vorbetrachtungen:

1. ...
2. ...

Versuchsskizzen:

Meßwerte und Ergebnisse:

Tabelle 1

U in V	I_A in A	I_B in A	I_C in A

Ergebnis 1: In einem unverzweigten Stromkreis ist die Stromstärke ...

Tabelle 2

U_{ges} in V	U_1 in V	U_2 in V	

Ergebnis 2: In einem unverzweigten Stromkreis ist die Gesamtspannung U_{ges} ...

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der Spannungen und Stromstärken im verzweigten Stromkreis — E 5

Aufgabe

1. Miß in einem verzweigten Stromkreis die Spannungen an den Schaltelementen!
2. Bestimme die Teilstromstärken und die Gesamtstromstärke!

Vorbetrachtungen

1. Mit Hilfe welches Gesetzes lassen sich die Spannungen bzw. die Stromstärken in den Zweigen eines verzweigten Stromkreises ermitteln?

Geräte und Hilfsmittel

Spannungsquelle
Strommesser
Spannungsmesser
Widerstand (50 Ω)
Widerstand (100 Ω)
Schalter
Verbindungsleiter

Arbeitsanweisung

1. a) Baue die Versuchsanordnung nach Bild 121/1 auf!
   b) Greife an der Spannungsquelle eine Spannung U von etwa 4 V ab! Miß nacheinander die Spannung U_1 am Widerstand R_1 und die Spannung U_2 am Widerstand R_2 (Protokoll, Tabelle 1)!
   c) Wiederhole den Versuch bei einer Spannung U von etwa 8 V und bei einer Spannung U von etwa 12 V (Protokoll, Tabelle 1)!
   d) Formuliere das Ergebnis der Versuchsreihe!
2. a) Baue die Versuchsanordnung nach Bild 122/1 auf!
   b) Greife an der Spannungsquelle eine Spannung U von etwa 4 V ab! Miß nacheinander die Gesamtstromstärke I_{ges}, die Teilstromstärke I_1 und die Teilstromstärke I_2 (Protokoll, Tabelle 2)!

Bild 121/1

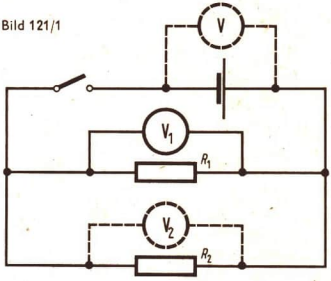
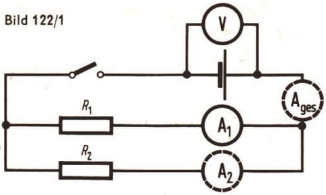


Bild 122/1



c) Wiederhole den Versuch bei einer Spannung U von etwa 8 V und bei einer Spannung U von etwa 12 V (Protokoll, Tabelle 2)!
d) Leite aus den Versuchsergebnissen eine mathematische Beziehung zwischen den physikalischen Größen I_{ges}, I_1 und I_2 her!

Protokoll E 5

Bestimmen der Spannungen und Stromstärken im verzweigten Stromkreis

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antwort zu den Vorbetrachtungen:

1. ...

Schaltskizzen:

Meßwerte und Auswertung:

Tabelle 1

U in V	U_1 in V	U_2 in V

Ergebnis 1: In einem verzweigten Stromkreis ist die Spannung an den parallelliegenden Widerständen ...

Tabelle 2

U in V	I_{ges} in A	I_1 in A	I_2 in A

Ergebnis 2: Zwischen den Größen I_{ges}, I_1 und I_2 besteht die Beziehung ...

Fehlerbetrachtung:

Bestimmen der Spannung am Spannungsteiler — E 6

Aufgabe

Baue eine Spannungsteilerschaltung auf und schalte eine Glühlampe an das Potentiometer!

Vorbetrachtungen

1. Ein Widerstand mit 3 Anschlüssen wird an eine Spannungsquelle mit der Spannung U angeschlossen. Welche Spannungen können mit Hilfe des Spannungsteilers eingestellt werden?
2. Die Stellung des Gleitkontaktes hängt dabei auch von der Belastung des Widerstandes ab.

