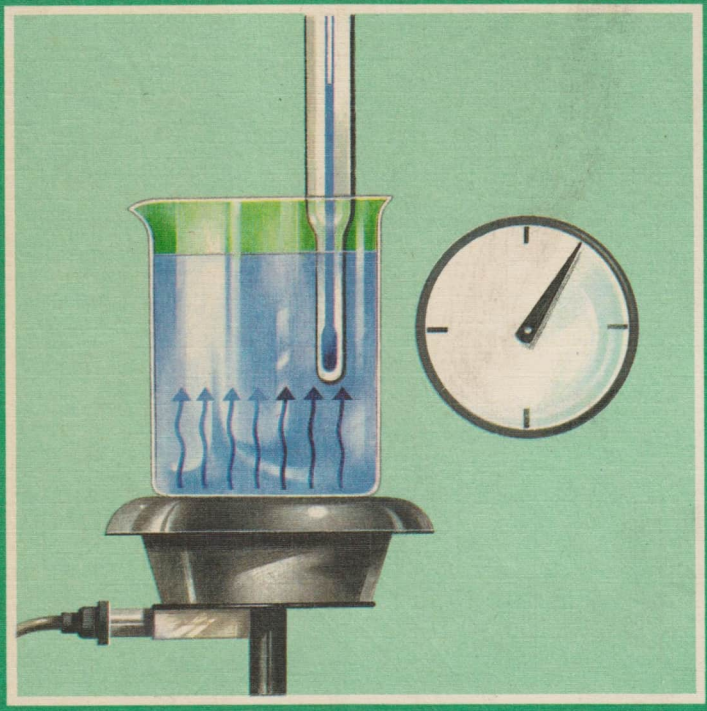
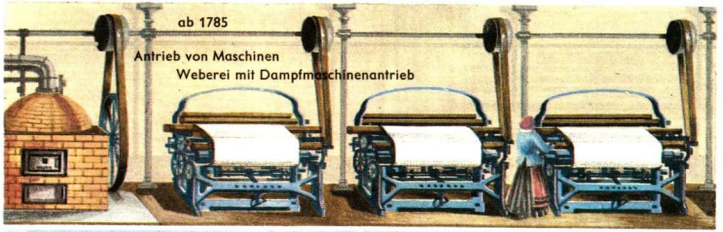


# PHYSIK 8

## Einige Anwendungen der Dampfmaschine



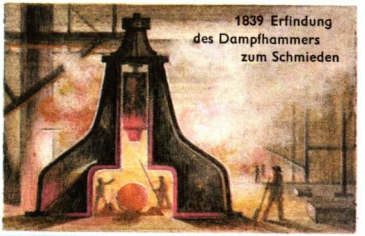


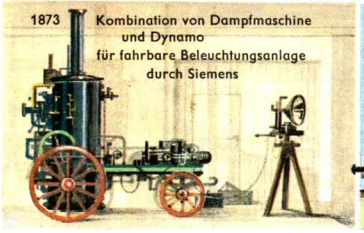








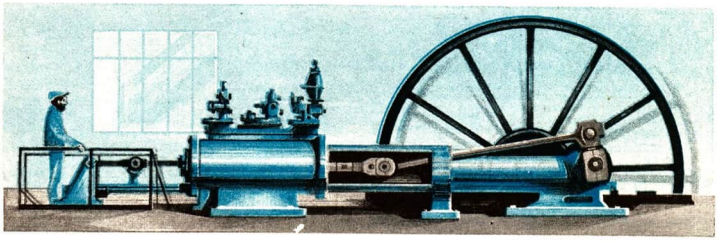





# PHYSIK

Lehrbuch für Klasse 8



Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1985

Autoren:
Dr. sc. Klaus Liebers (Abschnitte 1 bis 7, 10 bis 21)
Prof. Dr. habil. Werner Karsten und
Dr. sc. Hans Erich Riedel (Abschnitte 3, 8, 9, 10)
Leiter des Autorenkollektivs: Dr. sc. Klaus Liebers

Redaktion: Werner Golm, Bettina Rosenkranz

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

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1985
1. Auflage
Ausgabe 1985
Lizenz-Nr. 203/1 000/84 (E 02 08 11-1)
LSV 0681
Einband: Karl-Heinz Wieland/Manfred Behrendt
Typografische Gestaltung: Hansmartin Schmidt
Illustrationen: Karl-Heinz Wieland
Technische Zeichnungen: Heinrich Linkwitz
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Schrift: 10/11 Gill Monotype
Redaktionsschluß: 17. 7. 1984
Bestell-Nr. 731 238 6
Schulpreis DDR: 1,80

# Inhalt

## THERMODYNAMIK


| | | |
|---|---|---|
| 1 | Der Einfluß der Industrie auf die Entwicklung der Thermodynamik | 5 |
| 2 | Temperatur | 8 |
| 3 | Thermisches Verhalten von Körpern | 14 |
| 4 | Physikalische Gesetze | 23 |
| 5 | Energie und Wärme | 26 |
| 6 | Energieübertragung durch Wärme | 34 |
| 7 | Umwandlungswärme bei Aggregatzustandsänderungen | 43 |
| 8 | Verbrennungsmotoren und Dampfturbinen | 49 |
| 9 | Rationelle Nutzung von Energie | 54 |
| 10 | Wiederholung und Übung | 56 |


## ELEKTRIZITÄTSLEHRE


| | | |
|---|---|---|
| 11 | Der Einfluß des elektrischen Stromes auf die Arbeit und das Leben der Menschen | 61 |
| 12 | Elektrischer Stromkreis | 63 |
| 13 | Elektrische Ladung | 67 |
| 14 | Elektrischer Strom | 74 |
| 15 | Elektrische Stromstärke | 77 |
| 16 | Elektrische Spannung | 83 |
| 17 | Elektrischer Widerstand | 91 |
| 18 | Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand | 98 |
| 19 | Technische Widerstände | 105 |
| 20 | Elektrische Leistung und elektrische Energie | 113 |
| 21 | Wiederholung und Übung | 119 |

| | |
|---|---|
| Lösungen | 125 |
| Register | 126 |

Im Lehrbuch verwendete Symbole

▼ Experimente
▼ Schülerexperimente
▶ Merksätze
■ Beispiele
① Fragen und Aufträge
↗ siehe

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

# THERMODYNAMIK

## Der Einfluß der Industrie auf die Entwicklung der Thermodynamik 1

Die ersten Erkenntnisse zur Thermodynamik, wie man die Wärmelehre heute nennt, sind aus Beobachtungen einzelner wissenschaftlich interessierter Menschen hervorgegangen. Sie erkannten: Die Aufnahme oder die Abgabe von Wärme durch Körper führt zu Änderungen der Temperatur, des Volumens, des Drucks und des Aggregatzustandes. Die spätere systematische Entwicklung der Thermodynamik ist aufs engste mit der gesellschaftlichen Entwicklung in verschiedenen Ländern Europas und mit der Entwicklung der Dampfmaschine verbunden.

Die ersten Arbeiten an einer durch Dampf betriebenen Maschine begannen am Ende des 17. Jahrhunderts in Frankreich, Deutschland und England.

Man suchte nach einer Möglichkeit, die Energie des heißen Wasserdampfes zum Verrichten von mechanischer Arbeit zu nutzen. In Frankreich und in Deutschland betrieben diese Maschinen zunächst die Wasserfontänen in den Parks der Könige und Fürsten.

Hierbei fand der in Deutschland lebende Franzose Papin (Bild 5/1) im Jahre 1690 das Prinzip einer Dampfmaschine. In den deutschen Feudalstaaten bestand jedoch kein gesellschaftliches Interesse an der Gründung einer Fabrik zum Bau von Dampfmaschinen und an der Ausbildung von Mechanikern zur Bedienung solcher Maschinen.



Bild 5/1 Denis Papin (1647 bis 1712)

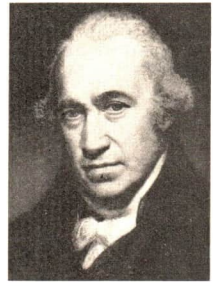


Bild 5/2 James Watt (1736 bis 1819)

Anders war die Situation in England. Hier war zur gleichen Zeit die gesellschaftliche Entwicklung bereits weiter vorangeschritten. Aus dem Produktionsprozeß ergab sich ein großes Interesse am Bau von Dampfmaschinen, denn die Entwässerung der Bergwerke war mit zunehmender Tiefe der Schächte ein immer schwierigeres und zugleich auch dringenderes Problem geworden. Die Wasserpumpen wurden bis dahin mit Wasserrädern angetrieben. Dort, wo kein Wasser zur Verfügung stand, wurden zum Betrieb der Pumpen Pferde benutzt.

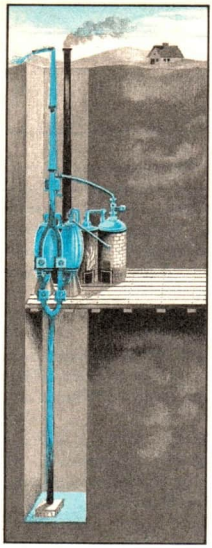


Bild 6/1
Die Pumpe von Savery mit Dampfbetrieb

Diese jahrhundertealte Technik reichte aber für die Entwässerung der Bergwerke nicht mehr aus. Deshalb entwickelte Savery in England – zu gleicher Zeit wie Papin – eine Dampfpumpe zur Förderung des Grundwassers (Bild 6/1). Der englische Werkzeugmacher Newcomen war Wärter einer solchen Dampfpumpe. Ihm waren auch die Experimente von Papin bekannt. Newcomen kam auf die Idee, aus der Dampfpumpe und aus der Dampfmaschine eine völlig neue „Feuermaschine" zu entwickeln, die die Vorzüge der zwei Maschinen in sich vereinigte und zugleich deren Mängel überwand. Im Jahre 1711 konnte die erste Newcomensche Dampfmaschine mit Erfolg im Bergwerk eingesetzt werden. Obwohl ihr Wirkungsgrad nur etwa 1 % betrug, ersetzte sie bereits 50 Pferde.

Der Engländer Watt (Bild 5/2) trug entscheidend zur Weiterentwicklung der Dampfmaschine bei. Aus physikalischen Experimenten und Gesetzen erkannte er nicht nur die Mängel der bisherigen Dampfmaschine, sondern auch die Möglichkeiten zu deren Überwindung. Hierauf aufbauend schuf er 1769 eine Dampfmaschine, die bereits einen Wirkungsgrad von etwa 4 % hatte. Sie konnte die Arbeit von 108 Pferden ersetzen. Aufgrund der in England nach 1760 beginnenden industriellen Revolution bestand nicht nur im Bergbau, sondern in immer mehr Industriezweigen das Bedürfnis nach einer leistungsfähigen Antriebsmaschine für die immer größer und komplizierter werdenden Arbeitsmaschinen. Hierfür war die Dampfmaschine geeignet. Jetzt war ein Bedürfnis der menschlichen Gesellschaft nach einer weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades der Dampfmaschine und nach einer Erweiterung ihrer Einsatzfähigkeit entstanden.

Im Jahre 1784 baute Watt eine verbesserte Dampfmaschine (Bild 7/1). Nach deren Prinzip wurden bis in unser Jahrhundert hinein alle weiteren Dampfmaschinen gebaut. Diese Dampfmaschine ermöglichte eine Drehbewegung als Antrieb. Dadurch wurde sie vielseitig einsetzbar und veränderte im Verlaufe des 18. und 19. Jahrhunderts viele Bereiche der Produktion und des Verkehrs. Beispiele für die Anwendung der Dampfmaschine sind auf der vorderen inneren Umschlagseite abgebildet. Als Würdigung der wissenschaftlichen und technischen Leistungen von Watt wird die Einheit der physikalischen Größe Leistung nach ihm benannt. ① ②

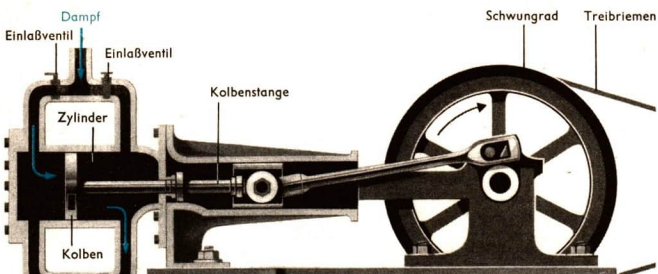



**Bild 7/1 Schnitt durch eine Dampfmaschine von Watt. Der Dampf strömt abwechselnd durch das linke bzw. durch das rechte Einlaßventil in den Zylinder.**

Die industrielle Revolution führte zu einer Blüte der Physik. Aufgrund der gesellschaftlichen und ökonomischen Entwicklung begannen zum Beispiel in der Thermodynamik systematische Forschungen zu folgender Frage: Wie kann der Wirkungsgrad einer Dampfmaschine verbessert werden? Das gesellschaftliche Interesse an der Erforschung dieser und weiterer Fragen führte nicht nur zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades der Dampfmaschinen auf etwa 10 %. Es führte auch zu einer stürmischen Entwicklung der Thermodynamik. Ein Beispiel hierfür ist die Entdeckung des Gesetzes über die Erhaltung der Energie in der Mitte des 19. Jahrhunderts.

Heute ist der Zusammenhang zwischen der Entwicklung unserer Volkswirtschaft und der Nutzung und Entwicklung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts noch enger. Unsere Braunkohlenvorräte sind nicht unbegrenzt und ihre Förderung wird immer teurer. Deshalb haben in der Thermodynamik Forschungen zu neuen energiesparenden Technologien eine besondere Dringlichkeit gewonnen. Das gilt insbesondere für den Bau und für den Betrieb von Hochöfen, Schmelzöfen, Gießanlagen, Dampfturbinen und Fernheizungen.

---

① Warum überwiegen bei den Arbeiten zur Entwicklung von Dampfmaschinen die Namen von englischen Ingenieuren und Wissenschaftlern?

② Im Jahre 1765 baute der russische Ingenieur Polsunow eine Dampfmaschine. Nach seinem Tode wurde diese Maschine nicht weiter entwickelt, bald blieb sie stehen, und schließlich vergaß man sie im zaristischen Rußland. Warum wohl?

Bei 0 °C gefriert Wasser. In Kühlschiffen werden Lebensmittel bei Temperaturen bis zu –35 °C transportiert. In der Antarktis (das Bild zeigt die sowjetische Station „Mirny") kann die Lufttemperatur bis –88 °C sinken. Auf der Schattenseite des Mondes herrschen Bodentemperaturen von –160 °C. Luft wird bei –193 °C flüssig. Wie tief können Temperaturen sinken?



## Physikalische Bedeutung der Temperatur

Wir wissen bereits: Die Temperatur ist ein Kennzeichen für den Zustand eines Körpers.

**Die Temperatur gibt an, wie heiß beziehungsweise wie kalt ein Körper ist.**

Mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen können wir die Temperatur eines Körpers so deuten: Die Temperatur eines Körpers ist um so höher, je heftiger die Bewegung der Teilchen ist, aus denen der Körper besteht. Und umgekehrt gilt: Je niedriger die Temperatur eines Körpers ist, desto schwächer ist die Bewegung seiner Teilchen.
Im Bild 8/2 ist die ungeordnete Bewegung der Teilchen (Moleküle) eines Gases dargestellt.

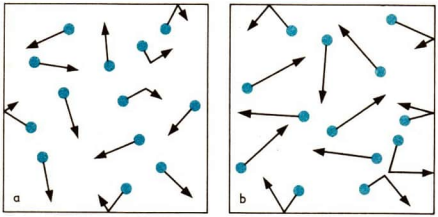



Bild 8/2 Ungeordnete Bewegung der Gasmoleküle

Bei einer bestimmten Temperatur des Gases haben die Teilchen eine bestimmte durchschnittliche Geschwindigkeit (Bild 8/2 a). Dabei sind einige Teilchen etwas schneller, andere etwas langsamer. Bei einer Temperatur von 0 °C beträgt die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen in der Luft etwa 485 m/s. Bei einer höheren Temperatur ist die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen größer (Bild 8/2 b).

*Einige in Natur und Technik vorkommende Temperaturen*

| Industrie/Landwirtschaft | | Haushalt | |
|---|---|---|---|
| Dampferzeugung | | Gefrierschrank | |
| Rauchgas | bis 960 °C | Lagerfach | –18 °C |
| Dampf | bis 540 °C | Gefrierfach | –24 °C |
| Schweißbrenner | | Kühlschrank | |
| Flamme | etwa 2 000 °C | Kältefach | +2 °C bis +6 °C |
| Kühlhäuser und Kühlschiffe | | Sternfach | –6 °C bzw. –12 °C |
| je nach Lagergut | bis –35 °C | Gasherd | |
| Trocknung von Futter | | Gasflamme | bis 1 000 °C |
| (mittlere Temperaturen) | | Bratfett | bis 300 °C |
| Mais | 250 °C | Backröhre | bis 225 °C |
| Klee | 300 °C | | |
| **Erde/Weltall** | | **Mensch** | |
| Erde | | Körpertemperatur | 36 °C bis 37 °C |
| Antarktis | bis –88 °C | Unterkühlung | unter 36 °C |
| Sahara | bis +63 °C | erhöhte Temperatur | 37 °C bis 38,5 °C |
| Erdinneres | über 6 000 °C | Fieber | über 38,5 °C |
| Mond | | Hautverbrennungen | ab 60 °C |
| Tagseite | bis +130 °C | | |
| Nachtseite | bis –160 °C | | |
| Sonne | | | |
| Oberfläche | etwa 6 000 °C | | |
| Inneres | etwa 15 000 000 °C | | |

## Der absolute Nullpunkt der Temperatur

Bei unseren Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen könnten wir uns eine so niedrige Temperatur denken, bei der die Bewegung der Teilchen aufhört. Das wäre die tiefstmögliche Temperatur. Physiker haben diese Temperatur errechnet, sie beträgt –273,15 °C. Diese untere Grenze der Temperatur wird der *absolute Nullpunkt der Temperatur* genannt. In Forschungslabors kann man sich dieser Temperatur mit großem Aufwand nähern. Ganz genau kann man den absoluten Nullpunkt jedoch nicht erreichen, da die Bewegung der Teilchen in der Wirklichkeit nicht völlig aufhört.

## Zwei Temperaturskalen

Für den praktischen Gebrauch von Thermometern hat es in der Vergangenheit verschiedene Vorschläge zur Festlegung der Festpunkte auf den Temperaturskalen gegeben. Heute benutzt man im täglichen Leben die nach dem schwedischen Forscher Celsius (Bild 10/1) benannte Celsiusskale.



Bild 10/1 Anders Celsius (1701 bis 1744)

Die *Celsiustemperatur* $\vartheta$ (sprich: theta) wird in der Einheit **ein Grad Celsius (1 °C)** angegeben. Der Nullpunkt dieser Skale ist die Schmelztemperatur von Eis (0 °C). Als zweiter Festpunkt dient die Siedetemperatur von Wasser (100 °C). Der Abstand zwischen diesen zwei Punkten wird in einhundert Teile unterteilt. Ein Teil wird ein Grad genannt.

In der Wissenschaft benutzt man häufig eine andere Temperaturskale. Diese ist nach dem englischen Physiker Lord Kelvin (Bild 10/2) als Kelvinskale benannt. Der Nullpunkt dieser Skale ist der absolute Nullpunkt der Temperatur (Bild 10/3). Die Angabe der Temperatur nach dieser Skale heißt daher *absolute Temperatur T*. Die Einheit der absoluten Temperatur ist **ein Kelvin (1 K)**. Ein Skalenteil auf der Kelvinskale entspricht einem Skalenteil auf der Celsiusskale.

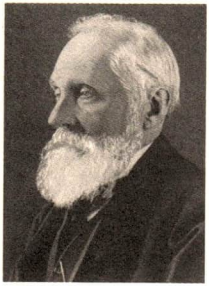


Bild 10/2 Lord Kelvin (1824 bis 1907)

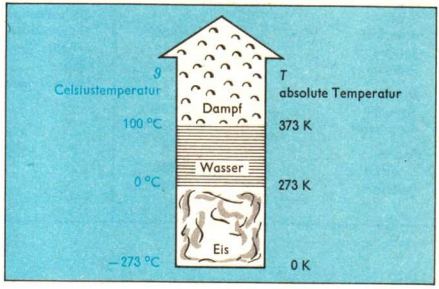



Bild 10/3 Vergleich von Temperaturangaben in Grad Celsius und in Kelvin

*Temperaturänderungen* oder *Temperaturdifferenzen* werden bevorzugt in der Einheit Kelvin angegeben. Das Formelzeichen ist $\Delta T$ (sprich: delta T).

■ $\vartheta_{Anfang} = 20\ °C$ $\quad \vartheta_{Ende} = 60\ °C$ $\quad \Delta T = 40\ K$

## Temperaturausgleich

Aus zahlreichen Erfahrungen können wir das folgende Gesetz erkennen (Bild 11/1a bis c):

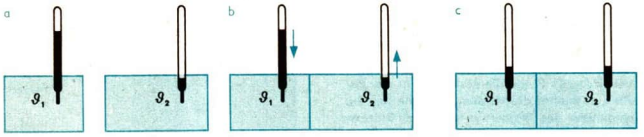



Bild 11/1 a) Temperaturunterschied: $\vartheta_{\text{Körper 1}} > \vartheta_{\text{Körper 2}}$

b) Änderung der Temperaturen

c) Temperaturausgleich: $\vartheta_{\text{Körper 1}} = \vartheta_{\text{Körper 2}}$

**Bringt man zwei Körper unterschiedlicher Temperatur miteinander in Berührung, dann erfolgt ein Temperaturausgleich. Dabei ändern im allgemeinen beide Körper ihre Temperatur. Nach einiger Zeit haben sie die gleiche Temperatur.**

In dem folgenden Schülerexperiment untersuchen wir die Frage: Ändert sich die Temperatur beim Temperaturausgleich in gleichen Zeiten in gleicher Weise?

1

**Aufgabe**

Ermittle für den Temperaturausgleich zwischen zwei Wassermengen das Temperatur-Zeit-Diagramm!

**Vorbereitung**

1. Bereite ein Protokoll nach dem Muster auf Seite 12 vor!
2. Bereite die Tabelle und das im Bild 11/2 dargestellte Koordinatensystem auf Millimeterpapier vor!
3. Wiederhole, welche Meßvorschriften bei der Temperaturmessung beachtet werden müssen!

| Zeit $t$ in min | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | usw. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatur $\vartheta_h$ in °C | | | | | | |
| Temperatur $\vartheta_k$ in °C | | | | | | |

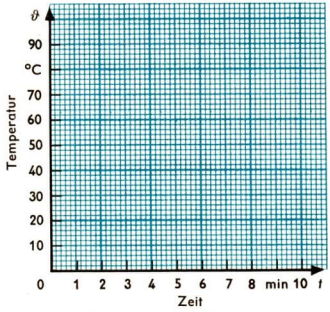



Bild 11/2 Temperatur-Zeit-Diagramm

**Durchführung**

1. Miß am Anfang die Temperatur $\vartheta_h$ des heißen Wassers und die Temperatur $\vartheta_k$ des kalten Wassers! Notiere diese Werte in der Tabelle für die Zeit $t = 0$ min!
2. Stelle die zwei Gläser wie im Bild 12/1 ineinander! Rühre sowohl das kalte als auch das heiße Wasser ständig um und miß nach jeder Minute die Temperatur des Wassers in den zwei Gläsern! Trage die Meßwerte in die Tabelle ein! Beende die Messungen, wenn sich die Temperatur des Wassers in den zwei Gläsern nicht mehr ändert!

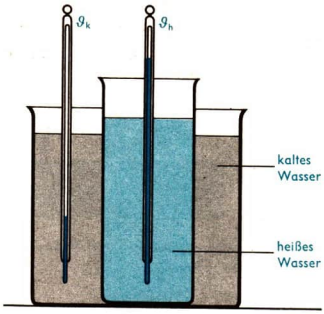



Bild 12/1 Experimentieranordnung

**Auswertung**

1. Stelle den Temperaturverlauf des ursprünglich heißen Wassers in dem Koordinatensystem grafisch dar! Stelle auch den Temperaturverlauf des ursprünglich kalten Wassers in demselben Koordinatensystem mit anderer Farbe dar!
2. Beantworte anhand deiner Ergebnisse die Frage, die wir untersuchen wollten!

## Muster für die Anfertigung eines Protokolls zu Schülerexperimenten

**Protokoll**

Klasse:... Datum:...

Name, Vorname:... (evtl. Partner:...)

**Aufgabe:** ...

**Vorbereitung**

- Antworten zu Fragen und Aufgaben für die Vorbereitung (wenn schriftliche Beantwortung gefordert)
- Vorbereiten von Tabellen und Koordinatensystemen (wenn gefordert)
- Darstellen der Experimentieranordnung (wenn gefordert)

**Durchführung und Auswertung**

- Erfassen der Meßwerte und Beobachtungen (möglichst in einer Tabelle)
- Berechnungen und Diagramme
- Antworten zu den Fragen und Aufgaben der Auswertung

## Volkswirtschaftliche Bedeutung der Genauigkeit von Temperaturmessungen

Beim Messen von Temperaturen muß man sich wie bei jeder Messung bemühen, die persönlichen Fehler und die Fehler durch die Experimentieranordnung möglichst klein zu halten. ①

**Aus Ungenauigkeiten in der Messung und aus der Nichteinhaltung von Temperaturen können große volkswirtschaftliche und persönliche Verluste entstehen.** ②③④

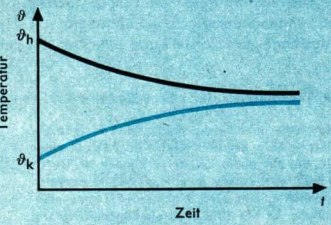
■ Bei Nichteinhaltung von Lagertemperaturen verderben Lebensmittel. Ein Über- oder Unterschreiten der Betriebstemperatur von Geräten oder der Verarbeitungstemperatur von Werkstoffen führt zu Störungen in chemischen oder in anderen technischen Anlagen. Ein Überheizen von Räumen bedeutet nicht nur eine Verschwendung von Energie, sondern auch eine Gefährdung der Gesundheit.

## Zusammenfassung

**Die Temperatur gibt an, wie heiß bzw. wie kalt ein Körper ist.**

| Temperaturangaben | Formelzeichen | Einheit | Nullpunkt |
|---|---|---|---|
| Celsiustemperatur | $\vartheta$ | 1 °C | Schmelztemperatur von Eis |
| absolute Temperatur | $T$ | 1 K | absoluter Nullpunkt |
| Temperaturänderung | $\Delta T$ | 1 K | — |

**Bringt man zwei Körper unterschiedlicher Temperatur miteinander in Berührung, dann erfolgt ein Temperaturausgleich. Die Temperaturen ändern sich im Verlaufe des Temperaturausgleiches immer langsamer.**




① Warum treten bei den meisten Temperaturmessungen Fehler durch die Experimentieranordnung auf?

② Welche Temperaturangaben befinden sich auf den in Kleidungsstücken eingenähten Zeichen, und warum sind diese Angaben einzuhalten?

③ Warum sind die Temperaturen einzuhalten, die in den Rezepturen für die Herstellung von Nahrungsmitteln, Speisen und Futter angegeben sind?

④ Nenne und erläutere verschiedene Fehlerarten, die bei Temperaturmessungen auftreten können!

Brücken, Schienen und Betonplatten dehnen sich im Sommer aus. Im Winter ziehen sie sich wieder zusammen. Deshalb lagert man ein Ende einer Brücke stets auf Rollen. Außerdem befindet sich zwischen der Brücke und der Auffahrt eine Ausdehnungsfuge. Wie groß muß eine solche Ausdehnungsfuge bei einer 100 m langen Brücke sein?



## Längenänderung fester Körper

Aus vielen Experimenten ist bekannt, daß mit der Änderung der Temperatur eines Körpers auch eine Änderung seines Volumens verbunden ist.

**Bei festen Körpern und Flüssigkeiten ändert sich das Volumen, wenn die Temperatur verändert wird.** ①

Bei vielen festen Körpern, wie Rohren, Schienen, Brücken oder Drähten, interessiert in der Technik vor allem die *Längenänderung*. Aufgrund von Erfahrungen vermuten wir: Die Längenänderung $\Delta l$ ist abhängig von der Temperaturänderung $\Delta T$, von der Ausgangslänge $l$ des Körpers und vom Stoff, aus dem der Körper besteht.

### Die Abhängigkeit der Längenänderung $\Delta l$ von der Temperaturänderung $\Delta T$

2 ▼ In der Experimentieranordnung (Bild 14/2) ist ein Stahlrohr links befestigt. Rechts liegt es auf einer Rolle, die mit einem Zeiger verbunden ist. Durch das Rohr wird Wasser geleitet, dessen Temperatur allmählich erhöht wird. Nach jeder Temperaturerhöhung $\Delta T$ um 10 K wird die Längenänderung $\Delta l$ gemessen.

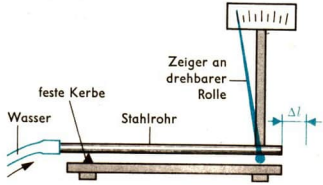



Bild 14/2 Experimentieranordnung zur Längenausdehnung fester Körper

Stellt man die Ergebnisse solcher Messungen grafisch dar, so erhält man für ein 1 m langes Stahlrohr das Diagramm im Bild 15/1.

Daraus folgt: **Die Längenänderung $\Delta l$ ist der Temperaturerhöhung $\Delta T$ direkt proportional** ($\Delta l \sim \Delta T$).

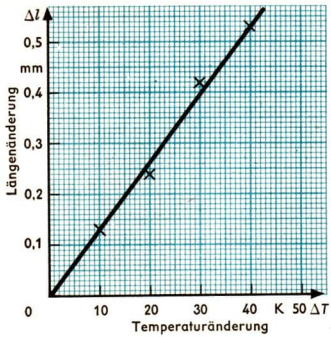



Bild 15/1 Grafische Darstellung der Meßergebnisse für ein 1 m langes Stahlrohr

Das heißt: Bei einer doppelt so großen Temperaturerhöhung $\Delta T$ ist auch die Längenänderung $\Delta l$ doppelt so groß. Bei einer dreimal so großen Temperaturerhöhung $\Delta T$ ist auch die Längenänderung $\Delta l$ dreimal so groß. ②

**Die Abhängigkeit der Längenänderung $\Delta l$ von der Ausgangslänge $l$**

3 ▼ In der Experimentieranordnung (Bild 14/2) werden nacheinander verschieden lange Stahlrohre benutzt (0,5 m; 1 m; 2 m). Bei jeweils gleichen Temperaturerhöhungen werden die Längenänderungen gemessen.

Als Ergebnis der Messungen erkennen wir: **Die Längenänderung $\Delta l$ ist der Ausgangslänge $l$ direkt proportional ($\Delta l \sim l$).**

**Die Abhängigkeit der Längenänderung $\Delta l$ vom Stoff**

Um den Einfluß der verschiedenen Stoffe auf die Längenänderung zu bestimmen, hat man Rohre aus verschiedenen Werkstoffen, aber mit gleicher Länge hergestellt. Für jedes Rohr hat man ermittelt, um welchen Teil der Länge sich das Rohr ausdehnt, wenn seine Temperatur um 1 K geändert wird. Diesen für jeden Stoff charakteristischen Wert nennt man den *linearen Ausdehnungskoeffizienten*. Das *Formelzeichen* für den linearen Ausdehnungskoeffizienten ist der kleine griechische Buchstabe $\alpha$.

▶ **Der lineare Ausdehnungskoeffizient $\alpha$ eines Stoffes gibt an, um welchen Teil sich die Länge eines Körpers ändert, wenn seine Temperatur um 1 K geändert wird.**

Für den linearen Ausdehnungskoeffizienten ergibt sich die *Einheit* $\frac{1}{K}$.

---

① Weshalb steht auf Meßzylindern häufig die Angabe: + 20 °C?

② Bei Untersuchungen zur Abhängigkeit der Längenänderung $\Delta l$ von der Temperaturänderung $\Delta T$ wurden folgende Werte gemessen:

| Temperaturänderung $\Delta T$ in K | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|
| Längenänderung $\Delta l$ in mm | 0,20 | 0,38 | 0,61 | 0,83 |

Stelle die Meßwerte in einem $\Delta l$-$\Delta T$-Diagramm dar!

■ $\alpha_{\text{Stahl}} = 0{,}000\,013\,\frac{1}{\text{K}}$.

Das heißt: Ein 1 m langer Stahlstab dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 1 K um 0,000 013 m aus. Das ist anscheinend wenig, aber bei größeren Temperaturerhöhungen und bei größeren Längen entstehen beträchtliche Längenänderungen.
Die bisher ermittelten Zusammenhänge gelten sinngemäß auch für die Verkürzung der Länge von Körpern bei einer Abkühlung.

**Zusammenfassung der Ergebnisse zu einer Gleichung**

■ Ein 2 000 m langes Stahlrohr einer Fernheizungsleitung wird bei einer Temperatur von etwa 10 °C gebaut. Nach Inbetriebnahme wird die Temperatur des Rohres bis auf 110 °C erhöht. Wie groß ist die Längenänderung?

*Analyse:*

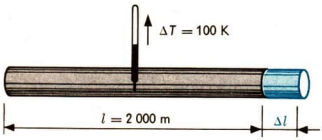


Bild 16/1

*Gesucht:* $\Delta l$

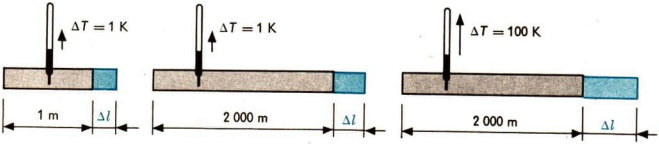
*Gegeben:* $l = 2\,000$ m

$\Delta T = 100$ K

$\alpha = 0{,}000\,013\,\frac{1}{\text{K}}$

*Lösung:*

Aus dem linearen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha$ erhalten wir die Längenänderung eines 1 m langen Stahlrohres, dessen Temperatur um 1 K erhöht wird (Bild 16/2 a). Die Längenänderung für das 2 000 m lange Rohr bei einer Temperaturerhöhung von 1 K können wir nach der Proportionalität $\Delta l \sim l$ berechnen (Bild 16/2 b). Die Temperaturerhöhung des Rohres beträgt jedoch nicht 1 K, sondern 100 K. Die hierdurch auftretende Längenänderung können wir nach der Proportionalität $\Delta l \sim \Delta T$ berechnen (Bild 16/2 c).




a) $\Delta l = 0{,}000\,013$ m

b) $\Delta l = 0{,}000\,013$ m $\cdot$ 2 000

c) $\Delta l = 0{,}000\,013$ m $\cdot$ 2 000 $\cdot$ 100

$\Delta l = 2{,}6$ m

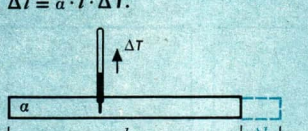
Bild 16/2

*Ergebnis:* Die Längenänderung der Rohrleitung beträgt 2,6 m.

Deshalb müssen in bestimmten Abständen Ausdehnungsschleifen eingebaut werden.
Aus der Lösung der obigen Aufgabe können wir erkennen, wie die bisherigen Ergebnisse zu einer Gleichung für die Berechnung der Längenänderung zusammengefaßt werden können:

▶ **Die Längenänderung $\Delta l$ kann nach folgender Gleichung berechnet werden:**

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T.$$




■ Berechne die Längenänderung einer 100 m langen Stahlbrücke, deren Temperatur sich im Sommer um 30 K erhöht!

*Analyse:*

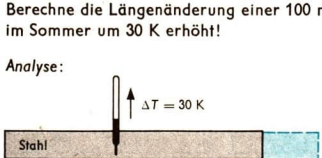



Bild 17/3

*Gesucht:* $\Delta l$

*Gegeben:* $l = 100\ \text{m}$

$\Delta T = 30\ \text{K}$

$\alpha_{\text{Stahl}} = 0{,}000\,013\ \frac{1}{\text{K}}$

*Lösung:*

$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$

$\Delta l = 0{,}000\,013\ \frac{1}{\text{K}} \cdot 100\ \text{m} \cdot 30\ \text{K}$

$\Delta l = 0{,}000\,013 \cdot 100 \cdot 30 \cdot \frac{1}{\text{K}} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$

$\underline{\underline{\Delta l = 0{,}039\ \text{m}}}$

Überschlag:

$\underbrace{0{,}000\,01 \cdot 100}_{0{,}001} \cdot 30$

$0{,}001 \cdot 30$

$0{,}03$

*Ergebnis:* Die Längenänderung der Brücke beträgt etwa 4 cm.

① ② ③ ④ ⑤

---

① Ein Kupferdraht einer Freileitung hat bei einer Temperatur von 25 °C eine Länge von 200 m. Berechne die Längenänderung des Drahtes, wenn die Temperatur auf –15 °C sinkt!

② Eine 10 m lange Betonplatte erwärmt sich um 30 K. Berechne die Verlängerung!

③ Eine Eisenbahnschiene hat bei einer Temperatur von 10 °C eine Länge von 25 m. Welcher Längenunterschied ergibt sich zwischen Sommer (maximal 60 °C) und Winter (minimal –25 °C)?

④ Die Zuleitungsdrähte zu den Glühwendeln in Glühlampen sind in Glas eingeschmolzen. Warum müssen diese Drähte den gleichen linearen Ausdehnungskoeffizienten haben wie Glas?

⑤ Bei Eisenbahnrädern bestehen die Laufkränze, mit denen sie auf den Schienen laufen, aus hochwertigem Stahl. Diese Laufkränze werden in glühendem Zustand auf die Räder gebracht und dann abgekühlt. Erläutere dieses Verfahren und begründe die große Festigkeit dieser Verbindung!

## Druck- und Volumenänderung von Gasen

**Volumenänderung.** Aus verschiedenen Beobachtungen wissen wir bereits: Gase dehnen sich bei Temperaturerhöhung wesentlich stärker aus als Flüssigkeiten und feste Körper.

4 ▼ Wir verschließen einen Rundkolben mit einem Luftballon und erwärmen die Luft im Kolben (Bild 18/1). Durch die Temperaturerhöhung dehnt sich die Luft so stark aus, daß der Luftballon aufgeblasen wird. Bei der Abkühlung fällt der Luftballon wieder zusammen, weil sich die Luft wieder zusammenzieht.

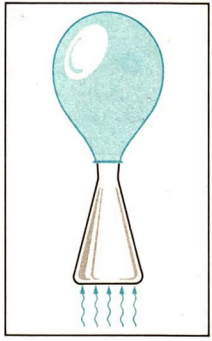


Bild 18/1 Durch die Volumenänderung der Luft im Glaskolben wird der Luftballon aufgeblasen.

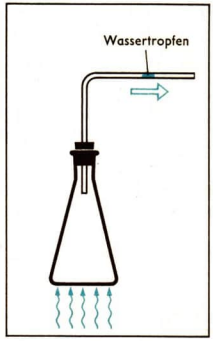



Bild 18/2 Durch die Volumenänderung der Luft im Glaskolben wird der Wassertropfen im Röhrchen nach rechts verschoben.

Mit dem Experiment im Bild 18/2 gelangt man zu demselben Ergebnis: **Bei der Temperaturänderung eines Gases ändert sich das Volumen des Gases.**

**Druckänderung.** Bei den Experimenten (Bilder 18/1 und 18/2) bleibt der Druck des Gases nahezu konstant, denn einige Teile der Begrenzungsflächen der eingeschlossenen Luft (die Gummihaut bzw. der Wassertropfen) sind in diesen Experimenten beweglich. Was geschieht jedoch, wenn die Begrenzungsflächen eines Gases unbeweglich sind?

5 ▼ Ein luftgefüllter Rundkolben wird mit einem gefetteten Gummistopfen nicht zu fest verschlossen. Bei vorsichtiger Temperaturerhöhung wird der Stopfen herausgedrückt (Bild 18/3).

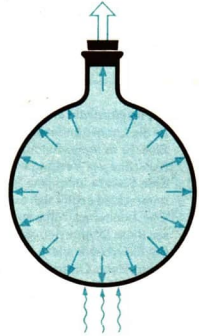


Bild 18/3 Durch die Druckerhöhung wirken große Kräfte.

