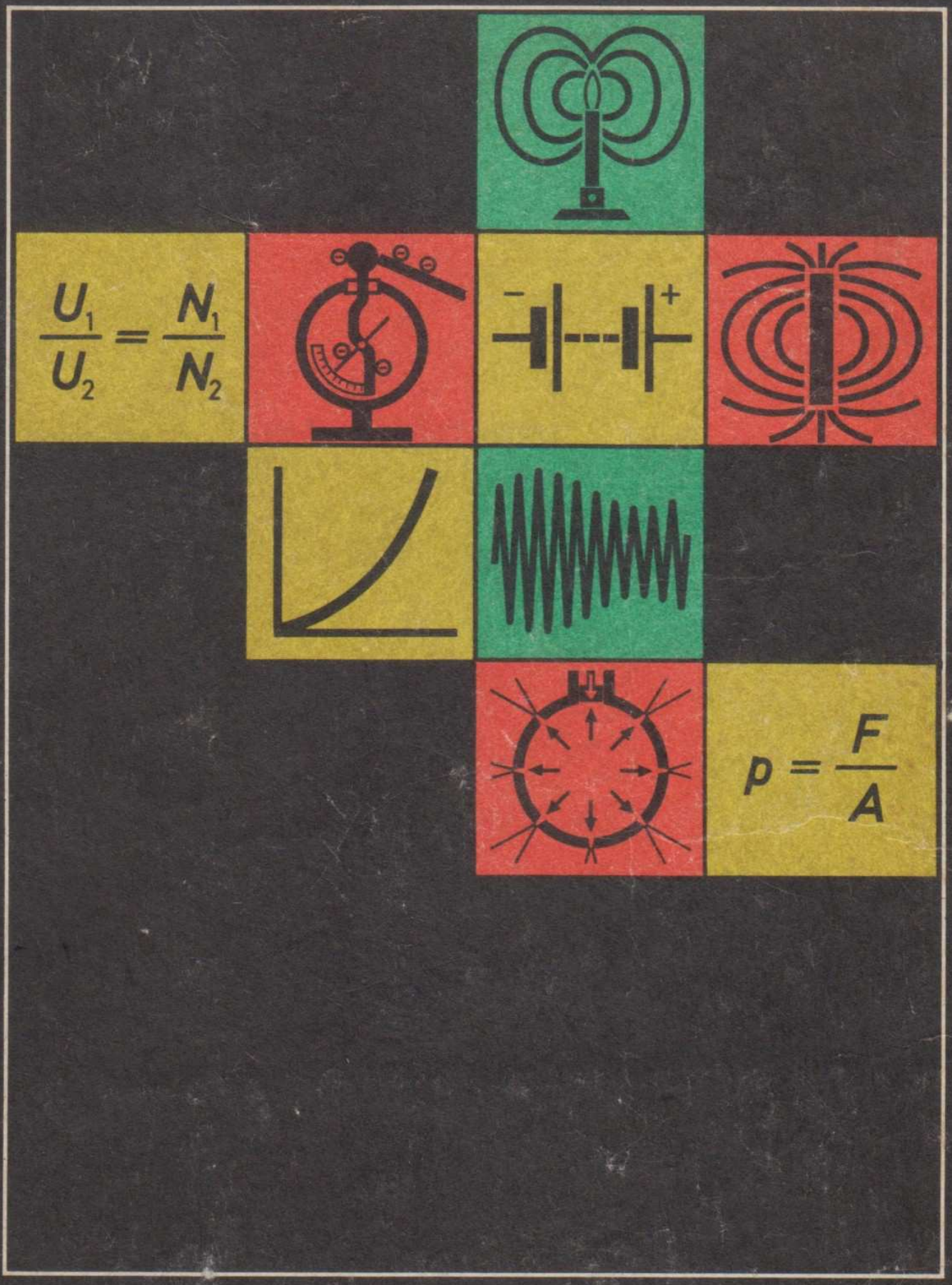


Physik in Übersichten

Wo finde ich was

Grundbegriffe
Seite 7

Methoden und Verfahren der Physik
Seite 25

Mechanik
Seite 45

Wärmelehre
Seite 89

Elektrizitätslehre
Seite 107

Geometrische Optik
Seite 153

Schwingungslehre
Seite 173

Wellenlehre
Seite 193

Atomphysik
Seite 215

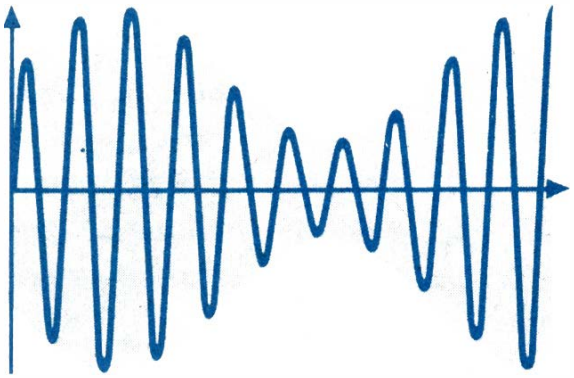
Anhang
Seite 237

Register
Seite 251

1 2 3 4 5 6 7 8 9 A R

Physik in Übersichten

Wissensspeicher für den Unterricht



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin

1984

Autoren:
Dr. Rudolf Göbel (1., 2. und Anhang)
Eberhard Eichler (3., 4. und 6.)
Hubert Buscherowsky (3. und 5.)
Dr. Helmut Menschel (5.)
Werner Steinrück (7. und 8.)
Werner Damm (9.)
Peter Glatz (Anhang)
Redaktion:
Werner Golm, Willi Wörstenfeld, Günter Meyer
Vom Ministerium für Volksbildung
der Deutschen Demokratischen Republik
als Schulbuch bestätigt.

11. Auflage
Ausgabe 1972
Lizenz-Nr. 203 · 1000/81 (DN 02 09 05-11)
LSV 0681
Ausstattung: Manfred Behrendt, Prisma · Günter Wolff
Zeichnungen: Heinrich Linkwitz
Printed in the German Democratic Republic
Satz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97
Druck und Binden: Grafischer Großbetrieb Karl-Marx-Werk Pößneck V 15/30
Schrift: 9/10 Gill Monotype
Redaktionsschluß: 19. 9. 1980
Bestell-Nr.: 730 493 3
Schulpreis DDR: 2,50

Inhalt

Grundbegriffe ➡ **1** Seite 7

Physik und ihre Teilgebiete ➡ **1|1** Seite 7
Physikalische Größen und Einheiten ➡ **1|2** Seite 9
Gesetze – Definitionen ➡ **1|3** Seite 18

Methoden und Verfahren der Physik ➡ **2** Seite 25

Der Weg physikalischer Erkenntnisgewinnung ➡ **2|1** Seite 25
Das Arbeiten mit Tabellen und grafischen Darstellungen ➡ **2|2** Seite 36
Das Lösen physikalischer Aufgaben ➡ **2|3** Seite 40

Mechanik ➡ **3** Seite 45

Körper und Stoff ➡ **3|1** Seite 47
Kinematik ➡ **3|2** Seite 54
Dynamik ➡ **3|3** Seite 64
Gravitation ➡ **3|4** Seite 71
Mechanische Energie ➡ **3|5** Seite 73
Mechanik der Flüssigkeiten und Gase ➡ **3|6** Seite 80

Wärmelehre ➡ **4** Seite 89

Wärmeenergie ➡ **4|1** Seite 90
Zusammenhang von Temperatur, Volumen und Druck ➡ **4|2** Seite 94
Energieumwandlungen ➡ **4|3** Seite 97

Elektrizitätslehre ➡ **5** Seite 107

Physikalische Größen der Elektrizitätslehre ➡ **5|1** Seite 108

Felder → 5|2 Seite 123
Elektromagnetische Induktion → 5|3 Seite 134
Elektrische Leitungsvorgänge → 5|4 Seite 139

Geometrische Optik → 6 Seite 153

Lichtquellen und Lichtausbreitung → 6|1 Seite 154
Reflexion des Lichts → 6|2 Seite 155
Brechung des Lichts → 6|3 Seite 162
Optische Geräte → 6|4 Seite 168

Schwingungslehre → 7 Seite 173

Darstellung von Schwingungen → 7|1 Seite 174
Erzeugung von Schwingungen → 7|2 Seite 178
Elektromagnetische Schwingungen → 7|3 Seite 180
Energieumwandlung bei Schwingungen → 7|4 Seite 189

Wellenlehre → 8 Seite 193

Darstellung von Wellen → 8|1 Seite 195
Mechanische Wellen → 8|2 Seite 196
Elektromagnetische Wellen → 8|3 Seite 201

Atomphysik → 9 Seite 215

Atombau → 9|1 Seite 216
Atomkerne → 9|2 Seite 222
Elementarteilchen → 9|3 Seite 233

Anhang → A Seite 237

Zur historischen Entwicklung physikalischer Erkenntnisse und Entdeckungen → A Seite 237
Schaltzeichen und Schaltkurzzeichen elektrischer Bauelemente → A Seite 243
Bezeichnungen der wichtigsten Stativteile → A Seite 247
Arbeits- und Brandschutz → A Seite 248

Register → R Seite 251

Zur Benutzung des Buches

● In diesem Buch ist in den Hauptabschnitten 1 bis 10 der Lehrstoff des Physikunterrichts der Klassen 6 bis 10 in knapper, übersichtlicher Form enthalten.
● Mit Hilfe dieses Buches ist es möglich, den im Unterricht behandelten Lehrstoff zu wiederholen. Das wird besonders dann vorteilhaft sein, wenn der Lehrstoff zurückliegender Klassen nochmals durchgearbeitet werden soll.
● Im Anhang sind neben häufig benutzten Schaltzeichen und Stativteilen wichtige Forderungen des Arbeits- und Brandschutzes aufgeführt.
● In diesem Buch verwendete Symbole und Kurzzeichen:

▶ Wichtige Gesetze, Definitionen und Konstanten

■ Beispiele

↗ siehe

Ch i Üb Chemie in Übersichten

Ma i Üb Mathematik in Übersichten

➡ 113 Hinweis auf Unterabschnitte, jeweils in der äußeren oberen
113 ⬅ Ecke der Buchseite

Grundbegriffe 1

1.1. Physik und ihre Teilgebiete

Einteilung der Naturwissenschaften

Naturwissenschaften

Wissenschaften vom Aufbau und der Bewegung der lebenden und nichtlebenden Natur

Physik	Chemie	Biologie	Weitere Teilgebiete
Wissenschaft vom Aufbau und der Bewegung der nichtlebenden Natur, soweit diese nicht mit einer chemischen Veränderung der Stoffe verbunden sind	Wissenschaft von den Stoffen, ihrem Aufbau, ihren Eigenschaften und den Reaktionen, die zu anderen Stoffen führen	Wissenschaft vom Leben, seinen Gesetzmäßigkeiten und Erscheinungsformen, von seiner Ausbreitung in Raum und Zeit	(Astronomie, Geologie, Meteorologie, Mineralogie u. a.)

Teilgebiete der Physik

In der Entwicklung der Naturwissenschaften lassen sich zwei Richtungen unterscheiden:

- Der ständig wachsende Umfang von Erkenntnissen führte zu einer **Aufspaltung in viele Teilgebiete.**
- Mit dem immer tieferen Eindringen in die Gegenstände und Vorgänge in der Natur wurden vielfältige **Zusammenhänge und Verbindungen zwischen den Teilgebieten** aufgedeckt.

Im Zuge der Aufspaltung entstanden als Teilgebiete der Physik die Mechanik, die Akustik, die Optik, die Wärme- und die Elektrizitätslehre, die Atom- und Kernphysik u. a.
Im Zuge der Erkenntnis der **Zusammenhänge** zwischen den verschiedenen Naturwissenschaften bildeten sich **Grenzwissenschaften** heraus, wie die physikalische Chemie, die Biophysik, die Biochemie u. a.
Die Entwicklung der Physik ist dadurch gekennzeichnet, daß die wissenschaftlichen Untersuchungen zunächst vorwiegend auf jene Eigenschaften der Gegenstände, Vorgänge und Zustände gerichtet waren, die wir mit unseren Sinnesorganen unmittelbar wahrnehmen können (Untersuchung der **Erscheinungen**).
Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse richtete sich das Interesse der Wissenschaftler dann auf die Untersuchung der inneren Zusammenhänge und der Ursachen der Erscheinungen (Untersuchung des **Wesens**).

Zusammenfassung der ihrer Erscheinung nach ähnlichen physikalischen Sachverhalte (klassische Gliederung)

Teilgebiet	Untersuchungsgegenstand
Mechanik	Die physikalischen Eigenschaften der Körper, die Bewegungszustände und deren Ursachen, die Kräfte (↗ S. 45)
Akustik	Die Schallentstehung, die Schallausbreitung und die damit verbundenen Erscheinungen (↗ S. 173)
Wärmelehre	Die Zustandsänderungen von Körpern infolge Zufuhr oder Abgabe von Wärmeenergie und die Energieumwandlungen, an denen Wärmeenergie beteiligt ist (↗ S. 89)
Optik	Die Entstehung und die Ausbreitung des Lichts und die damit verbundenen Erscheinungen (↗ S. 153)
Elektrizitätslehre	Die elektrischen Ladungen und die mit ihnen verknüpften Felder (↗ S. 107)
Atom- und Kernphysik	Die Vorgänge im Atom und zwischen wenigen Atomen, der Aufbau der Atomkerne, ihre Eigenschaften und die Eigenschaften der Elementarteilchen (↗ S. 215)

Zusammenfassung der ihrem Wesen nach ähnlichen physikalischen Sachverhalte (moderne Gliederung)

Physik der Teilchen	Die Eigenschaften der Teilchen und deren Bewegung unter der Wirkung von Kräften
Physik der Felder	Die Ladungen, die mit ihnen verknüpften Felder und die von Feldern auf Körper ausgeübten Kräfte

Teilgebiet	Untersuchungsgegenstand
Physik der Wellen	Zeitlich und räumlich periodische Änderungen physikalischer Größen (↗ S. 193)
Physik der Quanten	Die Vorgänge und Zustände, die sich weder allein mit dem Modell „Teilchen" noch allein mit dem Modell „Welle" beschreiben lassen

Bei den Darstellungen in diesem Buch werden beide Betrachtungsweisen verwendet. In den Kapiteln 3 bis 6 und 9 erfolgt die Betrachtung vorwiegend nach dem **Erscheinungsbild** der physikalischen Gegenstände, Vorgänge und Zustände, in den Kapiteln 7 und 8 werden in ihrem **Wesen** ähnliche Sachverhalte zusammengefaßt dargestellt.

Die von der Physik gewonnenen Erkenntnisse werden auch für die anderen Naturwissenschaften von immer größerer Bedeutung. Viele Methoden und Verfahren der Physik (↗ S. 25) werden auch in den anderen Naturwissenschaften angewendet (↗ experimentelle Methode, S. 28, Modellmethode, S. 33, deduktive und induktive Methode, S. 34).
Die Entwicklung der Physik zeigt, daß der Mensch in der Lage ist, immer tiefer in die Geheimnisse der Natur einzudringen, daß die Natur erkennbar ist und ihre Gesetze entdeckt werden können. Die Kenntnis der Naturgesetze ermöglicht es uns, die Wirkungen dieser Gesetze zu beherrschen, sie auszunutzen und damit die Umwelt zu verändern. Von der moralischen Haltung des Wissenschaftlers hängt es mit ab, ob diese Kenntnis zum Nutzen oder Schaden der Gesellschaft angewendet wird.

1.2. Physikalische Größen und Einheiten

Physikalische Größen und Formelzeichen

▶ Physikalische Größen beschreiben Eigenschaften von Gegenständen, Vorgängen oder Zuständen, für die ein Meßverfahren existiert. Eine physikalische Größe ist als Produkt aus Zahlenwert und Einheit anzugeben.

Die für die physikalischen Größen zu verwendenden Formelzeichen sind durch DDR-Standard festgelegt.

↗ Tabelle physikalischer Größen und Einheiten, S. 15

Messung einer physikalischen Größe

Zum Messen müssen festgelegt werden:

1. Eine **Einheit**	Für die Länge l wird als Einheit die Vergleichsgröße „1 Meter (1 m)", festgelegt.
2. Eine Meßvorschrift, nach der der **Zahlenwert** ermittelt werden kann. Der Zahlenwert gibt an, wievielmal die Einheit in der zu messenden Größe enthalten ist	Die Einheit 1 m ist in der Höhe des Berliner Fernsehturmes 365mal enthalten, d. h. $h = 365$ m

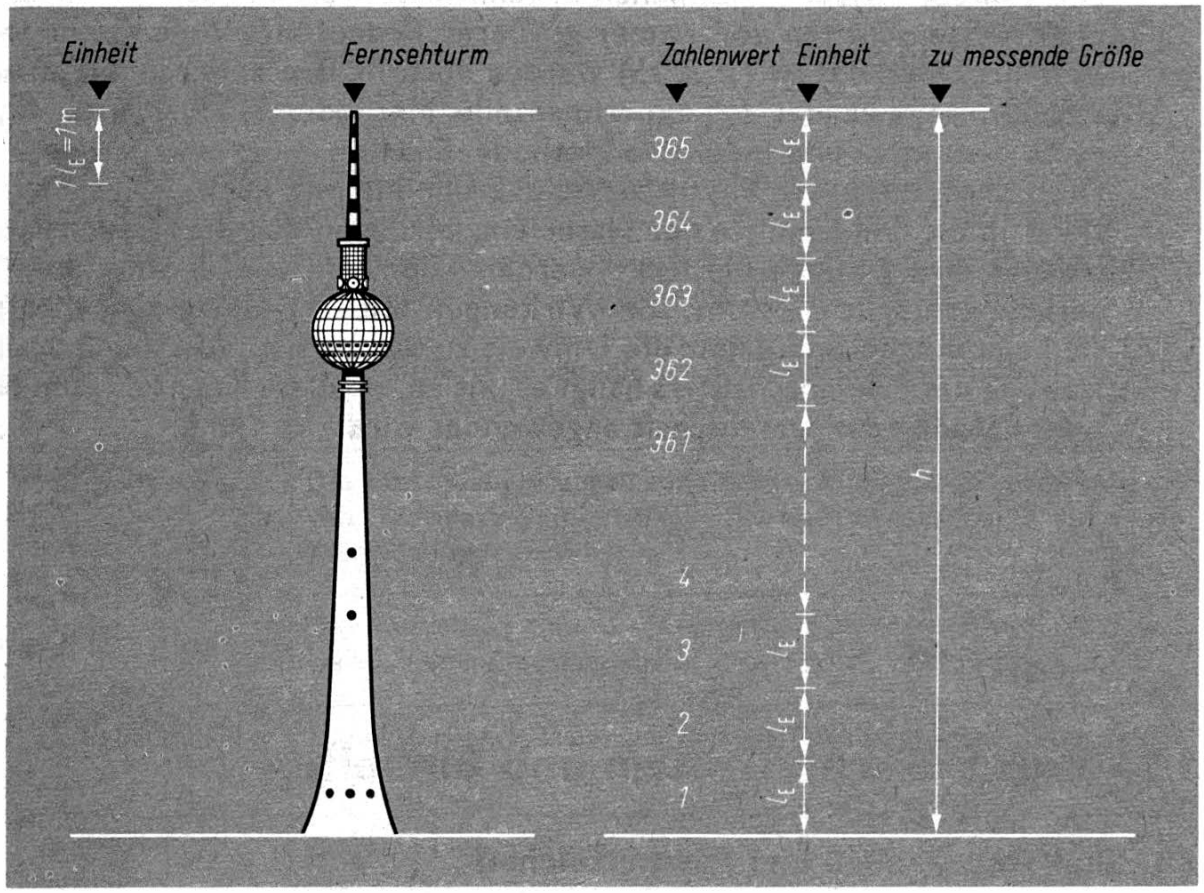


Bild 10/1 Beispiel einer Längenmessung

Zu messende physikalische Größe	Einheit	Zahlenwert
Höhe h des Berliner Fernsehturmes	Vergleichslänge l_E $l_E = 1$ m	$h = 365 \cdot l_E$ $\frac{h}{l_E} = 365$ $\frac{h}{1\text{ m}} = 365$

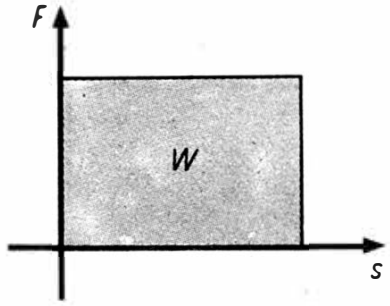
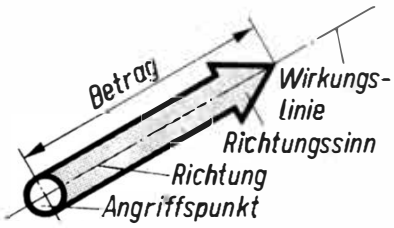
Einteilung physikalischer Größen

1. Basisgrößen – abgeleitete Größen

Bezeichnung der Größe	Erläuterungen	Beispiele
Basisgrößen	Sie können nicht auf andere physikalische Größen zurückgeführt werden und sind voneinander unabhängig. Sie werden definiert durch die Angabe	Länge, Zeit, Temperatur
	● eines **Meßobjekts**	Schwingung eines Pendels
	● einer **Meßapparatur**	Stoppuhr
	● einer **Meßvorschrift**	Die Stoppuhr wird beim Durchlaufen des Pendels durch den Ruhepunkt ausgelöst und beim übernächsten Durchlaufen wieder gestoppt
	● einer **Einheit**	Die Sekunde
Abgeleitete Größen	Sie werden definiert durch die Angabe	
	● bereits definierter physikalischer Größen	Weg, Zeit
	● einer Definitionsgleichung, durch die die bereits definierten physikalischen Größen miteinander verknüpft werden	Geschwindigkeit $= \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$ $v = \frac{s}{t}$

2. Physikalische Größen ohne Richtungssinn (skalare Größen) – physikalische Größen mit Richtungssinn (vektorielle Größen)

Bezeichnung der Größe	Erläuterungen	Beispiele
Größen ohne Richtungssinn (skalare Größen)	Zur eindeutigen Festlegung genügt die Angabe eines **Zahlenwertes** und einer **Einheit** } **des Betrages**	Größen ohne Richtungssinn lassen sich durch Strecken oder Flächen veranschaulichen (z. B. der Abstand s zweier

Bezeichnung der Größe	Erläuterungen	Beispiele
		Punkte im Raum, an einem bewegten Körper verrichtete Arbeit) 
Größen mit Richtungssinn (vektorielle Größen)	Zur eindeutigen Festlegung sind erforderlich die Angaben ● eines **Zahlenwertes** ● einer **Einheit** ● der **Richtung** in der Ebene oder im Raum ● des **Richtungssinnes** (Durchlaufsinnes) Vektorielle Größen werden durch einen über das Formelzeichen gesetzten Pfeil gekennzeichnet	Vektorielle Größen werden durch gerichtete Strecken dargestellt, deren Richtung mit der Richtung der Größe übereinstimmt und deren Länge dem Betrag der Größe proportional ist  Die Kraft $\vec{F}$; die Geschwindigkeit $\vec{v}$; die Beschleunigung $\vec{a}$; die elektrische Feldstärke $\vec{E}$

Addition vektorieller Größen

Die Vektoren haben gleichen Richtungssinn:

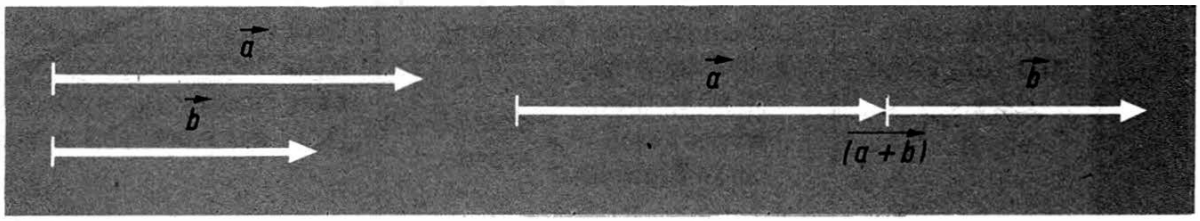


Bild 12/3

Die Vektoren haben entgegengesetzten Richtungssinn:

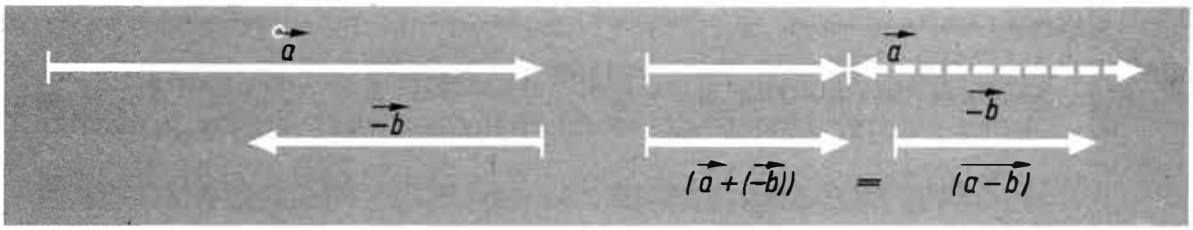


Bild 13/1

Die Vektoren haben weder gleichen noch entgegengesetzten Richtungssinn:

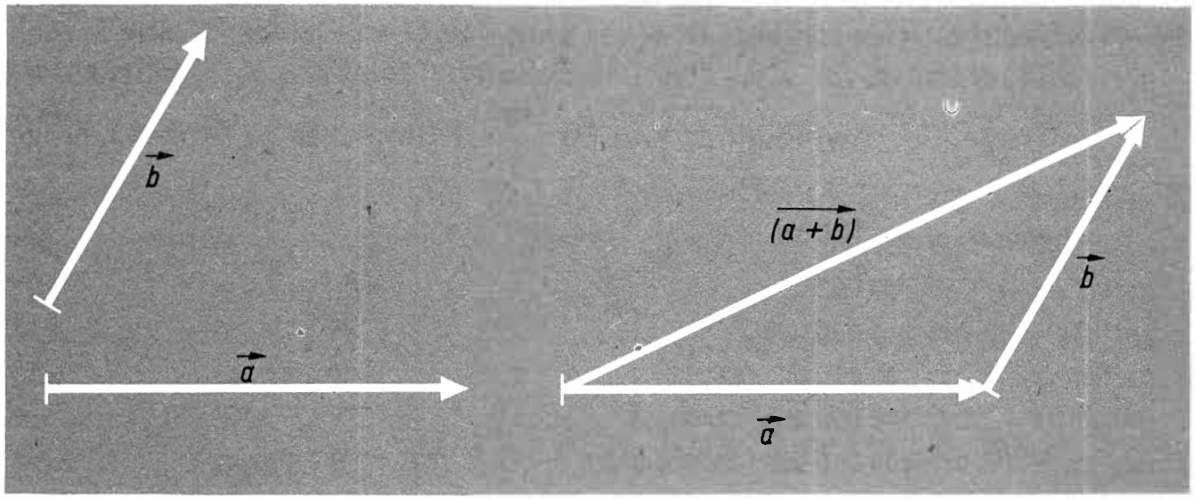


Bild 13/2

3. Erhaltungsgrößen

Bezeichnung der Größe	Erläuterungen	Beispiele
Erhaltungsgrößen	Größen, die sich während des Ablaufs eines physikalischen Vorgangs nicht ändern und damit von der Zeit nicht abhängig sind	Energie W, Ladung Q

4. Zustandsgrößen

Bezeichnung der Größe	Erläuterungen	Beispiele
Zustandsgrößen	Man unterscheidet Größen, die den Gleichgewichtszustand einer oder mehrerer sich gegenseitig beeinflussender Körper beschreiben: ● einfache Zustandsgrößen ● abgeleitete Zustandsgrößen	 Druck p, Volumen V, Temperatur T Innere Energie W_i

Größengleichungen

Eine Größengleichung ist die mathematische Darstellung
- des gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen physikalischen Größen oder
- der Definition abgeleiteter physikalischer Größen.

Jede physikalische Größe ist in die Größengleichung als Produkt aus Zahlenwert und Einheit einzusetzen.

Ein Fahrzeug durchfährt in einer geschlossenen Ortschaft eine Strecke s von 100 Metern in der Zeit *t* von 12 Sekunden. Hat der Kraftfahrer die höchstzulässige Geschwindigkeit von 50 $\frac{km}{h}$ (Kilometer je Stunde) eingehalten?

Gegeben: $s = 100\ m$
$t = 12\ s$

Gesucht: v

Lösung:

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

$$v = \frac{100\ m}{12\ s}$$

$$v = \frac{100 \cdot 10^{-3}\ km}{12 \cdot \frac{1}{3600}\ h}$$

$$v = \frac{0{,}1\ km}{\frac{1}{300}\ h}$$

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

Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beträgt 30 $\frac{km}{h}$. Der Kraftfahrer hat die höchstzulässige Geschwindigkeit eingehalten.

Einheiten

Um die Ergebnisse physikalischer Messungen vergleichen zu können, sind internationale Vereinbarungen getroffen worden, die **für alle physikalischen Größen verbindliche Einheiten** festlegen. Für die Deutsche Demokratische Republik ist die Verwendung dieses international gültigen Einheitensystems Gesetz. Man unterscheidet **Basiseinheiten** und **abgeleitete Einheiten**. Die abgeleiteten Einheiten sind aus Basiseinheiten zusammengesetzt.

Basiseinheiten: 1 m, 1 s, 1 kg, 1 A, 1 K

abgeleitete Einheiten: $1\ \frac{m}{s}$, $1\ \frac{m}{s^2}$, $1\ \frac{kg \cdot m}{s^2}$

↗ Tabelle physikalischer Größen und Einheiten, S. 15

Tabelle physikalischer Größen und Einheiten

Dezimalvorsätze. Als Einheiten sind auch die dezimalen Vielfachen und Teile, die von Basiseinheiten oder abgeleiteten Einheiten gebildet werden, zulässig.

Vorsatz	Kurzzeichen	Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird
Tera	T	1 000 000 000 000 (10^{12}) Einheiten
Giga	G	1 000 000 000 (10^{9}) Einheiten
Mega	M	1 000 000 (10^{6}) Einheiten
Kilo	k	1 000 (10^{3}) Einheiten
Hekto	h	100 (10^{2}) Einheiten
Deka	da	10 (10^{1}) Einheiten
Dezi	d	0,1 (10^{-1}) Einheiten
Zenti	c	0,01 (10^{-2}) Einheiten
Milli	m	0,001 (10^{-3}) Einheiten
Mikro	μ	0,000 001 (10^{-6}) Einheiten
Nano	n	0,000 000 001 (10^{-9}) Einheiten
Pico	p	0,000 000 000 001 (10^{-12}) Einheiten
Femto	f	0,000 000 000 000 001 (10^{-15}) Einheiten
Atto	a	0,000 000 000 000 000 001 (10^{-18}) Einheiten

Nr.	Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen	Beziehungen zu den Basiseinheiten
1. Raum					
1.1.	**Länge**	l	**Meter**	**m**	**Basiseinheit**
1.2.	Fläche	A, S	Quadratmeter	m^2	$1\ m^2 = 1\ m \cdot 1\ m$
			Ar	a	$1\ a = 1 \cdot 10^2\ m^2$
			Hektar	ha	$1\ ha = 1 \cdot 10^4\ m^2$
1.3.	Volumen	V	Kubikmeter	m^3	$1\ m^3 = 1\ m \cdot 1\ m \cdot 1\ m$
			Liter	l	$1\ l = 1 \cdot 10^{-3}\ m^3$
1.4.	Ebener Winkel	$\alpha, \beta, \gamma,$	Radiant	rad	$1\ rad = \frac{1\ m}{1\ m}\ \frac{\text{Bogen}}{\text{Radius}}$
			Grad	°	$1° = \frac{\pi}{180}\ rad$
			Minute	′	$1' = \frac{\pi}{10800}\ rad$
			Sekunde	″	$1'' = \frac{\pi}{648000}\ rad$

Nr.	Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen	Beziehungen zu den Basiseinheiten
2. Raum und Zeit					
2.1.	**Zeit**	t, T	**Sekunde**	s	**Basiseinheit**
			Minute	min	1 min = 60 s
			Stunde	h	1 h = 60 min = 3600 s
			Tag	d	1 d = 24 h = 86400 s
2.2.	Frequenz	f, ν	Hertz	Hz	$1\ \mathrm{Hz} = 1\ \mathrm{s}^{-1}$
			Eins je Stunde	$\frac{1}{\mathrm{h}}$	$\frac{1}{\mathrm{h}} = \frac{1}{3600}\ \mathrm{s}^{-1}$
			Eins je Minute	$\frac{1}{\mathrm{min}}$	$\frac{1}{\mathrm{min}} = \frac{1}{60}\ \mathrm{s}^{-1}$
2.3.	Geschwindigkeit	v	Meter je Sekunde	$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$	$1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 1\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$
2.4.	Beschleunigung	a	Meter je Quadratsekunde	$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$	$1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$
3. Mechanik					
3.1.	**Masse**	m	**Kilogramm**	**kg**	**Basiseinheit**
			Gramm	g	$1\ \mathrm{g} = 1 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg}$
			Tonne	t	$1\ \mathrm{t} = 1 \cdot 10^{3}\ \mathrm{kg}$
3.2.	Dichte	ϱ	Kilogramm je Kubikmeter	$\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$	$1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} = 1\ \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3} =$
			Gramm je Kubikzentimeter	$\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$	$1 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{g} \cdot \mathrm{cm}^{-3}$
					$1\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} = 1 \cdot 10^{3}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
3.3.	Kraft	F	Newton	N	$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$
			Pond	p	$1\ \mathrm{p} = 9{,}806\,65 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{N}$
			Kilopond	kp	$1\ \mathrm{kp} = 9{,}806\,65\ \mathrm{N}$
3.4.	Druck, Spannung	p	Pascal	Pa	$1\ \mathrm{Pa} = 1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = 1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^2}$
			Bar	bar	$1\ \mathrm{bar} = 1 \cdot 10^{5}\ \mathrm{Pa}$
			Kilopond je Quadratmeter	$\frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{m}^2}$	$1\ \frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{m}^2} = 9{,}806\,65\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$
			Kilopond je Quadratzentimeter	$\frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{cm}^2}$	$1\ \frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{cm}^2} = 9{,}806\,65 \cdot 10^{4}\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$
			Meter Wassersäule	mWS	$1\ \mathrm{mWS} = 9{,}806\,65 \cdot 10^{3}\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$

Nr.	Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen	Beziehungen zu den Basiseinheiten
3. Mechanik					
			Physikalische Atmosphäre	at	$1\ \text{at} = 1\ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$
			Torr	Torr	$1\ \text{Torr} = \frac{101\,325}{760}\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
3.5.	Arbeit Energie	W, A, E	Joule	J	$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot \text{m} = 1\ \text{W} \cdot \text{s}$ $= 0{,}239\ \text{cal} = 0{,}102\ \text{kpm}$
			Elektronenvolt	eV	$1\ \text{eV} = 1{,}60210 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$
3.6.	Leistung	P	Watt	W	$1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}}$ $= 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$ $= 1\ \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
			Pferdestärke	PS	$1\ \text{PS} = 735{,}49875\ \text{W}$
4. Elektrizität und Magnetismus					
4.1.	**Elektr. Stromstärke**	I	**Ampere**	**A**	**Basiseinheit**
4.2.	Elektrizitätsmenge (elektrische Ladung)	Q	Coulomb	C	$1\ \text{C} = 1\ \text{A} \cdot 1\ \text{s}$
4.3.	Elektrische Leistung (Wirkleistung)	P, P_w	Watt	W	$1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}}$ $= 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
	Scheinleistung	P_s	Voltampere	VA	$1\ \text{VA} = 1\ \text{W}$
4.4.	Elektrische Spannung	U	Volt	V	$1\ \text{V} = 1\ \frac{\text{W}}{\text{A}}$ $= 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
4.5.	Elektrische Feldstärke	E	Volt je Meter	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$	$1\ \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1\ \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
4.6.	Elektrische Kapazität	C	Farad	F	$1\ \text{F} = 1\ \frac{\text{C}}{\text{V}} = 1\ \frac{\text{As}}{\text{V}}$ $= 1\ \text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
4.7.	Elektr. Widerstand	R	Ohm	Ω	$1\ \Omega = 1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}$ $= 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$

Nr.	Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen	Beziehungen zu den Basiseinheiten
4 Elektrizität und Magnetismus					
4.8.	Spezifischer elektrischer Widerstand	ϱ	Ohmmeter	$\Omega \cdot m$	$1\,\Omega \cdot m = 1\,m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
4.9.	Induktivität	L	Henry	H	$1\,H = 1\,\frac{Vs}{A} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
5. Wärme					
5.1.	**Temperatur**	T, t, ϑ	**Kelvin** Grad Celsius	**K** C	**Basiseinheit** $0^\circ C = 273{,}15\ K$
5.2.	Wärmemenge (innere Energie, chemische Reaktionswärme)	W, Q	Joule	J	$1\,J = 1\,W \cdot s = 1\,N \cdot m = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
5.3.	Spezifische Wärme	c	Joule je Kilogramm und Grad Kalorie je Gramm und Grad	$\frac{J}{kg \cdot grd}$ $\frac{cal}{g \cdot grd}$	$1\,\frac{J}{kg \cdot grd} = 1\,m^2 \cdot s^{-2} grd^{-1}$ $1\,\frac{cal}{g \cdot grd} = 4{,}1868 \cdot 10^3\,\frac{J}{kg \cdot grd}$

1.3. Gesetze – Definitionen

Unterschied zwischen physikalischen Gesetzen und Definitionen

Ziel der wissenschaftlichen Untersuchungen ist die Erkenntnis von **Gesetzmäßigkeiten**. Zur exakten Beschreibung dieser Zusammenhänge sind **Begriffe** erforderlich, deren Bedeutung eindeutig definiert (festgelegt) sein muß.

Physikalische Gesetze	Definitionen
beschreiben den in der Natur gegebenen, vom Menschen **nicht beeinflußbaren** aber **erkennbaren** Zusammenhang zwischen den Gegenständen, Vorgängen oder Zuständen	sind vom Menschen zum Zwecke der eindeutigen Beschreibung von Gegenständen, Vorgängen und Zuständen vorgenommene **zweckmäßige** und **sinnvolle Festlegungen** über die Bedeutung eines Begriffes (↗ Definitionen, S. 23)

Physikalische Gesetze

können vom Menschen durch unmittelbare Beobachtungen (↗ Erfahrungssätze) oder Experimente (↗ induktive Methode) oder aus bereits bekannten Gesetzen durch logische Schlüsse oder mathematische Ableitungen (↗ deduktive Methode) gewonnen werden.

Erfahrungssätze

▶ Erfahrungssätze sind physikalische Gesetze, durch die die Erfahrungen der Menschen über den Zusammenhang zwischen Gegenständen, Vorgängen oder Zuständen in der Natur ausgedrückt werden, die nicht aus anderen Gesetzen hergeleitet werden können und nur an der Erfahrung bestätigt werden können.

■ Satz von der Erhaltung der Energie
Actio = Reactio
Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen, geradlinigen Bewegung, solange keine äußere Kraft auf ihn einwirkt.
Eine Kraft ruft an einem Körper stets eine Beschleunigung hervor, solange keine gleich große Gegenkraft wirkt.

Erhaltungssätze

▶ Erhaltungssätze sind physikalische Gesetze, in denen die Konstanz einer physikalischen Größe festgestellt wird.

■ Erhaltungssatz der mechanischen Energie
$W_m = W_{pot} + W_{kin} = \text{konst.}$

Darstellungsformen physikalischer Gesetze

Die in physikalischen Gesetzen erfaßten Zusammenhänge können
- entweder in Worten formuliert oder
- durch wörtliche Formulierung **und** in mathematischer Form dargestellt werden.

Die Darstellung in mathematischer Form erfordert, daß die untersuchten Eigenschaften der Gegenstände, Vorgänge und Zustände **meßbar** sind, d. h. als physikalische Größen definiert sind (↗ S. 10).
Physikalische Gesetze werden meist in mathematischer Form geschrieben.

Man unterscheidet verschiedene Darstellungsformen:

Funktion	**Proportionalität**	**Funktionsgleichung Größengleichung**
$F = f(a)$	$F \sim a$	$F = m \cdot a$
$s = f(t)$	$s \sim t$	$s = v \cdot t$
$I = f(U)$	$I \sim U$	$I = \frac{1}{R} \cdot U$

Experimentell wird der **Zusammenhang zwischen jeweils zwei Größen** untersucht, wobei die übrigen Größen konstant gehalten werden. Der Zusammenhang wird mathematisch in Form einer **Proportionalität** formuliert:

$I \sim U \qquad W \sim Q \qquad F \sim x$

Hängt die betreffende physikalische Größe von mehreren physikalischen Größen ab, dann werden die verschiedenen Abhängigkeiten einzeln untersucht und anschließend zusammengefaßt.

$W \sim m$ für $\Delta\vartheta$ = konstant
$W \sim \Delta\vartheta$ für m = konstant

$W \sim m\,\Delta\vartheta$

Aus den **Proportionalitäten** gelangt man durch Einführen von Proportionalitätsfaktoren zu Größengleichungen (↗ S. 14).

Die wichtigsten in der Physik auftretenden Gesetzmäßigkeiten können durch folgende mathematische Funktionen erfaßt werden:

- lineare Funktionen (direkte Proportionalität, Bild 20/1)

  $F = m \cdot a$ für m = konst.

  ↗ Ma i Üb, S. 62

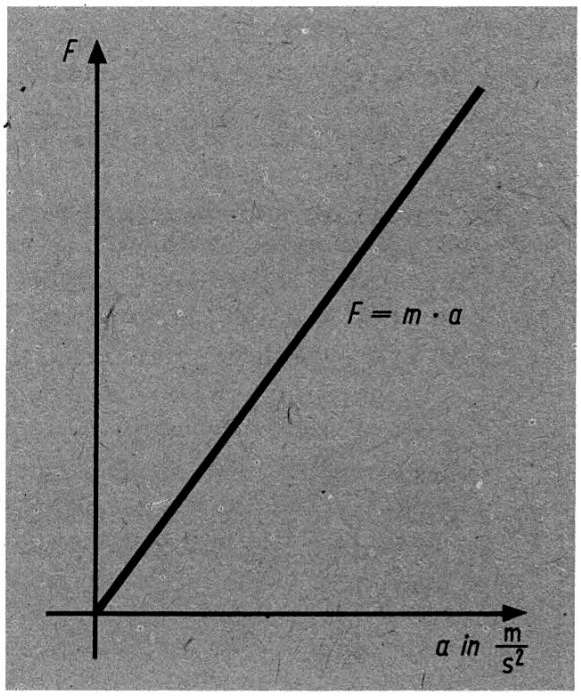


Bild 20/1 Bild der Funktion $F = m \cdot a$
Diagramm des Zusammenhanges zwischen der beschleunigenden Kraft und der Beschleunigung eines Körpers

- quadratische Funktionen (Bild 21/1)

$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

↗ Ma i Üb, S. 86

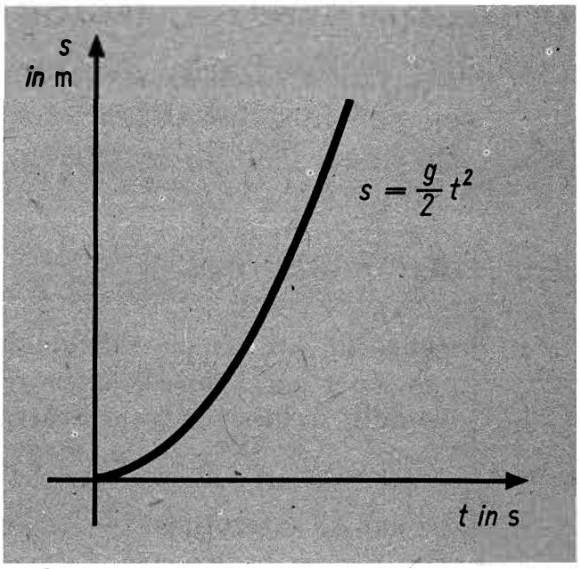


Bild 21/1 Bild der Funktion $s = \frac{g}{2} \cdot t^2$
Weg-Zeit-Diagramm eines frei fallenden Körpers

- Potenzfunktionen mit negativen Exponenten (umgekehrte Proportionalität, Bild 21/2)

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

für Q = konst.

↗ Ma i Üb, S. 95

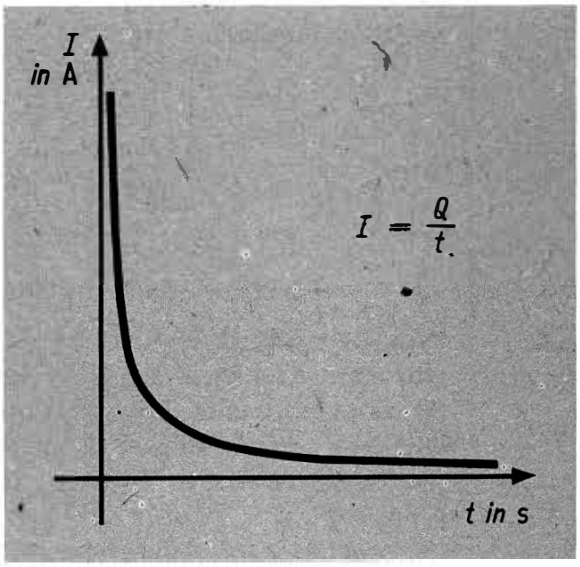


Bild 21/2 Bild der Funktion $I = \frac{Q}{t}$
Diagramm des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Stromstärke beim Entladen eines Kondensators

- trigonometrische Funktionen, (Bild 21/3)

$$y = y_{max} \cdot \sin \omega t$$

↗ Ma i Üb, S. 116

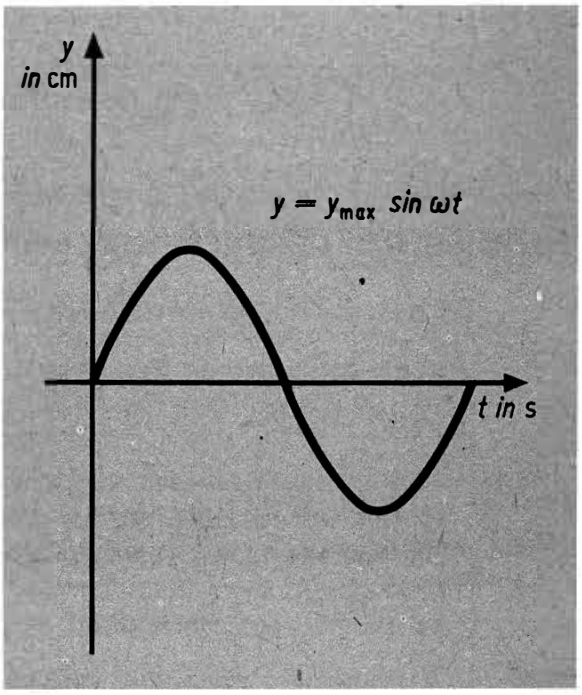


Bild 21/3
Bild der Funktion $y = y_{max} \cdot \sin \omega t$
y-t-Diagramm einer Schwingung

Dynamische Gesetze – statistische Gesetze

In physikalischen Gesetzen werden Zusammenhänge erfaßt, die das Verhalten von Einzelobjekten oder einer großen Anzahl von Einzelobjekten beschreiben. Man unterscheidet:

Dynamische Gesetze	Statistische Gesetze
geben an, wie sich ein **Einzelobjekt** unter den gegebenen Bedingungen **notwendig** verhält Ist der Anfangszustand gegeben und sind die äußeren Bedingungen bekannt, dann beschreibt das dynamische Gesetz alle Folgezustände eindeutig	geben die eine Möglichkeit für das Gesamtverhalten einer **großen Anzahl von Einzelobjekten** an, die unter den gegebenen Bedingungen **notwendig** verwirklicht wird Ist der Anfangszustand gegeben und sind die äußeren Bedingungen bekannt, dann beschreibt das statistische Gesetz das Verhalten der **Gesamtheit der Einzelobjekte** eindeutig. Das Verhalten eines Einzelobjektes wird durch das Gesetz nicht erfaßt, d. h. statistische Gesetze erlauben keine Aussage darüber, welches der Einzelobjekte von einer Zustandsänderung betroffen wird
Weg-Zeit-Gesetz des freien Falles: Es gibt an, welchen Weg ein Gegenstand (Einzelobjekt) unter den gegebenen Bedingungen notwendig in einer bestimmten Zeit zurücklegt. (↗ S. 59)	Statistisches Gesetz des Kernzerfalls: Es gibt an, wieviele Atomkerne (große Anzahl von Einzelobjekten) einer vorgegebenen Menge von Atomkernen unter den gegebenen Bedingungen in einer bestimmten Zeit notwendig zerfallen werden. Es gibt nicht an, welche der Atomkerne zerfallen werden. (↗ S. 228)

Physikalisches Gesetz – mathematischer Satz

Es besteht folgender wesentlicher Unterschied:

Physikalische Gesetze	Mathematische Sätze
können nicht bewiesen, sondern nur **bestätigt** werden, da es prinzipiell unmöglich ist, alle durch das Gesetz erfaßten Möglichkeiten im Rahmen des Gültigkeitsbereiches experimentell zu prüfen	werden durch logische Schlußfolgerungen aus bereits bewiesenen Sätzen oder aus Axiomen **bewiesen** ↗ Ma i Üb, S. 9

Gültigkeitsbereich – Definitionsbereich

Der Gültigkeitsbereich eines physikalischen Gesetzes ist vom Definitionsbereich der entsprechenden Funktion zu unterscheiden.

Physikalisches Gesetz $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	
Das angegebene physikalische Gesetz kann als mathematische Funktion aufgefaßt werden: $T = f(l)$	
Gültigkeitsbereich des physikalischen Gesetzes	**Definitionsbereich** der Funktion
gilt nur ● für $l > 0$, ● für punktförmige Körper mit der Masse m, ● bei masselosem Faden, ● bei kleinen Auslenkungswinkeln	gilt für $l > 0$

Definitionen

Zur Beschreibung der in der Natur beobachteten Sachverhalte werden Begriffe verwendet.

Eine Definition ist die Festlegung der Bedeutung eines Begriffes
- durch eine wörtliche Beschreibung (qualitative Definition)
  oder
- durch eine Definitionsgleichung (quantitative Definition).

Art des Begriffs	Beispiel
Begriffe, deren Bedeutung durch **wörtliche Beschreibung** festgelegt wird	Um die in der Natur beobachteten periodischen Änderungen eines Zustandes während der Zeit und an einem bestimmten Ort zu beschreiben, wird der Begriff *Welle* eingeführt: *Welle* – ein physikalischer Vorgang, bei dem sich eine physikalische Größe räumlich und zeitlich periodisch ändert und Energie ohne Stofftransport übertragen wird. Um den Aufbau der Stoffe beschreiben zu können, wird der Begriff *Atom* eingeführt: *Atom* – Teilchen, aus denen die chemischen Elemente aufgebaut sind und die bei chemischen Reaktionen nicht zerlegt werden

Art des Begriffs	Beispiel
Begriffe, deren Bedeutung durch eine **Definitionsgleichung** festgelegt wird	Um eine Bewegung zu beschreiben, wird z. B. der Begriff *Geschwindigkeit* eingeführt: *Geschwindigkeit* v ist gleich dem Quotienten aus dem zurückgelegten Weg s und der dazu benötigten Zeit t. $\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$ $v = \frac{s}{t}$ Um die Eigenschaft von Stoffen zu beschreiben, den Strom unterschiedlich gut zu leiten, wird der Begriff *elektrischer Widerstand* eingeführt: *Elektrischer Widerstand* R ist gleich dem Quotienten aus der an den Enden des Leiters liegenden Spannung U und der Stromstärke I. $\text{Elektrischer Widerstand} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}}$ $R = \frac{U}{I}$

Methoden und Verfahren der Physik 2

2.1. Der Weg physikalischer Erkenntnisgewinnung

Voraussetzung für eine zielstrebige Forschung ist, daß der Wissenschaftler die Verfahren und Methoden kennt, die zur Auffindung neuer Erkenntnisse führen. Zur Erkenntnis der Naturgesetze stehen dem Physiker verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die wichtigsten sind:

- die experimentelle Methode – das Experiment (↗ S. 28),
- die Modellmethode – das Modell (↗ S. 33),
- die deduktive und die induktive Methode (↗ S. 34).

In den meisten Fällen führt die Anwendung eines Verfahrens allein nicht zum Ziel. Die wesentlichen Schritte bei der Gewinnung einer physikalischen Erkenntnis lassen sich in einem **allgemeinen Erkenntnisweg** zusammenfassen.

Viele Naturwissenschaften wenden dieselben Verfahren an; diese Verfahren werden in immer stärkerem Maße auch für die Entdeckung der gesetzmäßigen Zusammenhänge in der Entwicklung der Gesellschaft (Gesellschaftswissenschaften) genutzt.

Besonders in den letzten 100 Jahren haben neue physikalische Erkenntnisse das Leben der Menschen entscheidend verändert. Die Nutzung dieser Kenntnisse in Industrie, Landwirtschaft, Medizin usw. erfordert es, daß auch jeder Werktätige mit den wichtigsten Verfahren der Erkenntnisgewinnung und der Umsetzung der Erkenntnisse vertraut ist, da physikalische Gesetze und Verfahren die Grundlage zahlreicher Produktionsprozesse bilden.

Der allgemeine Erkenntnisweg

Schritte	Erläuterungen
1. Beobachten	Die Beobachtung wird bewußt (oder auch zufällig) gemacht. Sie kann manchmal auch erst nach dem Vorliegen einer Frage angestellt werden
Es wird beobachtet, wie auf einem Paketpostamt ein Eisenbahnwagen mittels eines Förderbandes mit Paketen beladen wird, und festgestellt, daß einige Pakete entgegen der Bewegung des Förderbandes zurückrutschen, während andere gleichmäßig nach oben transportiert werden	

Schritte	Erläuterungen
2. Fragen	Die Fähigkeit, Fragen stellen zu können, ist eine wesentliche Eigenschaft eines Naturforschers. Man muß sich bemühen, zu erkennen, was an einer Erscheinung der Untersuchung wert ist

Frage: Wie kommt es, daß einige Pakete zurückrutschen und andere nicht?

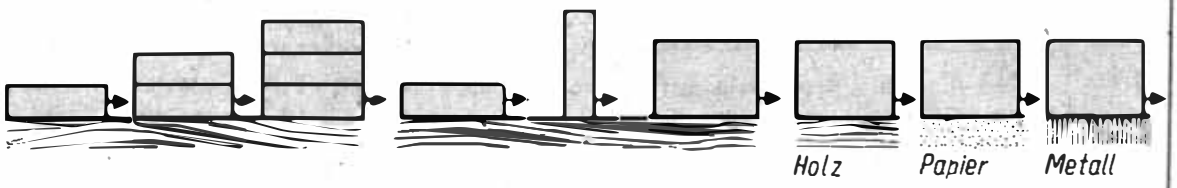
3. Vermuten – Hypothese bilden	Eine Vermutung (Hypothese) ist eine vorläufige Antwort auf die Frage. Vermutungen beruhen auf bisherigen Erfahrungen und erworbenem Wissen. Eine Vermutung kann falsch oder richtig sein

Vermutung: Die Reibungskraft zwischen Paket und Förderband bei den einzelnen Paketen ist unterschiedlich, und die Reibungskraft hängt ab

von der Gewichtskraft des Paketes,	vom Flächeninhalt der Berührungsflächen zwischen Paket und Förderband,	von der Beschaffenheit der Berührungsflächen (glattes oder rauhes Packpapier, Holzbehälter usw.)

4. Experimentieren und Schlußfolgern	
Planen des Experiments	Das Experiment muß so beschaffen sein, daß die Vermutung mit ihm geprüft werden kann (↗ S. 27)
Durchführen des Experiments	Das Experiment muß so durchgeführt werden, daß alle wesentlichen Einflüsse berücksichtigt werden.
Ausführen logischer Schlüsse	Die experimentellen Ergebnisse müssen verallgemeinert werden (↗ S. 27)

Ein Holzquader wird auf einer Unterlage bewegt. Die Reibungskraft wird gemessen. Das Experiment wird mit verschieden schweren Körpern gleichgroßer Berührungsfläche wiederholt (Bild 26/1)	Ein Holzquader wird mit seinen verschieden großen Flächen auf einer Unterlage bewegt. Die Reibungskraft wird jeweils gemessen. (Bild 26/2)	Ein Holzquader wird mit derselben Fläche auf einer Holzfläche, einer papierbespannten Fläche und einer Metallfläche bewegt. Die Reibungskraft wird jeweils gemessen (Bild 26/3)

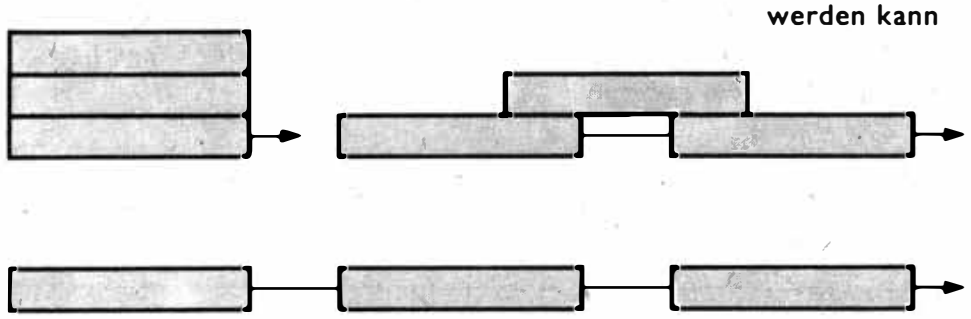


Schritte	Erläuterungen
5. Formulieren des Ergebnisses	Das Ergebnis kann in Form eines Gesetzes, einer Regel usw. formuliert werden

Teilergebnis: Es ist festzustellen, daß die Reibungskraft F_R von der Gewichtskraft G des Körpers abhängt: $F_R \sim G$. Die Vermutung **wird bestätigt**	Teilergebnis: Es ist festzustellen, daß die Reibungskraft F_R vom Flächeninhalt der Berührungsfläche **nicht** abhängt. Die Vermutung **wird nicht bestätigt**	Teilergebnis: Es ist festzustellen, daß die Reibungskraft F_R von der Beschaffenheit der Berührungsflächen abhängt. Die Vermutung **wird bestätigt**

6. Prüfen Ziehen von Schlußfolgerungen aus dem Ergebnis Bestätigen oder Widerlegen des Ergebnisses	Aus dem Ergebnis werden Schlußfolgerungen gezogen: Wenn das Ergebnis richtig ist, dann müßte ... zu beobachten sein. Ein erneutes Experiment oder der Vergleich mit der Erfahrung dienen zur Bestätigung dieser Folgerung und damit zur Erhärtung der Erkenntnisse oder zu ihrer Widerlegung

Wenn das Teilergebnis stimmt, dann müßte die Reibungskraft größer werden, wenn ein Gegenstand mit größerer Gewichtskraft auf der Unterlage bewegt wird. Die Erfahrung, z. B. beim Ziehen eines unterschiedlich beladenen Wagens, bestätigt diese Schlußfolgerung	Wenn das Teilergebnis stimmt, dann müßte die Reibungskraft bei den folgenden Versuchen gleich groß sein (Bild 27/1). Das Experiment bestätigt das Ergebnis	Wenn das Teilergebnis stimmt, dann müßte man durch Veränderung der Beschaffenheit der Berührungsflächen die Reibungskraft vergrößern oder verringern können. Experimentell zu zeigen und aus der Erfahrung bekannt ist, daß z. B. durch Schmieren die Reibungskraft verringert, durch Streuen die Reibungskraft vergrößert werden kann



Schritte	Erläuterungen
7. Anwenden	Die Erkenntnis wird hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit geprüft

Die Kenntnisse erlauben es, dafür zu sorgen, daß alle Pakete in den Wagen befördert werden. Da die Reibungskraft vom Flächeninhalt der Berührungsfläche unabhängig ist und das Material des Förderbandes und die Oberflächen der Pakete nicht ohne weiteres verändert werden können, bleibt nur die Möglichkeit, die in Richtung des Förderbandes wirkende Komponente F_H der Gewichtskraft G der Pakete zu verändern.
Je steiler das Band läuft, um so größer wird diese Komponente (Bild 28/1 a bis c). Überschreitet sie die Haftreibungskraft F_R, dann rutscht der Körper zurück (Bild 28/1 c). Das Förderband muß also flacher gestellt werden (Bild 28/1 a). Geht das infolge der Höhe des Wagens nicht ohne weiteres, dann muß das Förderband verlängert werden

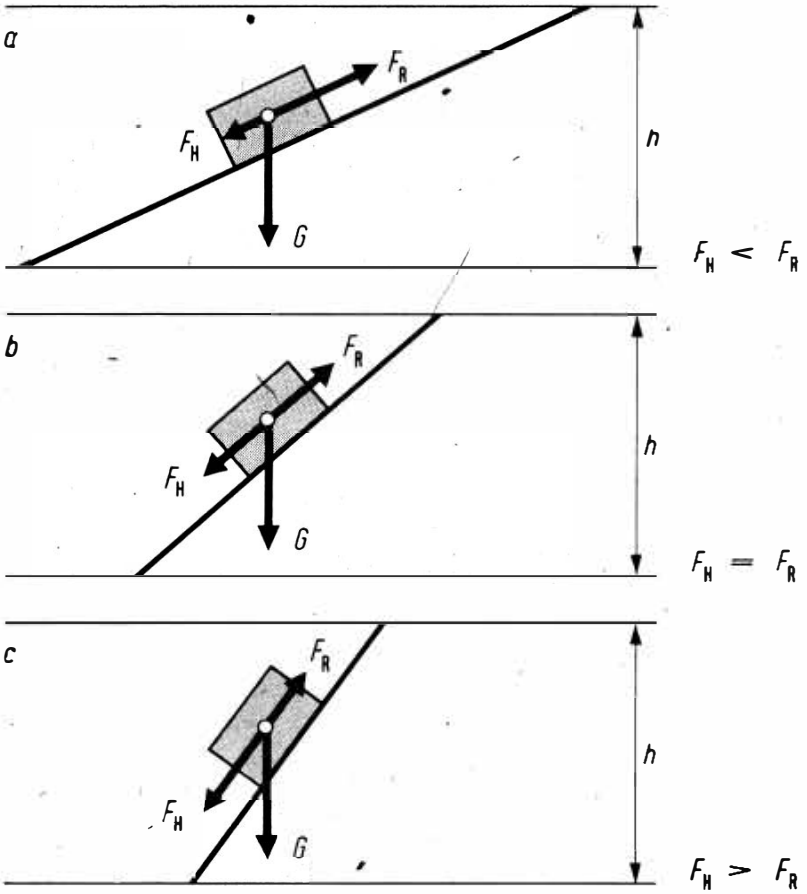
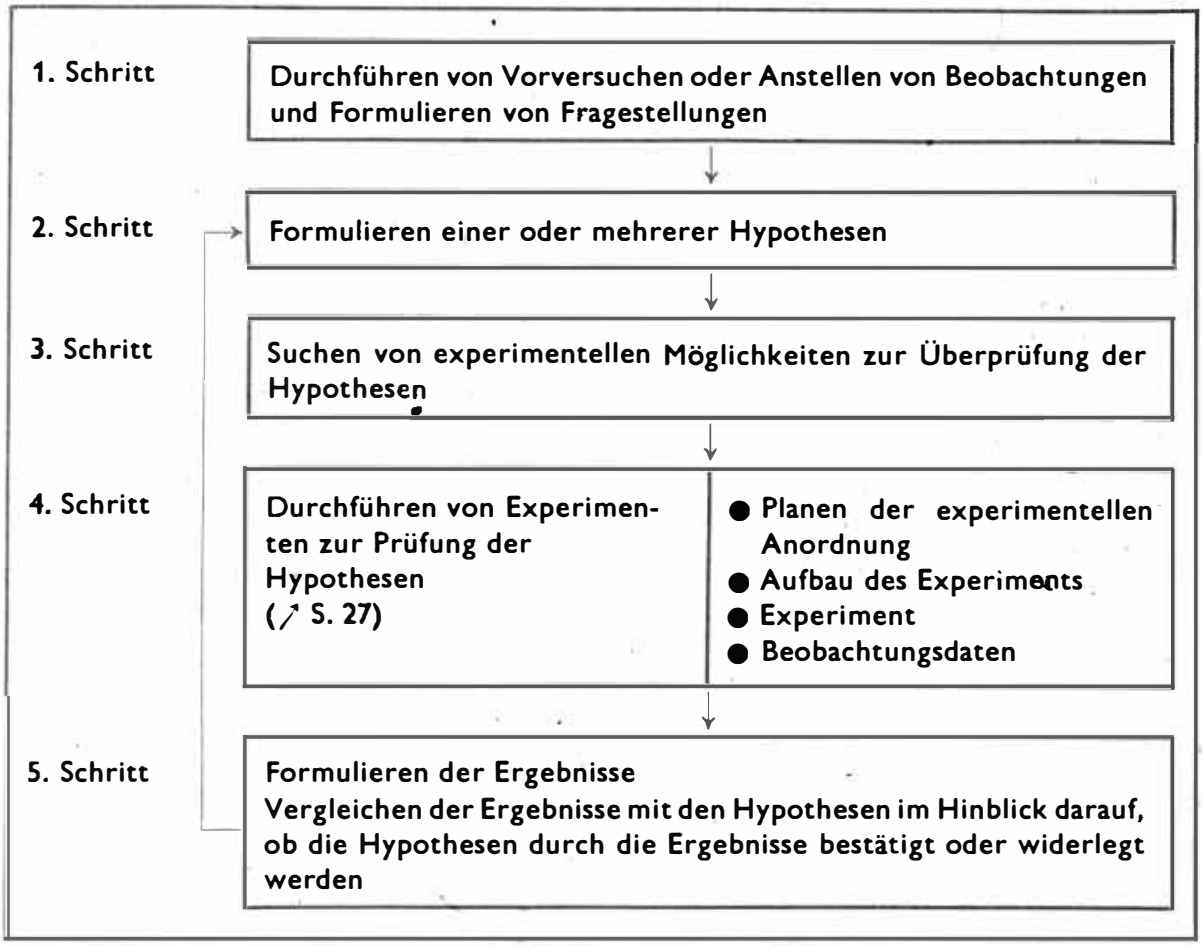


Bild 28/1 Die Abhängigkeit der Hangabtriebskraft F_H von der Länge l eines Förderbandes bei gegebener Höhe h

Experimentelle Methode

Die experimentelle Methode ist ein Verfahren zur Überprüfung von Hypothesen durch Experimente.

Die experimentelle Methode umfaßt folgende Schritte:



Experiment

Bestandteil der experimentellen Methode (↗ S. 28)

Merkmale	Beispiel
	Experiment zur Bestimmung des Gesamtwiderstandes in einem verzweigten Stromkreis (↗ S. 122)
● Die experimentellen Bedingungen werden **bewußt geschaffen**	Geschlossener Stromkreis mit zwei bekannten Teilwiderständen, Strom- und Spannungsmeßgeräte, einstellbare Spannungsquelle
● Die experimentellen Bedingungen müssen **verändert** werden können	Veränderung der Widerstände, Veränderung der Spannung durch den Experimentator – Meßreihe aufnehmen
● Die experimentellen Bedingungen müssen **kontrollierbar** sein	Übersichtlicher Versuchsaufbau, ständige Kontrolle der Funktionssicherheit der Spannungs- und der Stromstärkemeßgeräte

Merkmale	Beispiel
● Die Veränderungen der experimentellen Bedingungen müssen **beobachtbar** sein	Beobachtung der Spannungs- und Stromstärkeänderungen an den Meßgeräten in Abhängigkeit von den Widerständen
● Das Experiment muß, eventuell mit anderen Geräten **wiederholbar** sein	Wiederholung des Experiments zur erneuten Prüfung der Hypothese möglich
● Die Experimente können unter **natürlichen** oder **künstlichen** Bedingungen ablaufen	Im Beispiel wurden künstliche Bedingungen geschaffen. Die Experimente hätten auch durch entsprechende Messungen an elektrischen Geräten in einem Haushalt durchgeführt werden können
● Nebensächliche oder störende Einflüsse werden bei Experimenten unter künstlichen Bedingungen beseitigt	Nebensächlich oder störend könnte die technische Gestaltung der elektrischen Geräte bei einem Experiment unter natürlichen Bedingungen sein, nebensächlich und störend könnten z. B. Lichtwirkungen und Temperaturschwankungen sein, wenn die Messungen an Glühlampen vorgenommen werden

Physikalische Messungen

▶ Messen einer Größe bedeutet Feststellen des Zahlenwertes, der angibt, wie oft die zugehörige Einheit in der zu messenden Größe enthalten ist.

↗ Physikalische Größen und Formelzeichen, S. 9

Physikalische Größen lassen sich nach verschiedenen Methoden messen. Man benutzt dazu **Meßgeräte**.

Messung einer physikalischen Größe	
Direkte Messung	Indirekte Messung
Meßschieber Gemessen wird eine **Länge**. Meßgerät zeigt eine **Länge** an (Abstand der Meßschneiden)	Federkraftmesser Gemessen wird eine **Kraft**. Meßgerät zeigt eine **Länge** an (Längenänderung der Feder)

Registrierung einer physikalischen Messung

Um physikalische Messungen miteinander vergleichen zu können, müssen Art der Messung und Meßergebnisse registriert werden. Dazu dient ein **Meßprotokoll**.

Inhalt eines Meßprotokolls

1. Aufgabe
2. Versuchsaufbau (Skizze)
3. Angabe des Meßverfahrens (z. B. Meßgeräte, angewandte Gesetzmäßigkeiten und Gleichungen mit Erklärungen der auftretenden Größen)
4. Messungen (Angabe der gemessenen Größen, Ergebnisse von Meßreihen in Tabellenform, ↗ S. 31)
5. Auswertung (Errechnung der zu bestimmenden Größe aus den gemessenen Größen. Deutliche Kennzeichnung von Meßergebnis und Meßfehlern, ↗ S. 32)

↗ Auswertung einer physikalischen Messung, S. 31

Auswertung einer physikalischen Messung

1. Anlegen einer Meßtabelle

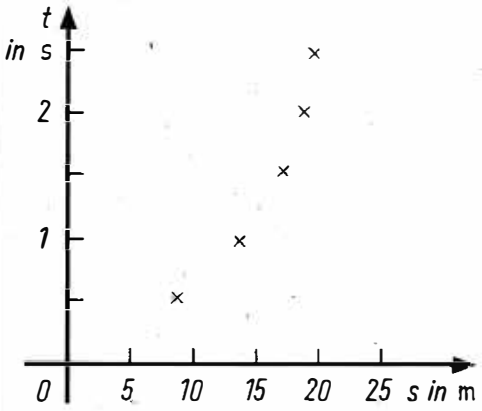
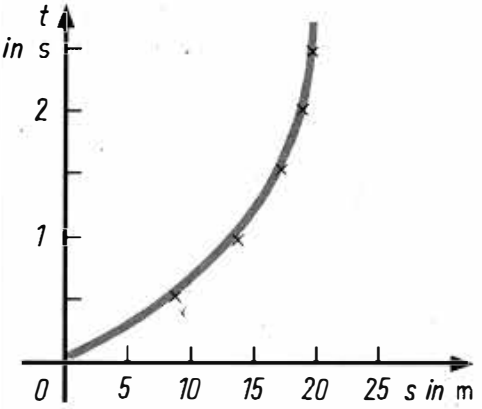
Bestimmen der Fallzeit einer Kugel in Abhängigkeit von der Fallhöhe
Meßgerät: Handstoppuhr, Meterstab
Spalte 1: Nummer n der Einzelmessung der Meßreihe
Spalten 2 und 3: Meßwerte (Wertepaare) der Einzelmessungen
Spalte 4: Rechenwerte des vermuteten gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen zusammengehörigen Meßwerten

Die Zahlenwerte in Spalte 4 können erst berechnet werden, nachdem der Zusammenhang zwischen den Größen in Spalte 2 und Spalte 3 durch die grafische Darstellung der Meßergebnisse (↗ S. 32) gefunden worden ist.
In der letzten Reihe der Spalte 4 (unter dem Strich) erscheint die Summe der berechneten Werte des vermuteten gesetzmäßigen Zusammenhanges.
Zur Auswertung bildet man den **Mittelwert** $\overline{\left(\frac{s_n}{t_n^2}\right)}$ als das **arithmetische Mittel aller Einzelmessungen.**

$$\frac{\overline{\left(\frac{s_n}{t_n^2}\right)}}{n} = \frac{25{,}5\ \frac{m}{s^2}}{5} = 5{,}1\ \frac{m}{s^2}$$

1	2	3	4
Nr.	s_n in m	t_n in s	$\frac{s_n}{t_n^2}$ in $\frac{m}{s^2}$
1	5	1,0	5,0
2	10	1,4	5,1
3	15	1,7	5,2
4	20	2,0	5,0
5	25	2,2	5,2
			25,5

Der Mittelwert ist gleich dem Quotienten aus der Summe aller Meß- oder Rechenwerte und der Anzahl der Messungen

2. Grafische Darstellung der Meßergebnisse Übertragen der zusammengehörigen Meßwerte (Wertepaare) aus der Meßtabelle in ein Koordinatensystem	
Erkennen des Zusammenhanges zwischen den Werten der eingezeichneten Wertepaare	Parabel
Einzeichnen der Kurve in das Koordinatensystem	
3. Mathematische Formulierung des gesetzmäßigen Zusammenhanges und Überprüfung an den gemessenen Werten (↗ S. 29)	$s \sim t^2$ $s = \text{konst.} \cdot t^2$ $\frac{s}{t^2} = \text{konst.}$ (↗ Spalte 4 der Meßtabelle, S. 31)

4. Fehlerbetrachtung
Bei jeder Messung treten **Meßfehler** auf

Art des Meßfehlers	Erklärung
Systematische Fehler	Durch Eigenschaften der Meßgeräte bestimmt (z. B. ungenaue oder fehlerhafte Eichung), sie sind unabhängig von der messenden Person
Zufällige Fehler	Entstehen beim Meßvorgang, z. B. durch ungenaue Ablesungen, unterschiedliche Geschicklichkeit des Beobachters, Unzulänglichkeit der menschlichen Sinnesorgane, Störungen durch die Umwelt (Temperaturschwankungen, Erschütterungen). Die einzelnen Meßwerte streuen um einen Mittelwert

Um die zufälligen Fehler abzuschätzen, muß eine Einzelmessung durch eine Meßreihe ersetzt werden.

Beim Bestimmen der Fallzeit können z. B. zufällige Fehler entstehen durch Ungenauigkeit bei der Festlegung der Fallstrecke, durch die Reaktionszeit des Beobachters beim Auslösen und Stoppen der Stoppuhr.