Geräte und Hilfsmittel

Spannungsquelle
Strommesser
Spannungsmesser
Spannungsteiler (25 Ω bis 100 Ω)
Glühlampe (6 V; 0,05 A oder 0,1 A)
Glühlampe (6 V; 0,2 A oder 0,3 A)
Glühlampe (6 V; 0,4 A oder 0,5 A)
Glühlampenfassung
Schalter
Verbindungsleiter

Arbeitsanweisung

1. a) Baue entsprechend dem Bild 123/1 aus dem Spannungsteiler, der Glühlampe (6 V; 0,05 A oder 0,1 A), dem Strommesser, dem Spannungsmesser und dem Schalter eine Spannungsteilerschaltung auf! Lege an den Spannungsteiler eine Spannung U von etwa 10 V bis 12 V!

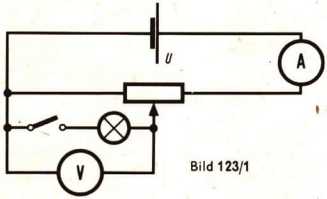


Bild 123/1

b) Verschiebe den Gleitkontakt am Spannungsteiler derart, daß du bei geöffnetem Schalter (unbelasteter Spannungsteiler) eine Teilspannung U_T von 6,0 V erhältst! Miß die Gesamtstromstärke I_{ges} (Protokoll, Tabelle 1)!

c) Schließe den Schalter (belasteter Spannungsteiler)! Miß die an der Glühlampe anliegende Spannung U_T und stelle die Gesamtstromstärke I_{ges} fest (Protokoll, Tabelle 1)!

d) Stelle den Gleitkontakt am Spannungsteiler derart nach, daß an der Glühlampe wieder eine Spannung von 6,0 V liegt! (Achtung! Verschiebe den Gleitkontakt am Spannungsteiler recht vorsichtig, damit die Glühlampe nicht wegen Überspannung durchbrennt!) Miß die Gesamtstromstärke I_{ges} (Protokoll, Tabelle 1)!

2. Wiederhole die Versuchsreihe mit der Glühlampe 6 V; 0,2 A oder 0,3 A (Protokoll, Tabelle 1)!
3. Wiederhole die Versuchsreihe mit der Glühlampe 6 V; 0,4 A oder 0,5 A (Protokoll, Tabelle 1)!

Protokoll E 6

Bestimmen der Spannung am Spannungsteiler

Name: Klasse:

Aufgabe:

Antwort zu den Vorbetrachtungen:

1. ...

Schaltskizze:

Meßwerte:

Tabelle 1

Versuchsreihe	Glühlampe	Schalter	U_T in V	I_{ges} in A
1	6 V; ... A	geöffnet geschlossen geschlossen	6,0 ... 6,0	... ...
2	6 V; ... A	geöffnet geschlossen geschlossen	6,0 ... 6,0	... ...
3	6 V; ... A	geöffnet geschlossen geschlossen	6,0 ... 6,0	... ...

Ergebnis:

Die Höhe der Teilspannung U_T an einem einmal fest eingestellten Potentiometer ändert sich, wenn man ein Schaltelement mit einem bestimmten Widerstand an den Spannungsteiler schaltet. Die Teilspannung U_T nimmt ...
und die Gesamtstromstärke I_{ges} wird ....

Wärmeenergie

Seiten 98 bis 99

1. a) $T = 218\,°K$
   b) $\vartheta = -87\,°C$
   c) $T = 273\,°K$
   d) $\vartheta = -173\,°C$
   e) $T = 373\,°K$
   f) $\vartheta = -273\,°C$
4. $W_w = 450 \cdot 10^9$ kcal
5. $t = 790$ s
9. $W_w \approx 64{,}2$ kcal
10. $\vartheta \approx 24{,}4\,°C$
12. $W_w = 37{,}2$ kcal
17. $c = 0{,}09 \dfrac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$