Aus der Beobachtung schließen wir: **Wenn das Volumen eines Gases bei Temperaturerhöhung konstant bleibt, dann erhöht sich der Druck des Gases.**

Diesen Zusammenhang können wir mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Gase so deuten: Bei höherer Temperatur stoßen die Teilchen häufiger und heftiger gegen die Gefäßwand (↗ Bild 8/2).

Bei Gasen kommen häufig Volumen- und Druckänderungen vor. Da die Begrenzungsflächen der eingeschlossenen Luft nur bis zu einer bestimmten Grenze dehnbar sind, kommt es gleichzeitig zu Volumen- und Druckänderungen.

▶ **Bei der Temperaturänderung von Gasen ändert sich das Volumen oder der Druck, meistens ändern sich beide gleichzeitig.**

■ Beispiele für die Druck- und Volumenänderung von Gasen sind die Ausdehnung der Luft in Fahrrad-, Motorrad- und Autoreifen, in Luftmatratzen und Schlauchbooten.

### Aggregatzustandsänderungen

Wir wissen bereits: Stoffe können in verschiedenen Aggregatzuständen vorkommen: fest, flüssig oder gasförmig. Für die Umwandlungstemperaturen eines Stoffes gelten die im Bild 19/1 dargestellten Zusammenhänge:

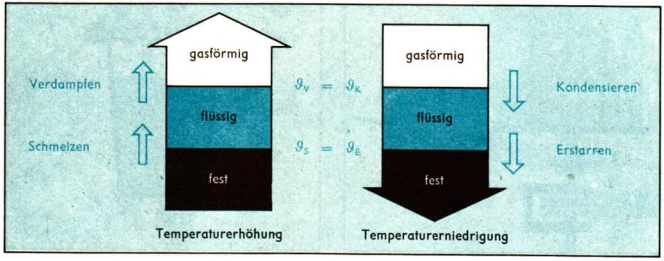



**Bild 19/1** Umwandlungstemperaturen bei Aggregatzustandsänderungen

Die meisten Stoffe kennen wir aus dem täglichen Leben nur in einem Aggregatzustand, weil deren Umwandlungstemperaturen weit von den in der Natur vorkommenden Temperaturen entfernt sind. Wasser ist uns dagegen in allen drei Aggregatzuständen bekannt,

---

① **Warum ist nach einer langen Autobahnfahrt der Reifendruck häufig größer als normal?**
② **Formuliere die im Bild 19/1 dargestellten Zusammenhänge in Worten!**

nämlich als Eis, Wasser oder Wasserdampf. In der Technik werden bei sehr hohen Temperaturen auch Metalle verdampft. Bei sehr niedrigen Temperaturen kann man Gase wie Sauerstoff verflüssigen und sogar in fester Form als Kristalle herstellen. Sauerstoff wird bei einer Temperatur von –183 °C flüssig. Bei einer Temperatur von –219 °C erstarrt Sauerstoff zu Kristallen.

### Die Abhängigkeit der Siedetemperatur und der Schmelztemperatur vom Druck

**Siedetemperatur.** Im Tafelwerk steht bei den Angaben zur Siedetemperatur von Flüssigkeiten der Hinweis: „Bei einem Druck von 101,3 kPa". Aus diesem Hinweis vermuten wir: Die Siedetemperatur ist vom Luftdruck abhängig.
Im folgenden Experiment untersuchen wir die Frage: Wie hängt die Siedetemperatur vom Luftdruck ab?

6

**Wir stellen einen Becher mit heißem, aber noch nicht siedendem Wasser ($\vartheta = 80\,°C$) unter eine Glasglocke (Bild 20/1). Durch das Heraussaugen der Luft wird der Luftdruck unter der Glasglocke vermindert.**
**Wir beobachten: Nach kurzer Zeit beginnt das Wasser im Becher bereits bei einer Temperatur von 80 °C zu sieden.**

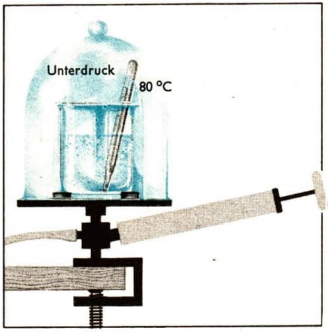



Bild 20/1 Sieden bei vermindertem Druck

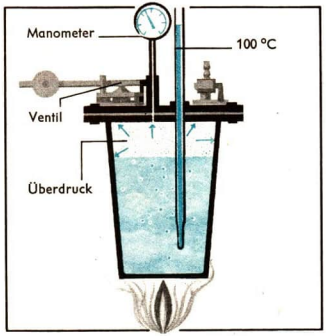



Bild 20/2 Sieden bei erhöhtem Druck

Mit Hilfe des im Bild 20/2 dargestellten *Papinschen Topfes* kann gezeigt werden, daß sich bei einer Erhöhung des Druckes auch die Siedetemperatur erhöht.

Es gilt folgendes physikalische Gesetz:

**Je höher der Druck auf die Oberfläche einer Flüssigkeit ist, desto höher ist die Siedetemperatur dieser Flüssigkeit.**

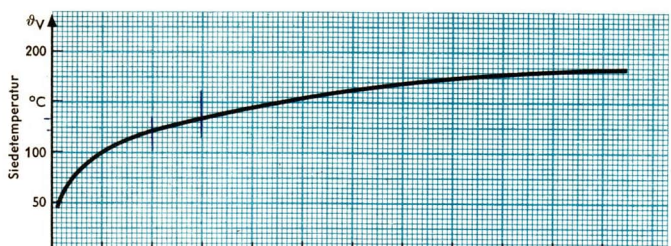



Bild 21/1. Abhängigkeit der Siedetemperatur $\vartheta_V$ des Wassers vom Luftdruck ① ②

Und umgekehrt gilt auch:

Je kleiner der Druck auf die Oberfläche einer Flüssigkeit ist, desto niedriger ist die Siedetemperatur dieser Flüssigkeit.

Dieses physikalische Gesetz wird vielfältig genutzt.

■ Bei Fernheizungen wird das Wasser durch Druckerhöhung bis auf Temperaturen von 110 °C erhitzt. In Schnellkochtöpfen (Bild 21/2) werden die Speisen infolge der Druckerhöhung bei Temperaturen über 100 °C zubereitet. Dadurch verkürzt sich die Garzeit, und es werden nicht so viele Vitamine zerstört. ③



Bild 21/2 Schnellkochtopf. Der Deckel wird durch eine Drehung verschraubt. Im Deckel ist ein Sicherheitsventil.

---

① Bestimme aus dem Diagramm in Bild 21/1 mit Hilfe der folgenden Angaben die Siedetemperatur von Wasser auf einigen Bergen!
   a) Fichtelberg (1 215 m) : $p = 87$ kPa
   b) Montblanc (4 810 m) : $p = 59$ kPa
   c) Mount Everest (8 848 m) : $p = 34$ kPa

② Kann es sein, daß in einer Schule an der Ostsee als Siedetemperatur des Wassers 101 °C gemessen werden? Begründe deine Antwort!

③ Für manche Schnellkochtöpfe gibt es zwei Ventileinsätze. Mit Ventil 1 wird ein Druck von 180 kPa und mit Ventil 2 wird ein Druck von 200 kPa erreicht. Welche Temperaturen herrschen dann jeweils im Schnellkochtopf? Benutze hierzu das Diagramm im Bild 21/1!

**Schmelztemperatur.** Auch die Schmelztemperatur ist vom Druck abhängig. Hierbei verhalten sich die einzelnen Stoffe jedoch unterschiedlich.

▶ **Je höher der Druck ist, desto niedriger ist die Schmelztemperatur von Eis.**

■ Unter dem Druck der Schlittschuhe und unter dem Druck eines Gletschers schmilzt Eis bereits bei Temperaturen, die unter 0 °C liegen. Das entstehende Schmelzwasser ermöglicht das Gleiten der Schlittschuhe und das Wandern des Gletschers.

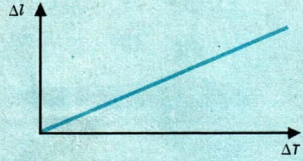
### Zusammenfassung

**Für die Längenänderung von festen Körpern gilt:**

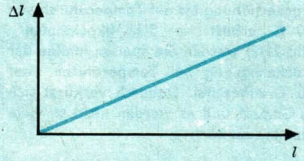
$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$

**(Gültigkeitsbedingung: Die Temperaturänderung ist nicht mit einer Aggregatzustandsänderung verbunden.)**

**In dieser Gleichung sind folgende Abhängigkeiten enthalten:**




$\Delta l \sim \Delta T$
(bei gleichem Stoff und gleicher Ausgangslänge)




$\Delta l \sim l$
(bei gleichem Stoff und gleicher Temperaturänderung)

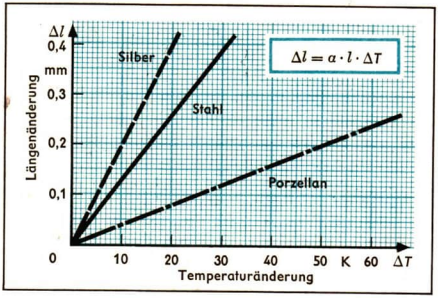
**Die meisten Flüssigkeiten dehnen sich bei Temperaturerhöhung aus und ziehen sich bei Temperaturerniedrigung zusammen.**

**Bei der Temperaturänderung von Gasen ändert sich das Volumen oder der Druck, meistens ändern sich beide zusammen.**

**Die Umwandlungstemperaturen von Aggregatzustandsänderungen sind vom Druck abhängig:**
**Je höher (tiefer) der Druck auf die Oberfläche einer Flüssigkeit ist, desto höher (niedriger) ist die Siedetemperatur.**

**Je höher der Druck ist, desto niedriger ist die Schmelztemperatur von Eis.**

Viele Eigenschaften von Stoffen und Körpern ändern sich mit der Temperatur oder mit dem Druck. Hierfür gelten physikalische Gesetze, die wir häufig in Diagrammen oder in Gleichungen darstellen. Was verstehen wir unter einem physikalischen Gesetz?




## Physikalische Gesetze

Wir haben bereits mehrere physikalische Gesetze kennengelernt, zum Beispiel das Gesetz für den Temperaturausgleich und das Gesetz für die Längenänderung bei Temperaturänderung.

▶ **Ein physikalisches Gesetz ist ein wichtiger physikalischer Zusammenhang, der sich unter gleichen Bedingungen wiederholt. Diese Bedingungen nennt man die Gültigkeitsbedingungen des Gesetzes.**

Von ganz besonderer Bedeutung in der Physik sind Erhaltungsgesetze, wie zum Beispiel das Gesetz von der Erhaltung der Energie und das Gesetz von der Erhaltung der Masse. ①

Zwischen physikalischen Gesetzen und staatlichen Gesetzen bestehen große Unterschiede: Ein physikalisches Gesetz wird entdeckt, ein staatliches Gesetz wird beschlossen. Ein staatliches Gesetz kann von den Menschen verändert werden. Ein physikalisches Gesetz kann jedoch von den Menschen nicht verändert werden. Der Mensch kann aber die physikalischen Gesetze nach deren Entdeckung zu seinem Nutzen wirken lassen. Die Unkenntnis oder die Nichtbeachtung von physikalischen Gesetzen oder deren Gültigkeitsbedingungen kann zu großen Schäden führen.

■ Auf Baustellen werden verschiedene Baumaterialien benutzt. Wenn die Bauten großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, muß man das physikalische Gesetz der

① Was besagt das Gesetz von der Erhaltung der Energie?

Längen- bzw. Volumenänderung beachten. Man muß Baumaterialien kombinieren, deren lineare Ausdehnungskoeffizienten annähernd gleich sind.

Bei modernen Bauten verwendet man deshalb häufig Stahl und Beton (Bild 24/1), weil ihre linearen Ausdehnungskoeffizienten gleich sind. Bei den berühmten Bauten in der Antike dominierten verschiedene Marmorarten. Die allmähliche Zerstörung der Akropolis in Athen ist zum Beispiel nicht nur auf die zunehmende Luftverschmutzung zurückzuführen. Im vergangenen Jahrhundert wurden bei Restaurierungsarbeiten verfallene Marmorfugen durch Zement geschlossen. Zusätzlich wurden Eisenklammern benutzt. Dabei hat man das physikalische Gesetz der Ausdehnung bei Temperaturänderung ungenügend beachtet. Da die linearen Ausdehnungskoeffizienten von Stahl und Zement größer sind als der lineare Ausdehnungskoeffizient von Marmor, traten bald noch größere Schäden auf als zuvor.

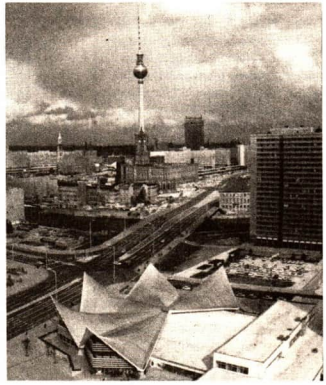


Bild 24/1 Stadtzentrum von Berlin

### Erarbeitung und Formulierung von Gesetzen

Bei der Erarbeitung eines physikalischen Gesetzes müssen wir vor allem folgendes beachten:

▶ **Wollen wir einen physikalischen Zusammenhang zwischen zwei Größen erkennen, so müssen wir während des Experiments alle anderen Größen konstant halten.**

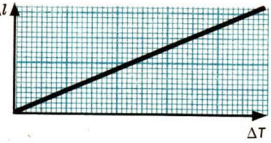
Im Unterricht können wir aus einem einzigen Experiment noch nicht entscheiden, ob der gefundene Zusammenhang wichtig ist und ob er sich unter gleichen Bedingungen immer wiederholt. Wir haben meistens auch nicht die Zeit, die experimentellen Möglichkeiten und das Wissen über andere Sachverhalte, um die Gültigkeitsbedingungen für den gefundenen Zusammenhang zu bestimmen. Deshalb dürfen wir das Ergebnis eines einzigen Experimentes nicht vorschnell als physikalisches Gesetz bezeichnen.
Physikalische Gesetze können in verschiedener Weise formuliert werden: mit Worten, mit einem Diagramm oder mit einer Gleichung.

■ Verschiedene Darstellungen des physikalischen Gesetzes der Längenänderung:

a) Wörtliche Formulierung

Bei festen Körpern führt eine Temperaturänderung zu einer Längenänderung.

b) Darstellung in einem Diagramm




c) Darstellung durch eine Gleichung

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

Bild 25/1

Je genauer man die physikalischen Gesetze kennt, desto besser kann man sie in Natur und Technik zum Nutzen des Menschen wirken lassen. Deshalb wird in der Physik die mathematische Formulierung eines Gesetzes mit einem Diagramm oder mit einer Gleichung bevorzugt.

Der Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen kann eine *direkte Proportionalität* (Bild 25/2) oder eine *indirekte Proportionalität* (Bild 25/3) sein. Vielfach tritt auch eine andere Abhängigkeit auf (Bild 25/4).

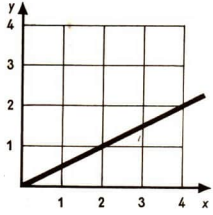



Bild 25/2 Darstellung einer direkten Proportionalität

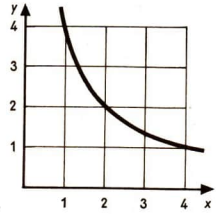



Bild 25/3 Darstellung einer indirekten Proportionalität

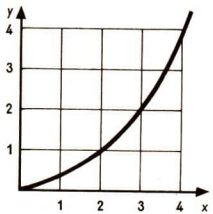



Bild 25/4 Darstellung einer anderen Abhängigkeit

## Anwenden von Gesetzen zum Erklären und zum Voraussagen

Mit Hilfe von physikalischen Gesetzen können viele Erscheinungen und Vorgänge in Natur und Technik erklärt und vorausgesagt werden. Dafür empfiehlt sich folgende Gliederung:

- *Nennen des physikalischen Gesetzes*, das für die Erscheinung oder für den Vorgang gilt,
- *Nennen der konkreten Bedingungen*, die hierbei für das Wirken des Gesetzes von Bedeutung sind,
- *Ableiten einer Schlußfolgerung* aus dem Gesetz und aus den Bedingungen über das Zustandekommen der Erscheinung oder über den Ablauf des Vorganges.

Häufig müssen wir hierbei zwei oder drei Gesetze und nicht nur ein Gesetz benutzen.

---

① Welche Berechnungen können wir mit Hilfe des Diagramms a) im Bild 13/1, b) im Bild 21/1 und c) im Bild 23/1 durchführen? Formuliere jeweils eine selbst erdachte Aufgabe!

② Bei welchem Diagramm (Bilder 13/1, 21/1 und 23/1) besteht zwischen den physikalischen Größen eine direkte Proportionalität, eine indirekte Proportionalität bzw. eine andere Abhängigkeit?

Das Wort „Wärme" kennen wir alle von Kindheit an. Es wird im täglichen Leben oft anders benutzt als in der Physik. So hört man im Sommer: „Heut ist wieder eine Wärme!" – das ist physikalisch falsch! Wenn man aber sagt: „Das Lagerfeuer gibt viel Wärme ab!" – dann ist das physikalisch richtig! Was verstehen wir in der Physik unter *Wärme*?



## Thermische Energie

**Physikalische Bedeutung der thermischen Energie.** Wir wissen bereits:

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

Die thermische Energie $E_{th}$ wird wie alle Energieformen in Joule (J) angegeben. Mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen können wir die thermische Energie so deuten: Die Teilchen sind in ständiger Bewegung, daher haben sie kinetische Energie (↗ Bild 8/2). **Die thermische Energie ist die gesamte kinetische Energie aller Teilchen eines Körpers.**

**Abhängigkeit der thermischen Energie von Temperatur und Masse.** Die Abhängigkeit der thermischen Energie von der Temperatur können wir mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen so deuten: Je höher die Temperatur eines Körpers ist, desto heftiger ist die Bewegung der Teilchen und desto größer ist damit auch die kinetische Energie der Teilchen. Damit ist aber auch die Summe der kinetischen Energie aller Teilchen größer. Das bedeutet: **Je höher die Temperatur eines Körpers ist, desto größer ist dessen thermische Energie.** Warum ist die thermische Energie eines Körpers auch von dessen Masse abhängig? Je größer die Masse eines Körpers ist, desto mehr Teilchen hat er und desto größer ist damit die Summe der kinetischen Energie aller Teilchen. Das heißt: **Je größer die Masse eines Körpers ist, desto größer ist dessen thermische Energie.**

Darüber hinaus ist die thermische Energie eines Körpers auch davon abhängig, aus welchem Stoff der Körper besteht.

**Die Nutzbarkeit der thermischen Energie.** Je höher die Temperatur eines Körpers ist, um so vielseitiger kann dessen thermische Energie genutzt werden. So kann mit der thermischen Energie eines geheizten Kachelofens zwar ein Zimmer geheizt werden, Tee kann jedoch mit dieser Energie nicht zubereitet werden. Mit der thermischen Energie von 300 °C heißem Dampf kann man nicht nur ein Zimmer heizen oder Wasser für Tee bereiten, man kann auch Futter trocknen und einen Backofen betreiben. Die thermische Energie einer Gasflamme kann auf Grund der sehr hohen Temperatur noch vielfältiger genutzt werden.
Die thermische Energie eines Körpers kann nur dann genutzt werden, wenn ein Temperaturgefälle zur kälteren Umgebung des Körpers besteht. Je größer dieses Temperaturgefälle ist, desto größer ist der Teil der thermischen Energie, die genutzt werden kann. So ist zum Beispiel die riesengroße thermische Energie eines Sees mit einer Temperatur von 10 °C nicht ohne weiteres nutzbar. Hierfür benötigt man Wärmepumpen (↗ S. 47). ②

## Wärme

**Physikalische Bedeutung der Wärme.** Jeder Körper hat thermische Energie $E_{th}$. Gibt ein Körper an einen kälteren Körper Wärme ab, dann wird seine thermische Energie kleiner. Die abgegebene Wärme wird von dem anderen Körper aufgenommen. Dadurch erhöht sich dessen thermische Energie (Bild 27/1). Durch Wärme wird thermische Energie von einem Körper auf einen anderen übertragen.




Bild 27/1 Thermische Energie kann durch Wärme von einem Körper auf einen anderen übertragen werden.

▶ **Die Wärme gibt an, wieviel thermische Energie von einem Körper auf einen anderen übertragen wird.**

**Formelzeichen und Einheit der Wärme.** Als Formelzeichen für die Wärme wird international der Buchstabe $Q$ verwendet. Da die Wärme angibt, wieviel thermische Energie von einem Körper auf einen anderen übertragen wird, hat die Wärme dieselbe *Einheit* wie die Energie: **ein Joule (1 J)**.
Meistens benutzt man auch bei der Wärme die Vielfachen dieser Einheit: ein Kilojoule (1 kJ) oder ein Megajoule (1 MJ).

---

① Vergleiche die Temperaturen und die thermischen Energien, die eine Streichholzflamme und ein geheizter Ofen haben!

② Warum kann der Mensch die riesengroße thermische Energie der Ostsee praktisch kaum nutzen?

**Arten der Energieübertragung durch Wärme.** Es gibt drei Arten der Energieübertragung durch Wärme: Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung (Bild 28/1). Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik wirken häufig gleichzeitig mehrere Arten der Energieübertragung zusammen.

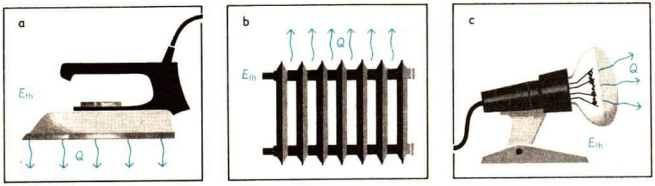



Bild 28/1 a) Wärmeleitung b) Wärmeströmung c) Wärmestrahlung ①

### Die Hauptsätze der Thermodynamik

Bei der Untersuchung der thermischen Energie und der Wärme wurden in der Thermodynamik zwei Gesetze entdeckt, die für alle Vorgänge in Natur und Technik ausnahmslos und unter allen Umständen gelten.

**Erhaltung der Energie.** Das uns bereits bekannte *Gesetz von der Erhaltung der Energie* wurde in der Geschichte der Physik zuerst in der Thermodynamik entdeckt. Deshalb bezeichnet man dieses Gesetz in der Thermodynamik auch als *1. Hauptsatz der Thermodynamik.*

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

**Richtung der Übertragung von thermischer Energie.** Alle Erfahrungen bestätigen immer wieder, daß in Natur und Technik die Übertragung thermischer Energie von selbst nur in einer Richtung erfolgt. Diese Erfahrung wird als *2. Hauptsatz der Thermodynamik* bezeichnet.

▶ **Von selbst wird thermische Energie stets nur von Körpern mit höheren Temperaturen auf Körper mit tieferen Temperaturen übertragen.**

■ **Energiehaushalt der Erde.** Die Sonne ist die natürliche Energiequelle der Erde. Ein Teil der Energie der Sonne wird durch die Sonnenstrahlung auf die Erde übertragen (Bild 29/1). Etwa 30% dieser Strahlung werden sofort von der Lufthülle an das Weltall zurückgegeben. Von den anderen 70% der auf die Erde übertragenen Energie führen etwa 47% zur Aufheizung von Land, Wasser und Luft und etwa 23% der Energie zum

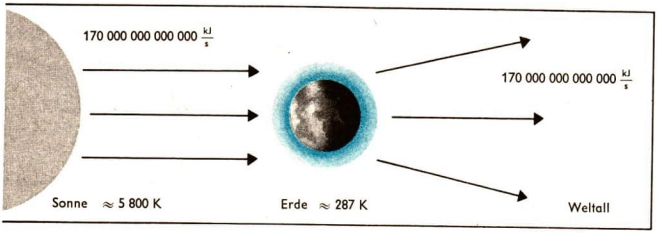



**Bild 29/1** Energiehaushalt der Erde

Verdunsten von Wasser sowie zum Antrieb von Wind, Wolken und Meeresströmungen. Nur ein Bruchteil der auf die Erde übertragenen Energie (0,02%) wird im Aufbau der Pflanzen gespeichert. Diese Energie wird von Tier und Mensch mit der Nahrung aufgenommen, ein kleiner Teil davon diente seit Entstehung der Erde zur Bildung von Brennstoffen in Form von Kohle, Öl und Erdgas.
Alle auf die Erde übertragene Energie wird nach mehreren Energieumwandlungen letztlich in thermische Energie umgewandelt. Warum wird dennoch die Erde nicht auf unerträgliche Temperaturen aufgeheizt? Von der Erde wird ständig Wärme an das Weltall abgegeben. Die an das Weltall abgegebene Wärme ist genauso groß wie die von der Sonne auf die Erde übertragene Energie.

■ **Energiehaushalt eines Wohnhauses.** Auch für die Energieumwandlungen in einem Wohnhaus gelten die zwei Hauptsätze (Bild 29/2).

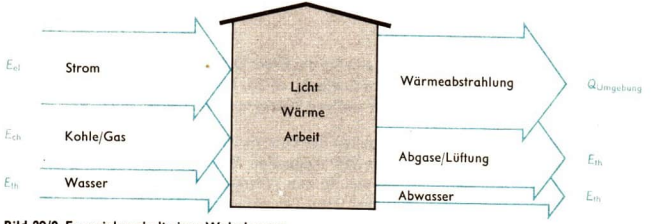



**Bild 29/2** Energiehaushalt eines Wohnhauses

■ **Energiehaushalt in der lebenden Natur.** Der Temperaturunterschied zwischen der Körpertemperatur und der Lufttemperatur führt bei gleichwarmen Tieren zu einer ständigen Wärmeabgabe an die Umgebung (Bild 30/1).
Damit zum Beispiel bei einer Meise die notwendige Körpertemperatur erhalten bleibt, muß sie aus der Umgebung Nahrung aufnehmen.

---

① Gib für die Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung je ein Beispiel aus Natur, Technik oder Produktion an!

Aus dieser Nahrung stammt durch Energieumwandlung die thermische Energie, die zur Abgabe von Wärme erforderlich ist. ①

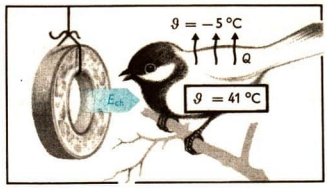



Bild 30/1 Energiehaushalt einer Meise

**Umkehrung der Richtung der Energieübertragung.** Wir haben alle schon mehrfach beobachtet, daß man eine heiße Speise in einer Schüssel mit kaltem Wasser abkühlen kann. Dabei geht thermische Energie von dem heißen Körper (Speise) auf den kühleren Körper (Wasser) über. Das entspricht dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik. Noch nie wurde beobachtet, daß sich dieser Vorgang wieder umkehrt, wobei das Wasser wieder kälter und die Speise wieder heißer wird. Das würde dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik widersprechen.

▶ **Wenn die Richtung der Übertragung von thermischer Energie umgekehrt werden soll, dann muß zusätzlich Energie zugeführt werden.**

■ Beispiele hierfür sind Kühlschränke und Wärmepumpen (↗ S. 46, 47). Im Kühlschrank wird unter Zuführung von elektrischer Energie thermische Energie der kühlen Lebensmittel an die wärmere Zimmerluft übertragen.

### Wärmequellen

Die Sonne ist die natürliche Wärmequelle für die Erde. Durch das Verbrennen von Holz, Kohle und Gas in Öfen und Heizkesseln sowie durch das Nutzen der elektrischen Energie in Wärmegeräten hat sich der Mensch weitere Wärmequellen geschaffen.

**Wirkungsweise.** Für Wärmequellen gelten der Energieerhaltungssatz und der 2. Hauptsatz der Thermodynamik. Damit die Wärmequellen Wärme abgeben können, muß ihnen zunächst Energie zugeführt werden. In den Wärmequellen wird diese Energie in thermische Energie umgewandelt, wobei hohe Temperaturen erreicht werden. Entsprechend dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik gibt die Wärmequelle an die kältere Umgebung Wärme ab. ②

**Energieinhalt von Brennstoffen und Nahrungsmitteln.** In Heizungsanlagen können verschiedene Brennstoffe verwendet werden. Wieviel Brennstoff benötigt wird, hängt davon ab, wieviel Wärme abgegeben werden soll und welchen Heizwert der Brennstoff hat.

**Der Heizwert eines Brennstoffes gibt an, wieviel Wärme abgegeben wird, wenn 1 kg (oder 1 l oder 1 m³) des Brennstoffes verbrannt werden.** Die Heizwerte von Brennstoffen sind im Tafelwerk angegeben.

In gleicher Weise kann der Energieinhalt von Nahrungsmitteln angegeben werden. Häufig wird dazu die Einheit $\frac{\text{kJ}}{100\ \text{g}}$ benutzt.

■ Energieinhalt von Roggenbrot: $\frac{1\,040\ \text{kJ}}{100\ \text{g}}$

Energieinhalt von Weißbrot: $\frac{1\,430\ \text{kJ}}{100\ \text{g}}$

**Thermische Leistung.** Die verschiedenen Wärmequellen geben in einer Sekunde unterschiedlich viel Wärme ab. In der Physik sagt man: Die Wärmequellen haben eine unterschiedliche *thermische Leistung*.

▶ **Die thermische Leistung gibt an, wieviel Wärme in 1 s abgegeben wird.**

In der Mechanik haben wir die mechanische Leistung durch die Gleichung $P_{mech} = \frac{W}{t}$ definiert. In gleicher Weise definieren wir als **thermische Leistung:** $P_{th} = \frac{Q}{t}$.

Die thermische Leistung und die mechanische Leistung haben dieselbe Einheit: **ein Watt (1 W)** oder das Vielfache der Einheit: ein Kilowatt (1 kW).

*Thermische Leistungen einiger Wärmequellen*

| *Sonne* | |
|---|---|
| Energieausstrahlung der Sonne: | 400 000 000 000 000 000 000 000 000 000 W |
| Davon entfallen auf die Erde: | 170 000 000 000 000 000 W |
| *Heizkessel* | *Gasherd* |
| Heizkessel im Kraftwerk: bis 800 000 kW<br>Heizkessel im Einfamilienhaus: etwa 5 kW | Brenner im Backraum: etwa 3,5 kW<br>normaler Brenner: etwa 1,7 kW |
| **Zum Vergleich:** | |
| Haushaltkerze: | etwa 1 W |

① Weshalb unterbrechen Feldhamster ihren Winterschlaf alle vier bis sechs Tage für einen kleinen „Imbiß"?

② Nenne Wärmequellen, die in Wohnungen benutzt werden! Ordne sie nach der Energieform, in der die Energie zugeführt wird!

■ Die Heizplatte für Schülerexperimente hat eine Leistung von 150 W. Wie groß ist die Wärme, die die Heizplatte in 80 s abgibt?

*Analyse:*

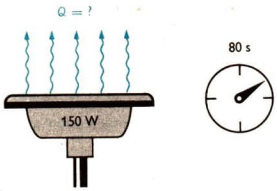



Bild 32/1

*Gesucht:* $Q$ (in kJ)

*Gegeben:* $P_{th} = 150\ \text{W}$

$P_{th} = 0{,}15\ \text{kW}$

$t = 80\ \text{s}$

*Lösungsplan:* Aus der Leistung $P_{th}$ und aus der Betriebsdauer $t$ einer Wärmequelle können wir die von ihr abgegebene Wärme berechnen. Hierzu formen wir die Gleichung $P_{th} = \frac{Q}{t}$ nach $Q$ um: $\boldsymbol{Q = P_{th} \cdot t}$. Da wir die Wärme in der Einheit kJ erhalten wollen, rechnen wir die thermische Leistung zuvor in die Einheit kW um.

*Lösung:*

$$P_{th} = \frac{Q}{t}$$

$$Q = P_{th} \cdot t$$

$$Q = 0{,}15\ \text{kW} \cdot 80\ \text{s}$$

$$Q = 0{,}15 \cdot 80\ \text{kW} \cdot \text{s}$$

$$Q = 0{,}15 \cdot 80\ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot \text{s}$$

$$\underline{\underline{Q = 12\ \text{kJ}}}$$

Einheiten:

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

*Ergebnis:* Die Heizplatte gibt in einer Zeit von 80 s eine Wärme von 12 kJ ab. ① ②

**Lebewesen als Wärmequellen.** Auch Lebewesen kann man physikalisch als „Wärmequellen" betrachten. Die Verdauung von Nahrung und das Verrichten von mechanischer Arbeit durch die Muskeln sind Vorgänge, bei denen Wärme frei wird. Eisbären (Bild 32/2) laufen an kalten Tagen kilometerlange Wege, hierbei entsteht in ihren Muskeln Wärme. ③



Bild 32/2 Damit Eisbären in der arktischen Kälte leben können, müssen sie ständig ausreichend Wärme erzeugen.

## Zusammenfassung

### Die physikalischen Größen der Thermodynamik

| Physikalische Größe | Physikalische Bedeutung | Formelzeichen | Einheit |
|---|---|---|---|
| Temperatur | Die Temperatur gibt an, wie heiß bzw. wie kalt ein Körper ist. | $\vartheta$ bzw. $T$ | 1 °C bzw. 1 K |
| Thermische Energie | Die thermische Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, an seine kältere Umgebung Wärme abzugeben. | $E_{th}$ | 1 J |
| Wärme | Die Wärme gibt an, wieviel thermische Energie von einem Körper auf einen anderen übertragen wird. | $Q$ | 1 J |

**Thermische Energie kann durch Wärmeleitung, Wärmeströmung oder Wärmestrahlung von einem Körper auf einen anderen Körper übertragen werden.**

**Für alle Vorgänge in Natur und Technik gelten ausnahmslos und unter allen Umständen zwei Gesetze:**

**1. Hauptsatz der Thermodynamik:**
**Bei keinem Vorgang kann Energie neu entstehen oder verschwinden.**

**2. Hauptsatz der Thermodynamik:**
**Von selbst wird thermische Energie stets nur von Körpern mit höheren Temperaturen auf Körper mit tieferen Temperaturen übertragen.**

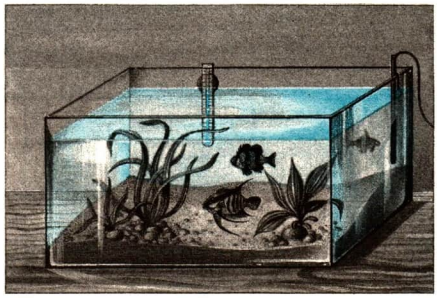
---

① Berechne, wieviel Wärme die Heizplatte für Schülerexperimente in folgenden Zeiten abgibt: a) 10 s, b) 50 s, c) 2 min, d) 145 s!

② Wieviel Wärme gibt ein Reisetauchsieder (300 W) innerhalb von a) 1 s, b) 10 s, c) 1 min, d) 1,5 min ab?

③ Schmetterlinge sind wechselwarme Tiere. Vor dem Aktivwerden müssen sie ihre Körpertemperatur auf die „Betriebstemperatur" erhöhen. Dazu schlagen sie im Sitzen mit den Flügeln. Erkläre das physikalisch!

Ein Aquarium mit einem Fassungsvermögen von 50 l Wasser soll neu gefüllt werden. Das frische Wasser hat eine Temperatur von 13 °C. Bevor die Fische hinein gegeben werden dürfen, muß das Wasser eine Temperatur von etwa 23 °C erreichen, sonst können sie sterben. Wieviel Wärme muß dem Wasser zugeführt werden?



## Berechnung der Wärme

Für viele Vorgänge in der Technik muß man wissen, wieviel Wärme ein Körper aufnehmen oder abgeben muß, damit sich seine Temperatur um einen bestimmten Betrag ändert. Aufgrund von Erfahrungen vermuten wir: Die aufzunehmende oder die abzugebende Wärme $Q$ ist abhängig von der zu erreichenden Temperaturänderung $\Delta T$, von der Masse $m$ und vom Stoff, aus dem der Körper besteht. Bei der Untersuchung dieser Vermutungen beachten wir folgendes: Wollen wir einen Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen erkennen, so müssen wir während des Experiments alle anderen Größen konstant halten. Deshalb müssen wir mehrere Experimente durchführen.

### Die Abhängigkeit der Wärme Q von der Temperaturänderung $\Delta T$

Wir bestimmen für einen Körper, wieviel Wärme für verschiedene Temperaturänderungen erforderlich ist.
Die Masse des Körpers halten wir konstant.

7 **Aufgabe**
Untersuche die Abhängigkeit der Wärme $Q$ von der Temperaturänderung $\Delta T$!

**Durchführung**

1. Bestimme nach der Experimentieranordnung im Bild 35/1 für 200 g Wasser fortlaufend die Zeit, die für eine Temperaturänderung von
   10 K, 20 K, 30 K und 40 K
   erforderlich ist!
2. Berechne aus der Betriebsdauer und aus der thermischen Leistung der Heizplatte die jeweils zugeführte Wärme $Q$! (Dabei nehmen wir an, daß die an die Umgebung abgegebene Wärme sehr klein ist.)

Die Meßwerte und die errechneten Werte tragen wir in eine Tabelle ein.

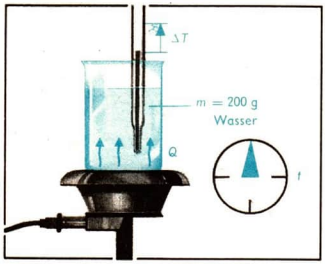



Bild 35/1 Experimentieranordnung

| Temperaturänderung $\Delta T$ in K | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|
| Zeit $t$ in s | | | | |
| Wärme $Q$ in kJ | | | | |

**Auswertung**

1. Stelle die erhaltenen Werte für die Temperaturänderung $\Delta T$ und für die Wärme $Q$ in einem Koordinatensystem (Bild 35/2) grafisch dar!
2. Bestimme aus dem Diagramm, welche Abhängigkeit zwischen der Wärme $Q$ und der Temperaturänderung $\Delta T$ besteht!

Das Ergebnis des Schülerexperiments bestätigt die in der Zusammenfassung auf Seite 42 im Bild 42/1 dargestellte Abhängigkeit. ①

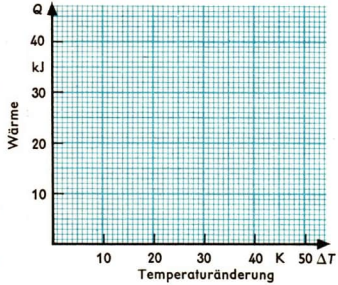



Bild 35/2 Q-ΔT-Diagramm

**Die Abhängigkeit der Wärme Q von der Masse *m***

Wir bestimmen für mehrere Körper aus gleichem Stoff, aber mit unterschiedlicher Masse, wieviel Wärme für dieselbe Temperaturänderung erforderlich ist.

8 ▼ Für die drei im Bild 36/1 dargestellten Wassermengen bestimmen wir jeweils die Wärme $Q$, die für eine Temperaturänderung von 30 K erforderlich ist.

---

① Bestimme aus dem Diagramm im Bild 35/3 folgende Angaben:

a) Wieviel Wärme ist erforderlich, um die Temperatur von 200 g Wasser bzw. von 200 g Öl jeweils um 10 K, 20 K bzw. 30 K zu erhöhen?

b) Welche Temperaturerhöhung wird jeweils erreicht, wenn eine Wärme von 5 kJ bzw. 15 kJ zugeführt wird?

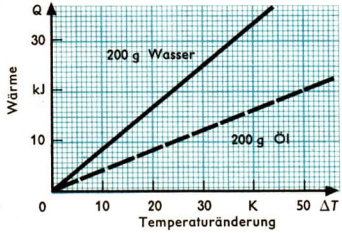



Bild 35/3

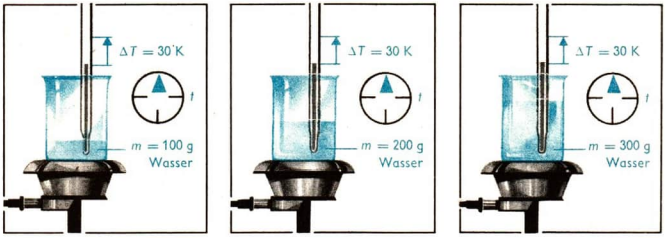



Bild 36/1 Experimentieranordnung

Das Experiment bestätigt die in der Zusammenfassung auf Seite 42 im Bild 42/2 dargestellte Abhängigkeit.

**Die Abhängigkeit der Wärme Q vom Stoff**

Um den Einfluß der verschiedenen Stoffe auf die zur Temperaturänderung erforderliche Wärme zu ermitteln, sind weitere Messungen erforderlich. Man hat bestimmt, wieviel Wärme notwendig ist, um die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1 K zu ändern. Dieser für jeden Stoff charakteristische Wert wird die *spezifische Wärmekapazität c des Stoffes* genannt.