Modellmethode

▶ Die Modellmethode ist ein wissenschaftliches Verfahren zur Gewinnung von Erkenntnissen unter Verwendung von Modellen.

Ein Teil der Modellmethode ist die Entwicklung eines Modells.

▶ Ein Modell ist ein vom Menschen geschaffenes Ersatzobjekt für die kompliziertere Wirklichkeit.

Die **Modellmethode** umfaßt den Weg von bestimmten **Beobachtungen** zur **Schaffung eines Modells** und über die **Arbeit mit dem Modell** bis zum **Ziehen von Folgerungen** aus dem Modell und deren **Überprüfung in der Wirklichkeit**.
Die Überprüfung kann zur **Bestätigung** des **Modells**, zur **Abänderung** oder zur **Verfeinerung** führen. Bei einer Abänderung oder Verfeinerung werden die einzelnen Schritte erneut durchlaufen. Modelle können auf stofflicher Grundlage konstruiert sein (als Modell einer Flüssigkeit kann z. B. Seesand verwendet werden), sie können aber auch nur in Gedanken existieren (das Modell Massenpunkt z. B. existiert nur in Gedanken). Ein Modell ist durch folgende Besonderheiten gegenüber der Wirklichkeit (dem Original) gekennzeichnet:

Besonderheiten des Modells	Beispiel	
	Wirklichkeit	Modell
● Jedes Modell stimmt nur in einigen wesentlichen Merkmalen mit dem Original überein, es ist meist übersichtlicher und einfacher als das Original	*Elektrisches Feld* Elektrisches Feld besteht in allen Punkten eines Raumgebietes um den geladenen Körper. Feld räumlich	*Feldlinien* Feldlinien verbinden nur bestimmte Punkte des Raumgebietes um den geladenen Körper. Feld meist flächenhaft dargestellt

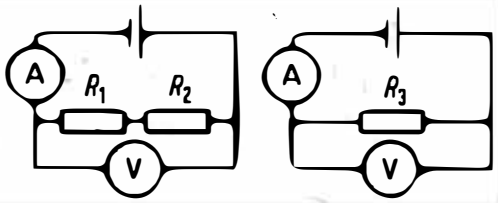
Besonderheiten des Modells	Beispiele
● Für dasselbe Objekt können zur Untersuchung verschiedener Eigenschaften verschiedene Modelle geschaffen werden	Wenn man die Bewegung von Himmelskörpern untersucht, kann die Erde durch einen Massenpunkt als **Modell** dargestellt werden. Wenn man Erdbebenwellen untersucht, kann die Erde durch einen **elastischen Körper** (Gummiball) als **Modell** dargestellt werden. Wenn man die Abplattung der Erde untersucht, kann die Erde durch ein **elastisches, in Drehbewegung versetztes kreisförmiges Metallband** als **Modell** dargestellt werden
● Jedes Modell ist nur innerhalb der angegebenen Grenzen gültig	Das Modell Massenpunkt ist nicht mehr anwendbar, wenn die Formänderung von festen Körpern bei Einwirkung einer Kraft untersucht werden soll (↗ S. 64)
● Erkenntnisse aus Modellen müssen in der Wirklichkeit überprüft werden	Der Stromlinienverlauf um neukonstruierte Profile von Flugzeugtragflächen wird in Strömungskammern untersucht. Er muß am wirklichen Tragflügel überprüft werden

Deduktive und induktive Methode

Deduktive Methode	Induktive Methode
Eine spezielle Aussage wird aus einer allgemeinen Aussage unter Verwendung logischer und mathematischer Schlüsse und Bestätigung durch Experimente oder durch die Praxis gewonnen	Eine allgemeine oder spezielle Aussage wird unter Anwendung logischer Schlüsse durch Verallgemeinerung von speziellen oder Einzelaussagen gewonnen. In der Physik beruhen die Einzelaussagen vorwiegend auf Messungen, Experimenten oder Beobachtungen

Beide Methoden treten immer in enger Verknüpfung auf.

Anwendung der induktiven Methode

Schritte	Beispiel
1. Formulieren der Aufgabe, meist aus Beobachtungen	Aufgabenstellung: Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Teilwiderständen und dem Gesamtwiderstand in einem unverzweigten Stromkreis?
2. Sammeln von Beobachtungsmaterial mit Hilfe von Experimenten oder durch Sammeln von Einzelbeispielen	Voraussetzungen zusammenstellen 

Schritte	Beispiel		
3. Durchführen von Einzelmessungen einer Größe (Meßtabelle, grafische Darstellung)	R_1 in Ω	R_2 in Ω	R_3 in Ω
	10	20	30
	20	30	50
	30	50	80
	40	80	120
	50	100	150
	.	.	.
	.	.	.
4. Ausführen des induktiven Schlusses, d. h. Verallgemeinerung der Einzelaussagen zu einer speziellen oder allgemeinen Aussage	Induktiver Schluß $R_{ges} = R_1 + R_2$		
5. Prüfen der speziellen oder allgemeinen Aussage durch Experimente oder Anwendung auf weitere Fälle			

Prüfen des auf induktivem Wege (oder deduktivem Wege, ↗ S. 36) gewonnenen Zusammenhanges zwischen den Teilwiderständen und dem Gesamtwiderstand in einem unverzweigten Stromkreis.

Berechnung eines speziellen Beispiels unter Benutzung der

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

Gegeben: $R_1 = 100\,\Omega$
$R_2 = 400\,\Omega$

Lösung: $R_{ges} = R_1 + R_2$
$R_{ges} = 100\,\Omega + 400\,\Omega$
$R_{ges} = 500\,\Omega$

Gesucht: R_{ges}

Versuchsdurchführung:

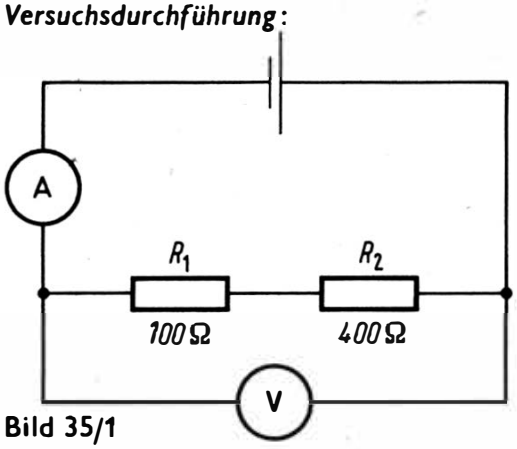


Bild 35/1
Gemessen: $U = 10$ V; $I = 0{,}02$A

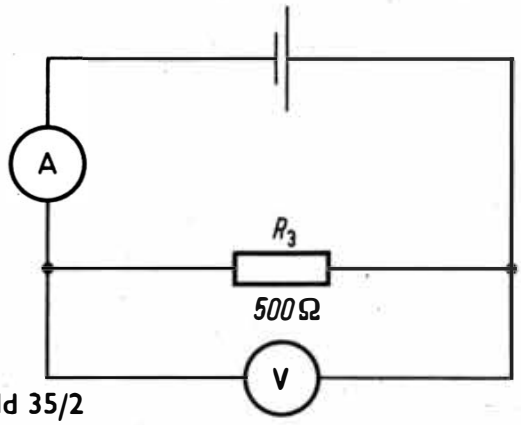


Bild 35/2
Gemessen: $U = 10$ V; $I = 0{,}02$A

Auswertung des Versuches:
Die Meßwerte stimmen überein. Der Widerstand in einem unverzweigten Stromkreis ist gleich der Summe der beiden Teilwiderstände. Das Ergebnis dieser Überprüfung ist eine weitere Bestätigung der Gültigkeit der allgemeinen bzw. speziellen Aussage

Anwendung der deduktiven Methode

Schritte	Beispiel
1. Formulieren der Aufgabe, meist aus Beobachtungen	Aufgabenstellung: Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Teilwiderständen und dem Gesamtwiderstand in einem unverzweigten Stromkreis?
2. Zusammenstellen der allgemeinen Aussagen und der Bedingungen	Voraussetzungen zusammenstellen: Allgemeines Gesetz: $R = \frac{U}{I}$ für $\vartheta =$ konst. $I = I_1 = I_2$ $U_{ges} = U_1 + U_2$
3. Durchführen mathematischer oder gedanklicher Operationen (Umformen, Einsetzen, Kürzen, logische Schlüsse usw.)	$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$ (1); $R_2 = \frac{U_2}{I_2}$ (2); $R_{ges} = \frac{U_{ges}}{I_{ges}}$ (3); $U_1 = I \cdot R_1$ (4); $U_2 = I \cdot R_2$ (5); $U_{ges} = I \cdot R_{ges}$ (6); $I \cdot R_{ges} = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$ (7)
4. Ausführen des deduktiven Schlusses: Er führt zu der in der allgemeinen Aussage bereits enthaltenen speziellen Aussage	Deduktiver Schluß $\underline{\underline{R_{ges} = R_1 + R_2}}$
5. Prüfen der speziellen Aussage durch Anwendung in der Praxis, durch Experimente oder an der Erfahrung	Prüfen des auf deduktivem Wege gewonnenen Zusammenhanges, ↗ S. 35, Schritt 5

2.2. Das Arbeiten mit Tabellen und grafischen Darstellungen

Tabellen

Jedes Ordnen in Tabellen erfordert das Erkennen von zweckmäßigen Ordnungsmerkmalen (Bild 36/1).

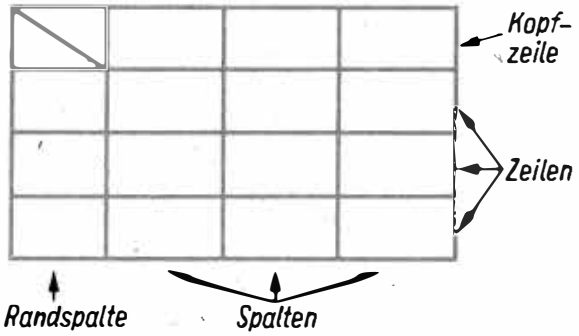


Bild 36/1 Zeilen und Spalten einer Tabelle

- **Wertetabellen mit physikalischen Größen oder Konstanten**

Der Zusammenhang zwischen wirkender Kraft und Verlängerung der Feder

F in N	s in cm	$\frac{F}{s}$ in $\frac{N}{cm}$
10	2	5
20	4	5
30	6	5
40	8	5
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Die Abhängigkeit der Fallbeschleunigung vom Ort der Messung

Höhe	g in $\frac{m}{s^2}$
0 (Äquator)	9,78
0 (Pole)	9,83
0 (45° geografischer Breite)	9,81
300 km über der Erde	8,96
40000 km über der Erde	0,19

Bei Tabellen, die in einer Spalte gleichartige physikalische Größen enthalten, werden zur Vereinfachung Namen oder Formelzeichen und die Einheiten der physikalischen Größen im Kopf der Spalte angegeben.

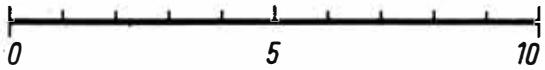
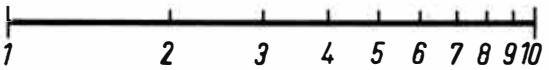
- **Wörtliche oder mathematische Formulierungen** (↗ z.B. S. 57)
- **Grafische Darstellungen** (Fotos, Zeichnungen, symbolische Darstellungen usw.) (↗ z.B. S. 163)
- **Kombinationen mehrerer Grundformen** (↗ z. B. S. 56)

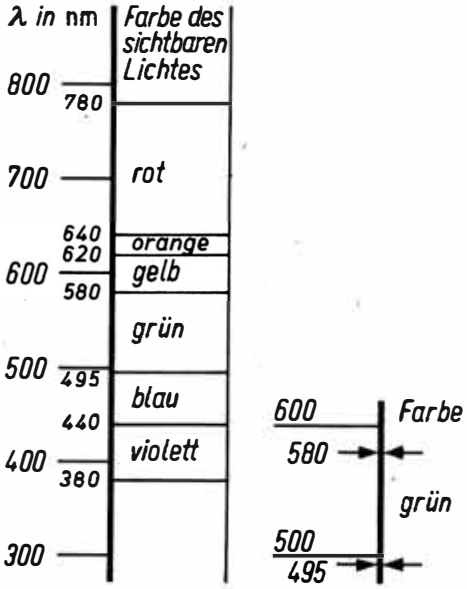
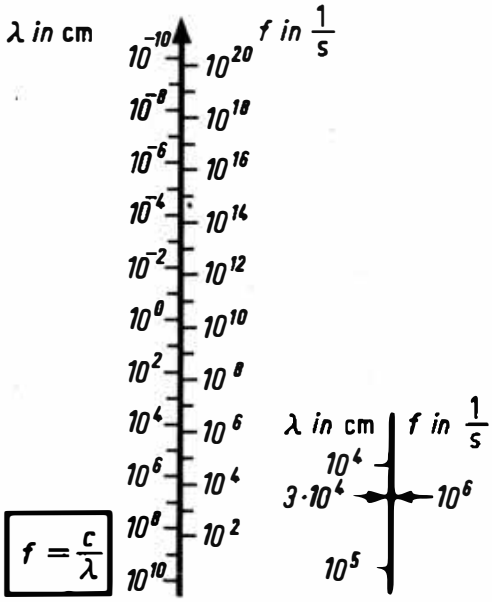
Funktionsleitern – Diagramme – Nomogramme

Funktionsleitern	Diagramme	Nomogramme
Grafische Darstellung physikalisch gleichartiger Sachverhalte, die sich in ihren Zahlenwerten unterscheiden	Grafische Darstellung des Zusammenhanges zwischen zwei Variablen in Form von Schaubildern oder in Koordinatensystemen mit gleich und unterschiedlich geteilten Achsen	Grafische Darstellungen des gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen drei oder mehr veränderlichen physikalischen Größen (↗ Lehrbuch Physik, Kl. 9)

Funktionsleitern

Am häufigsten verwendet man Funktionsleitern mit linearen oder logarithmischen Teilungen.

Lineare Skale	Logarithmische Skale
 Die Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Skalenwerten sind gleich Vorteil: Unmittelbarer Größenvergleich möglich Nachteil: Bei großen Zahlenintervallen unzweckmäßig lange oder unübersichtliche Skalen	 Die Teilstrichabstände sind nicht konstant. Sie genügen der Logarithmusfunktion Vorteil: Große Zahlenintervalle übersichtlich darstellbar Nachteil: Größenvergleich nicht unmittelbar möglich

Einfache Leiter	Doppelleiter
Es werden qualitative Sachverhalte und die ihnen entsprechenden Zahlenwerte und Einheiten hinsichtlich ihrer Größe geordnet dargestellt.	Es wird der funktionale Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen dargestellt. Die Doppelleiter entsteht durch Aneinanderlegen zweier Skalen, sie ist die einfachste Form eines Nomogrammes.
	
Einfache Leiter zur Zuordnung von Wellenlänge und Farbe des sichtbaren Lichts	Doppelleiter zur Ermittlung der Abhängigkeit zwischen Frequenz und Wellenlänge bei elektromagnetischen Sachverhalten mit Welleneigenschaften $\left(c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$

Diagramme

Schaubilder. Man unterscheidet bildliche Darstellungen, Streckendiagramme, Streifendiagramme und Kreisdiagramme.

In **Koordinatensystemen** werden Funktionen mit einer abhängigen und einer unabhängigen Variablen dargestellt. Die **abhängige Variable** wird meist auf der Ordinatenachse, die **unabhängige Variable** auf der Abszissenachse abgetragen (Bild 39/1).

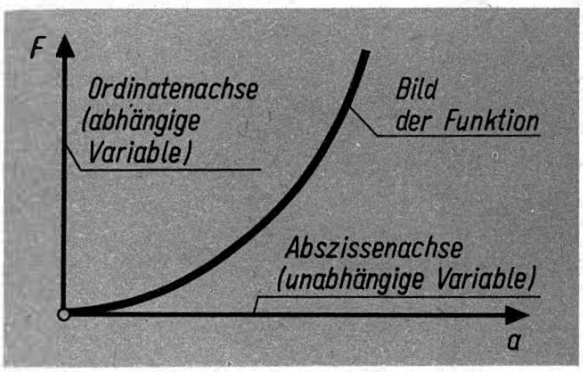


Bild 39/1

Die Koordinatenachsen können auf zwei Arten beschriftet werden:

Die Kurve wird mit Hilfe einer Menge von Wertepaaren einer Funktion konstruiert. Handelt es sich bei den Wertepaaren um physikalische Größen, dann besteht jeder Wert aus einem durch die Funktion bestimmten Zahlenwert und einer Einheit. Auf den Achsen werden die **Zahlenwerte** abgetragen (Bild 39/2).

Die Kurve zeigt den prinzipiellen Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen. Bestimmte Meßwerte mit bestimmten Einheiten liegen nicht vor. Auf den Achsen werden **physikalische Größen** abgetragen (Bild 39/3).

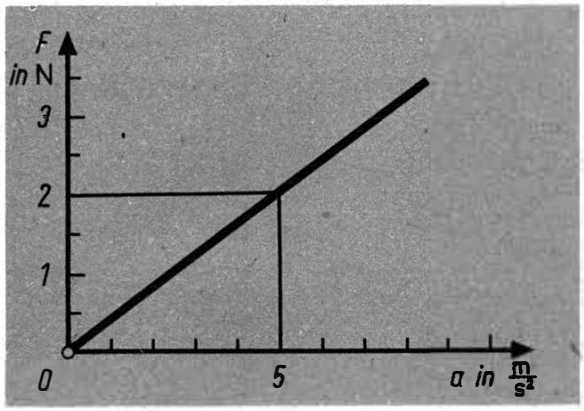


Bild 39/2 Bild der Funktion
$F = m_1 \cdot a$;

m_1 = konst. = 0,4 kg

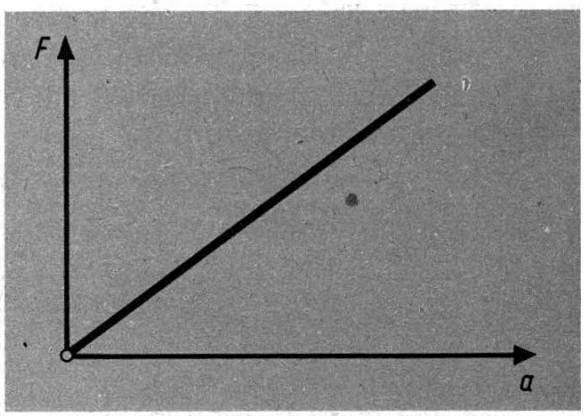


Bild 39/3 Bild der Funktion
$F = m \cdot a$;
m = konst.

Arbeitsdiagramme. Die von der Kurve eingeschlossene Fläche ist ein Maß für die bei einem physikalischen Vorgang verrichtete Arbeit.
↗ mechanische Arbeit W, S. 73; Arbeitsdiagramm, S. 74.

Energiestreifendiagramme zeigen die Anteile der genutzten und nicht genutzten Energie.

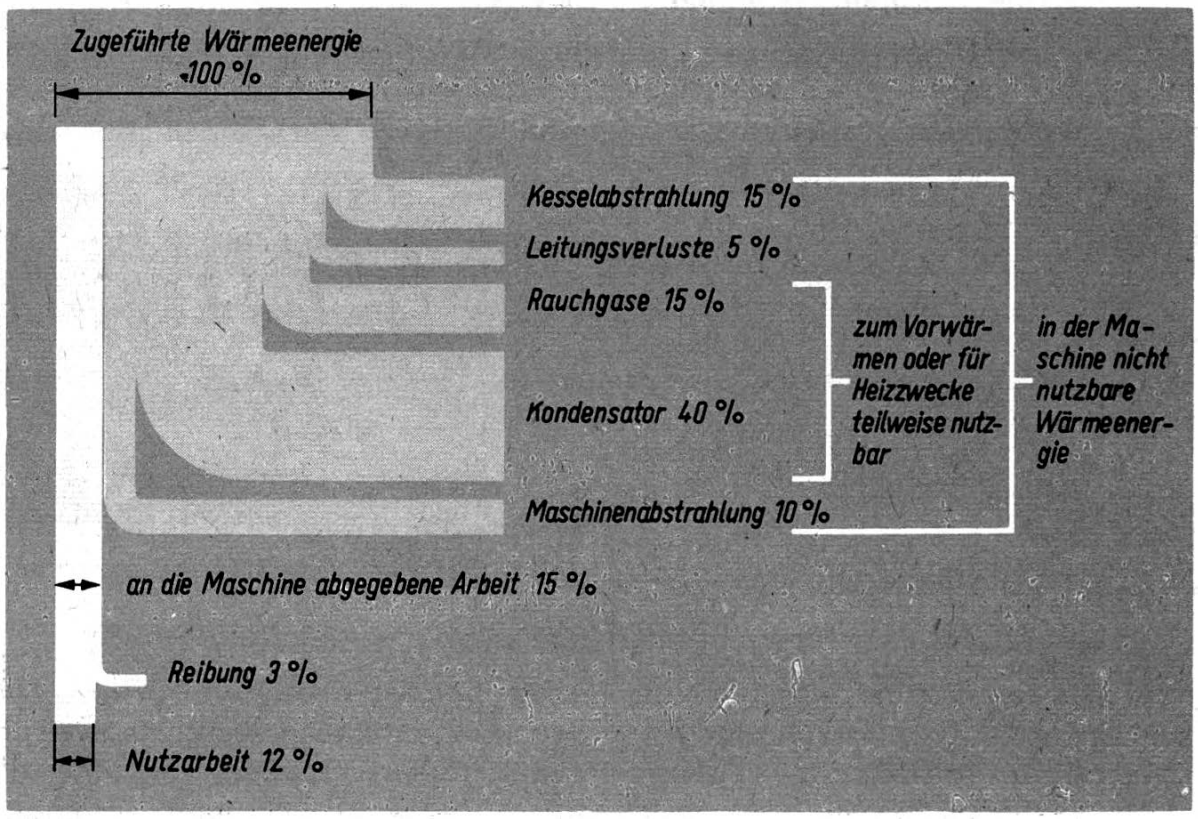


Bild 40/1 Energiestreifendiagramm einer Dampfmaschine

2.3. Das Lösen physikalischer Aufgaben

Physikalische Aufgaben treten in den vielfältigsten Formen auf. Neben Denkaufgaben, experimentellen und Konstruktionsaufgaben nehmen Aufgaben, die mit mathematischen Methoden gelöst werden können, einen wesentlichen Umfang ein.
Der Lösungsgang kann schematisch in seinen wesentlichen Schritten dargestellt werden.

Hauptschritte	Teilschritte	Bemerkungen
Aufgabenstellung		Die Aufgaben können in Form von Textaufgaben oder lediglich durch Angabe physikalischer Größen gestellt werden

Der Heizdraht eines Kochherdes für 220 V/400 W wird bei einer Reparatur um $\frac{1}{10}$ seiner Länge verkürzt. Wie ändern sich Leistung und Stromstärke?

Hauptschritte	Teilschritte	Bemerkungen
1. Problemanalyse	Skizze zum zu lösenden Problem	Eintragen der Formelzeichen in die Skizze
	Herausschreiben der gegebenen Größen	
	Herausschreiben der gesuchten Größen	Verschiedene Werte der gleichen physikalischen Größe werden durch einen Index am Formelzeichen unterschieden

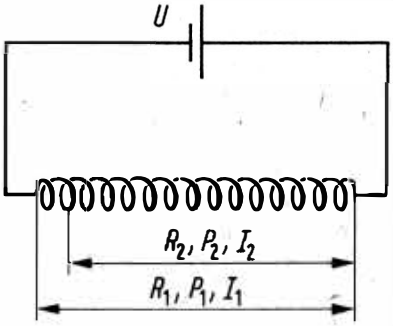
Es bedeuten:

Index 1 – elektrische Größen vor der Verkürzung des Heizdrahtes

Index 2 – elektrische Größen nach der Verkürzung des Heizdrahtes

Gegeben: $U = 220\ \text{V}$, $P_1 = 400\ \text{W}$, $R_2 = 0{,}9\ R_1$

Gesucht: $P = P_2 - P_1$, $I = I_2 - I_1$



2. Lösungsansatz und allgemeine Lösung	Aufschreiben der geeigneten Größengleichungen, in denen die gesuchten und gegebenen Größen miteinander verknüpft sind	Die Anzahl der unabhängigen Größengleichungen darf nicht kleiner sein als die Anzahl der gesuchten Größen
	Umstellen der Größengleichungen nach den gesuchten Größen	Auf der rechten Gleichungsseite dürfen nur gegebene Größen stehen

$R_1 = \frac{U}{I_1}$ (1); $R_2 = \frac{U}{I_2} = 0{,}9\,R_1$ (2); $P_1 = U \cdot I_1$ (3); $P_2 = U \cdot I_2$ (4).

Nur P_1 ist direkt gegeben. P_2, I_1 und I_2 müssen erst berechnet werden. Aus (4) mit (2) folgt: $P_2 = \frac{U^2}{0{,}9\,R_1}$ und mit (1) und (3) folgt, da $P_1 = \frac{U^2}{R_1}$, daß $P_2 = \frac{P_1}{0{,}9}$. Schließlich folgt aus (4) $I_2 = \frac{P_2}{U}$ und aus (3) $I_1 = \frac{P_1}{U}$

Hauptschritte	Teilschritte	Bemerkungen
3. Numerische oder grafische Lösung	Einsetzen der Zahlenwerte und Einheiten der gegebenen physikalischen Größen in die Größengleichungen und Ausrechnen des Ergebnisses oder Ausführen der grafischen Lösung	Das Ergebnis muß evtl. noch in eine verlangte Einheit umgerechnet werden. Zur Berechnung können Rechenstab, Logarithmentafel, Nomogramme, grafische Lösungsverfahren usw. eingesetzt werden.
	Überschlagsrechnung	Sie dient zur Abschätzung des Ergebnisses und zur Prüfung des Stellenwertes

$$P_2 = \frac{400\ \text{W}}{0{,}9} \approx 444\ \text{W} \qquad I_1 = \frac{400\ \text{W}}{220\ \text{V}}, \quad I_1 = \frac{400\ \text{VA}}{220\ \text{V}}, \quad I_1 = 1{,}82\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{444\ \text{W}}{220\ \text{V}}, \quad I_2 = \frac{444\ \text{VA}}{220\ \text{V}}, \quad I_2 = 2{,}02\ \text{A}$$

$$I = I_2 - I_1$$

$$P = P_2 - P_1 = 44\ \text{W} \qquad I = 0{,}20\ \text{A}$$

Beim Überschlag ergibt sich, daß sich die Leistung und die Stromstärke etwa um $\frac{1}{10}$ vergrößern müßten

4. Ergebnis	Angabe von Zahlenwert und Einheit	
	Formulierung eines Ergebnissatzes	

$\underline{\underline{I = 0{,}20\ \text{A}}}$ $\qquad$ $\underline{\underline{P = 44\ \text{W}}}$

Die Stromstärke vergrößert sich um 0,20 A, die Leistung steigt um 44 W

5. Prüfung des Ergebnisses	Durchführung von Proben	Gleichungsprobe zur Prüfung von Fehlern bei der Durchführung der Rechnung. Vergleichen mit dem Ergebnis der Überschlagsrechnung
	Diskussion des Ergebnisses im Hinblick auf die Aufgabenstellung	

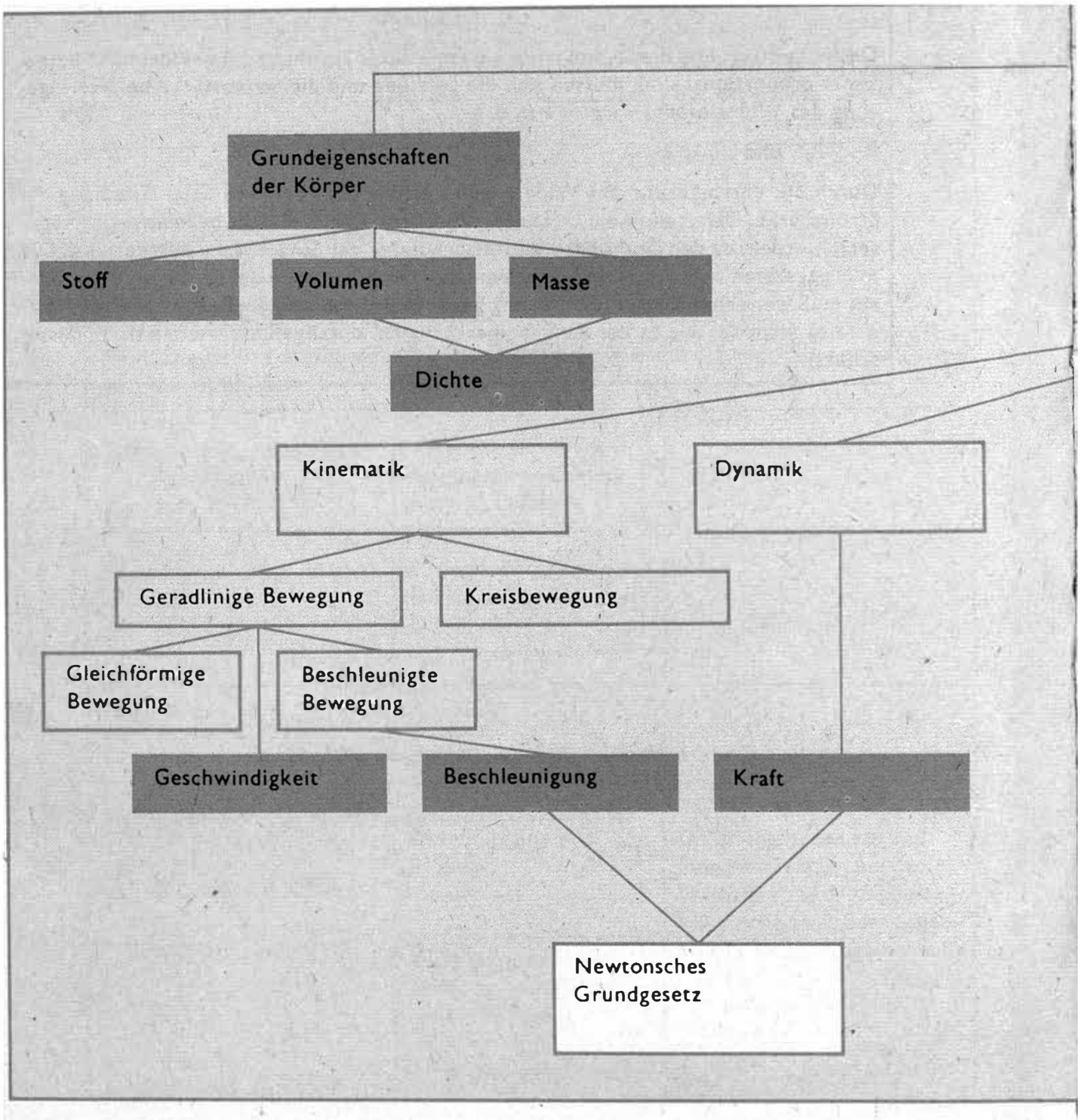
Hauptschritte	Teilschritte	Bemerkungen
	Einschätzung des Ergebnisses im Hinblick auf seine praktische Bedeutung	Ist das Ergebnis seinem Betrage und seiner physikalischen Aussage nach sinnvoll? Deckt es sich mit entsprechenden Erfahrungswerten? Kann das praktisch möglich sein?

$P_2 = U \cdot I_2$ $\qquad U = \frac{P_2}{I_2} = \frac{444\ \text{W}}{2{,}02\ \text{A}} = 220\ \text{V}$

Da die Leistung und die Stromstärke bei konstanter Spannung dem Widerstand umgekehrt proportional sind, müssen sich die Leistung und die Stromstärke bei Verringerung des Widerstandes vergrößern, d. h.

$P_1 < P_2$ und $I_1 < I_2$.

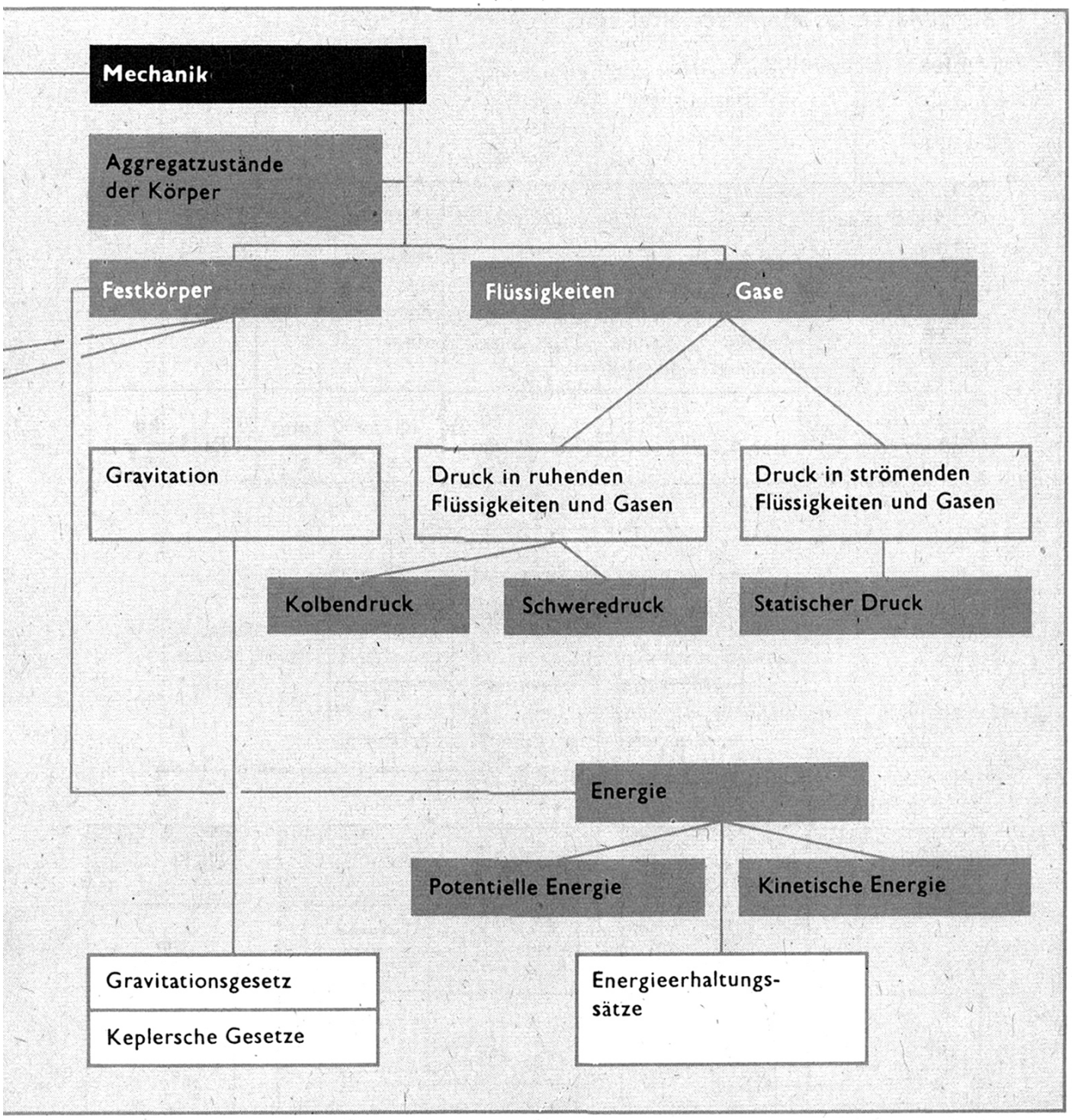
Durch die Verringerung des Widerstandes erhöht sich bei konstanter Spannung die Stromstärke. Damit wird die Leistung vergrößert. Das darf nicht beliebig weit fortgesetzt werden, da der Draht bei weiterer Erhöhung der Stromstärke durchbrennt. Die in Heizgeräten benutzten Heizdrähte müssen der Stromstärke angepaßt werden. Daraus muß weiterhin die Schlußfolgerung gezogen werden, daß die Reparatur eines Heizgerätes nicht so, wie in der Aufgabe beschrieben, durchgeführt werden darf (Unfallschutz)


Grundeigenschaften der Körper
Stoff
Volumen
Masse
Dichte
Kinematik
Dynamik
Geradlinige Bewegung
Kreisbewegung
Gleichförmige Bewegung
Beschleunigte Bewegung
Geschwindigkeit
Beschleunigung
Kraft
Newtonsches Grundgesetz

Mechanik

3

Die Mechanik ist das Teilgebiet der Physik, in dem physikalische Eigenschaften der Körper, Bewegungszustände der Körper und Kräfte beschrieben werden.



Zusammenhang zwischen wichtigen physikalischen Größen der Mechanik

Auf den Seiten 44 und 45 sind wichtige Zusammenhänge zwischen Erscheinungen. Begriffen und Gesetzen der Mechanik übersichtlich dargestellt.

↗ Wärmelehre, S. 88 und 89
↗ Elektrizitätslehre, S. 106 und 107
↗ Geometrische Optik, S. 152 und 153
↗ Schwingungslehre, S. 172 und 173
↗ Wellenlehre, S. 192 und 193
↗ Atomphysik, S. 214 und 215

Die folgende Übersicht zeigt, wie aus den Größen Zeit, Länge und Masse die anderen Größen abgeleitet sind.

↗ Elektrizitätslehre, S. 108

Physikalische Größe	Kraft	Arbeit, Energie	Leistung	Druck
Formelzeichen, Gleichung	$F = m \cdot a$ $F = m \cdot \frac{2s}{t^2}$	$W = F \cdot s$ $W = m \cdot g \cdot h$ $W = \frac{m}{2} \cdot v^2$	$P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{W}{t}$	$p = \frac{F}{A}$
Einheit	1 N, 1 kp	1 N · m, 1 kpm	$1 \frac{N \cdot m}{s}$, $1 \frac{kpm}{s}$	1 Pa, $1 \frac{kp}{cm^2}$

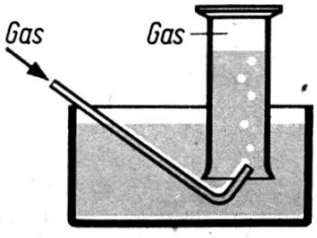
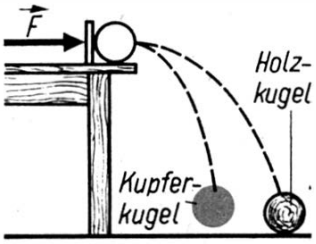
Zeit	Länge	Masse
t	s	m
1 s	1 m	1 kg

Geschwindigkeit	Beschleunigung	Fläche	Volumen	Dichte
$v = \frac{s}{t}$	$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{v}{t}$	A	V	$\varrho = \frac{m}{V}$
$1 \frac{m}{s}$	$1 \frac{m}{s^2}$	$1\ m^2$	$1\ m^3$	$1 \frac{kg}{m^3}$

3.1. Körper und Stoff

Physikalische Eigenschaften der Körper

Körper besitzen neben unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. die Form) auch *gemeinsame physikalische Eigenschaften.*

Eigenschaften	Beispiel	Erläuterungen	↗
Körper bestehen aus Stoffen	**Körper** / **Stoff** Schreibstift, Holz, Graphit Kupferdraht, Kupfer, Bleiakkumulator (geladen) Blei, Bleidioxid, Wasser, Schwefelsäure, Plast, Gummi	Stoffe bestehen aus Teilchen. Die chemischen Eigenschaften der Stoffe und Stoffumwandlungen werden in der *Chemie* untersucht	Aufbau der Stoffe, S. 52. Übersicht über die Stoffe, Ch i Üb, S. 7
Körper haben ein Volumen	Ein Gas verdrängt durch sein Volumen das Wasser (pneumatisches Auffangen eines Gases) 	Wo sich ein Körper befindet, kann nicht gleichzeitig ein anderer sein. Körper können einander verdrängen	Volumen, S. 48
Körper haben eine Masse	Ein Eimer aus Zinkblech ist schwerer als ein gleich großer Eimer aus Plast. Bei gleichem Anstoß fällt von der Kante einer Tischplatte eine Holzkugel weiter als eine gleich große Kupferkugel 	Die Masse eines Körpers kann man an seiner *Schwere* und an seiner *Trägheit* erkennen	Masse, S. 49 Trägheitsgesetz, S. 68

Volumen *V*

ist der Raum, den ein Körper ausfüllt. Das Volumen ist eine *gemeinsame physikalische Eigenschaft der Körper.*
Einheiten sind 1 m^3 (Kubikmeter), 1 l (Liter).
1 m^3 = 1000 l
↗ molares Volumen, Ch i Üb, S. 62

Volumenmessung

Das Volumen eines *regelmäßig geformten festen Körpers* kann durch Messen von Längen und durch Berechnen ermittelt werden.

■ Volumen eines Mauerziegels

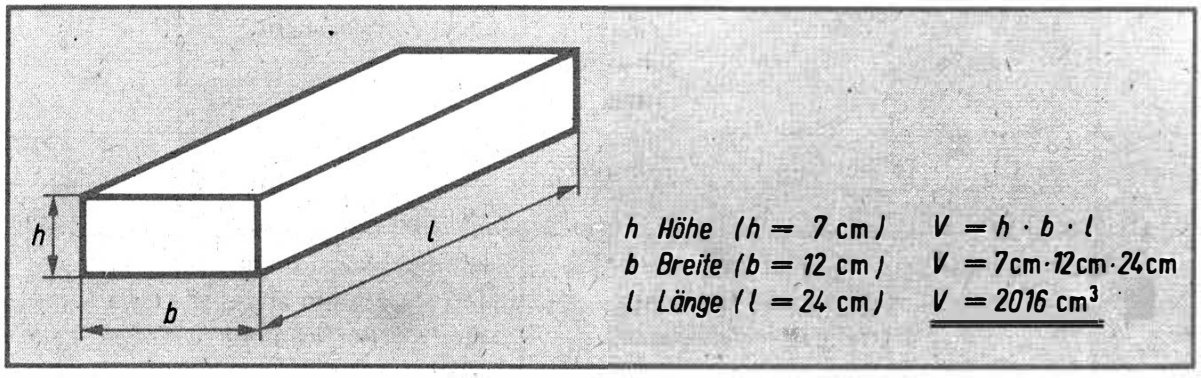
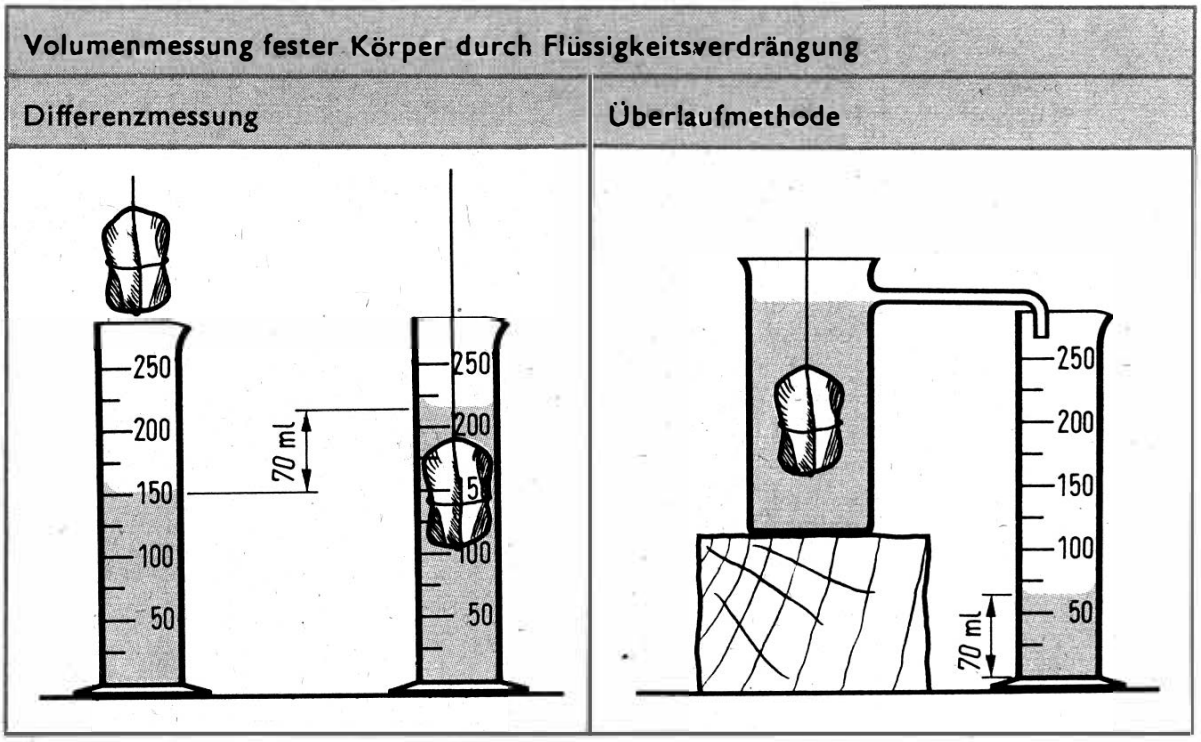


Bild 48/1

Das Volumen eines *unregelmäßig geformten festen Körpers* kann durch Flüssigkeitsverdrängung ermittelt werden.



Das Volumen von *Flüssigkeiten* wird mit Meßzylindern gemessen (Bild 49/1).

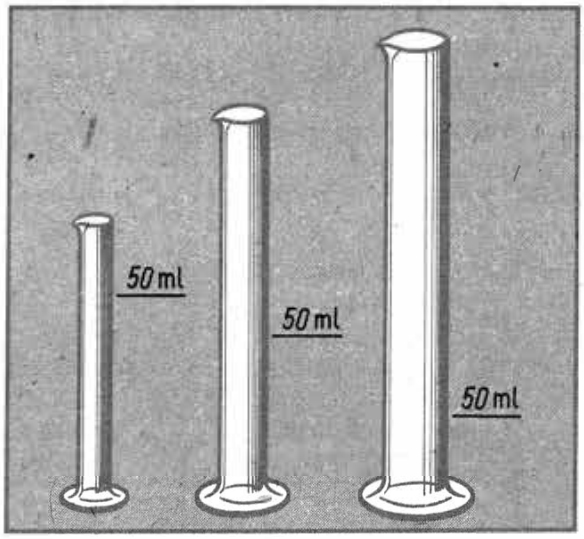


Bild 49/1 Meßzylinder unterschiedlichen Volumens

Bei der Volumenmessung eines *Gases* muß das Volumen des vom Gas ausgefüllten Raumes gemessen werden.

Masse *m*

Die Masse ist eine *physikalische Eigenschaft der Körper*, durch die Schwere und Trägheit der Körper gekennzeichnet werden.

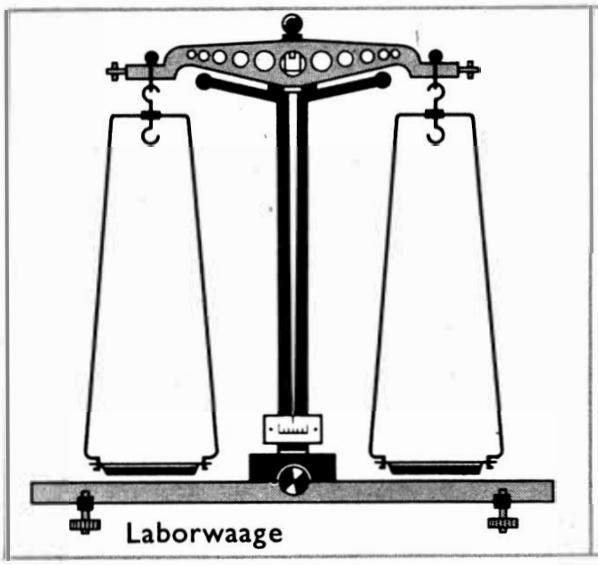
Die Masse m eines Körpers ist gleich dem Quotienten aus der auf diesen Körper wirkenden Kraft F und der Beschleunigung a.	$m = \frac{F}{a}$

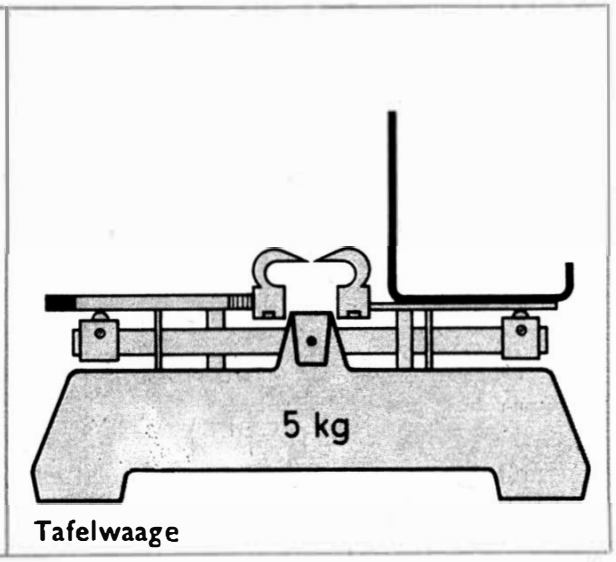
Einheiten sind 1 kg (Kilogramm), 1 t (Tonne).
1 t = 1000 kg
Das Kilogramm ist eine Basiseinheit.

↗ physikalische Eigenschaften der Körper, S. 47
↗ Trägheitsgesetz, S. 68

Massebestimmung

eines Körpers kann durch Vergleichen mit bekannten Massen von Wägestücken auf *Waagen* erfolgen oder durch Bilden des Quotienten $\frac{F}{a}$.





Dichte ϱ

ist eine physikalische Größe, die den Stoff kennzeichnet, aus dem ein Körper besteht.

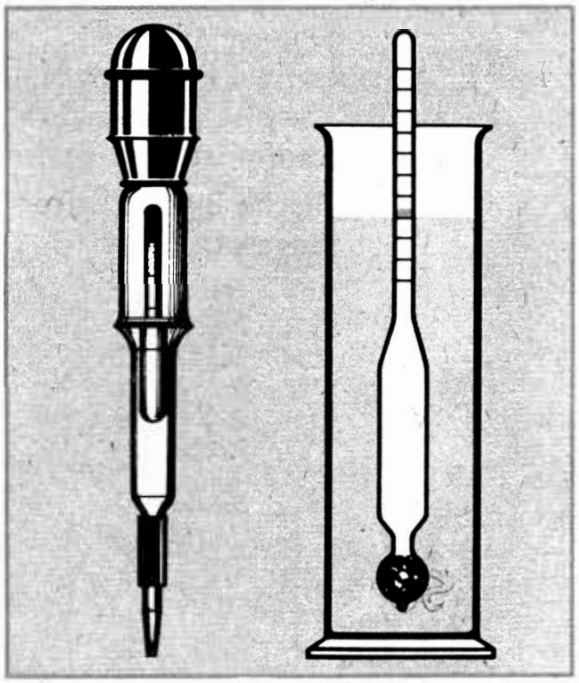
Die Dichte ϱ eines Stoffes, aus dem ein Körper besteht, ist gleich dem Quotienten aus der Masse m und dem Volumen V dieses Körpers.	$\varrho = \frac{m}{V}$

Einheiten sind

$1\,\frac{kg}{m^3}$ (Kilogramm je Kubikmeter),

$1\,\frac{g}{cm^3}$ (Gramm je Kubikzentimeter).

$1\,\frac{kg}{m^3} = 10^{-3}\,\frac{g}{cm^3}$



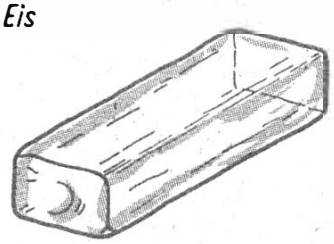
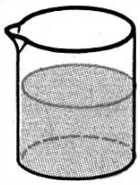
Dichtebestimmung

von Flüssigkeiten kann mit Aräometern erfolgen (Bild 50/3). Aus der Eintauchtiefe des Aräometers ermittelt man die Dichte der Flüssigkeit. Je kleiner die Dichte der Flüssigkeit, desto tiefer taucht das Aräometer ein.

Aggregatzustände

Man unterscheidet: fest, flüssig, gasförmig.
Da Körper aus Stoffen bestehen und Stoffe im festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand auftreten können, unterscheidet man auch feste Körper (Festkörper), Flüssigkeiten und Gase.

- Wasser (H_2O): fest (Eis), flüssig, gasförmig (Dampf)

Aggregatzustände		
Fest	*Flüssig*	*Gasförmig*
Eis 	*Wasser* 	*(unsichtbarer) Wasserdampf*

- Kohlendioxid (CO_2): fest (Trockeneis), flüssig, gasförmig

↗ Änderungen des Aggregatzustandes, S. 97

Volumen- und Formverhalten der Körper in den Aggregatzuständen

Aggregatzustand	Fest	Flüssig	Gasförmig
Beispiel: Körper aus	Metall	Wasser	Luft
Volumen	Bestimmt	Bestimmt	Der Gestalt und dem Raum des Gefäßes angepaßt, in dem sie sich befindet
Form	Bestimmt	Der Gestalt des Gefäßes angepaßt	
Abstand der Teilchen	Klein	Groß	Sehr groß
Verschiebbarkeit der Teilchen	Klein	Groß	Sehr groß
Kompressibilität des Körpers	Sehr gering	Sehr gering	Sehr groß

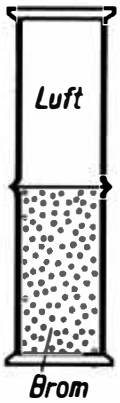
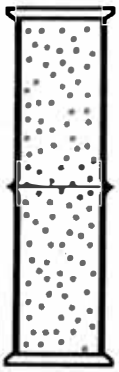
Volumen und Form der Körper, Abstand und Verschiebbarkeit der Teilchen sowie Kompressibilität sind vom Aggregatzustand abhängig.

Aufbau der Stoffe

▶ Stoffe bestehen aus Teilchen.

■ Kohlenstoff besteht aus Kohlenstoffatomen (C);
Ammoniak besteht aus Ammoniakmolekülen (NH_3);
Natriumchlorid (Kochsalz) besteht aus Natrium- und Chlorid-Ionen (Na^+Cl^-).

↗ Atom, S. 216
↗ Molekül, Ch i Üb, S. 28
↗ Ionen, Ch i Üb, S. 21

Eigenschaft	Beispiel		Erläuterungen
Teilchen eines *reinen* Stoffes haben *gleiche* Eigenschaften	Zucker ist farblos, alle Zuckerteilchen sind farblos		Für Stoffgemische trifft diese Eigenschaft nicht zu
Die Teilchen der Stoffe befinden sich in ständiger *Bewegung*	Bromteilchen durchmischen sich mit der Luft		Die Bewegung der Teilchen kann durch die *Brownsche Bewegung* nachgewiesen werden
	Versuchsbeginn	Versuchsende	
			
Zwischen den Teilchen der Stoffe treten Wechselwirkungen durch *Anziehungs- und Abstoßungskräfte* auf	Zwischen den Teilchen des Wassers im flüssigen Zustand wirken größere Anziehungskräfte als im gasförmigen Zustand		Man unterscheidet Kräfte zwischen den Teilchen *eines* Stoffes – Kohäsionskräfte – und Kräfte zwischen den Teilchen *verschiedener* Stoffe – Adhäsionskräfte

Kohäsionskraft

Durch die Kohäsionskraft werden die Teilchen *eines* Stoffes zusammengehalten.
In festen Körpern sind häufig die Teilchen regelmäßig in bestimmten Abständen angeordnet (Kristalle). Diese Körper besitzen eine bestimmte Form.

↗ Struktur, Ch i Üb, S. 28

■ Modell eines Kristalls (Bild 53/1)

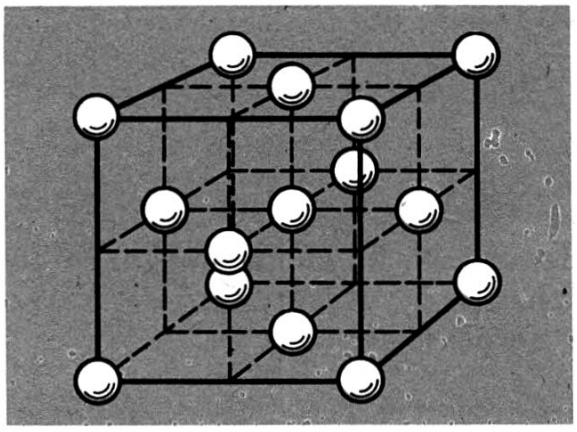


Bild 53/1 Die Teilchen (z. B. Moleküle) sind regelmäßig angeordnet und schwingen um ihre Ruhelage

Bei Flüssigkeiten sind die Kohäsionskräfte geringer als bei festen Körpern. Deshalb sind die Flüssigkeitsteilchen leichter verschiebbar als die Teilchen in einem festen Körper. Bei Gasen ist die Kohäsionskraft am kleinsten und die Teilchenabstände am größten; Gase besitzen daher keine bestimmte Form und können verdichtet werden (Kompressibilität).

Adhäsionskraft

■ Durch die Adhäsionskraft werden die Teilchen verschiedener Körper zusammengehalten.

Haften von Kreide an der Tafel, Leim am Holz, Kitt am Fenster, Wasser am Trinkglas

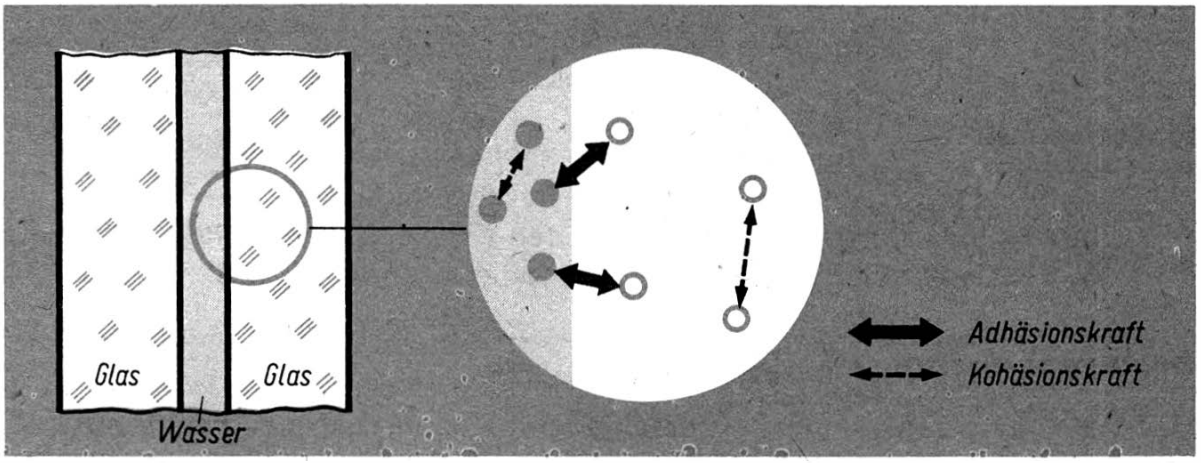
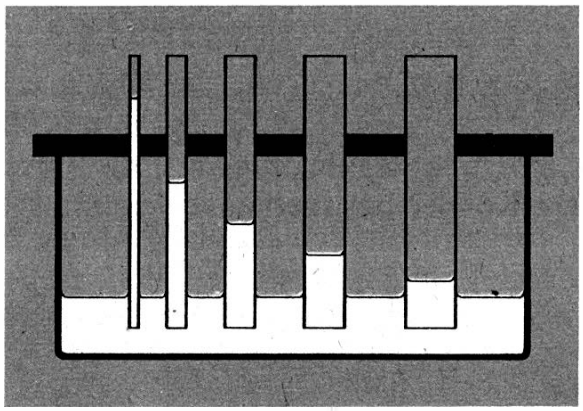


Bild 53/2



Durch die Adhäsionskraft wird auch bewirkt, daß Wasser in engen Röhren (Kapillaren) emporsteigt, wenn diese in Wasser eintauchen – Kapillarität.

Bild 54/1

3.2. Kinematik

Die Kinematik ist das Teilgebiet der Physik, in dem Bewegungen beschrieben werden. Dabei werden die Ursachen für Änderungen des Bewegungszustandes (↗ Dynamik, S. 64) nicht berücksichtigt.

Bewegung

ist die Ortsveränderung eines Körpers relativ zu einem anderen als ruhend angenommenen Körper.
Zur Beschreibung von Bewegungen wird von einem als ruhend angenommenen Bezugssystem ausgegangen. Jede Bewegung ist daher *relativ*.

■ Bewegung der Erde um die Sonne, Bewegung eines Raumschiffes um die Erde, Bewegung einer Person in einem Raumschiff

Die Beschreibung einer Bewegung kann im allgemeinen in Form von *Gleichungen* oder *grafischen Darstellungen* (Diagrammen) erfolgen:

$s = f(t)$; Weg-Zeit-Gleichung	Weg-Zeit-Diagramm
$v = f(t)$; Geschwindigkeit-Zeit-Gleichung	Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm
$a = f(t)$; Beschleunigung-Zeit-Gleichung	Beschleunigung-Zeit-Diagramm

Massenpunkt

ist ein Modell. Es dient u. a. zur Beschreibung von Bewegungen (↗ Kreisbewegung, S. 59). Man denkt sich den Körper als einen Punkt, der die Masse des betreffenden Körpers hat (↗ Modellmethode, S. 33).

Bewegungsformen und Bewegungsarten

Bewegungen können unterschieden werden nach der Form der Bahnkurve des bewegten Körpers (Bewegungsformen) und nach der zeitlichen Änderung der Geschwindigkeit (Bewegungsarten).

Bewegungen

Bewegungsformen
Geradlinige Bewegung
Kreisbewegung
Schwingung

Bewegungsarten
Geradlinige, gleichförmige Bewegung
Geradlinige, beschleunigte Bewegung
Gleichförmige Kreisbewegung

Einteilung von Bewegungen nach der zeitlichen Änderung der Geschwindigkeit

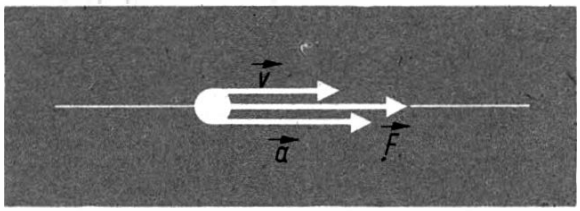
Bewegungsart	Betrag der Geschwindigkeit	Richtung der Geschwindigkeit
Geradlinige, gleichförmige Bewegung ■ Paket auf Förderband	Konstant	Konstant
Geradlinige, beschleunigte Bewegung ■ freier Fall	Veränderlich	Konstant
Gleichförmige Kreisbewegung ■ Jeder Punkt am Umfang des Rotors eines Wechselstrom-Synchronmotors	Konstant	Veränderlich

Einteilung von geradlinigen Bewegungen

Geradlinige Bewegung	Geschwindigkeit	Beschleunigung
Gleichförmige Bewegung ■ Paket auf Förderband	Konstant	Null
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung ■ freier Fall	Veränderlich	Konstant
Ungleichmäßig beschleunigte Bewegung ■ Uhrpendel	Veränderlich	Veränderlich

Einteilung von beschleunigten Bewegungen

Beschleunigte Bewegung	Kraft $\vec{F}$	Geschwindigkeit $\vec{v}$	Beschleunigung $\vec{a}$
Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung ■ freier Fall	*Gleichung* $F = m \cdot a$ *Betrag* konstant *Richtung* in Bewegungsrichtung	*Gleichung* $v = a \cdot t$ *Betrag* ändert sich *Richtung* in Bewegungsrichtung	*Gleichung* $a = \frac{v}{t}$; $a = \frac{2s}{t^2}$ *Betrag* konstant *Richtung* in Bewegungsrichtung
Gleichförmige Kreisbewegung ■ Jeder Punkt am Umfang des Rotors eines Wechselstrom-Synchronmotors	*Gleichung* $F_r = m \cdot \frac{v^2}{r}$ *Betrag* konstant *Richtung* rechtwinklig zur Bewegungsrichtung	*Gleichung* $v = \frac{s}{t}$; $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$ *Betrag* konstant *Richtung* in Bewegungsrichtung	*Gleichung* $a_r = \frac{v^2}{r}$ *Betrag* konstant *Richtung* rechtwinklig zur Bewegungsrichtung



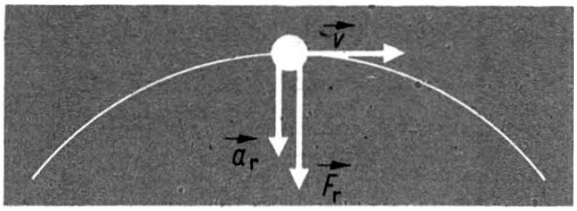


Bild 56/1 Richtung von $\vec{F}$, $\vec{v}$ und $\vec{a}$ bei beschleunigten Bewegungen

Geradlinige, gleichförmige Bewegung

▶ Bei einer geradlinigen, gleichförmigen Bewegung eines Körpers ist der Weg s proportional der Zeit *t*.

$s \sim t$

↗ Kreisbewegung, S. 59

Geschwindigkeit *v*

▶ Die Geschwindigkeit *v* eines gleichförmig bewegten Körpers ist gleich dem Quotienten aus dem zurückgelegten Weg s und der dazu benötigten Zeit *t*.

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

Einheiten sind $1\,\frac{m}{s}$ (Meter je Sekunde); $1\,\frac{km}{h}$ (Kilometer je Stunde); 1 kn (Knoten).

$1\,\frac{m}{s} = 3{,}6\,\frac{km}{h}$; $1\text{ kn} = 1\,\frac{sm}{h} = 1{,}852\,\frac{km}{h}$

$1\,\frac{m}{s}$ ist die Geschwindigkeit eines sich gleichförmig bewegenden Körpers, der in der Zeit 1 s den Weg 1 m zurücklegt. Die Geschwindigkeit $\vec{v}$ ist eine vektorielle Größe (↗ S. 12).

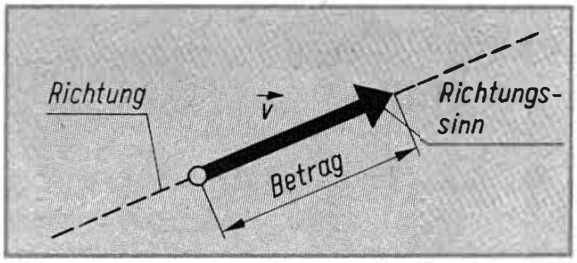
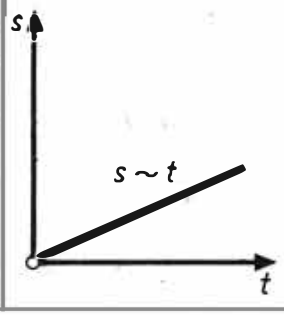
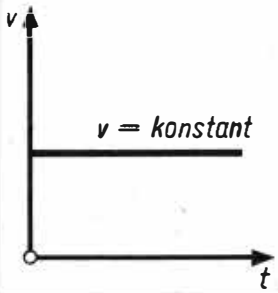
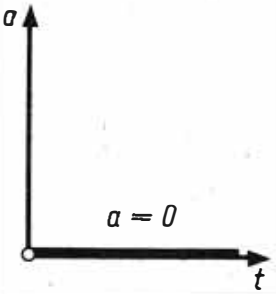


Bild 57/1

Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung: $s = v \cdot t$

Gesetzmäßigkeit	$s = v \cdot t$	v = konstant	$a = 0$
Diagramm			

Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung

▶ Bei einer geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist die Geschwindigkeit v proportional der Zeit t.

$v \sim t$

Beschleunigung a

▶ Die Beschleunigung a eines geradlinig, gleichmäßig beschleunigten Körpers ist gleich dem Quotienten aus der Geschwindigkeitsänderung Δv und der dazu benötigten Zeit Δt.

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Beginnt die Bewegung aus der Ruhelage ($v_1 = 0$) und zur Zeit $t_1 = 0$, so folgt:

$a = \frac{v}{t}$ und $v = a \cdot t$.

Die Einheit ist $1 \frac{m}{s^2}$ (Meter je Quadratsekunde).

$1 \frac{m}{s^2}$ ist die Beschleunigung eines Körpers, dessen Geschwindigkeit sich in 1 s um $1 \frac{m}{s}$ ändert.

Die Beschleunigung $\vec{a}$ ist eine vektorielle Größe (↗ S. 12).

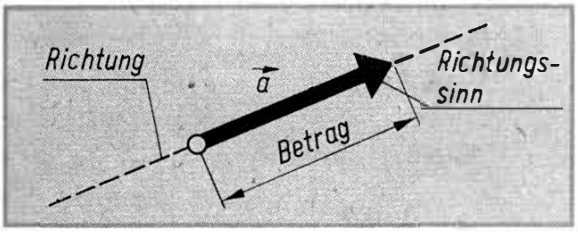
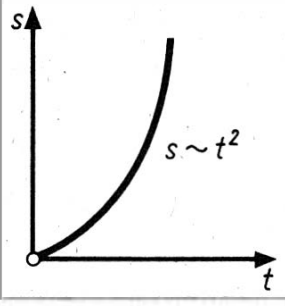
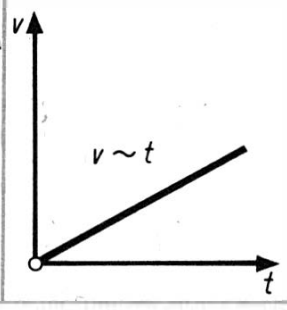
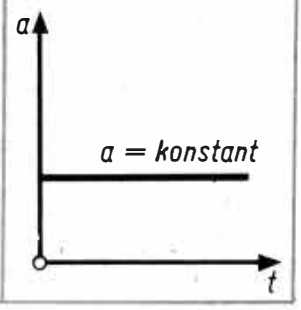


Bild 58/1 Darstellung des Beschleunigungsvektors

Bei Körpern, deren Geschwindigkeit sich verringert, ist die Beschleunigung der Geschwindigkeit entgegengerichtet. Die Beschleunigung erhält dann ein negatives Vorzeichen.

Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Bei einer geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist der Weg s proportional dem Quadrat der Zeit t.	$s \sim t^2$ $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Gesetzmäßigkeit	$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$	$v = a \cdot t$	$a =$ konstant
Diagramm			

Freier Fall

Ein Sonderfall der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist der **freie Fall**. Er tritt streng genommen nur im Vakuum auf.

Fallbeschleunigung g

ist die Beschleunigung eines Körpers, der frei fällt.

↗ Gravitation, S. 71

Die Fallbeschleunigung g beträgt an der Erdoberfläche rund $9{,}81\ \frac{m}{s^2}$.	$g \approx 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$

Die Fallbeschleunigung ist vom Ort abhängig. In 45° nördlicher Breite auf Meereshöhe gilt: $g = 9{,}80665\ \frac{m}{s^2}$.

Aus der Konstanz der Fallbeschleunigung für einen bestimmten Ort und ihrer Unabhängigkeit von Masse und Form des Körpers folgt: Der Fall verläuft im luftleeren Raum für alle Körper gleichartig.

Gesetze des freien Falles

Weg-Zeit-Gesetz $s = \frac{g}{2} \cdot t^2$

Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz $v = g \cdot t$

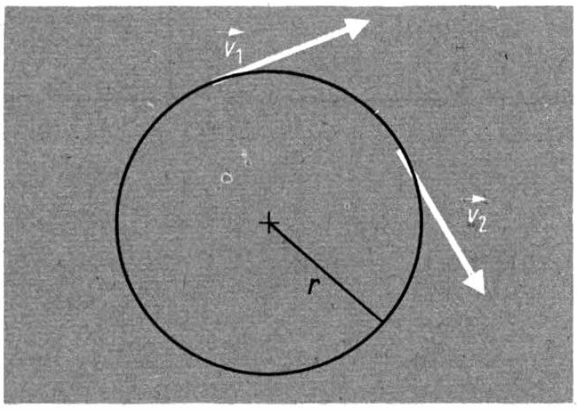
Geschwindigkeit-Weg-Gesetz $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

Kreisbewegung

ist die Bewegung eines Massenpunktes (↗ S. 54) auf einer Kreisbahn.
Da die einzelnen Teile eines Körpers bei der Bewegung auf einer Kreisbahn unterschiedliche Wege zurücklegen, wird nur die Bewegung eines Massenpunktes betrachtet.

Gleichförmige Kreisbewegung

ist die Bewegung eines Massenpunktes auf einer Kreisbahn, bei der für die Bahngeschwindigkeit gilt:



Betrag: $v_1 = v_2$
Richtung: $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2$

Bild 59/1

Umlaufzeit T

ist die Zeit, die der Massenpunkt bei einer Kreisbewegung für einen vollen Umlauf $s = 2 \cdot \pi \cdot r$ benötigt.

Daraus folgt für die **Bahngeschwindigkeit**: $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$

Radialbeschleunigung a_r

Die Radialbeschleunigung a_r ist gleich dem Quotienten aus dem Quadrat der Bahngeschwindigkeit v und dem Radius r der Bahn.	$a_r = \frac{v^2}{r}$

Bei der gleichförmigen Kreisbewegung ändert sich nur die Richtung der Geschwindigkeit. Der Vektor der Geschwindigkeit und der Vektor der Beschleunigung bilden einen rechten Winkel. Die Beschleunigung ist dabei stets zum Mittelpunkt gerichtet.