Zustandsgleichung des idealen Gases

Seiten 102 bis 103

49. $\Delta p \approx 0{,}2$ at
51. $V = 3\,200$ l

Energieumwandlungen

Seiten 105 bis 107

59. a) Beim Erstarren = 560 kcal
    b) Beim Abkühlen ≈ 2 500 kcal
60. Kupfer
62. a) $W \approx 800$ kcal
    b) $m \approx 133$ kg
70. a) $W_w = 1{,}857 \cdot 10^6$ kcal
    b) $W = 1{,}617 \cdot 10^6$ kcal
72. $W_w = 7\,668$ kcal
83. a) $W_w \approx 351$ cal
    b) $\Delta\vartheta = 7{,}8$ grd
92. $W_w \approx 33$ cal

Elektrische Ladung, elektrische Stromstärke, elektrische Spannung

Seiten 110 bis 111

107. $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
116. $I = 0{,}01\ \mu$A
117. $I = 3$ A
127. $U = 0{,}1$ V
128. $W = 3$ Ws
129. $I = 3$ A

Elektrische Energie, Arbeit, Leistung

Seiten 111 bis 112

133. $W = 10$ Ws
134. $W = 0{,}5$ kWh
135. $W = 24$ kWh
136. $W \approx 0{,}054$ kWh
138. 1,30 M
139. $t \approx 3$ h 44 min
140. $P \approx 1{,}5$ PS

Elektrischer Widerstand, Ohmsches Gesetz

Seite 112

141. $I = 2{,}75$ A
144. $U \approx 220$ V
146. $R = 260\,\Omega$
150. $R \approx 1\,590\,\Omega$
151. $A = 4{,}8$ mm²
152. $R \approx 2{,}2\,\Omega$
153. Konstantan
154. a) $R \approx 1\,\Omega$
     b) $A \approx 0{,}75$ mm²
155. $l \approx 98$ m

Unverzweigter und verzweigter Stromkreis

Seiten 113 bis 114

160. c) $U_1 = 30$ V
        $U_2 = 120$ V
        $R_2 = 12\,\text{k}\Omega$
        $R_{ges} = 15\,\text{k}\Omega$
162. $R = 3\,^1/_3\,\Omega$
168. b) $I_{ges} = 1$ A
        $R_{ges} = 20\,\Omega$
        $R_1 = 50\,\Omega$
        $R_2 = 33\,^1/_3\,\Omega$
169. $I_{ges} \approx 0{,}45$ A
177. $l = 0{,}5$ m

Register

Absoluter Nullpunkt 17
Aggregatzustand 23 f.
Akkumulator 60
Ampere 53
Arbeit 27 f., 47, 57 f., 65, 69, 94
Arbeitsdiagramm 69
Arbeitsschutz 42
Ausdehnung fester Körper 18
Ausdehnung flüssiger Körper 18

Bandgenerator 45 ff., 54
Bimetallstreifen 79

Celsiustemperatur 17
Coulomb 50

Dampfmaschine 34 f., 96
Dampfturbine 37
Deduktion 22
Diesel, Rudolf 31
Dieselmotor 31
Drehkolbenmotor 38
Drehwiderstand 90
Druck 19
Dufay 49

Elektrizitätsmenge 45
Elektrizitätszähler 66
Elektroden 60
Elektron 45 ff., 61, 73, 79 f.
Elektronenfluß 51, 53
Elektronenmangel 46
Elektronenüberschuß 46, 60
Elektroskop 47
Element, galvanisches 59
Elementarladung 50
Energiebedarf 65
Energieeinheiten 10, 68
Energieerhaltungssatz 28, 63
Energie, elektrische 47, 57 f., 61 f., 96
Energie, innere 16
Energie, magnetische 61 f.
Energie, mittlere kinetische 9
Energieumwandlung 29, 63, 97
Erstarrungswärme 25
Erster Hauptsatz der Wärmelehre 26 f.