**Die spezifische Wärmekapazität c eines Stoffes gibt an, wieviel Wärme aufgenommen oder abgegeben werden muß, damit sich die Temperatur von 1 kg dieses Stoffes um 1 K ändert.**

Als *Einheit* der spezifischen Wärmekapazität ergibt sich $1\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$ (sprich: ein Kilojoule je Kilogramm und Kelvin).

■ $c_{Wasser} = 4{,}19\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$ $c_{Eis} = 2{,}1\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$ $c_{Stahl} = 0{,}47\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$

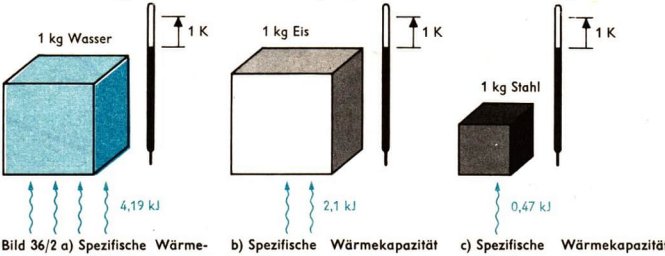



Bild 36/2 a) Spezifische Wärmekapazität von Wasser b) Spezifische Wärmekapazität von Eis c) Spezifische Wärmekapazität von Stahl

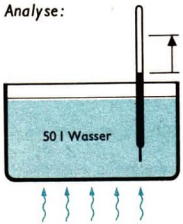
Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes hängt von seiner Temperatur ab. In Tabellen gibt man die spezifische Wärmekapazität bei Zimmertemperatur an. Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes ist auch vom Aggregatzustand des Stoffes abhängig (vgl. $c_{Wasser}$ und $c_{Eis}$ in den Bildern 36/2a und 36/2b). ①

**Zusammenfassung der Ergebnisse zu einer Gleichung**

Wir lösen jetzt die Aufgabe zu dem Aquarium im Bild 34/1.

■ Wieviel Wärme ist erforderlich, um die Temperatur von 50 l Wasser von 13 °C auf 23 °C zu erhöhen?

*Analyse:*




*Gesucht:* $Q$ (in kJ)

*Gegeben:* $m = 50$ kg

$\Delta T = 10$ K

Bild 37/1

*Lösung:* Aus der spezifischen Wärmekapazität von Wasser erhalten wir die Wärme, die zur Änderung der Temperatur von 1 l (1 kg) Wasser um 1 K erforderlich ist (Bild 37/2 a). Mit Hilfe der Proportionalität $Q \sim m$ können wir die Wärme $Q$ berechnen, die zur Änderung der Temperatur von 50 l Wasser um 1 K erforderlich ist (Bild 37/2 b).
Die Temperatur soll jedoch nicht nur um 1 K, sondern um 10 K geändert werden. Die hierfür erforderliche Wärme $Q$ können wir nach der Proportionalität $Q \sim \Delta T$ berechnen (Bild 37/2 c).

*Ergebnis:* Für die Erhöhung der Temperatur des Wassers sind 2 100 kJ erforderlich.

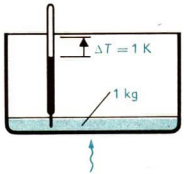
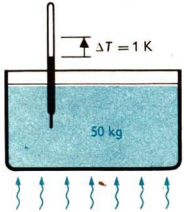
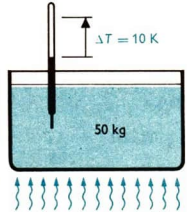



Bild 37/2 a) $Q = 4{,}19$ kJ




b) $Q = 4{,}19$ kJ · 50
$Q = 210$ kJ

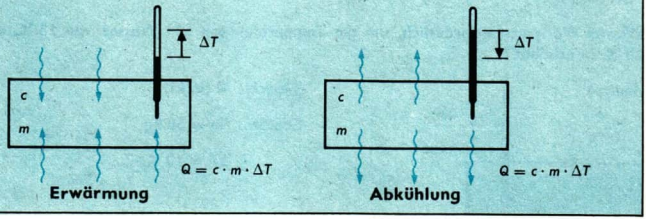



c) $Q = 4{,}19$ kJ · 50 · 10
$Q = 2\,100$ kJ

① In drei gleichen Gefäßen befinden sich Wasser, Öl und Alkohol. Sowohl die Massen als auch die Temperaturen der drei Flüssigkeiten sind gleich. Den drei Gefäßen wird jeweils eine gleich große Wärme zugeführt. In welcher Flüssigkeit ist der Temperaturanstieg am größten und in welcher am kleinsten? Begründe deine Antwort!

Aus der Lösung dieser Aufgabe können wir erkennen, wie die bisherigen Ergebnisse zu einer Gleichung für die Berechnung der Wärme zusammengefaßt werden können:

▶ **Die Wärme, die für eine Temperaturänderung zugeführt oder abgeführt werden muß, wird nach folgender Gleichung berechnet:**
**$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.**




Die Gleichung darf nur angewendet werden, wenn die Temperaturänderung des Körpers nicht mit einer Änderung des Aggregatzustandes verbunden ist.

■ Die Temperatur von 200 g Wasser soll um 40 K erhöht werden. Wieviel Wärme muß zugeführt werden?

*Analyse:*

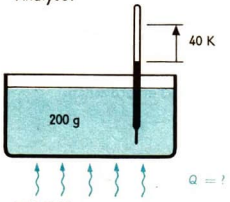



Bild 38/3

*Gesucht:* $Q$ (in kJ)

*Gegeben:* $m = 0{,}2$ kg

$c = 4{,}19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$\Delta T = 40$ K

*Lösung:* $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

$Q = 4{,}19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0{,}2 \text{ kg} \cdot 40 \text{ K}$

$Q = 4{,}19 \cdot 0{,}2 \cdot 40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}$

$Q = 33{,}5 \text{ kJ}$

Überschlag:

$4 \cdot 0{,}2 \cdot 40$

$1 \cdot 40$

$40$

*Ergebnis:* Zur Erwärmung des Wassers sind 34 kJ erforderlich.

*Zusatzaufgabe:* Warum war im Schülerexperiment auf Seite 34 dazu eine größere Wärme erforderlich? ① ②

**Anwendung der Gleichung.** Bei technischen Prozessen interessiert nicht allein, wieviel Wärme zuzuführen oder abzuführen ist. Noch wichtiger ist die Frage, wieviel Brennstoff erforderlich ist oder wie lange ein elektrisches Heizgerät eingeschaltet sein muß, um die notwendige Wärme bereitzustellen. Bei Vorgängen zur Abkühlung interessiert die Frage: Wieviel Kühlwasser ist erforderlich, um die Wärme abzuführen? So sind zum Beispiel für die Herstellung von 1 000 kg Roheisen nicht nur 500 kg Koks zum Schmelzen des Erzes, sondern auch 42 000 l Wasser zum Kühlen der Wände des Hochofens erforderlich.

■ In einer Warmwasserversorgungsanlage müssen täglich 50 t Wasser mit einer Temperatur von 70 °C bereitgestellt werden. Das Frischwasser hat eine Temperatur von 10 °C. Wieviel Braunkohle (in Tonnen) werden dafür täglich benötigt, wenn für die Anlage ein Wirkungsgrad von 100% angenommen wird?

*Analyse:*

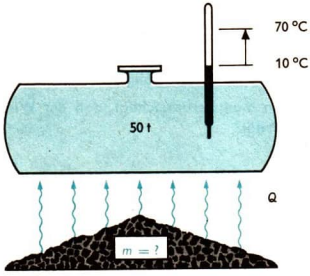



Bild 39/1

*Gesucht:* $m_{\text{Braunkohle}}$ (in t)

*Gegeben:* $m_{\text{Wasser}} = 50\ \text{t}$

$m_{\text{Wasser}} = 50\,000\ \text{kg}$

$\Delta T = 60\ \text{K}$

*Plan zur Lösung:* Aus den gegebenen Größen kann zunächst die erforderliche Wärme Q in MJ berechnet werden. Hierzu ist $\Delta T$ aus der Anfangs- und aus der Endtemperatur errechnet worden. Aus der benötigten Wärme und aus dem Heizwert der Braunkohle können wir den Bedarf an Braunkohle errechnen. Den Heizwert der Braunkohle können wir aus dem Tafelwerk entnehmen.

Daraus ergibt sich als Plan zur Lösung der Aufgabe:

1. Berechnung der erforderlichen Wärme Q (in MJ),
2. Aufsuchen des Heizwertes von Braunkohle $\left(\text{in } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right)$,
3. Berechnung der Masse der Braunkohle (in t).

---

① Berechne jeweils die Wärme, die zum Erhitzen von Blei erforderlich ist:

| | a) | b) | c) | d) |
|---|---|---|---|---|
| Die Masse beträgt: | 20 kg | 0,5 kg | 10 kg | 200 g |
| Die Temperaturerhöhung beträgt: | 10 K | 80 K | 40 K | 100 K |

② 300 g Wasser werden in 10 Minuten von 80 °C auf 30 °C abgekühlt. Wieviel Wärme wird dabei von dem Wasser abgegeben?

*Lösung:*

zu 1. $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

$$Q = 4{,}19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 50\,000\ \text{kg} \cdot 60\ \text{K}$$

$$Q = 4{,}19 \cdot 50\,000 \cdot 60 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}$$

$$Q = 12\,600\,000\ \text{kJ}$$

$$\underline{\underline{Q = 12\,600\ \text{MJ}}}$$

Überschlag:

$$\underbrace{4 \cdot 50\,000}_{200\,000} \cdot 60$$

$$\underbrace{200\,000 \cdot 60}_{12\,000\,000}$$

zu 2. $\text{Heizwert}_{\text{Braunkohle}} = 8{,}5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

zu 3. $1\ \text{kg}_{\text{Braunkohle}} : 8{,}5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = m_{\text{Braunkohle}} : 12\,600\ \text{MJ}$

$$m_{\text{Braunkohle}} = 1\,483\ \text{kg}$$

$$\underline{\underline{m_{\text{Braunkohle}} = 1{,}5\ \text{t}}}$$

*Ergebnis:* Für die Anlage werden täglich etwa 1,5 t Braunkohle benötigt.

*Zusatzaufgabe:* Wie ändert sich das Ergebnis, wenn man berücksichtigt, daß der Wirkungsgrad der gesamten Anlage nur etwa 25% beträgt? ① ② ③

## Einfluß der Umgebung auf die Energieübertragung

Bei vielen Vorgängen in der Technik und bei den meisten Experimenten in der Thermodynamik hat die Umgebung, zum Beispiel die Luft und die Gefäße, einen großen Einfluß auf die Energieübertragung durch Wärme. Auf Grund des Temperaturunterschiedes zur Umgebung wird entweder Wärme an die Umgebung abgegeben oder von der Umgebung aufgenommen.

9

**Aufgabe**

Bestimme die Wärme $Q_{\text{Gef.}}$, die beim Mischen zweier Wassermengen an das Gefäß abgegeben wird!

**Vorbereitung**

1. Bereite ein Protokoll nach dem Muster auf Seite 12 vor!
2. Bereite folgende Tabelle vor!

| | heißes Wasser | kaltes Wasser |
|---|---|---|
| Masse $m$ in kg | | |
| Anfangstemperatur $\vartheta_A$ in °C | | |
| Mischungstemperatur $\vartheta_M$ in °C | | |
| Temperaturänderung $\Delta T$ in K | | |
| Abgegebene Wärme $Q_{ab}$ bzw. aufgenommene Wärme $Q_{auf}$ in kJ | | |

**Durchführung**

1. Bestimme die Masse $m$ und die Anfangstemperatur $\vartheta_A$ des heißen und des kalten Wassers! Trage die Meßwerte in die Tabelle ein!
2. Gieße das heiße Wasser in das kalte Wasser und stelle die Mischungstemperatur $\vartheta_M$ fest! Notiere diese in der Tabelle!

**Auswertung**

1. Berechne die Temperaturänderungen $\Delta T$ des ursprünglich heißen und des ursprünglich kalten Wassers! Trage die Werte in die Tabelle ein!
2. Berechne aus den Meßwerten
   a) die vom heißen Wasser abgegebene Wärme $Q_{ab}$ und
   b) die vom kalten Wasser aufgenommene Wärme $Q_{auf}$!
   Trage die Werte in die Tabelle ein!
3. Berechne aus $Q_{ab}$ und aus $Q_{auf}$ die an das Gefäß abgegebene Wärme $Q_{Gef}$! Schreibe den Zusammenhang zwischen den drei Größen $Q_{ab}$, $Q_{auf}$ und $Q_{Gef}$ in Form einer Gleichung! ④

## Die Bedeutung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser

Wasser hat von allen in der Natur vorkommenden Flüssigkeiten die größte spezifische Wärmekapazität. Da außerdem Wasser überall zur Verfügung steht, wird Wasser bevorzugt zur Energieübertragung durch Wärmeströmung benutzt. Am bekanntesten sind die Warmwasserheizung in Wohnungen, die Wasserkühlung von Motoren und die Kühlung von Bohrmaschinen mit wäßrigen Bohremulsionen. Elektrische Anlagen dürfen jedoch nicht mit Wasser gekühlt werden, weil Wasser den elektrischen Strom leiten kann. Statt dessen benutzt man Öl oder Gase (zum Beispiel Luft oder Wasserstoff). Um gleich viel Wärme von einem Körper abzuführen, sind jedoch bei Öl und bei Luft wesentlich größere Mengen erforderlich als bei Wasser.

■ Da die spezifische Wärmekapazität von Wasser etwa doppelt so groß ist wie die von Öl, kann mit 1 kg Wasser (mit einem Volumen von 1 l) auch doppelt so viel Wärme zu- oder abgeführt werden wie mit 1 kg Öl, das ein Volumen von 1,2 l hat. Zur Übertragung derselben Energiemenge mit Luft sind sogar etwa 4 kg Luft (mit einem Volumen von 3 000 m³) erforderlich.

Auch in der Natur ist die große spezifische Wärmekapazität des Wassers sehr

---

① Es soll 1 t Stahl von 15 °C auf die Schmelztemperatur erhitzt werden.
   a) Wieviel Wärme ist hierfür erforderlich?
   b) Wieviel Zechenkoks ist dafür erforderlich?
   c) Warum sind in Wirklichkeit hierfür jedoch bis 100 kg Koks erforderlich?

② In einem Aluminiumtopf mit einem Durchmesser von 20 cm und mit einer Masse von 800 g werden 5 l Wasser von 15 °C bis zum Sieden erhitzt.
   Wieviel Wärme muß dem Wasser und wieviel Wärme muß dem Kochtopf zugeführt werden?

③ Die Heizung des Aquariums im Bild 34/1 soll eine Leistung von 0,2 kW haben.
   a) Wie lange muß die Heizung in Betrieb sein, damit sie an das Wasser die berechnete Wärme abgibt? (↗ Aufgabe 1 auf S. 37)
   b) Warum schaltet sich die Heizung eher bzw. später als berechnet aus? Wovon hängt das ab?

④ In diesem Schülerexperiment erhält man die Ungleichung $Q_{ab} > Q_{auf}$. Gießt man bei diesem Experiment jedoch in umgekehrter Weise das kalte Wasser in das heiße Wasser, so erhält man aus den Messungen und Berechnungen die Ungleichung $Q_{ab} < Q_{auf}$. Wie ist das zu erklären?

bedeutsam. Aus dieser Eigenschaft des Wassers erklärt sich zum Beispiel der Einfluß des Meeres auf das Klima ganzer Länder und Kontinente. Von besonderer Bedeutung für das Klima in West- und Nordeuropa ist der Golfstrom. Gleiches gilt für den Einfluß von großen Seen auf das Binnenklima eines Landschaftsgebietes.

■ Eisige Polarluft wird auf ihrem Wege nach Europa an der Oberfläche des Atlantik und der Nordsee etwas erwärmt. Mit der Wärme, die von 1 m³ Meereswasser bei Abkühlung um 1 K an die Luft abgegeben wird, können etwa 4 500 m³ Luft um 1 K erwärmt werden.

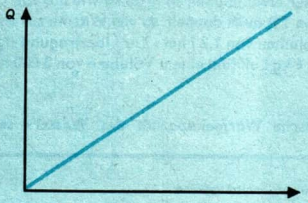
Der große Müggelsee in Berlin hat ein Volumen von 46 000 000 m³ Wasser. In einer kalten Nacht, in der sich das Wasser um etwa 0,1 K abkühlt, gibt der See an die Umgebung eine Wärme von etwa 20 000 000 000 kJ ab. Dies entspricht einer Wärme, die beim Verbrennen von 1 000 t Brikett freiwerden.

**Zusammenfassung**

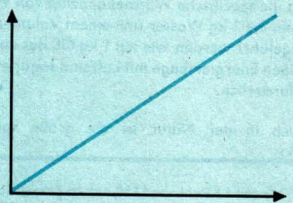
**Die Wärme, die für eine Temperaturänderung zugeführt oder abgeführt werden muß, wird nach folgender Gleichung berechnet:**
$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

**(Gültigkeitsbedingung: Die Temperaturänderung ist nicht mit einer Aggregatzustandsänderung verbunden.)**

**In dieser Gleichung sind folgende Abhängigkeiten enthalten:**




$Q \sim \Delta T$
(bei gleichem Stoff und gleicher Masse)




$Q \sim m$
(bei gleichem Stoff und gleicher Temperaturänderung)

Geburtstag! Die Torte wird aus dem Kühlschrank geholt. Sie wurde dort aufbewahrt, weil durch die niedrige Temperatur im Kühlschrank die Speisen für eine bestimmte Zeit frisch bleiben. Auf welchen physikalischen Gesetzen beruht die Wirkungsweise eines Kühlschrankes?



### Schmelzwärme und Erstarrungswärme

Werden Metalle oder Eis bis zur Schmelztemperatur $\vartheta_S$ erwärmt, dann schmelzen sie bei weiterer Zufuhr von Wärme. Während des Schmelzens steigt die Temperatur nicht weiter an. Die gesamte während des Schmelzens zugeführte Wärme wird *Schmelzwärme* $Q_S$ genannt.

▶ **Die Schmelzwärme $Q_S$ ist die Wärme, die nach Erreichen der Schmelztemperatur zum vollständigen Schmelzen eines Körpers erforderlich ist.**

Die Schmelzwärme wird in der Einheit $1\ \frac{kJ}{kg}$ angegeben. Für Eis beträgt die Schmelzwärme $334\ \frac{kJ}{kg}$. Das bedeutet: Zum Schmelzen von 1 kg Eis ist eine Wärme von 334 kJ erforderlich. Die Schmelzwärme ist im Körper für die Umordnung der Teilchen während des Schmelzens erforderlich (Bild 44/1). Dabei erhöht sich die Energie der Teilchen.
Sinkt die Temperatur der Flüssigkeit durch Wärmeabgabe auf die Erstarrungstemperatur $\vartheta_E$, so geht der Stoff bei weiterer Wärmeabgabe wieder in den festen Aggregatzustand über. Beim Erstarren wird wieder die ursprüngliche Anordnung der Teilchen hergestellt. (Bild 44/1). Die während des Erstarrens abgegebene Wärme bezeichnet man als *Erstarrungswärme* $Q_E$.

① Wird einem Körper Wärme zugeführt, so erhöht sich seine Temperatur. Unter welcher Bedingung gilt diese Aussage?

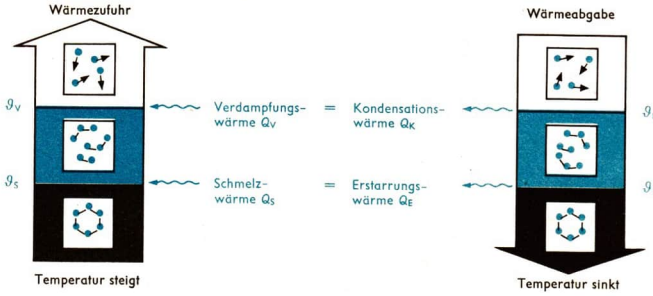



Bild 44/1 Umwandlungswärmen bei Aggregatzustandsänderungen

▶ **Die Schmelzwärme $Q_S$ und die Erstarrungswärme $Q_E$ eines Körpers sind gleich groß.**

①

■ Wieviel Wärme ist erforderlich, um 1 t Aluminiumschrott mit einer Anfangstemperatur von 20 °C zu schmelzen?

*Analyse:*

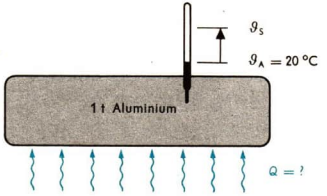



Bild 44/2

*Gesucht:* $Q$ in MJ

*Gegeben:* $m = 1000\ kg$

$\vartheta_A = 20\ °C$

*Plan zur Lösung*: Die gesamte zuzuführende Wärme setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: die Wärme $Q_{\Delta T}$, die für die Temperaturänderung des Schrotts von der Anfangstemperatur auf die Schmelztemperatur $\vartheta_S$ (↗ Tafelwerk) erforderlich ist, und die Schmelzwärme $Q_S$. Damit ergibt sich als Plan zur Lösung der Aufgabe:

1. Berechnung der Temperaturänderung $\Delta T$,
2. Ermittlung der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium (↗ Tafelwerk),
3. Berechnung der Wärme $Q_{\Delta T}$,
4. Berechnung der Schmelzwärme $Q_S$,
5. Berechnung der gesamten zuzuführenden Wärme $Q_{zu}$.

*Lösung:*

zu 1. $\vartheta_A = 20\ °C \quad \vartheta_S = 660\ °C \quad \Delta T = 640\ K$ zu 2. $c_{Al} = 0{,}90\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$

zu 3. $Q_{\Delta T} = c \cdot m \cdot \Delta T$

$Q_{\Delta T} = 0{,}90 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 1000\ kg \cdot 640\ K$

$Q_{\Delta T} = 0{,}90 \cdot 1000 \cdot 640 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot kg \cdot K$

$Q_{\Delta T} = 576\,000\ kJ$

zu 4. $Q_S = 1000\ kg \cdot 397 \frac{kJ}{kg}$

$Q_S = 397\,000\ kJ$

zu 5. $Q_{zu} = Q_{\Delta T} + Q_S$

$Q_{zu} = 973\,000\ kJ$

$\underline{\underline{Q_{zu} = 973\ MJ}}$

*Ergebnis:* Unter Berücksichtigung einer sinnvollen Rechengenauigkeit ist zum Schmelzen von 1 t Aluminiumschrott eine Wärme von 1000 MJ erforderlich. ②

■ Infolge der hohen Schmelzwärme von Eis (und Schnee) gehen im Frühjahr die Schneeschmelze und das Auftauen von zugefrorenen Seen sehr langsam vor sich. Die hohe Schmelzwärme von Eis ist auch die Ursache dafür, daß die von den Eisfeldern der Arktis und Antarktis abbrechenden Eisberge sehr langsam schmelzen und dabei durch Meeresströmungen Tausende von Kilometern abgetrieben werden können.
Aufgrund der großen Schmelzwärme von Eis wird es in den Kühlwaggons der Deutschen Reichsbahn zum Kühlen von Nahrungsmitteln benutzt.

### Verdampfungswärme und Kondensationswärme

Werden Flüssigkeiten bis zur Siedetemperatur $\vartheta_V$ erhitzt, dann verdampfen sie bei weiterer Wärmezufuhr. Während des Verdampfens steigt die Temperatur nicht weiter an. Die gesamte während des Verdampfens zugeführte Wärme wird *Verdampfungswärme* $Q_V$ genannt.

▶ **Die Verdampfungswärme $Q_V$ ist die Wärme, die nach Erreichen der Siedetemperatur zum vollständigen Verdampfen einer Flüssigkeit erforderlich ist.**

Die Verdampfungswärme wird ebenfalls in der Einheit $1 \frac{kJ}{kg}$ angegeben. Die Verdampfungswärme ist wesentlich größer als die Schmelzwärme. Für Wasser beträgt die Verdampfungswärme $2\,260 \frac{kJ}{kg}$.

Durch die zugeführte Verdampfungswärme wird die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsteilchen so groß, daß sie die Flüssigkeit verlassen können (Bild 44/1).
Sinkt die Temperatur eines Gases durch Wärmeabgabe auf die Kondensationstemperatur $\vartheta_K$, so kondensiert das Gas wieder zu einer Flüssigkeit. Die während des Kondensierens abgegebene Wärme wird als *Kondensationswärme* $Q_K$ bezeichnet (Bild 44/1).

---

① Warum wird in Tabellenwerken nur die Schmelzwärme und nicht auch die Erstarrungswärme angegeben?

② Wieviel Wärme ist erforderlich, um 1 kg Eis mit einer Temperatur von 0°C zu schmelzen und schließlich vollständig zu verdampfen?

### Verdunsten und Verdampfen

Viele Flüssigkeiten gehen schon bei Zimmertemperatur in den gasförmigen Zustand über: Wasser verdunstet, Parfüm und Benzin verfliegen, Äther verdampft. Dabei kühlt sich die Flüssigkeit sehr stark ab. Das können wir mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe so deuten:
Bei einer bestimmten Temperatur der Flüssigkeit haben die Teilchen eine bestimmte durchschnittliche Geschwindigkeit. Dabei sind aber einige Teilchen etwas schneller, andere etwas langsamer. Einzelne Teilchen haben eine so große Geschwindigkeit, daß sie die Flüssigkeit verlassen können. Wenn viele schnelle Teilchen die Flüssigkeit verlassen, dann bleiben vor allem langsame Teilchen zurück. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen der Flüssigkeit ist jetzt kleiner. Eine kleinere durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen ist gleichbedeutend mit einer tieferen Temperatur. Die Temperatur der verdunstenden Flüssigkeit würde so unter die Temperatur ihrer Umgebung sinken. Als Folge des Temperaturausgleiches zwischen Flüssigkeit und Umgebung wird auch die Umgebung abgekühlt. Hieraus folgt:

▶ **Die zum Verdunsten erforderliche Verdampfungswärme wird der verdunstenden Flüssigkeit und deren Umgebung entzogen.**

■ Das Verdunsten spielt in der Natur eine wichtige Rolle. Bei der Verdunstung des Schweißes auf der Haut kommt es infolge des Entzuges der Verdampfungswärme zu einer spürbaren Abkühlung der Haut. ① ②

Wie wir bereits wissen, kann die Flüssigkeit auch bei sehr niedrigen Temperaturen verdampfen, wenn man den Druck auf die Oberfläche der Flüssigkeit stark vermindert (↗ S. 21). Auch hierbei wird die Verdampfungswärme der Flüssigkeit und deren Umgebung entzogen.

### Der Kühlschrank

Der Kühlschrank ist eine Kältemaschine. Er hat die Aufgabe, Körper auf sehr niedrige Temperaturen abzukühlen. Der einfachste Kühlschrank ist ein Kompressionskühlschrank.

**Aufbau.** Ein Kühlschrank besteht aus einem *Verdampfer*, der sich innerhalb des Kühlschrankes im Kühlfach befindet, sowie aus einem *Kompressor* und einem *Verflüssiger* (Kondensator), die sich beide außerhalb des Kühlschrankes befinden (Bild 47/1). Verdampfer, Kompressor und Verflüssiger sind durch ein geschlossenes Röhrensystem verbunden, in dem sich ein Kühlmittel befindet. Das kann zum Beispiel Ammoniak sein.

**Wirkungsweise.** Die Wirkungsweise des Kühlschrankes beruht auf mehreren physikalischen Gesetzen der Thermodynamik. Besonders wichtig sind hierbei die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck, die Erhöhung der Temperatur eines Gases beim Zusammendrücken sowie die Aufnahme von Verdampfungswärme und die Abgabe von Kondensationswärme bei Aggregatzustandsänderungen.

Das flüssige Ammoniak gelangt durch ein Ventil in den Verdampfer. Durch dieses Ventil erreicht man, daß im Verdampfer der Druck stark vermindert wird und die Siedetemperatur des Ammoniaks weit unter 0 °C liegt. Dadurch verdampft das in den Verdampfer einströmende Ammoniak. Die dazu erforderliche Wärme wird dem Ammoniak selbst und der Umgebung im Kühlfach entzogen.

Das nunmehr gasförmige Ammoniak wird abgesaugt und durch einen Kompressor stark zusammengedrückt. Dadurch wird der Druck so weit erhöht, daß die Siedetemperatur des Ammoniaks weit über 0 °C liegt. Die Temperatur des Ammoniaks wird durch das Zusammendrücken auch erhöht, sie bleibt aber unter der neuen Siedetemperatur. Das heißt: Das gasförmige Ammoniak muß flüssig werden (kondensieren). Diese Verflüssigung erfolgt im *Verflüssiger* (Kondensator).

Die Kondensationswärme wird an die Umgebung abgegeben, wodurch zum Beispiel die Küche zusätzlich geheizt wird.

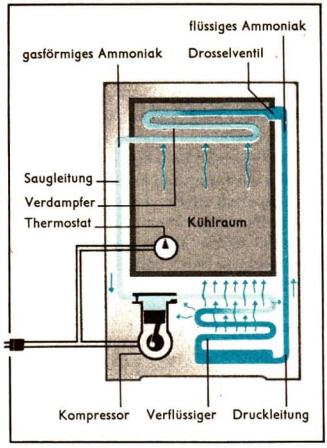



Bild 47/1 Schematischer Aufbau eines Kompressionskühlschrankes

Damit der gesamte Kreislauf in Gang gehalten wird, muß dem Kühlschrank elektrische Energie zum Antrieb des Kompressors übertragen werden. Das Einschalten des Kompressors wird durch einen Thermostaten geregelt.

Aus der Sicht der Energieübertragungen können wir den Vorgang im Kühlschrank so beschreiben: Aus dem Kühlfach wird thermische Energie von Körpern mit niedriger Temperatur (Nahrungsmittel) auf Körper mit höherer Temperatur (Küche) übertragen. Trotzdem steht dieser Vorgang nicht im Widerspruch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, denn dieser Vorgang läuft nicht von allein ab. Um diesen Vorgang zu ermöglichen, muß zusätzlich Energie zugeführt werden.

### Die Wärmepumpe

Die thermische Energie von Stoffen mit niedriger Temperatur (Grundwasser, Außenluft usw.) ist physikalisch nicht so nutzbar wie die thermische Energie von Stoffen mit höheren Temperaturen (↗ S. 26/27). Wärmepumpen haben die Aufgabe, thermische Energie von Stoffen mit niedrigen Temperaturen auf Stoffe mit höheren Temperaturen zu übertragen, wodurch sich die Nutzbarkeit erhöht.

---

① Warum kann es im Sommer trotz Sonnenschein zu gefährlichen Unterkühlungen kommen, wenn man die nasse Badebekleidung am Körper trocknen läßt?

② Hunde können nicht schwitzen. Um im Sommer oder nach schnellem Lauf ihre Körpertemperatur zu halten, hecheln Hunde. Begründe physikalisch, was beim Hecheln geschieht!

Aufbau und Wirkungsweise einer Wärmepumpe sind mit einem Kühlschrank vergleichbar. Der Verdampfer befindet sich außerhalb des Hauses (Bild 48/1). Dieser entzieht der Umgebung (der Luft, dem Grundwasser oder einem See) mit niedrigen Temperaturen thermische Energie. Der Verflüssiger befindet sich im Haus. Von ihm wird die Kondensationswärme an die Zimmerluft oder an eine Warmwasseraufbereitung abgegeben.
Insgesamt ist so thermische Energie von der Umgebung (mit niedriger Temperatur) auf das warme Wasser oder auf die warme Luft (mit höherer Temperatur) übertragen worden. ①

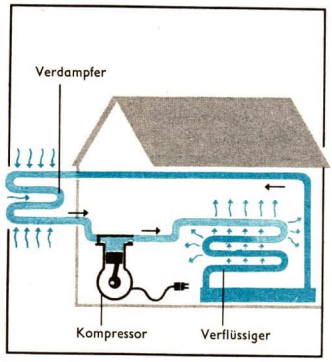
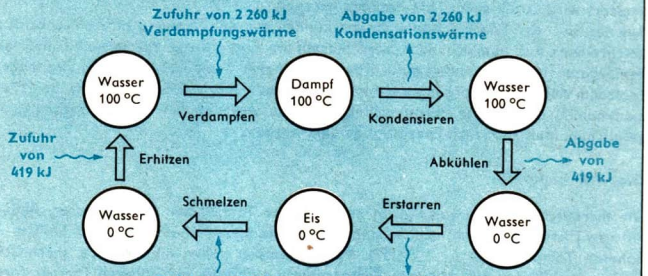



Bild 48/1 Schematischer Aufbau einer Wärmepumpe zum Heizen eines Hauses

## Zusammenfassung

**Wenn eine Temperaturänderung mit einer Aggregatzustandsänderung verbunden ist, dann gilt für die zuzuführende Wärme die Gleichung:**
$Q_{zu} = Q_{JT} + Q_{Umw}$.
**Die Umwandlung von 1 kg Eis über Wasser zu Dampf und zurück über Wasser zu Eis ist mit folgenden Energieübertragungen verbunden:**




① Warum widerspricht der Vorgang in einer Wärmepumpe nicht dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik?

Sehr vielen Familien in unserer Republik dient ein Pkw der Erholung und dem Tourismus. Das Wirtschaftsleben in der DDR kann ohne Krafffahrzeuge nicht funktionieren. Alle diese Fahrzeuge werden durch Motoren angetrieben. Wie ist die Arbeitsweise der Motoren?



## Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie

Die Energie eines Körpers kann sowohl durch die Abgabe von Wärme als auch durch das Verrichten von mechanischer Arbeit auf einen anderen Körper übertragen werden. Hierbei erfolgt häufig gleichzeitig noch eine Umwandlung der Energie aus einer Energieform in eine andere. Das gilt auch für die thermische Energie von heißen Verbrennungsgasen oder von heißem Wasserdampf:

$$E_{th}\ \text{Verbrennungsgas} \xrightarrow{\text{Wärme}} E_{th}$$

$$E_{th}\ \text{Verbrennungsgas} \xrightarrow{\text{mechanische Arbeit}} E_{mech}$$

Bisher haben wir nur die Übertragung von thermischer Energie durch Wärme untersucht. Im folgenden wollen wir die Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie betrachten. Hierauf beruht die Arbeitsweise der Ottomotoren, der Dieselmotoren und der Dampfturbinen.

## Der Viertakt-Ottomotor

**Anwendung von Ottomotoren.** Ottomotoren werden zum Antrieb von leichten Fahrzeugen genutzt. Sie werden in Krafträder, in Pkw, in leichte Lkw und in Boote eingebaut. Sie dienen auch dem Antrieb kleiner transportabler Maschinen, wie Wasserpumpen bei der Feuerwehr und Motorsägen für die Waldarbeit. Allen diesen Anwendungen ist gemeinsam, daß Motoren dem Menschen durch Verrichtung von mechanischer Arbeit nützen.

**Aufbau eines Ottomotors.** Im Bild 50/1 ist ein Schnitt durch einen Ottomotor dargestellt. Die wichtigsten Teile sind die vier *Zylinder* und die *Kurbelwelle*.

An jedem Zylinder befinden sich ein Einlaßventil und ein Auslaßventil für das Gas sowie eine elektrische Zündkerze für die Zündung des Gases. In jedem Zylinder befindet sich weiterhin ein Kolben. Jeder Kolben ist durch eine Pleuelstange mit der Kurbelwelle verbunden. Durch die Pleuelstangen und die Kurbelwelle wird die Hin- und Herbewegung der Kolben in eine Drehbewegung umgewandelt. Über die Kurbelwelle und weitere Teile treibt der Motor die Antriebsräder an.

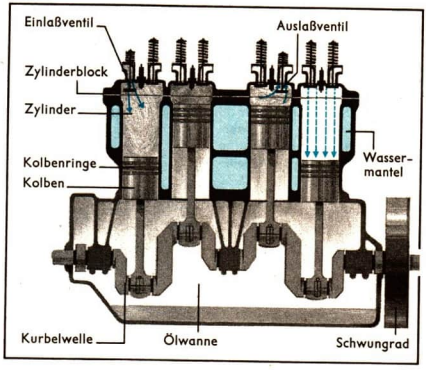



Bild 50/1 Hauptteile eines Ottomotors

Außerdem gehören zum Ottomotor eine *Kühlung* und ein *Vergaser*. Er befindet sich außerhalb des Motors. Seine Aufgabe ist es, aus dem flüssigen Benzin und aus Luft ein gasförmiges Benzin-Luft-Gemisch herzustellen. Dieses Gemisch gelangt über die Einlaßventile in die einzelnen Zylinder des Motors.

**Arbeitsweise eines Viertakt-Ottomotors.** Die Vorgänge in einem Ottomotor werden in Takte gegliedert, die sich ständig in gleicher Weise wiederholen. Sie verlaufen periodisch. Man unterscheidet Motoren, in denen sich die Vorgänge nach zwei Takten wiederholen (Zweitakt-Motoren), und Motoren mit einer Wiederholung nach vier Takten (Viertakt-Motoren). Die periodisch ablaufenden Vorgänge in einem Viertakt-Ottomotor werden in folgende Takte gegliedert:

**1. Takt**
**Ansaugen**

**2. Takt**
**Verdichten**

**3. Takt**
**Verbrennen und Ausdehnen**

**4. Takt**
**Ausschieben**

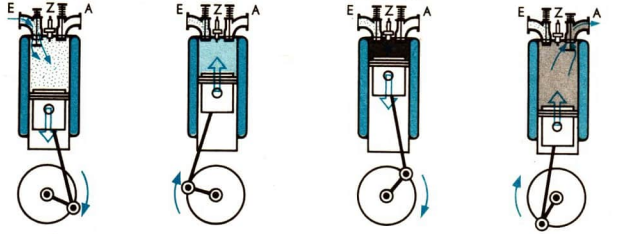



**Bild 50/2**

**1. Takt:** Der Kolben bewegt sich in Richtung auf die Kurbelwelle. Dadurch entsteht im Zylinder ein Unterdruck. Durch das geöffnete Einlaßventil wird das vom Vergaser aufbereitete Benzin-Luft-Gemisch (Gas) angesaugt.
**2. Takt:** Der Kolben preßt das Gas bei geschlossenen Ventilen zusammen, das Gas wird verdichtet. Dabei steigt die Temperatur des Gases zwar auf 400 °C, diese Temperatur reicht jedoch nicht zur Zündung des Gases aus. Am Ende dieses Taktes springt an der Zündkerze ein Funke über, der das Gas entzündet. Diese Art der Zündung bezeichnet man als *Fremdzündung*.
**3. Takt:** Infolge der Verbrennung des Gases bei geschlossenen Ventilen steigen Temperatur und Druck des Gases im Zylinder sehr stark an. Auf den Kolben wirkt eine große Druckkraft, die ihn in Richtung auf die Kurbelwelle treibt.
**4. Takt:** Das Auslaßventil wird geöffnet. Der Kolben schiebt die heißen Verbrennungsgase aus dem Zylinder. Diese Takte wiederholen sich ständig.
In einem Motor mit mehreren Zylindern werden die Takte in den einzelnen Zylindern nicht gleichzeitig durchlaufen. Der Motor im Bild 50/1 ist ein Vierzylindermotor. Die Zündung erfolgt in der Reihenfolge 1., 3., 4. und 2. Zylinder. Eine derartige Zündfolge trägt zum ruhigen Lauf des Motors bei.

**Energieumwandlung im Motor.** Auch für die Energieumwandlungen im Motor gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Im Motor kann keine mechanische Arbeit verrichtet werden, ohne daß dem Motor Energie zugeführt wird. Dem Motor wird Energie in Form chemischer Energie des Benzins zugeführt. Diese chemische Energie wird im Motor nach ihrer Umwandlung in thermische Energie zum Verrichten von mechanischer Arbeit genutzt. Zugleich wird vom Motor Wärme abgegeben.

## Der Viertakt-Dieselmotor

Der von Diesel erfundene Verbrennungsmotor ist für Lkw, Busse, Lokomotiven und Schiffe wirtschaftlicher als der Ottomotor. Dieselmotoren werden nicht mit hochwertigem Benzin, sondern mit billigerem Dieselöl betrieben.