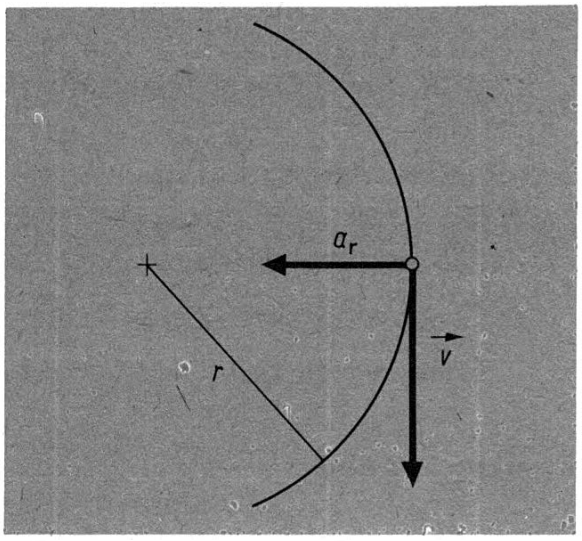
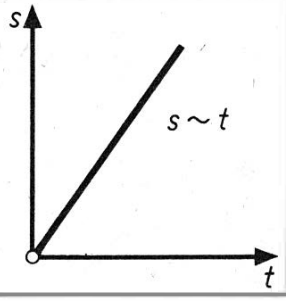
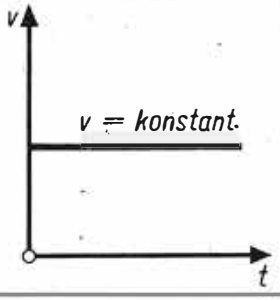
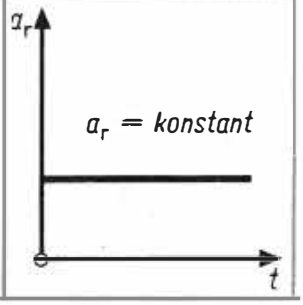


Bild 60/1

Gesetzmäßigkeit	$s = v \cdot t$	$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$ v = konstant	$a_r = \frac{v^2}{r}$ a_r = konstant
Diagramm			

Zusammengesetzte Bewegungen

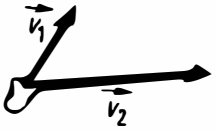
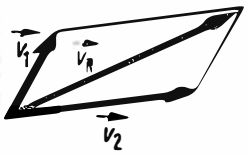
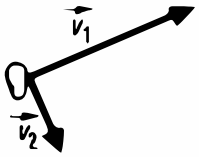
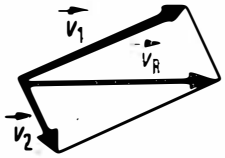
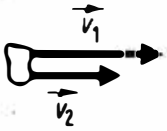
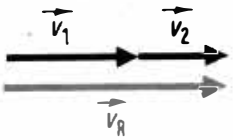
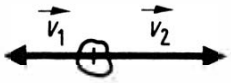
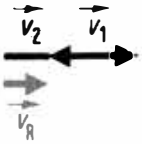
sind Bewegungen, die man sich aus mehreren Teilbewegungen zusammengesetzt denken kann.

- Gehende Personen im bewegten Fahrzeug, Fähre über einen Fluß

Zusammensetzen von Geschwindigkeiten

Da die Geschwindigkeit (↗ S. 56) eine vektorielle Größe ist, werden Geschwindigkeiten vektoriell zusammengesetzt.

↗ Addition vektorieller Größen, S. 12

Fall	Winkel zwischen den Geschwindigkeiten	Zeichnerische Darstellung	Resultierende Geschwindigkeit $\vec{v}_R$	
			Richtung	Betrag
Allgemeiner Fall	$\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ bilden einen beliebigen Winkel			
1. Sonderfall	$\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ bilden einen rechten Winkel			$v_R = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$
2. Sonderfall	$\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ haben gleichen Richtungssinn			$v_R = v_1 + v_2$
3. Sonderfall	$\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ haben entgegengesetzten Richtungssinn			$v_R = v_2 - v_1$

Der Wurf

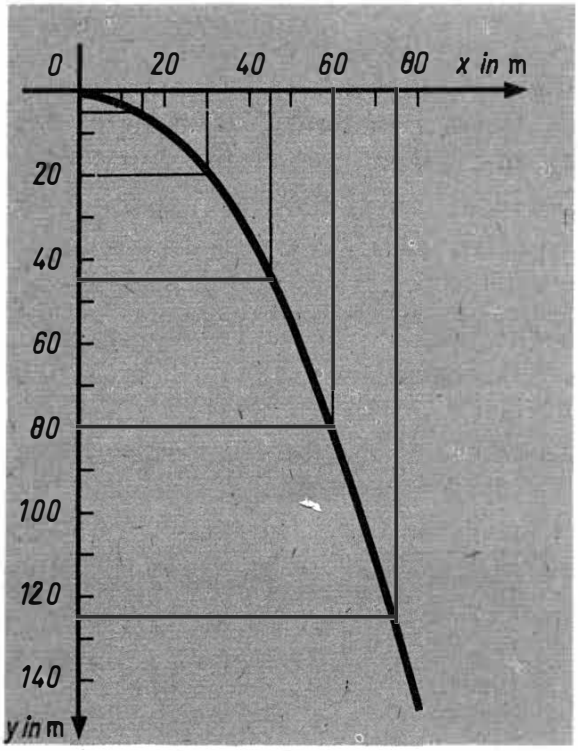
ist eine zusammengesetzte Bewegung, die aus *zwei* Teilbewegungen zusammengesetzt ist:

- aus einer geradlinigen, gleichförmigen Bewegung und
- aus dem freien Fall.

Man unterscheidet den **senkrechten Wurf**, den **waagerechten Wurf** und den **schrägen Wurf**.

	Anfangsgeschwindigkeit v_0 (konstant)	Fallgeschwindigkeit v_F (wachsend)	Betrag der resultierenden Geschwindigkeit v_R (veränderlich)	Zeichnerische Darstellung
Senkrechter Wurf nach oben	$\vec{v}_0$	$\vec{g} \cdot t$	$v_R = v_0 - g \cdot t$	$\vec{v}_0$ $\vec{v}_F$
Senkrechter Wurf nach unten	$\vec{v}_0$	$\vec{g} \cdot t$	$v_R = v_0 + g \cdot t$	$\vec{v}_0$ $\vec{v}_F$
Waagerechter Wurf	$\vec{v}_0$	$\vec{g} \cdot t$	$v_R = \sqrt{v_0^2 + (g \cdot t)^2}$	$\vec{v}_0$ $\vec{v}_F$
Schräger Wurf	$\vec{v}_0$	$\vec{g} \cdot t$	v_R vom Winkel zwischen $\vec{v}_F$ und $\vec{v}_0$ abhängig	$\vec{v}_0$ $\vec{v}_F$

Für den **waagerechten Wurf** kann die Bahnkurve (eine Parabel) in einem *x-y*-Diagramm dargestellt werden. Für bestimmte Zeiten werden einander entsprechende Wege der Teilbewegungen zusammengesetzt (Bild 63/1).



t in s	1	2	3	4	5
x in m	15	30	45	60	75
y in m	5	20	45	80	125

$$v_0 = 15\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \qquad x = v_0 \cdot t$$

$$g \approx 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \qquad y = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

Bild 63/1

Beim schrägen Wurf hängt die **Wurfweite s_w** vom Abwurfwinkel α und von der Anfangsgeschwindigkeit v ab. Es gilt:

- Je größer die Anfangsgeschwindigkeit v_0 ist, desto größer ist die Wurfweite s_w (Bild 63/2).
- Die größte Wurfweite wird beim Abwurfwinkel $\alpha = 45°$ erreicht.
- Bei Abwurfwinkeln, die sich zu 90° ergänzen, sind die Wurfweiten gleich (Bild 63/3).

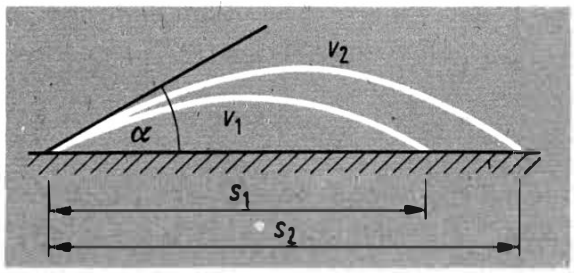


Bild 63/2

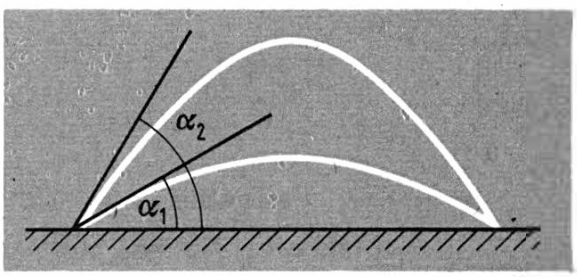


Bild 63/3

Berücksichtigt man den Luftwiderstand, so ergeben sich Abweichungen von der Wurfparabel. Die von einem im lufterfüllten Raum geworfenen Körper durchlaufenen Bahnen heißen ballistische Kurven.

Geschoßbahnen, geworfener Ball

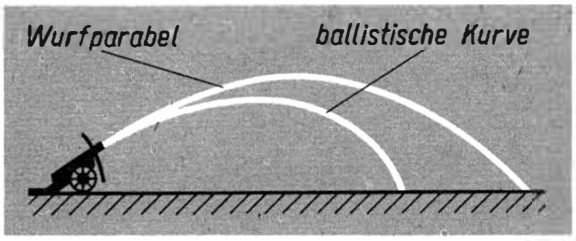


Bild 63/4

3.3. Dynamik

Die Dynamik ist das Teilgebiet der Physik, in dem Änderungen des Bewegungszustandes im Zusammenhang mit ihren Ursachen, den Kräften, beschrieben werden.

Kraft *F*

Die Kraft erkennt man an ihren Wirkungen.
Einheiten sind 1 N (Newton); 1 kp (Kilopond).

$$1\,N = \frac{1}{9{,}81}\,kp$$

Kraftwirkungen

Statische Kraftwirkung	Dynamische Kraftwirkung
Verformen eines Körpers ■ Spannen einer Feder	Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers ■ Anfahren eines Fahrzeugs

Die Wirkungen von Kräften werden zur Kraftmessung genutzt.

Kraftmessung

Statische Kraftmessung	Dynamische Kraftmessung
Federkraftmesser (Zugkraftmesser, Druckkraftmesser)	Messen von Masse und Beschleunigung und Berechnen der Kraft mit Hilfe des Newtonschen Grundgesetzes (↗ S. 67)

In einigen Teilgebieten der Physik wird die Kraft besonders bezeichnet.
■ Gewichtskraft (↗ S. 68), Reibungskraft (↗ S. 70), Radialkraft (↗ S. 68), Auftriebskraft (↗ S. 84), Luftwiderstandskraft
Die Kraft ist eine vektorielle Größe (↗ S. 12)

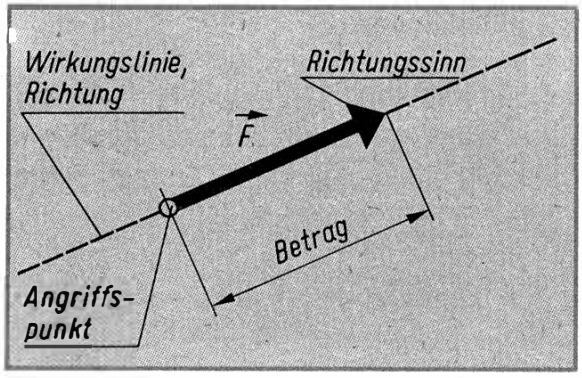


Bild 64/1

Wechselwirkungsgesetz

Die Erfahrung lehrt:

Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so tritt gleichzeitig eine Gegenkraft auf, die den gleichen Betrag hat, aber entgegengesetzt gerichtet ist.	Kraft = Gegenkraft actio = reactio

Kraft und Gegenkraft greifen an *verschiedenen* Körpern an (Bilder 65/1 und 65/2). Das heißt, daß Kräfte stets zwischen zwei Körpern wirken.

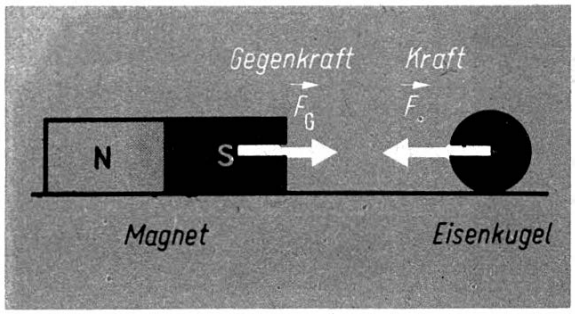


Bild 65/1

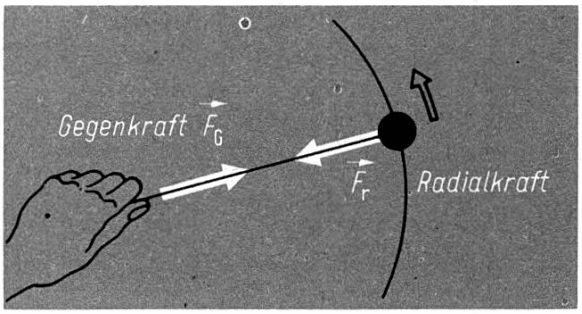
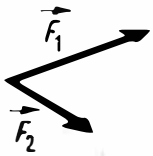
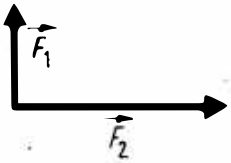
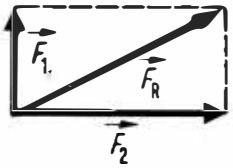
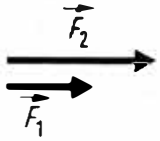
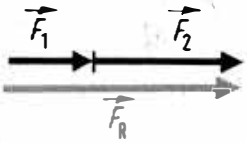


Bild 65/2

Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften

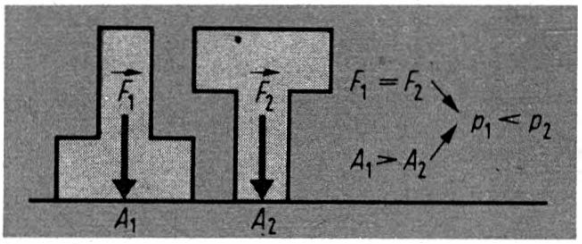
Zusammensetzung				
Fall	Winkel zwischen den Kräften	Zeichnerische Darstellung	Resultierende Kraft F_R	
			Richtung	Betrag
Allgemeiner Fall	$\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ bilden einen beliebigen Winkel			
Sonderfälle	$\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ bilden einen rechten Winkel			$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
	$\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ haben gleiche Wirkungslinie und gleichen Richtungssinn			$F_R = F_1 + F_2$

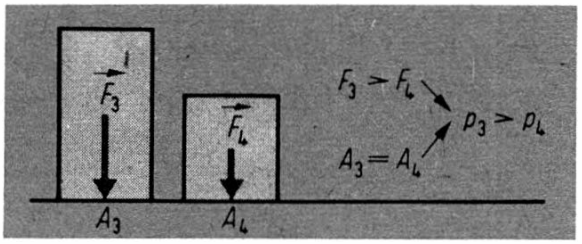
Zusammensetzung				
Fall	Winkel zwischen den Kräften	Zeichnerische Darstellung	Resultierende Kraft F_R	
			Richtung	Betrag
	$\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ haben gleiche Wirkungslinie, entgegengesetzten Richtungssinn und unterschiedlichen Betrag	$\vec{F}_1$ $\vec{F}_2$	$\vec{F}_2$ $\vec{F}_R$ $\vec{F}_1$	$F_R = F_1 - F_2$
	$\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ haben gleiche Wirkungslinie, entgegengesetzten Richtungssinn und gleichen Betrag	$\vec{F}_1$ $\vec{F}_2$	$F_R = 0$	$0 = F_1 - F_2$ $F_1 = F_2$ Gleichgewicht
Zerlegung				
Allgemeiner Fall	$\vec{F}$ soll in zwei Richtungen zerlegt werden, die einen beliebigen Winkel bilden	$\vec{F}$	$\vec{F}_1$ $\vec{F}_2$ $\vec{F}$	

Druck p

▶ Der Druck p ist gleich dem Quotienten aus der Druckkraft F und dem Inhalt der gedrückten Fläche A.

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





■ Räder- bzw. Kettenfahrzeug, Mensch ohne bzw. mit Schneeschuhen

Druckkraft ist die senkrecht auf die Fläche eines Körpers drückende Kraft.

Einheiten sind

1 Pa (Pascal),
1 bar (Bar),
$1 \frac{kp}{cm^2}$ (Kilopond je Quadratzentimeter).

Newtonsches Grundgesetz

Wirkt eine Kraft auf einen ruhenden oder bewegten Körper, so ändert sich dessen Geschwindigkeit. Die wirkende Kraft F ist proportional der Beschleunigung a.	$F \sim a$

Die durch eine Kraft bewirkte Beschleunigung hängt von der Masse (↗ S. 49) des beschleunigten Körpers ab. Es gilt:

Die Kraft F ist gleich dem Produkt aus Masse m und Beschleunigung a.	$F = m \cdot a$

Die Einheit der Kraft 1 N kann mit Hilfe des Newtonschen Gesetzes aus den Einheiten der Masse und der Beschleunigung abgeleitet werden.

$$1\ N = 1\ kg \cdot 1 \frac{m}{s^2}$$

$$1\ N = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

Die Kraft 1 N erteilt einem Körper der Masse 1 kg die Beschleunigung $1 \frac{m}{s^2}$

Fall	Gleichung	Kraft	Beschleunigung	Hinweis
Allgemeiner Fall	$F = m \cdot a$ (Newtonsches Grundgesetz)	Kraft F	Beschleunigung a	↗ S. 67
Sonderfälle	$G = m \cdot g$ (Gleichung für die Gewichtskraft)	Gewichtskraft G	Fallbeschleunigung g	↗ S. 68
	$F_r = m \cdot \frac{v^2}{r}$ (Gleichung für die Radialkraft)	Radialkraft F_r	Radialbeschleunigung $\frac{v^2}{r}$	↗ S. 68
	$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ (Gravitationsgesetz)	Gravitationskraft F	Beschleunigung im Gravitationsfeld $\gamma \cdot \frac{m_2}{r^2}$	↗ S. 72

Gewichtskraft G

Wendet man das Newtonsche Grundgesetz auf die Erkenntnis an, daß auf jeden Körper der Masse m auf der Erdoberfläche die Fallbeschleunigung g wirkt, so ergibt sich:

Die Gewichtskraft G ist gleich dem Produkt aus der Masse m und der Fallbeschleunigung g.	$G = m \cdot g$

Die Gleichung läßt den Zusammenhang zwischen den Einheiten 1 N und 1 kp erkennen.

Auf einen Körper der Masse 1 kg wirkt die Gewichtskraft 1 kp. Setzt man für die Beschleunigung den Wert $g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, so ergibt sich nebenstehender Zusammenhang:

$$1\ \text{kp} = 1\ \text{kg} \cdot 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$1\ \text{kp} = 9{,}81 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$1\ \text{kp} = 9{,}81\ \text{N}$$

Trägheitsgesetz

Ist die Resultierende aller auf einen Körper wirkenden Kräfte Null, so beharrt er im Zustand der Ruhe oder in geradlinig gleichförmiger Bewegung.

Das **Trägheitsgesetz** ist ein Sonderfall des Newtonschen Grundgesetzes. Ist die Resultierende der auf einen Körper der Masse m wirkenden Kräfte Null ($F = 0$), so folgt aus dem Newtonschen Grundgesetz:

$F = m \cdot a$ mit $F = 0$
$0 = m \cdot a$ und, da $m \neq 0$
$a = 0$

Wenn $a = 0$, folgt

$v = \text{konst.} \neq 0$ → geradlinige, gleichförmige Bewegung

oder

$v = 0$ → Ruhezustand

Radialkraft F_r

Die auf einen Körper wirkende Radialkraft F_r ist gleich dem Produkt aus der Masse m des Körpers und der Radialbeschleunigung a_r.	$F_r = m \cdot a_r$ $F_r = m \cdot \frac{v^2}{r}$

Nach dem Newtonschen Grundgesetz ist die Änderung der Geschwindigkeit eines Körpers stets auf das Wirken einer Kraft zurückzuführen. Da die Kreisbewegung eine beschleunigte Bewegung ist, muß die Änderung der Richtung der Geschwindigkeit durch eine Kraft hervorgerufen werden. Dies ist die **Radialkraft**.

↗ Kreisbewegung, S. 59

■ Läuft ein Eisenbahnwagen durch eine nicht überhöhte Kurve, muß die Radialkraft durch die Schiene aufgebracht werden. Eine Überhöhung der Außenschiene bewirkt, daß durch die Schiene nicht die gesamte Radialkraft aufgebracht werden muß.

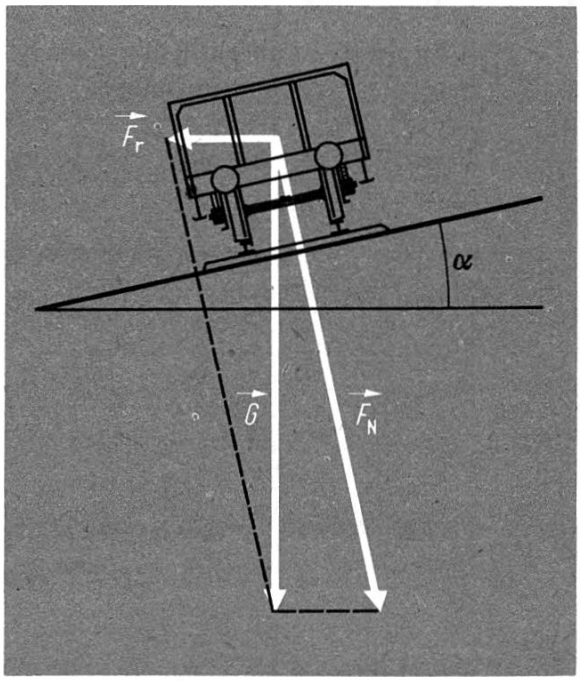


Bild 69/1

Die von einem *mitbewegten* Beobachter (z. B. Fahrgast) wahrgenommene, nach außen wirkende Kraft ist die *Zentrifugalkraft*. Sie tritt nur in bewegten Bezugssystemen auf. Sie ist *nicht* die Gegenkraft zur Radialkraft (Bild 65/2).

Drehbewegung

ist die Bewegung eines Körpers um eine feste Achse. Diese Bewegung wird auch *Rotation* genannt.

Drehbewegung und Kreisbewegung

Drehbewegung	Gleichförmige Kreisbewegung
Körper rotiert um eine feste Achse	**Massenpunkt** bewegt sich auf einer Kreisbahn
Geschwindigkeit für Teile des Körpers unterschiedlich	Bahngeschwindigkeit konstant
Radialkraft für Teile des Körpers unterschiedlich	Radialkraft konstant

Reibung

ist der Vorgang, bei dem zwischen einander berührenden und sich gegeneinander bewegenden Körpern Kräfte auftreten. Man unterscheidet Haft-, Gleit- und Rollreibung.

Haftreibung	Gleitreibung	Rollreibung
tritt auf, wenn ein Körper, der auf einem anderen ruht, in Bewegung versetzt werden soll	tritt auf, wenn ein Körper auf einem anderen gleitet	tritt auf, wenn ein Körper auf einem anderen rollt

Reibungskraft F_R

Die Reibungskraft F_R ist proportional der zwischen den Körpern wirkenden Normalkraft F_N. Die Reibungszahl μ drückt die Abhängigkeit von Art und Beschaffenheit der Berührungsflächen aus.	$F_R \sim F_N$ $F_R = \mu \cdot F_N$

Die Normalkraft F_N ist die senkrecht auf die Unterlage wirkende Kraft.
F_R und F_N bilden einen rechten Winkel (Bild 70/1).
Die an einem bewegten Körper auftretende Reibungskraft F_R ist stets der Bewegungsrichtung entgegengerichtet.
Die Reibungskraft hängt nicht von der Größe der Berührungsfläche ab (↗ S. 26).

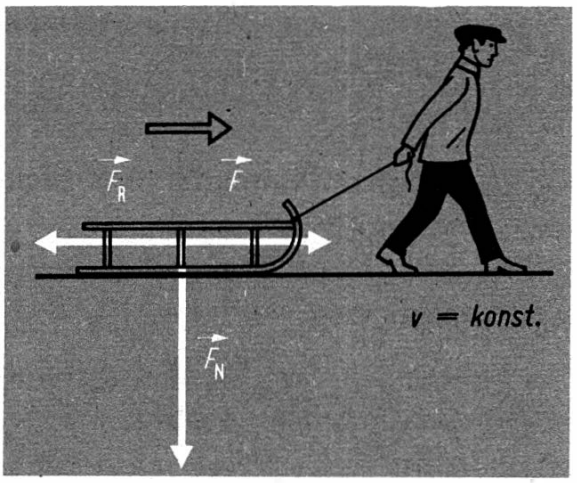


Bild 70/1

Man unterscheidet:

Haftreibungszahl μ_0	Stahl auf Stahl $\mu_0 = 0{,}15$
Gleitreibungszahl μ	Stahl auf Stahl $\mu = 0{,}09$ (gleitende Maschinenteile)

↗ Der allgemeine Erkenntnisweg, S. 25.

3.4. Gravitation

Gravitation

ist die Eigenschaft aller Körper, einander anzuziehen. Die dabei auftretende Anziehungskraft heißt Gravitationskraft.

Keplersche Gesetze

Johannes Kepler beschrieb die Bewegung der Planeten durch die folgenden drei Gesetze.

1. *Gesetz*

▶ Alle Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

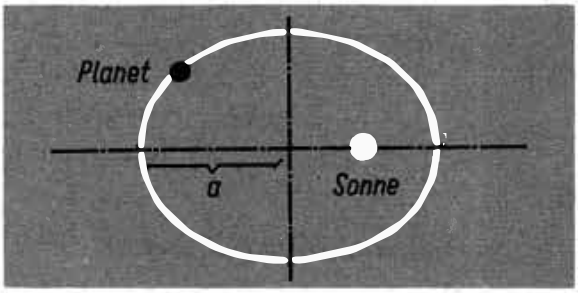


Bild 71/1

2. *Gesetz*

▶ Ein von der Sonne zu einem Planeten gezogener Leitstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen.

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{konstant}$$

Folgerung:
Der Betrag der Bahngeschwindigkeit ist in Sonnennähe größer als in Sonnenferne.

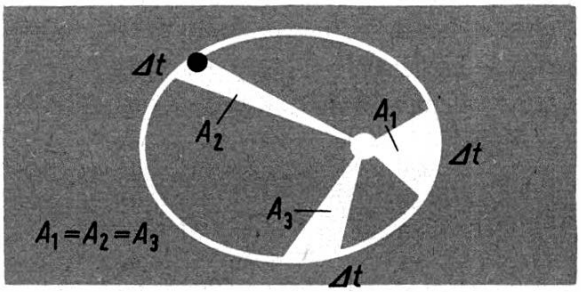


Bild 71/2

3. *Gesetz*

▶ Die Quadrate der Umlaufzeiten T zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen a ihrer Bahnen.

$$T_1^2 : T_2^2 = a_1^3 : a_2^3$$

Folgerung:

Der Quotient $\frac{T^2}{a^3}$ ist für alle Planeten eines Sonnensystems konstant.

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{konst.}$$

Die Raumfahrt führte zu einer Bestätigung der Gesetze durch künstliche Weltraumkörper.

Gravitationsgesetz

Die Gravitationskraft F zwischen zwei Körpern ist dem Produkt ihrer Massen m_1 und m_2 direkt und dem Quadrat ihres Abstandes r umgekehrt proportional.

$$F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Gravitationskonstante γ

ist der Proportionalitätsfaktor im Gravitationsgesetz. Sie ist eine für das Weltall gültige Konstante.

$$\gamma = \frac{(6{,}670 \pm 0{,}007)\ \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2}{10^{11}\ \mathrm{kg}^2}$$

Gravitationsfeld

Im magnetischen Feld (↗ S. 129) und im elektrischen Feld (↗ S. 124) wirken Kräfte auf magnetische bzw. elektrisch geladene Körper. Um *jeden* Körper wirken Kräfte auf alle anderen Körper infolge der Gravitation. Jeder Körper ist von einem **Gravitationsfeld** umgeben.
Die auf einen Körper der Masse m wirkende Gewichtskraft G und die Gravitationskraft F kennzeichnen die gleiche Erscheinung (Bild 72/1).

Es gilt also:

$$G = F.$$

Mit $G = m \cdot g$ und

$$F = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} \text{ folgt:}$$

$$m \cdot g = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$g = \gamma \cdot \frac{M}{r^2}$$

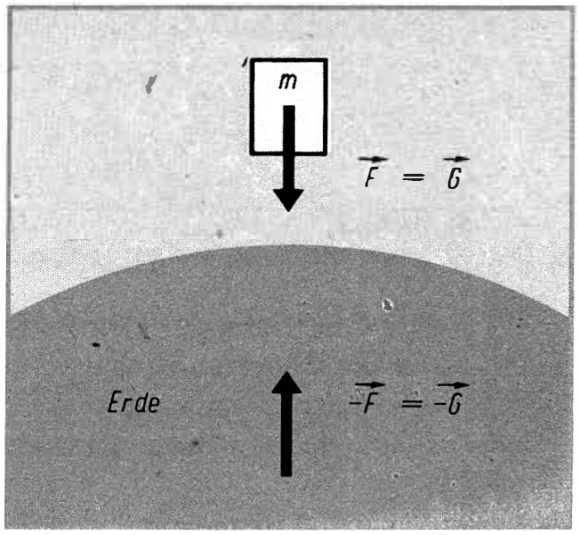


Bild 72/1

Die Fallbeschleunigung g hängt nur vom Abstand zwischen Meßort und Mittelpunkt des Himmelskörpers mit der Masse M ab. Jedem Punkt des Gravitationsfeldes eines Himmelskörpers kann eine bestimmte Beschleunigung g zugeordnet werden, die das Feld kennzeichnet (Bild 73/1).

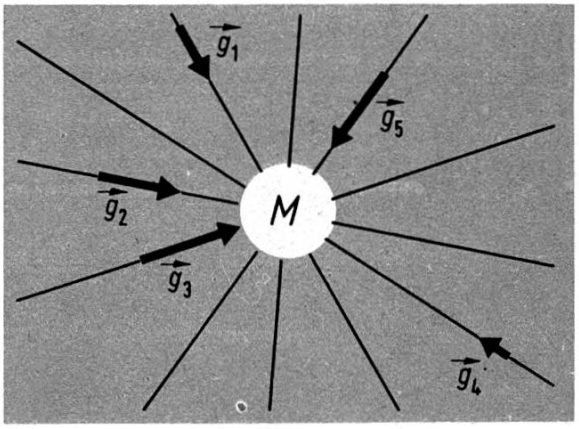


Bild 73/1

3.5. Mechanische Energie

Mechanische Arbeit W

wird verrichtet, wenn an einem Körper längs eines Weges eine Kraft wirkt. Man hat festgelegt:

Die an einem Körper verrichtete mechanische Arbeit W ist gleich dem Produkt aus aufgewendeter Kraft F und zurückgelegtem Weg s, wenn Kraft und Weg die gleiche Richtung haben und die Kraft während des Vorganges konstant bleibt.	$W = F \cdot s$

Einheiten sind
1 N · m (Newtonmeter, 1 W · s (Wattsekunde),
1 J (Joule), 1 kpm (Kilopondmeter).
1 N · m = 1 W · s = 1 J = 0,102 kpm

Die Arbeit 1 N · m wird verrichtet, wenn ein Körper mit der Kraft 1 N längs des Weges 1 m verschoben wird. Die Arbeit 1 kpm wird verrichtet, wenn ein Körper mit der Kraft 1 kp um 1 m verschoben wird.

Die Arbeit kann mit Hilfe von Arbeitsdiagrammen dargestellt werden. Die weiße Fläche in Bild 73/2 ist ein Maß für die Arbeit W_1, wenn ein Körper mit der Kraft F_1 längs des Weges s_1 gleichförmig bewegt wird.

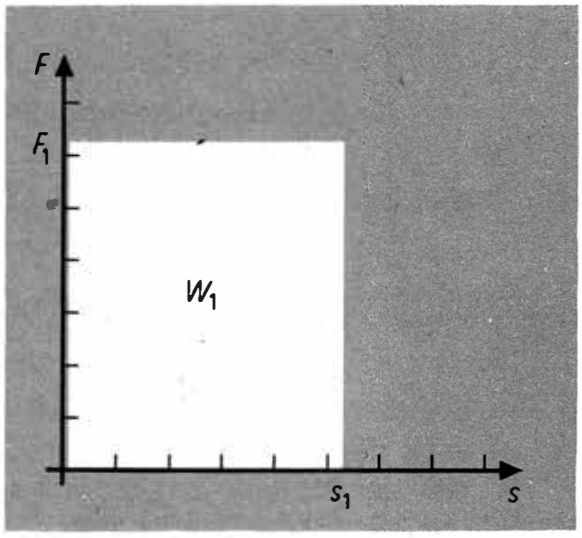
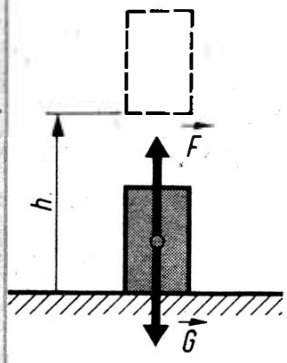
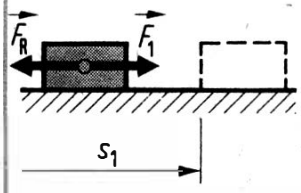
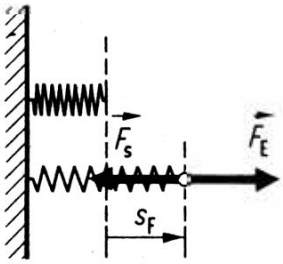
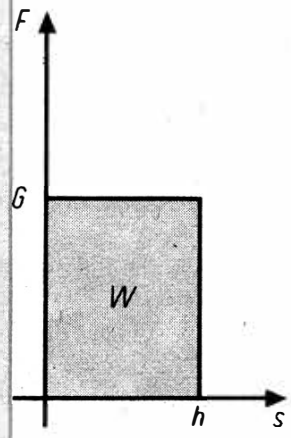
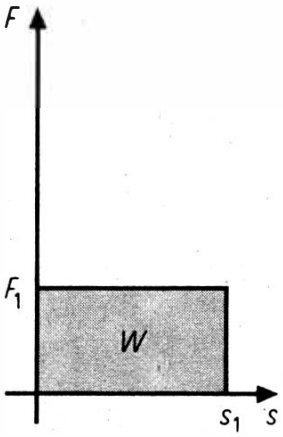
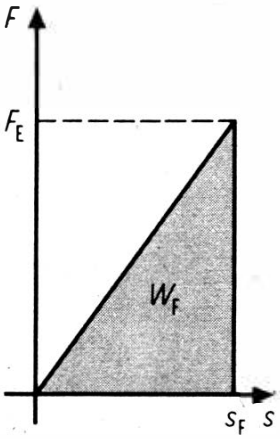


Bild 73/2

	Hubarbeit	Reibungsarbeit	Federspannarbeit
Zeichnerische Darstellung	 F und G haben den gleichen Betrag		
Gleichung	$W = G \cdot h$ $W = m \cdot g \cdot h$	$W = F_1 \cdot s_1$ $= F_R \cdot s_1$	$W_F = \frac{1}{2} F_E \cdot s_F$ $= \frac{1}{2} F_S \cdot s_F$ F_E: Endkraft
Bedingung	F = konstant v = konstant	F = konstant v = konstant	$F \sim s$ Die gespannte Feder wird nur elastisch verformt
Arbeitsdiagramm			
Beispiel	Kran beim Gebäudebau	Kugellager, horizontal bewegter Schlitten	Spannen der Feder beim Luftgewehr

Bei der Verschiebungsarbeit (Hubarbeit, Reibungsarbeit, Federspannarbeit) wird der Angriffspunkt der Kraft gleichförmig verschoben.
Bei der Beschleunigungsarbeit (↗ S. 78) wird der Angriffspunkt der Kraft ungleichförmig verschoben.

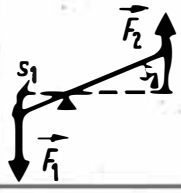
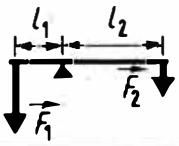
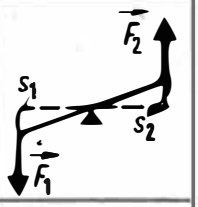
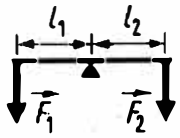
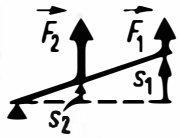
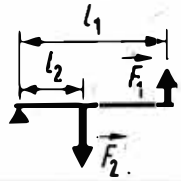
Satz von der Gleichheit der Arbeit

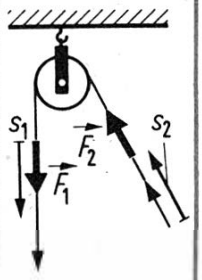
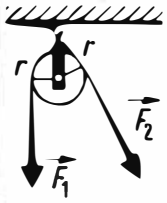
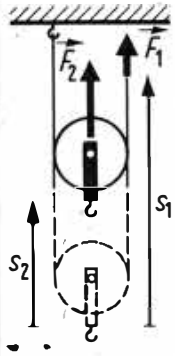
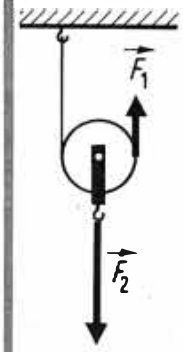
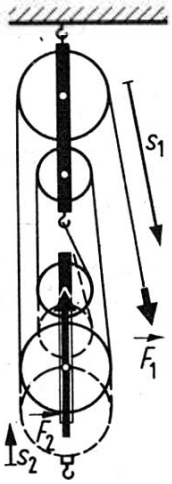
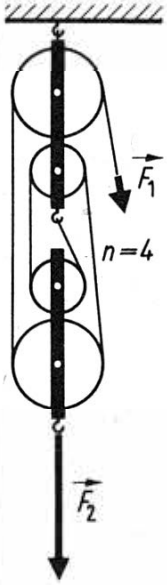
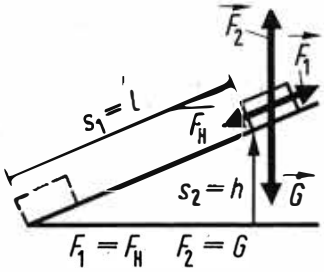
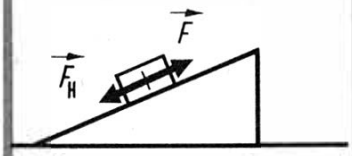
Bei Verwendung kraftumformender Einrichtungen ist die aufgenommene Arbeit W_1 gleich der abgegebenen Arbeit W_2. Dies gilt nur bei Vernachlässigung der Reibung.	$W_1 = W_2$ $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$

Kraftumformende Einrichtungen

1. Bei allen kraftumformenden Einrichtungen werden *die Richtung* oder *der Betrag* oder *die Richtung und der Betrag* von Kräften geändert.
2. Für alle kraftumformenden Einrichtungen gilt bei Vernachlässigung der Reibung *der Satz von der Gleichheit der Arbeit.*
3. Aus 2. folgt, daß die durch eine kraftumformende Einrichtung bewirkte Verringerung (bzw. Vergrößerung) der aufzuwendenden Kraft zu einer *Verlängerung* (bzw. Verkürzung) des *Kraftweges* führt.

In der folgenden Übersicht werden zwei Fälle für die genannten kraftumformenden Einrichtungen unterschieden.
1. **Verrichten von Arbeit**:
Charakterisiert einen *Vorgang*; es herrscht kein Gleichgewicht.
2. **Statisches Gleichgewicht**:
Charakterisiert einen *Zustand*; es wird keine Arbeit verrichtet.

Kraftumformende Einrichtung		Arbeit	Satz von der Gleichheit der Arbeit	Gleichgewicht	Gleichung für das Gleichgewicht	Beispiel
Hebel	Zweiseitig, ungleicharmig		$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$ (F und s haben gleiche Richtung)		$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ (F und l bilden einen rechten Winkel)	Dezimalwaage
	Zweiseitig, gleicharmig					Balkenwaage
	Einseitig, ungleicharmig					Sicherheitsventil

Kraftumformende Einrichtung		Arbeit	Satz von der Gleichheit der Arbeit	Gleichgewicht	Gleichung für das Gleichgewicht	Beispiel
Rollen	Feste Rolle		$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$		$F_1 = F_2$	Umlenkrolle
	Lose Rolle				$F_1 = \frac{F_2}{2}$	Spanneinrichtung von Fahrdrähten
Flaschenzug			$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$		$F_1 = \frac{F_2}{n}$	Hebeeinrichtung
Geneigte Ebene		$F_H \cdot l = G \cdot h$ 		$F = F_H$ 		Schrägaufzug

Wirkungsgrad η

Die von einer Maschine abgegebene Arbeit W_2 ist stets kleiner als die aufgenommene Arbeit W_1. Der Wirkungsgrad η ist gleich der Quotient aus den Arbeiten W_2 und W_1.	$W_2 < W_1$ $\eta = \frac{W_2}{W_1}$

In jeder Maschine geht ein Teil der aufgenommenen Arbeit für die Nutzung verloren. Sie wird durch Reibung in Wärmeenergie oder in andere Energiearten umgewandelt.
Der Wirkungsgrad hat keine Einheit. Er wird meist in Prozent angegeben.

■ $\eta = 0{,}42$ oder $\eta = 42\,\%$

Der Wirkungsgrad jeder Maschine ist kleiner als 1.	$0 < \eta < 1$

Der Wirkungsgrad kann auch als Quotient der entsprechenden Leistungen (↗ S. 78) dargestellt werden:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1} = \frac{P_2 \cdot t}{P_1 \cdot t} = \frac{P_2}{P_1}$$

Mechanische Energie

Zum Heben eines Körpers, zum Spannen einer Feder oder zum Bewegen eines Körpers muß Arbeit verrichtet werden. Durch diesen Vorgang wird der Körper in einen neuen Zustand versetzt. Der Zustand ist dadurch gekennzeichnet, daß der Körper die Fähigkeit besitzt, seinerseits Arbeit verrichten zu können. Dieser Zustand wird durch die physikalische Größe **Energie** beschrieben.

Mechanische Energie

Potentielle Energie	Kinetische Energie
Energie der Lage	Bewegungsenergie der Translation
Federspannenergie	Bewegungsenergie der Rotation

Arbeit ↓ Energie	Hubarbeit ↓ **Energie der Lage**	Federspannarbeit ↓ **Spannenergie**	Beschleunigungs-arbeit ↓ **Bewegungsenergie**
Gleichung für die Energie	$W_{pot} = m \cdot g \cdot h$	$W_F = \frac{1}{2} F_E \cdot s$	$W_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$

Einheiten der Energie sind
1 N · m (Newtonmeter), 1 W · s (Wattsekunde), 1 kpm (Kilopondmeter).
1 N · m = 1 W · s

Leistung *P*

Die Leistung *P* ist gleich dem Quotienten aus der Arbeit *W* und der Zeit *t*, in der die Arbeit verrichtet wird, wenn die Arbeit *W* während des Vorganges konstant ist.	$P = \frac{W}{t}$

Einheiten sind

1 W (Watt),

$1 \frac{N \cdot m}{s}$ (Newtonmeter je Sekunde).

$1 \frac{N \cdot m}{s} = 1\ W$

Die Leistung von 1 Watt erhält man, wenn die Arbeit von 1 N · m in 1 s verrichtet wird.
Bei Verbrennungsmotoren wird die Leistung häufig noch in PS (Pferdestärken) angegeben. Es gilt 1 PS = 735,498 W.

Zur Berechnung der Leistung an einem gleichförmig bewegten Körper läßt sich die obige Gleichung umformen:

Aus $P = \frac{W}{t}$, $W = F \cdot s$ und $v = \frac{s}{t}$ folgt:

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

$$P = F \cdot v$$

Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie

Bei der Umwandlung der mechanischen Energieformen ineinander ist die Summe der mechanischen Energien konstant.	$W_{pot} + W_{kin} =$ konst.

Dies ist ein Sonderfall des allgemeinen Satzes von der Erhaltung der Energie (↗ S. 101). Es ist ein Beispiel für das Wirken objektiver Gesetzmäßigkeiten in der Natur. Der Mensch kann diese Gesetzmäßigkeit erkennen und, indem er sie ausnutzt, seine Umwelt verändern.

Fadenpendel

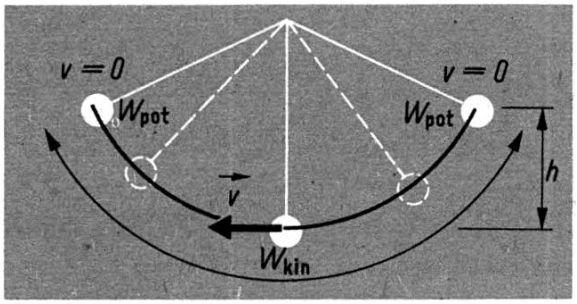


Bild 79/1

Federschwinger

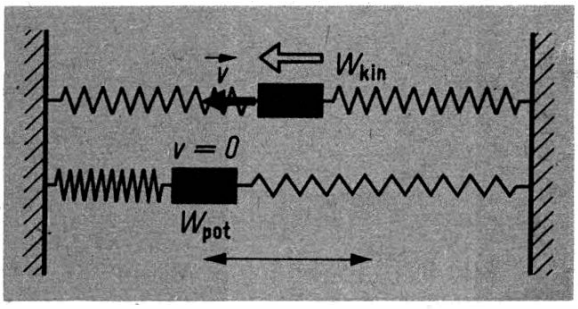


Bild 79/2

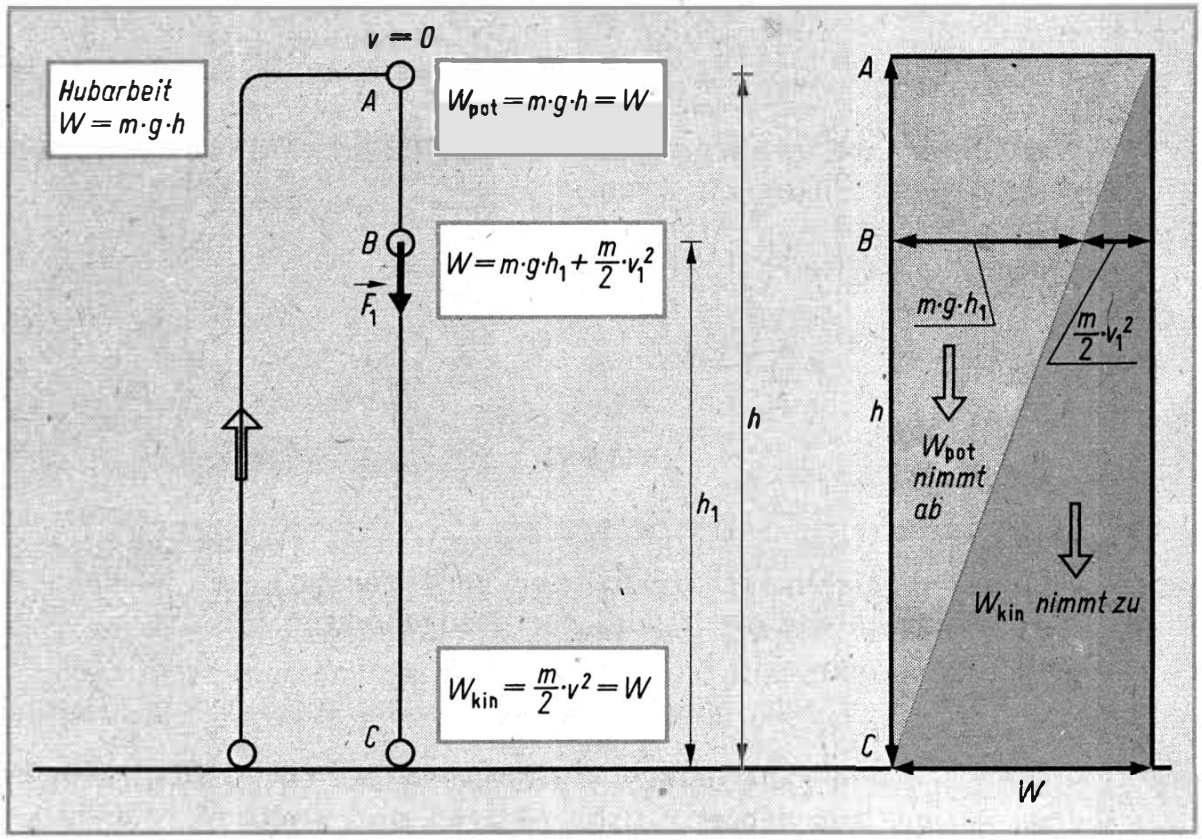


Bild 79/3 Beispiel zur Energieumwandlung beim freien Fall eines Körpers

3.6. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

Kolbendruck auf Flüssigkeiten

Der Kolbendruck p, der auf eine Flüssigkeit wirkt, ist gleich dem Quotienten aus der Kolbendruckkraft F und dem Inhalt der gedrückten Fläche A.

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

Einheiten (↗ S. 83)

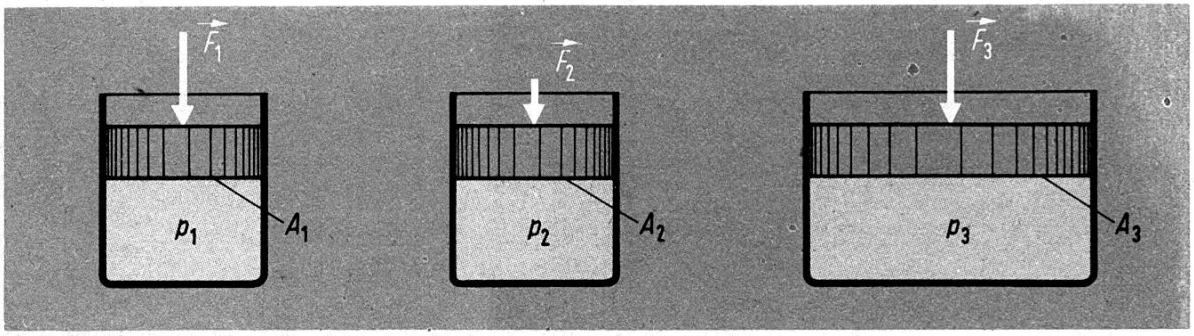


Bild 80/1 Wenn $A_1 = A_2$ und $F_1 > F_2$, dann ist $p_1 > p_2$, wenn $A_1 < A_3$ und $F_1 = F_3$, dann ist $p_1 > p_3$

Der Kolbendruck breitet sich in einer Flüssigkeit allseitig und gleichmäßig aus.

An eine unter dem Druck p stehende abgeschlossene Flüssigkeit grenzen die Flächen A_1 und A_2. An ihnen wirken dann die Kräfte F_1 und F_2, d. h., es gilt:

$$p = \frac{F_1}{A_1} \quad \text{und} \quad p = \frac{F_2}{A_2}.$$

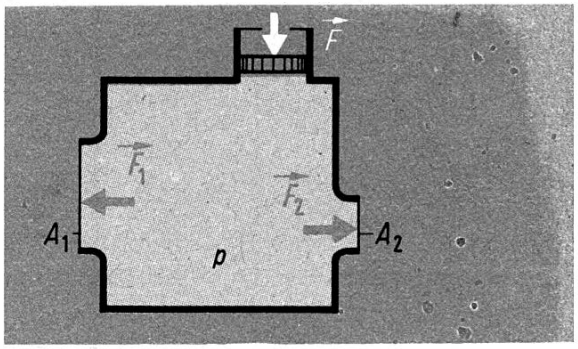


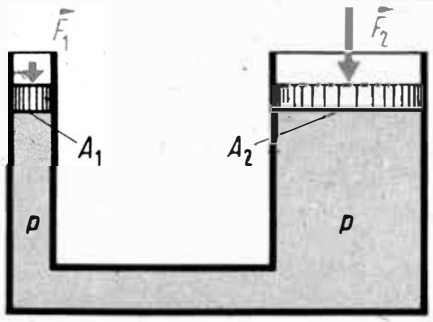
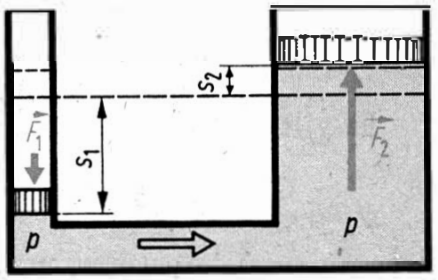
Bild 80/2

In einer abgeschlossenen Flüssigkeit verhalten sich die Druckkräfte F wie die Inhalte der dazugehörigen Flächen A.

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

Die allseitige und gleichmäßige Ausbreitung des Druckes wird in *hydraulischen Anlagen* ausgenutzt. Solche Anlagen sind kraftumformende Einrichtungen (↗ S. 75).

Gleichgewicht und Verrichten von Arbeit an einer hydraulischen Anlage (Prinzip)

Darstellung	Gleichgewicht	Verrichten von Arbeit
Zeichnerische Darstellung		
Mathematische Darstellung der Gesetzmäßigkeit	$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ $\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$	$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$ $\frac{F_1}{F_2} = \frac{s_2}{s_1}$
■ Hydraulische Presse, hydraulische Bremsanlagen		

Kolbendruck auf Gase

Gase lassen sich im Gegensatz zu Flüssigkeiten stark zusammendrükken. Wenn das Volumen verkleinert wird, nimmt der Druck zu.

↗ isotherme Zustandsänderung, S. 26

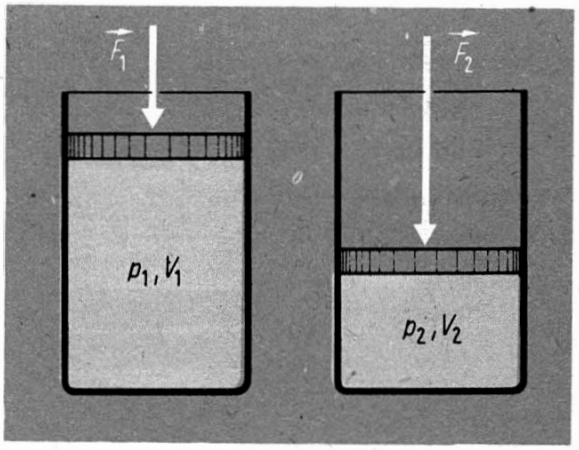


Bild 81/3
$F_1 < F_2$; $p_1 < p_2$; $V_1 > V_2$

Schweredruck p in Flüssigkeiten

Der Schweredruck p an einem bestimmten Ort in einer Flüssigkeit ist gleich dem Produkt aus der Dichte ϱ der Flüssigkeit, der Fallbeschleunigung g und der Höhe h der Flüssigkeitssäule über dem betreffenden Ort.	$p = \varrho \cdot h \cdot g$

Der Schweredruck entsteht dadurch, daß die weiter oben liegenden Schichten von Flüssigkeiten auf die darunterliegenden Schichten drücken.

3|6

Häufig benutzt man an Stelle des Produktes $\varrho \cdot g$ die Wichte γ. $p = \gamma \cdot h$

Die Wichte γ ist gleich dem Quotienten aus der Gewichtskraft G eines Körpers und dessen Volumen V.	$\gamma = \frac{G}{V}$

Es gilt mit $G = m \cdot g$ und $\varrho = \frac{m}{V}$

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \varrho \cdot g.$$

Der Schweredruck hängt nicht von der Form des Gefäßes ab.

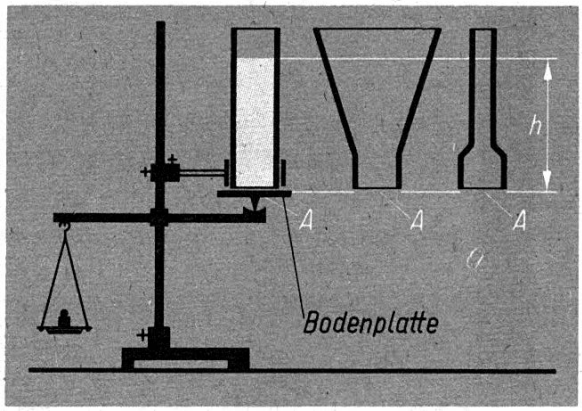


Bild 82/1

Der Schweredruck ist in der gleichen Tiefe nach allen Seiten gleich groß.

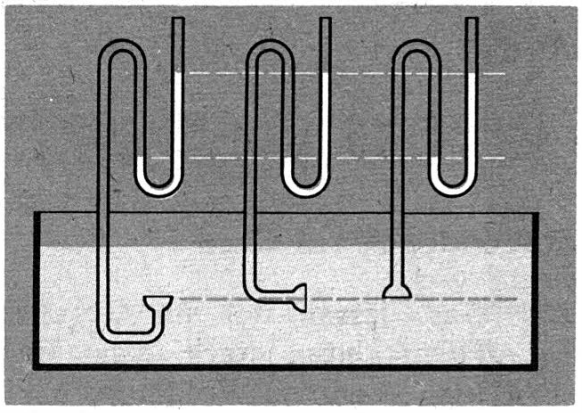


Bild 82/2

Berücksichtigung des Schweredruckes bei Staumauern, U-Booten, Tauchern

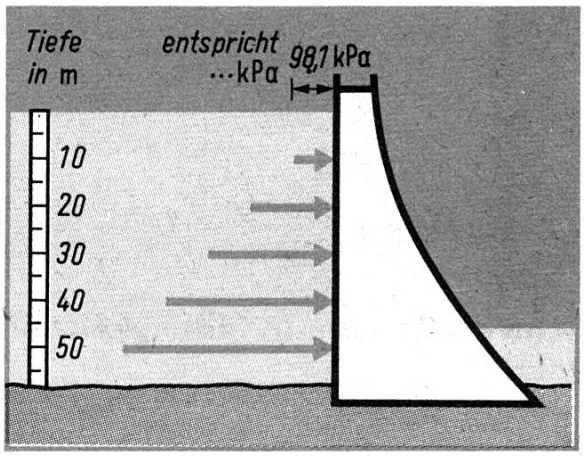


Bild 82/3

Verbundene Gefäße

In verbundenen Gefäßen liegen die Flüssigkeitsoberflächen in einer waagerechten Ebene. Dieses Verhalten einer Flüssigkeit beruht auf der Abhängigkeit des Schweredruckes von der Höhe. Nur bei gleichen Höhen herrscht im Verbindungsteil kein Druckunterschied, die Flüssigkeit ruht.

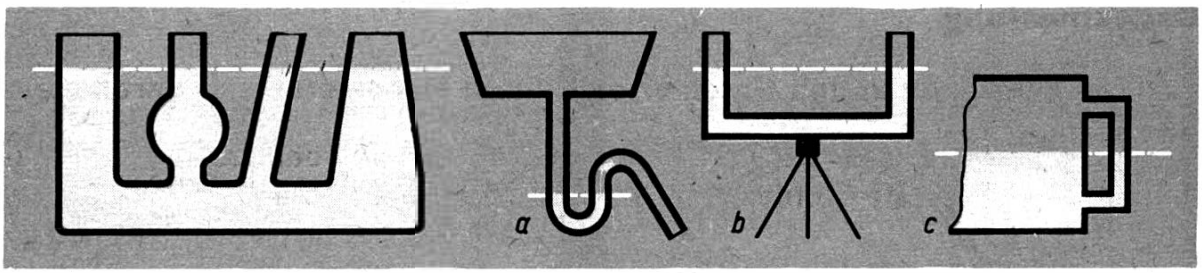


Bild 83/1 a) Geruchverschluß, b) Kanalwaage, c) Wasserstandsanzeiger

Hydrostatischer Druck

heißt die Summe aus Kolbendruck und Schweredruck.

Schweredruck in Gasen – Luftdruck

Die Erde ist von einer Lufthülle umgeben. Infolge der Gewichtskraft der Luft entsteht in der Lufthülle ein Schweredruck, der Luftdruck.
Einheiten sind

1 Pa (Pascal)

$$1\ \text{bar} = 10^5\ \text{Pa} = 10^5\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

750 Torr = 1 bar

Da Gase zusammendrückbar sind, ist die Gleichung für den Schweredruck in Flüssigkeiten (↗ S. 81) nicht anwendbar.

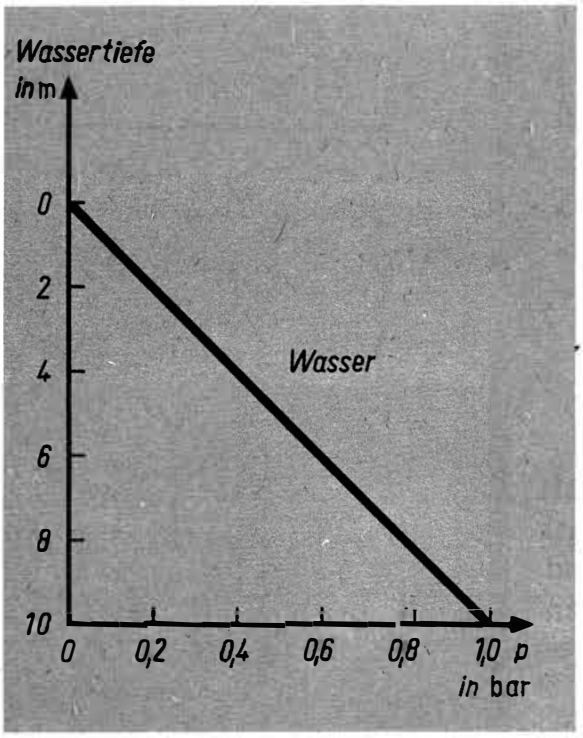


Bild 83/2 Schweredruck des Wassers in Abhängigkeit von der Höhe

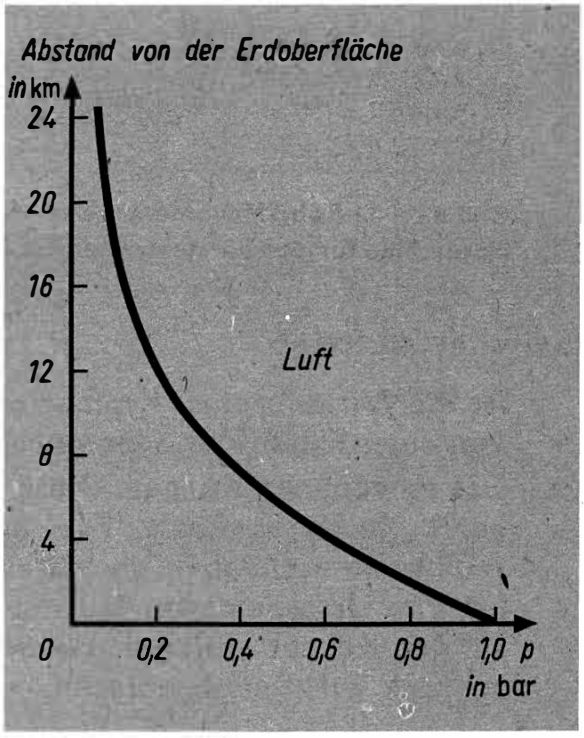


Bild 83/3 Schweredruck der Luft in Abhängigkeit von der Höhe

Druckmessung

in Flüssigkeiten und Gasen erfolgt durch Manometer und Barometer.

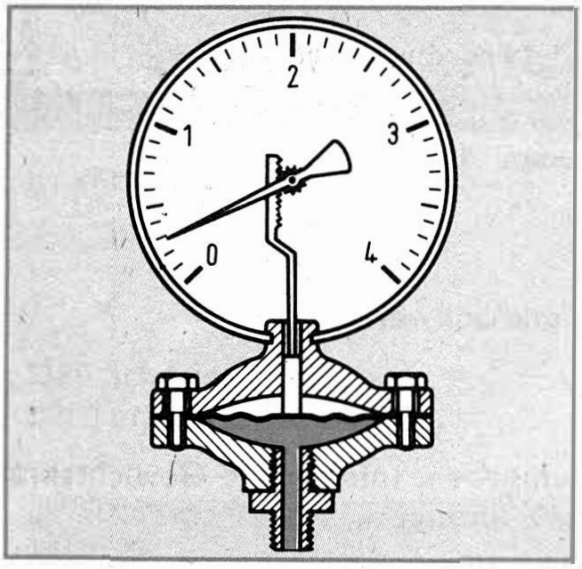


Bild 84/1 Membranmanometer

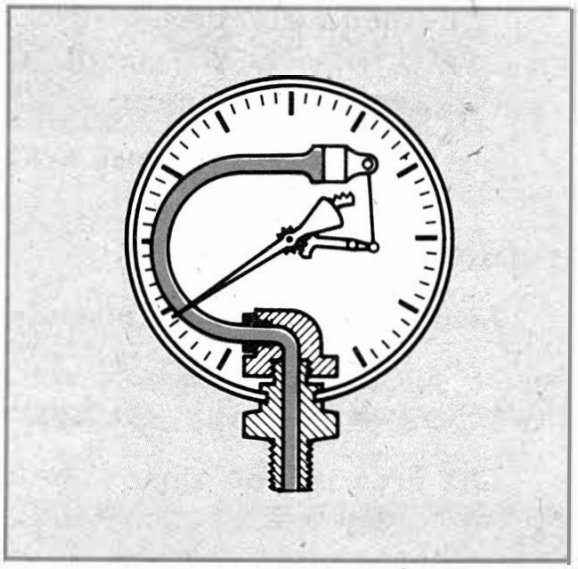


Bild 84/2 Röhrenfedermanometer

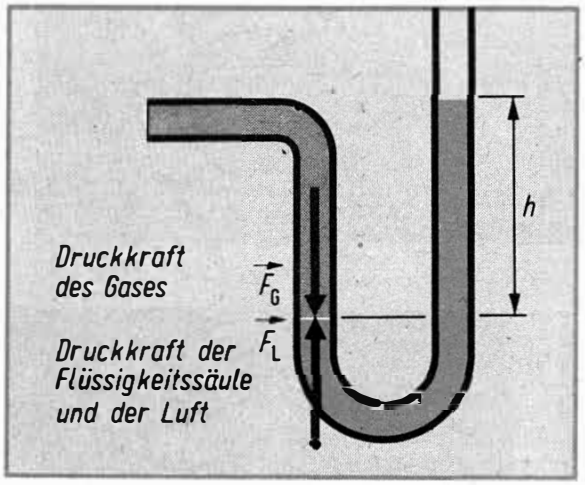


Bild 84/3 U-Rohr-Manometer: Die Höhe h ist ein Maß für den zu messenden Gasdruck

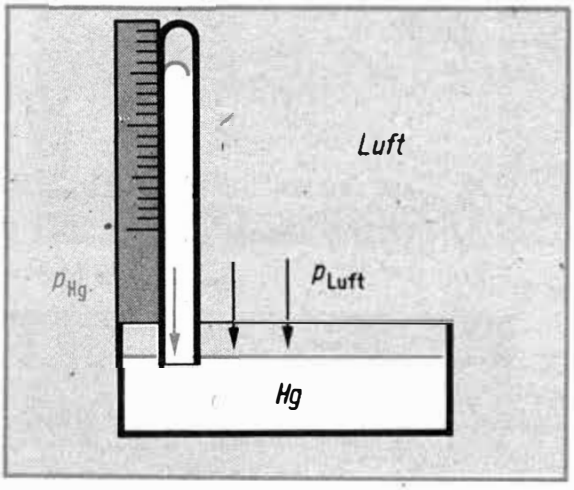


Bild 84/4 Quecksilberbarometer: $p_{Hg} = p_{Luft}$

Statischer Auftrieb

ist die Wirkung einer Kraft an einem von einer Flüssigkeit oder von einem Gas umgebenen Körper. Diese Kraft heißt **Auftriebskraft F_A**. Sie ist senkrecht nach oben gerichtet und hat ihre Ursache darin, daß von oben auf den Körper ein kleinerer Schweredruck wirkt als von unten.

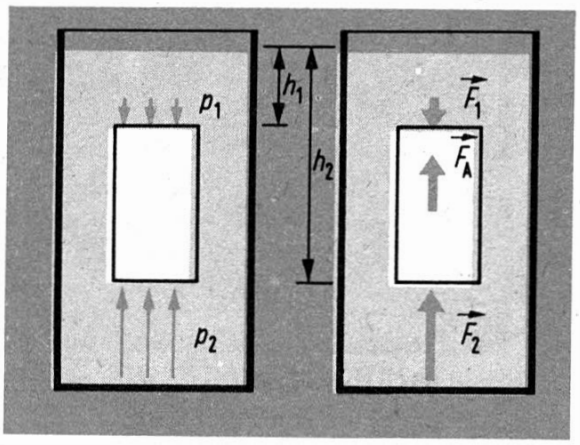


Bild 84/5 Aus $h_1 < h_2$ folgt $p_1 < p_2$, aus $p_1 < p_2$ folgt $F_1 < F_2$; $F_A = F_2 - F_1$

Archimedisches Gesetz

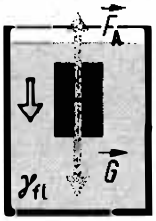
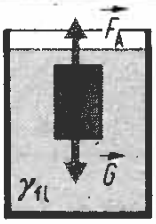
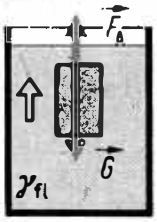
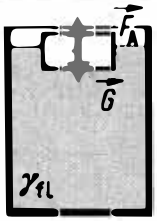
Die an einem in einer Flüssigkeit (bzw. in einem Gas) befindlichen Körper angreifende Auftriebskraft F_A ist gleich der Gewichtskraft G_{Fl} der verdrängten Flüssigkeit (bzw. des Gases).	$F_A = G_{Fl}$

Unter Benutzung der Dichte bzw. der Wichte nimmt die Gleichung nebenstehende Formen an.

$$F_A = V_K \cdot \gamma_{Fl}$$
$$F_A = V_K \cdot \varrho_{Fl} \cdot g$$

(V_K: Volumen des festen Körpers)

Sinken, Schweben, Steigen und Schwimmen

	Sinken	Schweben	Steigen	Schwimmen
Zeichnerische Darstellung				
Vergleich von Auftriebskraft F_A und Gewichtskraft G des festen Körpers	$F_A < G$	$F_A = G$	$F_A > G$	$F_A = G$
Gesamtkraft F (Kräftezusammensetzung von $\vec{F}_A$ und $\vec{G}$)	$F \neq 0$ nach unten gerichtet	$F = 0$	$F \neq 0$ nach oben gerichtet	$F = 0$
Vergleich der Wichte γ_{fest} des Körpers und der Wichte γ_{Fl} der Flüssigkeit	$\gamma_{Fl} < \gamma_{fest}$	$\gamma_{Fl} = \gamma_{fest}$	$\gamma_{Fl} > \gamma_{fest}$	$\gamma_{Fl} > \gamma_{fest}$
Vergleich des Volumens V_{fest} des Körpers und des Volumens V_{Fl} der verdrängten Flüssigkeit	$V_{Fl} = V_{fest}$	$V_{Fl} = V_{fest}$	$V_{Fl} = V_{fest}$	$V_{Fl} < V_{fest}$

Stromlinien

sind ein Modell zur Darstellung von Strömungen, die sich zeitlich nicht verändern. Die grafische Darstellung einer Strömung mittels Stromlinien heißt **Stromlinienbild**.

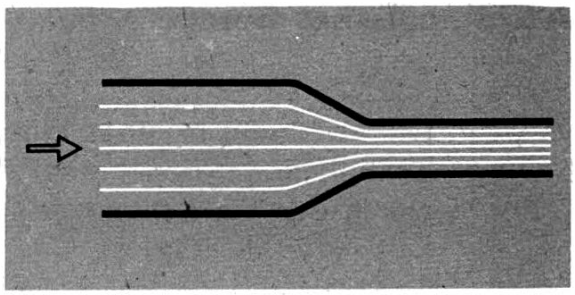


Bild 86/1 Stromlinienbild

Strömungsgeschwindigkeit *v*

ist die Geschwindigkeit der sich bewegenden Flüssigkeit oder des Gases.

Strömungsquerschnitt *A*

ist die Fläche, durch die die Strömung hindurchtritt.

Zusammenhang zwischen Strömungsquerschnitt und Strömungsgeschwindigkeit

Für Flüssigkeiten gilt:

Das Produkt aus Strömungsquerschnitt *A* und Strömungsgeschwindigkeit *v* ist bei einer gleichbleibenden Strömung konstant.	$A \cdot v = \text{konst.}$

Je kleiner der Strömungsquerschnitt ist, desto größer ist die Strömungsgeschwindigkeit. Dies wird im Stromlinienbild durch einen kleineren Abstand der Stromlinien dargestellt.

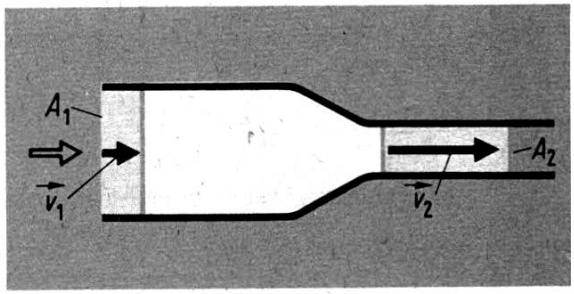


Bild 86/2

Statischer Druck p_s

ist der senkrecht zur Strömungsrichtung gemessene Druck. Er ist stets kleiner als der hydrostatische Druck (↗ S. 83).

Der statische Druck p_s ist um so kleiner, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist. Er wirkt allseitig und wird senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen.

In Rohrverengungen (Düsen) ist die Strömungsgeschwindigkeit groß und damit der statische Druck kleiner als der Druck in der Umgebung der Düse.

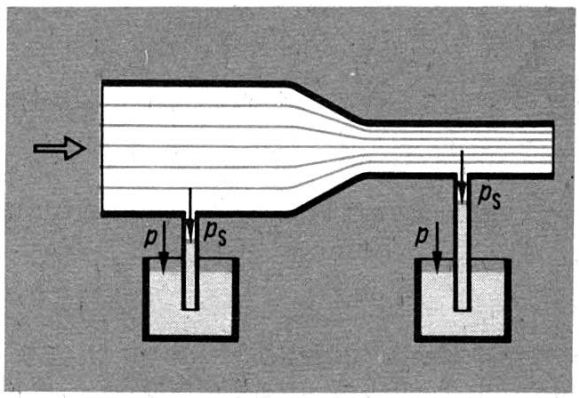


Bild 87/1

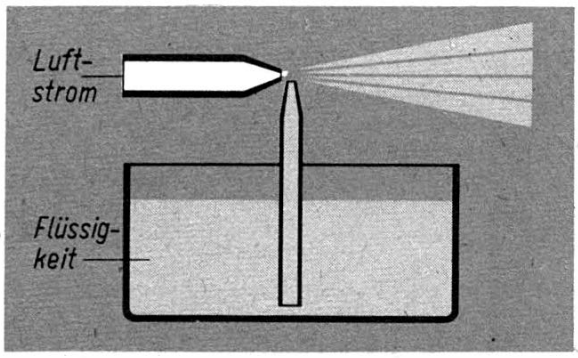


Bild 87/2 Zerstäuber

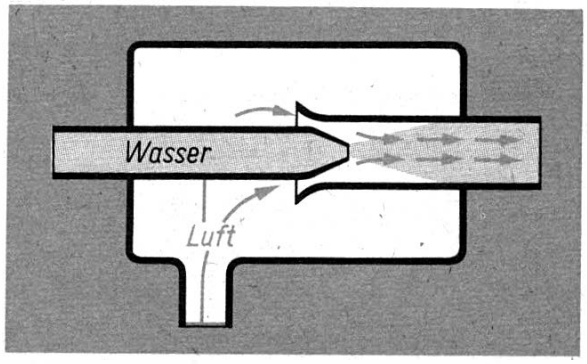


Bild 87/3 Wasserstrahlpumpe

Dynamischer Auftrieb

ist eine Folge unterschiedlicher statischer Drücke an einem Körper, dessen Flächen unterschiedlich schnell umströmt werden wie z. B. der Tragflügel eines Flugzeugs. An der Oberseite des Tragflügels ist der statische Druck p_{S_1} kleiner als der statische Druck p_{S_2} an der Unterseite.