Faraday 56
Feld, elektrisches 54
Feldlinien 56
Flüssigkeitsstandsmessung 92

Galvani 60
Gasturbine 37
Gedankenexperiment 57
Generator 61
Gesamtspannung 81 f.
Gesamtstromstärke 88 f.
Gesamtwiderstand 85
Gewitter 51
Gitteraufbau 7, 24, 78
Gleichgewichtsabstand 7
Gleichstrom 61
Gleitkontakt 74, 80, 90, 94
Glimmlampe 52
Gray 49
Grundgesetz des Wärmeaustausches 15
Grundgleichung der Wärmelehre 11 f.
Guericke, Otto von 49

Halbleiter 78
Heizkissen 94
Heizstufe 94, 97
Helmholtz, H. 63
Höchststromstärke 92

Ideales Gas 20

Joule, J.P. 30

Kalorie 10, 67
Kaloriemeter 16
Kelvinskale 17
Kelvintemperatur 17
Kilokalorie 10
Kilopondmeter 10, 59
Kilowattstundenzähler 67
Kinetische Wärmetheorie 8
Klingel, elektrische 53
Kochplatte 97
Kondensator 35, 51
Kondensationswärme 26
Kraft 47

Ladung, elektrische 44 f., 53 f., 58, 61
Ladung, negative 46
Ladung, positive 46
Ladungsausgleich 51
Ladungstrennung 45, 52
Leistung 68
Leiter, metallischer 78
Leiterlänge 75
Leiterquerschnitt 76
Lichtwirkung 52

Mayer, J. R. 30, 63
Meßbereich 54
Meßbereichserweiterung 92
Meßgerät 92 f.
Meßwerk 92
Minuspol 60
Modell 56
Monozelle 52, 60

Nebenwiderstand 92
Newcomen 34

Ohm 72
Otto, Nikolaus 36
Ottomotor 36, 39

Parallelschaltung 87
Perpetuum mobile 29
Pluspol 60
Polsunow 35
Potentiometer 90 f.

Reihenschaltung 82

Schiebewiderstand 80, 90
Schmelzwärme 25
Spannung, elektrische 58, 70 f., 83, 87
Spannungsmesser 61, 93
Spannungsquelle 59, 61, 81
Spannungsteiler 90 f.
Spannungsteilerschaltung 91
Strom, elektrischer 51, 53, 61, 70
Stromkreis, elektrischer 61
Stromkreis, unverzweigter 81
Stromkreis, verzweigter 87
Strommesser 54, 92
Stromstärke, elektrische 53 ff., 83, 88

Teilbarkeit von Ladungen 48
Teilchen 6
Teilspannung 80 f.
Teilstromstärke 88 f., 94
Teilwiderstand 85, 90
Temperatur 9 f., 17, 78
Temperatur, absolute 17
Thompson, Benjamin 30

Verdampfungswärme 26
Verschiebungsarbeit 58, 81
Vielfachmeßgerät 93
Vollausschlag 92 ff.
Volt 59
Volta 59
Voltaelement 60
Vorwiderstand 86, 93

Wärme, spezifische 13
Wärmeaustausch 13
Wärmeenergie 10, 62, 67
Wärmemenge 10
Wärmewirkung 52
Watt 68
Watt, James 35
Wattsekunde 10, 59, 66 ff.
Wechselstrom 61
Weg 47
Wheatstonesche Meßbrücke 94
Widerstand, elektrischer 72, 85, 89
Widerstand, spezifischer 76 f.
Widerstand, technischer 73, 90
Widerstandsgesetz 74, 77
Widerstandsthermometer 79, 97
Wirkung, chemische 53
Wirkung, magnetische 53
Wirkungsgrad 34, 38, 63
Wirkungskette 80, 92

Zustand eines Körpers 8
Zustandsänderung, isobare 21 f., 103
Zustandsänderung, isochore 21 f., 104
Zustandsänderung, isotherme 21 f., 103
Zustandsgröße 8