**Aufbau eines Dieselmotors.** Im Unterschied zum Ottomotor haben Dieselmotoren keinen Vergaser. Der Kraftstoff wird mit einer Einspritzpumpe direkt in den Zylinder eingespritzt (Bild 51/1). Dieselmotoren haben auch keine Zündkerzen, der Kraftstoff wird durch Selbstzündung verbrannt.

**Arbeitsweise eines Viertakt-Dieselmotors.** Im 1. Takt wird nur Luft angesaugt. Diese wird im 2. Takt sehr stark verdichtet. Im Unterschied zum Ottomotor steigt die Temperatur der zusammengepreßten Luft auf 500 °C bis 700 °C, so daß sich der am Ende des 2. Taktes eingespritzte Dieselkraftstoff von selbst entzündet. Diese Zündung heißt *Selbstzündung*.

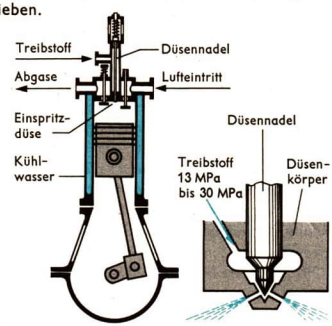



**Bild 51/1 Schnitt durch den Zylinder eines Dieselmotors. Die Düse ist unten noch einmal vergrößert dargestellt.**

Durch die Verbrennung werden Druck und Temperatur im Zylinder noch weiter erhöht. Die Verbrennungsgase verrichten mechanische Arbeit ähnlich wie beim Ottomotor. ①②③④⑤

### Die Dampfturbine

Für den Antrieb der meisten Maschinen ist eine ununterbrochene Drehbewegung erforderlich. In Otto- und Dieselmotoren muß diese Drehbewegung erst aus der Hin- und Herbewegung des Kolbens erzeugt werden. Turbinen sind so konstruiert, daß man unmittelbar eine Drehbewegung erhält. In einer Dampfturbine ist der in einer besonderen Feuerungs- und Kesselanlage erzeugte Dampf als Dampfstrahl gegen die Schaufeln von Turbinenrädern gerichtet. Dadurch wird das Turbinenrad in eine Drehbewegung mit hoher Drehzahl versetzt (Bild 52/1). Aufgrund ihrer hohen und gleichmäßigen Drehzahl sind Dampfturbinen gut geeignet für den Antrieb von Elektrogeneratoren in Kraftwerken.

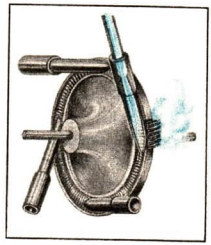


Bild 52/1
Turbinenrad mit Düsen

Auch für Dampfturbinen gilt das Gesetz der Erhaltung der Energie: Damit eine Dampfturbine mechanische Arbeit verrichten kann, muß der Turbine durch den heißen und unter hohem Druck stehenden Dampf ständig Energie zugeführt werden.

### Die Entwicklung der Verbrennungsmotoren

Etwa ab 1700 führte der Einsatz von Dampfmaschinen in den Industrieländern zu einem stürmischen Aufschwung der Industrie. Der Einsatz von Dampfmaschinen war jedoch nur in großen Fabriken rentabel, in denen viele Maschinen im Dauerbetrieb arbeiteten. In kleineren Betrieben gab es keine Dampfmaschinen, denn hier standen nur wenige Maschinen, die zudem auch nur zeitweise benutzt wurden. In diesen Betrieben dominierte noch die Handarbeit.

Um auch in diesen Betrieben die Produktivität und den Gewinn zu erhöhen, begannen etwa um das Jahr 1850 Versuche zur Konstruktion eines kleinen Motors, der mit Gas aus der städtischen Gasleitung arbeiten sollte. Im Jahre 1876 stellte der deutsche Techniker Otto (Bild 52/2) auf einer Ausstellung einen solchen Gasmotor mit großem Erfolg vor. Obwohl die nach ihm benannten Ottomotoren heute vorwiegend zum Antrieb von Kraftfahrzeugen Verwendung finden, war dies überhaupt nicht das Ziel von Otto. Er baute in seinem Betrieb ortsfeste Gasmotoren zum Antrieb von Arbeitsmaschinen.



Bild 52/2 Nikolaus Otto
(1832 bis 1891)

Großen Anteil an der Entwicklung des Ottomotors hatten auch die deutschen Ingenieure Daimler und Maybach. Sie waren Angestellte in dem Betrieb von Otto. Die Gasmotoren von Otto konnten jedoch nicht überall benutzt werden, denn es gab noch nicht überall

Gaswerke und Gasleitungen. Deshalb wollte Daimler einen Motor entwickeln, der mit einem eigenen kleinen „Gaswerk" ausgestattet sein sollte. Dieses Gas sollte in einem am Motor angebrachten Vergaser aus Petroleum (später aus Benzin) hergestellt werden.

Otto lehnte in seinem Betrieb die Entwicklung des von Daimler vorgeschlagenen Motors ab, er konnte mit den ortsfesten Gasmotoren genügend Gewinn machen. Von Daimlers zukunftsweisender Idee wollte er nichts wissen. So trennten sich Daimler und Maybach von Otto. Sie gründeten eine eigene Werkstatt. Im Jahre 1883 war ihr erster Motor fertig. 1885 baute Daimler das erste Motorrad der Welt. Damit wollte er zeigen, wie brauchbar der neue Motor war und wie vielseitig er sich verwenden ließ.

An den heute in Kraftfahrzeugen benutzten Ottomotoren haben außer Daimler und Maybach auch die deutschen Ingenieure Benz und Bosch wesentlichen Anteil.

Der deutsche Ingenieur Diesel war mit dem Wirkungsgrad des Ottomotors so unzufrieden, daß er nach Wegen zu einer Verbesserung der Motoren suchte. Dabei halfen ihm Überlegungen zur Nutzung der Gesetze der Thermodynamik. Im Jahre 1893 lief der erste der später nach ihm benannten Motoren.

### Zusammenfassung

| 1. Takt | 2. Takt | Zündung | 3. Takt | 4. Takt |
|---|---|---|---|---|
| **Ottomotor** | | | | |
| Ansaugen des Benzin-Luft-Gemisches | Verdichten und Erhitzen des Gemisches (400 °C) | Fremdzündung des Gemisches durch elektrischen Funken | Verbrennen des Gemisches, Ausdehnen der Gase | Ausschieben der Verbrennungsgase |
| **Dieselmotor** | | | | |
| Ansaugen von Luft | Verdichten und dadurch Erhitzen der Luft (bis 700 °C) | Einspritzen und Selbstzünden des Dieselkraftstoffes | Verbrennen des Dieselkraftstoffes, Ausdehnen der Gase | Ausschieben der Verbrennungsgase |

① Erläutere die Vorgänge im Ottomotor für jeden einzelnen Takt!
② Es gibt Unterseeboote, die durch Dieselmotoren und durch Elektromotoren angetrieben werden. Warum sind zwei verschiedene Motoren erforderlich?
③ Erläutere den Vorgang der Selbstzündung beim Dieselmotor!
④ Warum bezeichnet man Otto- und Dieselmotoren als Verbrennungsmotoren?
⑤ Vergleiche Otto- und Dieselmotor bezüglich der Vorgänge a) im 1. Takt, b) im 2. Takt, c) im 3. Takt, d) im 4. Takt!

Die Energievorräte der DDR sind begrenzt. Die zur Verfügung stehende Energie muß immer rationeller genutzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Nutzung der thermischen Energie des warmen Wassers aus dem Kühlkreislauf des Kraftwerkes Boxberg zur Aufzucht von Karpfen. Welche Möglichkeiten zur rationellen Nutzung von Energie gibt es?



## Möglichkeiten zur rationellen Nutzung von Energie

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

Zur Vergrößerung des Wirkungsgrades insbesondere von wärmetechnischen Anlagen ist man bemüht, bei gleicher aufgewandter Energie den Anteil der nutzbaren Energie zu erhöhen. Bei Motoren liegt der Wirkungsgrad unter 50% (Bild 54/2). Die größten Verluste entstehen durch die Wärmeabgabe an das Kühlsystem sowie durch die heißen Auspuffgase. Neuere Untersuchungen zeigen, daß eine gewisse Verbesserung des Wirkungsgrades dadurch möglich ist, daß andere Materialien für den Bau des Motors verwendet werden. Diese neuen Materialien lassen wesentlich höhere Temperaturen zu, so daß der Motor nicht mehr so stark gekühlt werden muß. Dennoch kann aus physikalischen Gründen der Wirkungsgrad von Motoren nur im geringen Maße verbessert werden. ①

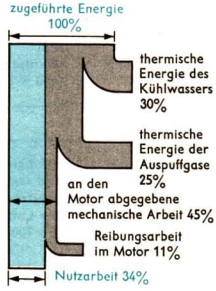



Bild 54/2 Energiestreifendiagramm eines Ottomotors

**Nutzung von Abwärme.** Durch die Nutzung von Abwärme wird der Gesamtwirkungsgrad einer Anlage zur Energieumwandlung verbessert.

■ Wenn in einem Kraftwerk der Dampf durch eine Dampfturbine hindurchgeströmt ist, hat er immer noch eine hohe Temperatur und deshalb noch viel thermische Energie. Diese kann in Kühltürmen für den Menschen nicht nutzbar an die Luft abgegeben

werden oder für den Menschen nutzbringend zum Heizen von Gebäuden, zum Erwärmen von Schwimmbädern und Fischteichen sowie zum Vorwärmen von Materialien in Produktionsbetrieben genutzt werden. Damit wird der Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes erhöht.
Das gebrauchte heiße Wasser aus Großküchen, Hotels, Fleischverarbeitungsbetrieben, aus den Duschanlagen in Schwimmhallen läßt man nicht einfach abfließen, sondern wärmt damit kaltes Frischwasser vor.
In großen Milchviehanlagen kann die in der Milch enthaltene thermische Energie zur Stallheizung oder Warmwasserherstellung genutzt werden.
Vielfach werden für die Nutzung von Abwärme Wärmepumpen eingesetzt (↗ S. 47).
In allen Fällen, in denen Abwärme genutzt wird, werden Brennstoffe, wie Braunkohle und Gase, oder elektrische Energie eingespart. ②

**Maßnahmen zur Verhinderung von unerwünschten Energieübertragungen.**
Wenn zwischen sich berührenden Körpern ein Temperaturunterschied besteht, erfolgt eine Energieübertragung durch Wärme.
Das gilt auch für ein Wohnhaus und die Außenluft (Bild 55/1). Zur rationellen Energienutzung ist deshalb eine hohe Wärmeisolierung notwendig. Dadurch wird der Temperaturausgleich zwischen dem Haus und der Umgebung verzögert. Das bedeutet: Es ist weniger Brennstoff zur Heizung erforderlich.

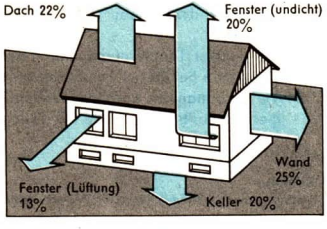



Bild 55/1 Verteilung der Wärmeverluste bei der Heizung eines Hauses

Im Bauwesen verwendet man *Wärmedämmstoffe*. Diese sollen die Energieübertragung durch Wärme vermindern. Ein Baustoff ist um so stärker wärmedämmend, je feinporiger und trockener er ist.

■ Gute Wärmedämmstoffe sind Leichtbauplatten, Schaumpolystyrol und Plasteschäume. Zur Wärmeisolation wird auch Wärmeschutzglas verwendet. Es wird als Mehrscheibenglas oder als Filterglas hergestellt. Bei Mehrscheibenglas wird die uns bekannte schlechte Wärmeleitfähigkeit der Luft zwischen den Glasscheiben ausgenutzt. ③

### Bedeutung der rationellen Nutzung von Energie

Die rationelle Nutzung von Energie hat eine große volkswirtschaftliche Bedeutung. Jede Tonne Braunkohle, die nicht gefördert werden muß, und jede Tonne Steinkohle, die nicht importiert werden muß, bedeutet für unseren Staat auch eine große Einsparung an Geld, das dann für andere Zwecke genutzt werden kann. Außerdem reichen dann unsere Braunkohlenvorräte länger.

---

① Erläutere anhand von Bild 54/2 die „Energieverluste" beim Ottomotor!
② Berichte anhand der Tagespresse über Beispiele zur Nutzung von Abwärme in Industrie und Landwirtschaft!
③ Berichte anhand der Tagespresse über aktuelle Beispiele zur Wärmedämmung im Bauwesen!

Die rationelle Nutzung von Energie hat auch Bedeutung für den Schutz der Natur. Wenn die Abwärme der Abwässer aus der Industrie und Landwirtschaft noch genutzt wird, dann wird auch die Temperatur von Flüssen und Seen durch die Abwässer nicht erhöht. Eine kleine, aber meßbare Erhöhung der Temperatur der Flüsse und Seen führt zum Beispiel zu einem vermehrten Wachstum an Algen und damit zu einer Störung des biologischen Gleichgewichtes in den Flüssen und Seen.

## Wiederholung und Übung 10

### Temperatur

1. Was gibt die Temperatur an?
2. Nenne Thermometerarten!
3. Beschreibe den Aufbau und erkläre die Wirkungsweise eines Flüssigkeitsthermometers!
4. Nenne zwei Temperaturskalen! Nenne die Formelzeichen und die Einheiten mit denen man bei diesen Temperaturskalen die Temperaturen angibt!
5. Wie kann man den absoluten Nullpunkt der Temperatur mit Hilfe der Vorstellungen über den Aufbau der Stoffe aus Teilchen deuten?

10

6. Hausexperiment

**Aufgabe**
Bestimme die Abkühlungskurve für Wasser, das sich an der Luft abkühlt!

**Durchführung**
1. Fülle unter Aufsicht deiner Eltern 1 l Wasser von etwa 60 °C in ein Gefäß!
2. Stelle das Gefäß in einen kalten Raum! Bestimme dort die Lufttemperatur!
3. Rühre das Wasser nach jeweils 5 Minuten um und miß danach die Temperatur des Wassers! Beende die Messungen nach 60 Minuten!

**Auswertung**
1. Zeichne die Abkühlungskurve (Maßstab: 1 cm ≙ 5 min, 1 cm ≙ 10 °C)!
2. Vergleiche die Abkühlungskurve mit der Kurve aus dem Schülerexperiment auf Seite 11! Was stellst du fest, und wie kann das erklärt werden?

### Thermisches Verhalten von Körpern

7. Wie kannst du festsitzende Schraubverschlüsse von Flaschen oder von Gläsern lösen?
8. Ermittle aus dem Tafelwerk den linearen Ausdehnungskoeffizienten für Mauerwerk! Was bedeutet diese Angabe?
9. Zwei Stäbe aus Aluminium und Kupfer sind bei 20 °C gleich lang (1 000 mm). Um wieviel Millimeter weichen ihre Längen bei 100 °C voneinander ab?
10. Erkläre die Wirkungsweise eines Dehnungsausgleichers bei Rohrleitungen!
11. Warum darf man bei Bauwerken, die großen Temperaturschwankungen unterworfen sind, nicht beliebige Baustoffe miteinander kombinieren? Erkläre!
12. Erläutere eine Anwendung, bei der die Abhängigkeit der Siedetemperatur des Wassers vom Druck genutzt wird!

## Physikalische Gesetze

13. Bereite einen Schülervortrag zum Thema „Physikalische Gesetze" vor! Sprich zu folgenden Fragen und Aufgaben:
    a) Was versteht man unter einem physikalischen Gesetz?
    b) Wie werden physikalische Gesetze dargestellt?
    c) Welche physikalischen Gesetze sind auf den Seiten 8 bis 22 als Diagramm, als Gleichung oder durch Worte dargestellt worden?
    d) Nenne einige physikalische Gesetze, die du im Physikunterricht der Klassen 6 und 7 kennengelernt hast!

## Energie und Wärme

14. Ordne die folgenden physikalischen Größen in die Tabelle ein: Temperatur, Temperaturänderung, Wärme, thermische Energie, mechanische Arbeit!

| Kennzeichnet einen Zustand | Kennzeichnet einen Vorgang |
|---|---|
| | |

15. Übertrage Bild 57/1 in dein Heft! Zeichne schematisch ein, von welchem Körper Wärme abgegeben bzw. aufgenommen wird! Gib durch Pfeile an den Formelzeichen an, wie sich dadurch thermische Energie und die Temperatur der beiden Körper ändern!
(Beispiel: $\vartheta \uparrow$ soll bedeuten: die Temperatur steigt.)

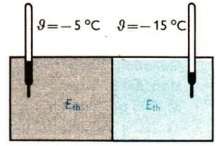


Bild 57/1

16. Eine Wassermenge kann mit einem Tauchsieder von 1 200 W in 5 Minuten zum Sieden gebracht werden. Eine Überprüfung der Annahme, daß man das auch mit einem Reisetauchsieder von 300 W in 20 Minuten erreichen könnte, bestätigte sich nicht. Es dauerte viel länger.
Wo lag der Fehler, in der Rechnung oder woanders?

17. Auf der Suche nach neuen Energiequellen hat ein „Erfinder" den Bau eines Kraftwerkes vorgeschlagen, das nach einem neuen Prinzip arbeiten soll (Bild 57/2):
Im Kraftwerk wird thermische Energie aus dem Fluß auf Dampf übertragen. Mit diesem Dampf werden Elektrogeneratoren angetrieben.

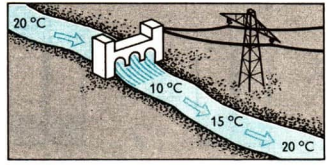


Bild 57/2

Auf diese Weise soll nach den Vorstellungen des Erfinders die thermische Energie des Flusses in elektrische Energie umgewandelt werden.

a) Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik wäre ein solches Kraftwerk möglich. Begründe!
b) Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist ein solches Kraftwerk unmöglich. Begründe!

**Energieübertragung durch Wärme**

18. Für zwei Körper wurden die folgenden Werte bestimmt.
Ergänze die fehlenden Werte!

| $\Delta T$ in K | $Q$ in kJ |
|---|---|
| 10 | 24 |
| 30 | ... |
| ... | 240 |
| 1 | ... |

| $m$ in kg | $Q$ in kJ |
|---|---|
| 20 | 10 |
| 10 | ... |
| 2 | ... |
| ... | 2 |

19. Eine Stahlkugel und eine Kupferkugel mit gleicher Masse haben eine Temperatur von 80 °C. Beide werden auf Eis gelegt. Welche Kugel schmilzt mehr Eis? Warum?

20. Das Diagramm im Bild 58/1 gilt für 200 g Wasser. Wäre der Verlauf der Geraden flacher oder steiler, wenn statt 200 g Wasser
a) 100 g Wasser, b) 400 g Wasser,
c) 200 g Alkohol erhitzt würden?

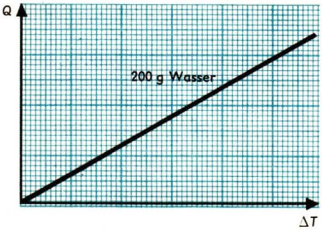


Bild 58/1

21. Im Versuch a (Bild 58/2) wird die Temperatur von 200 g Wasser um 20 K erhöht. Wie lange muß in den Versuchen b und c Wärme zugeführt werden?

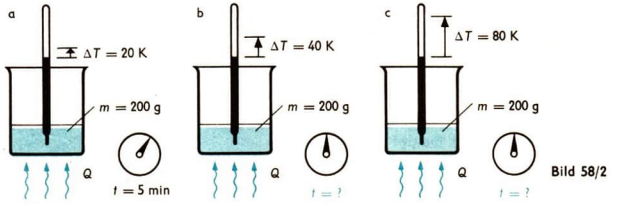


Bild 58/2

22. Im Versuch a (Bild 59/1) wird die Temperatur von 200 g Wasser um 60 K erhöht. Wie lange muß in den Versuchen b und c Wärme zugeführt werden?

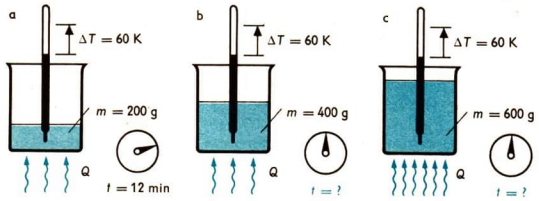



Bild 59/1

23. Im Versuch a (Bild 59/2) wird die Temperatur von 200 g Öl um 30 K erhöht. Wie groß ist in den Versuchen b und c die Temperaturänderung bzw. die Masse?

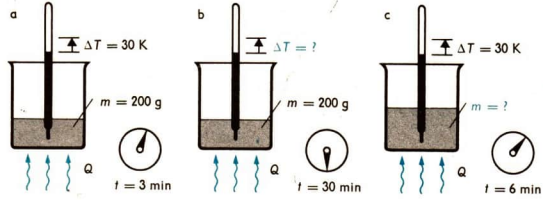



Bild 59/2

24. Berechne die Wärme, die zugeführt werden muß, um bei den nachfolgend genannten Körpern die jeweilige Temperaturerhöhung zu erreichen:
    a) Ein Stahlkörper mit einer Masse von 6,8 kg soll von 20 °C auf 50 °C erhitzt werden.
    b) Ein Aluminiumkörper mit einer Masse von 9,6 kg und einer Länge von 30 cm soll von 20 °C auf 60 °C erhitzt werden.
25. Wenn man 100 g Wasser mit einer Temperatur von 20 °C und 100 g Wasser mit einer Temperatur von 60 °C mischt, erwartet man eine Mischungstemperatur von 40 °C. Gießt man die eine Wassermenge in die andere, so erhält man jedoch etwa 38 °C oder etwa 42 °C, aber nie 40 °C!
    a) Unter welchen Bedingungen erhält man etwa 38 °C? Warum?
    b) Unter welchen Bedingungen erhält man etwa 42 °C? Warum?
    c) Unter welchen Bedingungen könnte man angenähert 40 °C erhalten? Warum?
26. Bereite einen Schülervortrag zum Thema „Die Bedeutung der großen spezifischen Wärmekapazität von Wasser in Natur und Technik" vor! Sprich zu folgenden Fragen und Aufgaben:
    a) Was gibt die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes an?
    b) Vergleiche den Zahlenwert der spezifischen Wärmekapazität von Wasser mit dem Zahlenwert der spezifischen Wärmekapazität anderer Stoffe!
    c) Erläutere die Bedeutung der großen spezifischen Wärmekapazität von Wasser an jeweils einem Beispiel aus der Natur und aus der Technik!

11

27. Hausexperiment

**Aufgabe**

Bestimme zu Hause im Beisein deiner Eltern die thermische Leistung einer elektrischen Kochplatte oder einer Gasflamme von eurem Küchenherd!

**Vorbereitung**

1. Berechne, wieviel Wärme erforderlich ist, um 0,5 l Leitungswasser (etwa 16 °C) bis zum Sieden (etwa 96 °C) zu erhitzen!

**Durchführung (im Beisein deiner Eltern!)**

1. Heize die elektrische Kochplatte etwa 1 Minute vor!
2. Erwärme einen halben Liter Wasser bis zum Sieden und miß die dazu erforderliche Zeit!

**Auswertung**

1. Berechne aus der Wärme $Q$ und aus der Zeit $t$ die thermische Leistung $P_{th}$ der Kochplatte bzw. der Gasflamme!
2. Wirst du für die thermische Leistung einen Wert erhalten, der kleiner oder größer als der wahre Wert ist? Warum?

28. Eine Badewanne ist mit 100 l Wasser (40 °C) gefüllt.
    Ein Kochtopf ist mit 2 l siedendem Wasser (100 °C) gefüllt.
    a) Berechne die Wärme, die jeweils bei Abkühlung bis auf Zimmertemperatur (20 °C) abgegeben wird!
    b) Vergleiche die abgegebene Wärme des Badewassers mit der abgegebenen Wärme des siedenden Wassers!
    c) Äußere dich über die Nutzbarkeit der thermischen Energie des Wassers in der Badewanne und der thermischen Energie des Wassers im Kochtopf!

## Umwandlungswärme bei Aggregatzustandsänderungen

29. Berechne durch einen Überschlag, wieviel Eis mit der Kondensationswärme von 1 kg Dampf geschmolzen werden kann!
30. In einem Schmelztiegel aus Stahl ($m = 1$ kg) soll ein Bleistück mit einer Masse von 0,5 kg von 20 °C auf die Schmelztemperatur erhitzt werden.
    a) Wieviel Wärme ist hierfür insgesamt erforderlich?
    b) Wieviel Wärme ist anschließend noch zum Schmelzen zuzuführen?
31. Kann Kupfer in einem Aluminiumtiegel geschmolzen werden? Begründe!

## Verbrennungsmotoren und Dampfturbinen

32. Erläutere die Wirkungsweise des im Bild 60/1 dargestellten Kühlsystems!

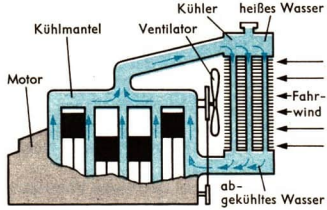


Bild 60/1

## Rationelle Nutzung von Energie

33. Bereite für den Physikraum eine Anschauungstafel über die rationelle Nutzung von Energie vor! Sammle dazu im Verlaufe von 2 Monaten Beiträge aus Zeitungen!
34. Zur Wärmedämmung verwendet man zunehmend Mehrscheibengläser mit einem geringen Abstand zwischen den inneren und äußeren Scheiben. Welchen Nachteil haben Doppelfenster mit einem größeren Scheibenabstand?

# ELEKTRIZITÄTSLEHRE

## Der Einfluß des elektrischen Stromes auf die Arbeit und das Leben des Menschen

## 11

Die umfassende Nutzung der elektrischen Energie begann am Ende des letzten Jahrhunderts. Die grundlegenden physikalischen Gesetze des elektrischen Stromes waren zwar schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts entdeckt worden. Es fehlte aber noch längere Zeit an einer Möglichkeit, relativ billig elektrischen Strom zu erzeugen. Anfangs stand nur der sehr teure elektrische Strom aus Batterien zur Verfügung. Damit wurden vor allem Telegrafenapparate betrieben. Im Jahre 1869 wurde bereits eine Telegrafenlinie von London aus durch Deutschland, Rußland und Persien bis in die damalige englische Kolonie Indien gebaut. Zwei Jahre später wurde ein 3 500 km langes Unterseekabel zwischen den USA und England verlegt.

Die physikalischen Grundlagen für eine relativ billige Erzeugung von elektrischem Strom mit Generatoren hatte der Engländer Faraday (Bild 61/1) bereits im Jahre 1831 entdeckt. Mit dem Bau von Generatoren waren jedoch große technische Probleme verbunden. An ihrer Lösung hatte der deutsche Ingenieur Siemens (Bild 61/2) einen bedeutenden Anteil. 1867 stellte er den ersten praktisch nutzbaren Generator zur Stromerzeugung vor. Auf dieser Grundlage wurde in New York von Edison (Bild 61/3) das erste Kraftwerk gebaut und 1882 in Betrieb genommen. An das Kraftwerk waren 7 200 Glühlampen angeschlossen.



Bild 61/1 Michael Faraday (1791 bis 1867)



Bild 61/2 Werner von Siemens (1816 bis 1892)

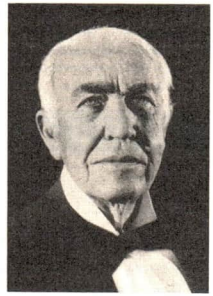


Bild 61/3 Thomas Alva Edison (1847 bis 1931)

In Europa wurde das erste kleine „Kraftwerk" 1884 in Betrieb genommen. Es befand sich im Keller eines Mietshauses in Berlin (Bild 62/1). Damit wurden zwei Gaststätten beleuchtet. Im Jahre 1885 nahm in Berlin das erste Wärmekraftwerk seinen Betrieb auf. Sechs Dampfmaschinen trieben zwölf Generatoren an.

Die erste Fernübertragung elektrischer Energie gelang im Jahre 1891. Durch diese technische Leistung war der Weg frei für die Schaffung landesweiter Leitungen zur Übertragung elektrischer Energie. Seitdem haben Produktion und Technik eine stürmische Entwicklung erlebt. Durch die Nutzung der elektrischen Energie werden vielfach ganz neue Technologien möglich. Beispiele aus der Stahlindustrie sind die Entwicklung des Elektroschweißens und der Bau von Elektrostahlöfen. Ein Beispiel aus der medizinischen Technik ist die Entwicklung von Röntgenanlagen.

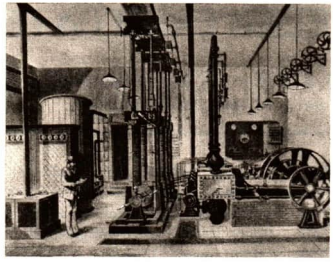


Bild 62/1 Das erste Kraftwerk Europas im Keller eines Hauses der Berliner Friedrichstraße

Die immer vielseitigere Nutzung der elektrischen Energie in der Industrie, in der Landwirtschaft, in der Nachrichtentechnik, in der Medizin, im Verkehr und im Haushalt haben die Arbeit, den Alltag, das kulturelle Leben und die medizinische Betreuung der Menschen wesentlich verbessert.
Einige Anwendungsgebiete der elektrischen Energie sind in den Bildern auf der hinteren inneren Umschlagseite dieses Buches dargestellt.
Diese Anwendungen der elektrischen Energie beruhen auf den uns bereits bekannten Wirkungen des elektrischen Stromes:

| **Wärme- und Lichtwirkung** | **Magnetische Wirkung** | **Chemische Wirkung** |
|---|---|---|
| Leiter können vom Strom so stark erhitzt werden, daß sieWärme abgeben und Licht aussenden. | Ein von einem Strom durchflossener Leiter wirkt wie ein Magnet. | In wäßrigen Lösungen ruft der Strom Stoffabscheidungen hervor. |
| **Beispiele** | | |
| Heizofen<br>Glühlampe<br>Rotlichtlampe | Elektromagnet<br>Lautsprecher<br>Motor | Oberflächenveredlung<br>Stofftrennung |

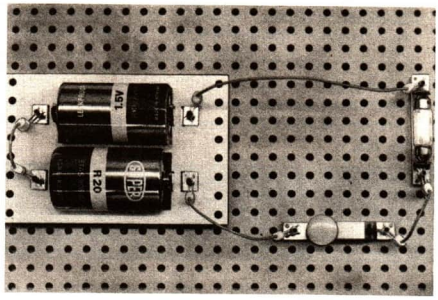
①

Auch heute findet eine stürmische Entwicklung in der Elektrizitätslehre statt. Von besonderer Bedeutung ist die *Mikroelektronik*. Ergebnisse der Mikroelektronik sind zum Beispiel Taschenrechner, Digitaluhren und Industrieroboter. Durch die Mikroelektronik wird die Arbeit des Menschen an vielen Maschinen immer stärker verändert werden.

---

① Vor 60 Jahren gab es in den Wohnungen kaum elektrische Geräte. Wie wurde früher gekocht, gewaschen und gebügelt? Bereite darüber einen Vortrag vor!

Im Werkunterricht haben wir uns bei der Arbeit mit dem Elektrobaukasten schon Kenntnisse über elektrische Stromkreise, über Spannungsquellen und über Widerstände angeeignet. Was wissen wir bereits über den elektrischen Strom?




## Der elektrische Strom

Die Stromkreise in den Bildern 63/2 a bis c sind verschieden. Die Voraussetzungen für das Fließen eines elektrischen Stromes sind jedoch in allen Stromkreisen gleich:

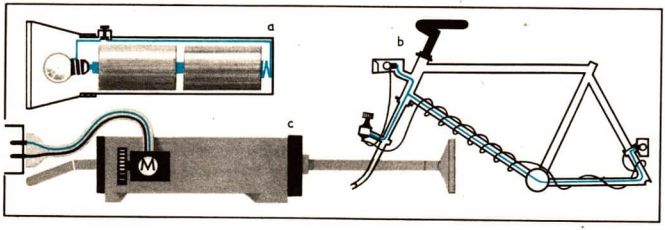



Bild 63/2 a) Stromkreis einer Taschenlampe b) Stromkreise eines Fahrrades
c) Stromkreis eines Staubsaugers

▶ **Ein elektrischer Strom fließt nur, wenn sich in einem Stromkreis eine Spannungsquelle befindet und wenn der Stromkreis geschlossen ist.**

①

① Bei Stehlampen sieht man nur ein Kabel. Ist hier kein geschlossener Stromkreis erforderlich?

Es gibt zwei Stromarten:

| **Gleichstrom (=)** | **Wechselstrom (~)** |
|---|---|
| Gleichstrom ist ein Strom, der ständig in der gleichen Richtung fließt. | Wechselstrom ist ein Strom, dessen Richtung sich ständig in kurzen Zeitabständen umkehrt. |

**Spannungsquellen.** Spannungsquellen sind eine Voraussetzung für das Fließen eines Stromes. Spannungsquellen haben unterschiedliche Spannungen. Die Spannung wird in der Einheit **ein Volt (1 V)** angegeben. Die Anschlußkontakte einer Spannungsquelle heißen *Pole*. ①

▶ **Das Berühren der Pole von Spannungsquellen ist lebensgefährlich, wenn die Spannung bei Gleichstrom über 60 V und bei Wechselstrom über 42 V beträgt.**

Die *biologische Wirkung* des Stromes kann zu schweren inneren Verbrennungen und zum Tod durch Herzstillstand führen. In der Medizin beruhen auf der biologischen Wirkung des Stromes aber auch einige Heilverfahren.
Gleichstrom erhält man aus *Batterien*, *Akkumulatoren* und *Gleichstromgeneratoren*. Zur Unterscheidung der Pole ist an der Spannungsquelle der *Pluspol* mit dem Zeichen „+" und der *Minuspol* mit dem Zeichen „–" gekennzeichnet. Wechselstrom erhält man aus *Wechselstromgeneratoren*.
Die *Steckdosen* in den Wohnungen und die *Stromversorgungsgeräte* im Physikunterricht sind genau genommen keine Spannungsquellen. Durch ihre Verbindungen mit den Generatoren in Kraftwerken wirken sie aber wie eine Spannungsquelle. Vereinfachend werden wir sie deshalb auch als Spannungsquellen bezeichnen.
Aus dem Schülerstromversorgungsgerät können wir sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom entnehmen. Aus den Steckdosen erhalten wir in den meisten Orten Wechselstrom mit einer Spannung von 220 V (Vorsicht Lebensgefahr!). ②

**Widerstände.** Das Wort *Widerstand* wird in der Elektrizitätslehre in zweifacher Bedeutung benutzt. Einmal wird mit dem Wort *elektrischer Widerstand* die *physikalische Eigenschaft* eines jeden Leiters bezeichnet, das Fließen des elektrischen Stromes zu behindern. Gleichzeitig werden mit dem Wort *Widerstand* auch *Bauelemente*, wie Glühlampen und Drahtwiderstände, sowie elektrische Geräte, wie Klingeln und Staubsauger, bezeichnet.

**Der einfache Stromkreis.** Ein einfacher Stromkreis besteht aus einer Spannungsquelle, einem Bauelement, Leitungen, einem Schalter und einer Sicherung. Bei Schülerexperimenten werden wir meistens auf den Schalter und auf die Sicherung verzichten, beide befinden sich im Schülerstromversorgungsgerät.

### Schaltpläne für Stromkreise

Elektrische Stromkreise werden zeichnerisch durch *Schaltpläne* dargestellt. In diesen werden die Bauelemente durch Schaltzeichen angegeben.

*Einige Schaltzeichen*

| Spannungsquellen | Bauelemente | Leitungen/Schalter |
|---|---|---|
| Akkumulator  | Widerstand  | Leitung mit Abzweigung  |
| Anschlußklemmen für Stromversorgungsgerät  | Lampe  | Schalter, offen  |
| | Gleichstrommotor  | Schalter, geschlossen  |

12

**Aufgabe**
Baue einen einfachen Stromkreis auf!

**Durchführung**
1. Zeichne den Schaltplan für einen einfachen Stromkreis aus Stromversorgungsgerät, Lampe, Schalter, und Leitungen!
2. Ordne zunächst alle Geräte auf dem Tisch genauso an, wie es im Schaltplan gezeichnet ist!
3. Stelle am Stromversorgungsgerät die vom Lehrer angegebene Buchsenkombination ein!
4. Schalte den Stromkreis zusammen! (Beginne beim Minuspol des Stromversorgungsgerätes!)

**Hinweis: Der Schalter am Stromversorgungsgerät wird in allen Schülerexperimenten erst nach Aufforderung durch den Lehrer geschlossen!**

## Leitungen in der Technik

Ein elektrischer Strom fließt nur im geschlossenen Stromkreis (Bild 65/2).

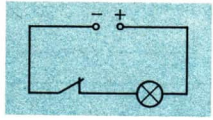


Bild 65/2 Strom fließt nur im geschlossenen Stromkreis.

In der Technik ist es sehr oft üblich, auf ein zweites Leitungskabel als „Rückleitung" zu verzichten. Das gilt zum Beispiel für die Stromkreise beim Fahrrad (Bild 63/2), bei Kraftfahrzeugen und bei Straßenbahnen (Bild 65/3).

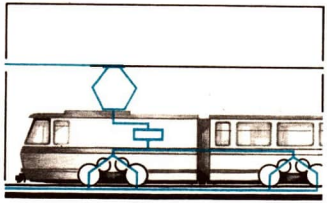


Bild 65/3 Bei der Straßenbahn dient die Schiene als Rückleitung.

① Gib an, wie groß die Spannungen einiger Spannungsquellen sind!
② An welchen Zeichen ist zu erkennen, ob man aus einer Spannungsquelle Gleichstrom oder Wechselstrom erhält?

Manchmal benutzt man auch das Grundwasser in der Erde als Rückleitung (Bild 66/1). ①

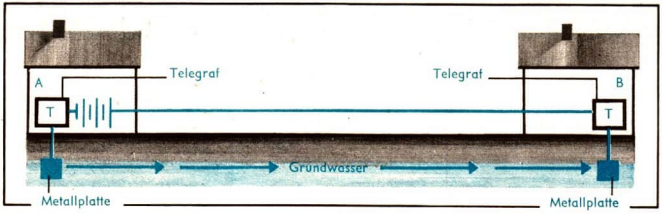
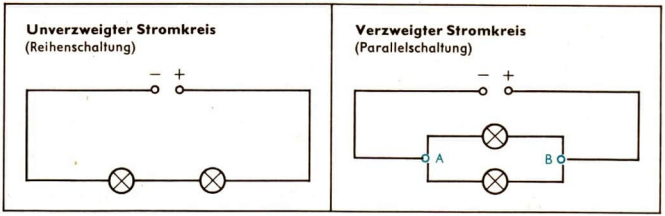



**Bild 66/1** Bei Telegraphenleitungen dient das Grundwasser als Rückleitung.

## Unverzweigter Stromkreis und verzweigter Stromkreis

Werden in einem Stromkreis zwei Bauelemente zusammen geschaltet, so können diese in Reihe oder parallel geschaltet werden.

Es gibt unverzweigte und verzweigte Stromkreise.




Die Punkte A und B im verzweigten Stromkreis nennt man *Verzweigungspunkte.* ②

13 ▼ **Aufgabe**
Baue einen unverzweigten Stromkreis auf!

14 ▼ **Aufgabe**
Baue einen verzweigten Stromkreis auf!

---

① Worin bestehen die Hin- und Rückleitungen bei a) einer elektrischen Modell-Eisenbahn, b) einer Elektrolokomotive, c) der Berliner U-Bahn und S-Bahn?

② Aus dem Stromkreis im Bild 66/4 schrauben wir nacheinander jeweils eine Lampe aus ihrer Fassung heraus. Welche Lampen verlöschen und welche leuchten weiterhin, wenn wir
a) Lampe 1, b) Lampe 2, c) Lampe 3, d) Lampe 4 herausdrehen?

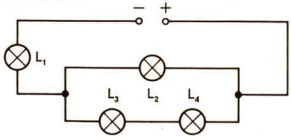
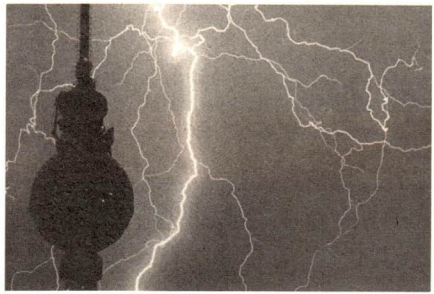



**Bild 66/4**

Gewitter gehören zu den eindrucksvollsten Naturschauspielen. Lange Zeit konnte man sich das Entstehen der Blitze nicht erklären, sie wurden als „Strafe Gottes" gedeutet. Wie entwickelten sich die wissenschaftlichen Vorstellungen der Menschen über elektrische Vorgänge?