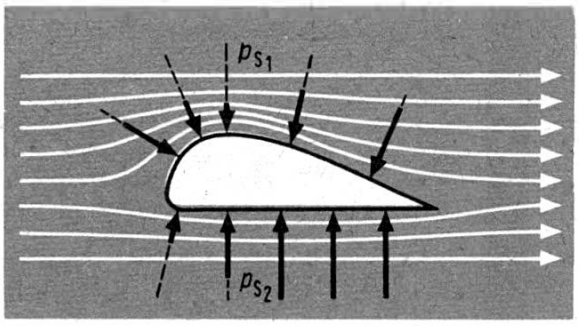


Bild 87/4 Statischer Druck an einem umströmten Tragflügelprofil

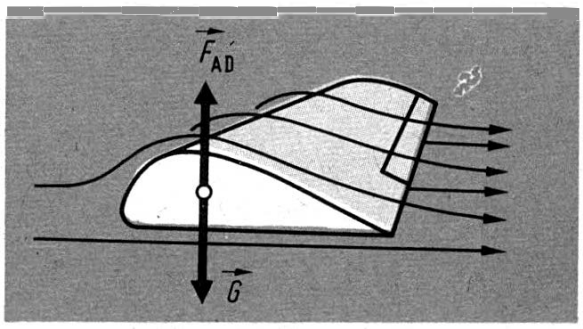
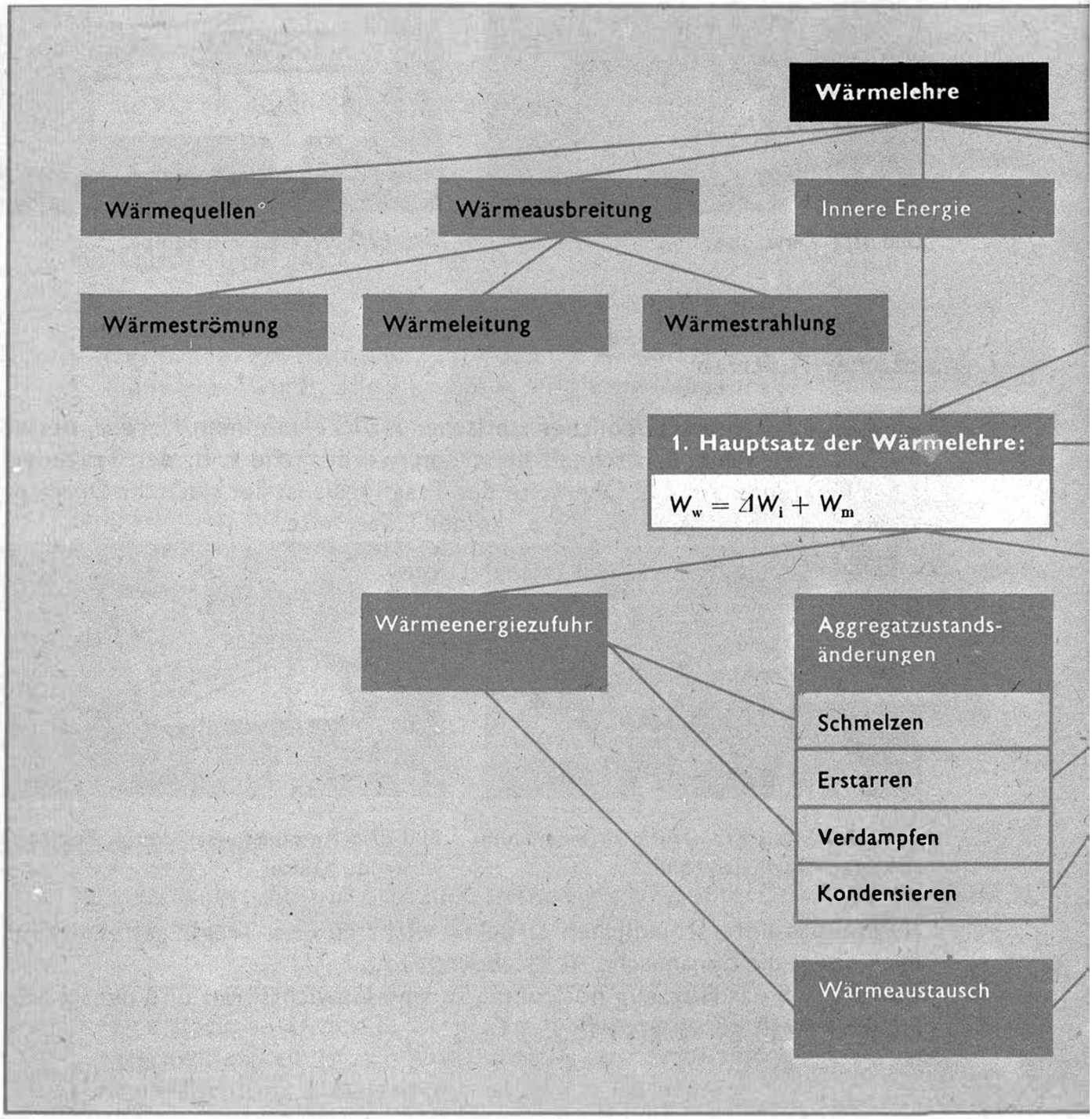


Bild 87/5 An einer umströmten Tragfläche wirkende Kräfte

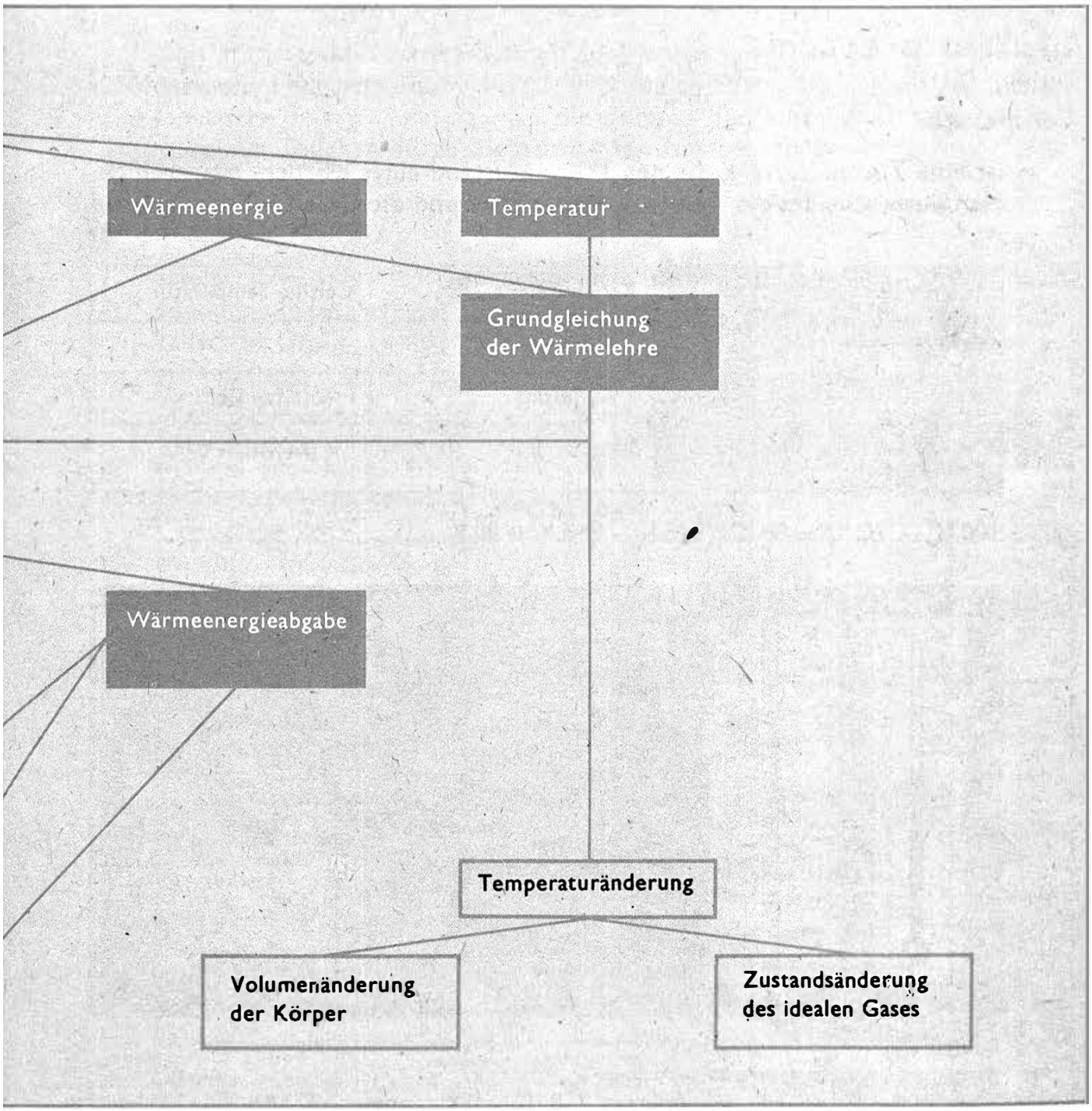
Infolge des unterschiedlichen Druckes wirkt an dem Tragflügel eine Kraft nach oben, die dynamische Auftriebskraft F_{AD}.
Bewegt sich das Flugzeug horizontal, so sind Gewichtskraft und dynamische Auftriebskraft gleich groß ($F_{AD} = G$).


Wärmelehre
Wärmequellen
Wärmeausbreitung
Innere Energie
Wärmeströmung
Wärmeleitung
Wärmestrahlung
1. Hauptsatz der Wärmelehre:
$W_w = \Delta W_i + W_m$
Wärmeenergiezufuhr
Aggregatzustands-änderungen
Schmelzen
Erstarren
Verdampfen
Kondensieren
Wärmeaustausch

Wärmelehre

4

Die Wärmelehre ist das Teilgebiet der Physik, in dem Zustandsänderungen von Körpern infolge Zufuhr oder Abgabe von Wärmeenergie und in dem Energieumwandlungen, bei denen Wärmeenergie beteiligt ist, beschrieben werden.



Wärmelehre	
Makrophysikalische Betrachtungsweise	Mikrophysikalische Betrachtungsweise
Es wird von den **äußeren Erscheinungen** ausgegangen, die an den Körpern direkt beobachtbar sind. Zur Beschreibung dienen die physikalischen Größen Temperatur, Wärmemenge	Es wird von den **Bewegungen der Teilchen ausgegangen**, aus denen ein Körper aufgebaut ist. Zur Beschreibung dienen die physikalischen Größen Geschwindigkeit (Mittelwert), Bewegungsenergie (Mittelwert)

4.1. Wärmeenergie

Temperatur

ist eine Zustandsgröße, die den Wärmezustand eines Körpers beschreibt.
Man unterscheidet die **Kelvin-Temperatur** und die **Celsius-Temperatur**.

Temperatur	Kelvin-Temperatur	Celsius-Temperatur
Formelzeichen	T	ϑ, t
Einheit	1 K (Kelvin)	1 °C (Grad Celsius)
Einheit für Temperaturdifferenzen	1 K (Kelvin)	1 K (Kelvin)

■ 100 °C − 20 °C = 80 K 373 K − 293 K = 80 K

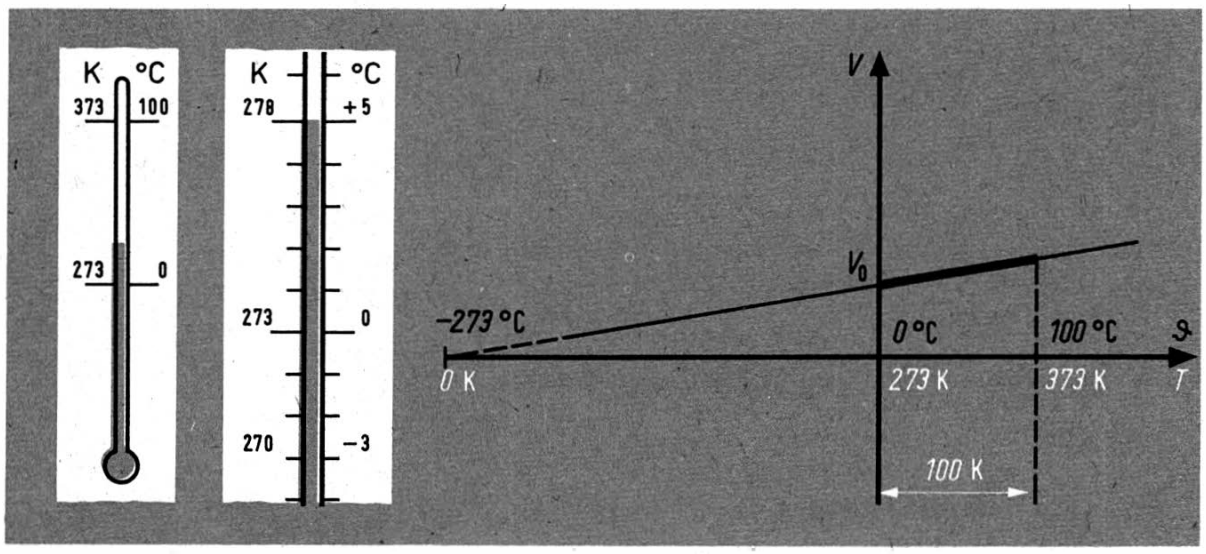


Bild 90/1

Die tiefste Temperatur beträgt − 273 °C = 0 K (genau − 273,15 °C).

Zwischen der Kelvin-Temperatur T und der Celsius-Temperatur ϑ besteht folgende Beziehung:

$$\frac{\vartheta}{°C} = \frac{T}{K} - \frac{T_0}{K}$$

$$T_0 = 273\ K$$

0 °C = 273 K	0 K = −273 °C
100 °C = 373 K	100 K = −173 °C
−20 °C = 253 K	393 K = 120 °C

Die Temperatur eines Körpers kennzeichnet die mittlere kinetische Energie seiner Teilchen.

Von *mittlerer* kinetischer Energie muß gesprochen werden, weil die Teilchen eines Körpers unterschiedliche Energien haben. Man erhält die mittlere kinetische Energie, indem man die Summe der kinetischen Energien der einzelnen Teilchen durch die Anzahl der Teilchen dividiert.

Temperaturmessung

erfolgt mit Hilfe von Thermometern. Dabei werden Verfahren benutzt, denen ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Änderung der physikalischen Größe Temperatur und einer anderen physikalischen Größe zugrunde liegt.

Meßbereiche von Temperaturmeßverfahren		0 °C	1000 °C	2000 °C
Flüssigkeitsthermometer mit Quecksilber	−30 °C bis 280 °C			
Flüssigkeitsthermometer m Quecksilber u. Gasfüllung	−30 °C bis 750 °C			
Flüssigkeitsthermometer mit Alkohol	−110 °C bis 50 °C			
Thermocolore	150 °C bis 600 °C			
Segerkegel	220 °C bis 2000 °C			
Metallausdehnungs-thermometer	−20 °C bis 500 °C			
elektrische Widerstands-thermometer	−250 °C bis 1000 °C			
Glühfarben	500 °C bis 3000 °C			
Gasthermometer	−272 °C bis 2800 °C			

Wärmemenge W_w

ist die einem Körper zugeführte oder von ihm abgegebene Wärmeenergie. Einheiten sind alle Einheiten der Energie (↗ S. 78).
Die gebräuchlichste Einheit ist 1 J (Joule).
1 J = 0,2388 cal

Grundgleichung der Wärmelehre

▶ Die einem Körper zugeführte oder von ihm abgegebene Wärmemenge W_w ist gleich dem Produkt aus der spezifischen Wärme c des Stoffes, aus dem der Körper besteht, seiner Masse m und der Temperaturänderung $\Delta\vartheta$, die er erfährt.

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

$W_w \sim \Delta\vartheta$, wenn m = konst.
$W_w \sim m$, wenn $\Delta\vartheta$ = konst.

Faßt man diese beiden Aussagen zu einer Gleichung durch Einführen eines Proportionalitätsfaktors c zusammen, so ergibt sich die Grundgleichung der Wärmelehre.

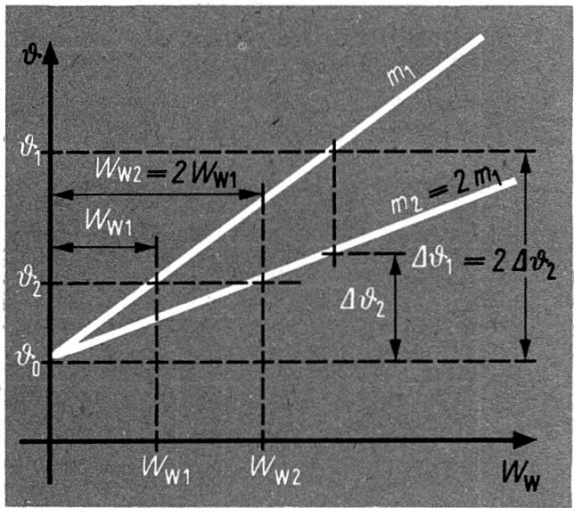


Bild 92/1

Spezifische Wärme c

ist die Bezeichnung des Proportionalitätsfaktors c in der Grundgleichung der Wärmelehre. Die spezifische Wärme c ist eine physikalische Größe, für die sich aus der Grundgleichung ergibt:

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

Einheiten sind $1 \frac{J}{g \cdot K}$ und $1 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Die spezifische Wärme ist vom Stoff und von der Temperatur abhängig.

Durch eine Wärmemenge von 1 kJ werden um 1 K erwärmt:

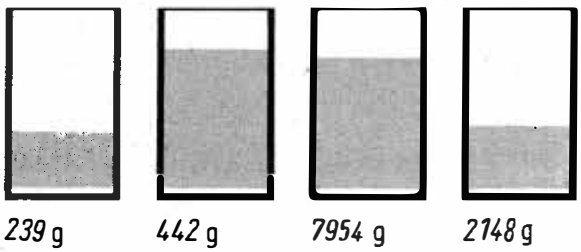


Bild 92/2

Die spezifische Wärme des Wassers ist besonders groß. Aus diesem Grunde unterscheiden sich z. B. See- und Kontinentalklima sehr voneinander. Wasser nimmt aus der Umgebung eine viel größere Wärmemenge als das Festland auf, wenn es sich auf die gleiche Temperatur erwärmt. Es gibt beim Abkühlen auch eine größere Wärmemenge an die Umgebung ab (kühlere Sommer, aber mildere Winter an der See). Wasser ist wegen seiner großen spezifischen Wärme auch besonders für Heizanlagen geeignet.
(↗ Wärmeströmung, S. 94)

Innere Energie W_i

eines Körpers ist die Summe aller Energien, die die Teilchen eines Körpers besitzen. Sie ist, wie die Temperatur, eine Zustandsgröße (↗ S. 13, 95).

Wärmezufuhr		Wärmeabgabe	
Makrophysikalische Betrachtungsweise	Mikrophysikalische Betrachtungsweise	Makrophysikalische Betrachtungsweise	Mikrophysikalische Betrachtungsweise
Körper nimmt Wärmemenge auf ↓ Innere Energie des Körpers wächst ↓ Temperatur des Körpers steigt	Teilchen nehmen Energie auf ↓ Gesamtenergie der Teilchen nimmt zu ↓ Mittlere kinetische Energie der Teilchen nimmt zu	Körper gibt Wärmemenge ab ↓ Innere Energie des Körpers nimmt ab ↓ Temperatur des Körpers sinkt	Teilchen geben Energie ab ↓ Gesamtenergie der Teilchen nimmt ab ↓ Mittlere kinetische Energie der Teilchen nimmt ab

Wärmeaustausch

▶ Der Wärmeaustausch erfolgt von selbst stets vom Körper höherer Temperatur zum Körper niederer Temperatur, bis beide Körper die gleiche Temperatur erreichen.

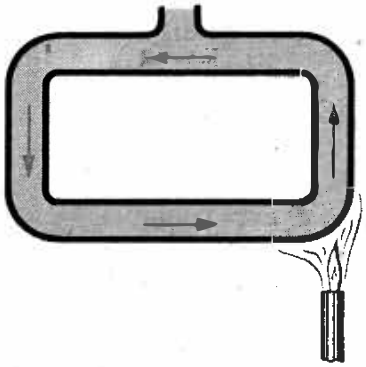
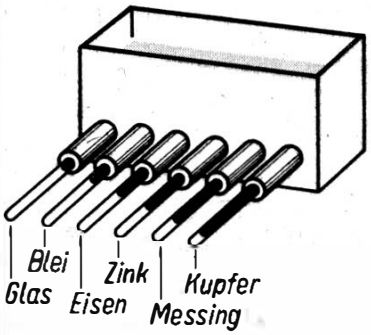
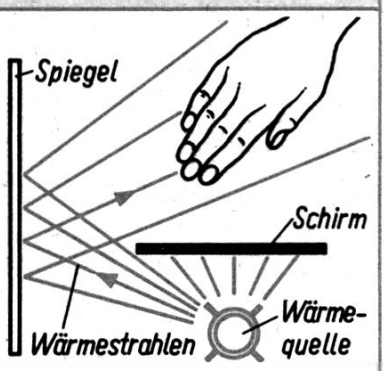
Es gilt das **Gesetz des Wärmeaustausches**:

▶ Die vom kalten Körper aufgenommene Wärmemenge W_{w_1} ist gleich der vom warmen Körper abgegebenen Wärmemenge W_{w_2}.

$$W_{w_1} = W_{w_2}$$

Wärmeausbreitung

Wärmeausbreitung

Wärmeströmung	Wärmeleitung	Wärmestrahlung
		
Wärmeströmung entsteht, indem stoffliche Teilchen ihre Lage verändern und dabei Wärme mit sich fortführen	Körper bleibt in Ruhe. Seine schneller bewegten Teilchen übertragen durch Stoß Energie an benachbarte Teilchen	Kein direkter Kontakt zwischen wärmerem und kälterem Körper. Warmer Körper sendet elektromagnetische Wellen (↗ S. 201) aus, die sich wie Licht ausbreiten (↗ Lichtausbreitung, S. 154)
■ Erwärmung von Wohnräumen, Zentralheizung, Winde und Meeresströmungen	Gute Leiter: Metalle, schlechte Leiter: Glas (Wärmedämmung), Gase ■ Kühlrippen an Motoren, Isolierstoffe, Kleidung	■ Sonnendach, Ofenschirm, Sonnenstrahlung, Abkühlung der Erde in wolkenlosen Nächten, Infrarotstrahler

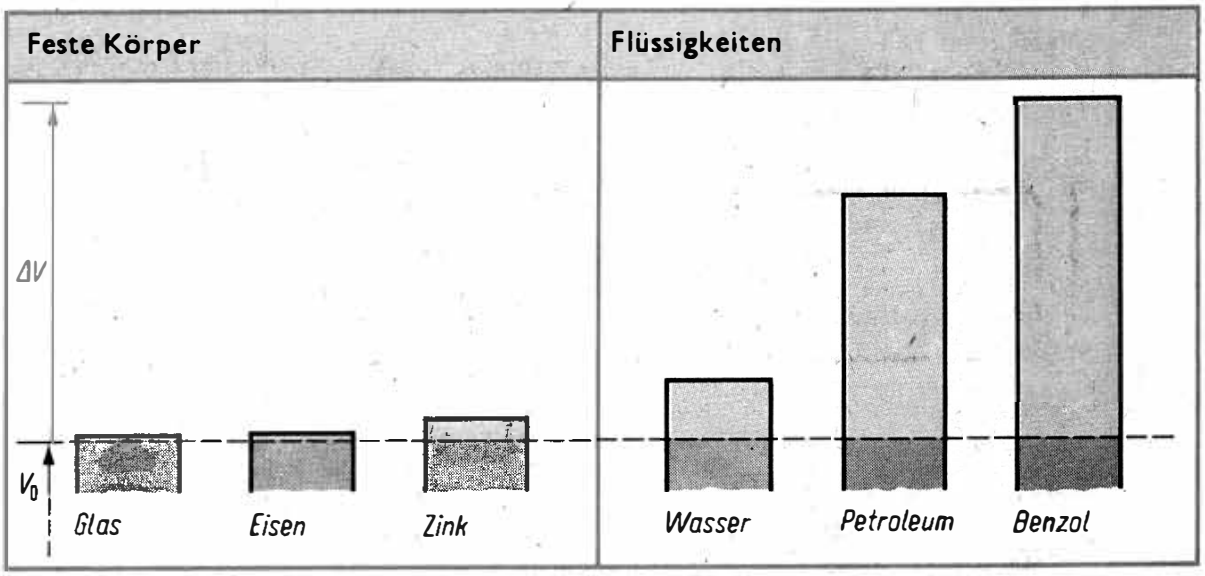
4.2. Zusammenhang von Temperatur, Volumen und Druck

Volumenänderung fester und flüssiger Körper

Bei einer Temperaturänderung ändert sich das Volumen eines Körpers.

Feste Körper	Flüssigkeiten
dehnen sich im allgemeinen bei Wärmezufuhr aus. Für viele praktische Fälle genügt es, die Ausdehnung in einer Richtung (lineare Ausdehnung) zu betrachten ■ Rohre, elektrische Freileitungen, Schienen, Brücken	dehnen sich im allgemeinen bei Wärmezufuhr aus. Es muß die Ausdehnung in allen Richtungen (kubische Ausdehnung) betrachtet werden ■ Flüssigkeitsthermometer, Flüssigkeitsbehälter

Vergleich der Ausdehnung einiger fester und flüssiger Stoffe beim Erwärmen um die gleiche Temperaturdifferenz



Anomalie des Wassers

wird folgender Vorgang genannt; Wasser dehnt sich im Temperaturbereich von 4° C bis 0° C beim Abkühlen aus.

■ Zufrieren stehender Gewässer von oben her

Zustandsgrößen eines Gases

sind physikalische Größen, die zur Beschreibung des Zustandes eines gasförmigen Körpers geeignet sind. Sie sind unabhängig davon, *wie* der betreffende Zustand des gasförmigen Körpers entstanden ist. **Zustandsgrößen** sind **Temperatur** T, **Druck** p und **Volumen** V. Ändert sich eine dieser Größen, so ändert sich mindestens eine der beiden anderen Zustandsgrößen.

Zustandsgleichung für das ideale Gas

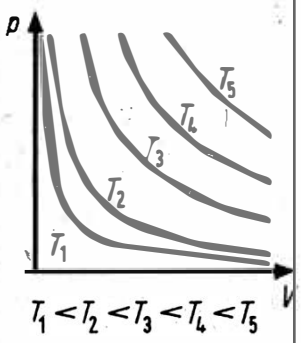
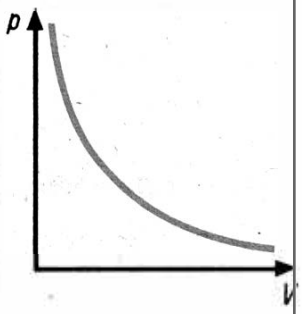
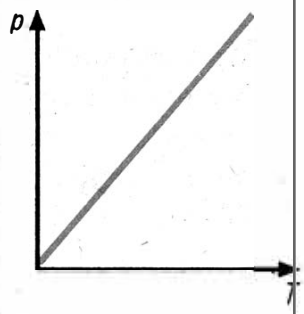
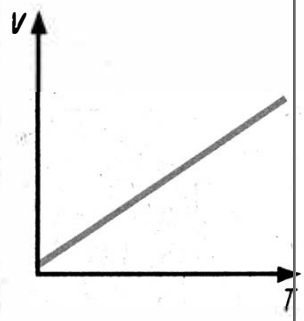
▶

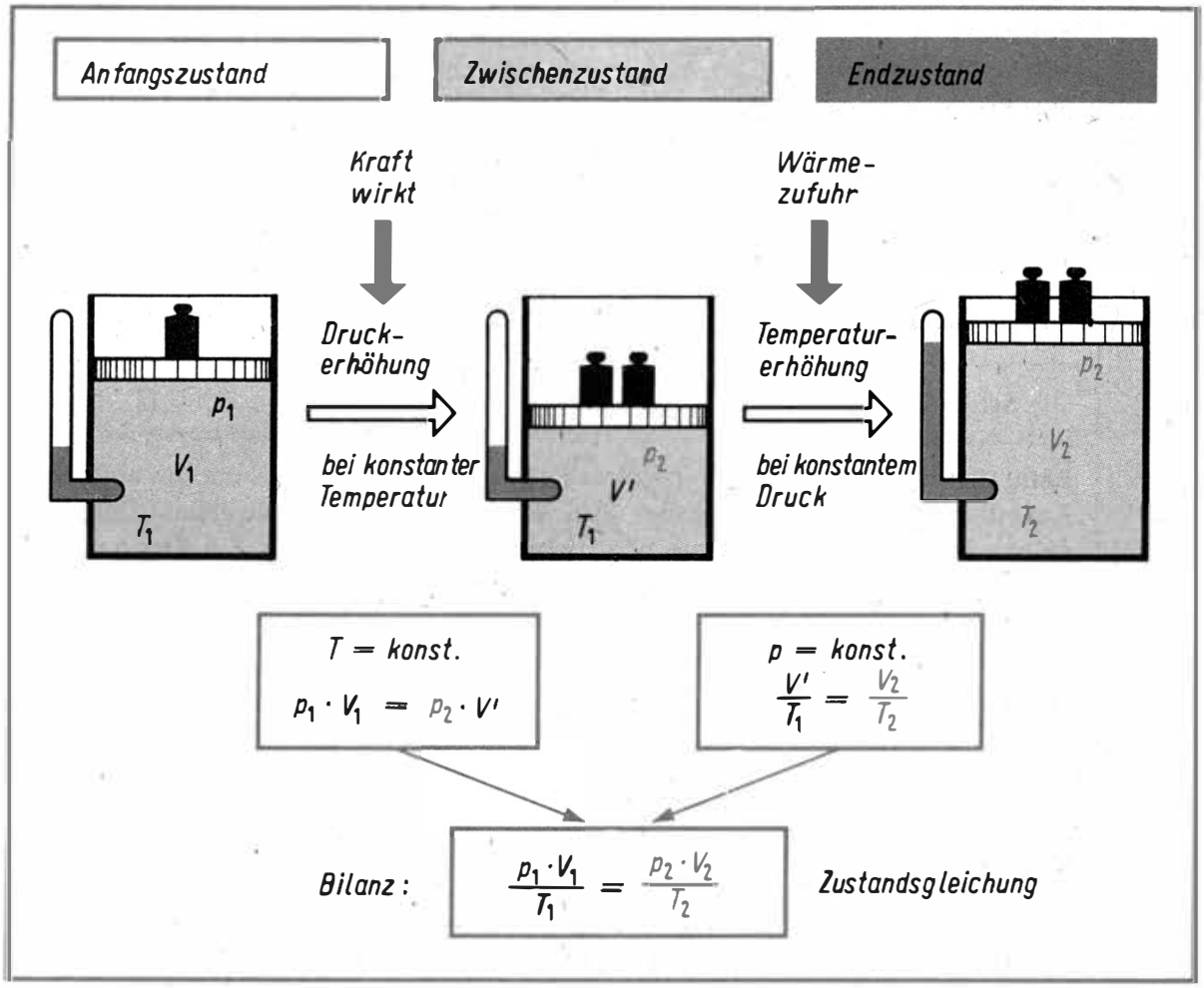
Für eine abgeschlossene Gasmenge ist der Quotient aus dem Produkt von Druck p und Volumen V und der absoluten Temperatur T konstant.	$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$

Das ideale Gas ist ein *Modell* (↗ S. 33). Hierbei werden folgende Annahmen gemacht:

- Die Teilchen des Gases nehmen kein Volumen ein.
- Zwischen den Teilchen wirken außer bei Zusammenstößen keine Kräfte.

Mit Hilfe dieses Modells können die Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen eines Gases einfach beschrieben werden.

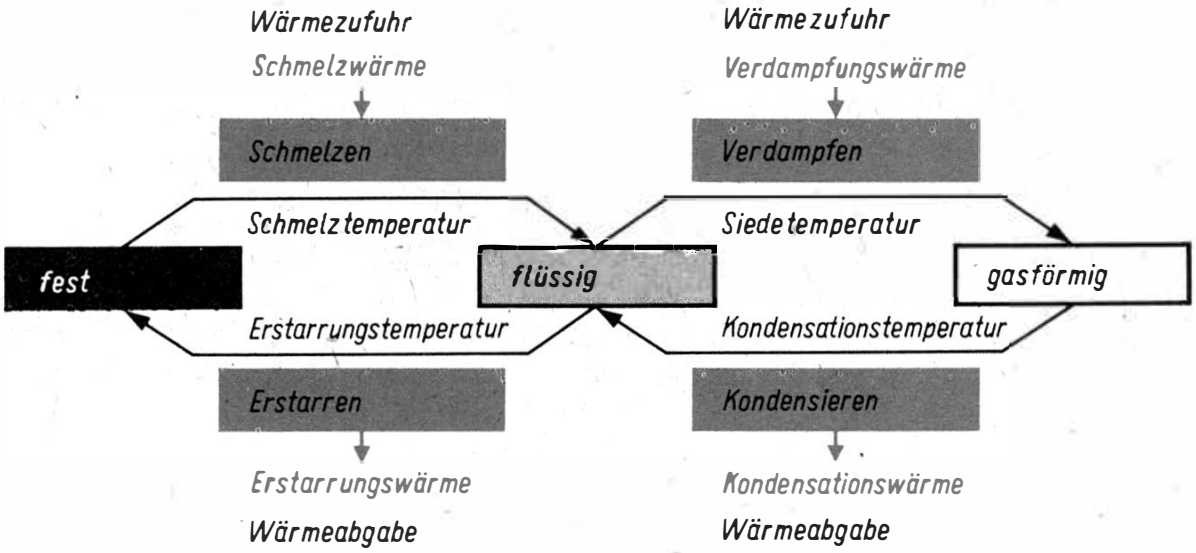
Fall		Bedingung	Gleichung	Grafische Darstellung
Allgemeiner Fall			$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$ $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$	
Sonderfälle der Zustandsgleichung	Isotherme Zustandsänderung	$T = \text{konst.}$	$p \cdot V = \text{konst.}$ $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$ Bei einer isothermen Zustandsänderung ist das Produkt aus Druck p und Volumen V konstant	
	Isochore Zustandsänderung	$V = \text{konst.}$	$\frac{p}{T} = \text{konst.}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$; $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ Bei einer isochoren Zustandsänderung ist der Quotient aus Druck p und Temperatur T konstant	
	Isobare Zustandsänderung	$p = \text{konst.}$	$\frac{V}{T} = \text{konst.}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$; $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ Bei einer isobaren Zustandsänderung ist der Quotient aus Volumen V und Temperatur T konstant	



4.3. Energieumwandlungen

Änderungen des Aggregatzustandes

eines Körpers laufen unter Zufuhr oder Abgabe von Wärmeenergie ab. Während der Aggregatzustandsänderung ändert sich die Temperatur des Körpers nicht.



Schmelzen	Erstarren
Für Stoffe mit einheitlicher chemischer Zusammensetzung gilt: Führt man einem festen Körper Wärme zu, so schmilzt er bei einer bestimmten Temperatur. Diese Temperatur heißt **Schmelztemperatur** ϑ_s. Sie ist vom Druck abhängig	Für Stoffe mit einheitlicher chemischer Zusammensetzung gilt: Entzieht man einem flüssigen Körper Wärme, so erstarrt er bei einer bestimmten Temperatur. Diese Temperatur heißt **Erstarrungstemperatur** ϑ_e. Sie ist vom Druck abhängig
Die Schmelztemperatur ist gleich der Erstarrungstemperatur. $\vartheta_s = \vartheta_e$	
Beim Schmelzen wird die regelmäßige Anordnung der Teilchen zerstört. Die dazu notwendige Energie ist die **Schmelzwärme** W_s	Beim Erstarren entsteht eine regelmäßige Anordnung der Teilchen. Dabei wird Energie frei. Dies ist die **Erstarrungswärme** W_e
Die beim Schmelzen eines Körpers zugeführte Wärmemenge wird beim Erstarren wieder frei. $W_s = W_e$	

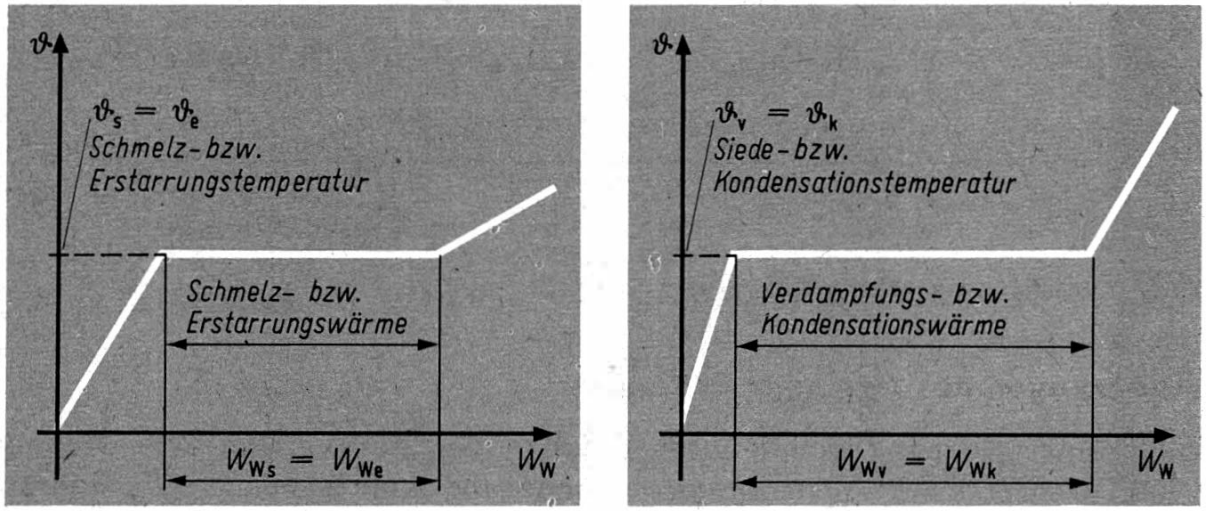


Bild 98/1

Verdampfen	Kondensieren
Für Stoffe mit einheitlicher chemischer Zusammensetzung gilt: Führt man einem flüssigen Körper Wärme zu, so verdampft er in allen seinen Teilen bei einer bestimmten Temperatur. Diese Temperatur heißt **Siedetemperatur** ϑ_v. Sie ist vom Druck abhängig	Für Stoffe mit einheitlicher chemischer Zusammensetzung gilt: Entzieht man einem gasförmigen Körper Wärme, so geht er bei einer bestimmten Temperatur in den flüssigen Zustand über. Diese Temperatur heißt **Kondensationstemperatur** ϑ_k. Sie ist vom Druck abhängig
Die Siedetemperatur ist gleich der Kondensationstemperatur. $\vartheta_v = \vartheta_k$	

Verdampfen	Kondensieren
Beim Verdampfen verlassen Teilchen eine Flüssigkeit und werden im zur Verfügung stehenden Raum frei beweglich. Die dazu benötigte Energie ist die **Verdampfungswärme** W_v.	Beim Kondensieren entsteht aus frei beweglichen Teilchen ein Verband leicht gegeneinander verschiebbarer Teilchen. Dabei wird Energie frei. Dies ist die **Kondensationswärme** W_k
Die beim Verdampfen eines Körpers zugeführte Wärmemenge wird beim Kondensieren wieder frei. $W_v = W_k$	

Beim Verdampfen wird folgende Unterscheidung vorgenommen:

Verdampfen

Sieden	Verdunsten
Übergang in den gasförmigen Zustand in allen Teilen der Flüssigkeit **bei** der Siedetemperatur ■ Dampfkessel, Destillation	Übergang in den gasförmigen Zustand an der Oberfläche der Flüssigkeit **unterhalb** der Siedetemperatur ■ Austrocknen von Gewässern, Trocknen von Wäsche

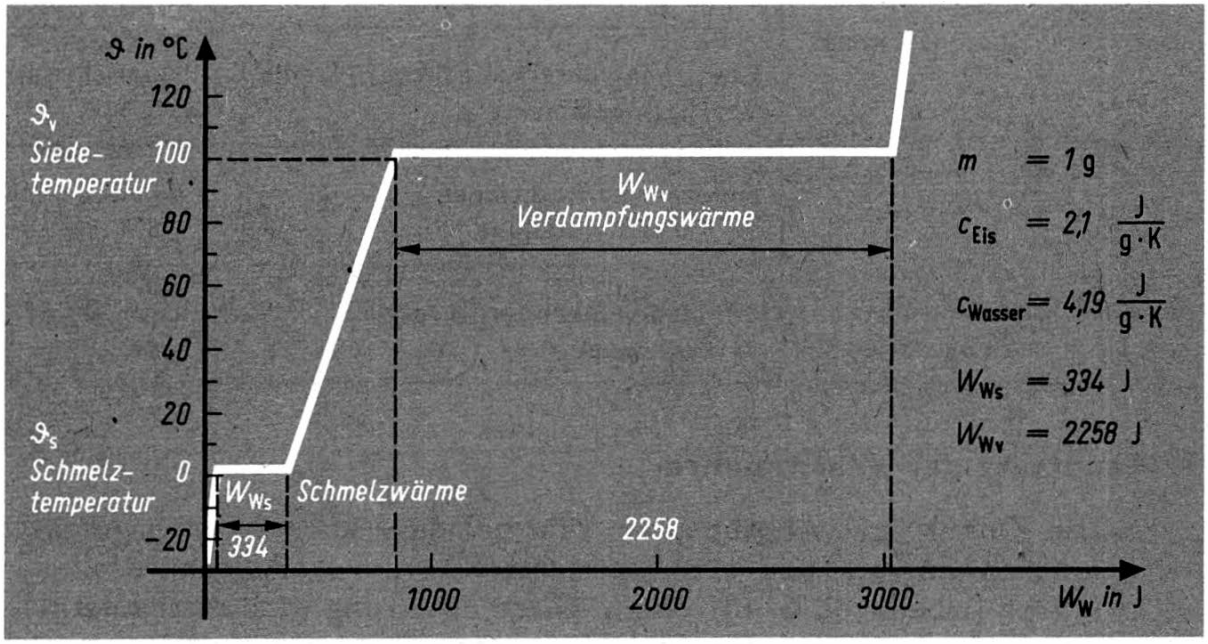


Bild 99/1 Temperatur-Wärmemenge-Diagramm des Wassers

Energieumwandlungen

Die Wärme ist eine Energieart. Sie entsteht durch Umwandlung aus anderen Energiearten und kann in andere Energiearten umgewandelt werden.

Energieumwandlungen

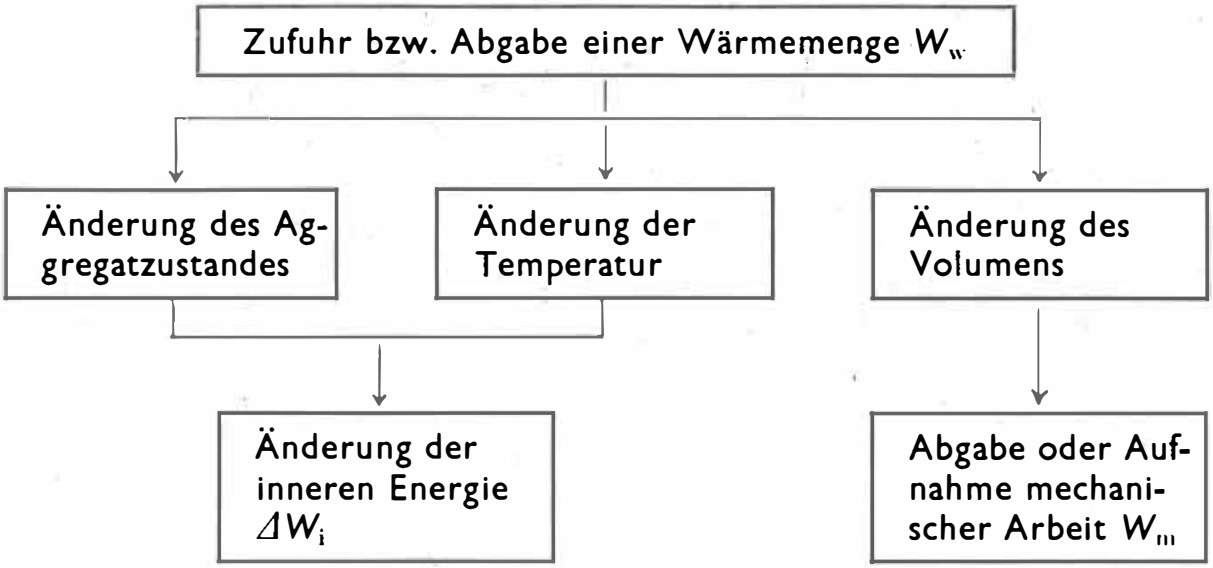
Energieart vor der Umwandlung	Vorgang der Umwandlung	Energieart nach der Umwandlung
Mechanische Energie	Reibung, Kompression von Gasen ■ Dieselmotor	WÄRME
Elektrische Energie	Strom durch einen Leiter ■ Tauchsieder	
Chemische Energie	Exotherme Reaktionen ■ Verbrennung	
Lichtenergie	Strahlungsabsorption ■ Sonnenbrille, Laserstrahl	
Atomkern-energie	Kernspaltung und -fusion ■ Reaktor	
WÄRME	Expansion von Gasen und Dämpfen ■ Wärmekraftmaschinen	Mechanische Energie (↗ S. 77)
	Erwärmung unterschiedlicher Metalle ■ Thermoelemente	Elektrische Energie (↗ S. 117)
	Endotherme Reaktionen ■ Karbidherstellung	Chemische Energie (↗ S. 118)
	Strahlung glühender Körper ■ Glühlampe	Lichtenergie (↗ S. 118)

1. Hauptsatz der Wärmelehre

Die Zufuhr bzw. Abgabe einer Wärmemenge kann zu einer Änderung der inneren Energie und zum Verrichten bzw. zur Aufnahme einer Arbeit führen (Übersicht, S. 101 oben). Diese Erfahrung wird mathematisch ausgedrückt im **1. Hauptsatz der Wärmelehre**

▶

Die einem Körper zugeführte Wärmemenge W_w ist gleich der Summe aus Änderung der inneren Energie ΔW_i und abgegebener mechanischer Arbeit W_m.	$W_w = \Delta W_i + W_m$



W_w positives Vorzeichen bedeutet zugeführte Wärmemenge,
ΔW_i positives Vorzeichen bedeutet Zunahme der inneren Energie,
W_m positives Vorzeichen bedeutet abgegebene mechanische Arbeit.

Man kann einige Sonderfälle des ersten Hauptsatzes unterscheiden, die in der Praxis jedoch nur angenähert verwirklicht werden können.

Bedingung	Sonderfall des 1. Hauptsatzes	Beispiel für den betreffenden Vorgang
V = konst., daraus folgt $W_m = 0$	$W_w = \Delta W_i$	■ Ein Gas wird in einem Behälter erwärmt. Temperatur und Druck steigen an
$W_w = 0$	$-W_m = \Delta W_i$	■ Pneumatisches Feuerzeug, Kompressionstakt beim Dieselmotor. Die zugeführte mechanische Arbeit führt zu einer Temperaturerhöhung
$\Delta W_i = 0$, daraus folgt W_i = konst.	$W_w = W_m$	■ Bei konstanter Temperatur wird die einem Körper zugeführte Wärmemenge in mechanische Arbeit umgewandelt

Satz von der Erhaltung der Energie

▶ Bei allen Vorgängen bleibt die Summe aller Energien W_{ges} konstant. Energie entsteht nicht und verschwindet nicht.

W_{ges} = konst.

Allgemeiner Satz	Energieerhaltungssatz W_{ges} = konst.	
Sonderfälle	Energieerhaltungssatz der Mechanik $W_{pot} + W_{kin}$ = konst.	1. Hauptsatz der Wärmelehre $W_w = \Delta W_i + W_m$
Bedingung	Außer mechanischer Energie ist keine andere Energieart an der Umwandlung beteiligt	Außer Wärmeenergie und mechanischer Energie ist keine andere Energieart an der Umwandlung beteiligt
Beispiel	■ Fadenpendel (ohne Reibung)	■ Dampfkraftmaschinen

Der Energieerhaltungssatz lehrt, daß es nicht möglich ist, eine Maschine (Perpetuum mobile) zu konstruieren, aus der man mehr Energie entnehmen kann, als man ihr zuführt. Energie kann weder aus nichts entstehen, noch in nichts vergehen.

Wärmekraftmaschinen

dienen der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit.

Wärmekraftmaschinen

Dampfkraftmaschinen		Verbrennungskraftmaschinen		
Die Energie von Wasserdampf hoher Temperatur (bis 500 °C) und hohen Druckes (bis 100 at) wird zum Verrichten von Arbeit ausgenutzt. Der Dampf wird *außerhalb* der Maschine erzeugt		Die bei der Verbrennung von Kraftstoff (Benzin, Gas) aus chemischer Energie umgewandelte Wärmeenergie wird zum Verrichten von Arbeit genutzt. Die Verbrennung erfolgt *innerhalb* der Maschine		
Kolbendampfmaschinen	Dampfturbinen	Kolbenverbrennungsmaschinen		Gasturbinen
Der Dampf strömt in einen Arbeitszylinder und bewegt einen Kolben. Die Hin- und Herbewegung wird in eine Drehbewegung umgewandelt	Durch Düsensätze wird Dampf auf hohe Geschwindigkeit gebracht. Laufräder werden durch den auftreffenden Dampf in Drehbewegung versetzt	Ottomotoren (↗ S. 104)	Dieselmotoren (↗ S. 103)	Kompressor: Ansaugen und Verdichten der Luft Brennkammer: Treibstoff wird in komprimierte und dadurch erhitzte Luft eingespritzt. Nach einmaliger Zündung dauernde Verbrennung Turbine: Wirkungsweise wie Dampfturbine

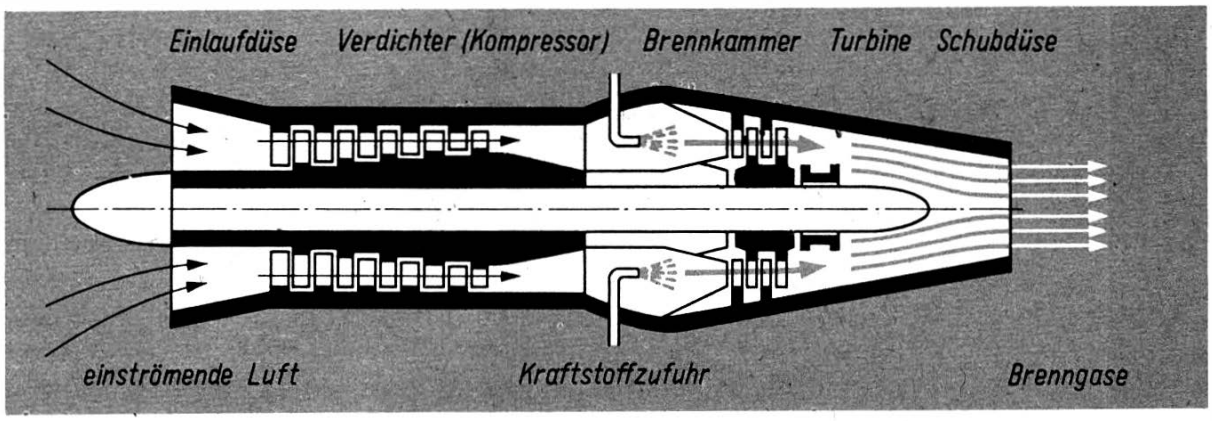
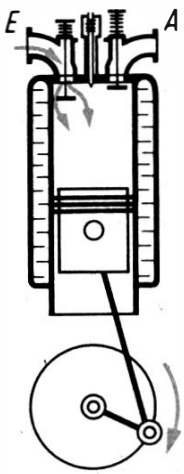
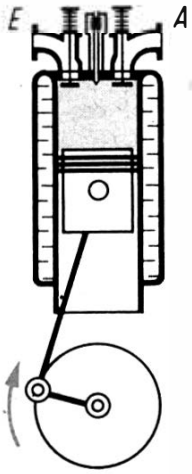
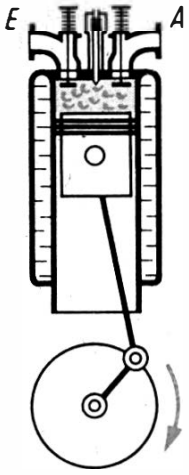
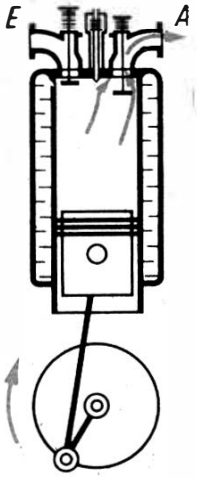


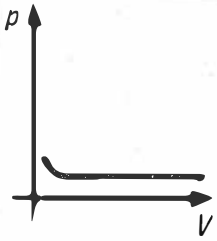
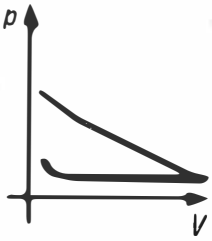
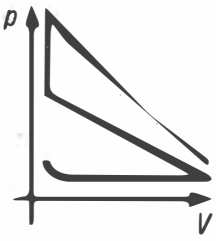
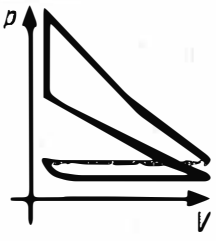
Bild 103/1 Gasturbine

Dieselmotoren

Arbeitszylinder: In verdichtete und dadurch erhitzte Luft wird Kraftstoff durch eine Düse gespritzt. Dieser entzündet sich; die entstehende Wärmeenergie wird zur Bewegung eines Kolbens genutzt. Hin- und Herbewegung des Kolbens wird durch Pleuelstange, Kurbelwelle, Schwungrad in Drehbewegung umgewandelt.

	1. Takt	2. Takt	3. Takt Arbeitstakt	4. Takt
Vorgang	Ansaugen von Luft	Verdichten der Luft	Einspritzen von Kraftstoff, Entzünden und Ausdehnen	Ausschieben der Verbrennungsgase
Richtung der Kolbenbewegung	In Richtung der Kurbelwelle	In Richtung des Zylinderkopfes	In Richtung der Kurbelwelle	In Richtung des Zylinderkopfes
Einlaßventil	Geöffnet	Geschlossen	Geschlossen	Geschlossen
Auslaßventil	Geschlossen	Geschlossen	Geschlossen	Geöffnet
				

Arbeit beim Viertakt-Dieselmotor

	1. Takt	2. Takt	3. Takt Arbeitstakt	4. Takt
Vom Motor aufgenommene Arbeit	W_1 Arbeit zum Ansaugen, Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit	W_2 Arbeit zum Verdichten, Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit	W_3 Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit	W_4 Arbeit zum Ausschieben, Beschleunigungsarbeit, Reibungsarbeit
Abgegebene Arbeit			W_m Mechanische Arbeit	
p-V-Diagramm		 Es gilt annähernd: $-W_m = \Delta W_i$	 Es gilt: $W_w = \Delta W_i + W_m$	

Es gilt:

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

Wendet man den 1. Hauptsatz der Wärmelehre auf den Dieselmotor an, so gilt:

$W_w =$	$\Delta W_i +$	W_m
Während der Verbrennung frei werdende Wärmemenge	Erhöhung der inneren Energie (Temperaturerhöhung) der Motorteile, des Kühlwassers und der Auspuffgase	Im Motor verrichtete und von ihm nach außen abgegebene mechanische Arbeit

Ottomotor

Die Arbeitsweise ist der des Dieselmotors ähnlich. Im Vergaser wird ein Kraftstoff-Luft-Gemisch erzeugt und vom Motor angesaugt. Die Zündung erfolgt durch einen elektrischen Funken. Ottomotoren gibt es als Viertakt- und Zweitaktmotoren (Bild 105/1).

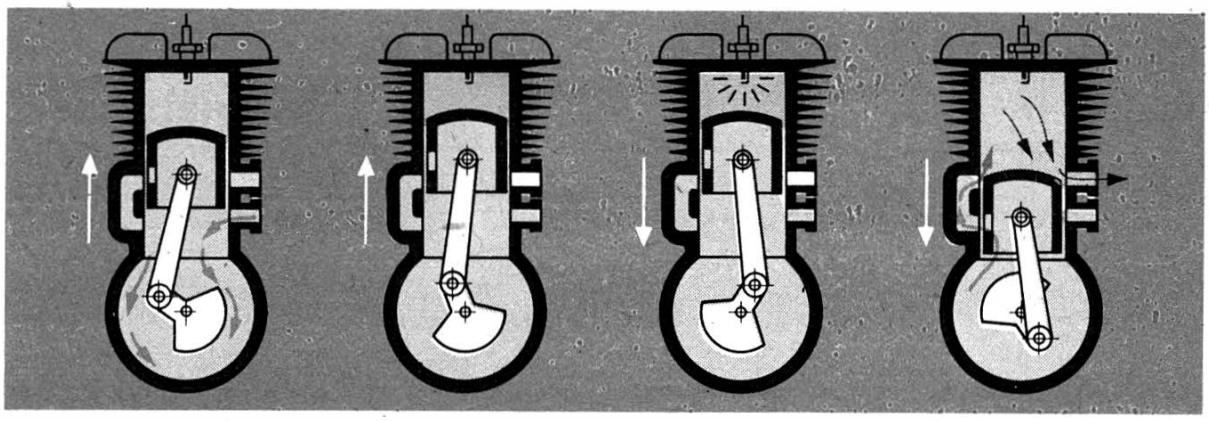


Bild 105/1 Ottomotor

Wirkungsgrad

▶ Der Wirkungsgrad η einer Maschine ist gleich dem Quotienten aus der von der Maschine abgegebenen Arbeit W_m und der der Maschine zugeführten Wärmeenergie W_w.

$$\eta = \frac{W_m}{W_w}$$

Der Wirkungsgrad hat keine Einheit. Er wird meist in Prozent angegeben.

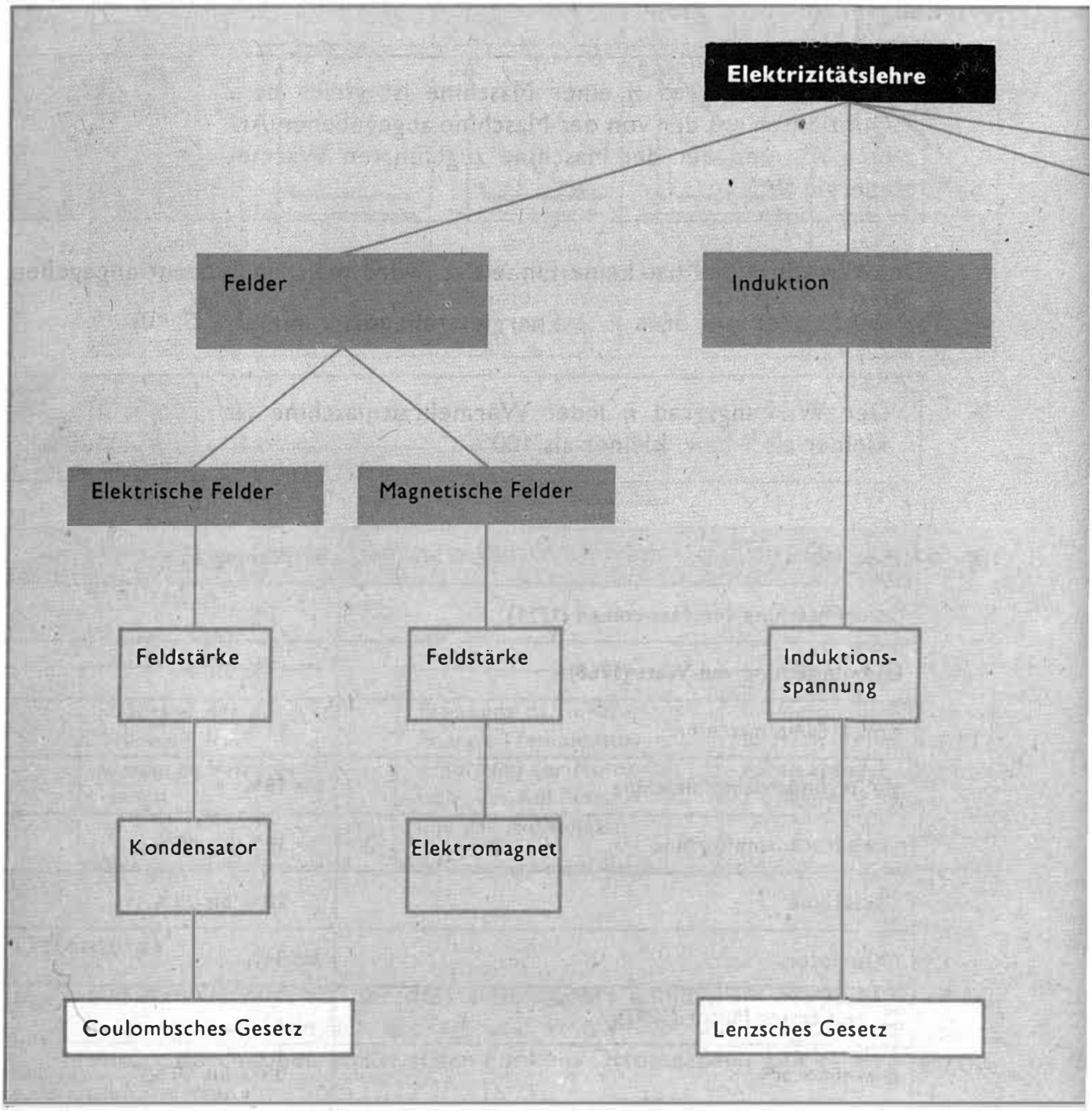
■ $\eta = 0{,}36$ oder $\eta = 36\%$ Energiestreifendiagramme (↗ S. 40)

▶ Der Wirkungsgrad η jeder Wärmekraftmaschine ist kleiner als 1 bzw. kleiner als 100%.

$$\eta < 1$$
$$\eta < 100\%$$

■

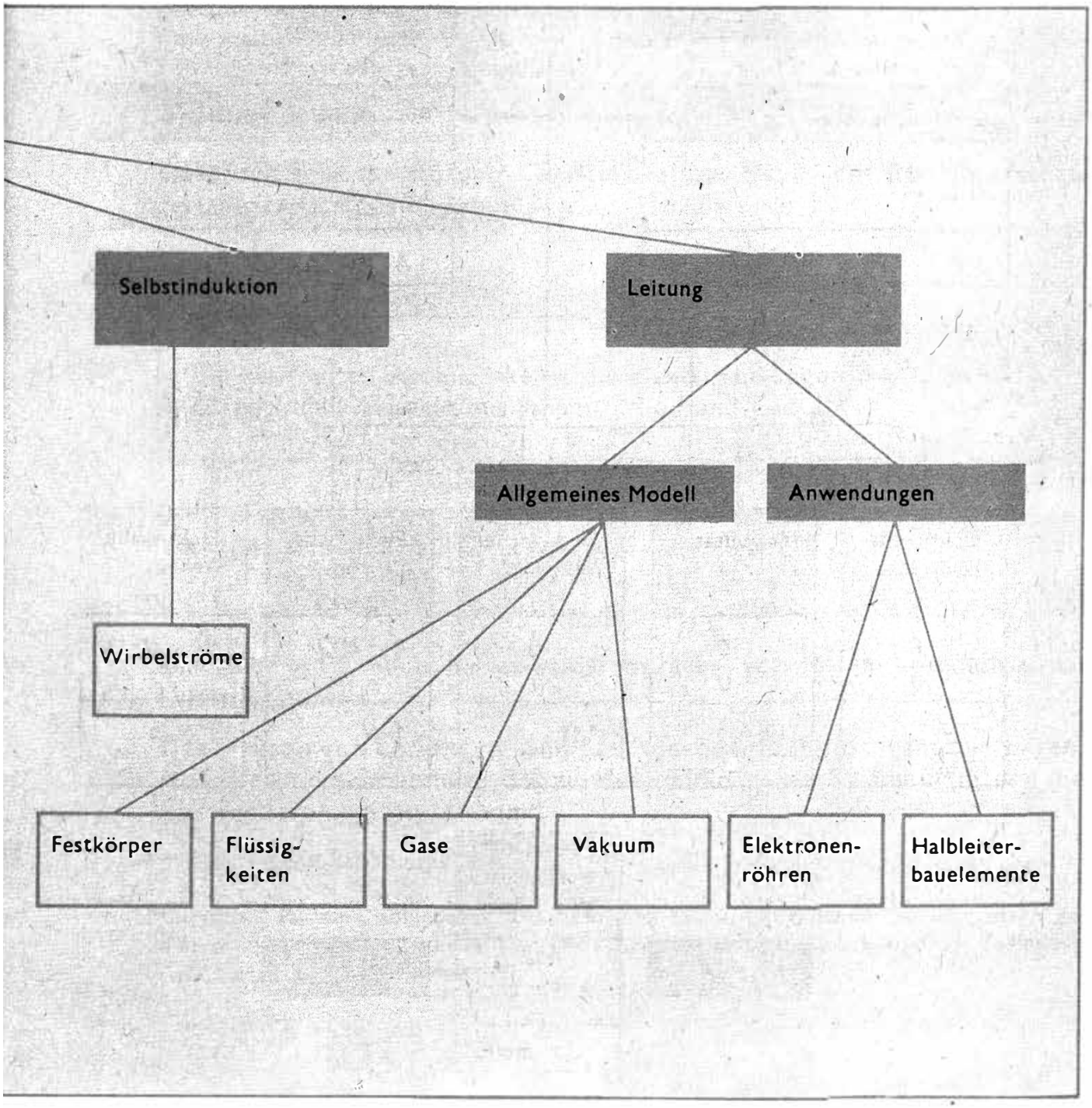
Maschine	Wirkungsgrad η
Dampfmaschine von Newcomen (1711)	1%
Dampfmaschine von Watt (1768)	3% bis 4%
Kolbendampfmaschine	12%
Mehrzylinderdampfmaschine	bis 18%
Hochdruckdampfturbine	30% bis 40%
Gasturbine	20% bis 28%
Ottomotor	bis 34%
Diesels erster Motor (1897)	24%
Dieselmotor	35% bis 40%


Elektrizitätslehre
Felder
Induktion
Elektrische Felder
Magnetische Felder
Feldstärke
Feldstärke
Induktions-
spannung
Kondensator
Elektromagnet
Coulombsches Gesetz
Lenzsches Gesetz

Elektrizitätslehre

5

Die Elektrizitätslehre ist das Teilgebiet der Physik, in dem die Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten ruhender und bewegter elektrischer Ladungen sowie elektrischer und magnetischer Felder beschrieben werden.



5.1. Physikalische Größen der Elektrizitätslehre

Zwischen den im Physikunterricht verwendeten Größen der Elektrizitätslehre besteht folgender Zusammenhang:

Physikalische Größe	Elektrische Ladung
Formelzeichen	Q
Einheit	1 C; 1 As

Arbeit W

Zeit t

Elektrische Spannung	Elektrische Stromstärke
$U = \frac{W}{Q}$	$I = \frac{Q}{t}$
1 V	1 A

Kraft F

Elektrische Feldstärke	Kapazität	Elektrischer Widerstand	Elektrische Leistung	Elektrische Arbeit, Energie
$E = \frac{F}{Q}$	$C = \frac{Q}{U}$	$R = \frac{U}{I}$	$P = U \cdot I$	$W = U \cdot I \cdot t$
$1 \frac{V}{m}$	1 F	1 Ω	1 W	1 W · s

Spezifischer elektrischer Widerstand
$\varrho = \frac{R \cdot A}{l}$
$1 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Fläche A

Länge l

Elektrische Elementarladung e

ist die kleinste elektrische Ladung.

Elementarladung	$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ A \cdot s$

Jedes Elektron trägt eine *negative Elementarladung*; jedes positive Kernteilchen (Proton) trägt eine *positive Elementarladung*.

↗ Atombau, S. 217

Ein Körper ist *elektrisch neutral*, wenn die Anzahl der positiven und negativen Elementarladungen gleich ist	Ein Körper ist *elektrisch negativ* geladen, wenn *Elektronenüberschuß* vorhanden ist	Ein Körper ist *elektrisch positiv* geladen, wenn *Elektronenmangel* vorhanden ist

■ Elektrisch geladene Körper: Gewitterwolken, Haube des Bandgenerators, geriebener Hartgummistab, Pole einer Flachbatterie

Elektrische Ladung Q

Bei konstanter Stromstärke ist die elektrische Ladung Q gleich dem Produkt aus Stromstärke I und Zeit t.	$Q = I \cdot t$

Die Einheit ist
1 A · s (Amperesekunde),
1 A · s = 1 C (Coulomb)
$1\ A \cdot s = 6{,}2 \cdot 10^{18}\ e$

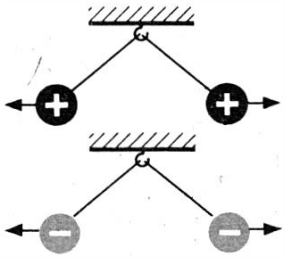
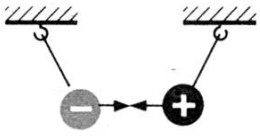
Die Ladung 1 C fließt bei einer Stromstärke von 1 A in 1 s durch einen Leiterquerschnitt.

Das Messen von Ladungen kann bei Lade- oder Entladevorgängen erfolgen, indem man die *Stromstärke* der zu- oder abfließenden Ströme mißt und die *Zeit* des Stromflusses bestimmt.

↗ elektrische Stromstärke I, S. 113

Kurzzeitig zu- oder abfließende Ladungen können mit ballistischen Galvanometern gemessen werden. Dafür ist keine besondere Zeitmessung erforderlich, und die Bedingung der konstanten Stromstärke entfällt

Kräfte zwischen geladenen Körpern

Zwischen gleichartig geladenen Körpern wirken Abstoßungskräfte		Zwischen ungleichartig geladenen Körpern wirken Anziehungskräfte	

Ladungsnachweis

erfolgt mit den Kräften, die zwischen geladenen Körpern wirken.

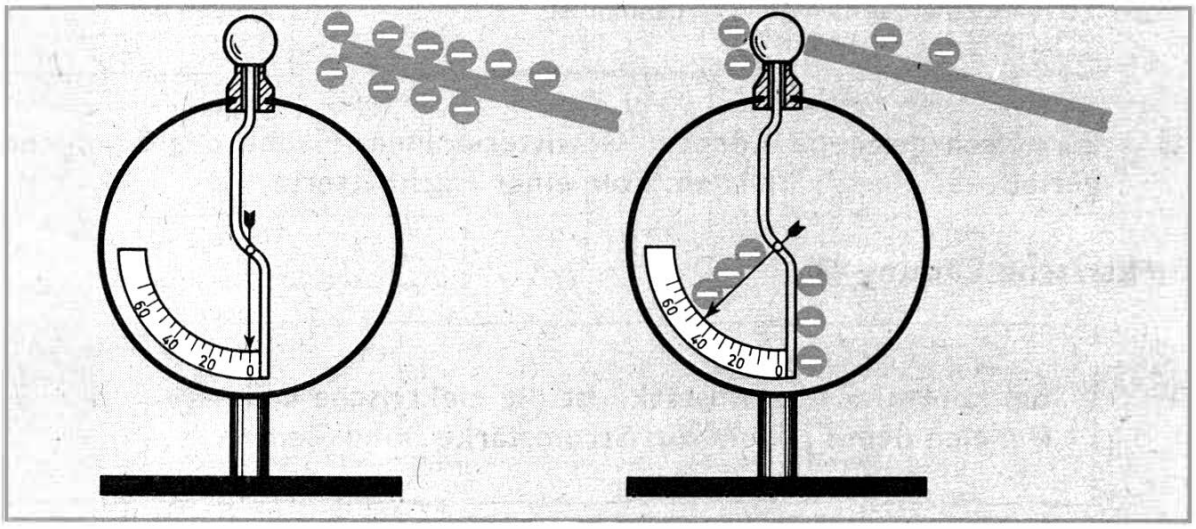


Bild 110/1 Elektroskop zum Nachweis von Ladungen

Mit einem *Elektroskop* kann man Ladungen nur nachweisen, aber *nicht messen*.

Ladungstrennung – Ladungsausgleich

Unter bestimmten Bedingungen können Elektronen von einem Körper abgetrennt oder zusätzlich aufgenommen werden. Durch diese Vorgänge werden Körper elektrisch geladen.

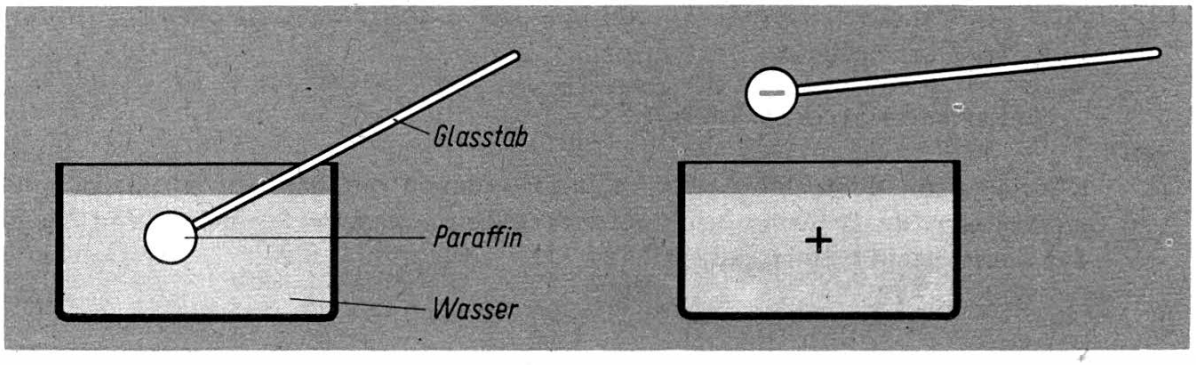


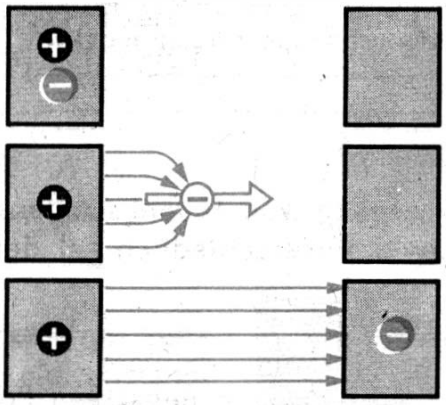
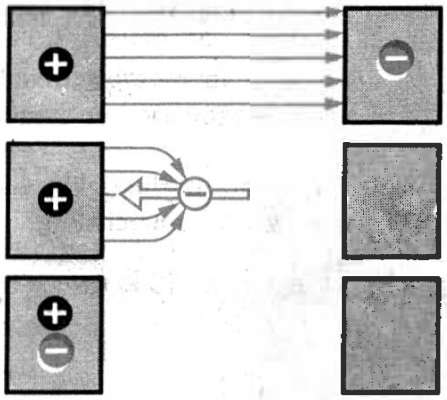
Bild 110/2 Aufladen einer Paraffinkugel durch Berührung mit Wasser und nachfolgende Trennung

Ursachen der Ladungstrennung	Beispiele
Berührung und Trennung zweier Körper	Reiben eines Hartgummistabs
Einwirken von Licht ↗ Fotoemission, S. 143	Fotoelement
Starkes Erwärmen ↗ Glühemission, S. 143	Heizfäden von Elektronenröhren, Plasma
Chemische Vorgänge	Galvanische Elemente, Akkumulatoren
Veränderliche magnetische Felder	Generatoren, Transformatoren

Zur *Ladungstrennung* muß *Arbeit verrichtet* werden. Das geschieht unter *Zufuhr von Energie*. Die aufgewendete Energie wird in elektrische Energie umgewandelt und im elektrischen Feld gespeichert.