Quellennachweis der Abbildungen

Wolfgang Brunstein, Güstrow: 61/1, 110/2. Werner Bunschuh, Berlin: 69/3, 74/1a, b. Deutsche Staatsbibliothek, Berlin: 8/1. Werkfoto VEB Elektro-Apparate-Werke, Berlin: 94/1b. Rolf Grabow, Halle: 36/2. Humboldt-Universität, Berlin: 46/1, 46/2, 48/1, 48/2, 51/1, 51/2, 55/1. Jaeger, Leipzig: 59/1. Klaus König, Berlin: 5/1. Werkfoto VEB Kombinat Kernenergetik, Berlin: 65/1. Krüger, Berlin-Falkensee: 60/3. Müller, Leipzig: 37/2. Opitz, Leipzig: 64/1. PGH Fotostudio Leipzig: 53/1. Schmidt, Berlin: 101/1. Werkfoto VEB Schwermaschinenbau „Karl Liebknecht", Magdeburg: 31/3. Seifert, Volk und Wissen, Berlin: 6/1, 16/2, 19/1, 47/1, 52/1b, 52/3a, 62/1, 66/1 rechts, 70/1, 78/2a, b, 90/1 links, 91/1. Volk und Wissen, Archiv, Berlin: 16/1 links, 20/2, 30/1, 30/2, 31/2, 35/2, 36/3, 36/4, 37/1, 37/3, 44/1, 49/2, 52/3b, 53/1, 53/3, 55/5a, b, 56/2, 59/1, 60/2, 60/4, 66/1 links, 71/2, 74/1c, 79/1c, 79/2, 82/1a, b, 90/1 rechts, 95/3, 97/1a, b, c, 101/3, 109/3. Willi Wörstenfeld, Berlin: 38/1, 52/1a, 60/1a, 74/2, 82/4, 83/1, 84/1, 88/2a, b, c, d, 94/1a. Zentralbild, Berlin: 23/1, 43/1, 45/1, 62/1, 64/2, 80/1, 102/2.

Nomogramme

Die Lösung vieler physikalischer Aufgaben erfordert Berechnungen. Zur Erleichterung der Rechenarbeit und zur schnelleren Ermittlung der Ergebnisse werden in der Industrie und in wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen bei häufig wiederkehrenden, gleichartigen Aufgaben neben anderen Hilfsmitteln auch **Nomogramme** eingesetzt.

Das Wort „Nomogramm" ist aus den beiden griechischen Wörtern nomos (Gesetz) und graphein (schreiben) zusammengesetzt und bringt zum Ausdruck, daß es sich dabei um Hilfsmittel handelt, in denen gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen verschiedenen physikalischen Größen dargestellt werden.

Jedes Nomogramm besteht aus mehreren **Leitern**. Jede Leiter trägt *verschiedene Zahlenwerte* und die *Einheit einer bestimmten physikalischen Größe*. Die Anzahl der Leitern hängt von der Anzahl der in der Gleichung miteinander verknüpften physikalischen Größen ab. In der Definitionsgleichung der Geschwindigkeit einer gleichförmig geradlinigen Bewegung $v = \frac{s}{t}$ sind die physikalischen Größen Geschwindigkeit v, Weg s und Zeit t miteinander verknüpft. Dieses Nomogramm besteht aus drei Leitern. Bei mehr als drei physikalischen Größen, wie z. B. bei der Berechnung der Wärmemenge $W = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$, ist außer den vier Leitern für die physikalischen Größen Wärmemenge W, Masse m, spezifische Wärme c und Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ noch eine Hilfsleiter erforderlich, die als **Zapfenlinie Z** bezeichnet wird.

Sind in einer Gleichung drei physikalische Größen miteinander verknüpft, so müssen mindestens zwei Größen bekannt sein, um die dritte Größe berechnen zu können. Ist also zum Beispiel der Weg s bekannt, den ein Fahrzeug zurückgelegt hat, und ist außerdem die Zeit t gemessen worden, in der dieser Weg s zurückgelegt wurde, so kann die Geschwindigkeit v des Fahrzeugs berechnet werden.

Am Beispiel der Berechnung der Wärmemenge W soll gezeigt werden, wie man die Berechnung mit einem Nomogramm ausführen kann.

Aufgabe:

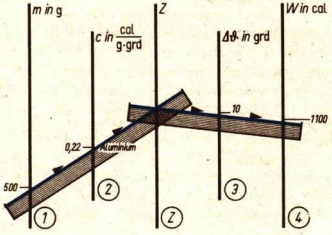
Ermittle mit einem Nomogramm die Wärmemenge W, die nötig ist, um 500 g Aluminium um 10 grd zu erwärmen!