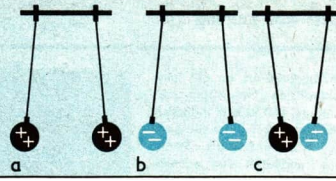
## Die Entdeckung der „Reibungselektrizität"

Die Entwicklung der physikalischen Vorstellungen über die elektrischen Vorgänge ist untrennbar mit dem Leben und der Arbeit vieler Forscher aus mehreren Ländern verbunden. Diese klugen Beobachter und Denker hatten nicht nur Erfolge. Sie irrten sich auch, doch das können wir hier nicht darstellen. Manchmal hatten sie auch mit Schwierigkeiten zu kämpfen, die ihnen verständnislose Mitmenschen machten. Die „Reibungselektrizität" war schon den Griechen im Altertum bekannt. Sie rieben Bernstein (Griechisch: elektron) mit Tüchern und beobachteten Funken am Bernstein. Sie sahen, daß leichte Körper von dem Bernstein angezogen wurden. So erklärt sich auch die Entstehung des Wortes *Elektrizität*. Dieses Wort bedeutet soviel wie „Eigenschaft oder Kraft von Bernstein". Im Jahre 1600 wurde das Buch eines englischen Forschers bekannt, der die Reibungselektrizität auch bei anderen Stoffen entdeckt hatte. Diese Stoffe nannte er *elektrische Stoffe*.

Wie wir bereits wissen, gelten für jeden physikalischen Vorgang physikalische Gesetze. Wenn man diese Gesetze noch nicht erkennen kann, stellt man zunächst eine Vermutung auf. So wurde vermutet, daß Körper, die elektrische Erscheinungen hervorrufen, im Vergleich zu anderen Körpern etwas Besonderes besitzen. Man sagte: Diese Körper sind *elektrisch geladen*. **Die Ursache der elektrischen Erscheinungen wurde als elektrische Ladung bezeichnet.**

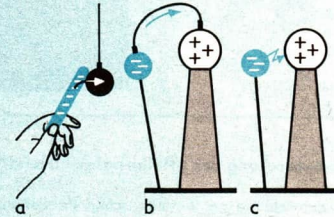
Erst 130 Jahre später (1730) gelangte ein französischer Forscher zu der Erkenntnis, daß es *zwei Arten von elektrischen Ladungen* gibt. Hierauf kam er bei der Suche nach einer Erklärung, warum elektrisch geladene Körper von einigen ebenfalls elektrisch geladenen Körpern angezogen, von anderen aber abgestoßen werden. Die zwei Arten von elektrischen Ladungen bezeichnete man später als positive beziehungsweise als negative elektrische Ladung.

**Es gibt positive und negative elektrische Ladungen.**
**Körper mit gleichartigen elektrischen Ladungen stoßen sich ab, Körper mit ungleichartigen elektrischen Ladungen ziehen sich an.**




Durch Experimente stellte man weitere Eigenschaften elektrisch geladener Körper fest:

**Elektrische Ladungen sind teilbar und übertragbar.**
**Werden unterschiedlich elektrisch geladene Körper durch Leiter verbunden, so tritt ein Ladungsausgleich ein.**
**Dieser kann auch ohne einen Leiter in Form eines Blitzes oder eines Funken erfolgen.**




Allmählich nahm die Begeisterung am Experimentieren mit elektrischen Ladungen immer mehr zu. Dies führte zu einer Verbesserung der Experimentiergeräte. Dazu gehörten zuerst Geräte, mit denen große elektrische Ladungen erhalten werden konnten. So wurden verschiedene *Elektrisiermaschinen* erfunden. (Die erste Elektrisiermaschine erfand 1660 Otto von Guericke.) Solche Elektrisiermaschinen sind auch die heute noch benutzten *Bandgeneratoren* und *Influenzmaschinen*. Der Nachweis von elektrischen Ladungen erfolgte mit *Elektroskopen*. Zum Speichern von Ladungen wurden *Kondensatoren* erfunden. Das einzige praktische Ergebnis dieser Forschungen war bis dahin die Erfindung des Blitzableiters durch den amerikanischen Wissenschaftler und Staatsmann Benjamin Franklin. Dieser Erfindung lag die Überzeugung zugrunde, daß der Blitz kein Feuer und auch keine göttliche Strafe, sondern etwas Elektrisches ist. Entgegen den Bedenken von ängstlichen Menschen, die vor dem „Zorn der himmlischen Mächte" warnten, wurde 1763 in Philadelphia der erste Blitzableiter gebaut.

### Die Entdeckung der „strömenden" Elektrizität

Ausgangspunkt der Entdeckung der strömenden Elektrizität waren im Jahre 1790 Entdeckungen in der Biologie. Es war bekannt, daß Fische (wie Zitterrochen, Zitterwelse und Zitteraale) elektrische Schläge austeilen. Durch das Sezieren der Fische erkannte man, daß die elektrischen Schläge aus einem „elektrischen Organ" stammen. Dieses Organ besteht aus mehr als tausend winzigen, gleichen Teilen.

Diese Beobachtung führte zunächst noch nicht zu physikalischen Erkenntnissen. Solche Erkenntnisse gelangen erst dem italienischen Physiker Volta (Bild 69/1). Volta untersuchte systematisch verschiedene Kombinationen von Metallen, die er mit feuchten Körpern oder mit Flüssigkeiten in Verbindung brachte (Bild 69/2).

Im Ergebnis seiner Forschungen entdeckte er:



Bild 69/1 Alessandro Volta (1745 bis 1827)

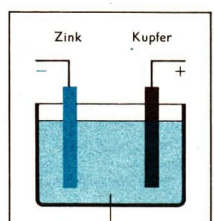



Bild 69/2 Kupfer-Zink-Element

**Man kann aus zwei verschiedenen Metallplatten und einer Flüssigkeit eine Spannungsquelle erhalten, die über längere Zeit einen Strom liefert.**

Das war ein riesengroßer Fortschritt gegenüber den kurzzeitigen Funken bei den Elektrisiermaschinen. Die Spannung des Kupfer-Zink-Elementes ist etwa 1 V. Heute benutzt man Kohle-Zink-Elemente mit einer Spannung von 1,5 V. Sie heißen *Monozelle* (Bild 69/3). ①

Volta wollte stärkere Spannungsquellen herstellen. In Nachahmung des Aufbaus der elektrischen Organe der Fische stellte er mehrere Elemente (bis 60 Stück) nebeneinander und verband diese mit Drahtbögen (Bild 69/4). So erhielt Volta Spannungen bis etwa 60 V. Diese Idee gehört zu einer der großen Leistungen in der Elektrizitätslehre.




Bild 69/3 Kohle-Zink-Element

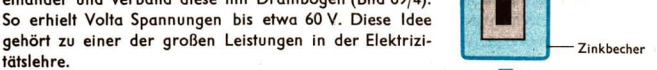
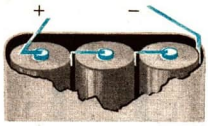



Bild 69/4 Prinzip der Zusammenschaltung mehrerer Elemente in Reihe

Sie ermöglichte viele weitere große Entdeckungen über den elektrischen Strom. Auch heute noch wird dieses Prinzip bei der Reihenschaltung von Monozellen (↗ Bild 63/2) sowie bei der Herstellung von Flachbatterien (Bild 70/1) und Batterien für Kraftfahrzeuge (Bild 70/2) benutzt. Eine Zelle einer solchen Bleibatterie hat eine Spannung von 2 V. ② ③

---

① Beschreibe den Aufbau einer Monozelle!
② Aus wieviel Zellen muß eine Bleibatterie für 12 V bestehen?
③ Wie kann man für einen Lkw eine Spannung von 24 V erzeugen?



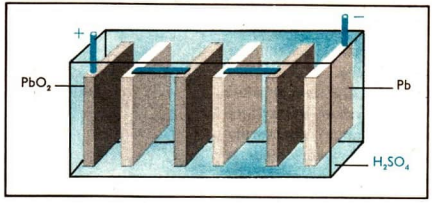




Bild 70/1 Aufbau einer Flachbatterie
Bild 70/2 Aufbau eines Akkumulators

## Die Entdeckung des elektrischen Feldes

Bringt man eine elektrisch geladene Kugel in die nähere Umgebung der ebenfalls elektrisch geladenen Haube eines Bandgenerators, so wird die Kugel abgestoßen oder angezogen. Wie können hier elektrische Kräfte wirken, ohne daß zwischen der Kugel und dem Bandgenerator eine Verbindung besteht?

**Die Ideen Faradays.** Die Antwort auf diese Frage fand Faraday (Bild ↗ 61/1). Obwohl sich Faraday davon überzeugt hatte, daß man mit „Anziehungskräften" und „Abstoßungskräften" die elektrischen Erscheinungen erklären kann, war er mit dieser Erklärung nicht zufrieden. Alle Erfahrungen über die Bewegung von Maschinen besagten: Eine Kraft kann von einem Maschinenteil auf ein anderes Maschinenteil nur dann wirken, wenn sich diese Teile direkt berühren oder wenn die Kraft durch eine Stange, durch eine Kette oder durch ein Seil übertragen wird. Hieraus schlußfolgerte Faraday: Auch elektrische Kräfte müssen „irgendwie" von einem Ort zu einem anderen Ort übertragen werden. Da man das aber nicht sehen kann, nahm Faraday an: Ein elektrisch geladener Körper beeinflußt zunächst seine Umgebung in einer für den Menschen unsichtbaren Weise. Erst dadurch entsteht in dieser Umgebung eine elektrische Kraft auf andere Körper. (Rundfunkwellen sind ein weiteres Beispiel dafür, daß es physikalische Dinge gibt, die der Mensch zwar nicht sehen, riechen, schmecken oder fühlen kann, die aber trotzdem in der Natur existieren.)

**Das elektrische Feld um einen geladenen Körper.** Als elektrisch geladenen Körper benutzen wir die Haube des Bandgenerators.

15
▼ Wir hängen elektrisch positiv geladene Kugeln aus Stanniolpapier um die Haube des Bandgenerators auf (Bild 70/3). Was geschieht, wenn die Haube elektrisch geladen wird?

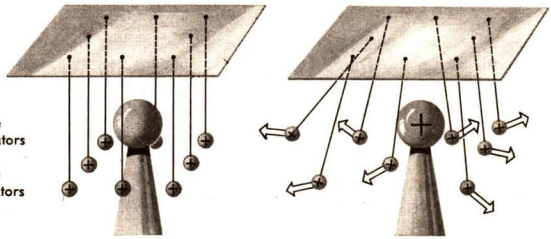


Bild 70/3 Haube des Bandgenerators ungeladen
Bild 70/4 Haube des Bandgenerators geladen

Aus der Darstellung des Experiments in den Bildern 70/3 und 70/4 ist zu erkennen:
Im Unterschied zur ungeladenen Haube des Bandgenerators beeinflußt die elektrisch geladene Haube ihre Umgebung.
Die Art dieser Beeinflussung können wir Menschen mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen. Dennoch existiert diese Erscheinung in der Natur. In der Physik bezeichnet man diese Erscheinung als *elektrisches Feld*.

▶ **Um einen elektrisch geladenen Körper besteht ein elektrisches Feld. Bringt man geladene Körper an eine beliebige Stelle dieses elektrischen Feldes, so greifen an den Körpern elektrische Kräfte an. Die Richtung dieser Kräfte hängt von der Art der elektrischen Ladungen der Körper ab.**

**Das elektrische Feld zwischen zwei geladenen Körpern.** Wir untersuchen das elektrische Feld zwischen zwei geladenen Körpern am Beispiel zweier elektrisch geladener Platten.

16
▼ Zwischen zwei elektrisch geladene Platten hängen wir eine negativ geladene Kugel (Bild 71/1). Sofort erfolgt eine Bewegung der Kugel.

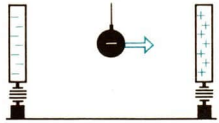


Bild 71/1 Experimentieranordnung

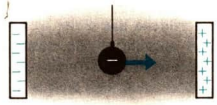


Bild 71/2 Im elektrischen Feld wirken Kräfte auf elektrische Ladungen.

Wir deuten die Beobachtung im Bild 71/2:

▶ **Zwischen zwei elektrisch geladenen Platten besteht ein elektrisches Feld.**

Das elektrische Feld stellen wir in einigen Zeichnungen durch eine graue Farbe dar (Bild 71/2). Die graue Farbe soll nur eine Gedankenhilfe sein. Sie weist uns darauf hin, daß ein elektrisches Feld existiert.

### Die Entdeckung der Elektronen

Aus verschiedenen Experimenten mit Leuchtröhren wurde etwa 1894 erkannt, daß aus verschiedenen Stoffen gleichartige kleine Teilchen herausgelöst werden können, die elektrisch negativ geladen sind. Diese Teilchen nannte man *Elektronen*. Sie haben die kleinste elektrische Ladung, die es gibt.

---

① Erkläre die Bewegung der elektrisch geladenen Kugel zwischen den Platten im Bild 71/1!

Im Jahre 1910 wurde aus weiteren Experimenten erkannt, daß Atome einen *Atomkern* haben. Diese Entdeckungen waren von großer Bedeutung für die weitere Entwicklung des Verständnisses elektrischer Vorgänge.

**Modell vom Aufbau der Atome.** Aus der Entdekkung der Elektronen und des Atomkerns entwickelte der englische Physiker Rutherford (Bild 72/1) das im Bild 72/2 dargestellte Modell vom Aufbau der Atome. ① ②



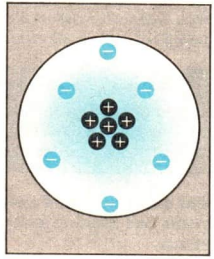


Bild 72/1 Ernest Rutherford (1871 bis 1937)
Bild 72/2 Rutherfordsches Atommodell

**Ladungstrennung.** Mit dem Modell vom Aufbau der Atome konnten die Vorgänge bei der Ladungstrennung erklärt werden: In einem elektrisch neutralen Körper ist die Anzahl der negativen elektrischen Ladungen (Elektronen) gleich der Anzahl der positiven elektrischen Ladungen. Werden zwei Stoffe wie zum Beispiel Dederon und Plast miteinander gerieben, so ist die Berührung zwischen diesen so eng, daß Elektronen von der Oberfläche des einen Stoffes auf den anderen Stoff übergehen können. Auf dem einen Stoff entsteht so ein *Elektronenmangel*. Da in diesem Stoff jetzt die positiven Ladungen überwiegen, ist er elektrisch positiv geladen. Auf dem anderen Stoff entsteht ein *Elektronenüberschuß*, der Stoff ist elektrisch negativ geladen.

**Ladungstrennungen in der Technik und in der Natur.** Ladungstrennungen kommen in der Technik häufig vor, wenn es durch Reibung zu einer engen Berührung zweier Nichtleiter kommt.

■ Beispiele hierfür sind Maschinen in Papier-, Textil- oder Plastewerken (Bild 72/3). Bei der Strömung von Benzin durch dafür nicht geeignete Schläuche oder beim Sortieren von Getreide im Luftstrom entstehen auch solche Ladungstrennungen. Durch Sicherheitsmaßnahmen wird ein Ladungsausgleich erreicht, sonst würden Funkenbildungen zu Explosionen führen. ③

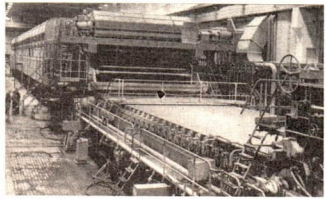


Bild 72/3 Papiermaschine. Die schnelle Bewegung des Papiers auf den Rollen führt zu Aufladungen. Durch Sicherungsmaßnahmen wird ein Ladungsausgleich erreicht.

In einigen Spannungsquellen erfolgt die Ladungstrennung durch Reibung. Beispiele hierfür sind der Bandgenerator und die Influenzmaschine.
In der Natur führen Ladungstrennungen zu Gewittern. Hier kommt es durch die Reibung zwischen Luftschichten mit verschiedenen Temperaturen und verschiedener Luftfeuchtig-

keit zur elektrischen Aufladung der Wolken. Durch den Blitz erfolgt dann der Ladungsausgleich zwischen der Erde und den Wolken oder zwischen verschiedenen Wolken.

**Freie Elektronen in Metallen.** Bei der Untersuchung der Anordnung der Atome in den verschiedenen Stoffen erkannte man:
**Metalle bestehen aus regelmäßig aufgebauten Metallkristallen.**

Die Außenelektronen der Metallatome sind so locker in der Elektronenhülle gebunden, daß sie sich leicht von Atom zu Atom verschieben lassen. Diese Elektronen sind nahezu frei beweglich (Bild 73/1). Das heißt:
**Ein Metallkristall besteht aus positiven Metall-Ionen und sehr vielen nahezu freien Elektronen.** ④

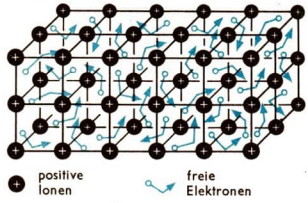
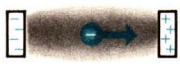
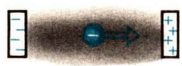


Bild 73/1 Metallkristall

Im Gegensatz zu den Metallen gibt es in elektrischen Nichtleitern nur äußerst wenig freie Elektronen.
Mit diesen Entdeckungen war der Weg frei zum Verständnis des elektrischen Stromes.

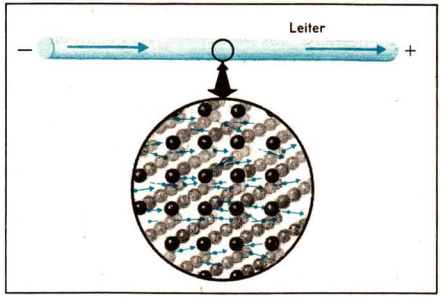
## Zusammenfassung

**Das Atom besteht aus einem elektrisch positiv geladenen Kern und einer elektrisch negativ geladenen Elektronenhülle.**
**Ein Körper ist elektrisch geladen, wenn sich die Anzahl der positiven Ladungen aller Atomkerne von der Anzahl aller Elektronen unterscheidet.**
**Ein negativ geladener Körper hat Elektronenüberschuß.**
**Ein positiv geladener Körper hat Elektronenmangel.**
**Erklärung der Bewegung geladener Körper:**

| Zwischen zwei elektrisch geladenen Platten besteht ein elektrisches Feld. | Im elektrischen Feld wirkt auf einen geladenen Körper eine elektrische Kraft. | Durch die Kraft wird der Körper in Bewegung versetzt. |
|---|---|---|
|  |  |  |

① Beschreibe nach Bild 72/2 den Aufbau eines Atoms!
② Warum ist das ganze Atom elektrisch neutral?
③ Nenne Beispiele für Ladungstrennungen durch Reibung im täglichen Leben!
④ Warum ist der gesamte Metallkristall elektrisch neutral?

Wenn wir in der Physik einen Vorgang untersuchen wollen, dann vereinfachen wir diesen Vorgang, wir benutzen ein Modell. Jedes Modell weicht durch die Vereinfachungen von der Wirklichkeit ab. Aber ohne Vereinfachungen können wir physikalische Vorgänge nicht untersuchen. Auch für den elektrischen Strom benutzen wir ein Modell. Wie stellen wir uns den elektrischen Strom vor?




## Modelle des elektrischen Stromes

Ein Modell ist eine Vereinfachung der Wirklichkeit. Bei einem Vorgang kann man unterschiedliche Vereinfachungen vornehmen. Deshalb kann man zu ein und demselben Vorgang unterschiedliche Modelle benutzen. Auch für den elektrischen Strom gibt es verschiedene Modelle.

**Vergleich mit einer Wasserströmung.** Als man noch nichts von Elektronen wußte, verglich man den Strom mit einer Wasserströmung (Bilder 74/2 und 74/3). Dabei verglich man die Spannungsquelle mit einer Wasserpumpe, den Elektromotor mit einem Wasserrad, den Schalter mit einem Wasserhahn und die Leitungen mit Rohren. Aus diesem Modell stammt auch die Bezeichnung elektrischer „Strom". Als Stromrichtung legte man die Richtung vom Pluspol zum Minuspol der Spannungsquelle fest.

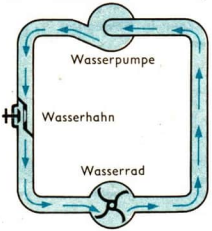



Bild 74/2 Vergleich des elektrischen Stromkreises mit einer Wasserströmung

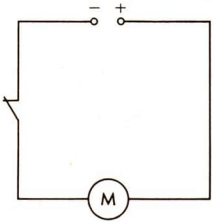



Bild 74/3 Schaltplan eines elektrischen Stromkreises

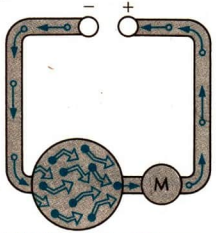



Bild 74/4 Modell der Elektronenleitung

**Das Modell der Elektronenleitung.** Zwischen zwei elektrisch geladenen Körpern besteht ein elektrisches Feld. Das gilt auch für die zwei Pole einer Spannungsquelle. Wenn wir eine Spannungsquelle in einen Stromkreis schalten, dann besteht im gesamten Stromkreis ein elektrisches Feld (Bild 74/4). In diesem elektrischen Feld wirken an jeder Stelle des Leiters auf die Elektronen Kräfte. Diese Kräfte versetzen die Elektronen in eine gerichtete Bewegung durch den Leiter. Vom Minuspol der Spannungsquelle rücken dabei ständig Elektronen in den Leiter nach, und auf der anderen Seite gelangen Elektronen aus dem Leiter in den Pluspol der Spannungsquelle. Das heißt: Durch den elektrischen Strom wird negative elektrische Ladung vom Minuspol der Spannungsquelle zum Pluspol transportiert. Dies würde zum Ladungsausgleich führen. Damit der Strom ständig fließen kann, muß deshalb in der Spannungsquelle eine ständige Ladungstrennung erfolgen.

▶ **Der elektrische Strom ist die Bewegung von elektrischen Ladungen. In metallischen Leitern ist der elektrische Strom die Bewegung von Elektronen im elektrischen Feld.**

①

Aus Bild 74/4 ist zu erkennen:

▶ **Der Elektronenfluß ist vom Minuspol zum Pluspol der Spannungsquelle gerichtet.**

In allen folgenden Bildern stellen die Strompfeile die Richtung des Elektronenflusses dar.

Obwohl auf die Elektronen im elektrischen Feld ständig eine Kraft wirkt, wird die Geschwindigkeit ihrer gerichteten Bewegung im Stromkreis nicht sehr groß. Durch die Zusammenstöße mit den Metall-Ionen werden sie immer wieder abgebremst. Als Durchschnittswert ergibt sich eine Geschwindigkeit von etwa 0,1 $\frac{mm}{s}$ bis etwa 1 $\frac{mm}{s}$. Durch diese Zusammenstöße wird auch die Bewegungsrichtung der Elektronen beeinflußt (Bild 75/1). ②



Bild 75/1 Die Richtung der Bewegung und die Geschwindigkeit jedes einzelnen Elektrons werden durch die Zusammenstöße mit den Metall-Ionen mehrfach geändert. Dennoch führt die Gesamtheit der Elektronen im Stromkreis insgesamt eine gerichtete Bewegung aus.

---

① Warum ist nach dem Modell der Elektronenleitung im Stromkreis eine Spannungsquelle erforderlich?

② Warum leuchtet eine Glühlampe sofort nach dem Einschalten auf, obwohl die Geschwindigkeit der Elektronen sehr klein ist?

## Energieumwandlungen im Stromkreis

Wir wissen bereits, daß zum Verrichten einer Arbeit Energie vorhanden sein muß. Auch der elektrische Strom verrichtet Arbeit (Bild 76/1). Woher stammt die dafür notwendige Energie?
Für die Ladungstrennung in der Spannungsquelle ist Energie erforderlich. In einer Batterie dient dazu chemische Energie, in einem Generator mechanische Energie.

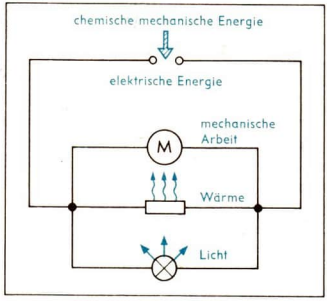



Bild 76/1 Energieumwandlung im Stromkreis

**In der Spannungsquelle wird durch Ladungstrennung chemische oder mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt.**
**Je nachdem, welche Geräte in den Stromkreis eingeschaltet werden, dient die elektrische Energie zur Abgabe von Wärme, zur Ausstrahlung von Licht oder zum Verrichten von mechanischer Arbeit.** ①

## Zusammenfassung

**Am Pluspol einer Spannungsquelle besteht Elektronenmangel, am Minuspol besteht Elektronenüberschuß. Zwischen den Polen einer Spannungsquelle besteht ein elektrisches Feld. In metallischen Leitern ist der elektrische Strom die gerichtete Bewegung von Elektronen im elektrischen Feld.**

① Lichtmaschine, Akkumulator, Notstromaggregat, Monozelle und Fahrraddynamo sind Spannungsquellen. Ordne diese danach, ob zur Ladungstrennung chemische oder mechanische Energie dient!

Um die Gesetze des elektrischen Stromes finden und anwenden zu können, wollen wir Messungen durchführen und auswerten. In der Mechanik messen wir solche Größen wie Masse, Kraft, Weg und Zeit, in der Elektrizitätslehre werden wir häufig die *elektrische Stromstärke* oder kurz die *Stromstärke* messen. Was können wir uns unter der Stromstärke vorstellen?



## Physikalische Bedeutung der Stromstärke

Wir vergleichen im Bild 77/2 den elektrischen Strom zunächst mit der Strömung von Wasser. Durch die Öffnungen der zwei Wasserrohre mit gleichem Querschnitt fließt in einer bestimmten Zeit unterschiedlich viel Wasser. Die Stärke der Wasserströmung in den zwei Rohren können wir durch die in einer Sekunde durch den Querschnitt der Rohre fließenden Wassermengen angeben.

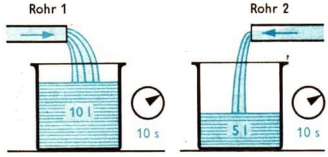



Bild 77/2 Vergleich des elektrischen Stromes mit der Strömung von Wasser

Wir betrachten jetzt den elektrischen Strom (Bild 77/3).

▶ **Die Stromstärke gibt an, wieviel elektrische Ladung in einer Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließt.**

Die Stromstärke können wir im Modell der Elektronenleitung so deuten (Bild 77/4): Die Stromstärke ist um so größer, je mehr Elektronen in einer Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließen.




Bild 77/3 Der elektrische Strom ist die Bewegung von elektrischen Ladungen.

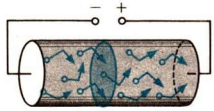



Bild 77/4 Elektronenfluß durch den Querschnitt des Leiters

**Formelzeichen und Einheit der Stromstärke.** Das Formelzeichen für die Stromstärke ist *I*. Als Einheit der Stromstärke wurde international **ein Ampere (1 A)** festgelegt. Damit werden die Leistungen des französischen Physikers André-Marie Ampère (Bild 78/1) für die Entwicklung der Elektrizitätslehre gewürdigt. Als Teil der Einheit wird auch ein Milliampere (1 mA) benutzt.



Bild 78/1 André-Marie Ampère (1775 bis 1836)

Es gilt:
**1 A = 1 000 mA**
**1 mA = 0,001 A**

■ 0,3 A = 300 mA
27 mA = 0,027 A ②③

*Einige in Natur und Technik vorkommende Stromstärken*

| Elektronische Bauelemente | Haushaltgeräte | Industrie und Verkehr | Blitz |
|---|---|---|---|
| etwa 0,001 mA bis etwa 50 mA | etwa 0,1 A bis etwa 10 A | etwa 10 A bis über 100 000 A | 10 000 A bis 100 000 A |

### Messen der Stromstärke

Um die physikalischen Gesetze für die Stromstärke erkennen zu können, müssen wir die Stromstärke messen. Dazu dienen **Strommesser.** In ihnen wird die magnetische Wirkung des Stromes ausgenutzt. In Schaltplänen werden Strommesser durch das Schaltzeichen im Bild 78/2 a dargestellt.

Die *Schaltung des Strommessers* erfolgt so, daß das Meßgerät von dem zu messenden Strom durchflossen wird (Bild 78/2 b).

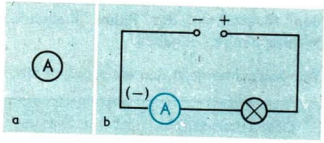
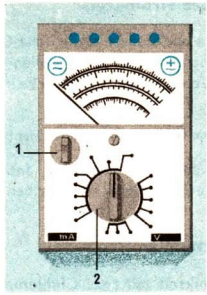



Bild 78/2 a) Schaltzeichen für Strommesser
b) Strommesser werden in Reihe geschaltet

**Bedienungsanleitung für das Schülermeßgerät.** Zum Messen der Stromstärke wird das Polytest 1 (Bild 79/1) wie folgt benutzt:

1. Einstellen der Stromart (Schalter 1)
2. Einstellen des größten Meßbereiches von 1 000 mA (Schalter 2)
3. Einbauen des Meßgerätes in den Stromkreis (Bild 79/2). (Bei Gleichstrom ist darauf zu achten, daß die am Meßgerät mit (≃) gekennzeichnete linke Buchse stets mit dem Minuspol (–) des Stromversorgungsgerätes verbunden ist.)
4. Einstellen des günstigsten Meßbereiches (Schalter 2)
5. Ablesen des Anzeigewertes
6. Bestimmen des Meßwertes aus dem Anzeigewert

Um den Einfluß des Fehlers des Meßgerätes auf die Messung möglichst klein zu halten, ist der Meßbereich nach Einschalten des Stromes so lange zu verkleinern, bis sich der Zeiger nicht mehr im ersten Drittel der Skale befindet.



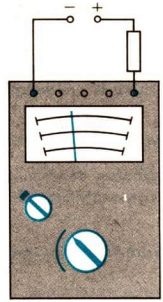




Bild 79/1 Schalter zum Einstellen der Stromart und des Meßbereiches am Schülermeßgerät
Bild 79/2 Einbauen des Polytest1 in einen Stromkreis

Im folgenden Schülerexperiment üben wir das Messen der Stromstärke.

17

**Aufgabe**
Miß die Stromstärke in zwei Stromkreisen!

**Vorbereitung**
1. Entwirf einen Schaltplan zum Messen der Stromstärke in einem Stromkreis mit einem Bauelement!
2. Bereite die folgende Tabelle vor!

| Bauelement | Buchsenkombination | Meßbereich | Meßwert |
|---|---|---|---|
| Widerstand | 2–12<br>8–12 | | |
| Spule | 2–12<br>0–3 | | |

**Durchführung**
1. Baue den Stromkreis mit dem Widerstand nach dem Schaltplan auf! Laß die Schaltung vom Lehrer kontrollieren!
2. Führe die Messungen bei den angegebenen Buchsenkombinationen durch!
3. Wechsle den Widerstand gegen die Spule aus und wiederhole die Messungen!

---

① Wie würde sich die Stromstärke ändern, wenn die Geschwindigkeit der Elektronen a) verdoppelt und b) auf die Hälfte verkleinert würde?

② Gib die folgenden Stromstärken in der Einheit A an: a) 270 mA, b) 60 mA, c) 5 mA!

③ Gib die folgenden Stromstärken in der Einheit mA an: a) 3 A, b) 0,5 A, c) 0,08 A!

④ Welche Meßwerte zeigt der im Bild 79/3 dargestellte Strommesser bei den Zeigerstellungen a bis d an? Der Meßbereich beträgt 300 mA. Gib die Meßwerte in mA und in A an!

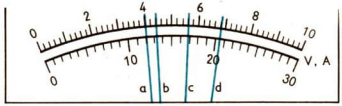



Bild 79/3

⑤ Welche Meßwerte zeigen die Strommesser im Bild 79/3 an, wenn der Meßbereich 1 000 mA beträgt? Gib die Ergebnisse in mA und in A an!

## Die Stromstärke im einfachen Stromkreis

Manchmal werden Glühlampen und andere elektrische Geräte als „Stromverbraucher" bezeichnet. In dem folgenden Schülerexperiment wollen wir untersuchen, ob das physikalisch richtig ist und welches Gesetz für die Stromstärke im einfachen Stromkreis gilt.

18 ▼ **Aufgabe**
Miß und vergleiche die Stromstärke vor und hinter einer Glühlampe!

Die Ergebnisse des Schülerexperiments bestätigen das in der Zusammenfassung (↗ Seite 82) genannte Gesetz für die Stromstärke im einfachen Stromkreis. ①

## Die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis

Für einen unverzweigten Stromkreis mit zwei Glühlampen wollen wir folgende Frage untersuchen: Ist der elektrische Strom hinter der zweiten Glühlampe schwächer als hinter der ersten?

**Ableiten einer Voraussage.** Zur Untersuchung dieser Frage kann die Stromstärke an verschiedenen Stellen im Stromkreis gemessen werden. Die Meßwerte bezeichnen wir mit $I_1$, $I_2$ und $I_3$ (Bild 80/1). Bevor wir messen, wollen wir aus dem Modell der Elektronenleitung eine Voraussage über die Stromstärke an den verschiedenen Stellen eines unverzweigten Stromkreises ableiten (Bild 80/2):
Im unverzweigten Stromkreis fließen die Elektronen durch jeden Teil des Stromkreises. An keiner Stelle gehen Elektronen verloren, und an keiner Stelle kommen Elektronen hinzu. Daher müßte die Anzahl der Elektronen, die je Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließen, an allen Stellen des unverzweigten Stromkreises gleich sein.
Das heißt:
*Die Stromstärke müßte im unverzweigten Stromkreis an allen Stellen gleich groß sein.* ②

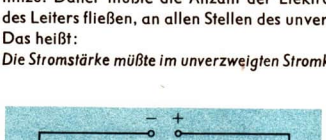


Bild 80/1

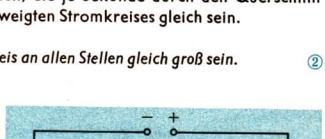


Bild 80/2

**Experimentelle Prüfung der Voraussage.** Zur Prüfung der Voraussage führen wir folgende Messungen durch:

19 ▼ Wir messen nach Bild 80/1 an verschiedenen Stellen eines unverzweigten Stromkreises die Stromstärke.

**Formulierung des Gesetzes.** Die Ergebnisse der Messungen bestätigen die Voraussage. Auch Messungen in anderen unverzweigten Stromkreisen führen immer wieder zu denselben Ergebnissen.

Es gilt das Gesetz:

**In einem unverzweigten Stromkreis ist die Stromstärke an allen Stellen gleich.**

### Die Stromstärke im verzweigten Stromkreis

Wird das eben erkannte Gesetz auch für die elektrische Stromstärke in einem verzweigten Stromkreis gelten?

**Ableiten einer Voraussage.** Die vom Verzweigungspunkt A von der Spannungsquelle zufließenden Elektronen verzweigen sich im Punkt A in zwei Teilströme mit den Stromstärken $I_1$ bzw. $I_2$ (Bild 81/1). Im Punkt B vereinigen sich die zwei Teilströme wieder zu dem Gesamtstrom mit der Stromstärke $I$.

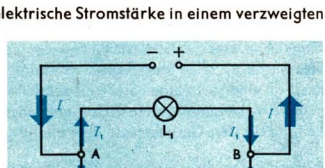



Bild 81/1

Für jeden der zwei Verzweigungspunkte A und B gilt: Die Anzahl der einem Verzweigungspunkt in einer Sekunde zufließenden Elektronen muß gleich der Anzahl der in einer Sekunde abfließenden Elektronen sein. Das heißt: *Die Gesamtstromstärke $I$ müßte die Summe aus den Stromstärken $I_1$ und $I_2$ der zwei Teilströme sein.*

**Experimentelle Prüfung der Voraussage.** Diese Prüfung führen wir ebenfalls im Schülerexperiment durch.

20

**Aufgabe**

**Überprüfe die Voraussage, daß im verzweigten Stromkreis die Gesamtstromstärke gleich der Summe aus den Stromstärken der zwei Teilströme ist!**
**(Hinweis: Beachte beim Aufbau des Stromkreises nach Bild 81/2 die Polarität am Meßgerät!)**

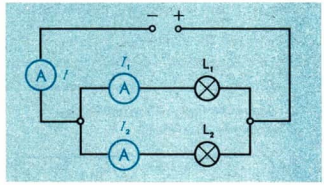



Bild 81/2

**Formulierung des Gesetzes.** Die Ergebnisse der Messungen bestätigen die Voraussage. Auch Messungen in anderen verzweigten Stromkreisen führen immer wieder zu denselben Ergebnissen.

---

① **Warum ist es besser, die Messungen der Stromstärke an zwei Stellen eines Stromkreises nacheinander mit einunddemselben Meßgerät anstatt gleichzeitig mit zwei verschiedenen Meßgeräten durchzuführen?**

② **Warum kann dieselbe Voraussage auch aus dem Ergebnis des Schülerexperimentes 18 abgeleitet werden?**

Es gilt das Gesetz:

**In einem verzweigten Stromkreis ist die Gesamtstromstärke gleich der Summe aus den Stromstärken der Teilströme.**

### Anwendungen der Gesetze für die Stromstärke

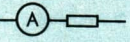
**Schaltung von Sicherungen.** Sicherungen dienen zum Schutz von Leitungen und Geräten vor zu großen Stromstärken. Beim Überschreiten der zulässigen Stromstärke schmilzt in einer Schmelzsicherung der Draht. Da die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis an allen Stellen gleich ist, kann die Sicherung in einem unverzweigten Stromkreis an einer beliebigen Stelle eingebaut werden. In einem verzweigten Stromkreis wird in jede Verzweigung eine Sicherung eingebaut. Häufig befindet sich zusätzlich in der Leitung für den Gesamtstrom eine Hauptsicherung.

**Auswahl der Querschnitte für Leitungen.** In verzweigten Stromkreisen werden für die Leitungen, in denen der Gesamtstrom fließt, häufig dickere Kabel ausgewählt als für jene Leitungen, in denen jeweils nur ein Teilstrom fließt.

### Zusammenfassung

**Die Stromstärke gibt an, wieviel elektrische Ladung in einer Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließt.**
**Formelzeichen: $I$** **Einheit: 1 A (und 1 mA)**

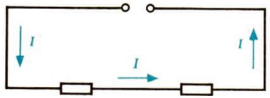
**Meßgerät: Strommesser**



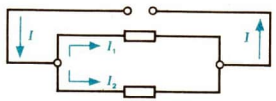

**Strommesser werden in Reihe geschaltet.**

**Gesetze für die Stromstärke:**
**Im einfachen Stromkreis ist die Stromstärke an allen Stellen gleich.**

**Unverzweigter Stromkreis**
**Stromstärke gleich**




**Verzweigter Stromkreis**
$I = I_1 + I_2$




① Schreibe das Gesetz für die Stromstärke im verzweigten Stromkreis als Gleichung!
② Wie heißt die Gleichung für die Stromstärke im verzweigten Stromkreis, wenn wir drei Lampen parallel schalten? Zeichne den Schaltplan der Experimentieranordnung, mit der die Gleichung überprüft werden kann!

An Freileitungsmasten, Transformatorenhäuschen oder Schaltkästen hast du schon einmal diese Warntafel gesehen. Hier ist besondere Vorsicht geboten. Unter Freileitungen darf man zum Beispiel keine Drachen fliegen lassen! Was können wir uns unter der *elektrischen Spannung* oder kurz unter *Spannung* vorstellen?




## Physikalische Bedeutung der Spannung

Wir vergleichen im Bild 83/2 den elektrischen Strom zunächst mit der Strömung von Wasser. Aus dem Abflußrohr auf der Baustelle strömt in jeder Sekunde genausoviel Wasser wie aus der Spritze der Feuerwehr. Dennoch unterscheiden sich beide Wasserströmungen: Das Wasser hat in den zwei Rohren durch die verschiedenen Pumpen einen unterschiedlich großen Antrieb.