↗ elektrisches Feld, S. 124

Der entgegengesetzte Vorgang ist der *Ladungsausgleich*. Dabei wird elektrische Energie in andere Energiearten umgewandelt (↗ S. 100).

Energieart vor der Umwandlung	Vorgang der Umwandlung	Energieart nach der Umwandlung
Mechanische Energie (zum Ladungstransport) Bewegung **gegen** die Kraft des elektrischen Feldes	Ladungstrennung 	Elektrische Energie (im Feld gespeichert)
Elektrische Energie (zum Ladungstransport) Bewegung **durch** die Kraft des elektrischen Feldes	Ladungsausgleich 	Mechanische Energie (kinetische Energie der Ladungsträger)

Ladungsübertragung

Ladungen können von einem geladenen Körper auf andere Körper übertragen werden.
Bei einer Ladungsübertragung wird die vorhandene Ladung zwischen verschiedenen Körpern aufgeteilt.

Ladungsteilung

kann nicht beliebig oft wiederholt werden. Die kleinste, nicht mehr teilbare Ladung ist die *Elementarladung* e.

↗ elektrische Elementarladung, S. 109

Leiter und Isolatoren

Die Ladungsübertragung von einem Körper zum anderen ist abhängig vom Stoff des verbindenden Körpers.

↗ spezifischer Widerstand ϱ, S. 121
↗ Leitungsvorgang in Festkörpern, S. 140

	Merkmal	Beispiel
Leiter	Ladungstransport möglich	Metalle
Isolator	Ladungstransport kaum möglich	Glas, Plaste

Elektrischer Strom

ist *die gerichtete Bewegung von Ladungsträgern* durch einen Leiter oder im Vakuum zwischen zwei unterschiedlich geladenen Körpern.

Elektrische Stromrichtung

Die Richtung vom positiven zum negativen Pol wurde als *elektrische Stromrichtung* vereinbart.

Diese Vereinbarung wurde unabhängig von der tatsächlichen Bewegungsrichtung der Ladungsträger getroffen.
Negative Ladungsträger (Elektronen in metallischen Leitern, negative Ionen in Flüssigkeiten, Gasen und im Vakuum) bewegen sich entgegengesetzt zur vereinbarten elektrischen Stromrichtung.
Positive Ladungsträger (positive Ionen in Flüssigkeiten, Gasen und im Vakuum) bewegen sich in der vereinbarten elektrischen Stromrichtung.

↗ elektrische Leitungsvorgänge, S. 139

Wirkungen des elektrischen Stroms

Bei Stromfluß wird elektrische Energie in andere Energiearten umgewandelt. Die dafür notwendigen Geräte heißen *Energiewandler*.

↗ elektrische Leistung, S. 119

Wirkung des elektrischen Stromes	Energiewandler (Beispiele)
Wärmewirkung	Kochplatte, Tauchsieder, Glühlampe
Lichtwirkung	Glühlampe, Glimmlampe, Leuchtstoffröhre
Magnetische Wirkung	Elektromagnet, Elektromotor
Chemische Wirkung	Akkumulator (beim Laden), Aluminium-Schmelzofen

Elektrische Stromstärke *I*

▶ Die elektrische Stromstärke *I* ist gleich dem Quotienten aus der durch einen Leiterquerschnitt fließenden elektrischen Ladung *Q* und der Zeit *t*.

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

↗ elektrische Ladung, S. 109
Die Einheit ist 1 A (Ampere).

$1\ A = 1\ C \cdot s^{-1}$

Das Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes durch zwei geradlinige, parallele, unendlich lange Leiter, die einen Abstand von 1 m haben und zwischen denen im leeren Raum je 1 m Doppelleitung eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N wirkt.

↗ magnetisches Feld, S. 129

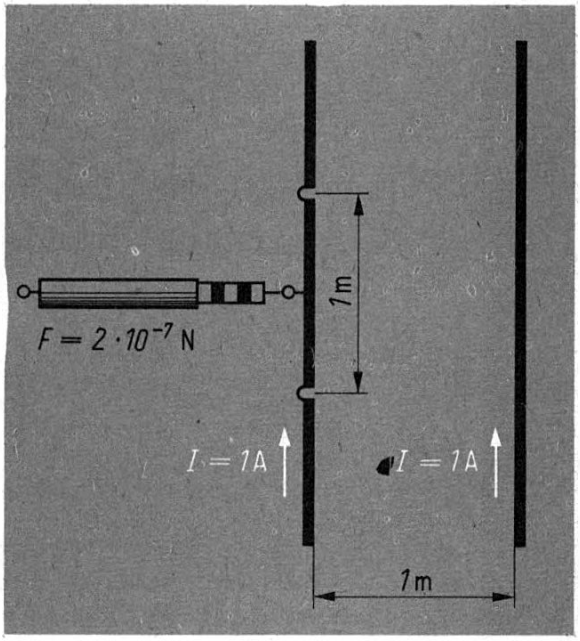


Bild 113/1

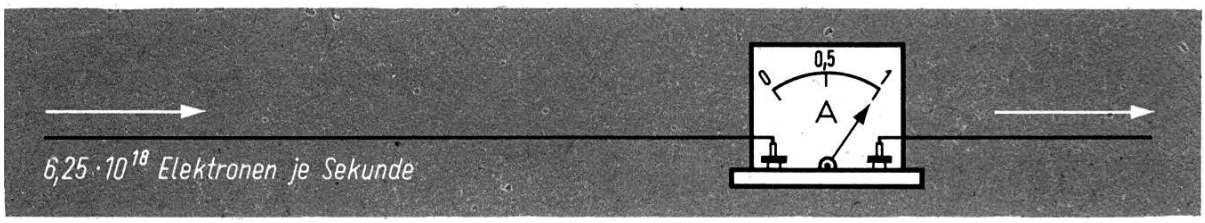


Bild 114/1

Bei einer Stromstärke von 1 A fließen je Sekunde etwa $6{,}2 \cdot 10^{18}$ Elektronen durch den Querschnitt eines Leiters.

Stromstärkemessungen erfolgen meist unter Ausnutzung der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes mit Hilfe eines *Strommessers*.

↗ elektromotorisches Prinzip, S. 133

Energiewandler	Stromstärke in A
Elektrischer Belichtungsmesser	0,01
Lampe einer Taschenleuchte	0,2
100-W-Glühlampe	0,45
Schmelzsicherung im Haushalt	6, 10 oder 16
Elektromotor der Straßenbahn	150 bis 250
Elektroschweißgeräte	500
Aluminium-Schmelzofen	10000
Generator im Kraftwerk	20000

Elektrischer Stromkreis

Wenn ein *geschlossener Stromkreis* vorliegt, fließt ein elektrischer Strom.

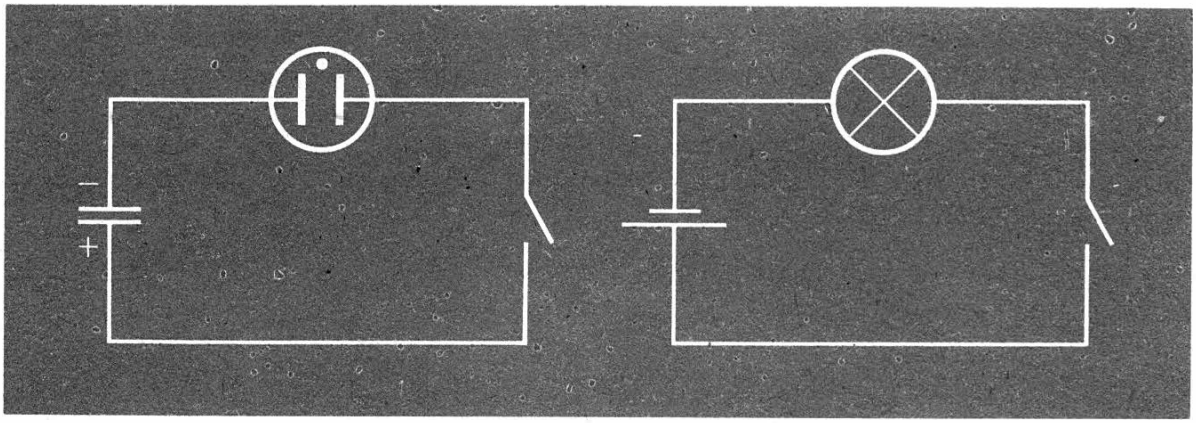
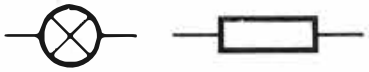


Bild 114/2

Hauptbestandteile eines elektrischen Stromkreises	Funktion	Beispiele
Spannungsquelle	Gewinnung elektrischer Energie aus anderen Energiearten durch Ladungstrennung	Geladener Kondensator, Flachbatterie, Akkumulator, Generator
Energiewandler 	Umwandlung elektrischer Energie in andere Energiearten	Glühlampe, Heizwendel, Elektromagnet
Verbindungsleiter	Transport der Ladungsträger	Feste, flüssige oder gasförmige Leiter
Schalter	Unterbrechung des Ladungstransportes	Hebelschalter, Kippschalter, Relais

Elektrische Spannung *U*

ist eine notwendige Bedingung für den Stromfluß in einem Stromkreis.

Ohne Spannung: kein Stromfluß

Bei vorhandener Spannung: Stromfluß

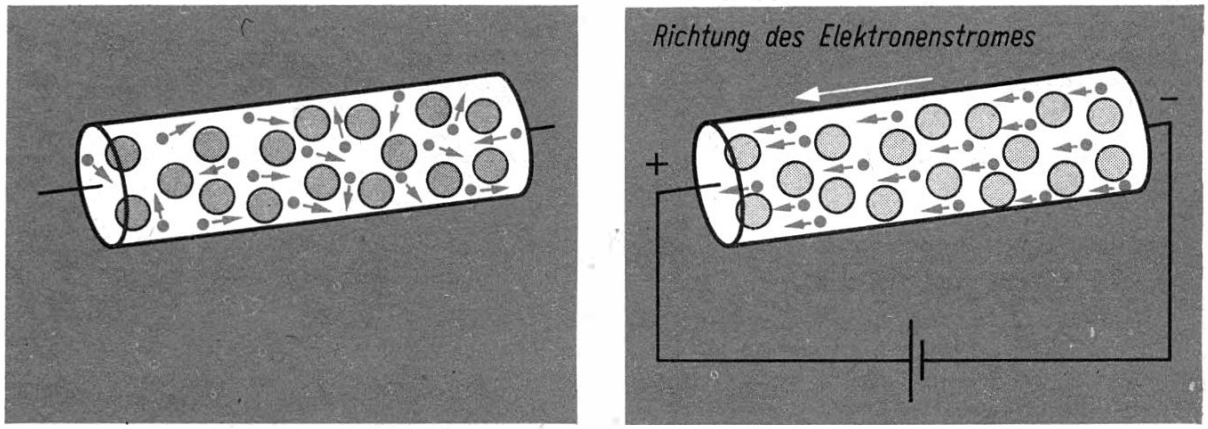


Bild 115/1 Modell der Bewegung freier Elektronen im Leiter: a) ohne Spannung, b) nach Anlegen einer Spannung

▶ Die elektrische Spannung *U* zwischen zwei Punkten A und B (Bild 116/1) eines elektrischen Feldes ist gleich dem Quotienten aus der zwischen den Punkten verrichteten Verschiebungsarbeit *W* und der bewegten Ladung *Q*.

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

Die Einheit ist 1 V (Volt).

$$1\,V = \frac{1\,W \cdot s}{1\,C} = \frac{1\,W \cdot s}{1\,A \cdot s} = \frac{1\,W}{1\,A}$$

Wird bei einer Stromstärke von 1 A eine Leistung von 1 W erreicht, dann ist die Spannung 1 V vorhanden.

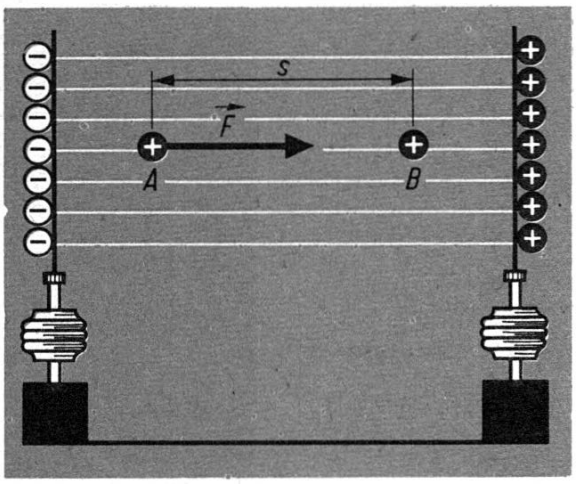
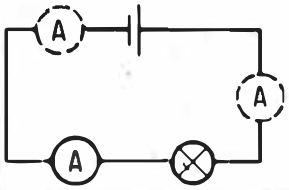
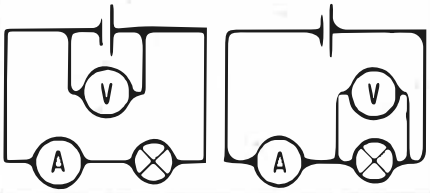


Bild 116/1 Definition der Größe „Spannung"

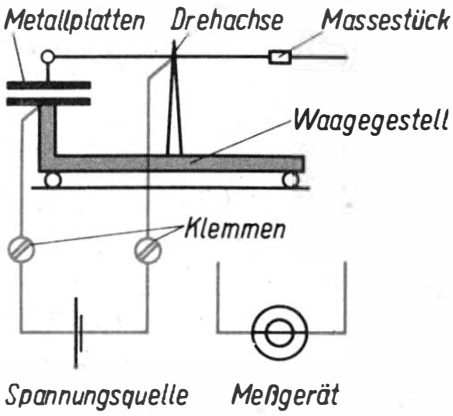
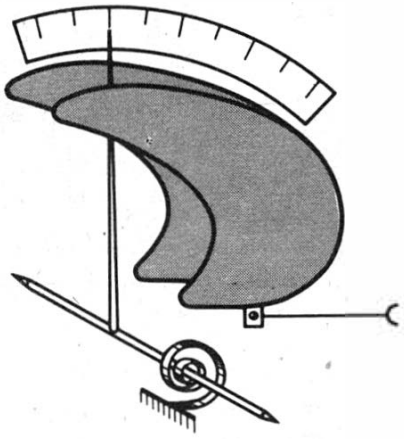
Spannungsquelle	Ursache der Spannung	Spannung in V
Galvanisches Element (Monozelle)	Chemischer Vorgang	1,S
Akkumulatorzelle	Chemischer Vorgang	2
Fahrraddynamo	Induktion	6
Transformatoren für Klingelanlagen	Induktion	3 bis 8
Stromversorgungsgerät für Schülerexperimente	Induktion	2 bis 42
Steckdose	Leitende Verbindung mit Transformator	220
Generatoren in Kraftwerken	Induktion	10000
Transformatoren in Kraftwerken	Induktion	bis 400000

Messen der elektrischen Spannung

Vergleich von Stromstärke- und Spannungsmessung

	Stromstärke I	Spannung U
Schaltung des Meßgeräts	Im Hauptstromkreis	Im Nebenstromkreis
Innenwiderstand R_i des Meßgeräts; Gesamtwiderstand R des Stromkreises	$R_i \ll R$	$R_i \gg R$
Schaltplan		

Meßgeräte

	Statische Spannungsmessung	Auf Stromstärkemessung beruhende Spannungsmessung
Prinzip	Kräfte zwischen ruhenden Ladungen werden zur Spannungsmessung benutzt	Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes wird zur Spannungsmessung benutzt. (Proportionalität zwischen Spannung und Stromstärke!)
Beispiele	Spannungswaage  Statischer Spannungsmesser 	Drehspul-Spannungsmesser ↗ elektromotorisches Prinzip, S. 133
Kennzeichen	Kein Stromfluß	Möglichst geringer Stromfluß durch hohen Innenwiderstand des Meßgerätes

Elektrische Energie W_{el}

Um ein elektrisches Feld zu erzeugen oder elektrischen Stromfluß hervorzurufen, muß Arbeit verrichtet werden. Durch diese Vorgänge wird ein neuer Zustand hervorgerufen: Das Feld bzw. die Ladungsträger besitzen die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Dieser Zustand wird durch die physikalische Größe *elektrische Energie* beschrieben.

Elektrische Energie W_{el}	
Energie des elektrischen Feldes $W_{el} = \frac{U \cdot Q}{2}$	Energie des elektrischen Stromes $W_{el} = U \cdot I \cdot t$

Die Einheit ist 1 W · s (Wattsekunde)

Elektrische Energie wird in der gleichen Einheit gemessen wie alle anderen Energiearten.

↗ mechanische Energie, S. 78

Energieerhaltung

Elektrische Energie wird durch Umwandlung anderer Energiearten gewonnen und läßt sich wieder in andere Energiearten umwandeln. Bei der Umwandlung einer Energieart in eine andere bleibt die Gesamtenergie erhalten.

↗ Satz von der Erhaltung der Energie, S. 101

Energieart vor der Umwandlung	Energiewandler	Energieart nach der Umwandlung
Mechanische Energie Chemische Energie Wärmeenergie Lichtenergie	Generator Akkumulator, galvanisches Element Thermoelement Fotoelement	Elektrische Energie
Elektrische Energie	Elektromotor Elektrische Wärmegeräte Glühlampen, Leuchtstofflampen	Mechanische Energie Wärme Licht

Volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektroenergie

beruht auf folgenden Eigenschaften:

- vielseitige Umwandelbarkeit,
- vielseitige Anwendbarkeit,
- beliebige Aufteilbarkeit.

Als *Nachteil* tritt die schlechte Speicherfähigkeit auf.
Die Entwicklung der sozialistischen Produktivkräfte ist in hohem Maße von der Entwicklung der Energiewirtschaft abhängig.

Elektrische Arbeit W_{el}

kennzeichnet einen *Vorgang*, bei dem elektrische Energie in andere Energiearten umgewandelt wird.

↗ Ladungstrennung, S. 110

Die elektrische Arbeit W_{el} ist gleich dem Produkt aus der Spannung U, der Stromstärke I und der Zeit t.	$W_{el} = U \cdot I \cdot t$ (I, U = konstant)

Die Einheit ist 1 W · s (Wattsekunde)
1 W · s = 1 V · A · s

Die Arbeit 1 W · s wird verrichtet, wenn während der Zeit 1 s bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A fließt.

↗ mechanische Arbeit W, S. 73

Elektrische Leistung P

ist gleich dem Quotienten aus Arbeit und Zeit. $P = \frac{W}{t}$.

↗ Leistung P, S. 78

Daraus folgt: $P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$

Die elektrische Leistung P ist gleich dem Produkt aus der Spannung U und der Stromstärke I.	$P = U \cdot I$

Die Einheit ist 1 W (Watt).
1 W = 1 V · 1 A

Die Leistung 1 W wird abgegeben, wenn bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A fließt.

Energiewandler	Leistung in W
Glühlampe der Taschenleuchte	1 bis 2
Glühlampe im Haushalt	15 bis 100
Bügeleisen	400 bis 800
Triebwagen der Straßenbahn	100000 bis 150000
Elektrolok	5000000
Lichtbogenofen (Elektrostahlofen)	10000000
Generator im Kraftwerk	500000000

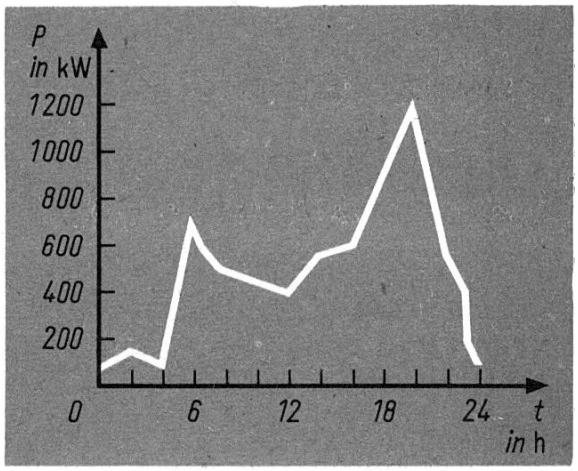


Bild 120/1 Arbeitsdiagramm. Die *Kurve* stellt den *Leistungsbedarf* eines Betriebes im Laufe eines Tages dar. Die *Fläche* unter der Kurve gibt die verrichtete *elektrische Arbeit* an

Arbeitsdiagramme zeigen als Fläche zwischen Leistungskurve und Abszissenachse die verrichtete Arbeit an.

↗ mechanische Arbeit *W*, S. 73

Ohmsches Gesetz

(für den Gleichstromkreis)

▶ Für ein und denselben Leiter ist die Stromstärke I der Spannung U proportional.
Das Ohmsche Gesetz gilt nur bei konstanter Temperatur ϑ.

$$I \sim U$$
$$\frac{U}{I} = \text{konst.}$$

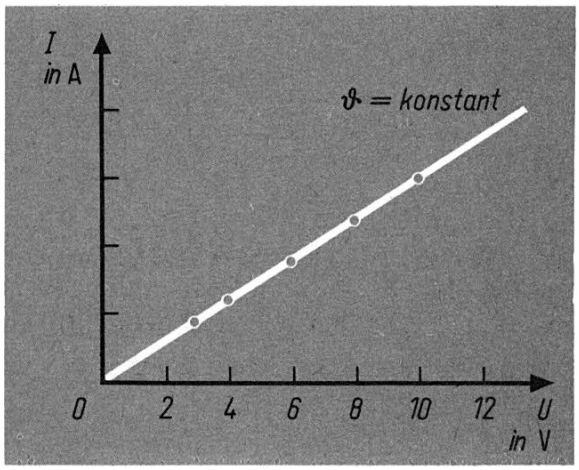


Bild 120/2

Elektrischer Widerstand *R*

Der Quotient $\frac{U}{I}$ kennzeichnet die Eigenschaft eines Leiters, dem elektrischen Strom einen *Widerstand* entgegenzusetzen. In metallischen Leitern wird der Widerstand durch Wechselwirkungen zwischen Leitungselektronen und Ionen des Metallgitters verursacht.

Der elektrische Widerstand R ist gleich dem Quotienten aus der Spannung U und der Stromstärke I.	$R = \frac{U}{I}$

Die Einheit ist 1 Ω (Ohm).

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

Wird durch die Spannung 1 V in einem Leiter die Stromstärke 1 A hervorgerufen, so ist der Widerstand des Leiters 1 Ω.

Leiter	Widerstand in Ω
Glühlampe der Taschenlampe	etwa 10
Glühlampe (40 W)	etwa 1200
Glühlampe (100 W)	etwa 490
Elektrisches Bügeleisen	etwa 80
Widerstände in Rundfunk- und Fernsehgeräten	bis 5000000

Widerstandsgesetz

Der Widerstand eines Leiters ist

- seiner Länge l direkt proportional,
- seiner Querschnittsfläche A umgekehrt proportional.
- Der Proportionalitätsfaktor ϱ heißt *spezifischer elektrischer Widerstand.*

$$\left.\begin{array}{l} R \sim l \\ R \sim \frac{1}{A} \end{array}\right\rangle R \sim \frac{l}{A}$$

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

Spezifischer elektrischer Widerstand ϱ

kennzeichnet eine Stoffeigenschaft. Er ist vom Stoff und von der Temperatur eines Leiters abhängig.

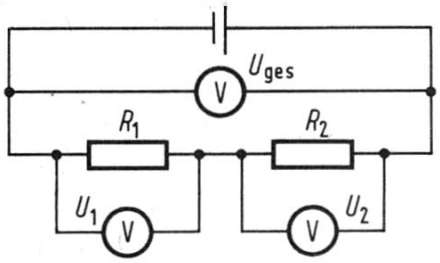
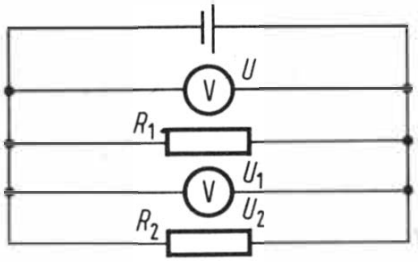
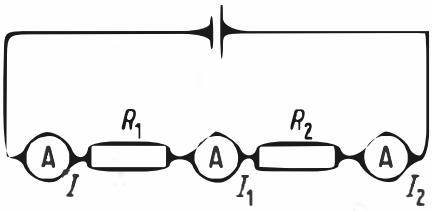
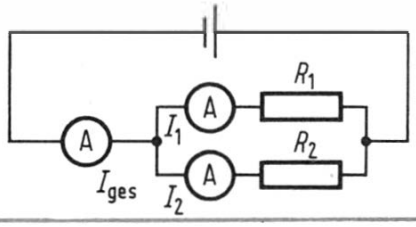
↗ Leitfähigkeitsverhalten einiger Stoffe, S. 144

Einheiten sind $\frac{1\,\Omega \cdot 1\,\text{mm}^2}{1\,\text{m}}$ und $1\,\Omega \cdot \text{m}$.

Ein Stoff besitzt den spezifischen elektrischen Widerstand $\frac{1\,\Omega \cdot 1\,\text{mm}^2}{1\,\text{m}}$, wenn ein Leiter aus diesem Stoff mit dem Querschnitt 1 mm² und der Länge 1 m einen Widerstand von 1 Ω aufweist.

Stoff (Leiter)	ϱ in $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	Stoff (Isolator)	ϱ in $\frac{\Omega \cdot cm^2}{m}$
Silber	0,015	Marmor	10^8 bis 10^{11}
Kupfer	0,016	Glas	10^{11}
Aluminium	0,024	Porzellan	10^{12}
Eisen	0,1	Quarzglas	10^{16}
Konstantan	0,5	Bernstein	10^{16}

Reihenschaltung, Parallelschaltung

	Reihenschaltung, unverzweigter Stromkreis	Parallelschaltung, verzweigter Stromkreis
Spannungen	$U_{ges} = U_1 + U_2$ Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung 	$U = U_1 = U_2$ An den Zweigwiderständen liegt die gleiche Spannung 
Stromstärken	$I = I_1 = I_2$ Die Stromstärke ist an allen Punkten eines unverzweigten Stromkreises gleich 	$I_{ges} = I_1 + I_2$ Die Summe der Stromstärken in den Zweigen ist gleich der Stromstärke im unverzweigten Teil des Stromkreises 
Widerstände	$R_{ges} = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Wichtige Proportionen	$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$ Die Teilspannungen sind den Teilwiderständen proportional	$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$ Die Stromstärken in den Zweigen sind den entsprechenden Widerständen im verzweigten Stromkreis umgekehrt proportional

Spannungsteilerschaltung

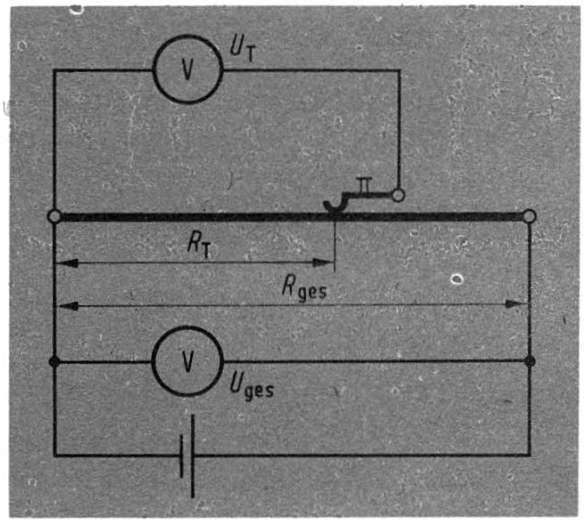
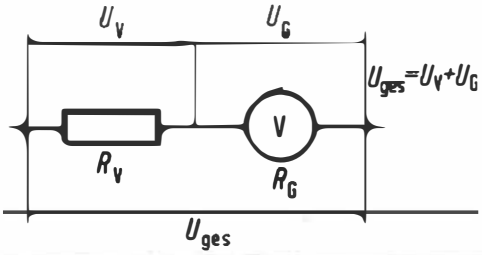
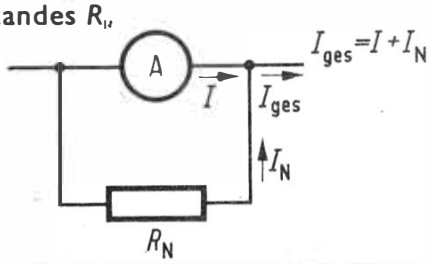


Bild 123/1 Längs eines Widerstandes fällt eine Spannung ab; über einen Gleitkontakt kann eine Teilspannung abgegriffen werden

U_T : Teilspannung
U_{ges}: Gesamtspannung
R_T : Teilwiderstand
R_{ges}: Gesamtwiderstand

Die Teilspannung U_T verhält sich zur Gesamtspannung U_{ges} wie der Teilwiderstand R_T zum Gesamtwiderstand R_{ges}. (Gilt nur für den unbelasteten Spannungsteiler.)	$U_T : U_{ges} = R_T : R_{ges}$

Meßbereichserweiterung bei Meßgeräten

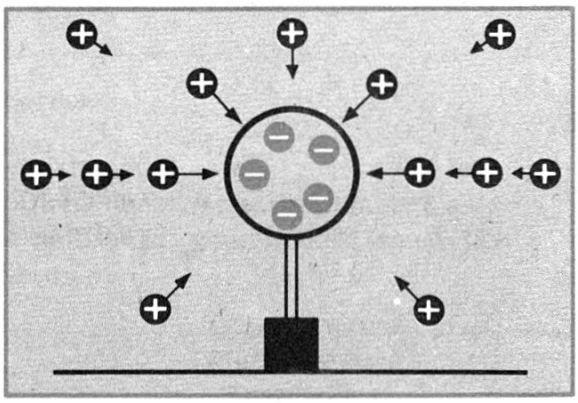
	Spannungsmesser	Strommesser
Prinzip	Vorschalten eines Widerstandes R_V 	Parallelschalten eines Widerstandes R_N 

5.2. Felder

In der Natur existieren *physikalische Felder* verschiedener Art. In der Elektrizitätslehre werden *elektrische* und *magnetische Felder* untersucht. Sie sind unsichtbar, ihre Existenz kann jedoch durch ihre Wirkungen nachgewiesen werden.
Um eine anschauliche Vorstellung von den Feldern zu gewinnen, werden sie mit Hilfe von *Feldlinien* (↗ S. 125 und 130) dargestellt.
Feldlinien sind *Modelle* des unsichtbaren, aber wirklich existierenden Feldes.

Elektrisches Feld

existiert in einem Raum, in dem Kraftwirkungen auf ruhende *und* bewegte Ladungsträger erfolgen. Elektrische Felder bestehen in der Umgebung elektrisch geladener Körper sowie in der Umgebung zeitlich veränderlicher magnetischer Felder.
↗ Kopplung von Feldern, S. 207



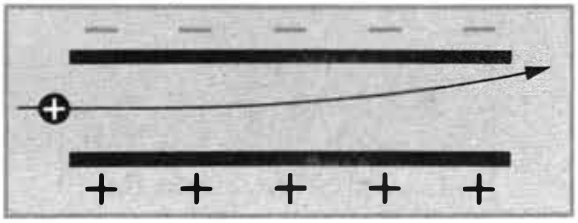


Bild 124/1 Kraftwirkung auf ruhende Probekörper (sehr kleine Körper mit sehr kleiner elektrischer Ladung, die das vorhandene Feld nicht merklich stören) in der Umgebung einer geladenen Kugel
Bild 124/2 Kraftwirkung auf bewegten Probekörper im elektrischen Feld eines Plattenkondensators. Die gerade Bahn des Probekörpers wird zur Parabel verformt

Elektrisches Feld als Träger von Energie

Zum Aufbau eines elektrischen Feldes muß Arbeit verrichtet werden.

↗ Ladungstrennung, S. 110

Die aufgewendete Energie wird im elektrischen Feld gespeichert.

↗ elektrische Energie, S. 117

Die Energie des elektrischen Feldes kann in andere Energiearten umgewandelt werden. Dabei wird das elektrische Feld abgebaut.

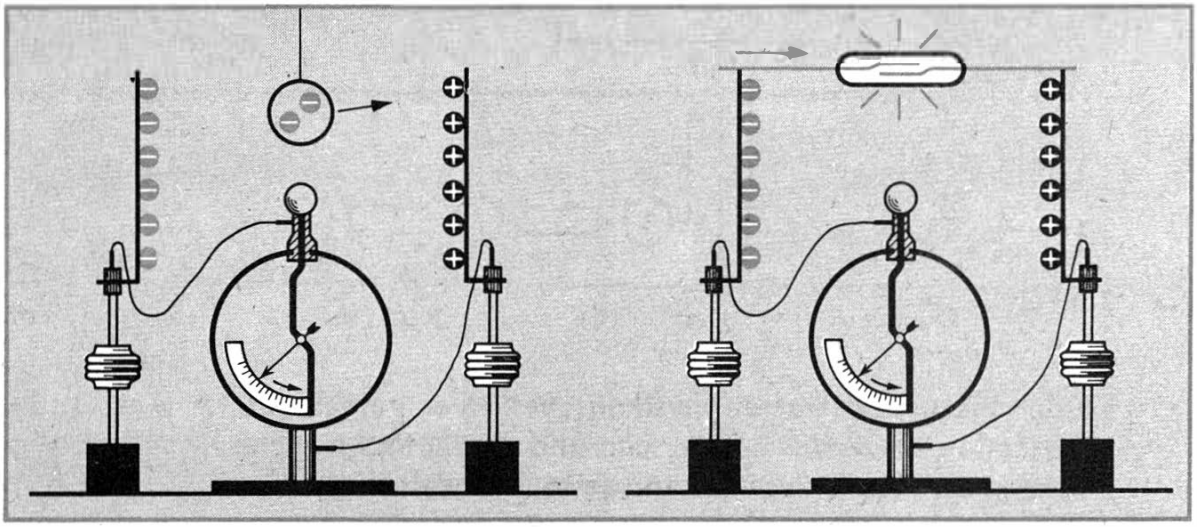


Bild 124/3 Links: Umwandlung der Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators in mechanische Energie eines Ladungsträgers,
rechts: Umwandlung der elektrischen Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators in Lichtenergie

Elektrische Feldstärke *E*

Die elektrische Feldstärke *E* ist gleich dem Quotienten aus der Kraft *F*, die im elektrischen Feld auf einen Probekörper wirkt, und der Ladung *Q* dieses Probekörpers.

$$E = \frac{F}{Q}$$

Die Einheit ist $1\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$ (Volt je Meter).

$$1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} = \frac{1\ \mathrm{N}}{1\ \mathrm{A \cdot s}}$$

Die elektrische Feldstärke ist eine vektorielle Größe.

↗ vektorielle Größe, S. 12

Der Richtungssinn der elektrischen Feldstärke ist gleich dem Richtungssinn einer Kraft, die im elektrischen Feld auf einen positiv geladenen Probekörper wirkt.

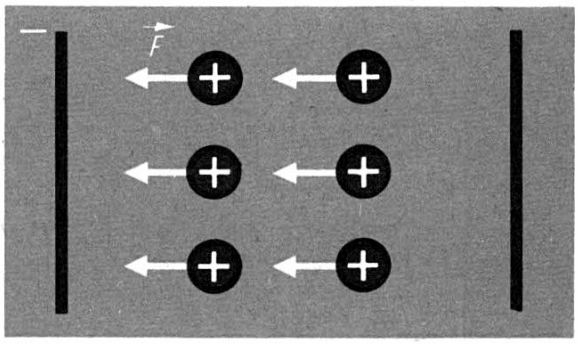


Bild 125/1 Definition der elektrischen Feldstärke

Wirkt an einem Punkt des elektrischen Feldes auf einen Probekörper mit der Ladung $1\ \mathrm{A \cdot s}$ eine Kraft von 1 N, dann beträgt die elektrische Feldstärke an diesem Punkt $1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$.

Elektrische Feldlinien

sind *gedachte Linien*, die für jeden Punkt eines elektrischen Feldes die *Richtung der elektrischen Feldstärke* angeben. Sie sind ein *Modell*, das der Veranschaulichung des tatsächlich existierenden, aber unsichtbaren elektrischen Feldes dient.

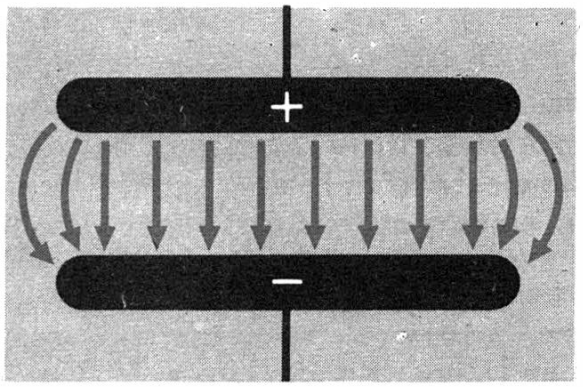


Bild 125/2 Elektrisches Feld zwischen geladenen Platten

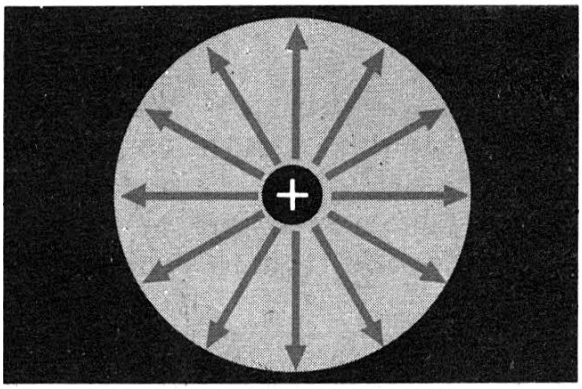


Bild 125/3 Elektrisches Feld in der Nähe einer geladenen Kugel

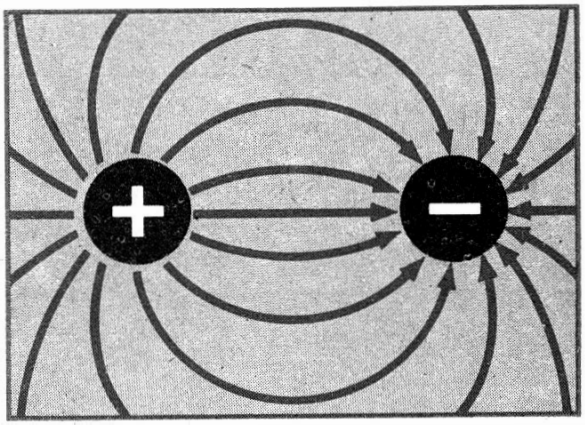


Bild 126/1 Elektrisches Feld zwischen zwei ungleichartig geladenen Kugeln

Den Verlauf der Feldlinien in einer Ebene kann man experimentell sichtbar machen, indem man kleine Probekörper (z. B. Grießkörner) in einer nichtleitenden Flüssigkeit (Paraffinöl) in ein elektrisches Feld bringt.

Coulombsches Gesetz

Die Kraft F zwischen zwei Punktladungen ist den Ladungen Q_1 und Q_2 direkt, dem Quadrat des Abstandes r der Punktladungen umgekehrt proportional.	$F \sim Q_1$ $F \sim Q_2$ $F \sim \frac{1}{r^2}$ $F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

(Das Modell *Punktladung* kennzeichnet einen geladenen Körper, dessen Abmessungen vernachlässigbar klein sind.)

Das Coulombsche Gesetz hat die gleiche mathematische Form wie das Gravitationsgesetz. Der Gravitationskonstanten entspricht die Konstante $k = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0}$; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$

↗ elektrische Kapazität, S. 127
↗ Gravitationsgesetz, S. 72

Kondensatoren

sind elektrische Bauelemente, die im geladenen Zustand auf gegeneinander isolierten Leitern entgegengesetzte elektrische Ladungen tragen. Zwischen den geladenen Leitern besteht ein elektrisches Feld.
Beim Laden und beim Entladen eines Kondensators fließen Ströme. Der Entladestrom ist dem Ladestrom entgegengerichtet (Bilder 127/1 und 127/2).

Die Ladung Q und die Spannung U eines Kondensators sind einander proportional (Bilder 127/3 und 127/4).	$Q \sim U$

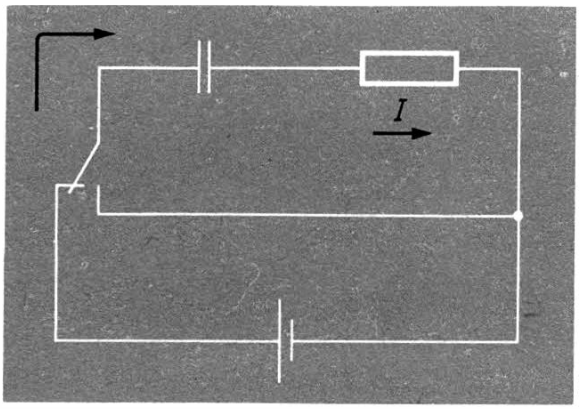


Bild 127/1 Laden eines Kondensators

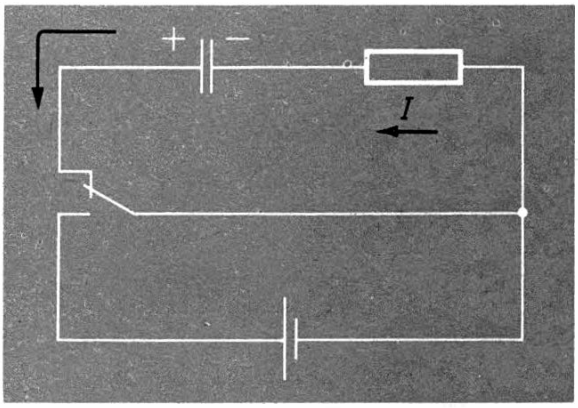


Bild 127/2 Entladen eines Kondensators

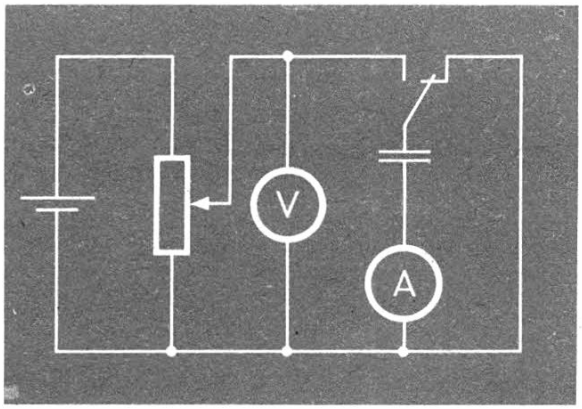


Bild 127/3 Versuchsanordnung zur Ermittlung des Zusammenhanges von Ladung und Spannung eines Kondensators

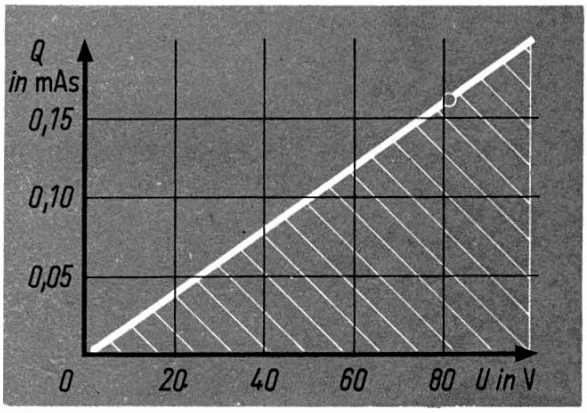


Bild 127/4 *Q-U*-Diagramm für einen Kondensator

Die schraffierte Fläche zwischen Kurve und Abszissenachse hat die Bedeutung einer *Arbeit*, ähnlich wie die Fläche im *F-s*-Diagramm oder im *p-V*-Diagramm. Sie gibt die *Arbeit* an, die zum *Aufbau des elektrischen Feldes* im Kondensator verrichtet wurde. Ähnlich wie bei Berechnung der Federspannarbeit ergibt sich hier $W_{el} = \frac{Q \cdot U}{2}$.

↗ mechanische Arbeit *W*, S. 73

Elektrische Kapazität *C*

▶ Die elektrische Kapazität *C* eines Kondensators ist gleich dem Quotienten aus der Ladung *Q* und der Spannung *U*.

$$C = \frac{Q}{U}$$

Die Einheit ist 1 F (Farad).

$$1\,\text{F} = \frac{1\,\text{A} \cdot \text{s}}{1\,\text{V}}$$

Ein Kondensatot besitzt die Kapazität 1 F, wenn er bei einer Spannung von 1 V eine Ladung von 1 A · s aufnimmt.

Die Kapazität eines Plattenkondensators

- ist der Plattenfläche direkt proportional, $C \sim A$

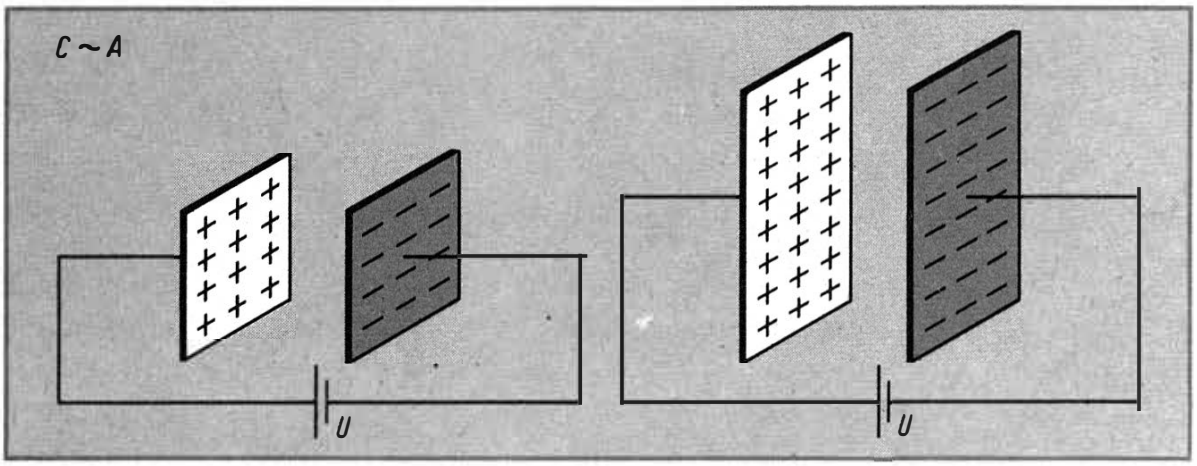


Bild 128/1

- ist dem Plattenabstand umgekehrt proportional, $C \sim \frac{1}{l}$

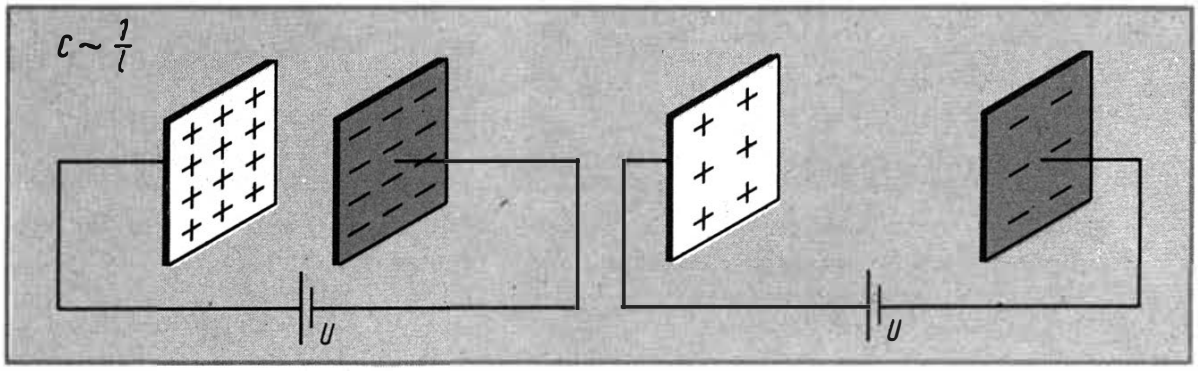


Bild 128/2

- ist abhängig vom *Dielektrikum* (Stoff, der den Raum zwischen den beiden Kondensatorplatten ausfüllt).

Befindet sich zwischen den Kondensatorplatten ein Vakuum, dann ist die Kapazität des Kondensators kleiner als bei jedem anderen Dielektrikum.

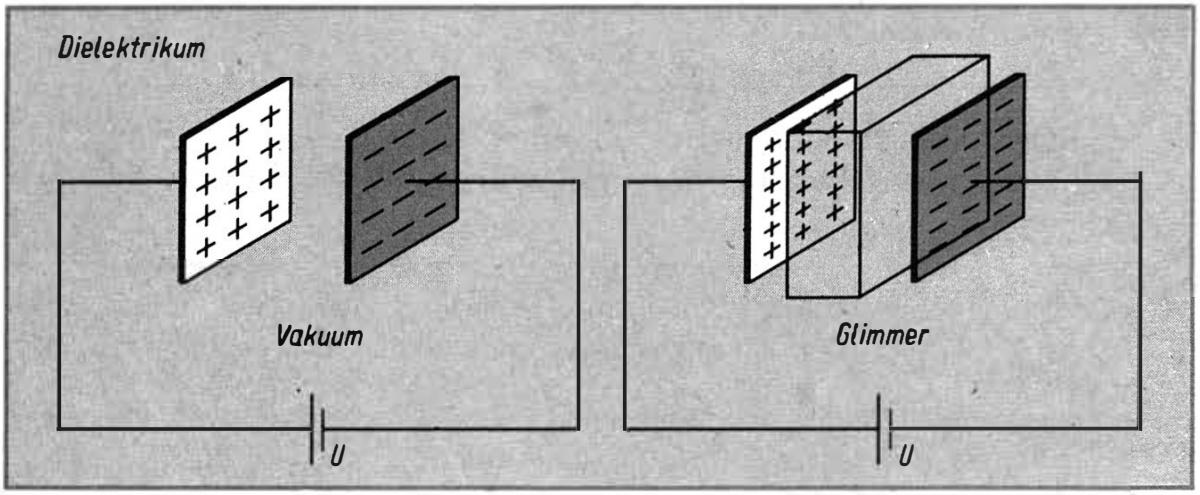
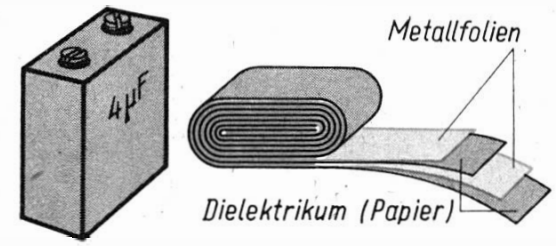
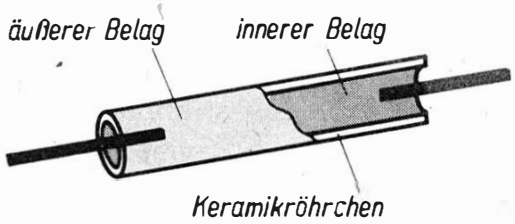


Bild 128/3

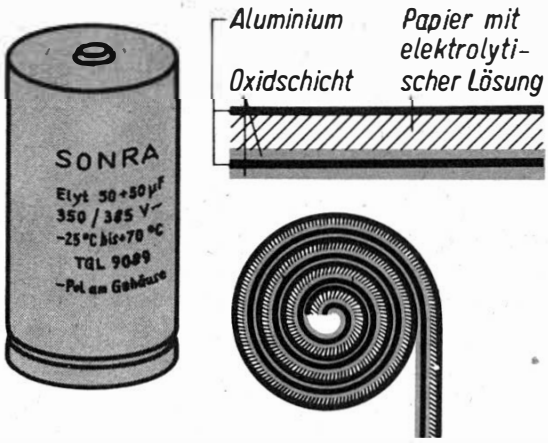
Kondensatorenarten



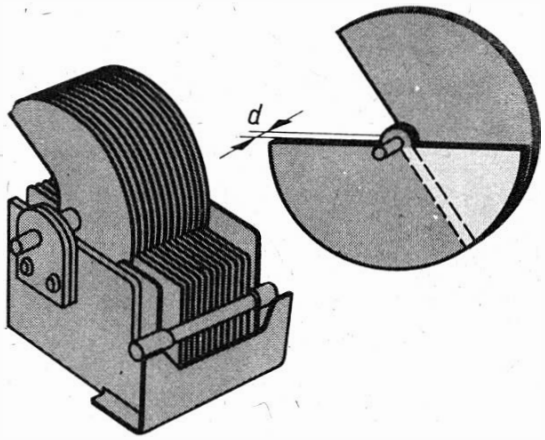
Blockkondensator (Wickelkondensator)
Als Träger der Ladung dienen zwei Metallfolien, die durch einen Isolierstoff (Dielektrikum) voneinander getrennt sind



Keramikkondensator
Keramische Stoffe bilden das Dielektrikum



Elektrolytkondensator
Aluminiumfolie und Elektrolyt sind die Träger der entgegengesetzten Ladungen. Eine Schicht aus Aluminiumhydroxid ($Al(OH)_3$) bildet das Dielektrikum. Die oxydierte Platte muß stets die positive Ladung tragen. Polungsfehler führen zur Zerstörung des Kondensators

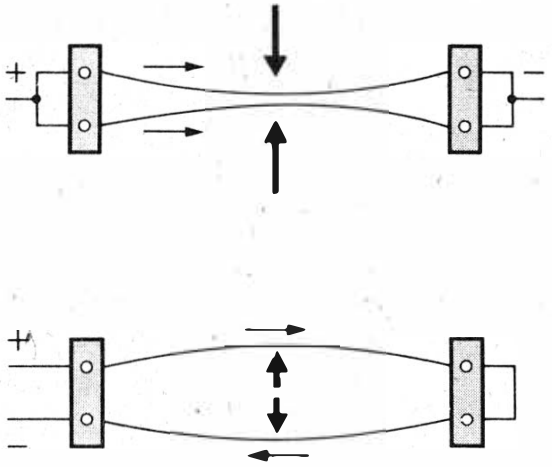
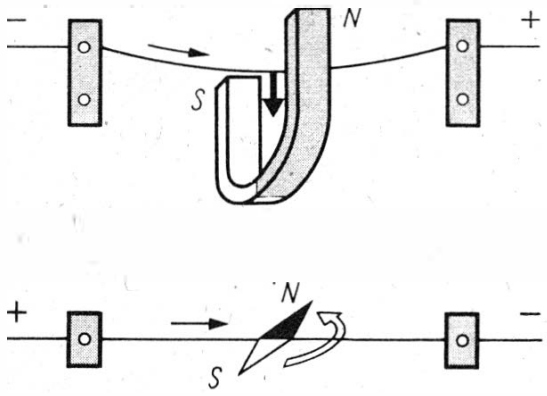


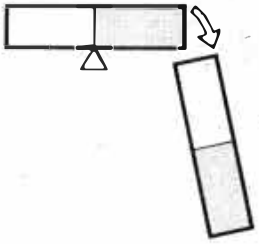
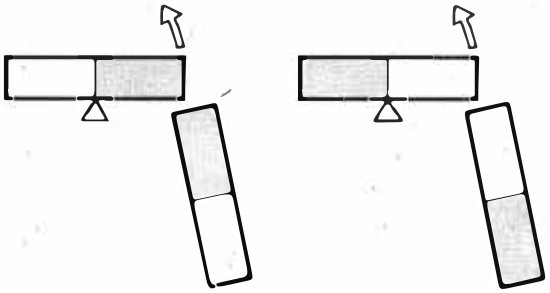
Drehkondensator
Luft bildet das Dielektrikum.
Durch Drehen eines Plattensatzes läßt sich die wirksame Plattenfläche und damit die Kapazität des Kondensators verändern

■ Kondensatoren werden verwendet zum Speichern getrennter elektrischer Ladungen, als Widerstand im Wechselstromkreis, als Energiespeicher in Schwingkreisen, zum Verringern der zeitlichen Verschiebung von Spannungs- und Stromstärkekurven in Wechselstromkreisen, zum Glätten pulsierenden Gleichstroms, zum Schutz gegen Funkstörungen durch elektrische Geräte.

Magnetisches Feld

ist ein besonderer Zustand des Raumes, der an der Kraftwirkung auf einen Probekörper aus Eisen, einen Dauermagneten oder einen stromführenden Leiter erkennbar ist.

Zwischen stromführenden Leitern wirkt eine Kraft	Zwischen stromführenden Leitern und Dauermagneten wirkt eine Kraft
	

Zwischen Dauermagneten wirkt eine Kraft	
Ungleichnamige Magnetpole ziehen einander an	Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab
	

Stromführende Leiter und Dauermagnete rufen magnetische Felder hervor und werden selbst durch magnetische Felder beeinflußt.

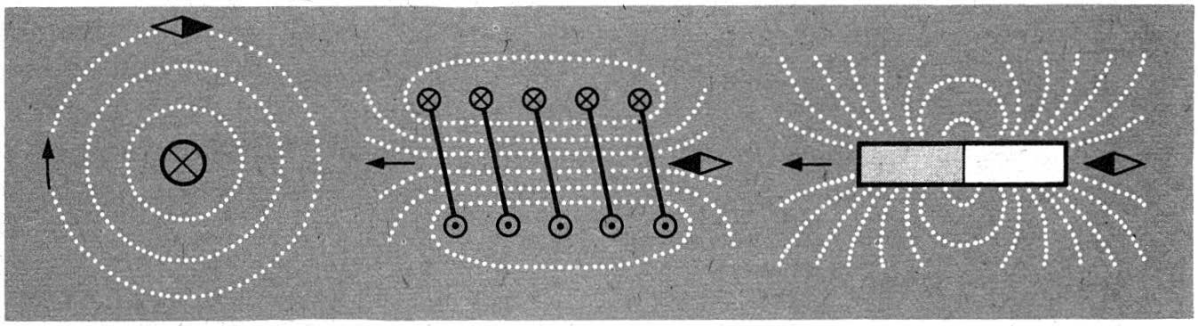


Bild 130/5 Feldlinienbilder:
a) magnetisches Feld eines stromführenden Leiters, b) magnetisches Feld einer stromführenden Spule, c) magnetisches Feld eines Dauermagneten

Magnetische Feldlinien sind *gedachte Linien*, die für jeden Punkt eines magnetischen Feldes die *Richtung der Kraft* angeben, die auf einen sehr kleinen magnetischen Probekörper (Magnetnadel, Eisenfeilspan) wirkt. Sie sind ein *Modell*, das zur Veranschaulichung des tatsächlich existierenden, aber unsichtbaren magnetischen Feldes dient.

Festlegung: Der Richtungssinn magnetischer Feldlinien wird durch den Nordpol eines magnetischen Probekörpers angezeigt.

Magnetisches Feld als Träger von Energie

Zum Aufbau eines magnetischen Feldes muß *Arbeit* verrichtet werden.

■ Beim Trennen zweier Stabmagnete wird mechanische Arbeit verrichtet. Dabei wird zwischen den ungleichnamigen Polen ein magnetisches Feld aufgebaut (Bild 131/1).

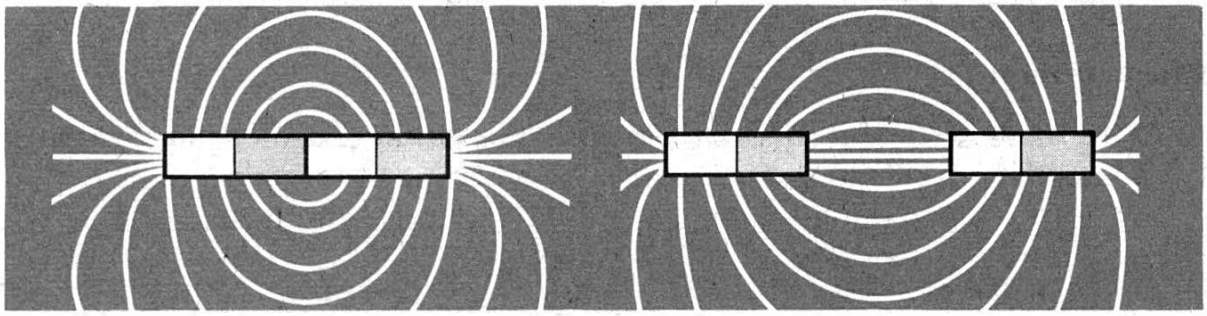


Bild 131/1

Eine Glühlampe, die in Reihe mit einer Spule geschaltet wurde, leuchtet erst kurze Zeit *nach* dem Schließen des Stromkreises auf, weil die elektrische Energie zunächst zum Aufbau des Magnetfeldes benötigt wird.

↗ Selbstinduktion, S. 138

Die im magnetischen Feld gespeicherte Energie kann in andere Energiearten umgewandelt werden. Dabei wird das magnetische Feld abgebaut.

■ Unter dem Einfluß magnetischer Kräfte bewegt sich ein Stabmagnet auf einen anderen zu. Es wird magnetische Feldenergie in mechanische Energie umgewandelt.

Stärke des magnetischen Feldes

im Innern einer langen Spule ist
direkt proportional
- der Stromstärke,
- der Windungsanzahl,

umgekehrt proportional
- der Spulenlänge,

abhängig vom
- Stoff des Spulenkörpers.

Magnetische Werkstoffe

	Hartmagnetische Werkstoffe	Weichmagnetische Werkstoffe
Eigenschaften	Starker Dauermagnetismus, schwer magnetisierbar	Schwacher Dauermagnetismus, leicht magnetisierbar
Stoffe (Beispiele)	Stahl, hartmagnetische Legierungen, keramische Werkstoffe, hartmagnetische Ferrite (z. B. Maniperm)	Weicheisen, weichmagnetische Legierungen, keramische Werkstoffe, weichmagnetische Ferrite (z. B. Manifer)
Anwendungs-beispiele	Lautsprecher, Fahrraddynamo, Kleinstmotoren, elektrische Meßgeräte	Ferrit-Antennenstäbe, Spulenkerne für HF- und Fernmeldetechnik

Elektromagnet

ist eine stromdurchflossene Spule (meist mit Eisenkern versehen), deren magnetische Kraft genutzt wird.

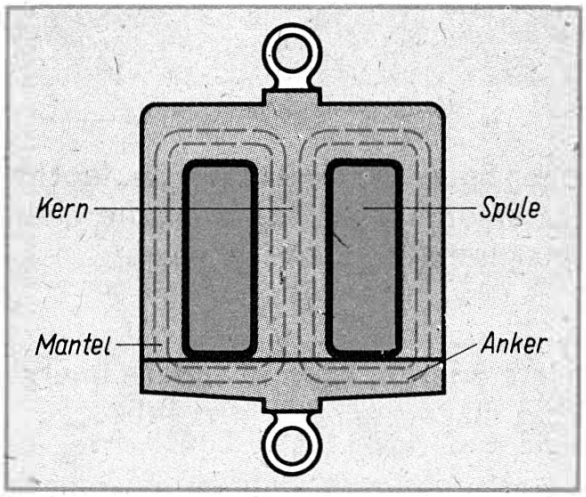


Bild 132/1 Lasthebemagnet

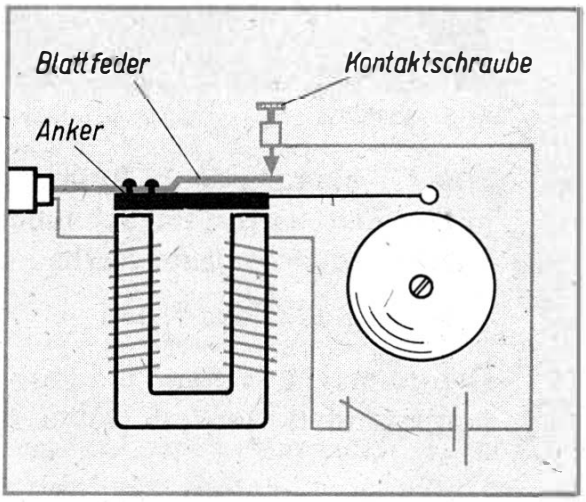


Bild 132/2 Elektrische Klingel

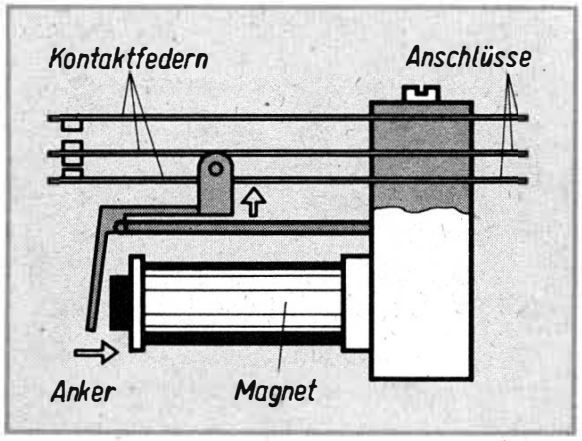


Bild 132/3 Relais (elektromagnetischer Schalter)

Elektrische Ladungen im magnetischen Feld

Ein magnetisches Feld übt auf *ruhende* elektrische Ladungsträger keine Wirkung aus.
Auf *bewegte* Ladungsträger wirkt im magnetischen Feld eine Kraft. Die Kraftrichtung steht senkrecht auf der Ebene, die von der Richtung des magnetischen Feldes und der Bewegungsrichtung des Ladungsträgers aufgespannt wird.

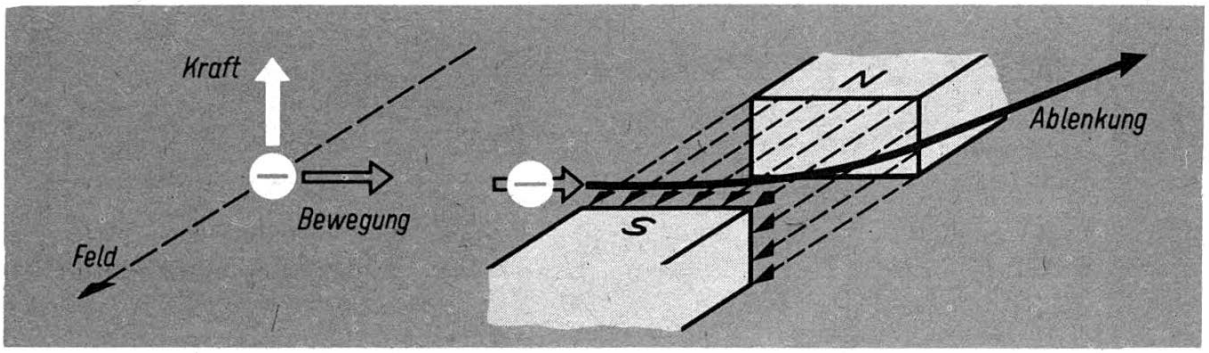


Bild 133/1 Bewegter elektrischer Ladungsträger im magnetischen Feld

Der Richtungssinn der Kraft wird umgekehrt
- bei Umkehrung der Feldrichtung,
- bei Umkehrung der Bewegungsrichtung der Ladungsträger,
- bei Wechsel der Ladungsart.

Die Ablenkung bewegter Ladungsträger im magnetischen Feld wird u. a. zur magnetischen Ablenkung von Elektronenstrahlen angewendet.

↗ Elektronenstrahlröhre, S. 147

Elektromotorisches Prinzip

Auf einen stromführenden Leiter wirkt im magnetischen Feld eine Kraft. Die Kraftrichtung steht senkrecht auf der Ebene, die von der Richtung des magnetischen Feldes und der Stromrichtung aufgespannt wird.
Die Ursache dieser Erscheinung ist die Ablenkung bewegter Ladungsträger im magnetischen Feld. Dabei wird elektrische Energie in kinetische Energie umgewandelt.

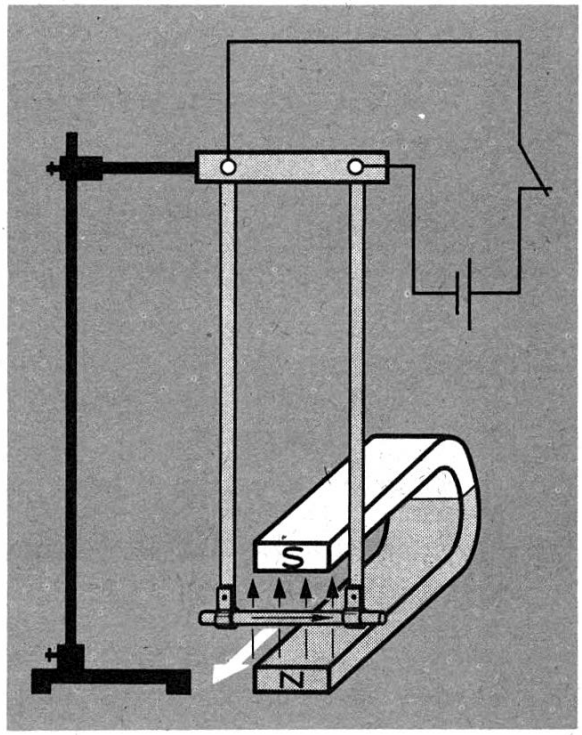
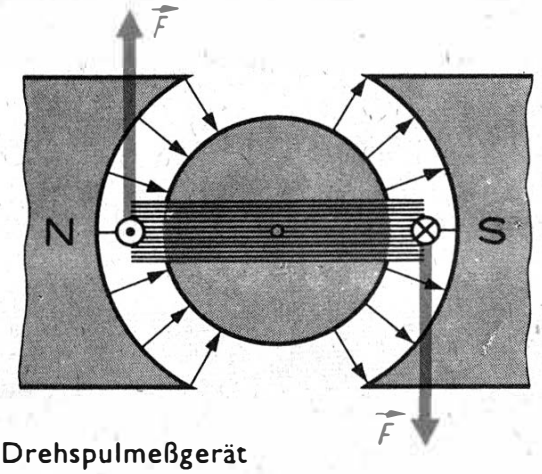
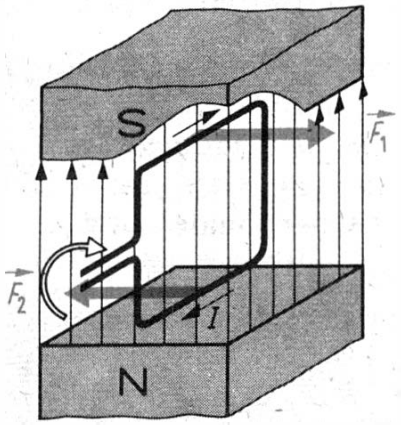


Bild 133/2



Drehspulmeßgerät

Die stromdurchflossene Spule dreht sich im Feld eines Dauermagneten



Gleichstrommotor

Die stromdurchflossene Spule (Anker) dreht sich im Feld eines Dauer- oder Elektromagneten. Ein Kollektor bewirkt das rechtzeitige Ändern der Stromrichtung im Anker, so daß eine ständige Drehbewegung hervorgerufen wird

5.3. Elektromagnetische Induktion

Die elektromagnetische Induktion ist ein physikalischer Vorgang, bei dem durch magnetische Felder in Leitern Spannungen hervorgerufen werden. Die elektromagnetische Induktion ist die Grundlage wesentlicher technischer Prozesse der Energieumwandlung und der Energiebereitstellung für die Volkswirtschaft.

Generatorprinzip

In einem bewegten Leiter wird durch ein magnetisches Feld eine Spannung induziert, bei geschlossenem Stromkreis fließt ein induzierter Strom. Bei diesem Vorgang wird mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt (Umkehrung des elektromotorischen Prinzips).

↗ elektromotorisches Prinzip, S. 133

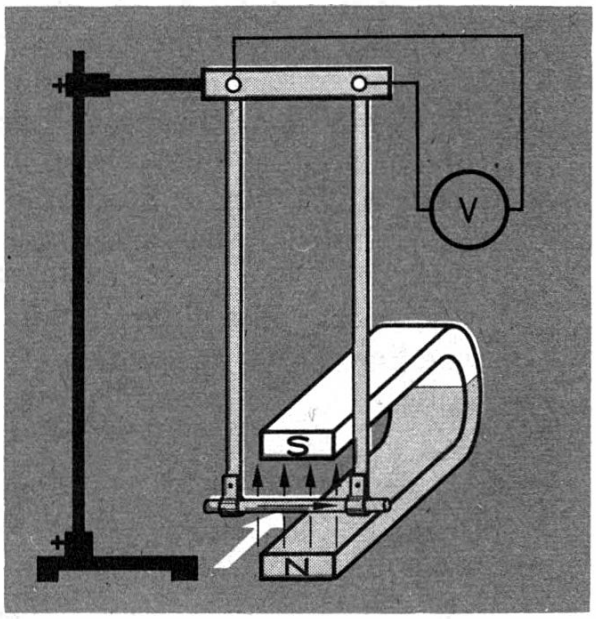


Bild 134/3

MHD-Generator

Das Generatorprinzip gilt auch für Ladungsträger, die sich außerhalb eines festen Leiters im magnetischen Feld bewegen (z. B. leitender Gasstrahl). Die Erscheinung wird zur Spannungserzeugung im magnetohydrodynamischen Generator (MHD-Generator) genutzt.