Arbeitsanleitung:

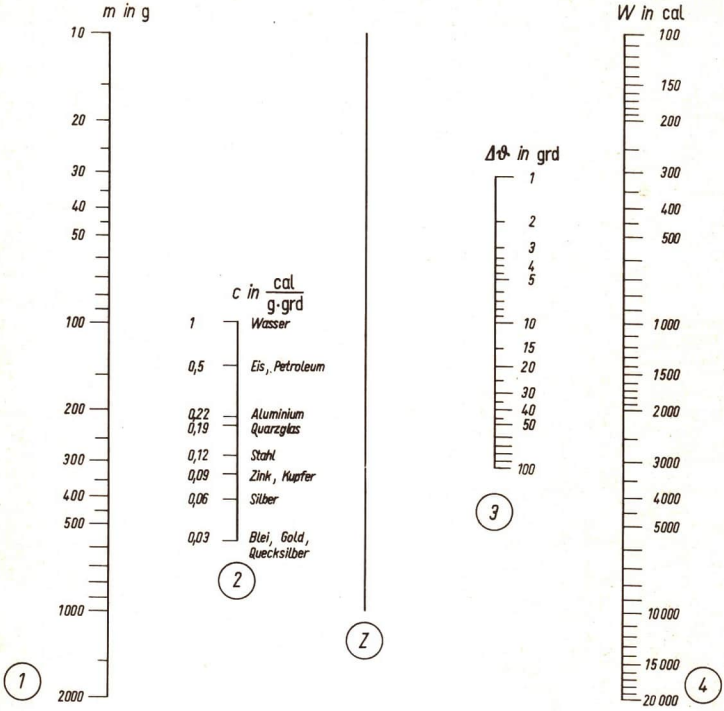
①	Stelle fest, welche physikalischen Größen in der Aufgabe **gegeben** sind!	$m = 500\ g$ $\Delta\vartheta = 10\ grd$ $c = 0{,}22\ \frac{cal}{g \cdot grd}$
②	Stelle fest, welche physikalische Größe **gesucht** ist!	W
③	Suche aus den gegebenen physikalischen Größen die beiden heraus, deren Leitern im Nomogramm **benachbart** sind!	Leiter ① $m = 500\ g$ Leiter ② $c = 0{,}22\ \frac{cal}{g \cdot grd}$
④	Lege das Lineal an die Zahlenwerte auf den Leitern der beiden gegebenen physikalischen Größen an!	
⑤	Markiere auf der Leiter Z den Schnittpunkt des Lineals mit der Leiter Z!	
⑥	Lege das Lineal an den gefundenen Punkt auf Z und an den Zahlenwert auf der Leiter mit der dritten gegebenen physikalischen Größe an!	Leiter (Z) Leiter ③ $\Delta\vartheta = 10\ grd$
⑦	Lies auf der Leiter der gesuchten physikalischen Größe den Zahlenwert ab, an dem das Lineal diese Leiter schneidet!	Leiter ④ 1100
⑧	Ergänze die Einheit!	$W = 1100\ cal$

Bei Nomogrammen, die nur aus drei Leitern bestehen, entfallen die Arbeitsschritte ③, ⑤ und ⑥. Zur weiteren Erleichterung der Arbeit wird empfohlen, ein durchsichtiges Plastlineal (möglichst mit abgeschrägter Kante) oder notfalls auch ein durchsichtiges Zeichendreieck zu benutzen. Die Punkte auf der Leiter Z und auf der Leiter der gesuchten physikalischen Größe sind mit der Zirkelspitze zu markieren.

gegebene physikalische Größen			*Reihenfolge des Anlegens des Lineals an die Leitern*	*gesuchte physikalische Größe*	*ablesen auf Leiter*
m	*c*	*Δϑ*	①→②→Z→③	*W*	④
m	*c*	*W*	①→②→Z→④	*Δϑ*	③
W	*Δϑ*	*m*	④→③→Z→①	*c*	②
W	*Δϑ*	*c*	④→③→Z→②	*m*	①