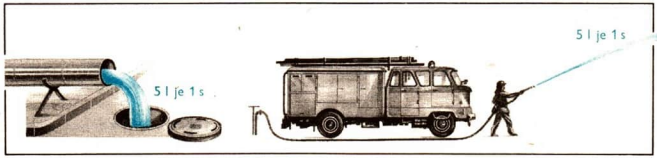



**Bild 83/2** Das Wasser im Feuerwehrschlauch hat einen größeren Antrieb als das Wasser im Abflußrohr.

Wir betrachten jetzt wieder den elektrischen Strom: Im Bild 83/3 leuchten die Lampen trotz gleicher Stromstärke dennoch unterschiedlich hell.

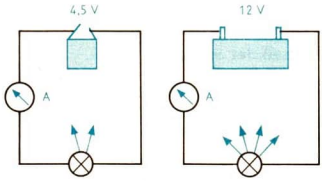



**Bild 83/3** Trotz gleicher Stromstärke leuchtet die an die Autobatterie angeschlossene Lampe heller als die an die Flachbatterie angeschlossene Lampe.

Der Strom erhält von verschiedenen Spannungsquellen einen unterschiedlich großen Antrieb.

**Die Spannung einer Spannungsquelle gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stromes durch die Spannungsquelle ist.**

Die Spannung einer Spannungsquelle können wir im Modell der Elektronenleitung so deuten: Die Spannung zwischen den zwei Polen einer Spannungsquelle ist um so größer, je stärker das elektrische Feld ist und je stärker demzufolge die Elektronen durch das elektrische Feld angetrieben werden.

**Formelzeichen und Einheit der Spannung.** Das Formelzeichen für die Spannung ist *U*. Als Einheit der Spannung wurde international **ein Volt (1 V)** festgelegt. Damit werden die Leistungen von Alessandro Volta bei der Entwicklung von Spannungsquellen gewürdigt.
Eine Spannung von 1 V entspricht etwa der Spannung, die Volta mit den von ihm gefundenen Spannungsquellen erreichte (↗ Bild 69/2).
Manchmal wird auch das Vielfache der Einheit benutzt: ein Kilovolt (1 kV).

Es gilt:

**1 kV = 1 000 V** ■ 380 kV = 380 000 V

*Einige in Natur und Technik vorkommende Spannungen*

| **Batterien/Akkumulatoren** | | **Generatoren** | |
|---|---|---|---|
| Knopfzelle | 1,35 V | Fahrraddynamo bis | 6 V |
| Monozelle | 1,5 V | Lichtmaschine im Pkw | 12 V |
| Batterie für Pkw | 12 V | Generator im Kraftwerk | 15 000 V |
| Blitz | mehrere 100 000 V | Zitteraal | 800 V |

① ②

Bei der Auswahl von Spannungsquellen muß man nicht nur auf deren Spannung achten. Ebenso wichtig ist es zu wissen, wie groß die Stromstärke ist, die mit einer Spannungsquelle erreichbar ist. So ist das Experimentieren mit dem Bandgenerator trotz einer Spannung von etwa 80 000 V ungefährlich, da nur eine Stromstärke von etwa 0,01 mA erreichbar ist.

### Messen der Spannung

Zum Messen der Spannung dienen *Spannungsmesser*. In Schaltplänen werden sie durch das Schaltzeichen im Bild 84/1 dargestellt.




**Bild 84/1 Schaltzeichen für Spannungsmesser**

Zum Messen der Spannung einer Spannungsquelle wird der Spannungsmesser an die zwei Pole der Spannungsquelle angeschlossen (Bild 85/1). Das Schülermeßgerät Polytest 1 ist ein Vielfachmeßgerät, es kann auch zum Messen von Spannungen benutzt werden.
Im folgenden Schülerexperiment üben wir das Messen von Spannungen. Hierbei achten wir bei der Wahl der Meßbereiche wieder darauf, daß sich der Zeiger nicht mehr im ersten Drittel der Skale befindet.

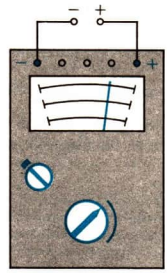


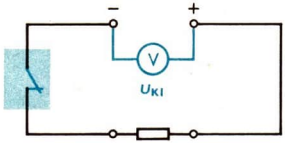

Bild 85/1 Anschluß des Polytest 1 zur Spannungsmessung

21 **Aufgabe**
**Miß nach Bild 85/1 die elektrische Spannung zwischen den Polen des Stromversorgungsgerätes für die folgenden Buchsenkombinationen: 0 — 8, 2 — 8, 8 — 12!**

## Klemmenspannung und Leerlaufspannung

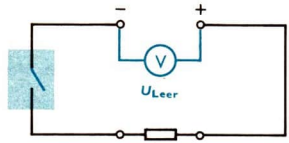
Bei Spannungsquellen unterscheidet man zwischen der Klemmenspannung $U_{Kl}$ und der Leerlaufspannung $U_{Leer}$:

**Klemmenspannung $U_{Kl}$**




Als Klemmenspannung bezeichnet man die Spannung zwischen den Polen einer Spannungsquelle, an die ein geschlossener Stromkreis angeschlossen ist.

**Leerlaufspannung $U_{Leer}$**




Als Leerlaufspannung bezeichnet man die Spannung zwischen den Polen einer Spannungsquelle, an die kein Stromkreis oder nur ein offener Stromkreis angeschlossen ist.

Aus Messungen können wir folgende Zusammenhänge erkennen:

**Die Klemmenspannung ist kleiner als die Leerlaufspannung: $U_{Kl} < U_{Leer}$.**
**Die Klemmenspannung wird um so niedriger, je größer die Stromstärke im Stromkreis wird.**

① Erkundige dich, welche Spannungen haben: a) die im Handel angebotenen Batterien, b) die Lichtmaschine eines Mopeds, c) die Batterie eines Motorrades und d) die Lichtmaschine an einem Reisewagen der Deutschen Reichsbahn!

② Wie groß ist die Spannung an den Maschinen, die du aus der produktiven Arbeit kennst? Begründe den Unterschied zu der Spannung an elektrischen Haushaltgeräten!

22 **Aufgabe**
Vergleiche für die Buchsenkombination 2 — 8 am Stromversorgungsgerät die Leerlaufspannung und die Klemmenspannung bei Anschluß einer Glühlampe! (Beachte die Polarität am Meßgerät!)

## Die Spannung im einfachen Stromkreis

Auch zwischen den zwei Anschlußkontakten eines an eine Spannungsquelle angeschlossenen Bauelements kann eine Spannung gemessen werden (Bild 86/1).

23 **Aufgabe**
Vergleiche im einfachen Stromkreis (Bild 86/1) für verschiedene Buchsenkombinationen des Schülerstromversorgungsgeräts die Klemmenspannung $U_{Kl}$ an der Spannungsquelle und die Spannung $U$ zwischen den Anschlußkontakten der Glühlampe! Benutze die Buchsenkombinationen: 2—8, 3—8 und 8—12!
(Beachte die Polarität am Meßgerät!)

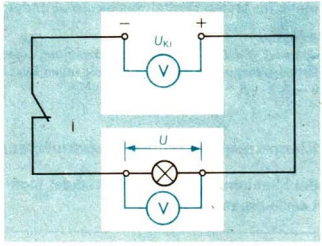


Bild 86/1

Das Ergebnis des Schülerexperimentes bestätigt das in der Zusammenfassung (↗ S. 90) genannte Gesetz für die Spannung im einfachen Stromkreis.
Beachte: Bei geschlossenen Stromkreisen wird die Klemmenspannung häufig einfach Spannung $U$ genannt.

## Die Spannung im unverzweigten Stromkreis

Bei einer elektrischen Weihnachtsbaumbeleuchtung sind 10 Glühlampen in Reihe geschaltet. Jede Lampe ist für eine Betriebsspannung von 22 V hergestellt. Warum kann man die Weihnachtsbaumbeleuchtung dennoch an eine Spannung von 220 V anschließen?

24 **Aufgabe**
Suche einen Zusammenhang zwischen den Spannungen $U$, $U_1$ und $U_2$ in dem im Bild 86/2 dargestellten unverzweigten Stromkreis!

**Vorbereitung**
Um den Zusammenhang zwischen den Spannungen $U$, $U_1$ und $U_2$ erkennen zu können, überlegen wir uns, wie wir die drei Spannungen messen können. Entwirf den Schaltplan!

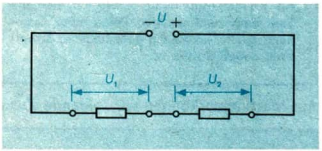


Bild 86/2

**Durchführung**
1. Baue den Stromkreis nach dem Schaltplan auf!
2. Miß die drei Spannungen! (Hinweis: Beachte die Polarität am Meßgerät!)
3. Notiere die Meßwerte im Schaltplan!

**Auswertung**
Aus deinen Meßwerten kannst du einen Zusammenhang zwischen $U$, $U_1$ und $U_2$ erkennen. Formuliere diesen Zusammenhang als Gleichung!

Das Ergebnis des Schülerexperimentes bestätigt das in der Zusammenfassung (↗ S. 90) genannte Gesetz für die Spannung im unverzweigten Stromkreis. ①

## Die Spannung im verzweigten Stromkreis

Im folgenden Experiment wollen wir für einen verzweigten Stromkreis einen Zusammenhang zwischen der Spannung $U$ an der Spannungsquelle und den Spannungen $U_1$ und $U_2$ an den parallel geschalteten Bauelementen suchen.

25 ▼ **Bei verschiedenen Spannungen $U$ an der Spannungsquelle messen wir die Spannungen $U_1$ und $U_2$ an den Bauelementen (Bild 87/1).**

Aus den Messungen können wir einen Zusammenhang zwischen den Spannungen $U$, $U_1$ und $U_2$ erkennen, der sich auch bei anderen verzweigten Stromkreisen mit anderen Spannungsquellen und mit anderen Bauelementen immer wiederholt. Es gilt das in der Zusammenfassung (↗ S. 90) genannte Gesetz für die Spannung im verzweigten Stromkreis. ②

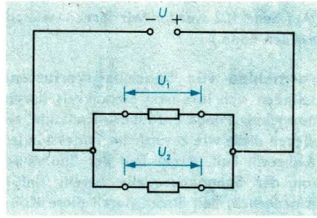


Bild 87/1

## Anwendungen der Gesetze für die Spannung

**Erzeugen von Teilspannungen durch Reihenschaltung.** Wollen wir ein elektrisches Gerät an eine Spannungsquelle anschließen, so muß die Klemmenspannung mit der für das Gerät angegebenen Betriebsspannung übereinstimmen. Deshalb können wir einen Reisetauchsieder (220 V) nicht mit einer Batterie für einen Pkw betreiben. Wir können auch eine 6 V-Lampe nicht an eine 9 V-Batterie anschließen.

Wenn die Spannung der Spannungsquelle zu groß ist, können wir uns jedoch durch das Erzeugen von Teilspannungen helfen. Wir schalten zu der Lampe noch einen geeigneten Widerstand in Reihe (Bild 87/2).

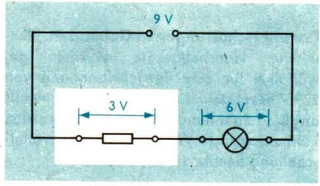


**Bild 87/2 Durch Erzeugen einer Teilspannung kann eine 6 V-Lampe an eine 9 V-Batterie angeschlossen werden.**

① **Wie heißt das Gesetz für die Spannung, wenn man drei Bauelemente in Reihe schaltet? Begründe deine Antwort!**

② **Welche der vier Spannungsmesser müßten im Bild 87/3 jeweils die gleiche Spannung anzeigen?**

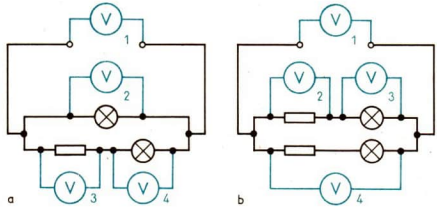


Bild 87/3

Einen solchen Widerstand nennt man *Vorwiderstand*. Dadurch wird die Spannung der Spannungsquelle so auf die zwei Teilspannungen am Vorwiderstand und an der Lampe aufgeteilt, daß an der Lampe die richtige Betriebsspannung (6 V) anliegt. Diese Aufteilung erfolgt nach der Gleichung:

$$U_{\text{Batterie}} = U_{\text{Vorwiderstand}} + U_{\text{Lampe}}$$ ① ②

(Auf Seite 102 werden wir lernen, wie solch ein zusätzlicher Vorwiderstand berechnet werden kann.)

**Vermeiden von Spannungsverlusten.** Befinden sich in einem Stromkreis durch mangelnde Pflege unsaubere Kontakte, so wirken diese wie zusätzliche Widerstände. In diesem Fall ist ein Teil der Spannung von der Spannungsquelle bereits dafür erforderlich, den Strom durch diese Kontakte hindurch anzutreiben (Bild 88/1).

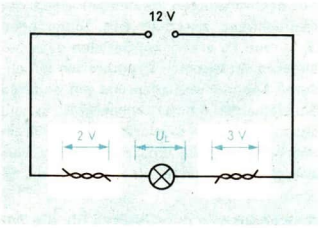



Bild 88/1 Spannungsverluste durch unsaubere Kontakte

Für die Lampe oder für ein anderes Gerät steht dann nicht mehr die Betriebsspannung zur Verfügung. Die Lampe leuchtet nur schwach.
Für die Spannung an der Lampe gilt dann:

$$U_{\text{Lampe}} = U_{\text{Batterie}} - U_{\text{Kontakt}_1} - U_{\text{Kontakt}_2}.$$

Spannungsverluste können auch auftreten, wenn man unnötig lange Kabel benutzt. ③ ④ ⑤

**Parallelschaltungen in Gebäuden.** Elektrische Haushaltgeräte werden gewöhnlich für eine Betriebsspannung von 220 V hergestellt. Damit alle Geräte jeweils an diese Spannung angeschlossen werden können, wird in Wohnungen die Parallelschaltung benutzt (Bild 88/2).

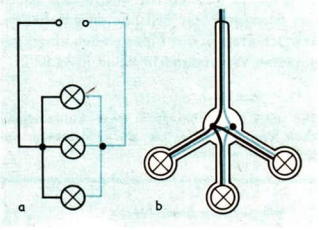



Bild 88/2 a) Schaltplan für drei Glühlampen in einer Hängelampe
b) Ausführung der Parallelschaltung in der Lampe

## Ohmsches Gesetz

In verschiedenen Experimenten haben wir bereits beobachtet, daß sich in einem Stromkreis bei einer Änderung der Spannung auch die Stromstärke ändert. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Stromstärke und der Spannung?

26

**Aufgabe**
Suche einen Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung!

**Vorbereitung**

Da wir den Zusammenhang zwischen der Stromstärke und der Spannung suchen, müssen wir uns eine Experimentieranordnung ausdenken, mit der wir diese zwei physikalischen Größen messen können. Als Bauelement benutzen wir einen Widerstand, eine Spule oder einen Konstantandraht. Entwirf den Schaltplan!

**Durchführung**

1. Baue die Experimentieranordnung nach dem Schaltplan auf!
2. Miß jeweils die Stromstärke bei einer Spannung von 2 V, 4 V und 6 V! (Hinweis: Beachte die Polarität am Meßgerät!)

**Auswertung**

Stelle deine Meßwerte wie im Bild 89/1 auf Millimeterpapier in einem Stromstärke-Spannung-Diagramm grafisch dar!

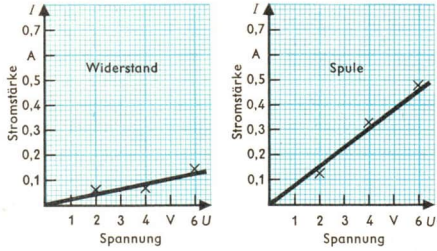



Bild 89/1 Stromstärke-Spannung-Diagramme für Widerstand und Spule

Aus den Meßwerten und aus den Diagrammen im Bild 89/1 können wir erkennen:

Die Stromstärke ist der Spannung proportional: $I \sim U$. Das heißt: Wird die Spannung verdoppelt, so wird auch die Stromstärke doppelt so groß. Wird die Spannung verdreifacht, so wird auch die Stromstärke dreimal so groß.

Dieses Gesetz hat erstmals der deutsche Physiker Georg Simon Ohm (Bild 89/2) entdeckt. Er hat auch erkannt: Dieses Gesetz gilt nur unter der Bedingung, daß die Temperatur des Leiters konstant ist. Ihm zu Ehren nennt man dieses Gesetz **Ohmsches Gesetz**.



Bild 89/2 Georg Simon Ohm (1789 bis 1854)

▶ **Bei konstanter Temperatur eines Leiters gilt: Die Stromstärke ist der Spannung proportional ($I \sim U$).**

---

① Kann man durch die Erzeugung einer Teilspannung auch einen Rasierapparat mit einer Autobatterie betreiben?
② Kann man zwei gleiche 6 V-Glühlampen an eine Auto-Batterie von 12 V anschließen? Wie muß man sie schalten?
③ Wie groß ist die Spannung $U_L$ im Bild 88/1?
④ Wie schützt man sich bei Kraftfahrzeugen vor Spannungsverlusten an Kontakten?
⑤ Für den Anschluß einer Lampe an eine Steckdose benutzt man bei einem Gartenfest vier Verlängerungskabel. Abends hat man den Eindruck, daß die Glühlampe nicht so hell leuchtet wie sonst im Zimmer. Kann das sein? Begründe deine Antwort!

Ohm formulierte dieses Gesetz 1826 nach jahrelanger Arbeit. Er war damals Lehrer in Köln. Seine großartige Leistung gilt es auch heute noch zu würdigen: Ohm hatte noch keine Meßgeräte und Spannungsquellen wie wir. Ihm stand auch nur wenig Geld zur Verfügung. Aber dennoch führte er mit seinen – aus heutiger Sicht – primitiven experimentellen Mitteln klug erdachte physikalische Untersuchungen mit großer Genauigkeit durch.

## Zusammenfassung

**Die Spannung einer Spannungsquelle gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stromes durch die Spannungsquelle ist.**

**Formelzeichen: $U$** **Einheit: 1 V (und 1 kV)**

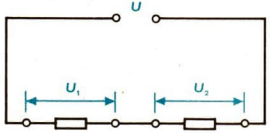
**Meßgerät: Spannungsmesser**



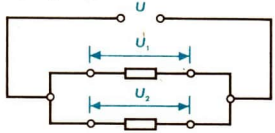

**Spannungsmesser werden parallel geschaltet.**

**Gesetze für die Spannung:**
**Im einfachen Stromkreis ist die Spannung am Bauelement gleich der Klemmenspannung.**
**Die Klemmenspannung ist kleiner als die Leerlaufspannung.**

**Unverzweigter Stromkreis**
$U = U_1 + U_2$




**Verzweigter Stromkreis**
$U = U_1 = U_2$



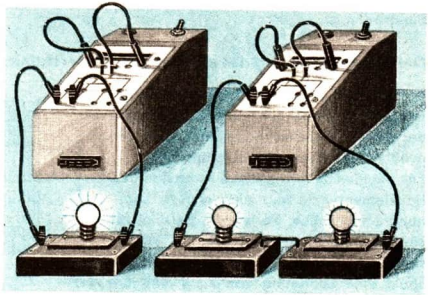

**Ohmsches Gesetz:**
**Bei konstanter Temperatur eines Leiters gilt:**
**Die Stromstärke ist der Spannung proportional ($I \sim U$).**

---

① An zwei metallischen Leitern wurden die folgenden Werte gemessen. Ergänze jeweils die fehlenden Werte!

| Leiter 1 | | Leiter 2 | |
|---|---|---|---|
| **$U$ in V** | **$I$ in A** | **$U$ in V** | **$I$ in A** |
| 20 | 0,4 | 20 | 0,4 |
| 40 | ... | 5 | ... |
| ... | 1,2 | ... | 0,2 |
| ... | 2,0 | ... | 0,3 |

Schaltet man immer mehr Glühlampen in Reihe, so leuchten sie immer schwächer. Durch jede weitere Lampe wird der Stromfluß im Stromkreis noch mehr behindert. In der Physik benutzt man hierfür das Wort *elektrischer Widerstand*. Wie kommt der elektrische Widerstand zustande?



## Physikalische Bedeutung des elektrischen Widerstandes

Wir vergleichen im Bild 91/2 zunächst den elektrischen Strom mit der Strömung von Wasser. Das Fließen eines Baches wird durch das Einbauen von Röhren behindert. Die Behinderung der Strömung des Wassers ist in verschiedenen Röhren unterschiedlich groß.

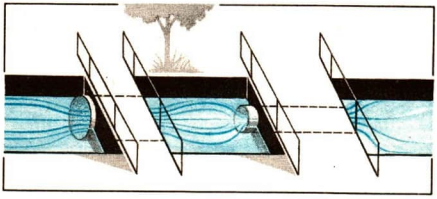


Bild 91/2 In Röhren wird das Fließen des Wassers behindert.

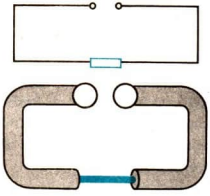


Bild 91/3 Der Querschnitt des Drahtes in einem Bauelement ist kleiner als der Querschnitt der Verbindungskabel.

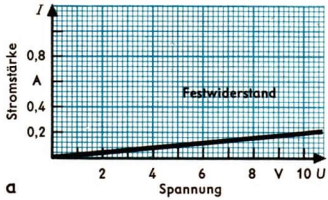
Wir betrachten jetzt wieder den elektrischen Strom: Durch das Ein bauen eines Bauelementes in den Stromkreis wird das Fließen des elektrischen Stromes mehr oder weniger behindert (Bild 91/3).

▶ **Der elektrische Widerstand eines Bauelementes gibt an, wie groß die Behinderung des Stromes in ihm ist.**

Den elektrischen Widerstand können wir im Modell der Elektronenleitung so deuten: Durch die ständigen Zusammenstöße der Elektronen mit den Ionen im Metallkristall wird die Bewegung der Elektronen behindert (Bild 77/4). Der elektrische Widerstand eines Bauelementes ist um so größer, je größer die Behinderung der Bewegung der Elektronen ist.

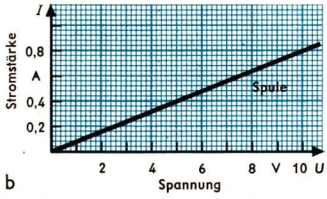
### Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes

Im Bild 92/1 sind die Stromstärke-Spannung-Diagramme für drei Bauelemente dargestellt. Welches Bauelement hat den größten elektrischen Widerstand?
Für die gleiche Stromstärke ist an den drei Bauelementen jeweils eine andere Spannung erforderlich. So ist zum Beispiel für eine Stromstärke von 0,2 A am Widerstand eine Spannung von 10,4 V, an der Spule eine Spannung von 2,5 V und am Konstantandraht eine Spannung von 1,3 V erforderlich. ①

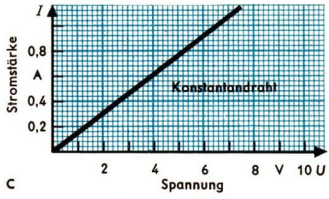


a

Bild 92/1 Stromstärke-Spannung-Diagramme für Widerstand, Spule und Konstantandraht

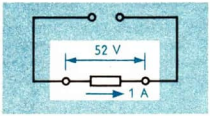


b

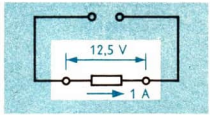


c

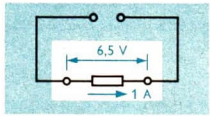
Der elektrische Widerstand eines Bauelementes ist um so größer, je größer die Spannung sein muß, damit eine bestimmte Stromstärke erreicht wird. Die zahlenmäßige Angabe des elektrischen Widerstandes kann daher sehr einfach erfolgen: Der elektrische Widerstand wird zahlenmäßig durch die je 1 A Stromstärke erforderliche Spannung angegeben (Bild 92/2).



a) Widerstand



b) Spule



c) Konstantandraht

Bild 92/2

Zur Angabe des elektrischen Widerstandes hat man daher die *Definitionsgleichung* festgelegt:

$$\textbf{elektrischer Widerstand} = \frac{\textbf{Spannung am Bauelement}}{\textbf{Stromstärke im Bauelement}}$$

Bezeichnen wir den Widerstand mit dem *Formelzeichen R*, so können wir diese Gleichung auch so schreiben:

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

**Einheit des Widerstandes.** Bei der Berechnung des Widerstandes ergibt sich die Einheit $1\,\frac{V}{A}$. Hierfür wurde international die Einheit **ein Ohm (1 Ω)** festgelegt. Die Einheit Ohm wird durch den griechischen Buchstaben Omega Ω abgekürzt. Im Zusammenhang mit der Angabe von Widerständen lesen wir diesen Buchstaben als „Ohm".

Es gilt:

$1\,\frac{V}{A} = 1\,\Omega$ ■ $52\,\frac{V}{A} = 52\,\Omega$ ②

Mit dieser Bezeichnung der Einheit des elektrischen Widerstandes werden die Leistungen von Ohm bei der Entdeckung des Zusammenhanges zwischen der Stromstärke und der Spannung gewürdigt.

Ein Leiter hat einen elektrischen Widerstand von 1 Ω, wenn bei einer Spannung von 1 V ein Strom der Stärke 1 A fließt (Bild 93/1). Ein Ohm ist eine sehr kleine Einheit. Deshalb benutzt man häufig die Vielfachen der Einheit: ein Kiloohm (1 kΩ) oder ein Megaohm (1 MΩ).

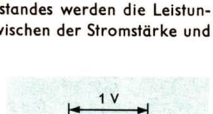


Bild 93/1

Es gilt:

**1 kΩ = 1 000 Ω**
**1 MΩ = 1 000 000 Ω**

■ 20 kΩ = 20 000 Ω
50 MΩ = 50 000 000 Ω

**Meßgerät.** Der elektrische Widerstand eines Bauelementes kann mit einem *Widerstandsmesser* gemessen werden. Das Schülermeßgerät kann auch als Widerstandsmesser benutzt werden.

*In der Technik vorkommende elektrische Widerstände*

| Leitungen | Haushaltgeräte | Technische Widerstände |
|---|---|---|
| 1 m Leitung: Bruchteile von 1 Ω | Heizwendeln: 30 Ω bis 50 Ω<br>Glühfäden einige 100 Ω | in Rundfunkgeräten: einige kΩ bis viele MΩ |

① Welche Spannung ist erforderlich, damit durch die Spule und durch den Konstantandraht (Bild 92/1) jeweils ein Strom von 0,8 A fließt?

② Nachfolgend wird der elektrische Widerstand einiger Bauelemente genannt: a) 10 Ω, b) 50 Ω, c) 1 kΩ.
Welche Spannung ist erforderlich, damit in diesen Bauelementen jeweils ein Strom von 1 A fließt?

■ Zur Berechnung des elektrischen Widerstandes einer Spule wurden folgende Werte gemessen: $U = 6{,}5$ V und $I = 320$ mA. Wie groß ist der elektrische Widerstand der Spule?

*Analyse:*

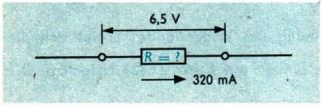



Bild 94/1

*Gesucht:* $R$ (in $\Omega$)

*Gegeben:* $U = 6{,}5$ V

$I = 320$ mA

$I = 0{,}32$ A

*Plan zur Lösung:* Der elektrische Widerstand wird nach der Gleichung $R = \frac{U}{I}$ berechnet.

Um den elektrischen Widerstand in der Einheit $\Omega$ zu erhalten, müssen wir die Stromstärke in diese Gleichung in der Einheit A einsetzen. Deshalb ist die Stromstärke zuvor noch aus der Angabe in mA in die Einheit A umgerechnet worden.

*Lösung:* $R = \frac{U}{I}$

$R = \frac{6{,}5\text{ V}}{0{,}32\text{ A}}$

$R = 20{,}3\,\Omega$

Überschlag:
$6 : 0{,}3 = 60 : 3$
$= 20$

*Ergebnis:* Unter Berücksichtigung einer sinnvollen Genauigkeit gilt: Der elektrische Widerstand der Spule beträgt 20 $\Omega$. Das bedeutet: Für eine Stromstärke von 1 A ist eine Spannung von 20 V erforderlich. ① ② ③

Bastler benutzen vielfach Bauelemente aus alten elektrischen Geräten. Wie können sie diese Bauelemente richtig benutzen, wenn die Angabe des elektrischen Widerstandes nicht mehr erkennbar ist?

27

**Aufgabe**

**Bestimme experimentell den elektrischen Widerstand von zwei Bauelementen!**

**Vorbereitung**

1. Bereite ein Protokoll nach dem Muster auf Seite 12 vor!
2. Schreibe die zwei physikalischen Größen auf, die du messen mußt, um den elektrischen Widerstand bestimmen zu können!
3. Entwirf den Schaltplan mit den erforderlichen Meßgeräten!
4. Rechne zur Übung nochmals folgende Werte für Stromstärken aus mA in A um: 350 mA, 20 mA und 4 mA!
5. Führe zur Übung nochmals folgende Überschlagsrechnungen aus:
   a) $5{,}6 : 0{,}21$ b) $6{,}2 : 0{,}012$ c) $8{,}4 : 0{,}006$!
6. Bereite die folgende Tabelle vor! Vervollständige diese an den durch Punkte gekennzeichneten Stellen!

| Bauelemente | ..... Meßbereich | ..... Meßwert | ..... Meßbereich | ..... Meßwert | elektrischer Widerstand $R = \frac{\text{.....}}{\text{.....}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |

**Durchführung**

1. Baue den Stromkreis nach dem Schaltplan auf!
2. Führe die Messungen nacheinander jeweils bei der vom Lehrer angegebenen Buchsenkombination am Stromversorgungsgerät durch!

**Auswertung**

Berechne aus den Meßwerten jeweils den elektrischen Widerstand der Bauelemente! (Beachte dabei die Umrechnung der Meßwerte für die Stromstärke von mA in A!)

## Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

Aus der Gültigkeitsbedingung des Ohmschen Gesetzes wissen wir: Der elektrische Widerstand eines metallischen Leiters ist von der Temperatur abhängig. Wird der elektrische Widerstand mit steigender Temperatur größer oder kleiner?

**Ableiten einer Voraussage.** Im Modell der Elektronenleitung können wir uns vorstellen, daß die Ionen innerhalb der gestrichelten Kreise um ihre Plätze schwingen (Bild 95/1). Bei einer Erhöhung der Temperatur des Leiters schwingen sie etwas weiter und auch etwas schneller (Bild 95/2). Dadurch kommt es noch häufiger zu Zusammenstößen der Elektronen mit den Ionen. Somit wird die Bewegung der Elektronen stärker als vorher behindert. Das heißt: Bei Erhöhung der Temperatur eines metallischen Leiters müßte dessen elektrischer Widerstand größer werden.

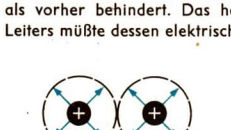


Bild 95/1 Die Bewegung der Elektronen wird durch das Schwingen der Ionen behindert.

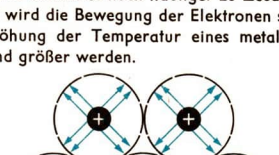


Bild 95/2 Bei Temperaturerhöhung des Leiters schwingen die Ionen schneller und weiter.

**Experimentelle Prüfung der Voraussage.** Im Experiment müßte sich diese Abhängigkeit so zeigen: Wenn die Temperatur eines metallischen Leiters erhöht wird, dann müßte bei gleichbleibender Spannung die Stromstärke kleiner werden.

---

① Berechne im Kopf, wie groß der elektrische Widerstand eines Gerätes sein muß, damit

| | a | b | c | d | e | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| bei einer Spannung von | 12 V | 24 V | 1,5 V | 220 V | 380 V | |
| ein Strom von | 3 A | 2A | 0,5 A | 10 A | 10 A | fließt? |

② Wie groß ist der elektrische Widerstand eines Gerätes, wenn

| | a | b | c | d | e | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| bei einer Spannung von | 6 V | 180 V | 65 V | 90 V | 60 V | |
| ein Strom von | 20 mA | 400 mA | 25 mA | 150 mA | 1,5 mA | fließt? |

③ Jeder Strommesser hat selbst auch einen elektrischen Widerstand.

a) Ist dadurch in einem Stromkreis mit einem Strommesser die Stromstärke etwas größer oder kleiner als in demselben Stromkreis ohne Strommesser?

b) Wie weicht dadurch der bei der Berechnung des elektrischen Widerstandes erhaltene Wert vom wahren Wert ab?

28 ▼ Durch einen Brenner wird die Temperatur des in einen Stromkreis eingebauten Stahldrahtes erhöht (Bild 96/1). Während der Temperaturerhöhung ist am Strommesser ein deutliches Absinken der Stromstärke zu beobachten. Beim Abkühlen des Drahtes wird die Stromstärke wieder größer.

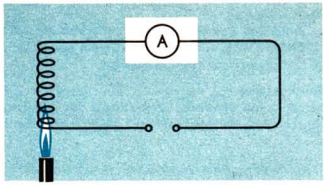



Bild 96/1 Infolge der Temperaturveränderung ändert sich die Stromstärke.

**Formulierung des Gesetzes.** Das Experiment bestätigt die Voraussage. Auch Experimente mit anderen metallischen Leitern führen immer wieder zu demselben Ergebnis. Es gilt das Gesetz:

▶ **Bei Temperaturerhöhung wird der elektrische Widerstand eines metallischen Leiters größer.**

**Fremderwärmung und Eigenerwärmung eines Leiters.** Von *Fremderwärmung* sprechen wir, wenn die Temperaturerhöhung durch eine Wärmequelle erfolgt. Von *Eigenerwärmung* sprechen wir, wenn die Temperaturerhöhung bei genügend großer Stromstärke durch den Strom selbst hervorgerufen wird. Das gilt zum Beispiel für Glühlampen und Heizsonnen. Daraus folgt, daß wir bei bestimmten elektrischen Geräten zwischen dem elektrischen Widerstand im Betriebszustand bei Temperaturen von mehr als 500 °C *(Betriebswiderstand)* und dem elektrischen Widerstand bei Zimmertemperatur *(Kaltwiderstand)* unterscheiden müssen.

### Stromstärke-Spannung-Diagramm einer Metallfadenlampe.

29 ▼ Wir messen für eine 6 V-Glühlampe bei verschiedenen Spannungen zwischen 0 V und 6 V die zugehörigen Stromstärken. Die Wertepaare werden in einem Koordinatensystem dargestellt (Bild 96/2).

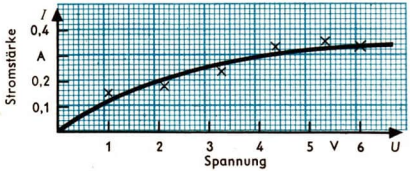
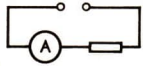
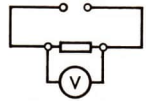
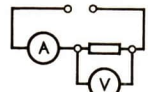



Bild 96/2 *I-U*-Diagramm einer 6 V-Metallfadenlampe.

Was sagt uns dieses *I-U*-Diagramm? Der Verlauf des Graphen ist eine gekrümmte Linie. Das heißt: Es besteht keine Proportionalität zwischen $I$ und $U$. Oder mit anderen Worten: Der Quotient $\frac{U}{I}$ ist nicht konstant. Was bedeutet das physikalisch? Der elektrische Widerstand $R$ ist in diesem Fall nicht konstant. ②

**Anwendungen des Gesetzes.** Die Fremderwärmung eines Leiters nutzt man zum Beispiel für *elektrische Temperaturmessungen und für automatische Feuermelder*. Die Eigenerwärmung eines Leiters nutzt man in *elektrischen Heizgeräten* und in *Glühlampen* zur Abstrahlung von Wärme und Licht.

## Zusammenfassung

| Physikalische Größe | Elektrische Stromstärke | Elektrische Spannung | Elektrischer Widerstand |
|---|---|---|---|
| Physikalische Bedeutung | Die Stromstärke gibt an, wieviel elektrische Ladung in einer Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließt. | Die Spannung gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stromes ist. | Der elektrische Widerstand eines Bauelementes gibt an, wie groß die Behinderung des Stromes in ihm ist. |
| Formelzeichen | $I$ | $U$ | $R$ |
| Definitionsgleichung | — | — | $R = \frac{U}{I}$ |
| Einheit | ein Ampere (1 A)<br>1 A = 1 000 mA | ein Volt (1 V)<br>1 kV = 1 000 V | ein Ohm (1 Ω)<br>$1\,\Omega = \frac{1\,V}{1\,A}$ |
| Meßgerät und Schaltung | Strommesser   | Spannungsmesser   | Widerstandsmesser oder Berechnung aus $U$ und $I$   |

① Wie ändert sich der elektrische Widerstand eines metallischen Leiters, wenn dieser sehr stark abgekühlt wird? Begründe deine Antwort!

② Im Bild 96/2 ist das $I$-$U$-Diagramm einer Lampe dargestellt. a) Berechne den Kaltwiderstand der Lampe ($U = 1$ V)! b) Berechne den Betriebswiderstand der Lampe ($U = 6$ V)!

③ Für eine Glühlampe und für eine Spule wurden experimentell die im Bild 97/4 dargestellten Graphen ermittelt.
   a) Begründe, zu welchem Gerät die Kurve (a) beziehungsweise die Kurve (b) gehört!
   b) Berechne den elektrischen Widerstand der Glühlampe und der Spule bei 50 V, 100 V, 150 V und 220 V!

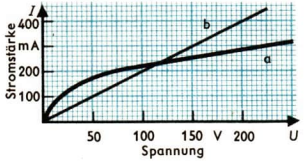



Bild 97/4

Telefonieren kann jeder! Wir brauchen nur in das Mikrofon zu sprechen, und aus dem Hörer eines zweiten Telefons ist unsere Stimme zu hören. Wie können wir das mit unserem Wissen über Stromstärke, Spannung und Widerstand erklären?



## Drei Formen einer Gleichung

Zwischen der Stromstärke, der Spannung und dem elektrischen Widerstand gilt die Gleichung $R = \frac{U}{I}$. In dieser Gleichung sind alle wichtigen Zusammenhänge zwischen den physikalischen Größen Stromstärke, Spannung und elektrischer Widerstand enthalten. Diese Gleichung kann auch nach den anderen zwei Größen umgestellt werden. Wir erhalten so drei Formen der Gleichung:

▶ $$I = \frac{U}{R} \quad \text{oder} \quad U = R \cdot I \quad \text{oder} \quad R = \frac{U}{I}$$

Je nachdem, welche praktische Fragestellung untersucht werden soll, wird eine der drei Formen ausgewählt. ①

### Anwendungen

### Wie groß ist die Stromstärke in einem elektrischen Gerät?

Für elektrische Leitungen ist der Mindestquerschnitt gesetzlich vorgeschrieben. Damit soll eine gefährliche Erwärmung von elektrischen Kabeln ausgeschlossen werden. Bis zu einer Stromstärke von 1 A muß eine Kupferleitung einen Querschnitt von 0,1 mm² haben. Für Stromstärken bis 2,5 A, 10 A bzw. 16 A müssen die Querschnitte jeweils mindestens 0,5 mm², 0,75 mm² bzw. 1 mm² sein.

■ In einem Betrieb wird ein neuer Tauchsieder mit einem elektrischen Widerstand von 60 Ω entwickelt. Wie groß ist die Stromstärke, und welche Kupferleitung ist für das Anschlußkabel erforderlich?