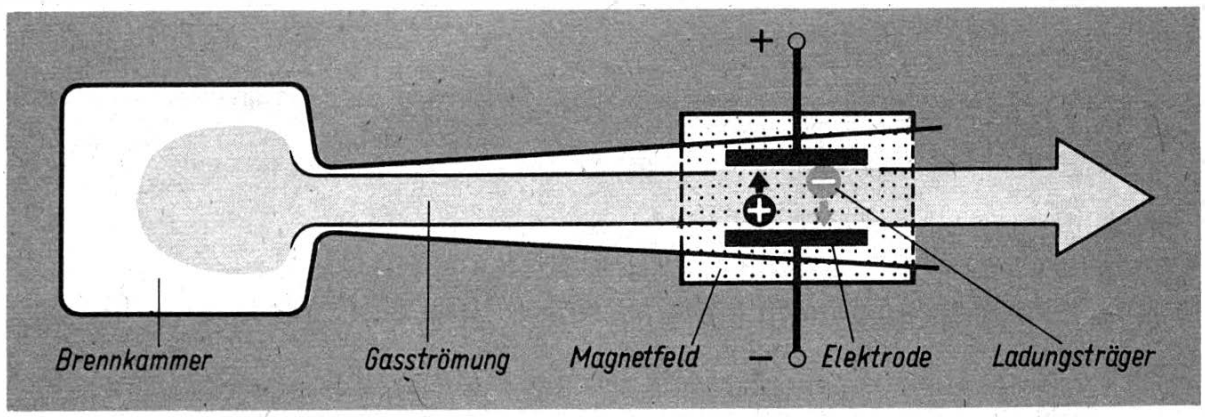


Bild 135/1

In der Brennkammer wird ein Brennstoff verbrannt. Die mit hoher Geschwindigkeit austretenden Gase enthalten positive und negative Ladungsträger. Sie werden durch das magnetische Feld getrennt und laden die beiden Elektroden entgegengesetzt auf.

Elektromagnetische Induktion in einer Spule

▶ Ändert sich das eine Spule durchsetzende magnetische Feld, so wird in der Spule eine Spannung induziert.

- Feldänderung durch Bewegung eines Dauermagneten,

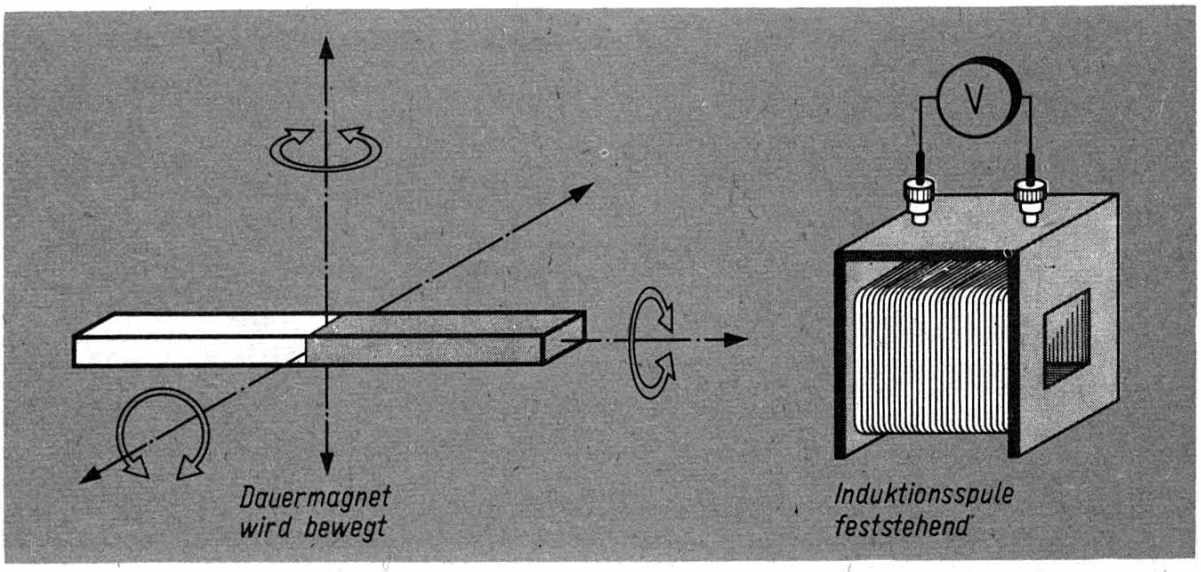


Bild 135/2

- Feldänderung durch Bewegung einer Spule,

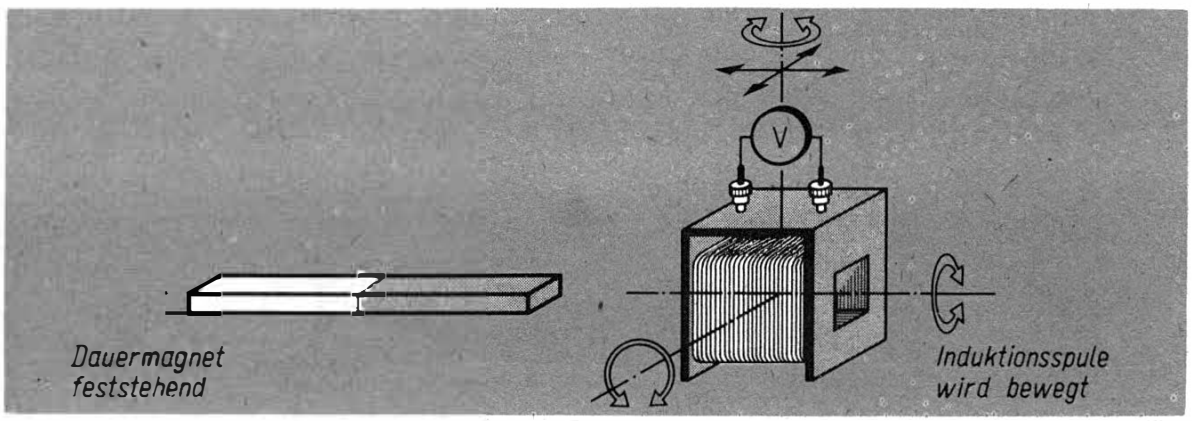


Bild 136/1

- Feldänderung durch Ein- und Ausschalten des Stroms in der Erregerspule,

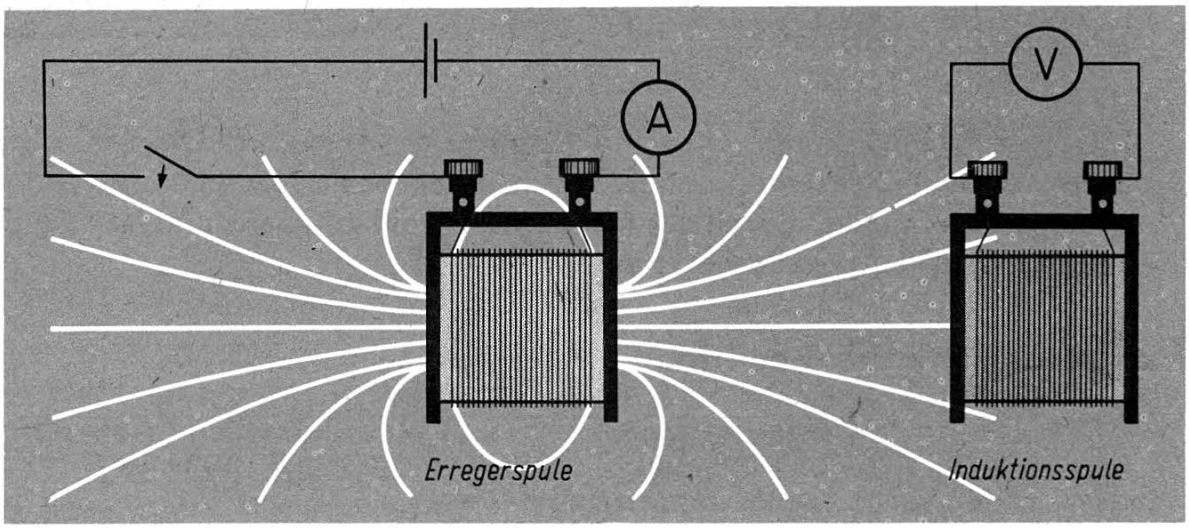
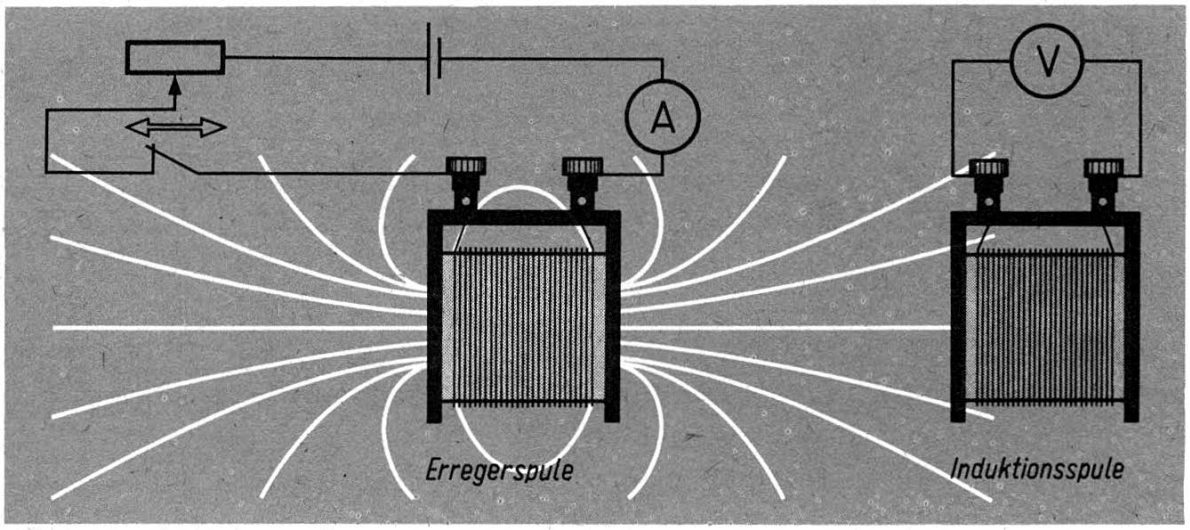


Bild 136/2

- Feldänderung durch Änderung der Stromstärke in der Erregerspule,



- Feldänderung durch Einführen eines Eisenkerns in die Erregerspule.

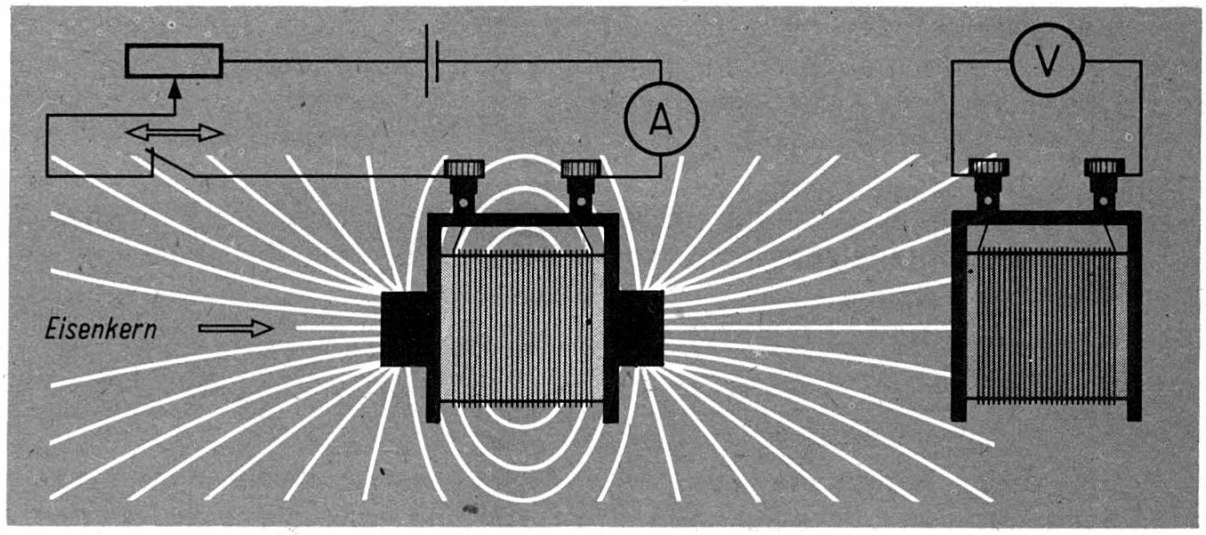


Bild 137/1

↗ Wechselstromgenerator, S. 181
↗ Transformatoren, S. 187
↗ geschlossener Schwingkreis, S. 177

Induktionsspannung

Die Induktionsspannung ist proportional
- der Änderungsgeschwindigkeit des Magnetfeldes, das die Spule durchsetzt,
- dem Querschnitt der Induktionsspule,
- der Windungszahl der Induktionsspule.

Lenzsches Gesetz

▶ Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, daß sein Magnetfeld der Ursache des Induktionsvorganges entgegenwirkt.

Das Lenzsche Gesetz folgt aus dem Gesetz von der Erhaltung der Energie.

↗ magnetisches Feld als Träger von Energie, S. 131

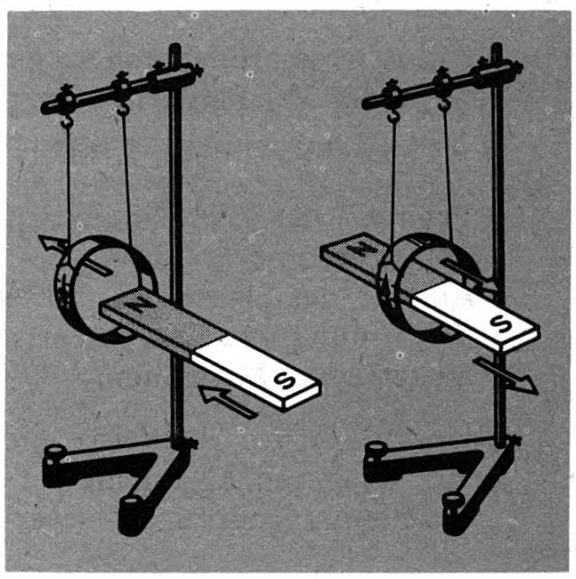


Bild 137/2

Selbstinduktion

Stromstärkeänderungen in einer Spule führen nicht nur in einer zweiten Spule, sondern auch in der Feldspule selbst zur Induktion einer Spannung. Dieser Vorgang heißt *Selbstinduktion*.

Induktivität *L* einer Spule

ist eine Spuleneigenschaft, von der die durch Selbstinduktion erzeugte Spannung abhängt.
Die Einheit ist 1 H (Henry).

$$1\ \mathrm{H} = 1\ \frac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A}}$$

Eine Spule besitzt die Induktivität 1 H, wenn in ihr bei einer Stromstärkeänderung von 1 A je Sekunde eine Spannung von 1 V induziert wird.

- Die Induktivität *L* einer Spule führt zu einer Verzögerung des Stroms beim Schließen eines Stromkreises sowie zu allmählichem Abklingen des Stroms beim Unterbrechen eines Stromkreises.
- In ähnlicher Weise wirkt die Induktivität einer Spule verzögernd beim Verstärken und Abschwächen des Stroms in einem Stromkreis.

↗ Induktiver Widerstand X_L, S. 184

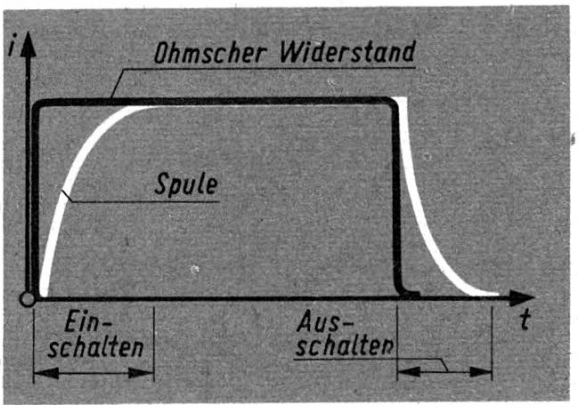


Bild 138/1

Wirbelströme

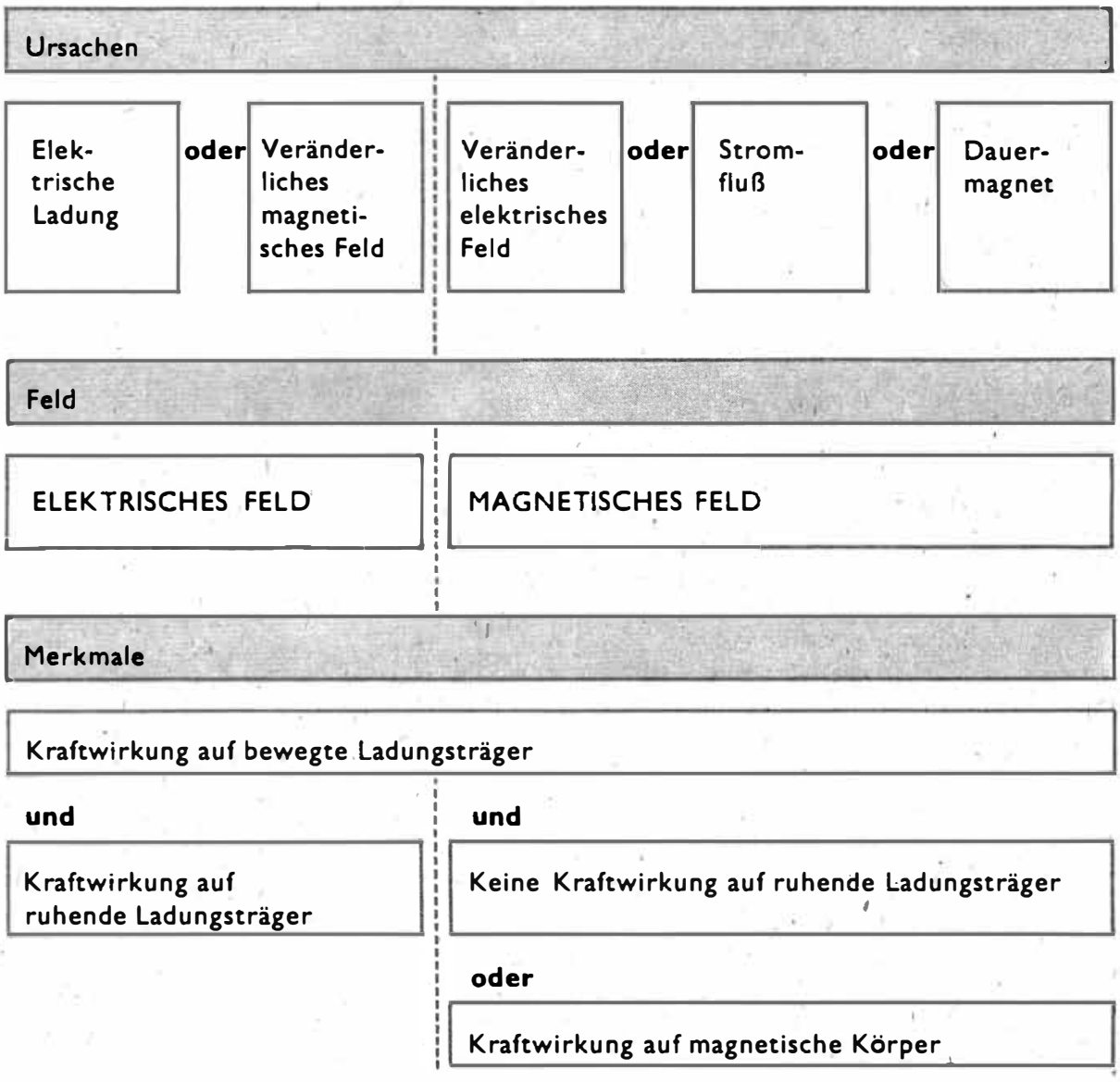
treten in massiven Metallteilen auf, wenn diese in einem magnetischen Feld bewegt werden oder einem veränderlichen magnetischen Feld ausgesetzt sind.
Die Wirbelströme sind so gerichtet, daß ihre magnetischen Felder der Ursache der Wirbelströme entgegenwirken.

↗ Lenzsches Gesetz, S. 137

- Bremsen des Waltenhofenschen Pendels,
  Wirbelstrombremse,
  Antrieb des Elektrizitätszählers,
  Erwärmung und Energieverluste bei elektrischen Maschinen.

Unerwünschte Wirbelströme können durch Verwendung von Eisenkernen aus isolierten Blechlamellen oder von schlechtleitenden Kernen aus keramischen magnetischen Materialien weitgehend eingeschränkt werden.

Ursachen und Merkmale elektrischer und magnetischer Felder



5.4. Elektrische Leitungsvorgänge

Elektrische Energie wird in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen sowie im Vakuum durch Ladungsträger transportiert. Dieser physikalische Vorgang wird als Leitungsvorgang bezeichnet.

↗ elektrischer Strom, Stromrichtung, S. 112

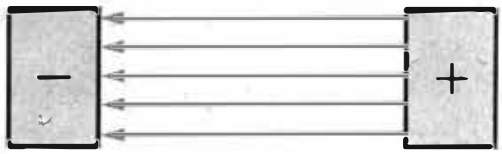
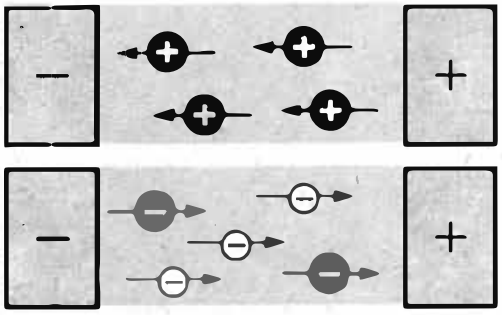
Allgemeines Modell

Mit dem allgemeinen Modell des elektrischen Leitungsvorganges können Leitungsvorgänge in verschiedenen Stoffen und im Vakuum erklärt werden.

↗ Modellmethode, S. 33

Mit dem allgemeinen Modell können Folgerungen für den Leitungsvorgang in einem speziellen Stoff oder im Vakuum gezogen werden, die dann in der Praxis überprüft werden müssen.

Merkmale des allgemeinen Modells

Elektrisches Feld	
Frei bewegliche Ladungsträger: A, B: Ionen C: Elektron	
Gerichtete Bewegung der Ladungsträger im Feld infolge der Feldkräfte und dadurch Energieumwandlungen: elektrischer Strom	
Gesamtstromstärke	$I = I_- + I_+$

Leitungsvorgang in Festkörpern

Kann in Metallen und in Halbleitern auftreten.

Metalle sind Stoffe, die eine elektrische Leitfähigkeit besitzen.

Natrium, Kupfer, Eisen

Die im Metallgitter (Bild 140/4) vorhandenen, frei beweglichen Elektronen bewegen sich zum positiven Pol hin; $I = I_-$. Durch Wechselwirkung dieser Elektronen mit den Gitterbausteinen wird ein Teil der kinetischen Energie der Elektronen in kinetische Energie der Gitterbausteine, in Wärmeenergie umgewandelt.

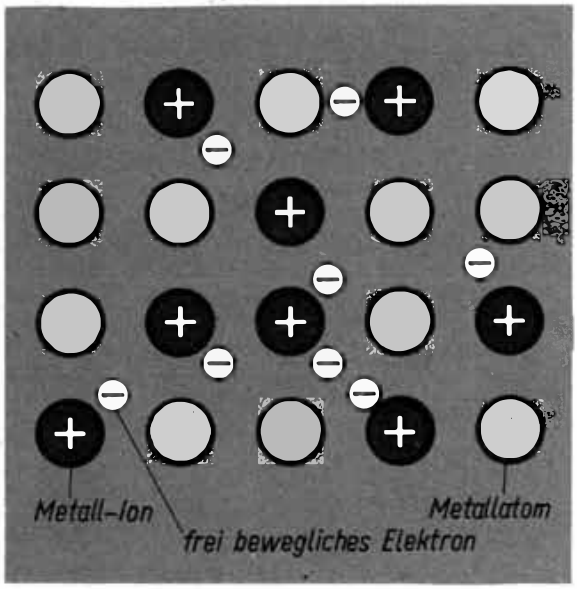


Bild 140/4 Gittermodell eines Metalls

Bei konstanter Temperatur des metallischen Leiters gilt das *Ohmsche Gesetz* (↗ S. 120).

Isolatoren sind Stoffe, die unter Normalbedingungen keine elektrische Leitfähigkeit besitzen, weil äußerst wenige frei bewegliche Elektronen vorhanden sind.

Porzellan, Glimmer, Hartpapier

Halbleiter sind Stoffe, deren elektrisches Leitfähigkeitsverhalten unter Normalbedingungen zwischen dem der Metalle und der Isolatoren liegt.

Germanium, Silizium, Schwermetalloxide und -sulfide, Graphit

Eigenleitung. Bei $T = 0\,K$ sind reine Halbleiter Isolatoren. Die Elektronen sind an regelmäßig angeordnete Atome gebunden. Durch Energiezufuhr (Erwärmung, Belichtung) können Elektronen aus dem Kristallverband herausgelöst werden und positive „Löcher" (Defektelektronen) hinterlassen. *Elektronen* und *Defektelektronen* ermöglichen eine elektrische Leitfähigkeit; $I = I_- + I_+$.

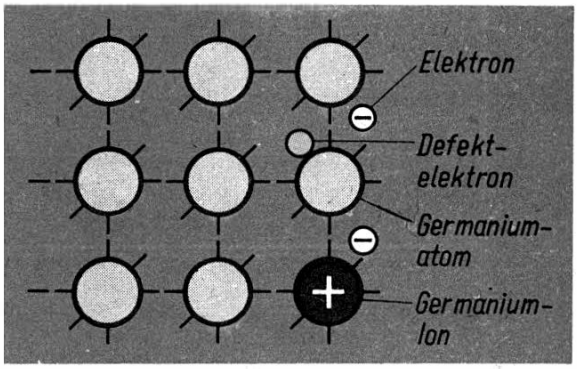
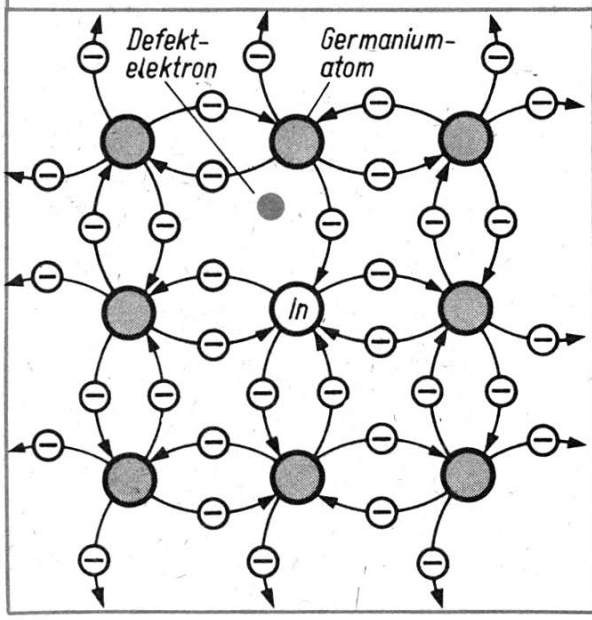
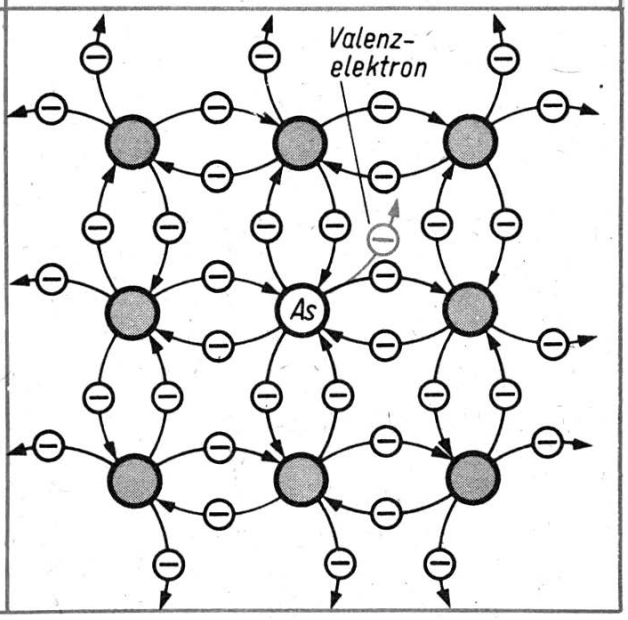


Bild 141/1 Aufbau eines Halbleitereinkristalls mit Eigenleitung ($T > 0\,K$)

Störstellenleitung. Durch Einbau von Fremdatomen in einen reinen Halbleitereinkristall können zusätzliche, frei bewegliche Ladungsträger erzeugt werden.

Einbau von dreiwertigem Indium in einen Halbleitereinkristall. Durch das fehlende vierte Valenzelektron wird der Kristall p-leitend ($I_+ \gg I_-$)	Einbau von fünfwertigem Arsen in einen Halbleitereinkristall. Durch das fünfte Valenzelektron wird der Kristall n-leitend ($I_- \gg I_+$)
	

Die durch die Eigenleitung der Halbleiter mögliche elektrische Leitfähigkeit wird durch Störstellenleitung zusätzlich erhöht. Den Vorgang des Einbaus von Fremdatomen nennt man *Dotieren.*

Leitungsvorgang in Flüssigkeiten

Elektrolyte sind Lösungen oder Schmelzen, die den elektrischen Strom leiten. Lösungsmittel ist meist Wasser.

- Salze, Säuren, Basen in wäßriger Lösung

Durch Dissoziation der Elektrolyte im Wasser entstehen frei bewegliche, positive und negative *Ionen.* Im elektrischen Feld wandern die Ionen zur Katode (Kationen) und zur Anode (Anionen); $I = I_- + I_+$.

↗ Dissoziation, Ch i Üb, S. 58

An den Elektroden werden die Ionen durch Aufnahme bzw. Abgabe von Elektronen entladen. Dabei findet eine Abscheidung von Stoffen statt.

- Kupfer-, Blei-, Zink-, Aluminiumgewinnung

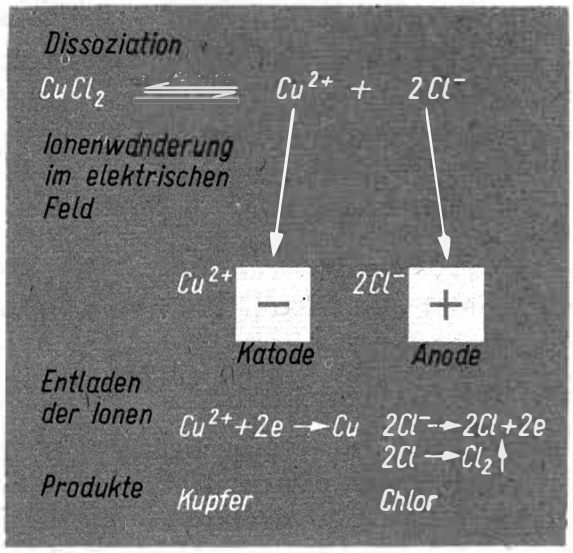


Bild 142/1 Schematische Darstellung der Vorgänge beim Stromfluß in einer wäßrigen Kupfer(II)-chlorid-Lösung

Leitungsvorgang in Gasen

Gase sind Stoffe, die aus elektrisch neutralen Teilchen (Atome, Moleküle) bestehen. Durch Energiezufuhr können *Ionen* und *Elektronen* gebildet werden, die im Gas frei beweglich sind; $I = I_- + I_+$.

- Energiezufuhr durch Erwärmung, Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlung

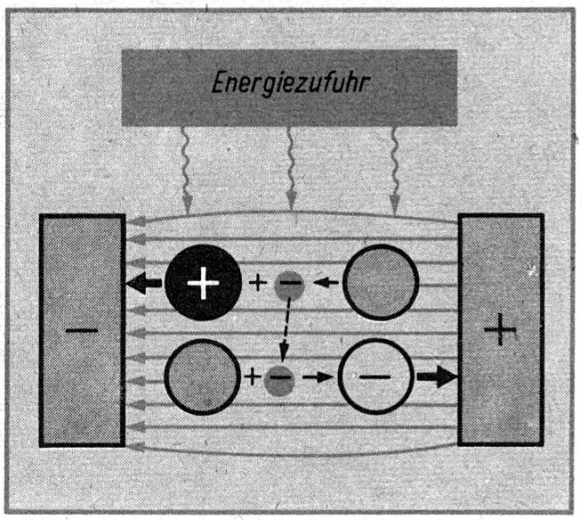


Bild 142/2 Schematische Darstellung des Leitungsvorganges in einem Gas

Stoßionisation. Die Ladungsträger eines Gases mit niedrigem Druck werden durch ein elektrisches Feld so stark beschleunigt, daß sie beim Zusammenstoß mit weiteren neutralen Gasteilchen diese ionisieren.

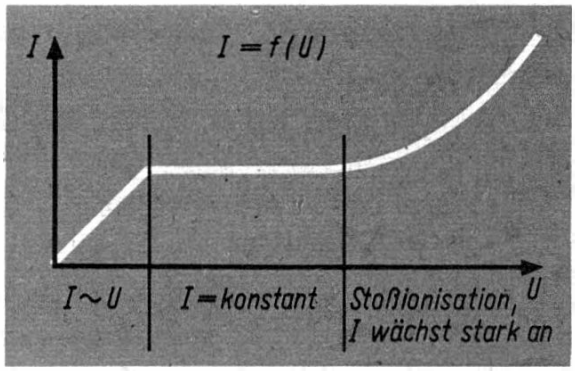


Bild 143/1 *I-U*-Kennlinie eines Gases mit niedrigem Druck

Leitungsvorgang im Vakuum

Im Vakuum ist ein elektrischer Leitungsvorgang nur möglich, wenn in das Vakuum Elektronen gebracht und diese in einem elektrischen Feld beschleunigt werden; $I = I_-$.

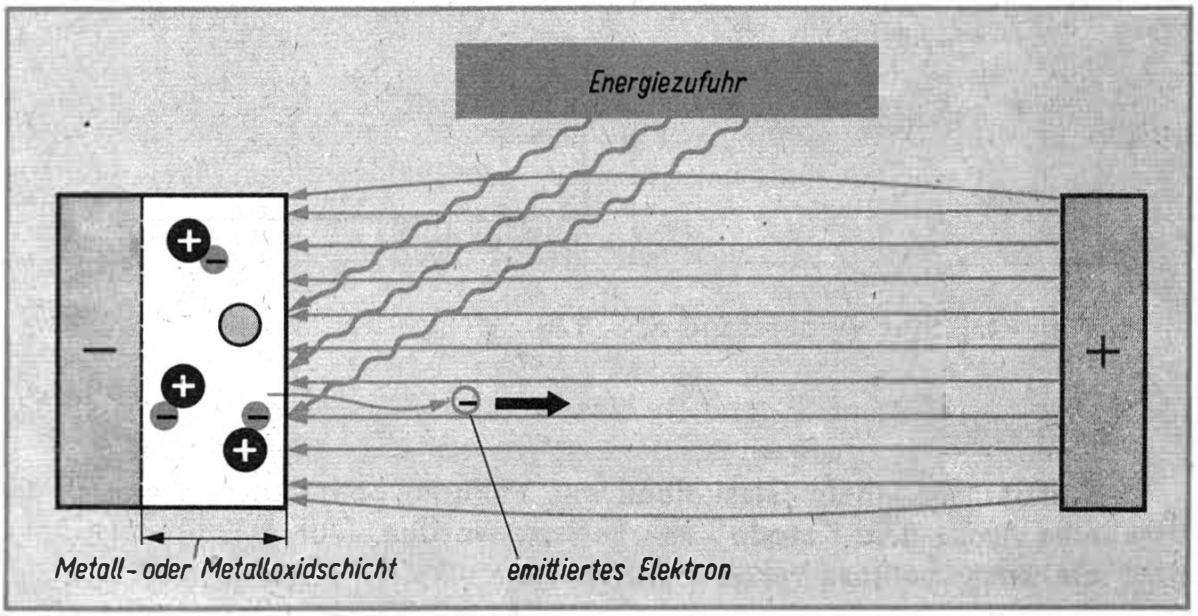
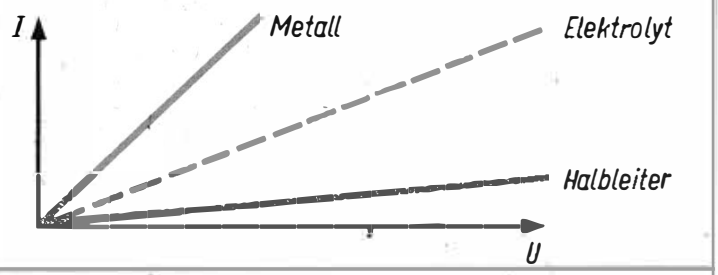
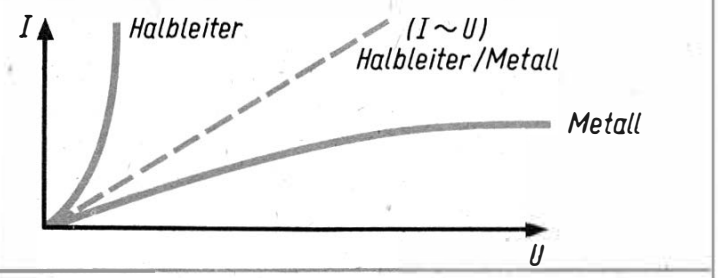
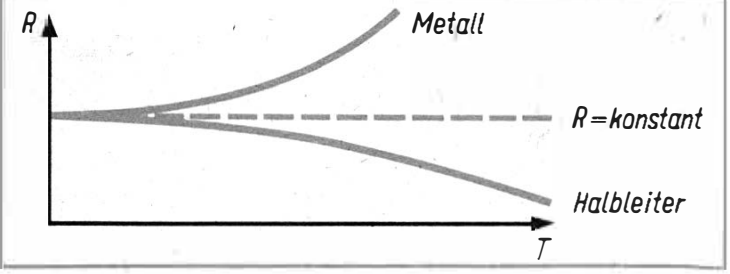


Bild 143/2 Schematische Darstellung des Leitungsvorganges im Vakuum

Art der Ladungsträgererzeugung	Glühemission	Fotoemission
Merkmal der Ladungsträgererzeugung	Durch Erwärmung erhalten Elektronen eines Körpers eine hohe kinetische Energie	Durch Belichtung erhalten Elektronen eines Körpers eine hohe kinetische Energie
Wirkung	Heraustreten der Elektronen aus der Oberfläche von Körpern aus Metall oder Metalloxid in das Vakuum	

Leitfähigkeitsverhalten einiger Stoffe

U-I-Diagramm für einen metallischen Leiter, einen Halbleiter und einen Elektrolyten bei T = konstant	
U-I-Diagramm für einen metallischen Leiter und einen Halbleiter bei Erhöhung der Temperatur	
R-T-Diagramm für einen metallischen Leiter und einen Halbleiter	

↗ elektrischer Widerstand *R*, S. 120

Röhrendiode

Aufbau. In einem Glaskolben mit Vakuum befinden sich eine *Katode* und eine *Anode*. Die Katode kann geheizt werden. Durch Glühemission werden Elektronen in das Vakuum emittiert.

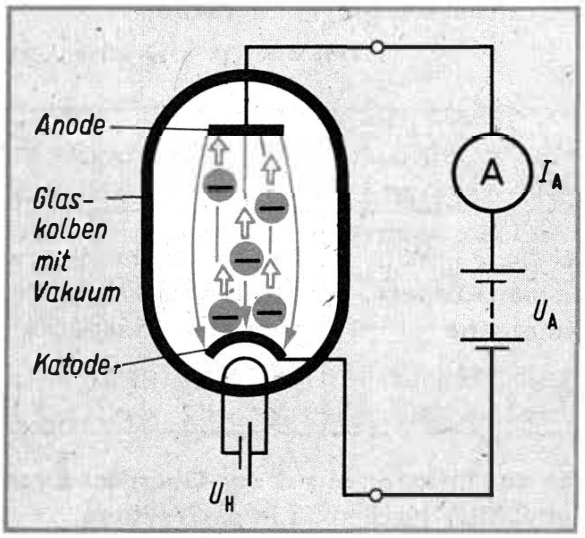


Bild 144/4 Aufbau und Funktion einer Röhrendiode, Polung in Durchlaßrichtung

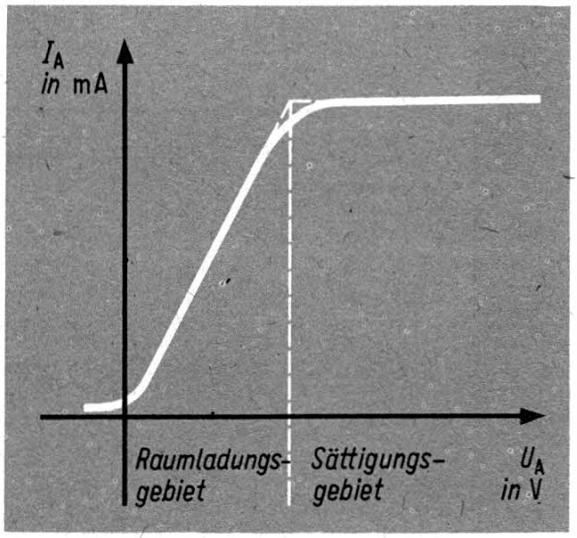


Bild 144/5 I_A-U_A-Kennlinie einer Röhrendiode

Arbeitsweise. Verbindet man die Anode mit dem positiven und die geheizte Katode mit dem negativen Pol einer Spannungsquelle, so fließt ein Strom (Durchlaßrichtung). Bei umgekehrter Polung ist kein Stromfluß nachweisbar (Sperrichtung). Die Eigenschaften der Elektronenröhren kann man aus ihren *Kennlinien* ablesen. Die Kennlinie der Röhrendioden wird durch den Zusammenhang $I_A = f(U_A)$ dargestellt.

Erhöht man die Anodenspannung U_A, so wächst die Anodenstromstärke I_A (Raumladungsgebiet), bis ein maximaler Wert erreicht ist (Sättigungsgebiet).

■ Gleichrichterwirkung einer Röhrendiode

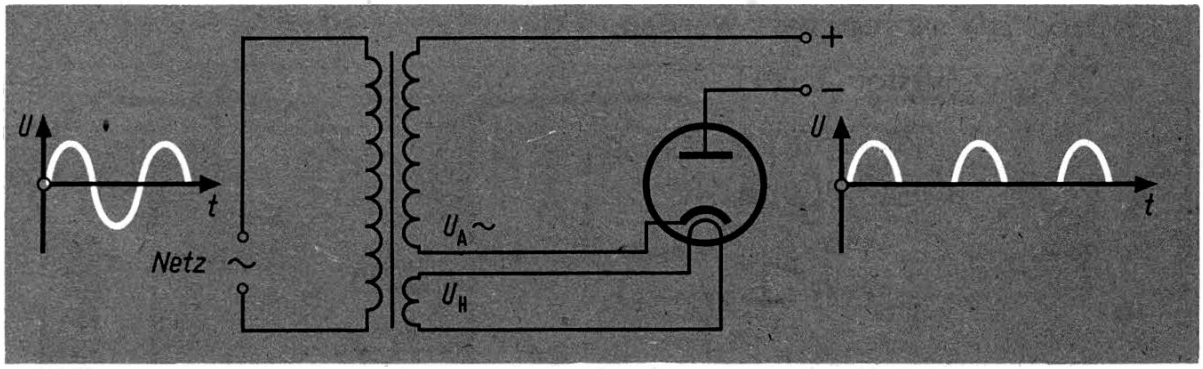


Bild 145/1 Einweggleichrichtung einer Wechselspannung mit einer Diode

↗ Schaltzeichen einer Röhrendiode, S. 245

Fotozelle

Fotozellen sind Zweielektrodenröhren (Dioden), aus deren Fotokatode (z. B. Alkalimetalle) bei Belichtung Elektronen heraustreten (Fotoemission).

↗ Fotoemission, S. 143

Wird in der Fotozelle ein elektrisches Feld erzeugt, so kann ein vom Lichtstrom abhängiger Fotostrom fließen.

■ Anwendungsbeispiele: Zählvorrichtung am Fließband, Steuerung von Türen und Rolltreppen, Lichtschranken, Tonfilmtechnik

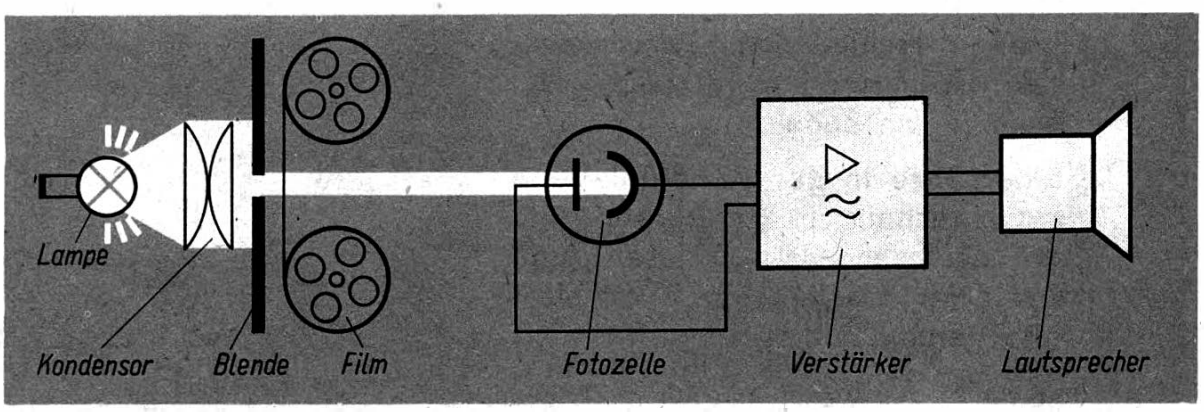


Bild 145/2 Prinzip der Wiedergabeeinrichtung beim Tonfilm

10 [02 09 05]

Röhrentriode

Aufbau. In einem Glaskolben mit hohem Vakuum befinden sich drei Elektroden: Katode, Anode, Gitter.

↗ Röhrendiode, S. 144

Arbeitsweise. Die Elektronen werden durch Glühemission aus der Katode herausgelöst.
An das Gitter wird eine gegenüber der Katode negative Spannung gelegt. Damit wird dem elektrischen Feld zwischen Katode und Anode ein zweites, entgegengesetzt gerichtetes Feld überlagert; die Anodenstromstärke I_A kann in Abhängigkeit von der Gitterspannung U_G zwischen Null und einem Höchstwert gesteuert werden.

↗ Glühemission, S. 143

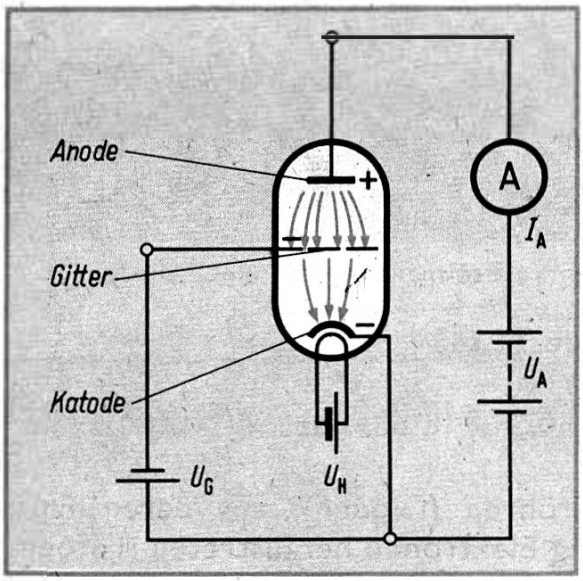


Bild 146/1 Aufbau und Funktion einer Röhrentriode

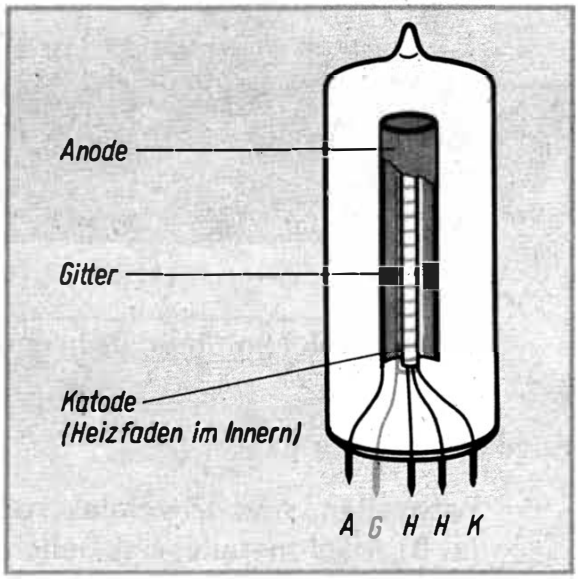


Bild 146/2 Anordnung der Bauteile in einer Röhrentriode

↗ Schaltzeichen, S. 245

Bei negativer Gitterspannung gelangen keine Elektronen auf das Gitter. Die Steuerung erfolgt dabei leistungs- und annähernd trägheitslos.

Unter verschiedenen *Triodenkennlinien* ist besonders die $I_A - U_G$-*Kennlinie* von Bedeutung.

■ Steuerröhre in der Rundfunk- und Fernsehtechnik, in Verstärker- und Rechenanlagen; kontaktloser (und annähernd trägheitsloser) Schalter in Rechenmaschinen

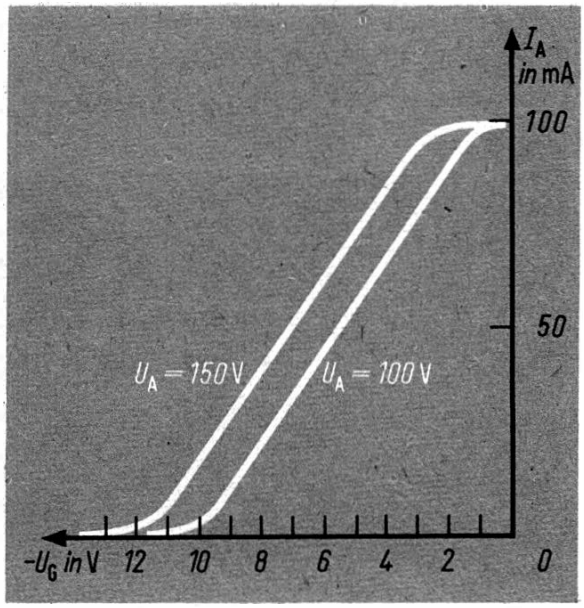


Bild 146/3 I_A-U_G-Kennlinien einer Triode für zwei konstante Anodenspannungen

Elektronenstrahlröhre

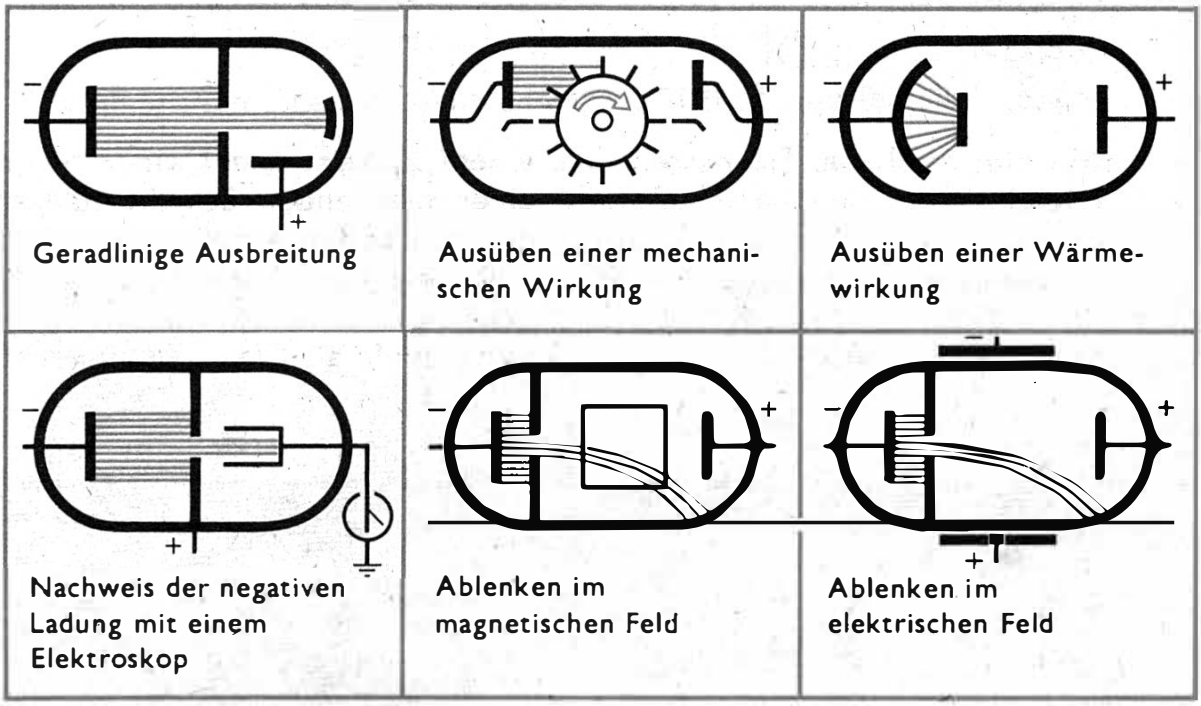
In dieser Röhre werden die Eigenschaften der *Elektronenstrahlen* genutzt.

Elektronenstrahlen werden nach ihrer Herkunft auch Katodenstrahlen genannt.

Eigenschaften der Elektronenstrahlen. Sie schwärzen fotografische Platten, schlagen aus Metallen Sekundärelektronen heraus, ionisieren Gase, regen Leuchtstoffe zum Leuchten an und erzeugen beim Aufprall auf Metalle Röntgenstrahlen.

↗ Röntgenstrahlen, S. 212

Weitere Eigenschaften:



Aufbau und Wirkungsweise. Die von der *Katode* emittierten Elektronen werden in einem konstanten elektrischen Feld gleichmäßig beschleunigt und danach durch *elektrische* oder *magnetische Felder* abgelenkt. Auf einem *Leuchtschirm* rufen sie eine Leuchtwirkung hervor. Die Helligkeit des Leuchtpunktes kann geregelt werden.

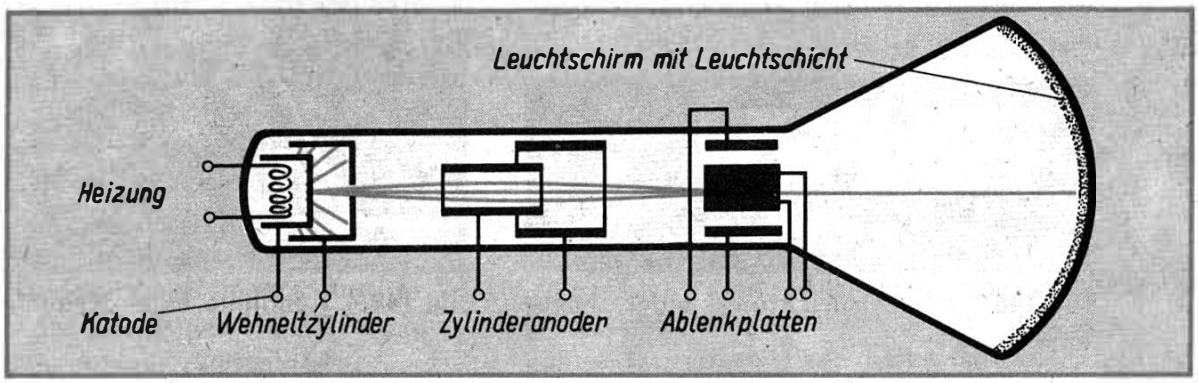


Bild 147/7 Aufbau einer Elektronenstrahlröhre

Elektronenstrahloszillograf, Bildröhre im Fernsehempfänger

Der *Elektronenstrahloszillograf* ist ein elektrisches Meßgerät, in dem die Elektronenstrahlröhre angewendet wird. Legt man eine Wechselspannung an das vertikale Plattenpaar der Röhre, so wird der vorher in der Mitte des Bildes sichtbare Leuchtpunkt abwechselnd nach oben und unten abgelenkt. Durch eine Kippspannung wird der Strahl zusätzlich periodisch in horizontaler Richtung abgelenkt, so daß man auf dem Leuchtschirm charakteristische Spannungskurven erhält. Mit Hilfe des mit einer Skale versehenen Gerätes können diese Kurven gedeutet und ausgemessen werden.

Halbleiterbauelemente

Die Funktion der Halbleiterbauelemente beruht auf der elektrischen Leitfähigkeit der Halbleiter (Eigenleitung, Störstellenleitung).

↗ Eigenleitung, S. 141
↗ Störstellenleitung, S. 141

Halbleiterdiode. Sie besteht aus einem Einkristall mit einer p-leitenden (Defektelektronenüberschuß) und einer n-leitenden Schicht (Elektronenüberschuß). Je nach der Richtung des von außen angelegten elektrischen Feldes kann in der Diode ein Strom fließen (Durchlaßrichtung) oder dieser Stromfluß verhindert werden (Sperrichtung).
Die Halbleiterdiode wird wie die Röhrendiode als *Gleichrichter* verwendet.

↗ Röhrendiode, S. 144

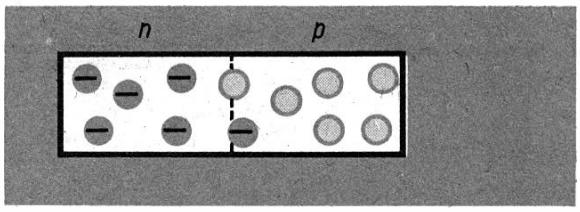


Bild 148/1 Aufbau einer Halbleiterdiode

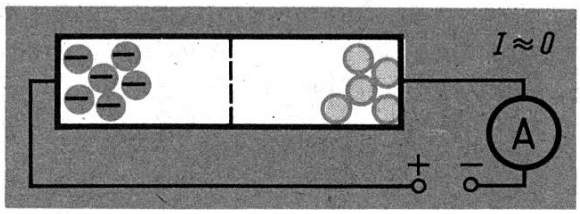


Bild 148/2 Sperrichtung einer Halbleiterdiode

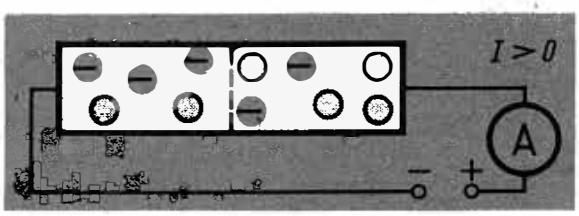


Bild 148/3 Durchlaßrichtung einer Halbleiterdiode

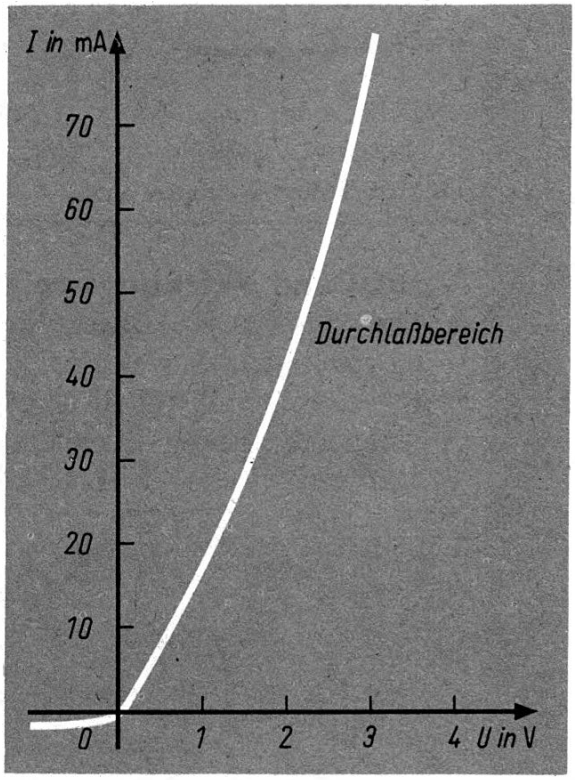


Bild 148/4 Kennlinie einer Halbleiterdiode

↗ Schaltzeichen einer Halbleiterdiode, S. 245

Flächentransistor. Er besteht aus einem Halbleitereinkristall mit drei Schichten (p-n-p oder n-p-n).

↗ Störstellenleitung, S. 141

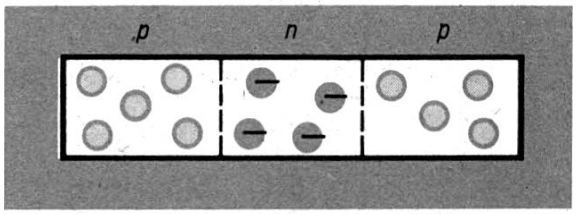
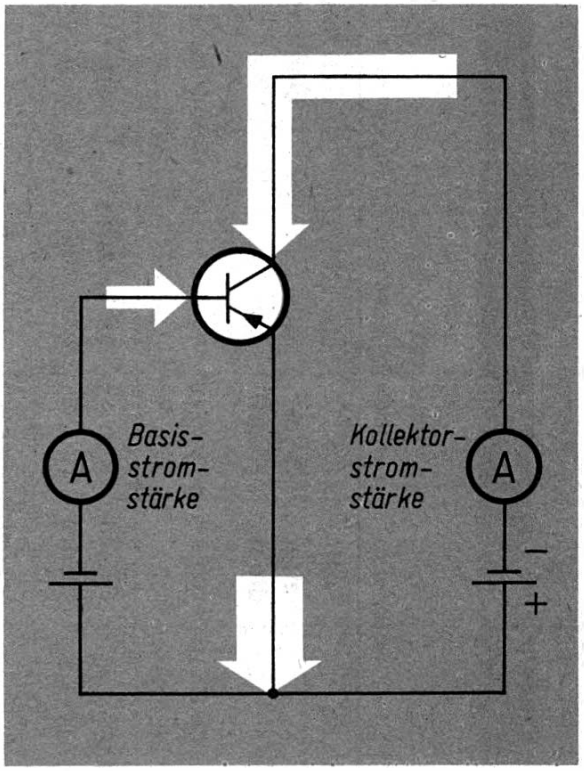


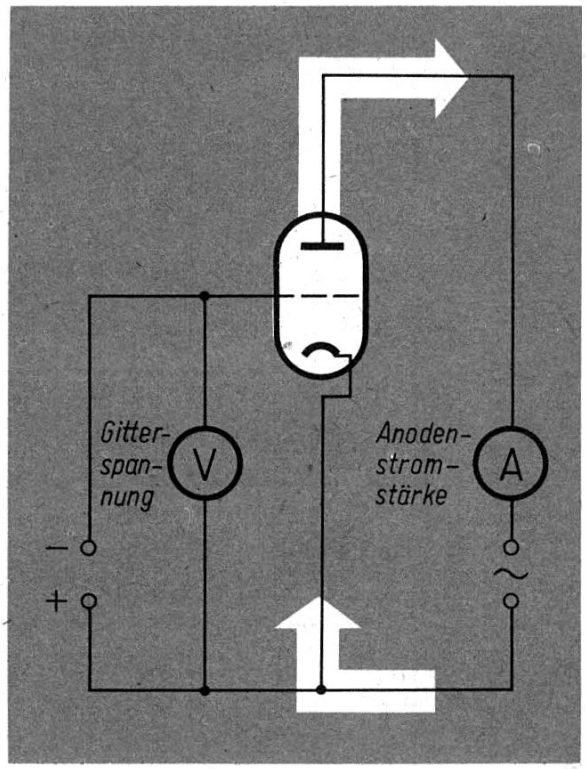
Bild 149/1 Aufbau eines Flächentransistors

Die äußeren Anschlüsse nennt man *Emitter* E und *Kollektor* K, den mittleren Anschluß *Basis* B. Bei einem Transistor kann mit einer geringen Basisstromstärke die Kollektorstromstärke gesteuert werden.

↗ Schaltzeichen eines Flächentransistors, S. 245

Vergleich der *Steuerwirkung* eines Transistors mit der einer Röhrentriode:





↗ Röhrentriode, S. 146

■ Anwendungsbeispiele: Rundfunk- und Fernsehtechnik, Datenverarbeitungsanlagen (EDVA)

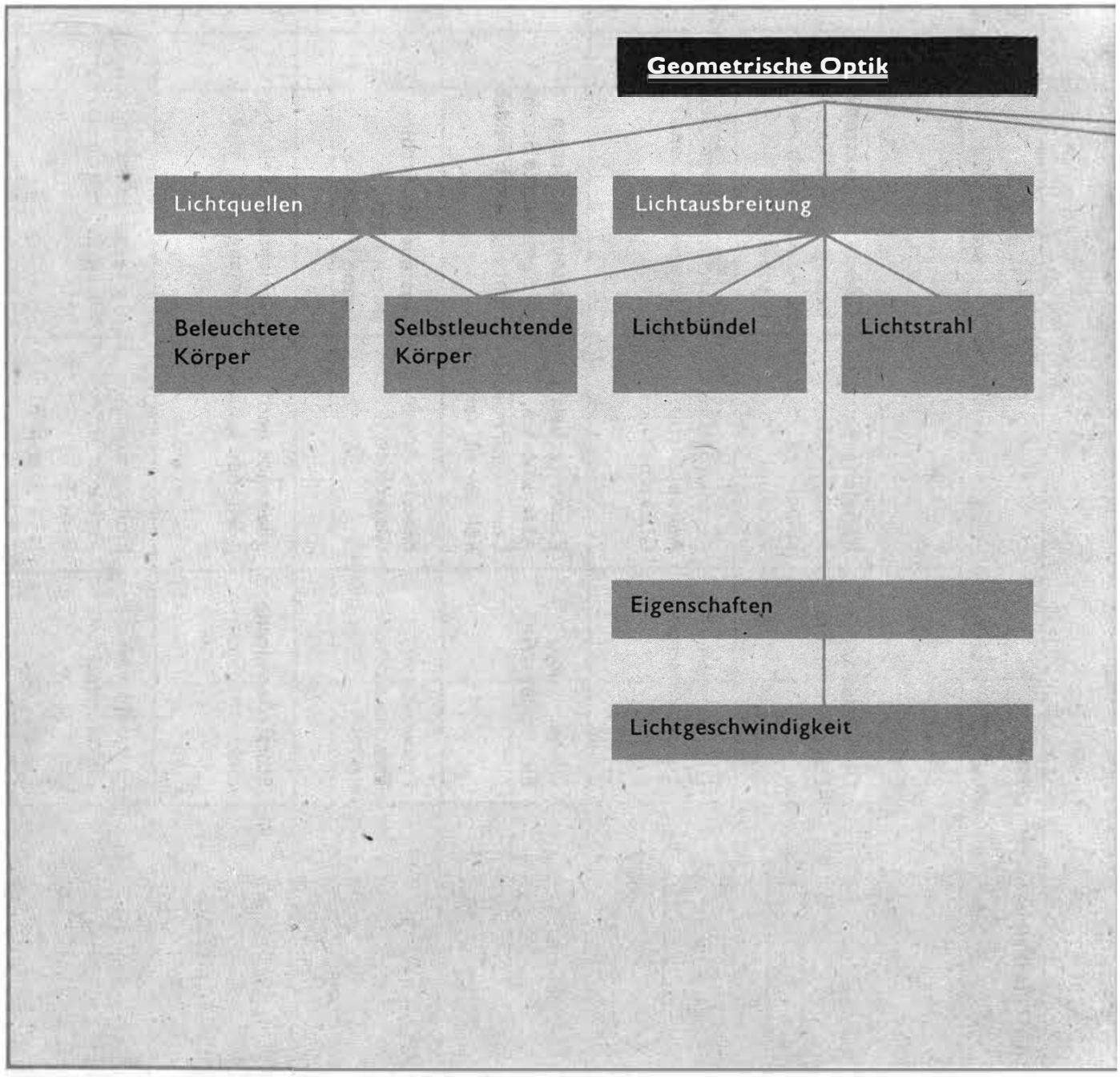
Halbleiterbauelemente sind im Vergleich zu Elektronenröhren weniger störanfällig. Sie benötigen keinen Heizstrom, besitzen bedeutend geringere Abmessungen und eine große Lebensdauer. Deshalb werden sie in immer stärkerem Maße beim Bau elektronischer Geräte eingesetzt.

Elektrische Leitungsvorgänge

	Metalle	Halbleiter		Flüssigkeiten		Gase	Vakuum		
Art der Ladungsträger	Elektronen	Elektronen, Defektelektronen		Ionen		Ionen, Elektronen	Elektronen		
Vorgang der Erzeugung von Ladungsträgern	Ladungsträger vorhanden	Energiezufuhr, Dotieren		Dissoziation		Ionisation	Emission		
							Glühemission	Fotoemission	
Gesamtstromstärke	$I = I_-$	$I = I_+ + I_-$		$I = I_+ + I_-$		$I = I_+ + I_-$	$I = I_-$		
Bauelement	Elektrische Leiter	Halbleiterdiode	Flächentransistor	Elektrolysezelle	Galvanisches Element	Gasgefüllte Fotozelle	Röhrendiode	Röhrentriode	Vakuumfotozelle
Anwendungsprinzip der Bauelemente	Ladungstransport, Energieumwandlungen	Gleichrichter	Verstärker	Zersetzung von Stoffen mit Hilfe des elektrischen Stroms	Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie		Gleichrichter	Verstärker	
		Steuerelemente				Steuerelemente			

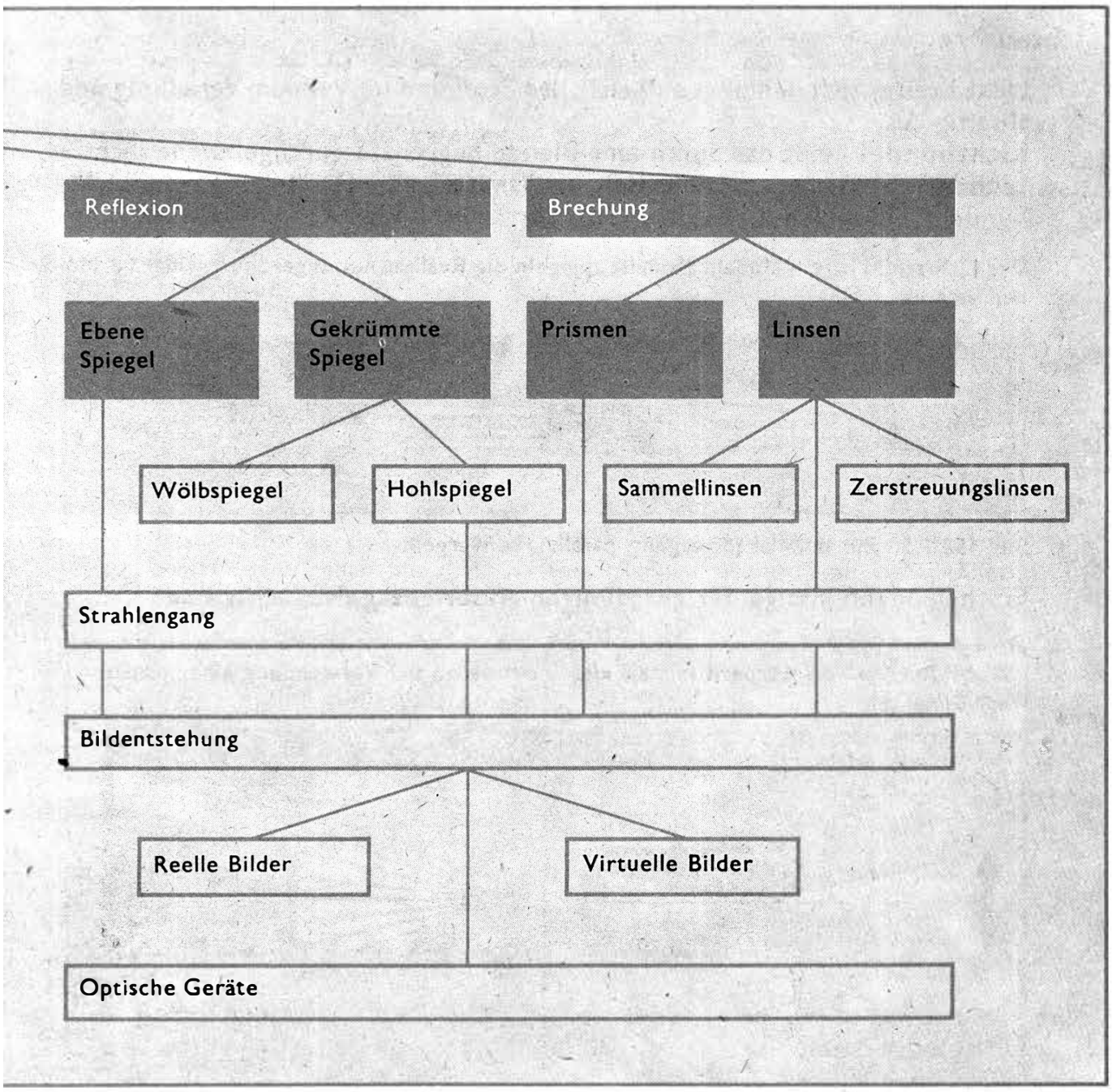
Elektrische Bauelemente

	Leitungs-mechanismus	Bauteile	Arbeitsprinzip	Kennlinie	Verwendung
Röhrendiode	Glühemission, Elektronenstrom	Katode (geheizt), Anode, Glaskolben mit Vakuum	Gerichtete Elektronenbewegung von Katode zu Anode durch elektrisches Feld	I_A U_A	Gleichrichter
Röhrentriode	Glühemission, Elektronenstrom	Katode (geheizt), Anode, Gitter, Glaskolben	Durch negatives Gitter gesteuerter Strom	I_A U_G	Verstärker
Elektronenstrahlröhre	Glühemission, Elektronenstrom	Katode (geheizt), Ablenksystem, Leuchtschirm, Glaskolben mit Vakuum	Gesteuerter Strom und gesteuerte Strahlrichtung durch Felder		Bildröhre
Fotozelle	Fotoemission, Elektronenstrom	Katode, Anode, Glaskolben	Gesteuerter Strom durch Licht (ohne Gitter)	I_A U_A	Steuerelement
Halbleiterdiode	Störstellenleitung, Elektronenstrom	p-leitende und n-leitende Schicht	Gerichteter Leitungsvorgang durch elektrische Felder	I U	Gleichrichter
Flächentransistor B K E	Störstellenleitung, Elektronenstrom	Emitter E, Kollektor K, Basis B (p–n–p, n–p–n)	Gesteuerter Strom durch Basisstromstärke	I_K I_B	Verstärker


Geometrische Optik
Lichtquellen
Lichtausbreitung
Beleuchtete Körper
Selbstleuchtende Körper
Lichtbündel
Lichtstrahl
Eigenschaften
Lichtgeschwindigkeit

Geometrische Optik 6

Die Geometrische Optik ist das Teilgebiet der Physik, in dem optische Erscheinungen und Vorgänge mit Hilfe des Modells Lichtstrahl beschrieben werden. Der Wellencharakter des Lichts wird dabei nicht berücksichtigt (↗ Lichtwellen, S. 202).



6.1. Lichtquellen und Lichtausbreitung

Lichtquellen

sind Körper, die Licht erzeugen und aussenden. Alle Körper, von denen Licht ausgesendet oder reflektiert wird, heißen **sichtbare Körper**.