Wärmemenge $W = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$



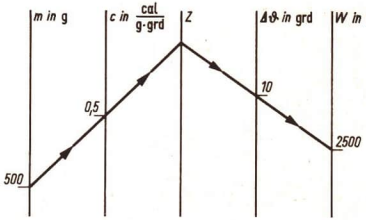
Ablesebeispiel

$m = 500$ g

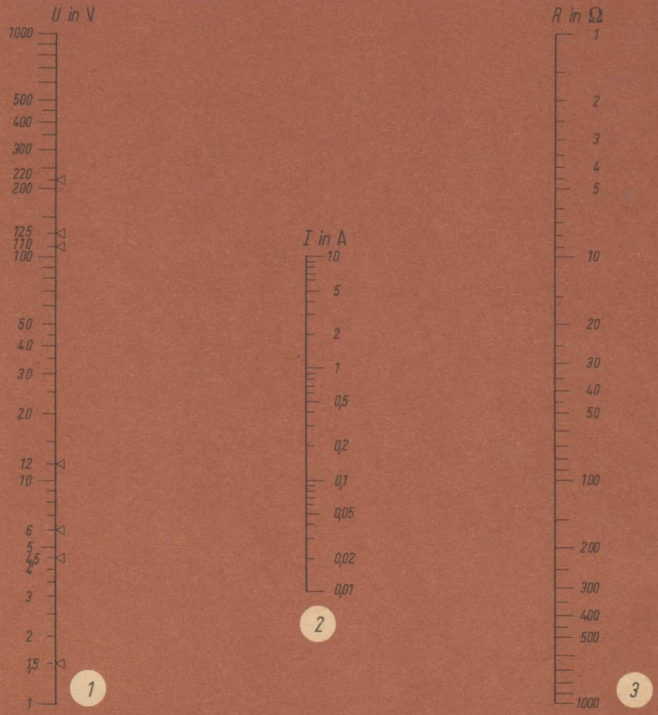
$c = 0{,}5 \ \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grd}}$

$\Delta\vartheta = 10$ grd

$W = 2500$ cal

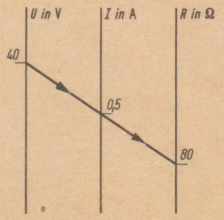


Spannung $U = I \cdot R$	Stromstärke $I = \frac{U}{R}$	Widerstand $R = \frac{U}{I}$



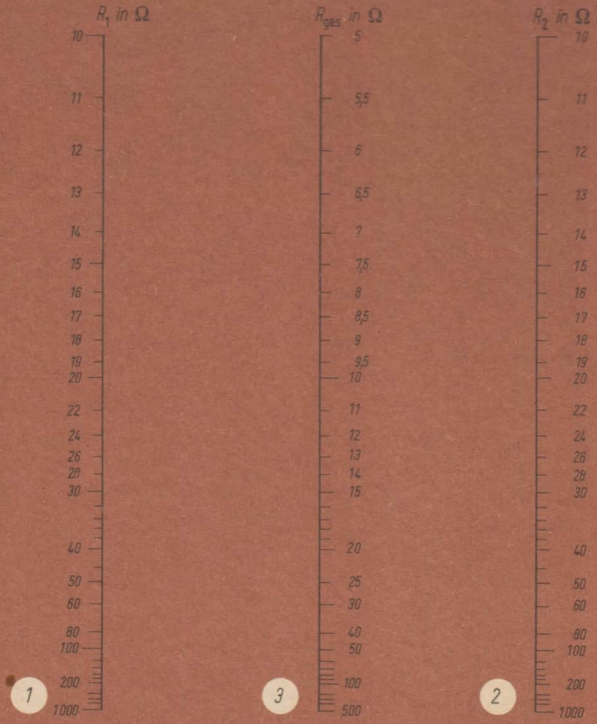
Ablesebeispiel

$U = 40\ V$
$I = 0{,}5\ A$
$R = 80\ \Omega$



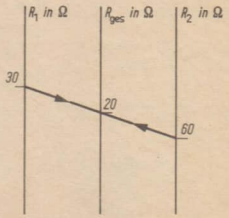
Parallelschaltung von Widerständen

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



Ablesebeispiel

$R_1 = 30\ \Omega$
$R_2 = 60\ \Omega$
$R_{ges} = 20\ \Omega$



02 08 10-4 · 1,80