*Analyse:*

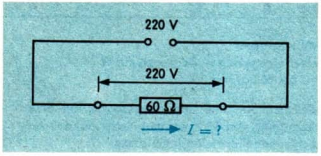



Bild 99/1

*Gesucht:* $I$ (in A)

*Gegeben:* $R = 60\ \Omega$

$U = 220\ \text{V}$

*Lösung:* $I = \dfrac{U}{R}$

$$I = \frac{220\ \text{V}}{60\ \Omega}$$

$$I = \frac{220}{60}\ \text{A}$$

$$\underline{\underline{I = 3{,}7\ \text{A}}}$$

Einheiten:

$$\frac{\text{V}}{\Omega} = \frac{\text{V}}{\frac{\text{V}}{\text{A}}} = \text{V} \cdot \frac{\text{A}}{\text{V}} = \text{A}$$

*Ergebnis:* Die Stromstärke beträgt 3,7 A. Daher ist für den Anschluß des Tauchsieders eine Kupferleitung mit einem Querschnitt von mindestens 0,75 mm² auszuwählen. ② ③

30

**Aufgabe**

**Überprüfe experimentell die für ein Bauelement berechnete Stromstärke!**

**Durchführung**

1. **Schließe ein Bauelement, dessen elektrischer Widerstand bekannt ist, an das Stromversorgungsgerät an!**
2. **Miß bei der vom Lehrer angegebenen Buchsenkombination die Spannung am Bauelement!**
3. **Berechne aus der gemessenen Spannung und aus der Angabe des elektrischen Widerstandes die Stromstärke!**
4. **Miß die Stromstärke!**
5. **Wodurch können mögliche Abweichungen zwischen der berechneten und der gemessenen Stromstärke bedingt sein?**

## Wie hängt die Stromstärke von der Spannung und vom Widerstand ab?

Im Kapitel „Physikalische Gesetze" (↗ S. 24) haben wir gelernt: Wollen wir eine Abhängigkeit zwischen zwei Größen erkennen, so müssen wir alle anderen Größen konstant halten.

---

① **Welche Berechnungen kann man mit den Gleichungen $I = \dfrac{U}{R}$, $R = \dfrac{U}{I}$ und $U = I \cdot R$ durchführen? Formuliere jeweils eine selbst erdachte Aufgabe!**

② **Berechne im Kopf, wie groß die Stromstärke ist, wenn an einem Gerät mit einem**

| | a | b | c | d | |
|---|---|---|---|---|---|
| elektrischen Widerstand von | 10 Ω | 50 Ω | 25 Ω | 500 Ω | |
| eine Spannung von | 30 V | 100 V | 25 V | 250 V | gemessen wird! |

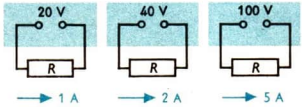
③ **Berechne aus den Angaben in der Tabelle jeweils die Stromstärke $I$! Welche Zusammenhänge erkennst du aus den Ergebnissen in einer Zeile, in einer Reihe, in der Hauptdiagonalen?**

| R \ U | 20 V | 40 V | 80 V |
|---|---|---|---|
| 5 Ω | | | |
| 10 Ω | | | |
| 20 Ω | | | |

Deshalb unterscheiden wir bei der Gleichung $I = \frac{U}{R}$ die folgenden zwei Fälle:

**Wir ändern die Spannung $U$**
($R$ bleibt konstant)

*Beispiel:* An einem Gerät mit einem elektrischen Widerstand von 20Ω wird die Spannung verändert.

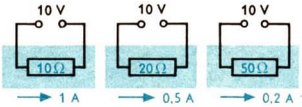



*Es gilt:*

$I \sim U$ **(für $R$ = konstant).**

**Wir ändern den elektrischen Widerstand $R$**
($U$ bleibt konstant)

*Beispiel:* An eine Spannungsquelle mit einer Spannung von 10 V werden nacheinander verschiedene Geräte angeschlossen.




*Es gilt:*

$I \sim \frac{1}{R}$ **(für $U$ = konstant).**

Oder in Worten:

**Die Stromstärke $I$ ist**
- **bei konstantem elektrischen Widerstand $R$ der Spannung $U$ direkt proportional ($I \sim U$) und**
- **bei konstanter Spannung $U$ dem elektrischen Widerstand $R$ des Gerätes umgekehrt proportional $\left(I \sim \frac{1}{R}\right)$.**

Die Proportionalität $I \sim U$ (für $R$ = konstant) ist das uns schon bekannte Ohmsche Gesetz. Da das Ohmsche Gesetz in der Gleichung $I = \frac{U}{R}$ enthalten ist, bezeichnet man diese Gleichung häufig auch als Ohmsches Gesetz. ① ② ③

31 **Aufgabe**
Bestätige experimentell die Abhängigkeit $I \sim \frac{1}{R}$ (für $U$ = konstant)!

### Was geschieht bei einem Kurzschluß?

Durch eine Beschädigung an der Isolation eines Gerätekabels kann es zu einer Berührung der zwei Leiter kommen (Bild 100/3). Der Strom fließt dann nicht mehr durch das Gerät, sondern bereits durch den Berührungspunkt der Leiter zurück. Das nennt man **Kurzschluß**. Da der elektrische Widerstand $R$ der zwei Leiter äußerst klein ist, würde die Stromstärke gefährlich groß werden, denn es gilt $I \sim \frac{1}{R}$

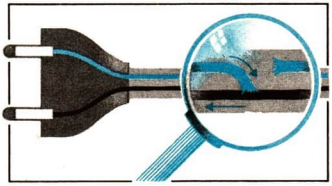


Bild 100/3 Stromfluß bei einem Kurzschluß

Davor schützt die Sicherung; bei Überschreitung einer höchstzulässigen Stromstärke schmilzt der Draht in einer Schmelzsicherung.

### Wie ist das Telefonieren möglich?

Wichtige Teile des Stromkreises beim Telefonieren sind das Mikrofon, der Telefonhörer und die Spannungsquelle (Bild 101/1). Die **Spannungsquelle** besteht aus Batterien mit 60 V Gleichspannung. Die Spannungsquelle befindet sich im allgemeinen im Fernmeldeamt.

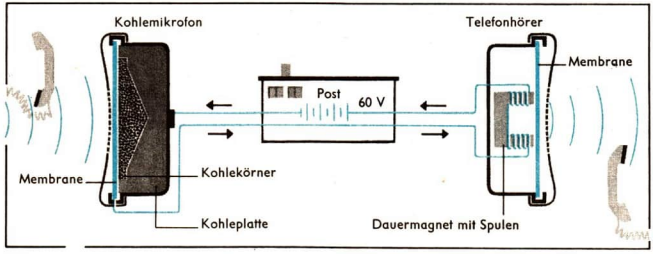



Bild 101/1 Schematische Darstellung des Stromkreises einer Telefonanlage

Das **Mikrofon** ist ein Gerät, das Schallwellen (Worte und Musik) in Stromschwankungen umwandelt. Die einfachste Ausführung ist das Kohlemikrofon. Wird die Membrane durch die Schallwellen nach innen gedrückt, so werden auch die Kohlekörnchen enger zusammengepreßt. Dadurch wird aber ihr elektrischer Widerstand kleiner. So wird nach der Abhängigkeit $I \sim \frac{1}{R}$ erreicht, daß die Schwingungen der Membrane zu entsprechenden Schwankungen der Stromstärke führen.

Der **Lautsprecher** ist ein Gerät, das Stromschwankungen in Schallwellen umwandelt. Die einfachste Ausführung ist der Telefonhörer (Bild 101/1). Wenn die Stromstärke schwankt, dann verändert sich die Anziehung der Membrane durch den Elektromagneten. So führen Stromschwankungen zu Schwingungen der Membrane. Diese Schwingungen nehmen wir als Schallwellen wahr. ④

---

① Durch ein Bauelement mit einem elektrischen Widerstand von 80 Ω fließt ein elektrischer Strom.
a) Wie groß ist die Stromstärke, wenn die

| | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|
| Spannung | 16 V | 40 V | 80 V | 120 V | 400 V |

beträgt?
b) Vergleiche die erhaltenen Ergebnisse! Welchen Zusammenhang erkennst du?

② In einem Stromkreis wird ein elektrischer Heizofen gegen einen anderen Heizofen ausgetauscht. Wie ändert sich die Stromstärke, wenn der elektrische Widerstand des anderen Heizofens a) kleiner und b) größer ist als der des ursprünglich benutzten Gerätes?

③ Erkläre, warum die Glühlampe einer Taschenlampe für eine 4,5 V-Flachbatterie nur ganz schwach leuchtet, wenn sie an eine Monozelle von 1,5 V angeschlossen wird!

④ Warum kann man bei Stromausfall in der Wohnung dennoch telefonieren?

## Wie groß darf die Spannung sein?

Auf vielen Bauelementen ist neben dem elektrischen Widerstand die höchstzulässige Stromstärke angegeben. Diese Bauelemente können an verschiedene Spannungen angeschlossen werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, daß die höchstzulässige Stromstärke nicht überschritten wird.

■ Auf einem Schiebewiderstand aus der Gerätesammlung in den Schulen steht: 14,4 Ω, 5 A. Bei welcher Spannung wird die höchstzulässige Stromstärke erreicht?

*Analyse:*

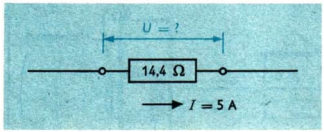



Bild 102/1

*Gesucht:* $U$ (in V)

*Gegeben:* $R = 14{,}4\ \Omega$

$I = 5\ \text{A}$

*Lösung:* $U = I \cdot R$

$U = 5\ \text{A} \cdot 14{,}4\ \Omega$

$U = 5 \cdot 14{,}4\ \text{V}$

$U = 72\ \text{V}$

Einheiten:

$\text{A} \cdot \Omega = \text{A} \cdot \frac{\text{V}}{\text{A}} = \text{V}$

*Ergebnis:* Unter Berücksichtigung einer sinnvollen Genauigkeit gilt: An dem Schiebewiderstand darf maximal eine Spannung von 70 V anliegen. Bei Überschreiten dieser Spannung würde der Schiebewiderstand infolge der zu großen Stromstärke „durchbrennen". ① ②

## Wie groß muß ein Vorwiderstand sein?

Elektrische Geräte und Bauelemente besitzen eine Betriebsspannung, die genau einzuhalten ist. Wenn die Spannung der Spannungsquelle zu hoch ist, dann muß durch Hinzuschalten eines *Vorwiderstandes* eine Spannungsteilung erfolgen (Bild 102/2).

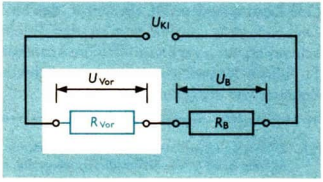



Bild 102/2 Spannungsteilerschaltung

Durch diese Schaltung wird die Klemmenspannung $U_{Kl}$ der Spannungsquelle auf den Vorwiderstand $R_{Vor}$ und auf das Bauelement $R_B$ aufgeteilt: Am Vorwiderstand liegt die Teilspannung $U_{Vor}$, und am Bauelement liegt die Teilspannung $U_B$. ③

Ein Beispiel hierfür haben wir bereits im Bild 87/2 kennengelernt. In dem folgenden Beispiel wird gezeigt, wie die Größe eines solchen Vorwiderstandes berechnet werden kann.

■ Die aus den Schülerexperimenten bekannten Lampen benötigen eine Betriebsspannung von 6 V. Die Stromstärke beträgt dabei 0,4 A. Wie groß muß der Vorwiderstand $R_{Vor}$ sein, damit eine solche Lampe an eine Batterie mit einer Spannung von 9 V angeschlossen werden kann?

*Analyse:*

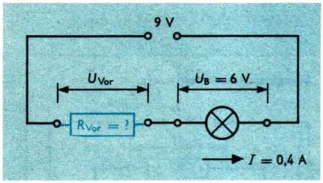



Bild 103/1

*Gesucht:* $R_{Vor}$ (in $\Omega$)

*Gegeben:* $U_{Kl} = 9$ V

$U_B = 6$ V

$I = 0{,}4$ A

*Plan zur Lösung:* Der Vorwiderstand wird nach der Gleichung $R_{Vor} = \frac{U_{Vor}}{I}$ berechnet.

Die Stromstärke $I$ ist gegeben. Die Teilspannung $U_{Vor}$ am Vorwiderstand muß erst noch berechnet werden. Hierfür dient das Gesetz für die Spannung im unverzweigten Stromkreis (↗ Zusammenfassung auf S. 104).

Damit ergibt sich als Plan zur Lösung der Aufgabe:
1. Berechnung von $U_{Vor}$ aus $U_{Kl}$ und $U_B$
2. Berechnung von $R_{Vor}$.

*Lösung:*

zu 1.: Aus $U_{Kl} = U_{Vor} + U_B$ folgt: $U_{Vor} = 3$ V.

zu 2.: $R_{Vor} = \frac{U_{Vor}}{I}$

$$R_{Vor} = \frac{3\text{ V}}{0{,}4\text{ A}}$$

$$R_{Vor} = 7{,}5\ \Omega$$

*Ergebnis:* Unter Berücksichtigung einer sinnvollen Genauigkeit gilt: Zusammen mit einem Vorwiderstand von 8 Ω kann eine Glühlampe mit den Kenndaten 6 V / 0,4 A auch an eine Batterie mit einer Spannung von 9 V angeschlossen werden. ④

---

① Eine Spule hat einen elektrischen Widerstand von 6 Ω. Wie groß muß die Spannung an der Spule sein, damit die Stromstärke a) 1 A, b) 2 A und c) 0,5 A beträgt?

② Berechne im Kopf, wie groß die Spannung höchstens sein darf, damit bei einem Bauelement mit einem

| | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| elektrischen Widerstand von | 20 Ω | 50 Ω | 200 Ω | 100 Ω |
| die Stromstärke nicht größer als | 1 A | 6 A | 0,5 A | 2 A wird! |

③ Formuliere den Zusammenhang zwischen den Spannungen $U_{Kl}$, $U_{Vor}$ und $U_B$ als Gleichung! Schreibe diese Gleichung in zwei Formen auf: a) $U_{Kl} = \ldots\ldots$ und b) $U_B = \ldots\ldots$!

④ Eine Lampe mit den Kenndaten 1,8 V/0,2 A aus dem Schülerexperimentiergerät soll an eine Flachbatterie angeschlossen werden.
Berechne, wie groß hierfür der Vorwiderstand sein muß!

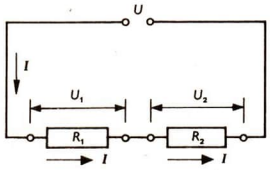
32 **Aufgabe**

Bestätige experimentell, daß eine Glühlampe (6 V/0,4 A) zusammen mit einem Vorwiderstand von 8 Ω an eine Spannungsquelle mit einer Spannung von 9 V angeschlossen werden kann!

## Zusammenfassung

### Die Gesetze des unverzweigten und des verzweigten Stromkreises

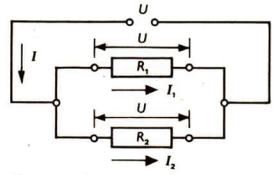
**Unverzweigter Stromkreis**




**Stromstärke gleich**

**Spannung**
$U = U_1 + U_2$

**Verzweigter Stromkreis**




**Stromstärke**
$I = I_1 + I_2$

**Spannung gleich**

**Stromstärke, Spannung, elektrischer Widerstand**

**Unabhängig von der Art der Schaltung eines Stromkreises gilt für jedes Bauelement jede der drei Gleichungen:**

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

---

① Welche Meßwerte müßten in den Stromkreisen a bis d die Strom- bzw. Spannungsmesser anzeigen, an denen ein Fragezeichen steht? Wie groß müßten die elektrischen Widerstände der Bauelemente sein, an denen ein Fragezeichen steht?

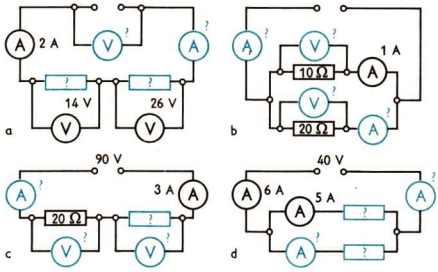
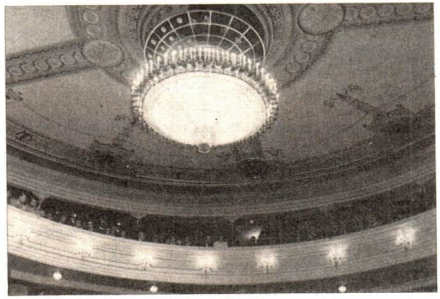



Bild 104/3 a bis d

In elektrischen Schaltungen werden Bauelemente benutzt, die als *technische Widerstände* bezeichnet werden. Diese Schaltungen können zum Erzeugen von Teilspannungen oder zur Veränderung der Stromstärke dienen. Ein Beispiel hierfür ist das allmähliche Verlöschen des Leuchters in einem Theater. Welches physikalische Gesetz liegt dem Bau und der Wirkungsweise von technischen Widerständen zugrunde?



## Das Widerstandsgesetz

Aufgrund von Erfahrungen vermuten wir: Der elektrische Widerstand eines Drahtes ist abhängig von der Länge $l$, vom Querschnitt A, von der Temperatur $\vartheta$ und vom Stoff, aus dem der Draht besteht (Bild105/2).

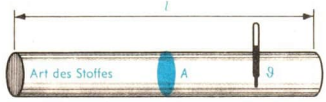



Bild 105/2

Bei der Untersuchung der einzelnen Abhängigkeiten beachten wir wiederum: Wollen wir einen physikalischen Zusammenhang zwischen zwei Größen erkennen, so müssen wir während des Experiments alle anderen Größen konstant halten.

### Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes $R$ eines Drahtes von dessen Länge $l$

33

**Aufgabe**
Untersuche den Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand eines Drahtes und dessen Länge!

**Vorbereitung**
An drei verschieden langen Drähten aus gleichem Stoff und mit gleichem Querschnitt wird der elektrische Widerstand $R$ durch die Messung der Spannung $U$ und der Stromstärke $I$ bestimmt. Da uns in den Schülerexperimentiergeräten keine verschieden langen Drähte zur Verfügung stehen, gehen wir folgendermaßen vor:
Zuerst benutzen wir einen Konstantandraht (Bild 106/1a). Danach schalten wir einen zweiten Konstantandraht mit gleichem Querschnitt in Reihe dazu (Bild 106/1b). Wir betrachten beide Drähte zusammen als einen einzigen, aber doppelt so langen Draht wie vorher. Anschließend schalten wir noch einen dritten Draht hinzu (Bild 106/1c).

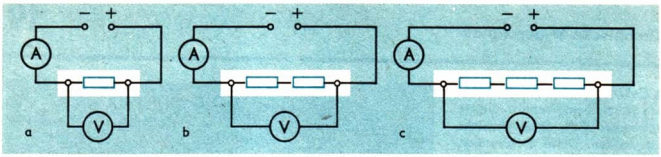



Bild 106/1 a) Einfache Drahtlänge b) Doppelte Drahtlänge c) Dreifache Drahtlänge

Die Meßwerte und die Ergebnisse der Berechnungen werden in eine Tabelle eingetragen.

| Länge $l$ in m | Spannung $U$ in V | Stromstärke $I$ in A | Widerstand $R$ in Ω |
|---|---|---|---|
| 1 m | | | |
| 2 m | | | |
| 3 m | | | |

**Durchführung**
1. Baue den Stromkreis nach dem Schaltplan auf!
2. Führe die Messungen bei der Buchsenkombination 2–8 durch!

**Auswertung**
1. Berechne die elektrischen Widerstände der Drähte!
2. Welchen Zusammenhang kannst du zwischen $R$ und $l$ erkennen?

Das Ergebnis des Schülerexperiments bestätigt die in der Zusammenfassung (↗ S. 112) genannte Abhängigkeit. ① ②

**Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes $R$ eines Drahtes von dessen Querschnitt $A$**

Wir bestimmen den elektrischen Widerstand von drei Drähten mit unterschiedlichem Querschnitt. Die Länge und der Stoff, aus dem die Drähte bestehen, sind jeweils gleich.

34

▼ Für die drei im Bild 106/2 dargestellten Drähte bestimmen wir experimentell den elektrischen Widerstand.

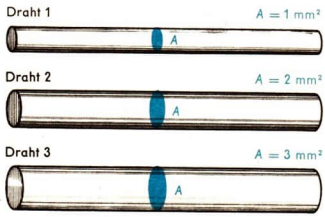



Bild 106/2 Drähte zur Untersuchung der Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Querschnitt

Die Messungen bestätigen die in der Zusammenfassung (↗ S. 112) genannte Abhängigkeit. ③ ④

Stellt man die Ergebnisse von Messungen grafisch dar, so erhält man für 1 m lange Drähte aus Kupfer bzw. aus Wolfram mit unterschiedlichem Querschnitt die Graphen im Bild 107/1.

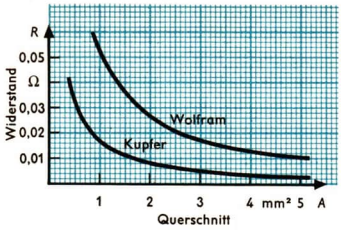



Bild 107/1 Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von 1 m langen Drähten aus Wolfram und Kupfer vom Querschnitt der Drähte

**Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes *R* eines Drahtes vom Stoff**

Um den Einfluß der verschiedenen Stoffe auf den elektrischen Widerstand eines Drahtes zu ermitteln, hat man weitere Messungen durchgeführt. Man hat ermittelt, wie groß der elektrische Widerstand von Drähten aus verschiedenen Stoffen, aber mit gleichen geometrischen Abmessungen (1 m Länge und 1 mm² Querschnitt) ist. Diesen für jeden Stoff charakteristischen Wert nennt man den *spezifischen elektrischen Widerstand* $\varrho$ (lies: Rho) des Stoffes.

▶ **Der spezifische elektrische Widerstand $\varrho$ eines Stoffes gibt an, welchen elektrischen Widerstand *R* ein aus diesem Stoff hergestellter Leiter von 1 m Länge und von 1 mm² Querschnitt hat.**

Aus der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes folgt weiter: **Der spezifische Widerstand $\varrho$ ist von der Temperatur $\vartheta$ des Leiters abhängig.** ⑤ ⑥ ⑦

---

① Wie ändert sich der elektrische Widerstand eines Drahtes, wenn dessen Länge a) verdoppelt, b) halbiert, c) verzehnfacht wird?
② Wie muß man die Länge eines Drahtes ändern, damit dessen elektrischer Widerstand a) verdoppelt, b) halbiert, c) verzehnfacht wird?
③ Wie muß der Querschnitt eines Drahtes verändert werden, damit dessen elektrischer Widerstand a) verdoppelt, b) auf die Hälfte verkleinert, c) zehnmal so groß wird?
④ Ein Draht wird gegen einen gleich langen Draht aus demselben Werkstoff ausgetauscht. Wie ändert sich der elektrische Widerstand, wenn der Querschnitt des neuen Drahtes a) doppelt, b) halb so groß, c) zehnmal so groß wie der alte Draht ist?
⑤ Entnimm dem Tafelwerk den spezifischen elektrischen Widerstand von Stahl, Kupfer und Konstantan! Was geben diese Werte an?
⑥ Ermittle aus dem Diagramm (Bild 107/1) den spezifischen elektrischen Widerstand für Kupfer und für Wolfram!
⑦ Wie ändert sich in einem Stromkreis die Stromstärke, wenn ein Stahldraht gegen einen gleich langen und gleich dünnen Draht a) aus Kupfer und b) aus Konstantan ausgewechselt wird? Überlege zunächst, wie sich dadurch der elektrische Widerstand ändert!

In Tabellenbüchern wird der spezifische elektrische Widerstand meistens für eine Temperatur von 20 °C angegeben. Als *Einheit* des spezifischen elektrischen Widerstandes ergibt sich $1\ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.

**Einteilung von Werkstoffen.** In der Elektrotechnik werden die Werkstoffe nach deren spezifischem elektrischem Widerstand folgendermaßen eingeteilt:

| | **Leiterwerkstoffe** | **Widerstandswerkstoffe** | **Isolierwerkstoffe** |
|---|---|---|---|
| **spezifischer elektrischer Widerstand** | klein, etwa 0,1 $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | groß, etwa 1 $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | sehr groß, über $10^{14}$ $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ |
| **Beispiele** | Kupfer<br>Aluminium<br>Stahl | Wolfram<br>Legierungen<br>Kohlenstoff | Keramik<br>Porzellan<br>Plast |
| **Verwendung** | Leitungen<br>Spulen<br>Wicklungen<br>in Motoren | Glühwendeln<br>Heizwendeln<br>technische<br>Widerstände | Isolation<br>von Leitungen<br>und stromführenden<br>Teilen |

**Zusammenfassung der Ergebnisse zum Widerstandsgesetz**

▶ **Der elektrische Widerstand eines Drahtes ist dessen Länge $l$ direkt und dessen Querschnitt $A$ umgekehrt proportional.**
**Außerdem ist der elektrische Widerstand des Drahtes um so größer, je größer der spezifische elektrische Widerstand $\varrho$ seines Werkstoffes ist.**

Dieses Widerstandsgesetz kann man in gleicher Weise wie bei der Längenänderung und der Wärme zu einer Gleichung zusammenfassen:

▶ $$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$$

**Bau und Wirkungsweise technischer Widerstände**

Nach dem Material, aus dem technische Widerstände hergestellt werden, unterscheidet man *Drahtwiderstände* und *Schichtwiderstände*.

| Drahtwiderstände | Schichtwiderstände |
|---|---|
| *Aufbau* | |
| Drahtwiderstände<br>bestehen meist aus langen, auf Isolatoren aufgewickelten Widerstandsdrähten.<br> | Schichtwiderstände<br>bestehen meist aus einer äußerst dünnen Schicht aus Kohlenstoff oder aus einer Metalllegierung, die auf einem Isolator aufgedampft ist.<br> |
| *physikalisches Gesetz* | |
| $R \sim l$ | $R \sim \frac{1}{A}$ |
| *Größenordnung des elektrischen Widerstandes* | |
| Bis zu einigen Kiloohm<br>(z. B. 5 kΩ) | Bis zu einigen Hundert Megaohm<br>(z. B. 500 MΩ) |

Technische Widerstände sind auch danach einteilbar, ob der elektrische Widerstand veränderbar ist oder nicht. ①

**Festwiderstände.** Festwiderstände besitzen einen unveränderbaren Widerstandswert (Bilder 109/1 und 109/2).

**Verstellbare Widerstände.** Verstellbare Widerstände können auf verschiedene Widerstandswerte eingestellt werden. Sie werden als Schiebewiderstand (Bild 109/3), als Drehwiderstand (auch Potentiometer genannt) (Bilder 109/4 und 110/1) oder als Stufenwiderstand (Bild 110/2) gebaut. Das Wirkprinzip der meisten verstellbaren Widerstände ist die Proportionalität zwischen dem elektrischen Widerstand und der Länge des Drahtes.

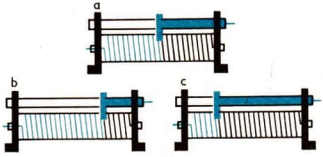



**Bild 109/3** Der Gleitkontakt ist verstellbar.

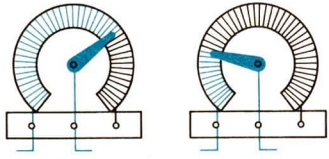


**Bild 109/4** Der Drehkontakt ist verstellbar.

① **Begründe, weshalb man technische Widerstände mit einem sehr großen elektrischen Widerstand (z. B. 500 kΩ) als Schichtwiderstand und nicht als Drahtwiderstand herstellt!**

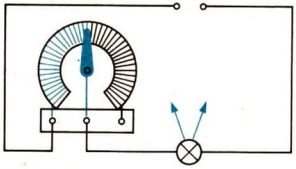


Bild 110/1 Drehwiderstand im Stromkreis

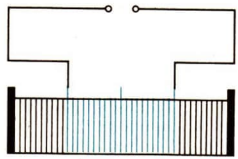


Bild 110/2 Ein Stufenwiderstand hat mehrere Anschlußmöglichkeiten.

Bei den *Schiebewiderständen* (Bild 109/3a) ist der Widerstandsdraht auf ein Keramikrohr aufgewickelt. Über diese Wicklung kann ein Schleifkontakt geschoben werden. Je nach der Stellung des Schleifkontaktes fließt der Strom durch den größeren Teil der Wicklung des Widerstandes (Bild 109/3b) oder nur durch einen kleineren Teil der Wicklung (Bild 109/3c). So kann der elektrische Widerstand zwischen Null Ohm und einem Höchstwert verändert werden. ① ②

*Drehwiderstände* (Bild 109/4 und Bild 110/1) funktionieren in gleicher Weise. Bei *Stufenwiderständen* (Bild 110/2) kann der elektrische Widerstand nur stufenweise verändert werden. Dazu dienen verschiedene Anschlußkontakte am Widerstandsdraht.

Verstellbare Widerstände werden durch die Schaltzeichen im Bild 110/3 dargestellt.

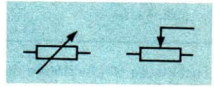


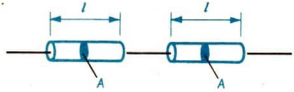
Bild 110/3 Schaltzeichen eines stufenlos verstellbaren Widerstandes

## Gesamtwiderstand zweier technischer Widerstände

In elektrischen Schaltungen werden häufig zwei technische Widerstände in Reihe oder parallel geschaltet. Den elektrischen Widerstand dieser Kombination nennt man *Gesamtwiderstand* $R_{ges}$.

Die Abhängigkeit des Gesamtwiderstandes von der Art der Schaltung der zwei Widerstände können wir für zwei gleiche Widerstände mit Hilfe des Widerstandsgesetzes voraussagen:

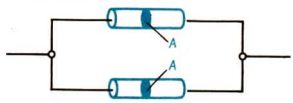
*Reihenschaltung*




Für $A$ = konst. folgt aus $R \sim l$:

Bei Reihenschaltung zweier Widerstände entsteht ein größerer Gesamtwiderstand.

*Parallelschaltung*




Für $l$ = konst. folgt aus $R \sim \frac{1}{A}$:

Bei Parallelschaltung zweier Widerstände entsteht ein kleinerer Gesamtwiderstand.

③

Allgemein gilt:

▶ **Bei Reihenschaltung ist der Gesamtwiderstand $R_{ges}$ größer als der größte Teilwiderstand $R_1$ oder $R_2$.**
**Bei Parallelschaltung ist der Gesamtwiderstand $R_{ges}$ kleiner als der kleinste Teilwiderstand $R_1$ oder $R_2$.**

④

### Erzeugen von veränderlichen Teilspannungen

In vielen elektrischen Anlagen werden für einzelne Bauelemente Teilspannungen benötigt, die niedriger als die Betriebsspannung sind. Dazu benutzt man die uns bereits bekannte Spannungsteilerschaltung (↗ Bild 102/2). Häufig müssen diese Teilspannungen veränderlich sein. Das ist zum Beispiel für das allmähliche Verlöschen eines Leuchters im Theater (↗ Bild 105/1), für die Veränderung der Lautstärke eines Lautsprechers oder für die Regelung der Drehzahl eines Motors erforderlich. Hierfür muß man als Vorwiderstand einen verstellbaren Widerstand benutzen. Die Schaltung dazu ist im Bild 111/1 dargestellt.

35 ▼ Wir verändern in dem Stromkreis nach Bild 111/1 den elektrischen Widerstand des verstellbaren Vorwiderstandes und messen die Teilspannungen $U_{Vor}$ und $U_B$.

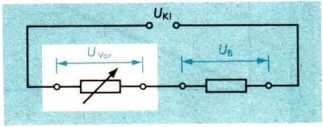



Bild 111/1 Spannungsteilerschaltung für veränderliche Teilspannungen $U_B$ am Bauelement

Aus dem Experiment erkennen wir:
Wenn der Vorwiderstand verändert wird, so verändern sich beide Teilspannungen.

▶ **Je kleiner der Vorwiderstand wird, desto größer wird die Teilspannung $U_B$ am anderen Bauelement.**

Zusammen mit der Änderung der Teilspannung $U_B$ ändert sich auch die Stromstärke in diesem Bauelement. ⑤

36 ▼ **Aufgabe**
Verändere mit Hilfe eines Drehwiderstandes die Helligkeit einer Lampe!

---

① Begründe, in welche Richtung der Schleifkontakt im Bild 110/1 gedreht werden muß, damit der elektrische Widerstand größer wird! Wie ändert sich dadurch die Helligkeit der Lampe?
② Begründe, wie der Stufenwiderstand im Bild 110/2 angeschlossen werden muß, damit der elektrische Widerstand a) möglichst klein bzw. b) möglichst groß ist!
③ Wie können diese zwei Voraussagen experimentell bestätigt werden?
④ Zwei technische Widerstände von 100 Ω und von 200 Ω werden a) in Reihe und b) parallel geschaltet. Was kannst du über den Gesamtwiderstand aussagen?
⑤ Wie groß kann die Teilspannung $U_B$ höchstens werden?

**Durchführung**

1. Baue den Stromkreis nach Bild 112/1 auf! (Buchsenkombination 2–8)
2. Begründe, in welche Richtung der Abgriff des Drehwiderstandes gedreht werden muß, damit die Teilspannung und damit auch die Helligkeit der Lampe
   a) kleiner bzw. b) größer werden!
3. Überprüfe deine Aussagen! ①

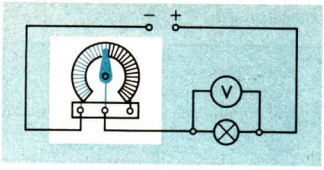


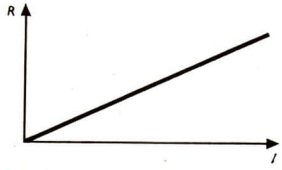

Bild 112/1 Experimentieranordnung

## Zusammenfassung

### Widerstandsgesetz

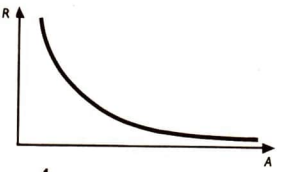
**Für den elektrischen Widerstand eines Drahtes gilt:** $R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$

**Darin sind folgende Abhängigkeiten enthalten:**




$R \sim l$

**(gleicher Stoff, gleicher Querschnitt $A$)**

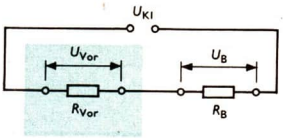



$R \sim \frac{1}{A}$

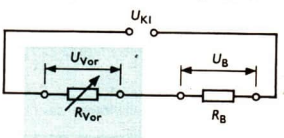
**(gleicher Stoff, gleiche Länge $l$)**

### Erzeugung von Teilspannungen durch Vorwiderstände

**Konstante Teilspannung $U_B$**



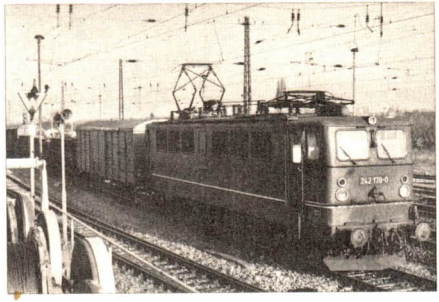

**Veränderliche Teilspannung $U_B$**




**Für die Spannungen gilt:** $U_{Kl} = U_{Vor} + U_B$

① Warum und wie muß sich in dem im Bild 112/1 dargestellten Stromkreis die Stromstärke ändern, wenn der Abgriff des Drehwiderstandes a) nach rechts und b) nach links gedreht wird?

Immer mehr Strecken der Deutschen Reichsbahn wurden elektrifiziert. Elektrolokomotiven haben Motoren mit sehr großen Leistungen. Sie können daher schneller anfahren als andere Lokomotiven. Wovon hängt es ab, wie groß die elektrische Leistung eines Elektromotors oder eines anderen elektrischen Gerätes ist?



## Elektrische Leistung

**Physikalische Bedeutung der elektrischen Leistung.** In den elektrischen Geräten und Maschinen wird die von den Kraftwerken bereitgestellte elektrische Energie zum Verrichten von mechanischer Arbeit, zum Abgeben von Wärme oder zum Ausstrahlen von Licht genutzt. Häufig sagt man: Der elektrische Strom verrichtet Arbeit. Der elektrische Strom kann die gleiche Arbeit in verschiedenen Geräten unterschiedlich schnell verrichten. In der Physik sagt man: Die Geräte haben eine unterschiedliche *elektrische Leistung*.

▶ **Die elektrische Leistung eines Gerätes gibt an, wieviel Arbeit der elektrische Strom in einer Sekunde verrichtet.**

**Berechnung der elektrischen Leistung.** Aus Experimenten können wir folgendes erkennen:
**Bei gleicher Stromstärke ist die elektrische Leistung verschiedener Geräte um so größer, je größer die Spannung ist.**

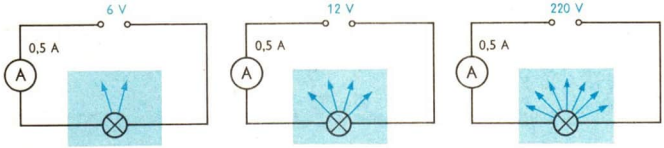



Bild 113/2 Trotz gleicher Stromstärke senden die Lampen verschieden viel Licht aus.

**Bei gleicher Spannung ist die elektrische Leistung verschiedener Geräte um so größer, je größer die Stromstärke ist.**

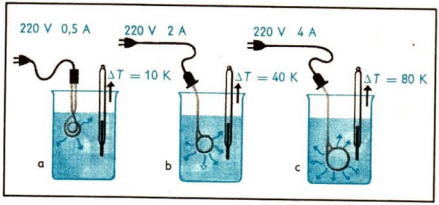



Bild 114/1 Trotz gleicher Spannung wird von den Tauchsiedern in gleicher Zeit verschieden viel Wärme abgegeben.

Aus weiteren physikalischen Untersuchungen erkannte man schließlich, daß die elektrische Leistung nach folgender Gleichung berechnet werden kann:

$$P_{el} = U \cdot I$$

▶ **Das heißt: Die elektrische Leistung $P_{el}$ eines Gerätes hängt von der Spannung und von der Stromstärke ab.**

Die *Einheit* der elektrischen Leistung ist ebenso wie die Einheit der mechanischen Leistung oder der thermischen Leistung **ein Watt (1 W)**. Vielfache der Einheit sind: ein Kilowatt (1 kW) und ein Megawatt (1 MW). Bei der Berechnung der elektrischen Leistung nach der Gleichung $P_{el} = U \cdot I$ ergibt sich jedoch als Einheit 1 V · A. Deshalb wurde festgelegt:

1 V · A = 1 W.

Es gilt:
**1 V · A = 1 W**

■ 100 V · A = 100 W
1 000 V · A = 1 000 W = 1 kW

**Messen der elektrischen Leistung.** Zum Messen der elektrischen Leistung benutzt man *Leistungsmesser* (Bild 114/2). Im Unterricht bestimmen wir die elektrische Leistung mit Hilfe der Gleichung $P_{el} = U \cdot I$. Dazu messen wir die Stromstärke und die Spannung.

■

| Gemessen: | Berechnet: |
|---|---|
| $I = 0{,}5$ A | $P_{el} = U \cdot I$ |
| $U = 6$ V | $P_{el} = 6\text{ V} \cdot 0{,}5\text{ A} = 3\text{ W}$ |

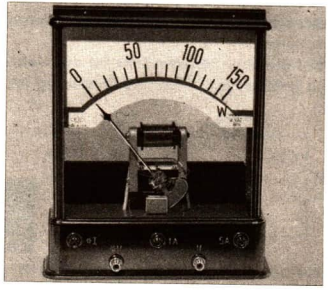



Bild 114/2 Leistungsmesser

*In der Technik vorkommende elektrische Leistungen*

| Motoren | Lampen/Wärmegeräte |
|---|---|
| Spielzeuge: 0,1 W bis 10 W (1,5 V bis 12 V) | Haushaltlampen: 25 W bis 100 W (220 V) |
| Haushaltgeräte: 150 W bis 2 kW (220 V) | Heißwasserspeicher für 80 l: 1,6 kW (220 V) |
| Tatra-Straßenbahn: 4 x 40 kW = 160 kW (600 V) | Tauchsieder: 300 W bis 1000 W (220 V) |
| E-Lok (Güterzug): 4 x 1 350 kW = 5 400 kW (15 kV) | Karbidöfen: 30 000 kW (35 kV) |

① ② ③

**Schlußfolgerungen aus der Gleichung $P_{el} = U \cdot I$.** Aus dieser Gleichung können wir folgende Abhängigkeiten erkennen:

**$P_{el} \sim U$ (für $I$ = konstant)** und **$P_{el} \sim I$ (für $U$ = konstant).**

Beispiele hierfür sind in den Bildern 113/2 und 114/1 dargestellt. Die folgenden Beispiele zeigen, daß es stets auf beide Größen, auf die Spannung $U$ und auf die Stromstärke $I$, ankommt.