Sichtbare Körper

Selbstleuchtende Körper (Lichtquellen)	Beleuchtete Körper (reflektieren Licht)
■ Glühlampe Sonne	■ Rückstrahler Mond

Lichtausbreitung

Licht breitet sich in einem einheitlichen Stoff und im Vakuum geradlinig und allseitig aus.
Lichtbündel heißt das durch eine Blende begrenzte durchgelassene Licht.
Lichtstrahlen sind zeichnerische Hilfsmittel zur Darstellung von Lichtbündeln. Sie bilden meist die Achse der Lichtbündel.

Der Lichtstrahl ist ein Modell. Modelle spiegeln die Realität nur angenähert wider (↗ Modellmethode, S. 33).

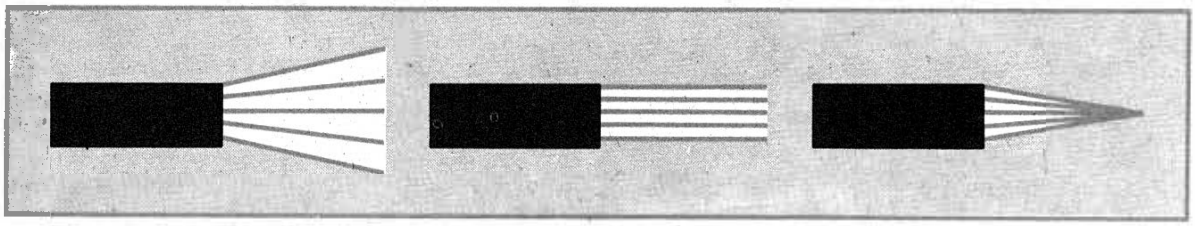
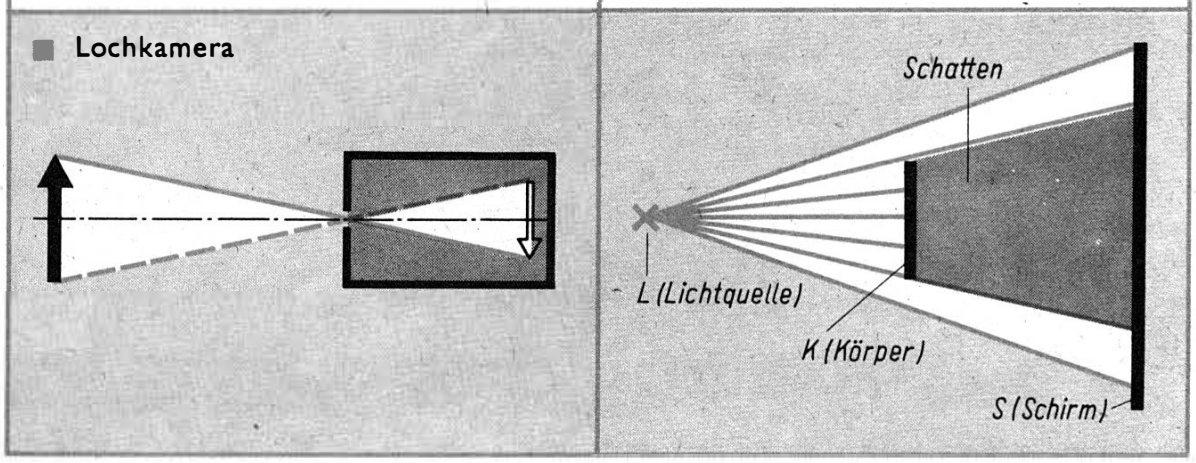
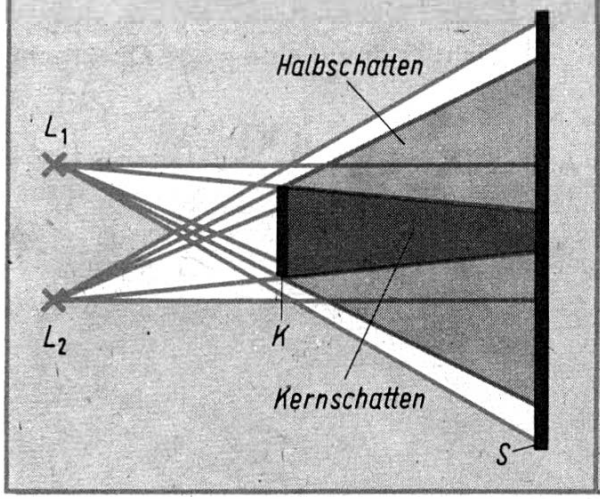
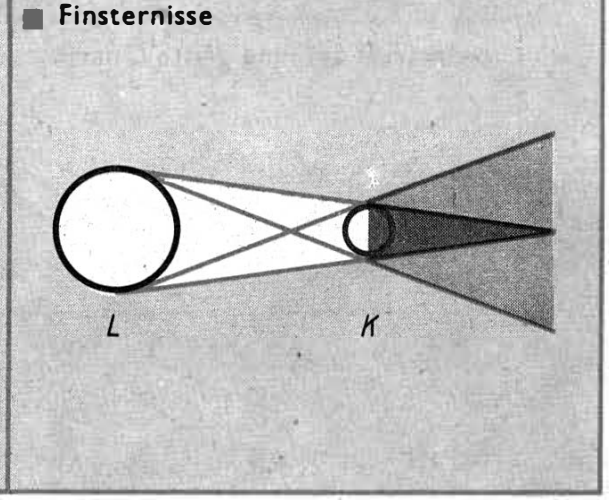


Bild 154/1 Strahlenbündel (divergent, parallel, konvergent)

Erscheinungen infolge der geradlinigen Ausbreitung des Lichts sind:

Abbildungen von Körpern mittels *kleiner Öffnungen*	**Schatten** bei Verwendung einer *punktförmigen* Lichtquelle
■ Lochkamera	



Kern- und **Halbschatten** bei Verwendung *zweier punktförmiger* Lichtquellen	**Schatten** bei Verwendung *einer flächenhaften* Lichtquelle
	

Umkehrbarkeit des Lichtweges

Der Lichtweg ist umkehrbar. So kann das Licht seinen Weg beispielsweise in dem Bild 159/1 auch im umgekehrten Sinn durchlaufen.

Optische Bilder

entstehen bei der Abbildung von Gegenständen durch Spiegel (↗ S. 160) und Linsen (↗ S. 167).

Reelle Bilder	Virtuelle Bilder
Sie entstehen an den Schnittpunkten von Strahlen, die vom gleichen Punkt des Gegenstandes ausgehen, und sind auf einem Schirm auffangbar (Bild 159/1)	Sie entstehen am Schnittpunkt der rückwärtigen Verlängerung divergenter Strahlen und sind nicht auffangbar (Bild 159/2)

6.2. Reflexion des Lichts

Regelmäßige und diffuse Reflexion

Reflexion kann an der Grenzfläche zweier Stoffe beobachtet werden. Reflexion ist ein physikalischer Vorgang, bei dem Licht, aus einem Stoff kommend, an der Grenzfläche in den gleichen Stoff zurückgeworfen, d. h. **reflektiert** wird.

Reflexion

Regelmäßige Reflexion	Diffuse Reflexion
Licht trifft auf eine glatte Oberfläche	Licht trifft auf eine rauhe Oberfläche

Reflexion am ebenen Spiegel

Zur Beschreibung der für den ebenen Spiegel gültigen Gesetzmäßigkeiten werden folgende Begriffe verwendet:

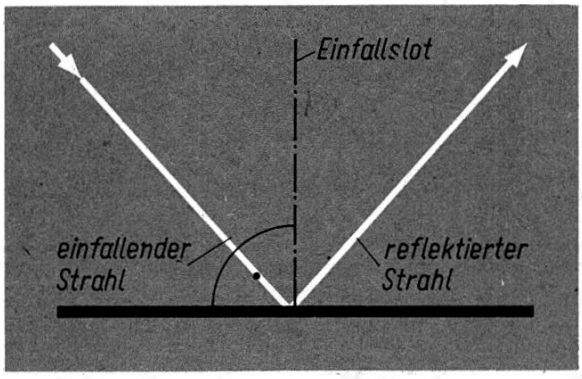


Bild 156/3

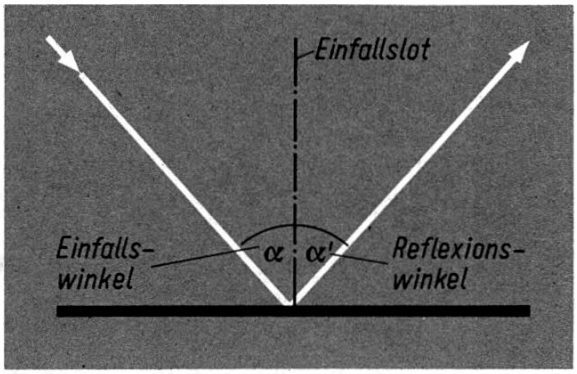


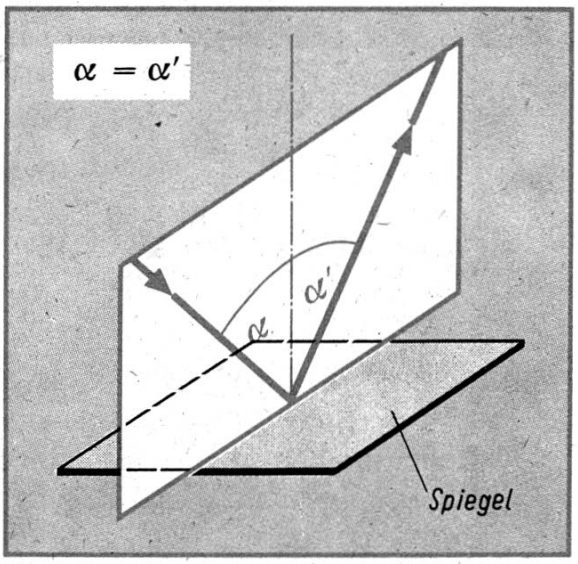
Bild 156/4

Reflexionsgesetz

Bei der Reflexion liegen einfallender Strahl, reflektierter Strahl und Einfallslot in einer Ebene.
Einfallswinkel α und Reflexionswinkel α' sind gleich groß.

$$\alpha = \alpha'$$

Bild 156/5



Bildentstehung am ebenen Spiegel

Wird ein Gegenstand mittels eines ebenen Spiegels abgebildet, so entsteht stets ein virtuelles Bild. Die *Gegenstandsweite* s ist genausogroß wie die *Bildweite* s'. *Gegenstandsgröße* y und *Bildgröße* y' sind ebenfalls gleich.
G: Gegenstand
B: Bild

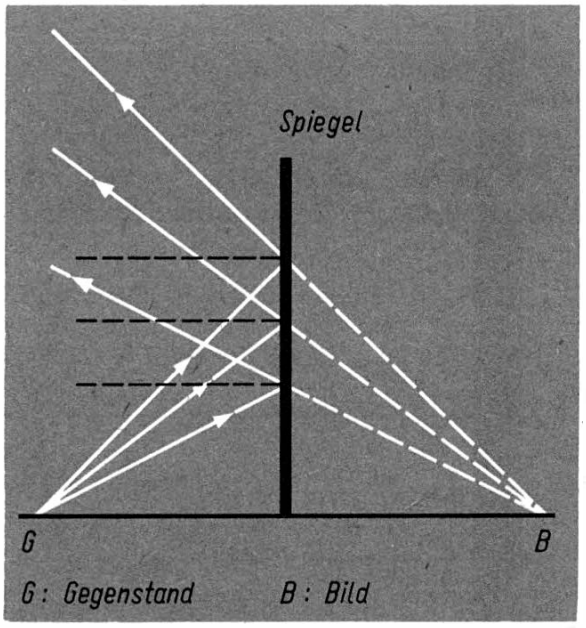


Bild 157/1

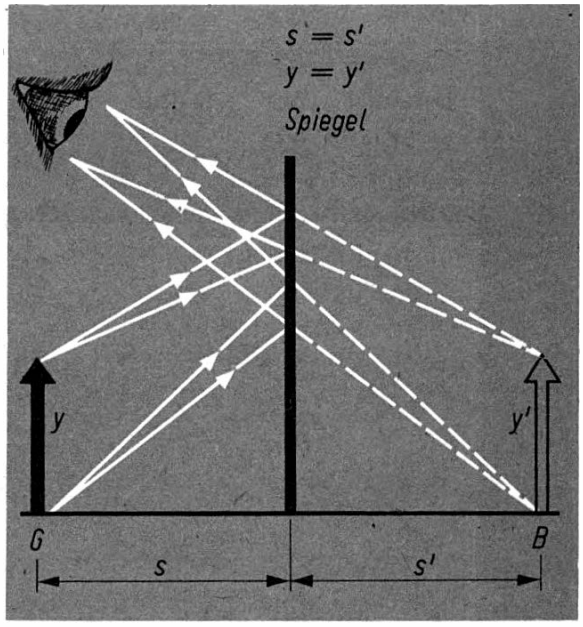
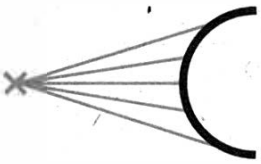
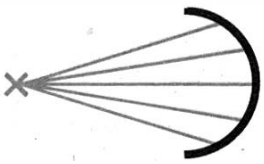


Bild 157/2

Gekrümmte Spiegel

Unterscheidung nach der Form		Unterscheidung nach der dem Licht zugewandten Seite	
Sphärische Spiegel oder Kugelspiegel	Asphärische Spiegel (z. B. Parabolspiegel)	Wölbspiegel oder Konvexspiegel	Hohlspiegel oder Konkavspiegel
			

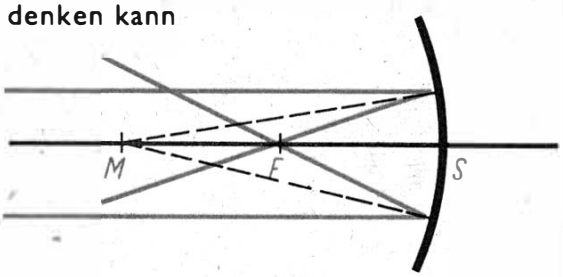
Hohlspiegel

Begriffe am Hohlspiegel

Brennpunkt F
Schnittpunkt reflektierter achsennaher Parallelstrahlen zwischen dem Scheitelpunkt S und dem Krümmungsmittelpunkt M

Scheitelpunkt S
geometrischer Mittelpunkt der spiegelnden Fläche

Krümmungsmittelpunkt M
Mittelpunkt der Kugel, aus der man sich einen Kugelspiegel herausgeschnitten denken kann



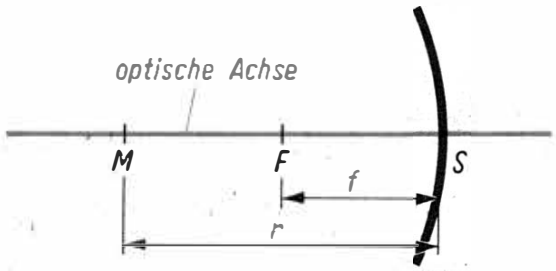
Optische Achse
Gerade, die durch den Krümmungsmittelpunkt M und den Scheitelpunkt S verläuft

Brennweite f
Strecke $\overline{FS}$

Krümmungsradius r
Radius der gekrümmten Spiegelfläche

Bei Kugelspiegeln gilt:

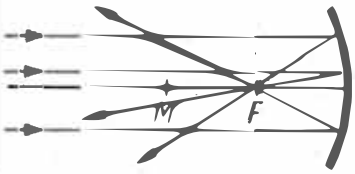
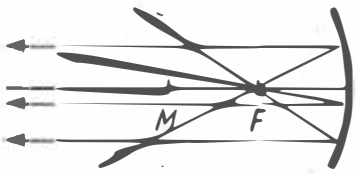
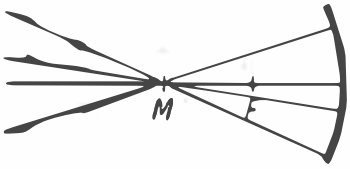
$$f = \frac{r}{2}$$



Bildentstehung am Hohlspiegel

Zur zeichnerischen Darstellung der Bildentstehung am Hohlspiegel wählt man aus der Vielzahl aller möglichen am Spiegel reflektierten Strahlen folgende drei Strahlen aus:

Name des Strahls	Verlauf
Parallelstrahl	Parallel zur optischen Achse
Brennpunktstrahl	Durch den Brennpunkt F
Mittelpunktstrahl	Durch den Krümmungsmittelpunkt M

Parallelstrahlen	**Brennpunktstrahlen**	**Mittelpunktstrahlen**
werden als Brennpunktstrahlen reflektiert	werden als Parallelstrahlen reflektiert	werden in sich selbst reflektiert
		
Zur Konstruktion eines Bildpunktes benötigt man mindestens zwei dieser Strahlen		

- Der Gegenstand befindet sich außerhalb der doppelten Brennweite ($s > 2f$). Es entsteht ein verkleinertes ($y' < y$) und umgekehrtes **reelles** Bild zwischen einfacher und doppelter Brennweite.

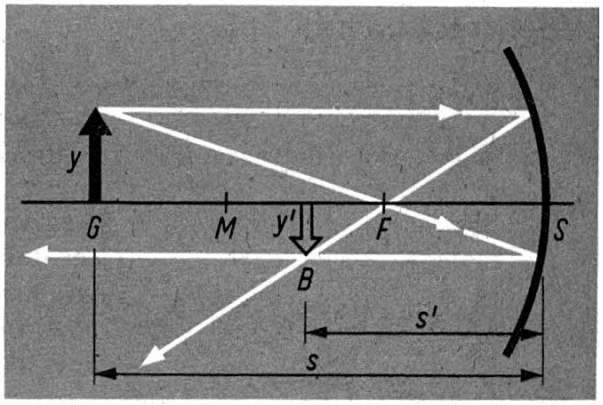


Bild 159/1

- Der Gegenstand befindet sich innerhalb der einfachen Brennweite ($s < f$). Es entsteht ein vergrößertes ($y' > y$) aufrechtes **virtuelles** Bild hinter dem Spiegel.

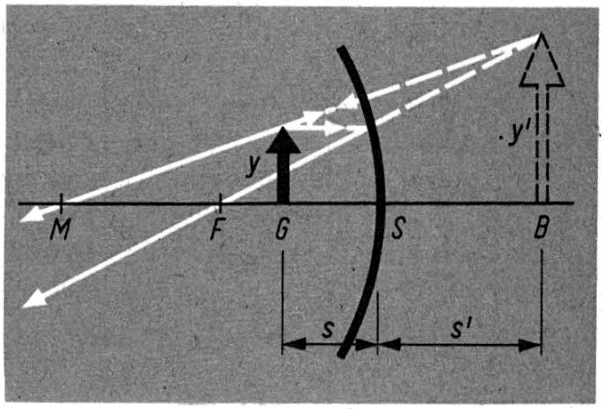


Bild 159/2

Im folgenden Bild ist die Bildentstehung an Hohlspiegeln für verschiedene Stellungen des Gegenstandes dargestellt. Man erkennt, daß sich bei einer Bewegung des Gegenstandes *G* in Richtung der optischen Achse das Bild *B* jeweils entgegengesetzt gerichtet bewegt.

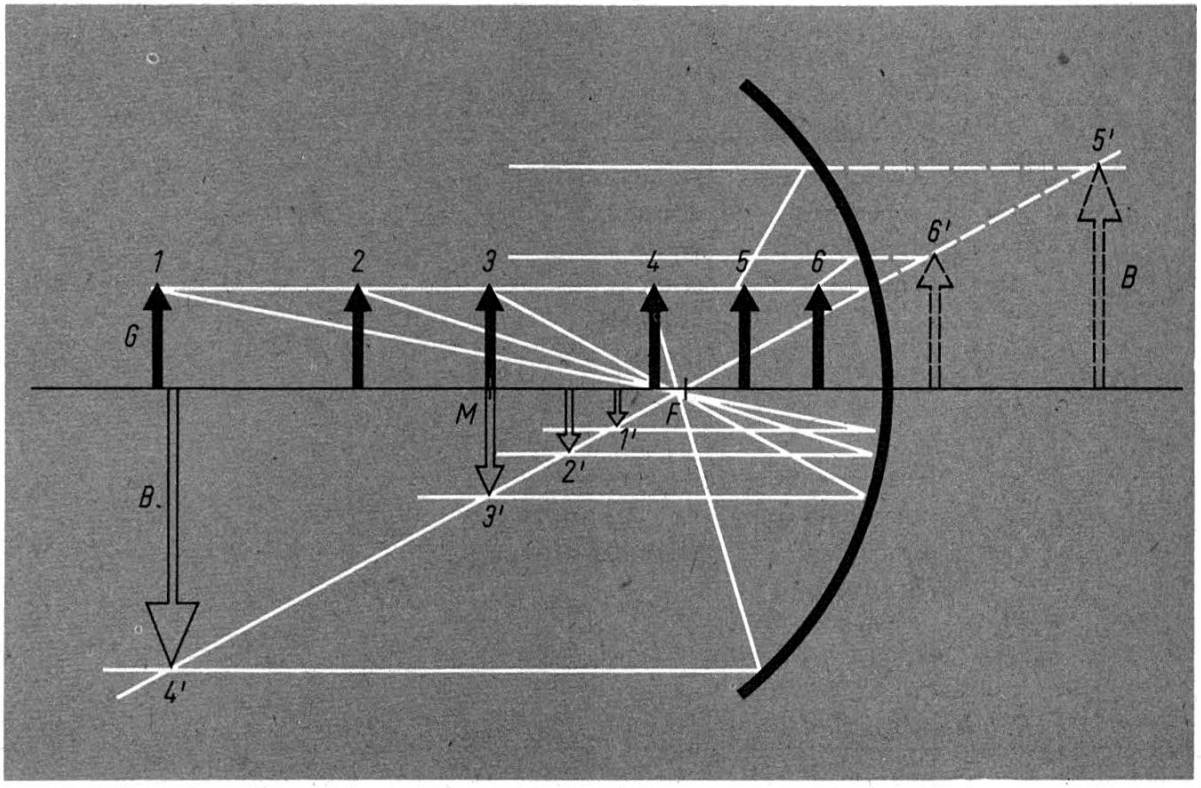
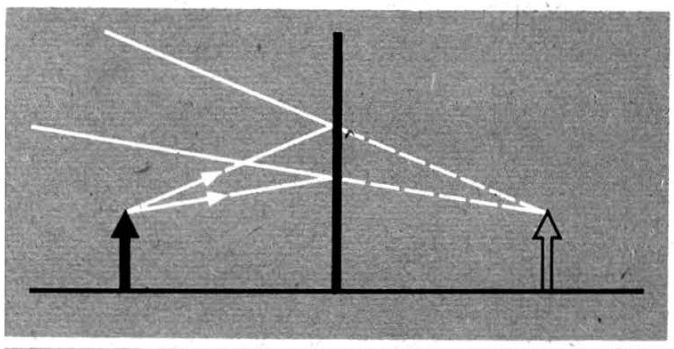


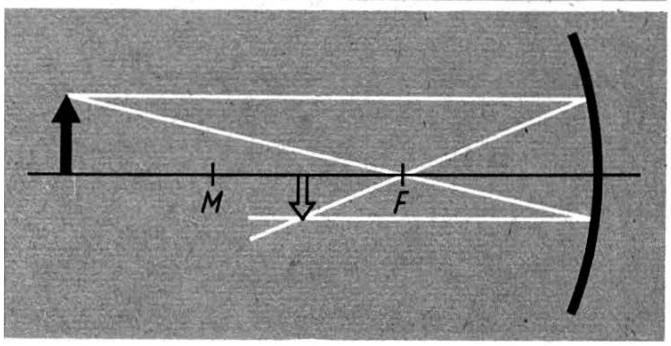
Bild 159/3

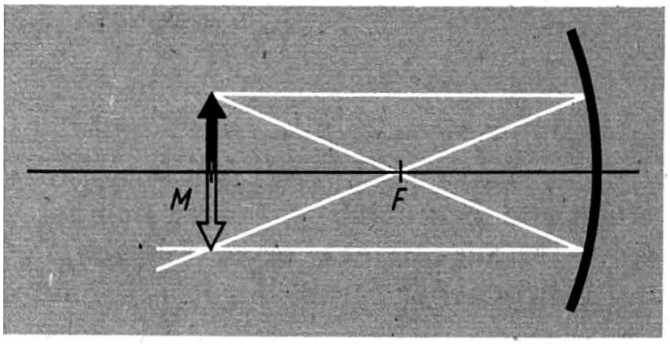
Bildentstehung an Spiegeln

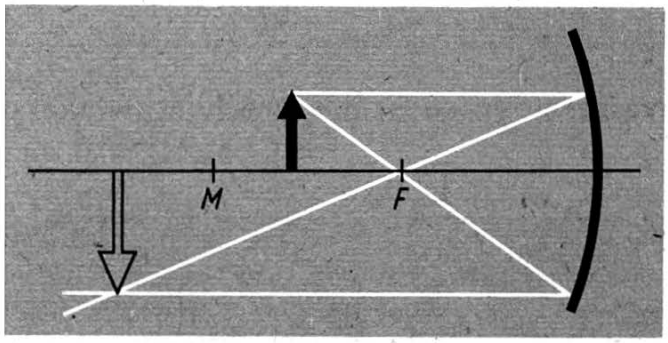
Spiegelart	Ort des Gegenstandes	Ort des Bildes	Art des Bildes	Lage des Bildes	Größe desBildes
Ebener Spiegel	Vor dem Spiegel $\infty > s > 0$	Genausoweit hinter dem Spiegel, wie sich der Gegenstand vor dem Spiegel befindet $s' = s$	Virtuell	Aufrecht	$y' = y$
Hohlspiegel	Außerhalb der doppelten Brennweite $s > 2f$	Zwischen einfacher und doppelter Brennweite auf der gleichen Seite des Spiegels $2f > s' > f$	Reell	Umgekehrt	$y' < y$
	Im Krümmungsmittelpunkt $s = 2f$	Im Krümmungsmittelpunkt auf der gleichen Seite des Spiegels $s' = 2f$	Reell	Umgekehrt	$y' = y$
	Zwischen einfacher und doppelter Brennweite $2f > s > f$	Außerhalb der doppelten Brennweite auf der gleichen Seite des Spiegels $s' > 2f$	Reell	Umgekehrt	$y' > y$
	Innerhalb der einfachen Brennweite $s < f$	Auf der anderen Seite des Spiegels $0 < s' < \infty$	Virtuell	Aufrecht	$y' > y$

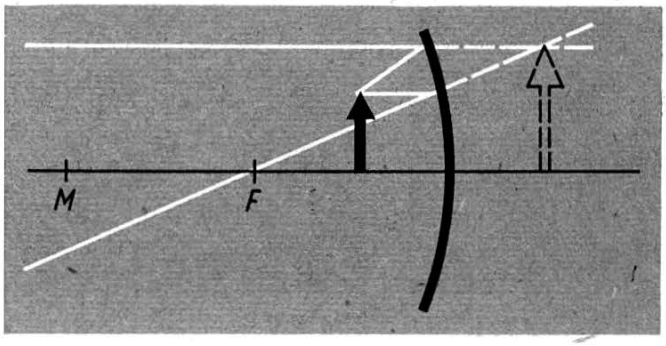
Geometrische Darstellung











Der gesetzmäßige Zusammenhang von Brennweite, Gegenstandsweite und Bildweite wird mathematisch durch die Gleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ beschrieben. Diese Gleichung gilt nur für achsennahe Strahlen.

6.3. Brechung des Lichts

Brechung des Lichts an ebenen Flächen

Brechung des Lichts wird die Erscheinung genannt, bei der das Licht beim Übergang von einem Stoff in einen anderen seine Richtung ändert.

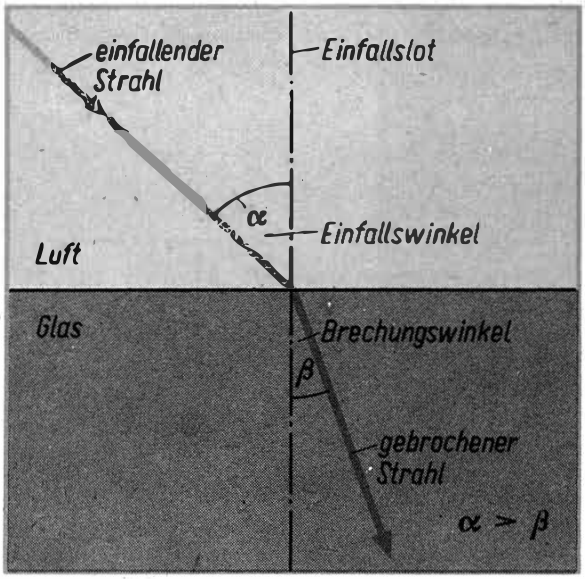


Bild 162/1

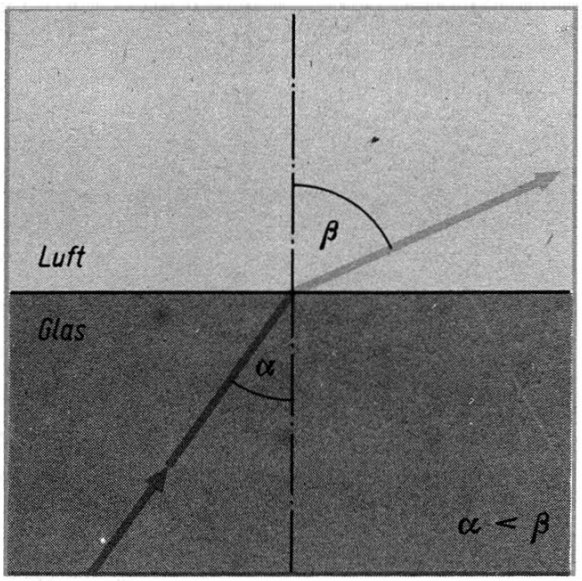


Bild 162/2

Brechungsgesetz

▶ Geht Licht von einem Stoff in einen anderen über, so ändert sich an der Grenzfläche der beiden Stoffe im allgemeinen seine Richtung. Einfallender Strahl, Einfallslot und gebrochener Strahl liegen in einer Ebene.

■ Geht Licht von Luft in Glas oder Wasser über, so ist der Brechungswinkel β stets kleiner als der Einfallswinkel α.

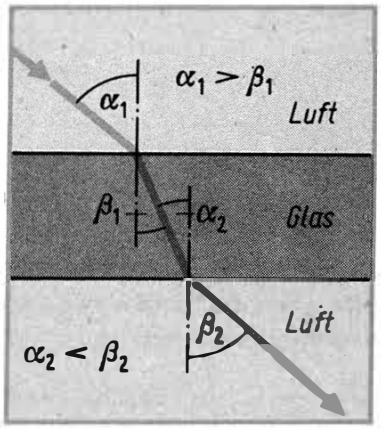


Bild 162/3

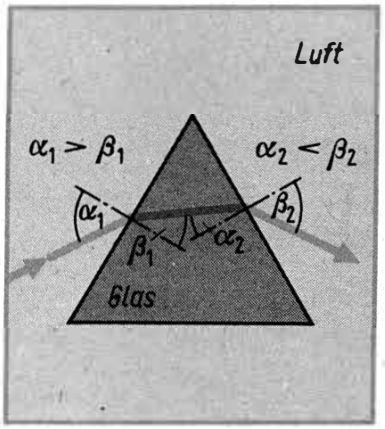


Bild 162/4

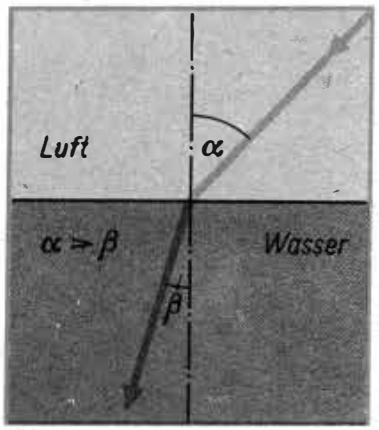


Bild 162/5

Totalreflexion

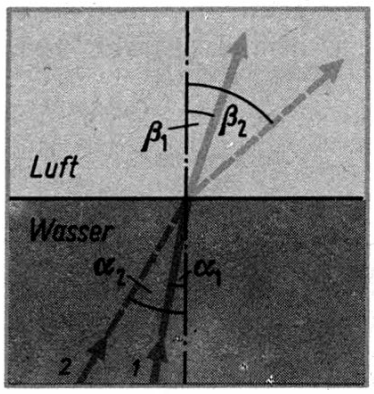


Bild 163/1
Läßt man beim Übergang des Lichts von Wasser oder Glas in Luft den Einfallswinkel größer werden, so wächst der Brechungswinkel β schneller als der Einfallswinkel α

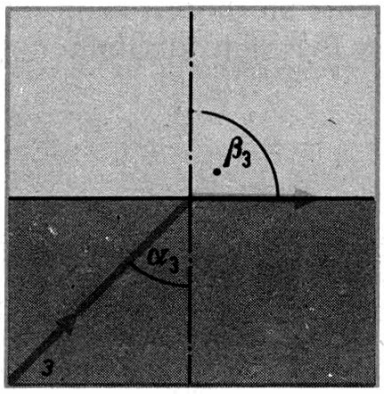


Bild 163/2
Schließlich erreicht der Brechungswinkel β den größtmöglichen Wert von 90°

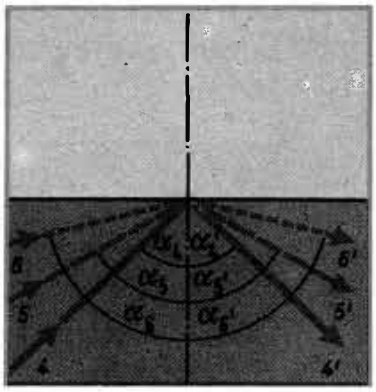


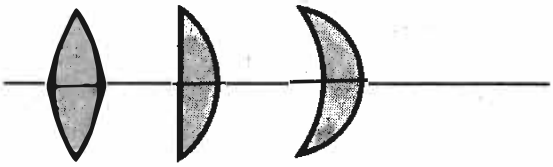
Bild 163/3
Eine weitere Vergrößerung des Einfallswinkels führt zu keiner Brechung mehr; der Strahl wird an der Grenzfläche beider Stoffe **total reflektiert**

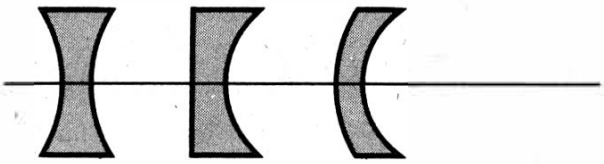
■ Prismenfernrohr (↗ S. 170)

Linsenformen

Linsen sind durchsichtige Körper, die von zwei gewölbten Flächen oder einer Ebene und einer gewölbten Fläche begrenzt werden.

Sammellinsen (Konvexlinsen) Zerstreuungslinsen (Konkavlinsen)



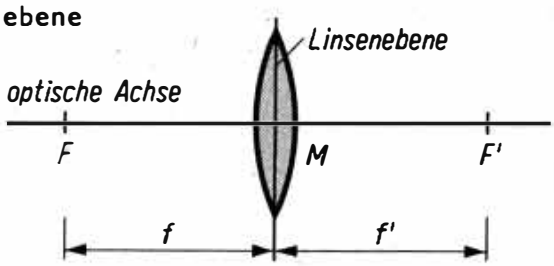


Linsen

Begriffe an Linsen

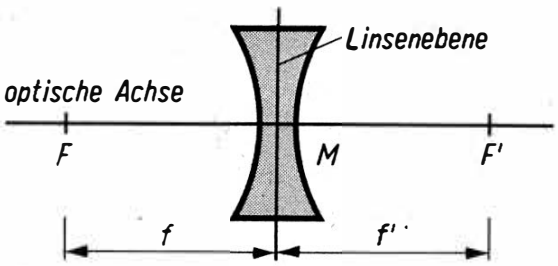
Brennpunkt F
Schnittpunkt der gebrochenen Strahlen, die als Parallelstrahlen achsennah einfallen

Mittelpunkt M
Mittelpunkt der Linse auf der Linsenebene



Optische Achse
Gerade durch Brennpunkt F und Mittelpunkt M

Brennweite f
Strecke $\overline{FM}$



Brechung des Lichts an Linsen

Die Brechung des Lichts an Linsen kann man erklären, indem man sich die Linsen aus einzelnen Prismen zusammengesetzt denkt (Bilder 164/1 und 164/2).

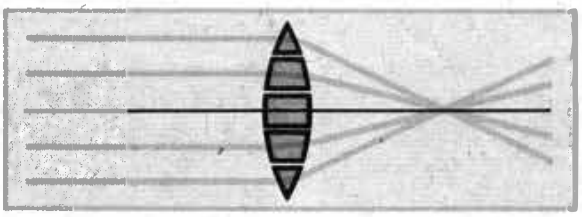


Bild 164/1

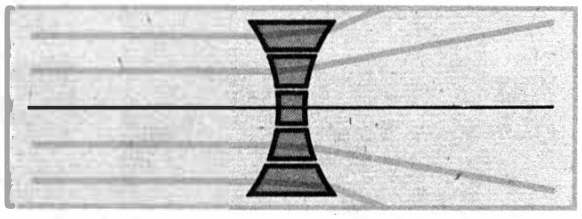


Bild 164/2

Um die Darstellung des Strahlenverlaufes zu vereinfachen, zeichnet man anstelle der zweifachen Brechung an den beiden Linsenflächen (Bild 164/3) die Lichtstrahlen so, als ob sie nur einmal an der Linsenebene gebrochen würden (Bild 164/4).

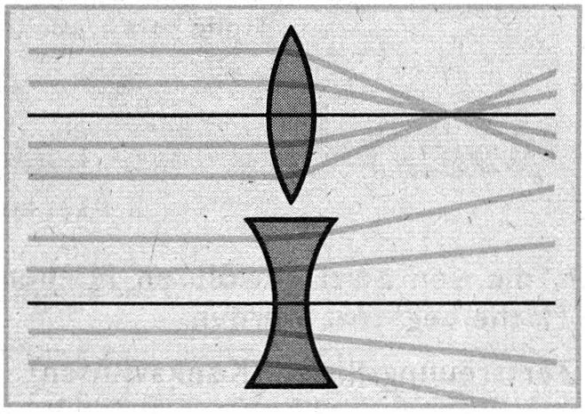


Bild 164/3

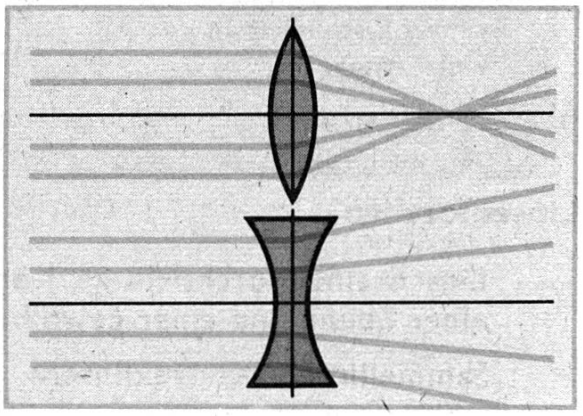


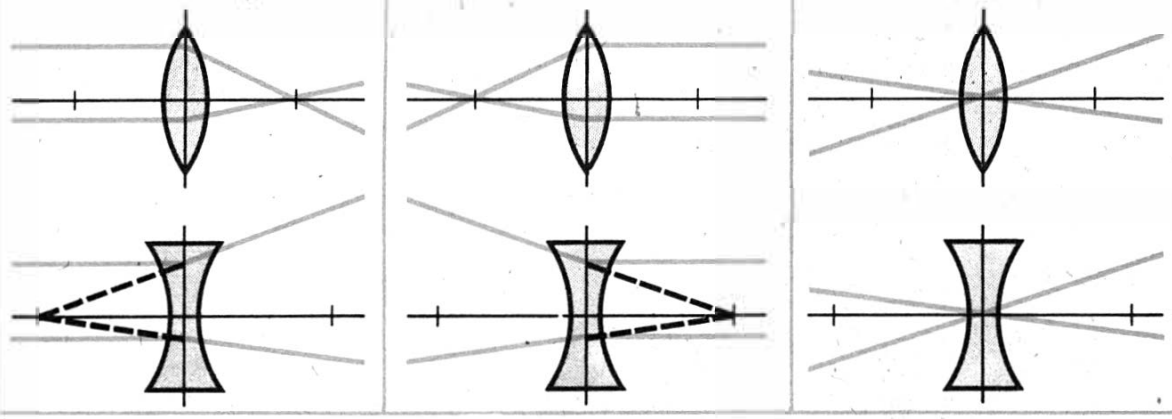
Bild 164/4

Bildentstehung an Linsen

Zur zeichnerischen Darstellung der Bildentstehung an Linsen wählt man aus der Vielzahl der durch die Linse gebrochenen Strahlen folgende drei Strahlen aus:

Name des Strahls	Verlauf an der Sammellinse	Verlauf an der Zerstreuungslinse
Parallelstrahl	Parallel zur optischen Achse	Parallel zur optischen Achse
Brennpunktstrahl	Durch einen Brennpunkt der Linse	Bis zur Linsenebene in Richtung auf den Brennpunkt, der auf der anderen Seite der Linse liegt (↗ Bild 165/1)
Mittelpunktstrahl	Durch den Mittelpunkt der Linse	Durch den Mittelpunkt der Linse

Parallelstrahlen	Brennpunktstrahlen	Mittelpunktstrahlen
verlaufen nach der Brechung als Brennpunktstrahlen	verlaufen nach der Brechung als Parallelstrahlen	werden nicht gebrochen



Zur Konstruktion eines Bildpunktes benötigt man mindestens zwei dieser Strahlen.

- Der Gegenstand befindet sich **zwischen einfacher und doppelter Brennweite** ($2f > s > f$). Es entsteht ein vergrößertes ($y' > y$) umgekehrtes **reelles** Bild außerhalb der doppelten Brennweite.
- Der Gegenstand befindet sich innerhalb der einfachen Brennweite ($s < f$). Es entsteht ein vergrößertes ($y' > y$) aufrechtes **virtuelles** Bild auf der gleichen Seite wie der Gegenstand.

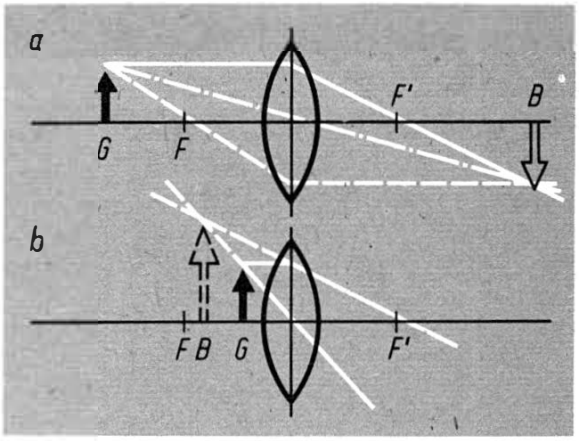


Bild 165/4

Im folgenden Bild ist die Bildentstehung an Sammellinsen für verschiedene Stellungen des Gegenstandes dargestellt. Man erkennt, daß sich bei einer

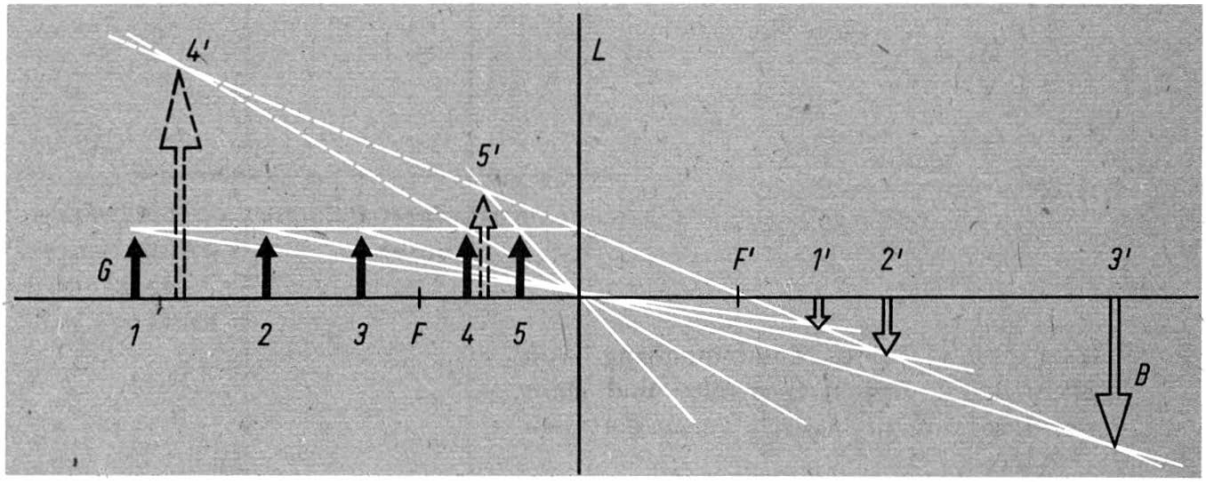


Bild 165/5

Bewegung des Gegenstandes G in Richtung der optischen Achse das Bild B im gleichen Richtungssinn bewegt. Je mehr sich der Gegenstand dem Brennpunkt nähert, desto größer wird das Bild. Der Übersichtlichkeit halber wurde nur die Linsenebene gezeichnet.

An der Zerstreuungslinse entstehen stets aufrechte verkleinerte virtuelle Bilder.

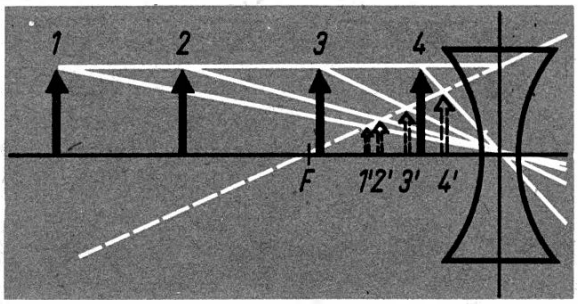
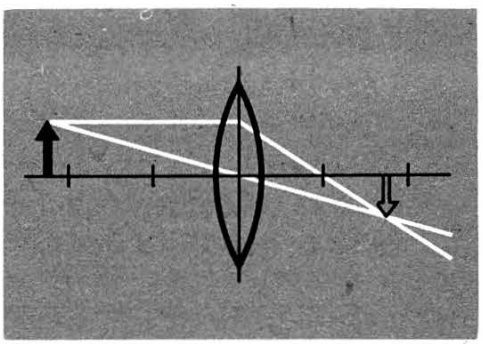
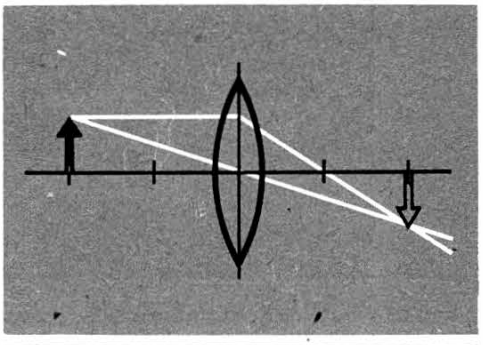
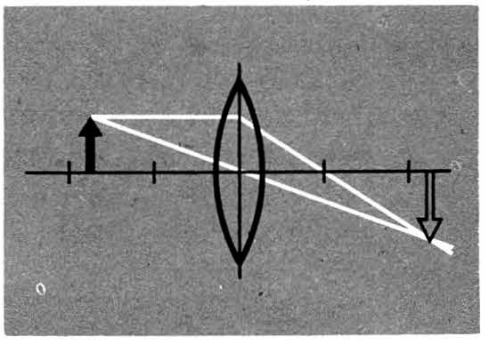
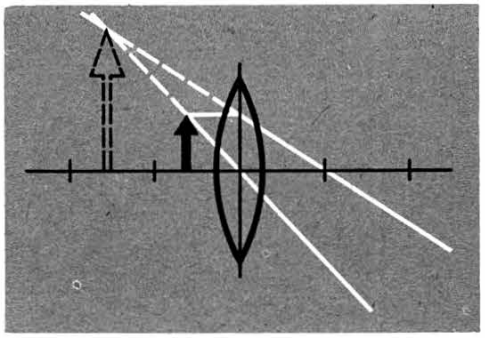
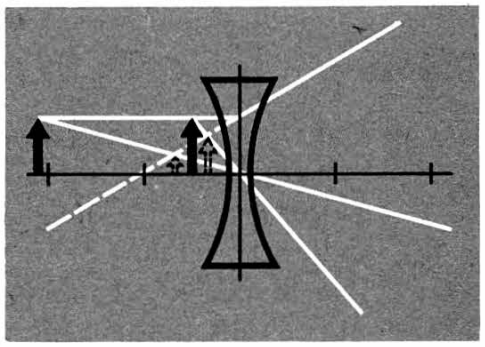


Bild 166/1

Der gesetzmäßige Zusammenhang von Brennweite, Gegenstandsweite und Bildweite wird mathematisch durch die Gleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ beschrieben.

Bildentstehung an Linsen

Linsenart	Ort des Gegenstandes
Sammellinsen	Außerhalb der doppelten Brennweite $s > 2f$
	In der doppelten Brennweite $s = 2f$
	Zwischen einfacher und doppelter Brennweite $2f > s > f$
	Innerhalb der einfachen Brennweite $s < f$
Zerstreuungslinsen	$\infty > s > 0$

Ort des Bildes	Art des Bildes	Lage des Bildes	Größe des Bildes	Geometrische Darstellung
Zwischen einfacher und doppelter Brennweite auf der anderen Seite der Linse $f < s' < 2f$	Reell	Umgekehrt	$y' < y$	
In der doppelten Brennweite auf der anderen Seite der Linse $s' = 2f$	Reell	Umgekehrt	$y' = y$	
Außerhalb der doppelten Brennweite auf der anderen Seite der Linse $s' > 2f$	Reell	Umgekehrt	$y' > y$	
Auf derselben Seite der Linse $0 < s' < \infty$	Virtuell	Aufrecht	$y' > y$	
Bildweite kleiner als Gegenstandsweite; auf derselben Seite der Linse $s' < s$	Virtuell	Aufrecht	$y' < y$	

6.4. Optische Geräte

Auge

Das Auge kann als „optisches Gerät" betrachtet werden. Die Augenlinse ist eine Sammellinse. Durch sie werden Gegenstände so abgebildet, daß auf der Netzhaut ein umgekehrtes, seitenvertauschtes und reelles Bild entsteht. Dem Menschen erscheint der Gegenstand um so größer, je größer der **Sehwinkel** φ ist. Die Anpassung an verschiedene Gegenstandsweiten erfolgt durch unterschiedliche Krümmung der Augenlinse. Dadurch ändert sich die Brennweite der Linse.

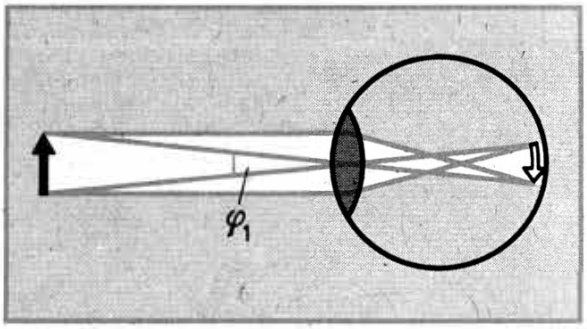


Bild 168/1

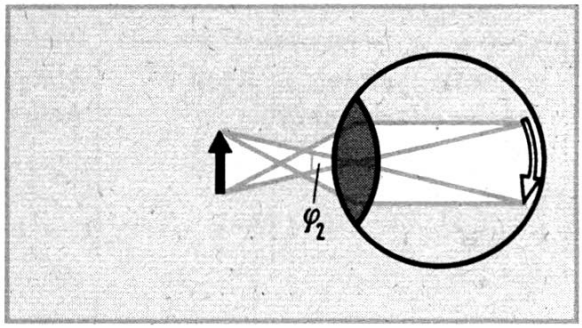


Bild 168/2

Lupe

Die Lupe ist eine Sammellinse. Der Gegenstand liegt innerhalb der einfachen Brennweite. Es entsteht ein vergrößertes virtuelles Bild (↗ Sammellinse, S. 167). Durch die Lupe erscheint dem Auge der Gegenstand unter einem größeren Sehwinkel (Bilder 168/3 und 168/4).

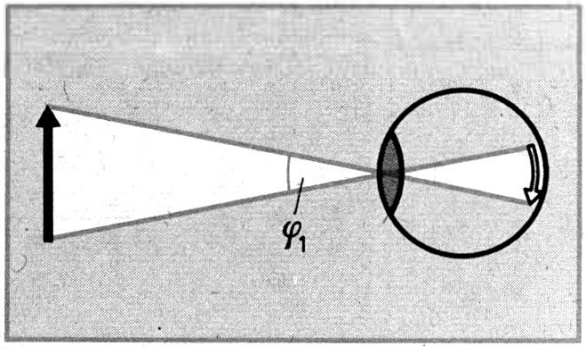


Bild 168/3

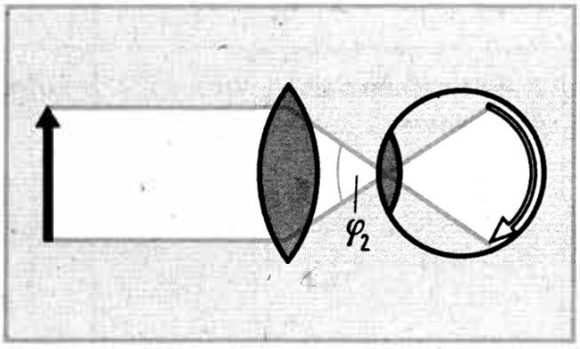


Bild 168/4

Kamera

Das *Objektiv* einer Kamera besteht aus einer Sammellinse oder einem Linsensystem, das wie eine Sammellinse wirkt. Es entsteht ein reelles Bild. Die *Entfernungseinstellung* erfolgt durch Verändern der Bildweite (Abstand Objektiv – Film).
Die *Blende* kann in ihrem Durchmesser verandert werden (Irisblende). Dadurch fällt mehr oder weniger Licht auf den Film.

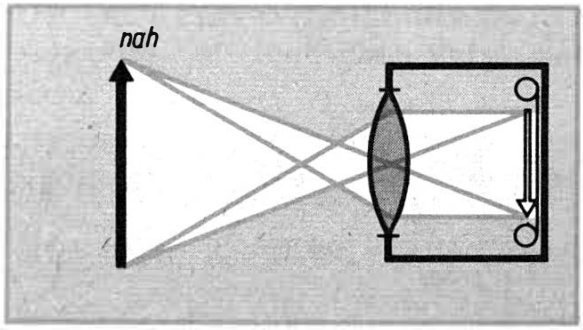


Bild 169/1

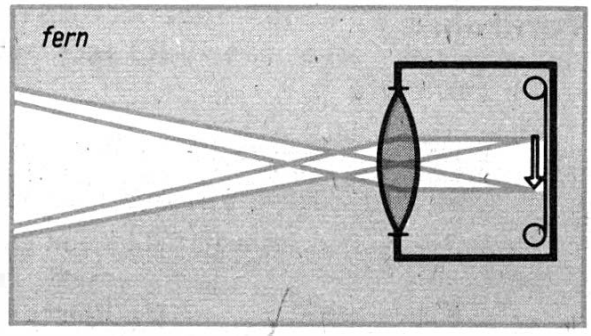
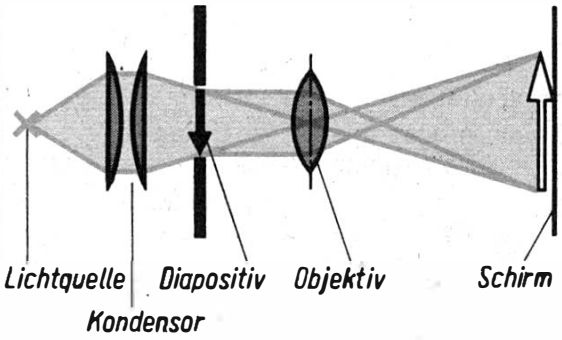
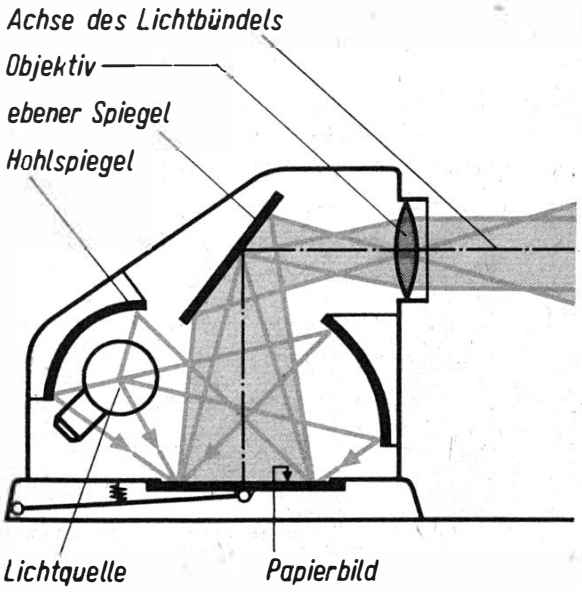


Bild 169/2

Das Normalobjektiv mancher Fotoapparate kann gegen andere Objektive (Weitwinkelobjektiv – kleine Brennweite, Teleobjektiv – große Brennweite) ausgewechselt werden. Dadurch kann der Bildwinkel (↗ Sehwinkel, S. 168) verändert werden. Auf dem Film wird dann ein größerer bzw. kleinerer Teil des Gegenstandes abgebildet.

Projektoren

Projektoren

Diaskope (Kleinbildwerfer)	**Episkope**
Zur Projektion von durchsichtigen Vorlagen (Diapositiven). Sie sind so aufgebaut, daß das Diapositiv von einer Lichtquelle **durchleuchtet** wird. Durch das Objektiv entsteht ein reelles Bild auf einem Schirm. Durch den *Kondensor* wird erreicht, daß ein möglichst großer Anteil des von der Lichtquelle kommenden Lichts gleichmäßig durch das Diapositiv tritt	Zur Projektion undurchsichtiger Vorlagen. Sie sind so konstruiert, daß die abzubildende undurchsichtige Vorlage **beleuchtet** wird. Durch das Objektiv entsteht ein reelles Bild auf einem Schirm. Die *Hohlspiegel* haben die Aufgabe, möglichst viel Licht der Lichtquelle auf die Vorlage zu reflektieren
	

Fernrohre

Fernrohre

Linsenfernrohre		**Spiegelfernrohre**
Das Bild entsteht mit Hilfe von Linsen		Das Bild entsteht mit Hilfe von Hohlspiegeln
Keplersches (astronomisches) Fernrohr	**Galileisches** (holländisches) Fernrohr	

Objektiv heißt die dem Gegenstand (Objekt) zugewandte Linse bzw. Linsenkombination.
Okular heißt die dem Auge (lat. okulus) zugewandte Linse bzw. Linsenkombination.

Beim **Keplerschen (astronomischen) Fernrohr** entsteht mit Hilfe des Objektivs ein umgekehrtes reelles *Zwischenbild* innerhalb der Brennweite des Okulars. Das Okular wirkt wie eine Lupe und erzeugt das umgekehrte virtuelle *Hauptbild*.

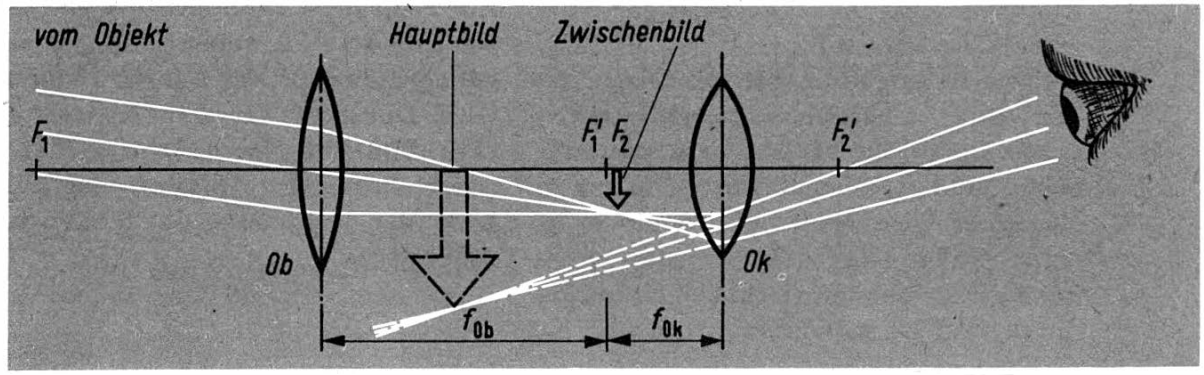


Bild 170/1

Es werden drei- bis fünftausendfache Vergrößerungen erreicht. Größere Objektivdurchmesser führen zu einem helleren Bild. Das umgekehrte Zwischenbild kann durch eine zusätzliche Sammellinse zwischen Objektiv und Okular wieder zu einem aufrechten Bild umgekehrt werden. Dadurch wird das Gerät erheblich länger. Handlicher sind **Prismenferngläser** (Feldstecher), bei ihnen erfolgt die Umkehrung durch **totalreflektierende Prismen** (↗ Totalreflexion, S. 163).

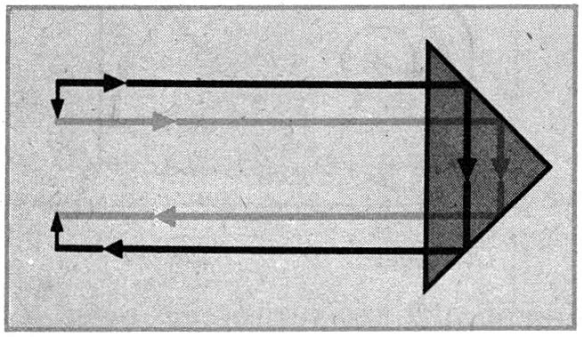


Bild 170/2

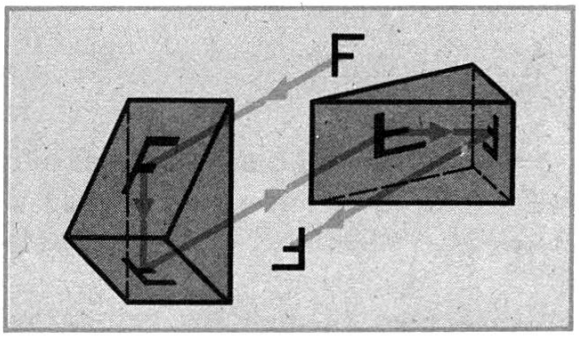


Bild 170/3

Das **Galileische (holländische) Fernrohr** ist sehr kurz und führt nur zu einer drei- bis fünffachen Vergrößerung. Das Okular ist eine Zerstreuungslinse.

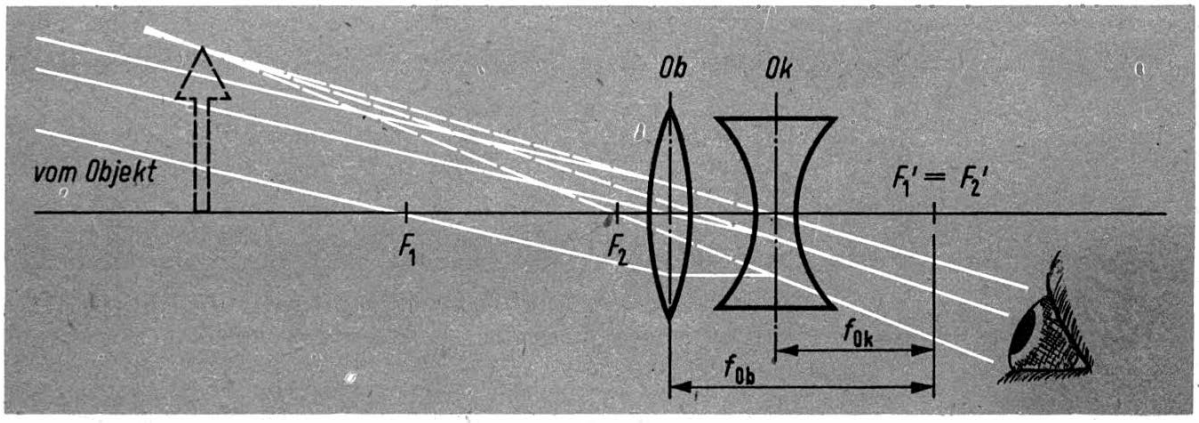


Bild 171/1

Das Mikroskop

Beim Mikroskop entsteht mit Hilfe des Objektivs ein reelles *Zwischenbild* innerhalb der Brennweite des Okulars. Das Okular wirkt wie eine Lupe. Die Gesamtvergrößerung V_G ist gleich dem Produkt aus Vergrößerung V_{Ob} des Objektivs und Vergrößerung V_{Ok} des Okulars:

$V_G = V_{Ob} \cdot V_{Ok}$.

Die Vergrößerungen reichen bis 1500fach.

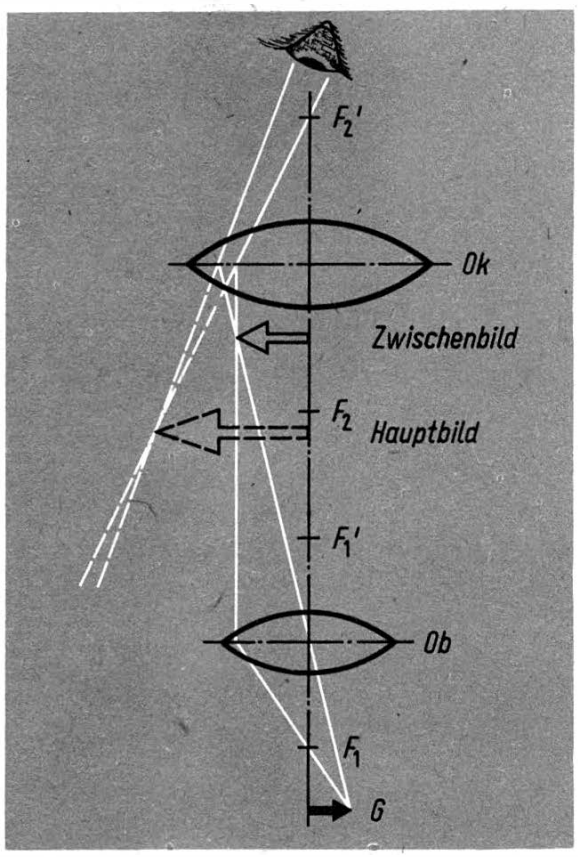


Bild 171/2

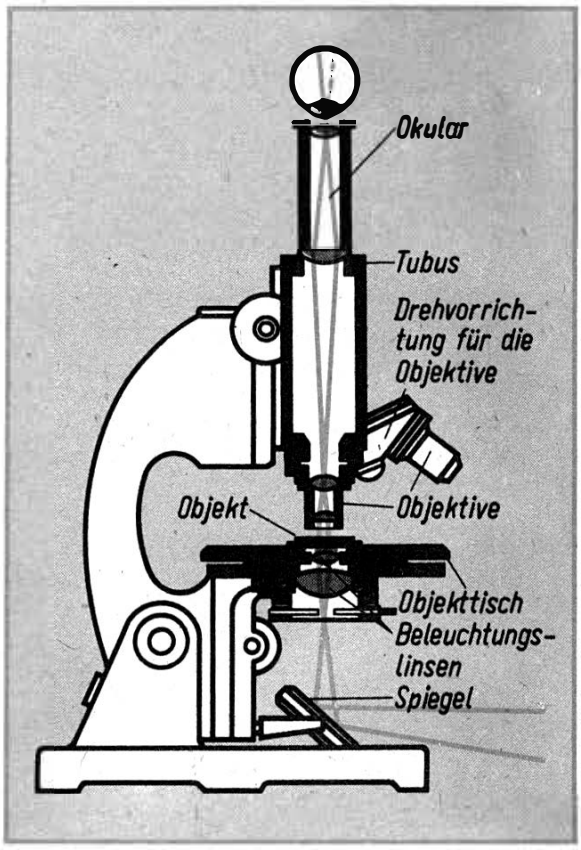


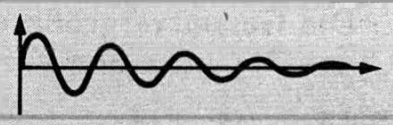
Bild 171/3

Mechanische Schwingungen

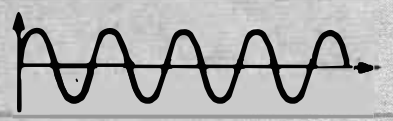
Schwingungen

$y = y_{max} \cdot \sin \omega t$

Gedämpfte Schwingungen



Ungedämpfte Schwingungen



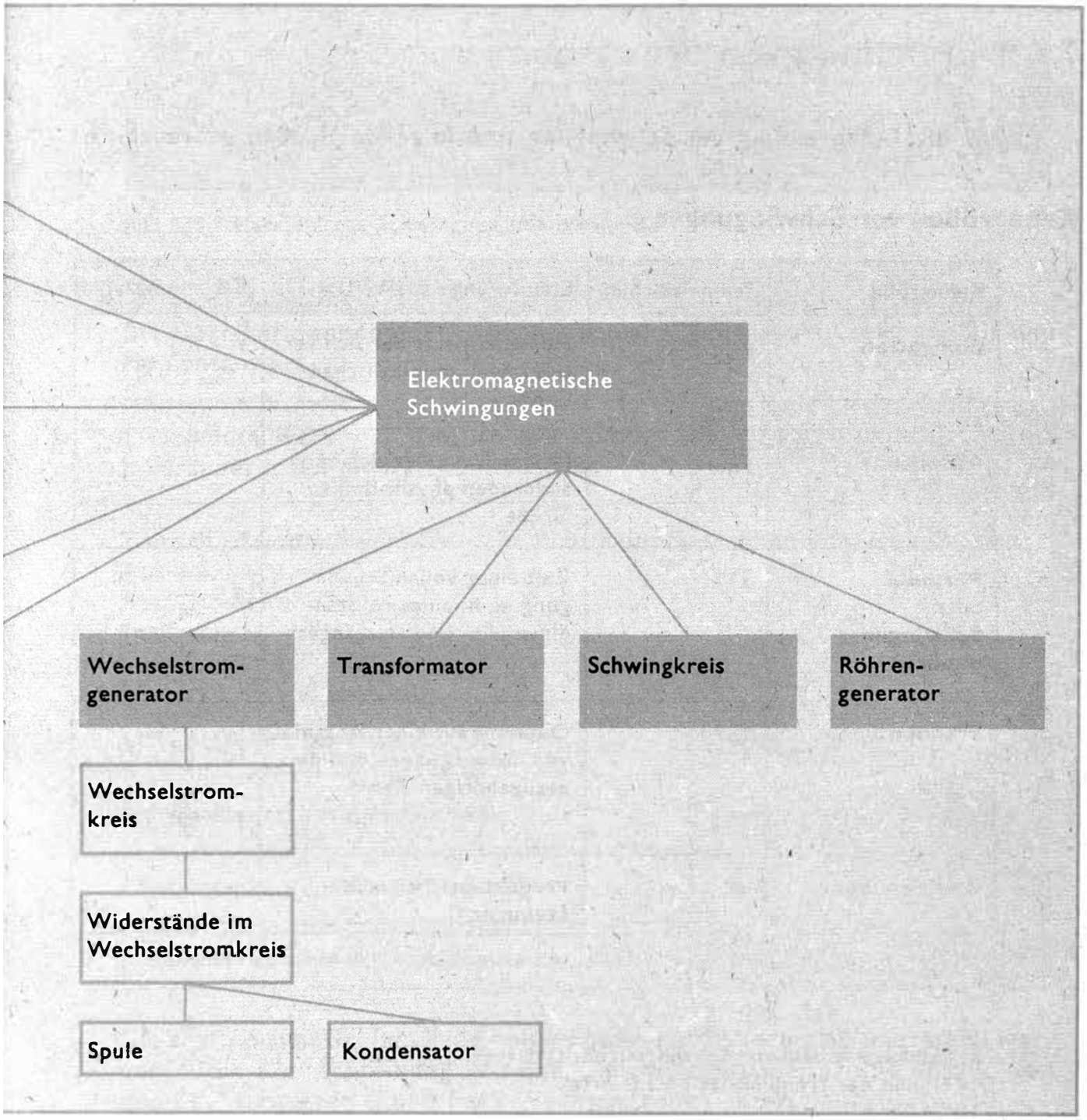
Freie Schwingungen

Erzwungene Schwingungen

Schwingungslehre

7

Die Schwingungslehre ist das Teilgebiet der Physik, in dem alle zeitlich periodischen Vorgänge beschrieben werden.



Eine Schwingung wird beschrieben durch die zeitlich periodische Änderung einer physikalischen Größe.

Es ist zu beachten, daß der Begriff „Schwingung" sowohl verwendet wird als Ausdruck für eine ständige periodische Veränderung einer physikalischen Größe als auch zur Bezeichnung des in der Periode T ablaufenden Einzelvorganges.