■ *Leistung einer Haushaltlampe:*

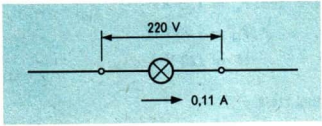



Bild 115/1

$P_{el} = U \cdot I$
$P_{el} = 220\ V \cdot 0{,}11\ A$
$P_{el} = 24\ W$

*Leistung einer Autolampe:*

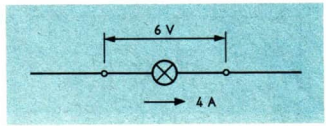



Bild 115/2

$P_{el} = U \cdot I$
$P_{el} = 6\ V \cdot 4\ A$
$P_{el} = 24\ W$

▶ **Bei großer Spannung und kleiner Stromstärke kann die gleiche Leistung erreicht werden wie bei kleiner Spannung und großer Stromstärke.**

① Schreibe im Beisein deiner Eltern die Leistungen einiger elektrischer Haushaltgeräte aus eurer Wohnung auf! Ordne sie in Geräte, die vorwiegend
a) zur Ausstrahlung von Licht,
b) zur Abgabe von Wärme,
c) zum Verrichten mechanischer Arbeit,
d) zur Nachrichtenübertragung dienen!

② Lenin sprach im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Volkswirtschaft einmal von der Anwendung technischer Arbeitssklaven. Wieviel technische Arbeitssklaven (mit einer Dauerleistung von 70 Watt) würden der Leistung einer E-Lok entsprechen?

③ Warum benutzt man bei den in der Übersicht genannten Straßenbahnen, E-Lokomotiven und Karbidöfen wesentlich höhere Spannungen als 220 V?

### Berechnungen aus Leistungsangaben

Die elektrische Leistung ist eine wichtige Angabe eines elektrischen Gerätes. Deshalb ist sie auf jedem Gerät angegeben (Bild 116/1). Diese Leistung wird nur erreicht, wenn die ebenfalls angegebene Betriebsspannung eingehalten wird. Aus der Angabe der Leistung und einer weiteren physikalischen Größe kann man verschiedene Fragen beantworten, die im täglichen Leben wichtig sind. So kann man zum Beispiel aus der Leistung und aus der Betriebsspannung eines Gerätes die Stromstärke im Stromkreis berechnen.

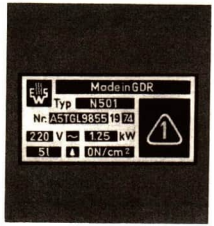
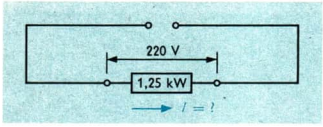



Bild 116/1 Leistungsschild eines 5-l-Heißwasserspeichers

Mit diesem Ergebnis kann man die Frage beantworten: Für welche Stromstärke müssen das Gerätekabel und die Zuleitung vom Sicherungskasten zur Steckdose mindestens zugelassen sein, damit das Gerät in Betrieb genommen werden kann?

■ Bild 116/1 zeigt das Leistungsschild eines 5-l-Heißwasserspeichers. Für welche Stromstärke muß die Zuleitung zugelassen sein?

*Analyse:*




*Gesucht:* $I$

*Gegeben:* $P_{el} = 1{,}25\ \text{kW}$

$P_{el} = 1\,250\ \text{W}$

$U = 220\ \text{V}$

Bild 116/2

*Lösung:* $P_{el} = U \cdot I$

$$I = \frac{P_{el}}{U}$$

$$I = \frac{1\,250\ \text{W}}{220\ \text{V}}$$

$$I = \frac{1\,250\ \text{V} \cdot \text{A}}{220\ \text{V}}$$

$$\underline{\underline{I = 5{,}68\ \text{A}}}$$

*Ergebnis:* Die Zuleitung muß mindestens für eine Stromstärke von 6 A zugelassen sein.

① ② ③ ④

### Die vom Strom verrichtete Arbeit

**Gleichung zur Berechnung der Arbeit.** Für die mechanische Leistung und für die thermische Leistung gelten die Gleichungen:

$$P_{mech} = \frac{W_{mech}}{t} \quad \text{und} \quad P_{th} = \frac{Q}{t}.$$

In gleicher Weise gilt für die elektrische Leistung:

$$P_{el} = \frac{W_{el}}{t}.$$

Hierin bedeutet $W_{el}$ die vom Strom verrichtete Arbeit. Diese nennt man häufig auch *elektrische Arbeit*.
Zur Berechnung der elektrischen Arbeit formen wir die Gleichung nach $W_{el}$ um:

$$W_{el} = P_{el} \cdot t \qquad (5)$$

Diese Gleichung können wir auch noch anders schreiben.

Wir wissen: Für die elektrische Leistung gilt die Gleichung $P_{el} = U \cdot I$. Setzen wir in die obige Gleichung für $P_{el}$ das Produkt $U \cdot I$ ein, so erhalten wir
$\boldsymbol{W_{el} = U \cdot I \cdot t.}$

**Einheit der elektrischen Arbeit.** Bei der Anwendung der Gleichung $W_{el} = P_{el} \cdot t$ ergibt sich für die vom Strom verrichtete Arbeit die Einheit 1 W · s. Diese Einheit nennt man **eine Wattsekunde (1 W · s).** Das ist eine sehr kleine Einheit. Deshalb benutzt man meistens die viel größeren Vielfachen dieser Einheit: eine Kilowattstunde (1 kW · h) und eine Megawattstunde (1 MW · h).
Es gilt:
**3 600 000 W · s = 1 kW · h** ■ 7 200 000 W · s = 2 kW · h

Da die mechanische Arbeit und die Wärme in der Einheit ein Joule gemessen werden, hätte man annehmen können, daß auch die vom Strom verrichtete Arbeit in dieser Einheit angegeben wird. In der Elektrotechnik benutzt man jedoch aus verschiedenen Gründen die Einheit eine Wattsekunde. Zwischen den Einheiten ein Joule und eine Wattsekunde besteht der Zusammenhang:
**1 W · s = 1 J.**

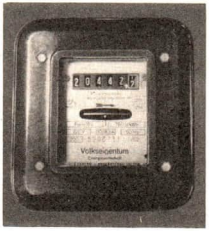


Bild 117/1 Kilowattstundenzähler

**Messung der vom Strom verrichteten Arbeit.** Im täglichen Leben wird die vom elektrischen Strom verrichtete Arbeit mit dem Kilowattstundenzähler (Bild 117/1) gemessen. Eine Kilowattstunde kostet 8 Pfennige. (6)

---

(1) Welchen Querschnitt muß das Zuleitungskabel für diesen Heißwasserspeicher haben, wenn es aus Kupfer besteht? (Benutze dazu die Angaben auf Seite 98!)
(2) Die Kenndaten der Heizplatte für Schülerexperimente sind 220 V, 150 W. Wie groß ist die Stromstärke?
(3) Die Leitung zu einer Doppelsteckdose in der Küche ist mit einer Sicherung von 6 A abgesichert. Können an diese Steckdose gleichzeitig ein Elektrogrill ($P_{el} = 1\,500$ W) und eine Küchenmaschine ($P_{el} = 170$ W) angeschlossen werden?
(4) Stelle aus der Aufzählung in Aufgabe 1 auf S. 115 eine Liste von Geräten aus eurer Wohnung zusammen, die gleichzeitig in Betrieb genommen werden können, wenn die Sicherung der Wohnung a) 6 A und b) 10 A beträgt! Begründe die Zusammenstellung!
(5) Formuliere den physikalischen Inhalt der Gleichung $W_{el} = P_{el} \cdot t$ in Worten! Beginne so: „Die vom Strom verrichtete Arbeit ist um so größer, je ..."
(6) Lies an zwei aufeinanderfolgenden Sonntagen den Stand des Kilowattstundenzählers ab. Berechne daraus den für diese Woche an die Energieversorgung zu bezahlenden Preis!

## Zusammenfassung

**Die elektrische Leistung eines Gerätes gibt an, wieviel Arbeit der elektrische Strom in einer Sekunde verrichtet.**
$P = U \cdot I$ **Einheit: 1 W = 1 V · A**
**Die vom elektrischen Strom verrichtete Arbeit (elektrische Arbeit) wird folgendermaßen berechnet:**
$W_{el} = P_{el} \cdot t$ **Einheit: 1 W · s (und 1 kW · h)**
**Meßgerät: Kilowattstundenzähler**

### Der Zusammenhang zwischen der Elektroenergieerzeugung und der Entwicklung der Volkswirtschaft

Am Anfang des Stoffgebietes Elektrizitätslehre wurde festgestellt, daß Produktion und Technik sowie die allgemeinen Lebensgewohnheiten der Menschen unter dem Einfluß des elektrischen Stromes eine zuvor nicht gekannte Entwicklung erfahren haben. Das beruht auf der Sonderstellung der elektrischen Energie unter allen anderen Energieformen.
Für jeden technischen Prozeß in den Betrieben, im Verkehrswesen und im Haushalt muß zu einem bestimmten Zeitpunkt an einen bestimmten Ort in einer bestimmten Menge und in einer bestimmten Form Energie zur Verfügung stehen.
Erst durch die Erzeugung von elektrischer Energie können diese Bedingungen weitgehend erfüllt werden.

Dies ergibt sich aus folgenden Gründen:

- Elektrische Energie kann man mit Hilfe des Energieverbundnetzes in großen Energiemengen über große Entfernungen an jeden Ort auf und unter der Erde übertragen.
- Elektrische Energie kann mit hoher Wirtschaftlichkeit in andere Energieformen umgewandelt werden.
- Elektrische Energie kann nach dem erforderlichen Betrag dosiert werden.

Aus der überragenden Bedeutung der Elektroenergie für die Produktion folgt, daß in allen Volkswirtschaftsplänen der Energieerzeugung und der rationellen Energienutzung stets große Aufmerksamkeit geschenkt wird.
Das wird um so dringender, weil unsere Braunkohlenvorräte nicht unbegrenzt sind und weil deren Erschließung immer teurer wird. Deshalb darf uns der geringe Preis, den wir in den Wohnungen für die elektrische Arbeit zu bezahlen haben, nicht zu einer Energieverschwendung verleiten.

---

① Schwarzweißfernsehgeräte hatten früher durchschnittlich eine Leistung von 180 W. Durch den Übergang zu volltransistorisierten Geräten beträgt die Leistung heute nur noch etwa 70 W.
   a) Welche Leistungseinsparung würde das für die Energieversorgung ergeben, wenn in den kommenden Jahren in etwa sechs Millionen Haushalten der DDR nur solche neuen Fernsehgeräte in Betrieb genommen würden?
   b) Vergleiche das Ergebnis mit der Leistung des Kraftwerkes Boxberg ($P_{el} = 3\,500$ MW)!

② Warum werden in den Zeitungen täglich die „Spitzenbelastungszeiten" für den „Elektroenergieverbrauch" veröffentlicht?

**Zusammenfassung**

**Die Energiepolitik unseres Landes ist auf folgendes gerichtet: Die Erzeugung von Elektroenergie ist weiterhin kontinuierlich zu erhöhen.**
**Die Elektroenergie ist in den Betrieben und im Haushalt durch eine Verbesserung des Wirkungsgrades technischer Prozesse und durch die Vermeidung eines unnötigen Energieverbrauchs immer effektiver auszunutzen.**

## Wiederholung und Übung 21

### Elektrischer Stromkreis

1. Welche Voraussetzungen müssen in einem Stromkreis erfüllt sein, damit ein Strom fließen kann?
2. Nenne wesentliche Bestandteile eines Stromkreises!
3. Zeichne einen einfachen Stromkreis aus Spannungsquelle, Schalter und Widerstand!
4. Nenne vier Spannungsquellen und die zugehörige Stromart!
5. Worin besteht der Unterschied zwischen einem unverzweigten Stromkreis und einem verzweigten Stromkreis?
6. Es soll eine Beleuchtungsanlage aus zwei Glühlampen konstruiert werden, die folgende Eigenschaften besitzt:
   - Mit einem Schalter A können beide Lampen gleichzeitig ein- bzw. ausgeschaltet werden.
   - Mit einem weiteren Schalter B kann eine der beiden Lampen ausgeschaltet werden, während die andere Lampe weiterleuchtet.

   a) Warum besitzt keiner der Stromkreise in den Bildern 119/1 bis 119/3 die geforderten Eigenschaften?
   b) Entwirf den Schaltplan für die zu bauende Beleuchtungsanlage!

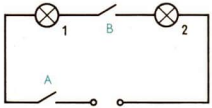



Bild 119/1 Stromkreis 1

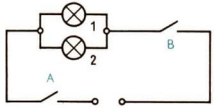



Bild 119/2 Stromkreis 2

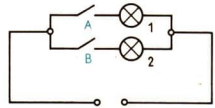



Bild 119/3 Stromkreis 3

### Elektrische Ladung

7. Nenne Eigenschaften elektrischer Ladungen!
8. Fertige für den Physikraum eine kleine Anschauungstafel über den Aufbau einer Flachbatterie an! Verwende dazu auch eine geöffnete Batterie!

9. Zeichne den Aufbau einer Monozelle!
10. Der Recorder „anett" kann mit Batterien oder mit Netzanschluß betrieben werden. Für Batteriebetrieb ist eine Spannung von 7,5 V erforderlich. Wie kann man eine solche Spannung erreichen?
11. Welche elektrische Ladung hat ein Körper, auf dem a) Elektronenüberschuß bzw. b) Elektronenmangel besteht?

### Elektrischer Strom

12. Wie können wir das Zustandekommen des elektrischen Stromes mit Hilfe des Modells der Elektronenleitung erklären?

### Elektrische Stromstärke

13. Was gibt die Stromstärke an?
14. Wie kann man die Stromstärke mit Hilfe des Modells der Elektronenleitung deuten?
15. Nenne die Einheit der Stromstärke!
16. Wie ist der Strommesser im Stromkreis zu schalten?
17. Welche Meßwerte zeigt der Strommesser im Bild 120/1 bei den Zeigerstellungen a bis d an? (Meßbereich: 300 mA)

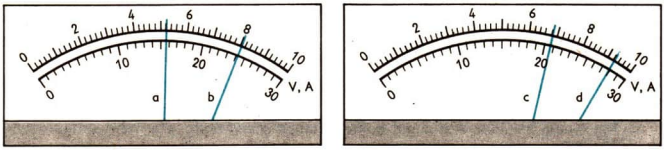



Bild 120/1

18. Nenne in Worten oder als Gleichung das Gesetz für die Stromstärke
    a) im unverzweigten Stromkreis,
    b) im verzweigten Stromkreis!
19. Welche der vier Strommesser müßten im Bild 120/2 beziehungsweise im Bild 120/3 die gleiche Stromstärke anzeigen?

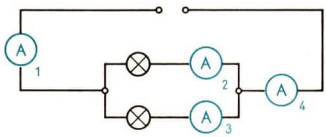



Bild 120/2 Stromkreis 1

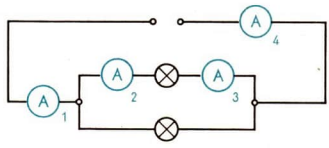



Bild 120/3 Stromkreis 2

20. In den Bildern 121/1 und 121/2 sind zwei Stromkreise dargestellt. Welche Meßwerte müßten a) im Stromkreis 1 und b) im Stromkreis 2 jeweils die Meßgeräte anzeigen, an denen ein Fragezeichen steht?

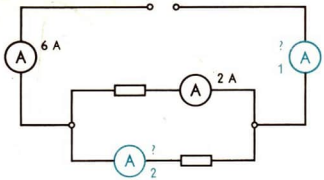



Bild 121/1 Stromkreis 1

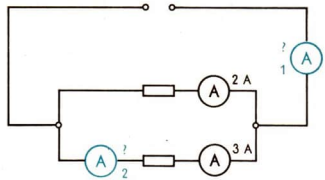



Bild 121/2 Stromkreis 2

37

21. Hausexperiment

**Baue nach Bild 121/3 einen einfachen Strommesser! Vergleiche den Ausschlag der Kompaßnadel, wenn du verschiedene Lampen und verschiedene Batterien in den Stromkreis einschaltest! Berichte über deine Beobachtungen!**

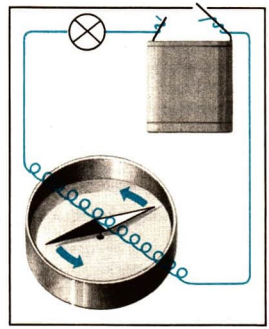


Bild 121/3

## Elektrische Spannung

22. Was gibt die Spannung an?
23. Nenne die Einheit der Spannung!
24. Wie ist der Spannungsmesser zu schalten?
25. Nenne in Worten und als Gleichung das Gesetz für die Spannung
    a) im unverzweigten Stromkreis,
    b) im verzweigten Stromkreis!
26. In den Bildern 121/4 bis 121/6 sind drei Stromkreise dargestellt. Welche Meßwerte müßten a) im Stromkreis 1, b) im Stromkreis 2 und c) im Stromkreis 3 jeweils die Meßgeräte anzeigen, an denen ein Fragezeichen steht?

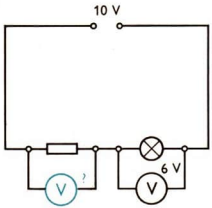



Bild 121/4 Stromkreis 1

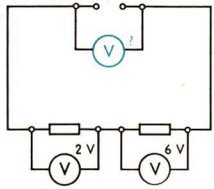



Bild 121/5 Stromkreis 2

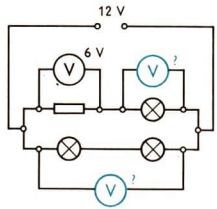



Bild 121/6 Stromkreis 3

## Elektrischer Widerstand

27. Was gibt der elektrische Widerstand an?
28. Wie kommt der elektrische Widerstand in einem metallischen Leiter zustande?
29. Nenne die Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes!
30. Nenne die Einheit des elektrischen Widerstandes!
31. Eine Spule soll einen Widerstand von 6 Ω haben. Wie groß muß die Spannung an der Spule sein, damit die Stromstärke a) 1 A, b) 2 A, c) 0,5 A beträgt?
32. Bild 122/1 zeigt das *I-U*-Diagramm für zwei Bauelemente. Ermittle ohne Rechnung, welches der zwei Bauelemente den größeren Widerstand hat! Begründe deine Aussage!

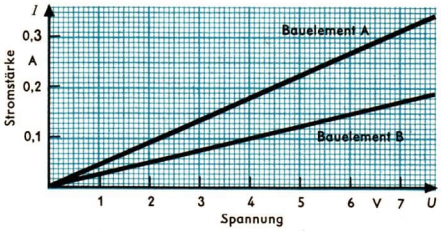



Bild 122/1

## Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand

33. Nenne die Gleichungen, mit denen für ein Bauelement
    a) die Stromstärke,
    b) die Spannung,
    c) der Widerstand
    berechnet werden kann!
34. An einem Gerät mit einem elektrischen Widerstand von 30 Ω liegt eine Spannung von 12 V an. Berechne die Stromstärke!
35. An einem Bauelement liegt eine Spannung von 60 V an. Es fließt ein Strom von 20 mA. Berechne den Widerstand des Bauelements!
36. An verschiedenen Geräten wird eine Spannung von 12 V angelegt.
    a) Wie groß muß der Widerstand der Geräte sein, damit

| | a | b | c | d | e | f | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ein Strom von | 6 A | 3 A | 2 A | 1 A | 0,5 A | 50 mA | fließt? |

    b) Vergleiche die erhaltenen Ergebnisse! Welchen Zusammenhang erkennst du?
37. An einem Gerät mit einem elektrischen Widerstand von 60 Ω liegt eine Spannung von 24 V an. Berechne die Stromstärke!
38. An einem 10 cm langen Bauelement liegt eine Spannung von 200 V an. Es fließt ein Strom von 50 mA. Berechne den elektrischen Widerstand des Bauelements!
39. Ein Widerstand von 40 Ω wird nacheinander in verschiedene Stromkreise eingebaut. Dabei fließt durch diesen

| | a | b | c | d | |
|---|---|---|---|---|---|
| Widerstand ein Strom von | 5 A | 1 A | 200 mA | 8 mA. | |

    a) Wie groß ist jeweils die Spannung am Widerstand?
    b) Vergleiche die erhaltenen Ergebnisse! Welchen Zusammenhang erkennst du?

40. In den Bildern 123/1 und 123/2 sind zwei Stromkreise dargestellt! Welche Meßwerte müßten jeweils die Meßgeräte a) im Stromkreis 1 und b) im Stromkreis 2 anzeigen, an denen ein Fragezeichen steht?

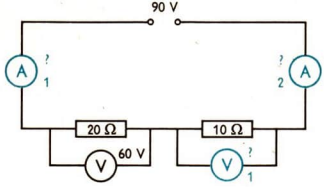



Bild 123/1 Stromkreis 1

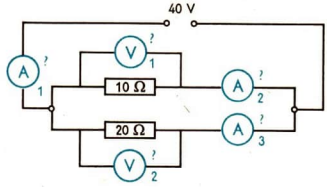



Bild 123/2 Stromkreis 2

41. Von einem Stromkreis ist nur der Strommesser zu sehen. Alle anderen Teile des Stromkreises sollen sich hinter einer Wand befinden.
Nachdem in dem Stromkreis eine oder mehrere nicht sichtbare Änderungen erfolgten, zeigt der Strommesser im Vergleich zu vorher a) eine kleinere, b) eine größere und c) die gleiche Stromstärke wie ursprünglich an.
Welche Änderungen können in jedem der drei Fälle vorgenommen worden sein?
42. Nenne jeweils zwei Möglichkeiten dafür, wie in einem Stromkreis die Stromstärke a) vergrößert und b) verkleinert werden kann!

**Technische Widerstände**

43. Entnimm dem Tafelwerk den spezifischen elektrischen Widerstand a) von Silber, b) von Gold! Was geben diese Werte an?
44. Nachdem in einem Stromkreis ein Draht gegen einen anderen Draht ausgewechselt wurde, zeigt der Strommesser im Vergleich zu vorher
a) eine kleinere Stromstärke an,
b) eine größere Stromstärke an,
c) die gleiche Stromstärke an.
Worin können sich die Drähte in jedem der drei Fälle zum ursprünglichen Draht unterscheiden?
45. In Filmtheatern wird das Licht nicht einfach ein- oder ausgeschaltet. Es ist eine langsame Abnahme beziehungsweise Zunahme der Helligkeit der Lampen festzustellen. Entwirf eine Schaltung, mit der sich eine solche Anlage bauen läßt!
46. Im Bild 123/3 ist ein Stromkreis dargestellt, in dem sich ein Schiebewiderstand befindet. Begründe, ob der Schleifkontakt zum Punkt A oder zum Punkt B verschoben werden muß, damit die Lampe heller leuchtet!

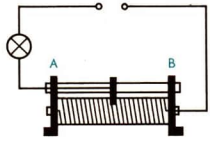



Bild 123/3

47. In den Bildern 124/1 a und 124/1 b sind zwei Stellungen des Schleifkontaktes eines Drehwiderstandes angegeben.

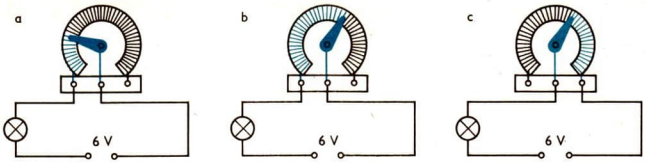



Bild 124/1

a) Bei welcher der zwei angegebenen Stellungen des Schleifkontaktes leuchtet die Lampe heller?
b) Begründe deine Aussage!
c) Was könnte man tun, damit die Lampe noch heller leuchtet?

48. Die Stellungen der Schleifkontakte sind in den Bildern 124/1b und 124/1c gleich. Leuchten die Lampen auch gleich hell? Begründe!

**Elektrische Leistung und elektrische Energie**

49. Es soll ein Bauaufzug entwickelt werden, mit dem Lasten bis 200 kg innerhalb von 20 Sekunden bis auf eine maximale Höhe von 14 m gehoben werden können. Von der Elektroindustrie werden u. a. Motoren mit einer Leistung von 0,6 kW; 0,8 kW; 1,1 kW; 1,5 kW und 2 kW angeboten. Welchen Motor würdest du für den Aufzug vorschlagen?
50. Eine Glühlampe trägt die Aufschrift 12 V/60 W. Was bedeuten diese Angaben? Wie groß ist bei dieser Spannung die Stromstärke in der Lampe?
51. In einer Wohnung befinden sich zwei Heizöfen mit den Aufschriften: 220 V/500 W bzw. 220 V/2 000 W.
    a) Begründe ohne schriftliche Rechnung, in welchem Heizofen die Stromstärke am größten ist!
    b) Welcher Heizofen hat den größeren Widerstand?
52. Ein Heißwasserspeicher für 5 l Wasser hat eine Leistung von 2 000 W. Kann dieser an eine 220-V-Leitung angeschlossen werden, die mit einer 6 A-Sicherung versehen ist?
53. Bei einem großen internationalen Fußballspiel sehen sich viele Menschen die Übertragung im Fernsehen an.
    a) Berechne die Leistung, die die Kraftwerke aufbringen müssen, wenn in jedem zweiten der 6 Millionen Haushalte der DDR das Fernsehgerät eingeschaltet wird! (Als durchschnittliche Leistung eines Fernsehgerätes nehmen wir 120 W an.)
    b) Vergleiche dein Ergebnis mit der Leistung des Kraftwerkes Boxberg ($P = 3\,520$ MW)!
54. In dem Bedienungsheft eines Grills steht für die Zubereitung eines Broilers eine Zeit von 60 Minuten. Als Leistung des Grills werden 1,5 kW angegeben. Wieviel kostet die Zubereitung eines Broilers?
55. Berechne aus den Angaben in der Tabelle für einen Widerstand von 20 Ω jeweils die Stromstärke $I$ und die elektrische Leistung $P$ und trage diese in die Tabelle ein! Welche Abhängigkeit erkennst du zwischen der Leistung und der Spannung?

| $U$ | 10 V | 20 V | 40 V |
|---|---|---|---|
| $I$ | | 1 A | |
| $P_{el}$ | | 20 W | |

## 10. Wiederholung und Übung

### Energieübertragung durch Wärme

24. a) $Q = 96$ kJ
    b) $Q = 350$ kJ
28. a) $Q_{BW} = 8\,400$ kJ
    $Q_{KT} = 670$ kJ

### Umwandlungswärme bei Aggregatzustandsänderungen

29. $\approx 7$ kg
30. a) $Q_{Stahl} = 144$ kJ
    $Q_{Blei} = 20$ kJ
    $Q = 164$ kJ
    b) $Q = 13$ kJ

## 21. Wiederholung und Übung

### Elektrischer Widerstand

31. a) 6 V
    b) 12 V
    c) 3 V

### Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand

34. 0,4 A
35. 3000 Ω
36. a) 2 Ω b) 4 Ω c) 6 Ω
    d) 12 Ω e) 24 Ω f) 240 Ω
37. 0,4 A
38. 4 000 Ω
39. a) 200 V
    b) 40 V
    c) 8 V
    d) 0,3 V

### Elektrische Leistung und elektrische Energie

49. $P = 1\,400$ W $P = 1{,}5$ kW
50. $I = 5$ A
53. 360 MW
54. $W = 1{,}5$ kW · h ≙ 12 Pf

## Fragen und Aufträge

### S. 17

1. $\Delta l = 0{,}13$ m
2. $\Delta l = 4$ mm
3. $\Delta l_{Sommer} = 0{,}0\,163$ m
   $\Delta l_{Winter} = 0{,}0\,114$ m
   $\Delta l = 0{,}03$ m
   Längenunterschied 3 cm

### S. 33

1. $Q = P_{th} \cdot t$ a) 1,5 kJ b) 7,5 kJ c) 18 kJ
   d) 21,8 kJ
2. a) 0,3 kJ b) 3 kJ c) 18 kJ d) 27 kJ

### S. 39

1. a) 26 kJ b) 5 kJ c) 52 kJ d) 2,6 kJ
2. $Q = 63$ kJ

### S. 41

1. a) $Q = 697\,950$ kJ $= 700$ MJ
   b) $m = 24$ kg
2. $Q_{Topf} = 61{,}2$ kJ
   $Q_{Wasser} = 1\,780$ kJ
3. $Q = 2\,093$ kJ

$$t = \frac{Q}{P_{th}} \quad t = 10\,465 \text{ s} = 174 \text{ min} \approx 3 \text{ h}$$

### S. 45

2. $Q = Q_S + Q_{\Delta T} + Q_V$
   $Q = 3\,012{,}6$ kJ $Q \approx 3\,000$ kJ

### S. 69

2. $n = 6$

### S. 79

2. a) 0,27 A b) 0,06 A c) 0,005 A
3. a) 3 000 mA b) 500 mA c) 80 mA

### S. 90

1. 0,8 A 60 V 100 V
   0,1 A 10 V 15 V

### S. 95

2. a) 300 Ω b) 450 Ω c) 2 600 Ω d) 600 Ω
   e) 40 000 Ω

### S. 101

1. a) 0,2 A b) 0,5 A c) 1 A d) 1,5 A e) 5 A

### S. 103

4. $U_{Vor} = 2{,}7$ V $I = 0{,}2$ A $R = 13{,}5\,\Omega$ $R \approx 14\,\Omega$

### S. 115

2. $n = 77\,000$

### S. 117

1. $A = 0{,}75$ mm²
2. $I = 0{,}68$ A

### S. 118

1. a) $P_{Einsparung} = 660$ MW

# Register


absoluter Nullpunkt 9
absolute Temperatur 10
Abwärme 54, 56
Aggregatzustand 19
Aggregatzustandsänderungen 19, 42, 43, 48
Akkumulator 70
Ampere (Einheit) 78
Ampère, André-Marie 78
Arbeit
– mechanische 28, 49
– vom Strom verrichtete 116
Atom 72
Atomkern 72
Ausdehnung
– fester Körper 12
– von Flüssigkeiten 12
– von Gasen 18

Bandgenerator 68
Batterie 69, 70, 76, 84
Blitz 84
Blitzableiter 68

Celsius, Anders 10
Celsiusskala 10
Celsiustemperatur 10

Dampfmaschine 5ff.
Dampfpumpe 6
Dampfturbine 49, 52
Dieselmotor 51, 53
Diesel, Rudolf 53
Drehwiderstand 109
Druckänderung von Gasen 18
Dynamo 84

Edison, Thomas Alva 61
Eigenerwärmung 96
Einspritzpumpe 51
Elektrizität
– Reibungselektrizität 67
– strömende 68
Elektronen 71, 75
– freie 73
Elektronenfluß 74, 75, 76
Elektronenhülle 73
Elektronenmangel 72, 76
Elektronenüberschuß 72
Elektroskop 68
Element
– Kohle-Zink-Element 69
– Kupfer-Zink-Element 69
Energie 26
– elektrische 61, 113, 118
– Gesetz von der Erhaltung 28
– kinetische 26
– mechanische 49
– thermische 26, 49
– rationelle Nutzung 54, 55
– Richtung der Übertragung 28
Energiehaushalt
– der Erde 29
– der lebenden Natur 29
Energieinhalt von Brennstoffen und Nahrungsmitteln 30
Energiepolitik 118
Energiesparende Technologien 7
Energiestreifendiagramm 54
Energieübertragung durch Wärme 28, 34
– Einfluß der Umgebung 40
– unerwünschte 55
Energieumwandlung
– im Stromkreis 76
– im Verbrennungsmotor 51
– thermischer Energie in mechanische 49
Erklärung 25
Erstarren 19, 43
Erstarrungswärme 43
Erster Hauptsatz der Thermodynamik 28

Faraday, Michael 61, 70
Feld, elektrisches 70, 75
Flachbatterie 70
Franklin, Benjamin 68
Fremderwärmung 96
Fremdzündung 51, 53

Generator 64, 76, 84
Gesamtwiderstand 110
Gesellschaft
– Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Gesellschaft, Produktion und Physik 5, 52, 61, 118
Gesetze, physikalische 23
Gesetz von der Erhaltung der Energie 28
Gewitter 72
Gleichstrom 64
Gleitkontakt 109
Grad Celsius 10
Gültigkeitsbedingungen eines Gesetzes 23
Guericke, Otto von 68

Hauptsätze der Thermodynamik 28, 33
Heizwert 30

Industrielle Revolution 7
Influenzmaschine 68

Joule (Einheit) 26, 27

Kelvin (Einheit) 10
Kelvin, Lord 10
Kelvinskale 10
Kilowattstunde 117
Kilowattstundenzähler 117
Klemmenspannung 85, 90
Knopfzelle 84
Kohle-Zink-Element 69
Kondensationswärme 45
Kondensator 68
Kondensieren 19, 45
Kühlschrank 30, 46
Kupfer-Zink-Element 69
Kurzschluß 100

Ladung, elektrische 67
– negative 68
– positive 68
Ladungsausgleich 68
Ladungstrennung 72
Längenänderung fester Körper 10
Lautsprecher 101
Leerlaufspannung 85, 90
Leistung
– Abhängigkeit der elektrischen Leistung von Stromstärke und Spannung 113
– elektrische 113, 118
– in Technik vorkommende 31, 115
– thermische 31, 33
Leistungsmesser 114
Linearer Ausdehnungskoeffizient 15
Lord Kelvin 10

Metallfadenlampe 96
Metall-Ionen 73
Metallkristall 73
Mikrofon 101
Minuspol 75
Modell 74
– der Elektronenleitung 75, 77, 84, 92
– Vergleich des Stromes mit einer Wasserströmung 74, 77, 83, 91
– vom Aufbau der Atome 72

– Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe 8, 9, 26, 43, 46
Monozelle 69, 84

Newcomen, Thomas 6

Ohm (Einheit) 93
Ohm, Georg Simon 89, 90
Ohmsches Gesetz 88, 90, 100
Ottomotor 49 f., 53
Otto, Nikolaus 52

Papin, Denis 5
Parallelschaltung 66, 88, 110
Physikalisches Gesetz 23
– Anwendung zum Erklären 25
Pluspol 75
Polsunow, Iwan Iwanowitsch 7
Potentiometer 109
Proportionalität 25
Protokoll für Schülerexperimente 12

Reihenschaltung 66, 87, 110
Rutherford, Ernest 72

Savery, Thomas 6
Schaltpläne 64
Schaltzeichen 65, 78, 84, 110
Schiebewiderstand 110
Schmelzen 19
Schmelztemperatur 19, 43
– Abhängigkeit vom Druck 22
Schmelzwärme 43
Selbstzündung 51, 53
Sicherung 82
Siedetemperatur 19, 43
– Abhängigkeit vom Druck 20
Siemes, Werner von 61
Spannung, elektrische 83, 86, 87, 89, 97
– in Natur und Technik 84
– Klemmenspannung 85, 90
– Leerlaufspannung 85, 90
– Teilspannung 87, 102, 111, 112
Spannungsmesser 84, 90, 97
Spannungsquelle 64, 75
Spannungsteilerschaltung 102
Spannungsteilung 87, 102, 111, 112
Spannungsverluste 88
Strom, elektrischer 63, 74, 75
Stromkreis, elektrischer 63
– einfacher 64, 80, 82, 86, 90
– unverzweigter 66, 80, 82, 86, 90, 104
– verzweigter 66, 81, 82, 87, 90, 104
Strommesser 78, 82, 97
Stromstärke, elektrische 77, 80, 82, 88, 97
– Abhängigkeit von Spannung und Widerstand 99 f.
– in Natur und Technik vorkommende 78

Takte der Verbrennungsmotoren 50, 53
Teilbarkeit von Ladungen 68
Teilchen
– Bewegung 8
– durchschnittliche Geschwindigkeit 9, 46
– kinetische Energie 26
– Umordnung 43
– ungeordnete Bewegung 8
Teilspannung 87, 102, 111, 112
Telefon 101
Temperatur 8
– absoluter Nullpunkt 9
– absolute Temperatur 10
– Celsiustemperatur 10
– Festpunkte 10
– in Industrie, Landwirtschaft, Haushalt, Erde, Weltall 9
Temperaturabhängigkeit des Widerstandes 95
Temperaturänderung 10
Temperaturausgleich 11
Temperaturmessung, elektrische 96
Thermische Energie 26, 33
Thermische Leistung 31
Thermisches Verhalten von Körpern 14
Thermometer 10

Verbrennungsmotoren 49
– Entwicklung der 52
Verdampfen 19, 45, 46
Verdampfungswärme 45
Verdunsten 46
Vergaser 50
Verzweigungspunkt 66
Volkswirtschaftliche Bedeutung der Genauigkeit von Temperaturmessungen 12
Volt (Einheit) 84
Volta, Alessandro 69, 84
Volumenänderung von Gasen 18
Vorwiderstand 88, 102, 111, 112

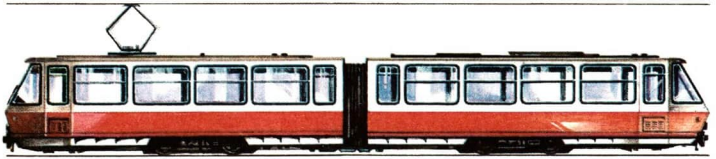
Wärme 27, 33, 34, 42, 44, 48
– Erstarrungswärme 43, 48
– Kondensationswärme 44, 45, 48
– Schmelzwärme 43, 48
– Umwandlungswärme 44
– Verdampfungswärme 44, 45, 48
Wärmedämmstoffe 55
Wärmekapazität, spezifische 36, 41
Wärmeleitung 28
Wärmepumpe 27, 47
Wärmequellen 30
– Lebewesen als 32
Wärmestrahlung 28
Wärmeströmung 28
Watt (Einheit) 31, 114
Watt, James 5, 6
Wattsekunde 117
Wechselstrom 64
Werkstoffe 108
Widerstand 64
Widerstand, elektrischer 64, 91, 97
– Betriebswiderstand 96
– Gesamtwiderstand 110
– in Technik vorkommender 93
– Kaltwiderstand 96
– Temperaturabhängigkeit 95
Widerstandsgesetz 105, 108, 112
Widerstandsmesser 93, 97
Widerstand, spezifischer elektrischer 107
Widerstand, technischer 105
– Drahtwiderstand 109
– Drehwiderstand 109
– Festwiderstand 109
– Gesamtwiderstand 110
– Schichtwiderstand 109
– Schiebewiderstand 110
– Stufenwiderstand 110
– verstellbarer Widerstand 109
Wirkungen des elektrischen Stromes 62, 64
Wirkungsgrad 6, 54

Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Gesellschaft, Produktion und Physik 5, 52, 61, 118
Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik 28

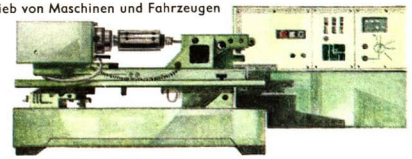
**Quellenverzeichnis der Abbildungen**

W. Golm, Berlin: 83/1 · Karger-Decker, Berlin: 62/1 · Th. Kläber, Beyern: 26/1 · K. Liebers, Potsdam: 77/1 · M. Petrenz, Berlin: 21/2, 43/1, 49/1, 83/1, 98/1 · S. Pietz, Halle: 63/1 · M. Seifert, Berlin: 14/1, 32/2, 116/1, 117/1 · H. Theuerkauf, Gotha: 114/2 · VWV/Archiv: 5/1, 6/2, 10/2, 52/2, 61/1, 61/3, 78/1, 89/2, 105/1 · ZB: 8/1, 10/1, 24/1, 54/1, 61/2, 67/2, 69/1, 72/1, 72/3, 113/1

## Einige Anwendungsgebiete der elektrischen Energie



Antrieb von Maschinen und Fahrzeugen

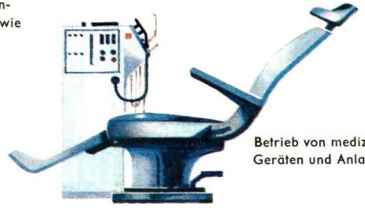




Beleuchtung von Wohn- und Arbeitsräumen sowie von Straßen



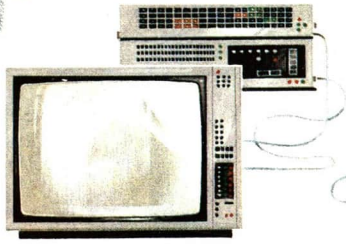
Heizung von Wohn- und Arbeitsräumen



Betrieb von medizinischen Geräten und Anlagen

Übertragung und Verarbeitung von Informationen





Erwärmung von Speisen und Kühlhalten von Lebensmitteln



Kurzwort: 020811 Lehrb. Physik Kl 8
Schulpreis DDR: 1,80