7.1. Darstellung von Schwingungen

Für die Beschreibung der Schwingung sind folgende Größen gebräuchlich:

Kenngrößen von Schwingungen

Kenngröße	Formelzeichen	Erläuterung	Beziehungen
Elongation	y	Momentanwert der sich verändernden physikalischen Größe	$y = f(t)$
Amplitude	y_{max}	Maximalwert der sich verändernden physikalischen Größe	
Periode oder **Schwingungsdauer**	T	Zeit einer vollen Schwingung, d. h. eines vollständigen Hin- und Herganges[1]	$T = \frac{t}{n}$ $T = \frac{1}{f}$
Frequenz	f	Quotient aus einer Anzahl von Schwingungen und der dazugehörigen Zeit[1]	$f = \frac{n}{t}$ $f = \frac{1}{T}$
Kreisfrequenz	ω	Produkt aus 2π und der Frequenz f	$\omega = 2\pi \cdot f$

[1] n: beliebige Anzahl von Schwingungen; t: dazugehörige Zeit
Die Einheit der Frequenz ist 1 Hz (Hertz).
$1\ \text{Hz} = 1\ \text{s}^{-1}$

Diagramm einer Schwingung

Die Aufzeichnung der zeitlich periodischen Änderung einer physikalischen Größe erfolgt in einem Elongation-Zeit-Diagramm. Die dabei entstehende Kurve gibt Auskunft über die Form der Schwingung. Die im Unterricht behandelte Form der Schwingung bezeichnet man als **harmonische Schwingung**; die entsprechende Kurve im Elongation-Zeit-Diagramm ist die *Sinuskurve.*

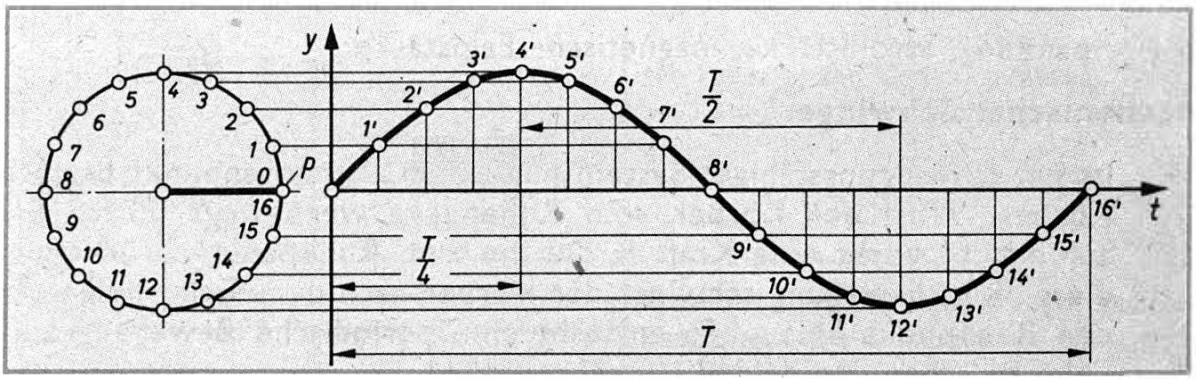


Bild 175/1 Harmonische Schwingung (Elongation-Zeit-Diagramm)

Gleichung einer Schwingung

Bei einer harmonischen Schwingung lautet allgemein die Gleichung für den Momentanwert:

Momentanwert der zeitlich periodisch veränderlichen physikalischen Größe	$y = y_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$

Zeitlich periodisch veränderliche physikalische Größen können z. B. sein:
Auslenkung y,
Auslenkwinkel α,
Spannung u,
Stromstärke i.

Momentanwert der Auslenkung	$y = y_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$
Momentanwert des Auslenkwinkels	$\alpha = \alpha_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$
Momentanwert der Wechselspannung	$u = u_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$
Momentanwert der Wechselstromstärke	$i = i_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$

Die elektrischen Größen Wechselspannung u und Wechselstromstärke i werden durch Kleinschreibung von den Gleichstromgrößen U und I (bzw. von den Effektivwerten U und I des Wechselstroms) unterschieden.

Schwingungsarten

werden bestimmt durch die veränderliche physikalische Größe.

Mechanische Schwingungen werden beschrieben durch die zeitlich periodische Änderung einer mechanischen Größe.

- Weg, Geschwindigkeit, Kraft, Druck

Elektromagnetische Schwingungen werden beschrieben durch die zeitlich periodische Änderung einer elektromagnetischen Größe.

- Spannung, Stromstärke, magnetische Feldstärke

Mechanischer Schwinger

ist ein schwingungsfähiges System mit einem als Massenpunkt betrachteten Körper. Wird der Körper vom Ruhepunkt wegbewegt (durch Energiezufuhr), so wirkt eine Kraft F, die ihn zum Ruhepunkt zurücktreibt. Bei dieser Rückbewegung schwingt der Körper nach dem Trägheitsgesetz über den Ruhepunkt hinaus. Es entsteht eine periodische Bewegung auf einer Bahn zwischen den beiden Umkehrpunkten.

↗ Trägheitsgesetz, S. 68

Federschwinger ist ein mechanischer Schwinger, bei dem die *Federkraft* (elastische Kraft) die rücktreibende Kraft F ist. Sie ist der Elongation y proportional.

↗ statische Kraftmessung, S. 64

Pendelschwinger ist ein mechanischer Schwinger, bei dem als rücktreibende Kraft die in Bahnrichtung wirkende Komponente $\vec{F}$ der *Gewichtskraft* $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$ wirkt.

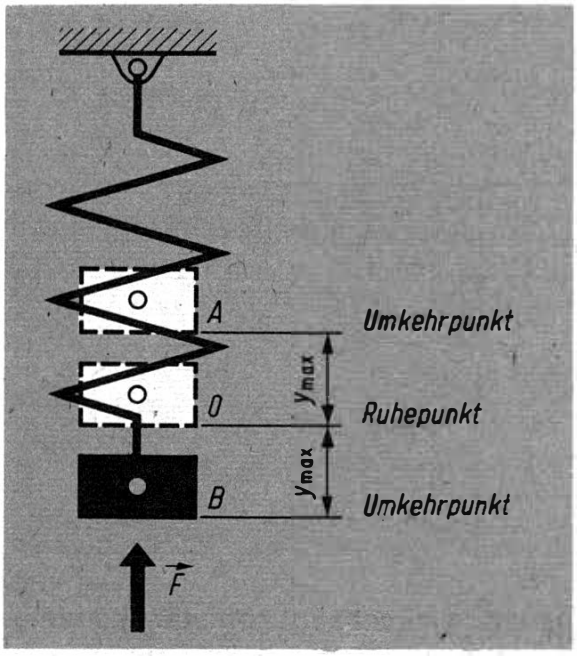


Bild 176/1 Federschwinger

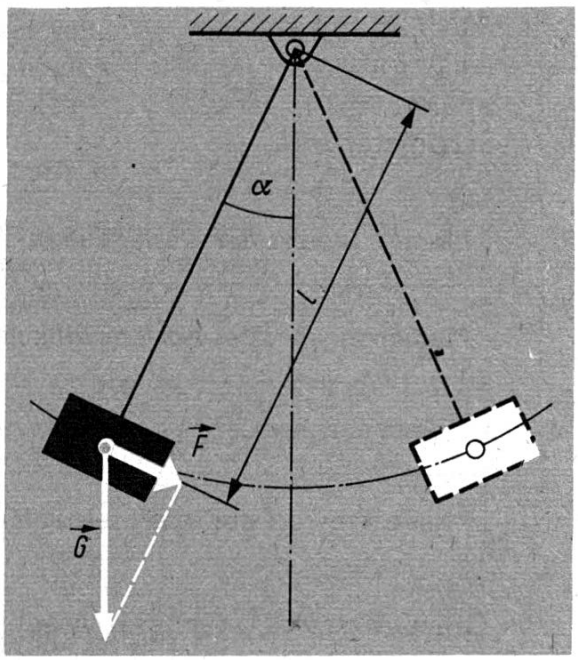
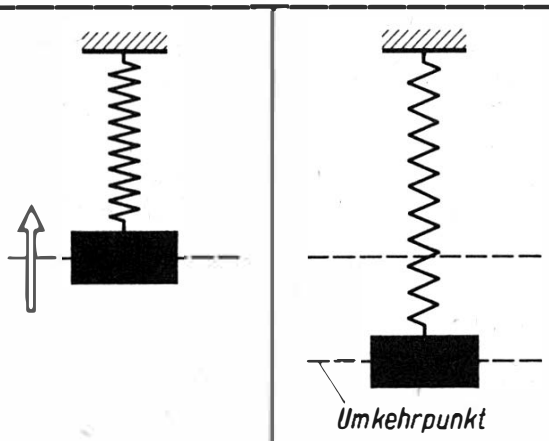
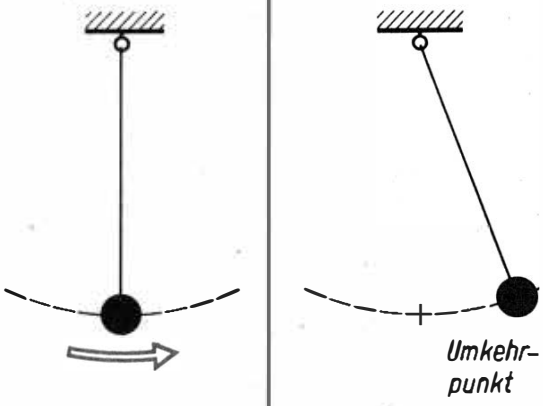


Bild 176/2 Pendelschwinger

Schwingerart	Energieform
Federschwinger	Größte kinetische Energie des Körpers beim Durchgang durch den Ruhepunkt
	Größte potentielle Energie der gespannten Feder in den Umkehrpunkten
Pendelschwinger	Größte kinetische Energie beim Durchgang durch den Ruhepunkt
	Größte potentielle Energie in den Umkehrpunkten

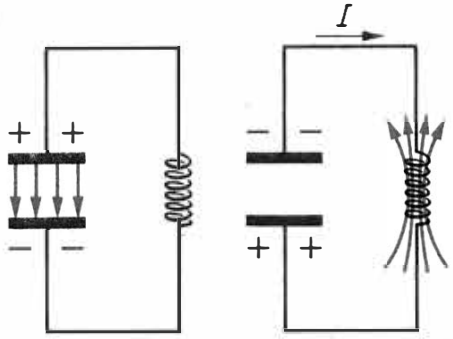
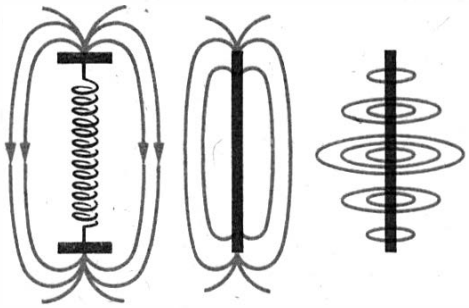
Elektromagnetischer Schwinger

Nach dem Lenzschen Gesetz (↗ S. 137) und der zeitlichen Verschiebung von Spannung und Stromstärke im Wechselstromkreis (↗ S. 185) entsteht in einem System induktiver und kapazitiver Schaltelemente bei Energiezufuhr eine periodische Umwandlung von elektrischer Energie in magnetische Energie und wieder in elektrische Energie usw.

Geschlossener Schwingkreis ist eine Schwingerart, bei dem zwischen einem Kondensator und einer Spule periodisch ein Strom hin- und herfließt und dadurch ständig elektrische und magnetische Felder auf- und wieder abgebaut werden.

Offener Schwingkreis ist eine Schwingerart, bei dem ein kurzer Leiter, die Antenne, als Kondensator und als Spule so wirkt, daß beim Hin- und Herfließen eines Stroms um diesen Leiter abwechselnd ein elektrisches und ein magnetisches Feld auf- und abgebaut wird, das als elektromagnetische Welle (↗ S. 208) Energie in die Umgebung transportiert.

↗ Dipol, S. 207

Schwingerart	Energiespeicher	Energieart
Geschlossener Schwingkreis 	Kondensator mit Kapazität	**Elektrische Feldenergie**
	Spule mit Induktivität	**Magnetische Feldenergie**
Offener Schwingkreis (Dipol) 	Antenne mit Kapazität und Induktivität	**Elektrische und magnetische Feldenergie**

7.2. Erzeugung von Schwingungen

Schwingungen werden ausgelöst durch Energiezufuhr zu einem schwingungsfähigen System.

↗ Schwinger, S. 176

Eigenschwingung

findet statt, wenn einem Schwinger einmalig Energie zugeführt wird. Durch diese Energiezufuhr wird der Gleichgewichtszustand gestört, und bei einem abgeschlossenen System (es wirken keine hemmenden Einflüsse) findet daraufhin eine ständige Energieumwandlung bzw. ein Austausch der Energie zwischen zwei Energiespeichern statt.

Eigenfrequenz f_0

ist die Frequenz der Eigenschwingung eines Schwingers. Sie ist gesetzmäßig bestimmt durch die Größen des Schwingers. Beim Pendelschwinger sind es die Pendellänge l und die Fallbeschleunigung g, beim Schwingkreis die Kapazität C und die Induktivität L.

Eigenfrequenz eines Pendelschwingers	$f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}}$

Die Einheit ist 1 Hz (Hertz).
$1\ \text{Hz} = 1\ \text{s}^{-1}$

Periode eines Pendelschwingers	$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$

Nach diesem Gesetz wird die Periode T als Funktion von l durch die Funktion $T = k \cdot \sqrt{l}$ dargestellt, die für alle Werte $l > 0$ definiert ist. Der Definitionsbereich dieser Funktion ist vom Gültigkeitsbereich des Gesetzes zu unterscheiden (↗ S. 23).

Eigenfrequenz eines geschlossenen Schwingkreises	$f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$

L: Induktivität der Schwingkreisspule
C: Kapazität des Schwingkreiskondensators

Erzwungene Schwingung

tritt ein, wenn einem Schwinger periodisch Energie zugeführt wird. Die Frequenz der Energiezufuhr wird Erregerfrequenz f_E genannt.
Die Quelle der periodischen Energiezufuhr wird als Erreger bezeichnet.
Die Übertragung der Energie erfolgt durch die *Kopplung* (↗ S. 196). Der durch die Energiezufuhr vom Erreger zum Schwingen gebrachte Schwinger wird als *Resonator* bezeichnet.

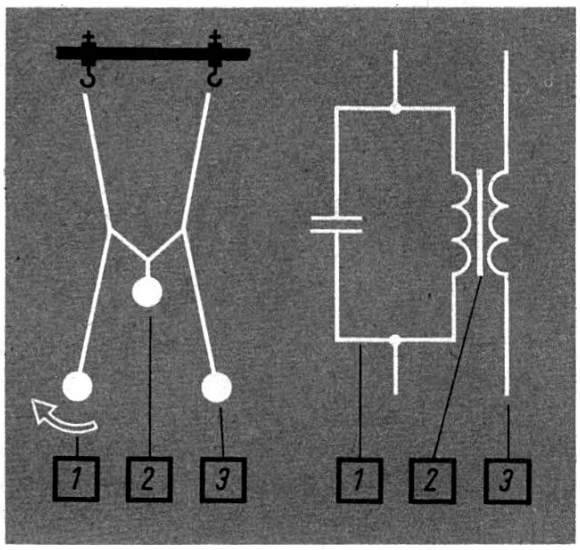


Bild 179/1 Bei zwei gekoppelten Schwingern wird Energie vom Erreger (1) über die Kopplung (2) auf den Resonator (3) übertragen

Resonanz

bezeichnet den bei erzwungenen Schwingungen wichtigen Sonderfall, daß die Eigenfrequenz f_0 des Resonators und die Frequenz f_E des Erregers nahezu übereinstimmen. In diesem Fall treten starke Resonanzschwingungen auf.

■ Zungenfrequenzmesser, Abstimmkreis im Rundfunkempfänger

Resonanzkurve

ist die Darstellung der Resonatoramplitude (f_0 = konstant) in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz (f_E = veränderlich). Die größte Amplitude tritt auf, wenn $f_E = f_0$.

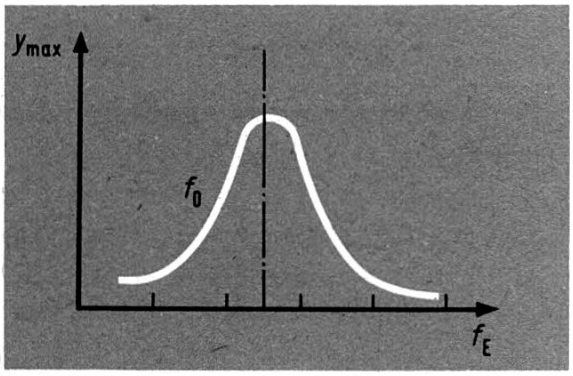


Bild 180/1 Resonanzkurve eines Resonators

7.3. Elektromagnetische Schwingungen

Wechselstrom

ist eine elektromagnetische Schwingung, die als zeitlich periodische Änderung der Größen Spannung und Stromstärke technische Bedeutung hat, weil mit ihrer Hilfe eine besondere zweckmäßige Energieumwandlung (↗ S. 190) und Energieübertragung (↗ S. 187) möglich ist. Die Änderung der elektrischen Größen wird durch die Induktion herbeigeführt.

↗ elektromagnetische Induktion in einer Spule, S. 135

Bei Stromkreisen, die an das Energienetz angeschlossen sind, zeigt der Oszillograf für die Wechselspannung u und die Stromstärke i sinusförmige Kurven.

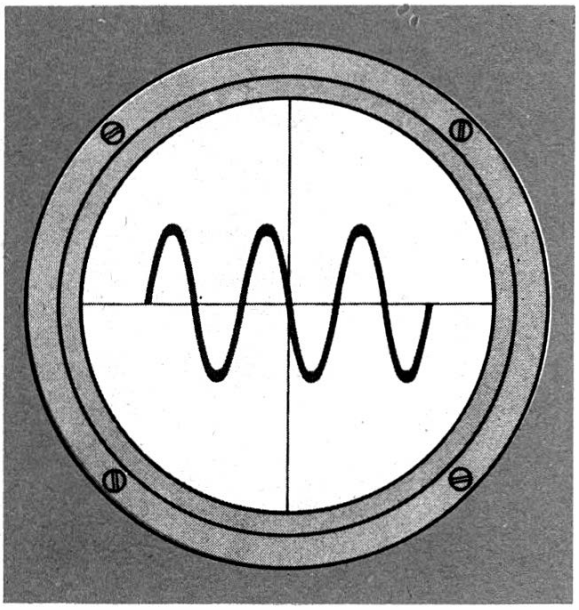


Bild 180/2 Oszillografenschirmbild mit angezeigter harmonischer Wechselspannung

Das bedeutet:

> In Wechselstromkreisen sind die Spannung u und die Stromstärke i periodische Funktionen der Zeit.
> Im Energienetz treten harmonische elektromagnetische Schwingungen gleicher Art wie bei elektromagnetischen Schwingern auf.

↗ elektromagnetischer Schwinger, S. 177
↗ Gleichung einer Schwingung, S. 175

Wechselstromgenerator

ist ein Energiewandler (↗ Energieumwandlung, S. 190), durch den mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird. Im Prinzip wird die Induktion einer harmonischen Wechselspannung u bewirkt durch

- Drehen einer Leiterschleife in einem Magnetfeld oder
- Drehen einer Induktionsspule in einem Magnetfeld (Bild 181/1) oder
- Drehen eines Magnetfeldes in einer Induktionsspule.

↗ elektromagnetische Induktion in einer Spule, S. 135

Wirkt eine Induktionsspule in einem Stromkreis, der nur einen Ohmschen Widerstand R hat, so fließt infolge der induzierten Wechselspannung u ein harmonischer Wechselstrom i. Entsprechend dem Ohmschen Gesetz (↗ S. 120) gilt:

$$i = \frac{u}{R}.$$

Der Momentanwert p der Leistung in diesem Wechselstromkreis ist:

$$p = u \cdot i.$$

Eine technisch zweckmäßige Verwirklichung des physikalischen Prinzips, einen harmonischen Wechselstrom zu erzeugen, zeigt Bild 182/1.

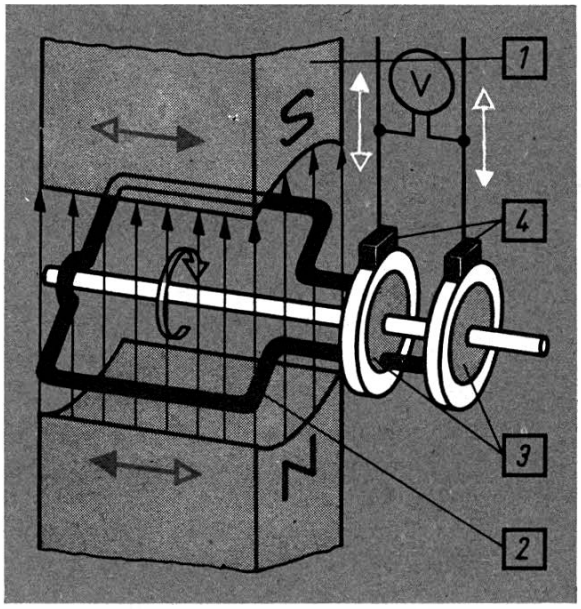


Bild 181/1 Prinzip eines Wechselstromgenerators mit (feststehenden) Statorspulen (1) und einer drehbaren Induktionsspule (2). Die induzierte Spannung kann an den beiden Schleifringen (3) mit Schleifkontakten (4) abgenommen werden

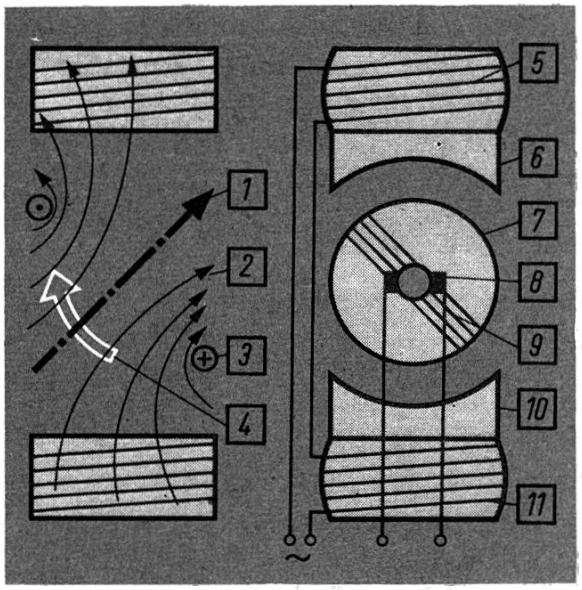


Bild 182/1 Wechselstromgenerator
Physikalisches Prinzip (links)
1 – Richtung des Rotorfeldes
2 – Rotorfeldlinien
3 – Rotorspule
4 – Drehbewegung
Technischer Aufbau (rechts)
5, 11 – Statorspule
6, 10 – Polschuh
7 – Rotor
8 – Schleifkontakt (Stromzuführung)
9 – Rotorspule

Frequenz des Wechselstroms

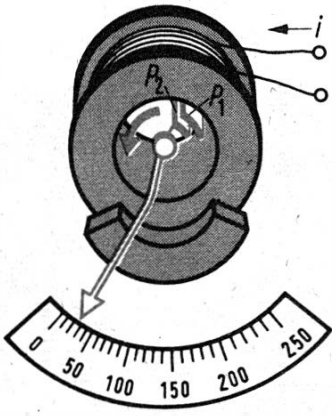
im Energienetz beträgt einheitlich $f = 50$ Hz. Das entspricht einer Kreisfrequenz $\omega = 314\ s^{-1}$ und (bei **einem** umlaufenden Polpaar) einer Generatordrehzahl von 3000 Umdrehungen in der Minute. Mit Frequenzmessern wird die Einhaltung der Frequenz überwacht.

↗ Zungenfrequenzmesser, S. 180

Meßgeräte für Wechselstrom

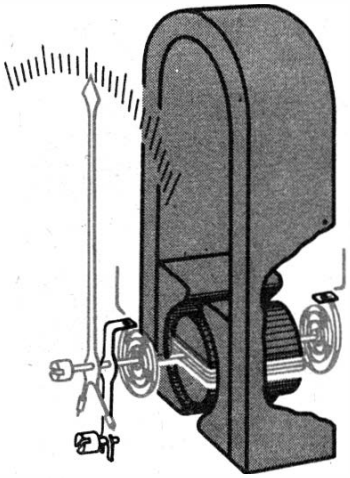
Besondere Meßgeräte sind notwendig, da Drehspulmeßgeräte wegen der Trägheit ihrer Systeme nicht mit der Frequenz der elektromagnetischen Schwingungen im Energienetz schwingen können.

Rundspul-Dreheisengerät



Wird die Spule von einem Wechselstrom durchflossen, werden die Platten P_1 und P_2 gleichsinnig magnetisiert und stoßen einander (auch bei Änderung der elektrischen Stromrichtung) ab. Die dabei auftretende Kraft wird zur Messung der Stromstärke benutzt

Drehspulmeßgerät mit Gleichrichter



Eine vom Meßstrom durchflossene Spule dreht sich im Feld eines Dauermagneten. Dem Drehspulsystem (↗ S. 134) dieses Gerätes ist für Wechselstrommessungen ein Gleichrichter vorgeschaltet

Gesetze des Wechselstromkreises

Die Gesetze des Gleichstromkreises über die Stromstärke (↗ S. 120)

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

und über die elektrische Arbeit (↗ S. 119)

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

gelten in dieser einfachen Form nicht für den Wechselstromkreis, weil bei elektromagnetischen Schwingungen Wechselbeziehungen zwischen den elektrischen Bauteilen (Kondensator, Spule), dem Leiter und deren Umgebung hergestellt werden bzw. weil besondere Erscheinungen auftreten, die die Amplitude und ihren zeitlichen Verlauf beeinflussen.

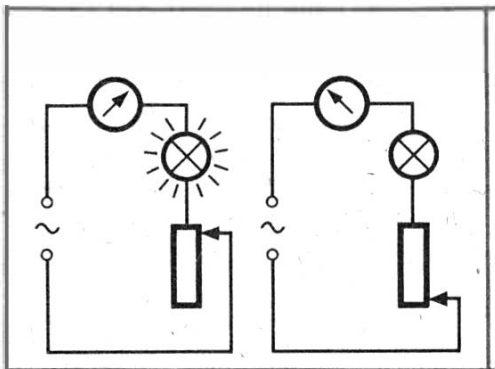
Effektivwert *U* des Wechselstroms – Effektivwert *I* des Wechselstroms

sind die an Meßgeräten abgelesenen Werte, die bei allen elektrotechnischen Berechnungen benutzt werden. Sie sind den Größen u_{max} und i_{max} proportional.
Es gilt $U < u_{max}$; $I < i_{max}$.

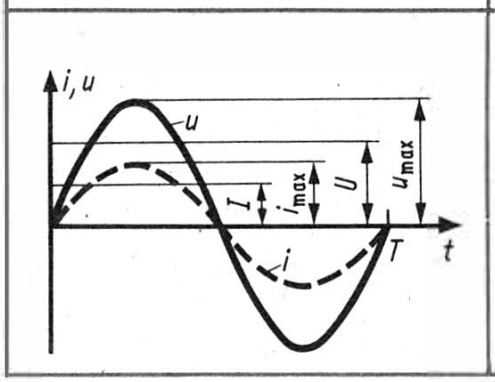
Widerstände im Wechselstromkreis

sind Größen, die in der Elektrotechnik allgemein zur Berechnung von Wechselstromkreisen benutzt werden. Man unterscheidet: Ohmscher Widerstand R, induktiver Widerstand X_L und kapazitiver Widerstand X_C.

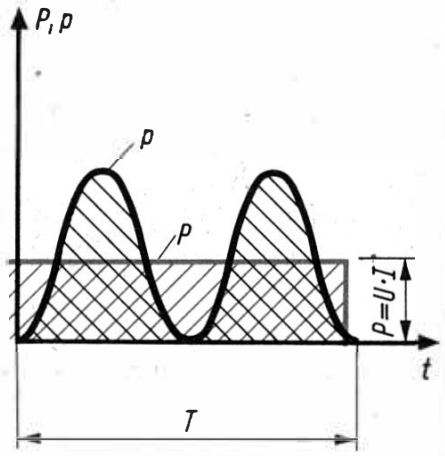
Ohmscher Widerstand *R*



Beispiel: Durch Verschieben des Gleitkontaktes am Stellwiderstand kann die Länge des Drahtes z. B. vergrößert werden. Dadurch wird der Ohmsche Widerstand R größer und die Stromstärke geringer. Die Lampe erlischt.



Effektivwert U und Momentanwert u; Effektivwert I und Momentanwert i.
Zwischen der Spannungs-Zeit-Kurve und der Stromstärke-Zeit-Kurve besteht keine zeitliche Verschiebung.



Leistung und Arbeit. Für jede Zeit t ist der Momentanwert p der Leistung gleich dem Produkt $u \cdot i$. Für den Effektivwert der Leistung gilt: $P = U \cdot I$. Die schwarz schraffierte Fläche unter der Leistungskurve bzw. die blau schraffierte Fläche (mit den Seiten $P = U \cdot I$ und T) ist ein Maß für die elektrische Arbeit.

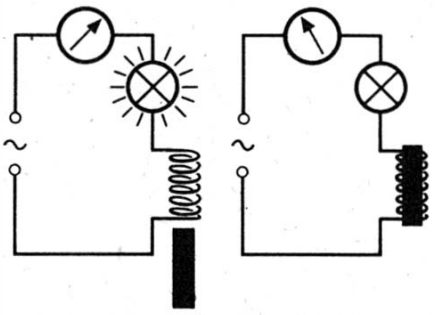
▶ Enthält ein Wechselstromkreis nur Ohmsche Widerstände, so gilt (für die Effektivwerte U und I) das Ohmsche Gesetz in der gleichen Form wie bei Gleichstrom.

↗ Ohmsches Gesetz, S. 120

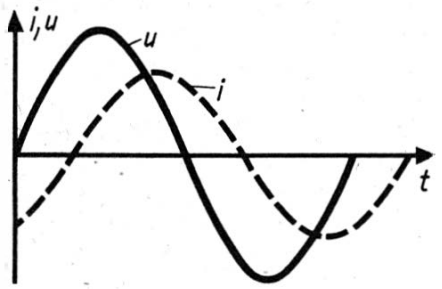
▶ Leistung im Wechselstromkreis bei Ohmschen Widerstand	$P = U \cdot I$

↗ Wirkleistung, S. 186

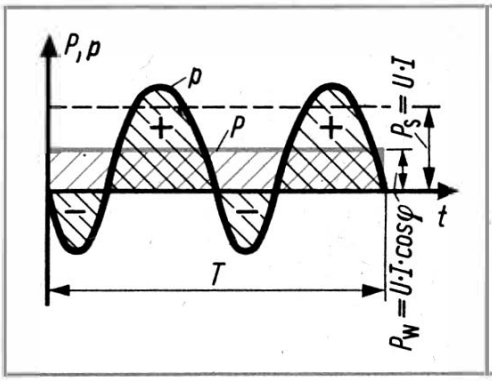
Induktiver Widerstand X_L



Beispiel: Durch Einschieben des Eisenkerns wird die Induktivität der Spule vergrößert. Dadurch wird der induktive Widerstand X_L größer und die Stromstärke geringer. Die Lampe erlischt.



Momentanwerte u und i. Zwischen der Spannungs-Zeit-Kurve und der Stromstärke-Zeit-Kurve besteht eine Verschiebung; das Spannungsmaximum tritt **vor** dem Stromstärkemaximum auf.

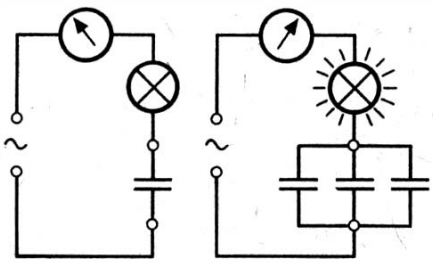


Leistung und Arbeit. Die Leistungskurve liegt über und unter der Zeitachse. Für die Scheinleistung P_s gilt: $P_s = U \cdot I$. Für die Wirkleistung P_w gilt: $P_w = U \cdot I \cdot \cos\varphi$. Die Wirkleistung P_w ist kleiner als die Scheinleistung P_s ($P_w < P_s$). Die Differenz der positiv und negativ gekennzeichneten schwarz schraffierten Flächen unter der Leistungskurve bzw. die blau schraffierte Fläche (mit den Seiten $P_w = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ und T) ist ein Maß für die elektrische Arbeit.

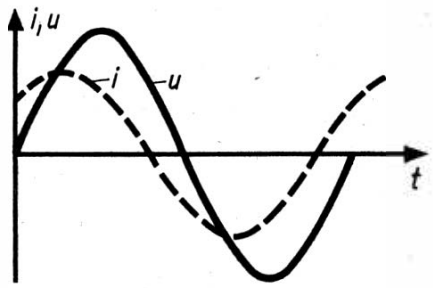
▶ Der induktive Widerstand X_L einer Spule ist ihrer Induktivität L proportional.

Ein induktives Schaltelement (Spule) bildet im Gleichstromkreis zusätzlich zu dem ihm eigenen Ohmschen Widerstand keinen Widerstand, im Wechselstromkreis dagegen bildet ein induktives Schaltelement zusätzlich zu seinem Ohmschen Widerstand einen induktiven Widerstand.

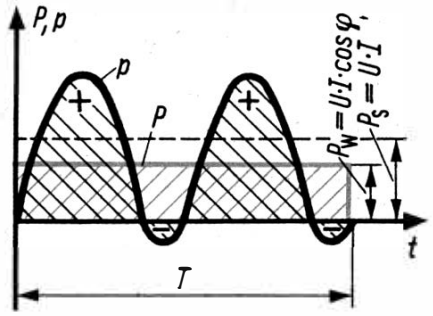
Kapazitiver Widerstand X_C



Beispiel: Durch Zuschalten von Kondensatoren wird die Kapazität vergrößert. Dadurch wird der kapazitive Widerstand X_C kleiner und die Stromstärke größer. Die Lampe leuchtet auf.



Momentanwerte u und i. Zwischen der Spannungs-Zeit-Kurve und der Stromstärke-Zeit-Kurve besteht eine Verschiebung; das Spannungsmaximum tritt **nach** dem Stromstärkemaximum auf.



Leistung und Arbeit. Die Leistungskurve liegt über und unter der Zeitachse. Für die Wirkleistung P_w gilt: $P_w = U \cdot I \cdot \cos\varphi$. Die Wirkleistung P_w ist kleiner als die Scheinleistung P_s ($P_w < P_s$). Die Differenz der positiv und negativ gekennzeichneten schwarz schraffierten Flächen unter der Leistungskurve bzw. die blau schraffierte Fläche (mit den Seiten $P_w = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ und T) ist ein Maß für die elektrische Arbeit.

▶ Der kapazitive Widerstand X_C eines Kondensators ist seiner Kapazität C umgekehrt proportional.

Ein kapazitives Schaltelement (Kondensator) bildet im Gleichstromkreis einen unendlich großen Widerstand. Im Wechselstromkreis ist der kapazitive Widerstand abhängig von der Kapazität des Schaltelements.

Scheinleistung P_s

▶ Die Scheinleistung P_s ist gleich dem Produkt der Effektivwerte U und I.

$$P_s = U \cdot I$$

Die Einheit ist 1 VA (Voltampere).

Leistungsfaktor cos φ

Dieser Faktor trägt bei der Berechnung der Wechselstromleistung der (meist vorhandenen) zeitlichen Verschiebung zwischen Spannungs- und Stromstärkekurve Rechnung (bzw. den unter der p-Kurve auftretenden negativ gekennzeichneten Flächen).

▶ Der Leistungsfaktor $\cos\varphi$ ist gleich dem Quotienten aus Wirkleistung P_w und Scheinleistung P_s.

$$\cos\varphi = \frac{P_w}{P_s}$$

Wirkleistung P_w

▶ ist die in einem Wechselstromkreis nutzbare Leistung, die vom Leistungsmesser (Wattmeter) angezeigt wird. Sie liegt auch der Anzeige der „Elektrizitätszähler" über die vom Verbraucher zu bezahlende Elektroenergie zugrunde.

Die Wirkleistung P_w ist gleich dem Produkt aus Scheinleistung P_s und Leistungsfaktor $\cos\varphi$.

$$P_w = P_s \cdot \cos\varphi$$
$$P_w = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Die Einheit ist 1 W (Watt).

Enthält ein Wechselstromkreis Spulen oder Kondensatoren (energiespeichernde Schaltelemente), so wird die zum Aufbau magnetischer oder elektrischer Felder aufgewandte Energie in jeder Periode zum Teil wieder an das Netz zurückgegeben. In einem solchen Stromkreis ist die nutzbare Leistung (die Wirkleistung P_w) daher im allgemeinen kleiner als die Scheinleistung P_s ($P_w < P_s$).

Leistungsfaktor und Energieversorgung

In Industriebetrieben sind zahlreiche Maschinen mit induktiven Widerständen (Elektromagnete, Elektromotoren, Transformatoren) an das Netz angeschlossen. Die Folge ist ein kleiner Leistungsfaktor cos φ. In diesem Fall ist das Netz mit hohen Stromstärken belastet, während die übertragene Wirkleistung P_w gering ist. Durch das Einschalten großer Kondensatorbatterien, die eine entgegengesetzte zeitliche Verschiebung der Stromstärke bewirken, wird der Leistungsfaktor größer.

Eine rationelle Übertragung von Elektroenergie ist nur gewährleistet, wenn der Leistungsfaktor im Energienetz mindestens den Wert 0,8 hat.

Transformatoren

bestehen aus zwei Spulen, die durch ein magnetisches Wechselfeld gekoppelt sind (Bild 187/1). Wird die Primärspule von einem Strom mit der Stromstärke I_1 durchflossen, entsteht ein magnetisches Wechselfeld, dessen Feldlinien die Sekundärspule durchsetzen und darin die Wechselspannung U_2 induzieren.

↗ elektromagnetische Induktion in einer Spule, S. 135

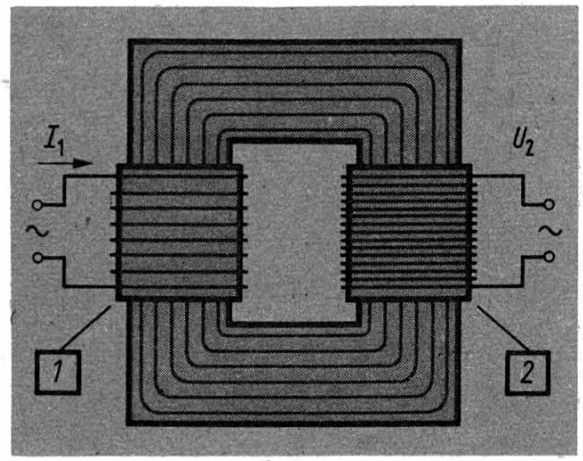


Bild 187/1

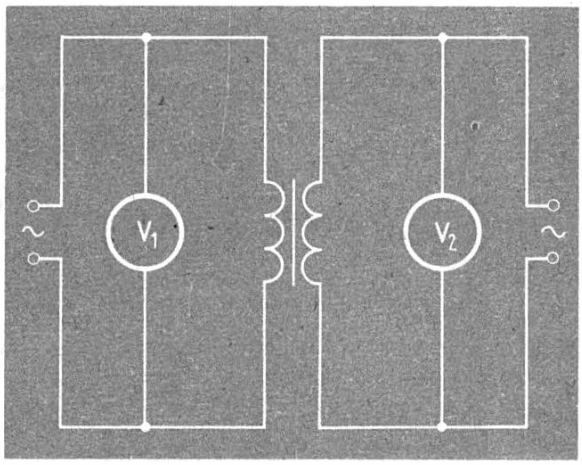


Bild 187/2

Spannungsübersetzung am Transformator

Durch Messung von U_1 und U_2 bei unterschiedlichen Windungszahlen N_1 und N_2 ergibt sich (Bild 187/2):

Beim unbelasteten Transformator verhalten sich die Spannungen U wie die Windungszahlen N der Spulen (Spannungsübersetzung).	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Bei *Hochspannungstransformatoren* erzeugen Sekundärspulen sehr großer Windungszahlen Spannungen bis 500 kV. Anwendung u. a. zur Fernleitung von Energie, zur Zündung bei Benzinmotoren, zum Betrieb von Röntgenröhren.

Stromstärkeübersetzung am Transformator

Im verlustlos angenommenen Transformator (idealer Transformator) sind nach dem Energieerhaltungssatz die Scheinleistungen im Primär- und Sekundärkreis gleich (↗ Satz von der Erhaltung der Energie, S. 101). Aus $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ folgt (bei kurzgeschlossener Sekundärspule):

Beim idealen Transformator stehen die Stromstärken I im umgekehrten Verhältnis zueinander wie die Windungszahlen N der Spule, wenn der Sekundärstromkreis kurzgeschlossen ist (Stromstärkeübersetzung).	$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

Bei *Schweißtransformatoren* liefert die Sekundärspule mit wenigen Windungen sehr dicken Kupferdrahtes bei $U_2 = 10$ V eine Schweißstromstärke von einigen tausend Ampere.

Bei einem **belasteten Transformator** sinkt die Spannung U_2 mit wachsender Belastung, d. h. bei wachsender Stromstärke I_2.

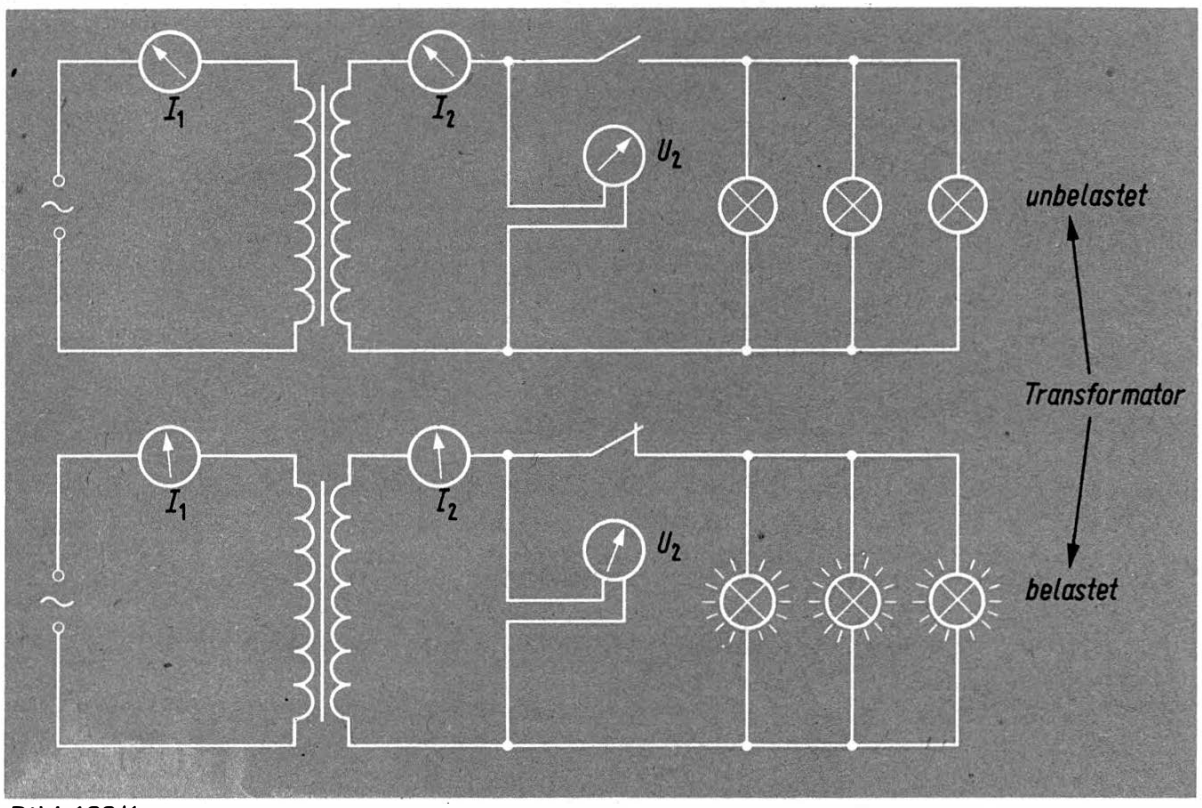


Bild 188/1

Nach dem Lenzschen Gesetz ist der Strom im Sekundärstromkreis so gerichtet, daß das vom Strom im Primärstromkreis erzeugte induzierende Magnetfeld geschwächt wird. Dadurch sinkt einerseits die induzierte Spannung U_2, andererseits auch der induktive Widerstand der Primärspule (Rückwirkung). Daher ist in einem belasteten Transformator die Stromstärke I größer als in einem unbelasteten Transformator.

↗ Lenzsches Gesetz, S. 137

Wirkungsgrad des Transformators

Infolge unvermeidlicher Energieverluste ist $\eta < 1$.

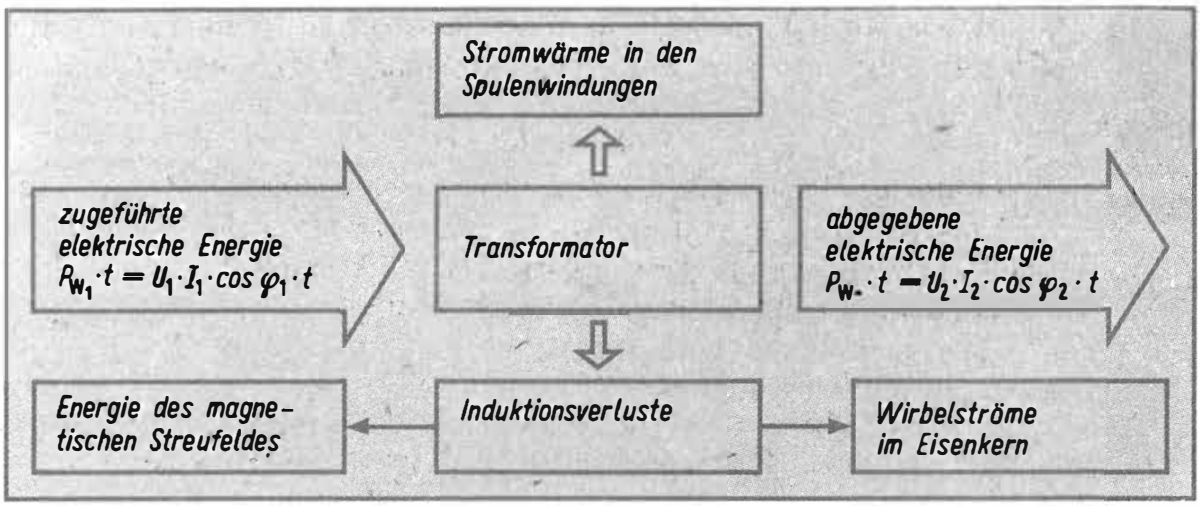


Bild 189/1 Darstellung des Energieflusses beim Transformator

▶ Der Wirkungsgrad η des Transformators ist gleich dem Quotienten aus den Wirkleistungen P im Sekundär- und im Primärkreis.

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

■ Die Leistungstransformatoren des Energienetzes erreichen durch die Anwendung hochwertigen Eisenwerkstoffes und durch konstruktive Maßnahmen einen Wirkungsgrad $\eta = 98\%$. Das ist von großer ökonomischer Bedeutung, weil der Wechselstrom auf dem Weg vom Kraftwerk zum Verbraucher etwa 5mal transformiert wird. Wegen $0{,}98^5 = 0{,}90$ gehen etwa 10% in Transformatoren der Nutzung verloren.

7.4. Energieumwandlung bei Schwingungen

Bei Schwingungen wird Energie zwischen gekoppelten Energiespeichern ständig ausgetauscht

↗ Satz von der Erhaltung der Energie, S. 101
↗ Energiespeicher bei elektromagnetischen Schwingern, S. 178

Dämpfung

von Schwingungen bezeichnet den Vorgang, daß die zwischen den Energiespeichern ausgetauschte Energie abnimmt.
Bei einer mechanischen Schwingung wird ein Teil der mechanischen Energie durch Reibung im Lager des Pendelschwingers, durch Reibung im Gefüge der Feder des Federschwingers, durch Reibung des in der Luft bewegten

Körpers in Wärme umgewandelt, die sich nicht wieder in mechanische Energie zurückverwandelt. Bei einer elektromagnetischen Schwingung wird ein Teil der elektromagnetischen Energie durch Erwärmung des Dielektrikums des Kondensators, durch den Ohmschen Widerstand des Leiters und durch Wirbelströme im Spulenkern in Wärme umgewandelt, die sich nicht wieder in elektromagnetische Energie zurückverwandelt.

Gedämpfte Schwingung

wird eine Schwingung genannt, deren Amplitude infolge Energieabgabe aus dem Schwinger nicht konstant ist. Die Amplitude wird kleiner.

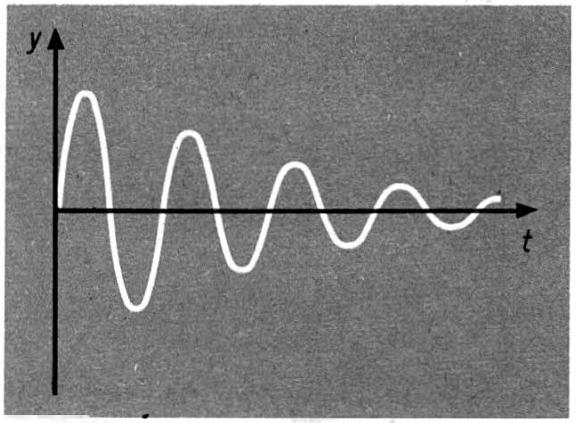


Bild 190/1 Diagramm einer gedämpften Schwingung

Ungedämpfte Schwingung

nennt man eine Schwingung, deren Amplitude konstant ist. Eine ungedämpfte Schwingung ist praktisch dadurch herbeizuführen, daß dem schwingenden System periodisch die Energie zugeführt wird, die durch Dämpfung in Wärme umgewandelt oder in anderer Form (↗ Erregung einer elektromagnetischen Welle, S. 208) abgegeben wird.

■ Uhrpendel, Wagnerscher Hammer, Schwingkreis mit Meißnerscher Rückkopplungsschaltung

Röhrengenerator

dient zur Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen. Ein geschlossener Schwingkreis (↗ S. 177) ist mit dem Gitterkreis einer Röhrentriode (↗ S. 146) gekoppelt (Meißnersche Rückkopplungsschaltung).

Die Schwingkreisspule ist mit der Spule im Gitterkreis induktiv gekoppelt. Dadurch entsteht am Gitter der Röhre eine Wechselspannung der Frequenz f_0 des Schwingkreises. Durch die Steuerwirkung des Gitters entstehen periodische Änderungen der Anodenstromstärke (Energiezufuhr) die im Schwingkreis ungedämpfte Schwingungen erregen.

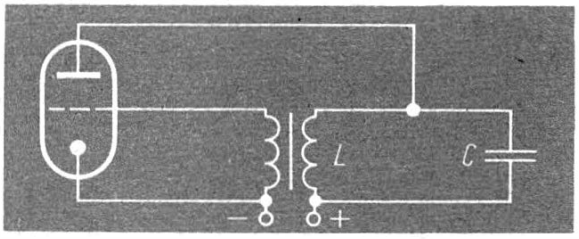


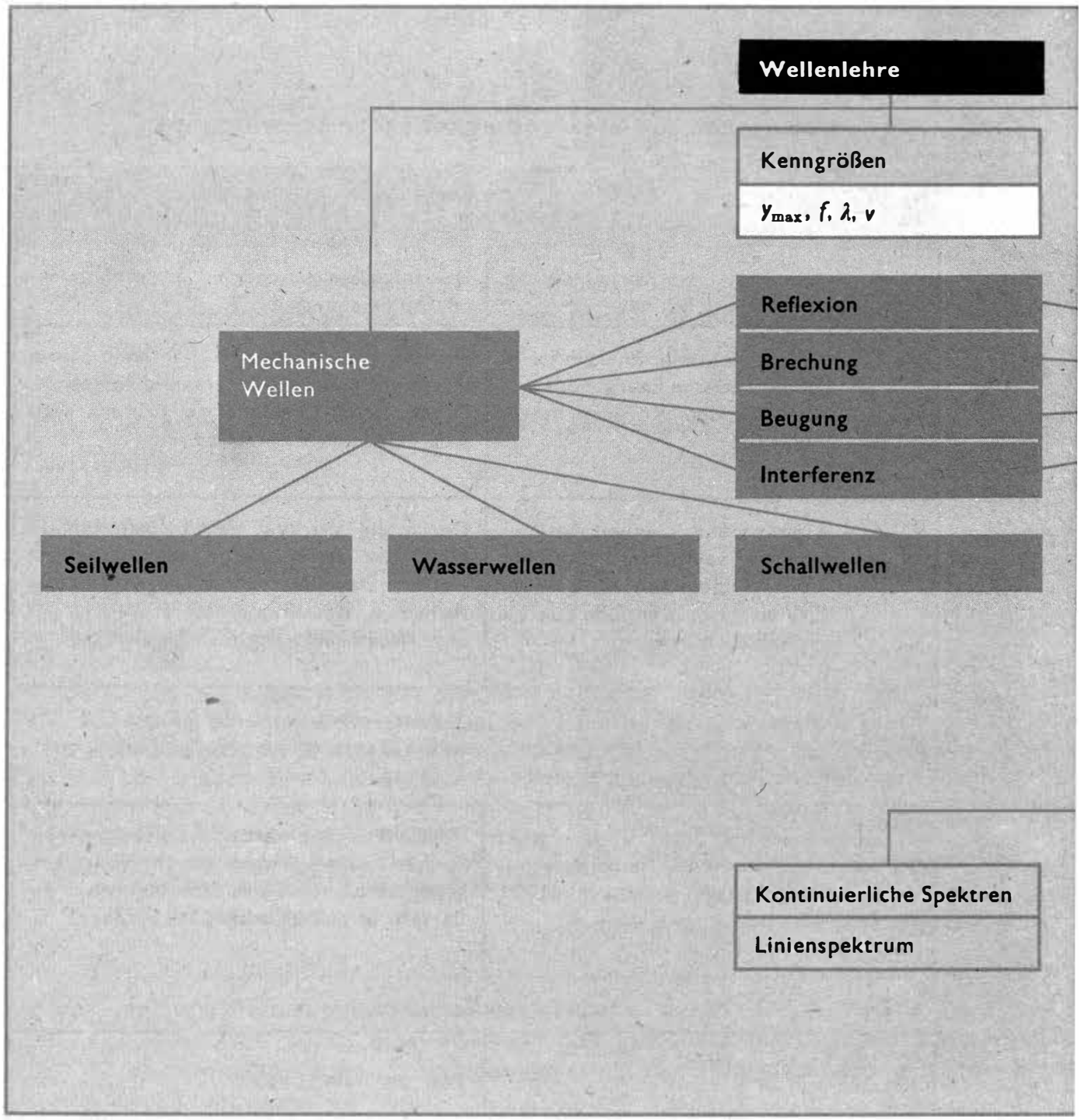
Bild 190/2 Rückkopplungsschaltung eines Schwingkreises mit einer Röhrentriode

▶ In einer Rückkopplungsschaltung entstehen durch periodische Energiezufuhr, die durch eine Röhrentriode gesteuert wird, ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen mit der Eigenfrequenz f_0 des Schwingkreises.

■ Von Röhrengeneratoren erzeugte hochfrequente Wechselspannungen mit Frequenzen zwischen 10 kHz und 1 Hz werden in Technik und Medizin zur *Hochfrequenzerwärmung* angewandt.
Nichtleitende Stoffe erwärmen sich im hochfrequenten Wechselfeld eines Kondensators. Dieser Sachverhalt wird zur *Schnelltrocknung von Holz* und zur *Herstellung von Schweißnähten* bei PVC-Folien genutzt. Hochfrequente Wechselfelder ($f_0 > 100$ kHz) sind für den menschlichen Körper unschädlich und werden zur *Tiefenerwärmung erkrankter Körperstellen* benutzt (Kurzwellentherapie).
Leitende Stoffe erwärmen sich im hochfrequenten Wechselfeld einer Spule. Dieser Sachverhalt wird zur *Oberflächenhärtung* und zum *Zonenschmelzen* genutzt.

Vergleich mechanischer und elektromagnetischer Schwingungen

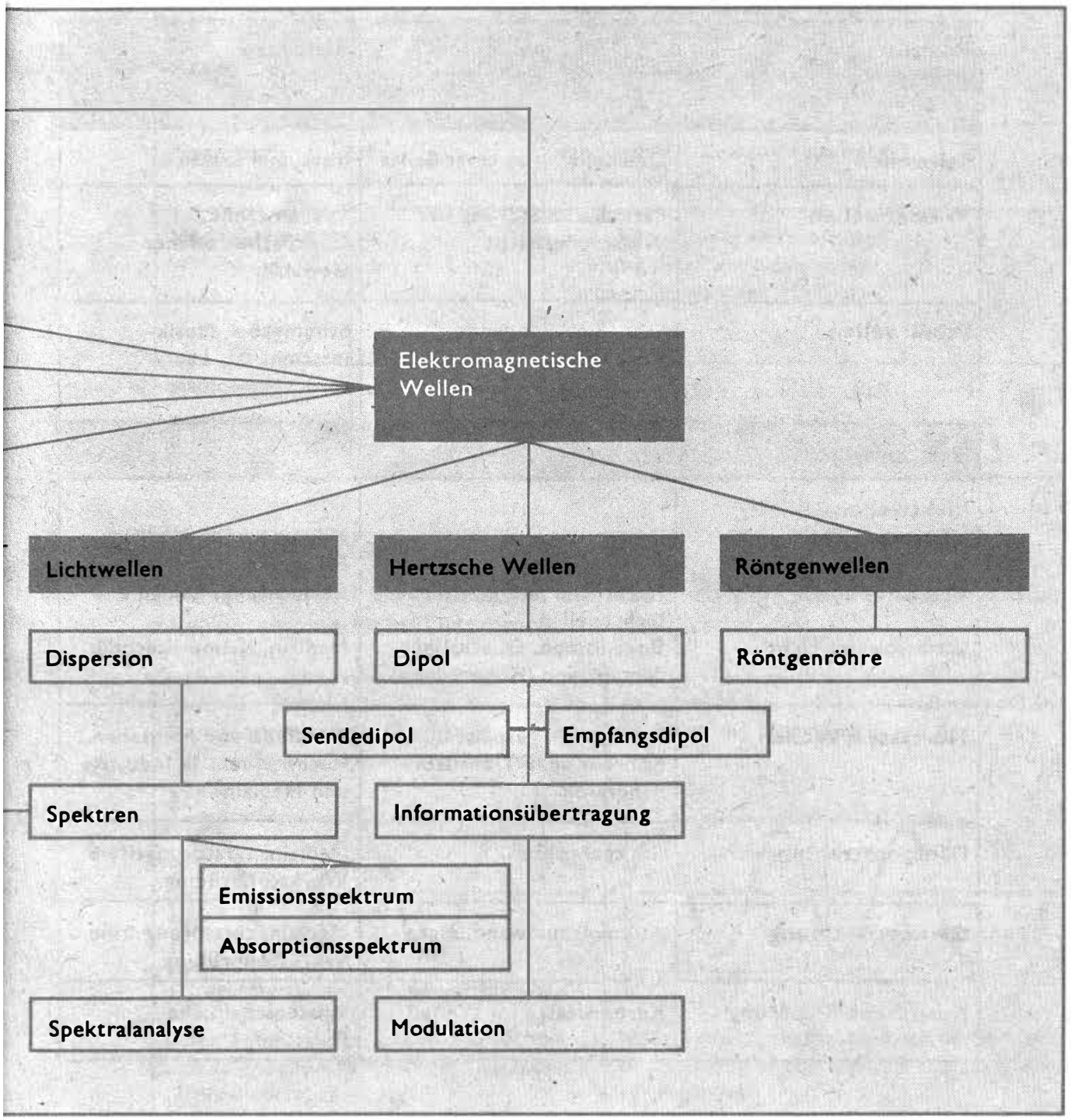
Mechanische Schwingungen (Pendelschwinger)		**Elektromagnetische Schwingungen** (geschlossener Schwingkreis)
$t = 0$	Der gehobene Körper enthält potentielle Energie	Der aufgeladene Kondensator enthält elektrische Feldenergie
$t = \frac{T}{4}$	Die potentielle Energie ist in die kinetische Energie des sich bewegenden Körpers umgewandelt	Der bei der Entladung auftretende Strom hat in der Spule ein Magnetfeld aufgebaut. Die elektrische Feldenergie ist in magnetische Feldenergie umgewandelt
$t = \frac{T}{2}$	Infolge der Trägheit hat der Körper seine Bewegung über den Ruhepunkt fortgesetzt. Wieder ist potentielle Energie vorhanden usw.	Durch die Wirkung der Selbstinduktion fließt der Strom nach Ladungsausgleich weiter. Das führt zu entgegengesetzter Aufladung des Kondensators. Wieder ist elektrische Feldenergie vorhanden usw.
Wenn sich der Vorgang in dieser Weise fortsetzte, so würde zu den Zeiten T, $2T$, $3T$ usw. immer wieder der Ausgangszustand von $t = 0$ erreicht werden, und die Schwingungen hätten kein Ende (ungedämpfte Schwingung)		
Tatsächlich aber werden die mechanischen Schwingungen durch den Reibungswiderstand gedämpft, so daß sie schließlich aufhören		Tatsächlich aber werden die elektromagnetischen Schwingungen durch den Ohmschen Widerstand des Schwingkreises gedämpft, so daß sie schließlich aufhören
(gedämpfte Schwingung)		
Periode $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$		Periode $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$


Wellenlehre
Kenngrößen
y_{max}, f, λ, v
Mechanische Wellen
Reflexion
Brechung
Beugung
Interferenz
Seilwellen
Wasserwellen
Schallwellen
Kontinuierliche Spektren
Linienspektrum

Wellenlehre

8

Die Wellenlehre ist das Teilgebiet der Physik, in dem alle zeitlich und räumlich periodischen Vorgänge beschrieben werden.



Wellen treten auf, wenn sich Schwingungen, von einem Erreger ausgehend, durch Kopplung von Schwingern oder durch Kopplung von Feldern räumlich ausbreiten.

▶ Eine Welle ist ein physikalischer Vorgang, bei dem Energie übertragen, jedoch kein Stoff transportiert wird, und der durch zeitlich und räumlich periodische Änderungen einer physikalischen Größe beschrieben wird.

Wellenarten und ihre Erzeugung

Wellenart	Erzeugung durch	Beispiele
Mechanische Wellen		
Seilwellen	Querschwingen eines Seiles	Instrumentensaiten
Wasserwellen	Periodische Störung der Wasseroberfläche	Wellenwanne, Oberflächen offener Gewässer
Schallwellen	Schnell schwingende Körper	Stimmgabel, Musikinstrumente, Lautsprechermembran
Elektromagnetische Wellen		
Lichtwellen		
Infrarotes Licht	Infrarotstrahler	Militärtechnik, Medizin, Fotografie
Sichtbares Licht	Natürliche und künstliche Lichtquellen	Beleuchtung, Reklame
Ultraviolettes Licht	Bogenlampe, Quecksilberdampflampe (Höhensonne)	Medizin, Kriminaltechnik
Hertzsche Wellen	Sendedipol, gespeist durch Röhren- oder Transistorgenerator	Rundfunk und Fernsehen, Hochfrequenz in Industrie und Medizin
Röntgenstrahlung	Röntgenröhre	Medizin, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
Gammastrahlung	Atomkernumwandlungen	Medizin, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
Kosmische Strahlung	Kernprozesse im Weltall	Wissenschaftliche Forschung

8.1. Darstellung von Wellen

Für die Beschreibung und Berechnung von Wellen sind folgende Größen gebräuchlich:

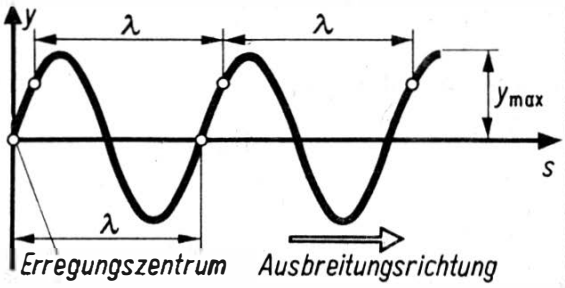
Kenngrößen einer Welle

Kenngröße	Formelzeichen	Erläuterung	Beziehungen
Elongation	y	Momentanwert der sich verändernden physikalischen Größe	
Amplitude	y_{max}	Maximalwert der sich verändernden physikalischen Größe	
Frequenz	f	Frequenz der sich ausbreitenden Schwingungen	$f = \frac{1}{T}$
Wellenlänge	λ	Abstand zweier in Ausbreitungsrichtung aufeinanderfolgender gleicher Schwingungszustände	$\lambda = \frac{v}{f}$
Ausbreitungsgeschwindigkeit	v	Geschwindigkeit, mit der sich ein Schwingungszustand ausbreitet	$v = \lambda \cdot f$

Diagramme einer Welle

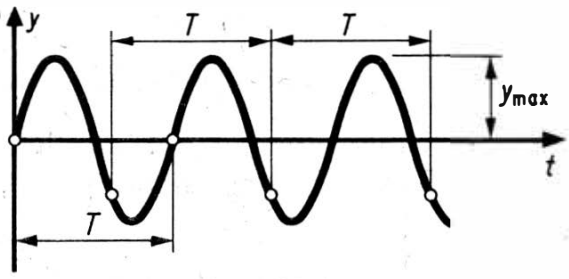
Eine Welle wird als ein zeitlich und räumlich periodischer Vorgang durch zwei unterschiedliche Diagramme dargestellt:

Zu einem bestimmten Zeitpunkt (t = konstant) ändert sich die Elongation y mit der Entfernung s vom Erregungszentrum



Jeder Schwingungszustand wiederholt sich in gleichen räumlichen Abständen λ (λ: Wellenlänge)

An einem bestimmten Ort (s = konstant) ändert sich die Elongation y mit der Zeit t



Jeder Schwingungszustand wiederholt sich in gleichen Zeitabständen T (T: Periode)

8.2. Mechanische Wellen

Mechanische Wellen werden durch zeitlich und räumlich periodische Änderungen mechanischer Größen beschrieben.

■ Veränderliche Größe ist die Elongation schwingungsfähiger Teilchen oder der Luftdruck (bei Schallwellen).

Kopplung von Schwingern

▶ Bei gekoppelten Schwingern wird die Energie von einem auf den anderen Schwinger übertragen.

Ist Schwinger 1 (durch Energiezufuhr) erregt, wird Schwinger 2 durch die mechanische Kopplung der Schwinger zum Mitschwingen gebracht.

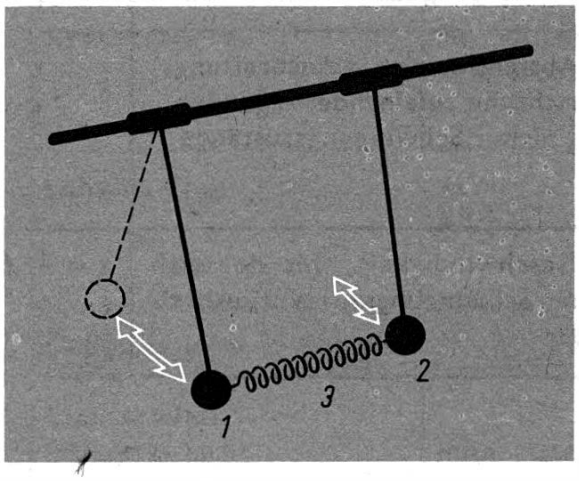


Bild 196/1 Gekoppelte mechanische Schwinger
Schwinger 1 (Erreger)
Schwinger 2 (Resonator)
Feder 3 (Kopplung)

Schwingerkette

ist das Modell eines Körpers, dessen Teilchen durch Kohäsionskräfte elastisch gekoppelt sind. Die Teilchen werden als gekoppelte mechanische Schwinger gleicher Eigenfrequenz (↗ S. 179) betrachtet.

■ In Bild 197/1 ist modellmäßig ein elastisches Seil als Schwingerkette und die Ausbreitung einer Seilwelle durch Momentaufnahmen der Kette in Abständen $\frac{T}{4}$ dargestellt. Die einzelnen Schwinger schwingen quer zur Ausbreitungsrichtung der Welle um festbleibende Ruhepunkte. Der Körper als Ganzes bewegt sich nicht.

▶ Durch mechanische Wellen in einem elastischen Körper wird Energie übertragen, ohne daß Stoff transportiert wird.

■ Zerstörungen durch Meeres- oder Erdbebenwellen.

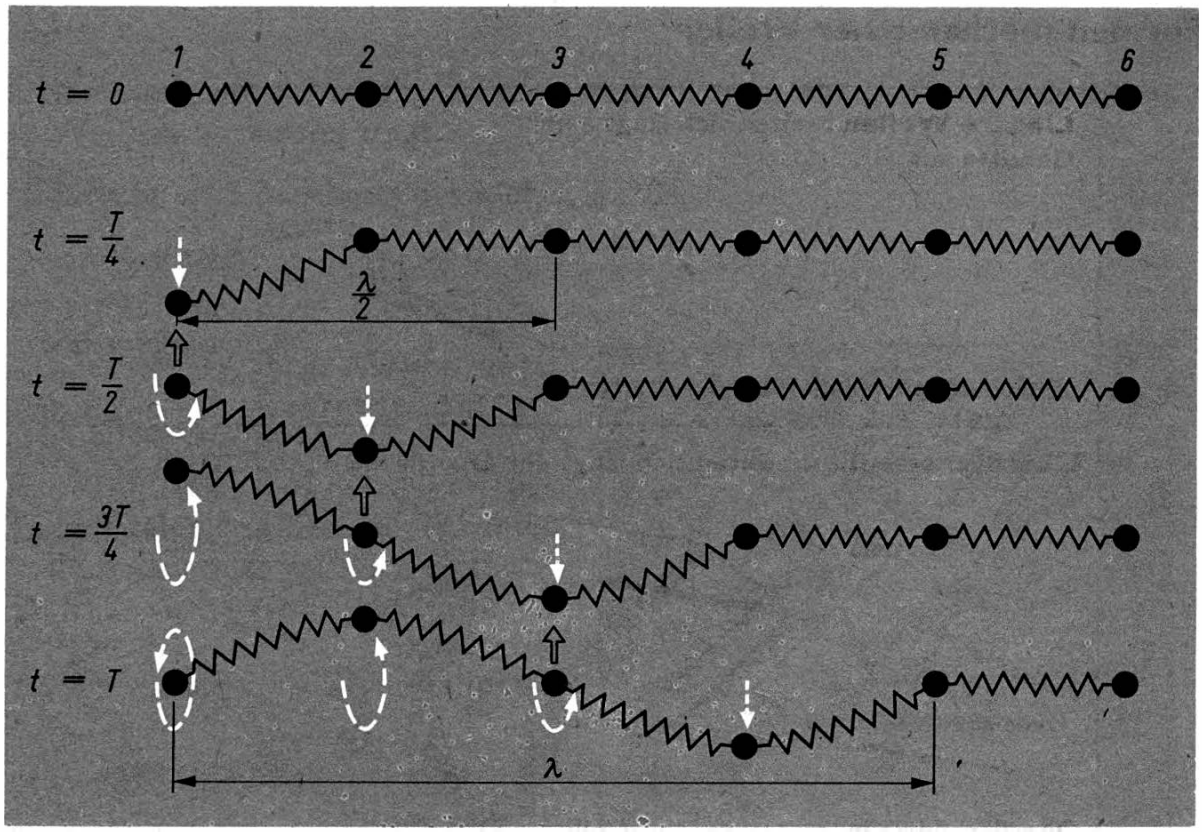


Bild 197/1 Modell einer mechanischen Welle (Seilwelle). Die Geschwindigkeit der einzelnen Schwinger ist durch Pfeile, der von ihnen zurückgelegte Weg durch weiß gestrichelte Pfeile dargestellt. In der Zeit T, in der Schwinger 1 eine Schwingung vollendet, breitet sich die Welle um die Strecke λ aus.

Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle

▶ Eine Welle rückt in der Zeit T um die Strecke λ vor. Demnach breitet sich ein bestimmter Schwingungszustand mit der Geschwindigkeit $v = \frac{\lambda}{T}$ aus.

Mit $T = \frac{1}{f}$ folgt hieraus:

▶

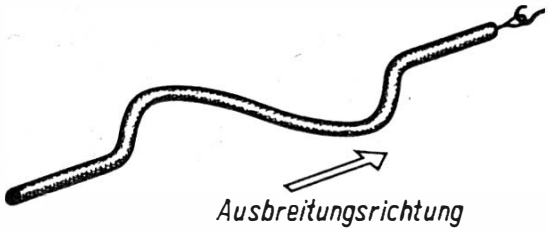
Grundgleichung der Wellenausbreitung	$v = \lambda \cdot f$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Wellen hängt von den mechanischen Eigenschaften der Stoffe ab.

↗ Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen, Tafelwerk, S. 38
↗ Lichtgeschwindigkeit c, S. 203

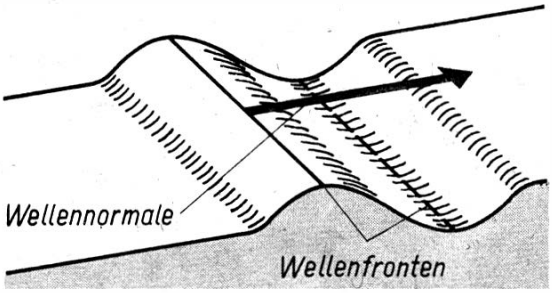
Formen mechanischer Wellen

Lineare Wellen breiten sich längs einer Geraden aus

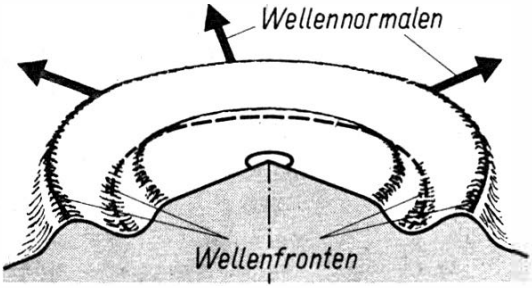


■ Seilwellen, Wellen auf Stahlsaiten

Oberflächenwellen breiten sich längs der Oberfläche eines Körpers aus



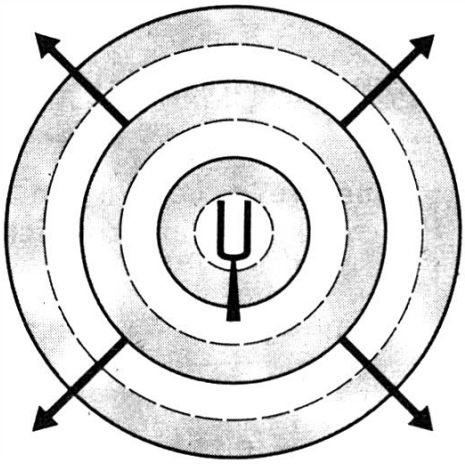
Oberflächenwelle mit geraden Wellenfronten



Oberflächenwelle mit kreisförmigen Wellenfronten

■ Erdbebenwellen, Wasserwellen auf offenen Gewässern oder in der Wellenwanne

Raumwellen um einen punktförmigen Erreger breiten sich in einem homogenen Stoff kugelförmig aus



■ Schallwellen einer angeschlagenen Stimmgabel oder Glocke

Wellenfront

einer mechanischen Welle verbindet alle benachbarten Schwinger mit gleichem Schwingungszustand.

■ Wellenfront bei den Bildern 198/2 und 3 ist z. B. die Kammlinie auf einem Wellenberg.

■ Wellenfronten in Bild 198/4 sind die Kugelflächen maximalen Druckes (ausgezogen) und minimalen Druckes (gestrichelt).

Wellennormale

ist eine Linie, die senkrecht auf der Wellenfront steht und in die Richtung der Wellenausbreitung zeigt.

↗ Reflexion und Brechung des Lichts, S. 204

Reflexion einer Welle

ist die Änderung ihrer Ausbreitungsrichtung beim Auftreffen auf ein Hindernis (Bild 199/1).
Der **Einfallswinkel** wird von der Wellennormalen der einfallenden Welle mit dem Einfallslot gebildet.
Der **Reflexionswinkel** wird von der Wellennormalen der reflektierten Welle mit dem Einfallslot gebildet.

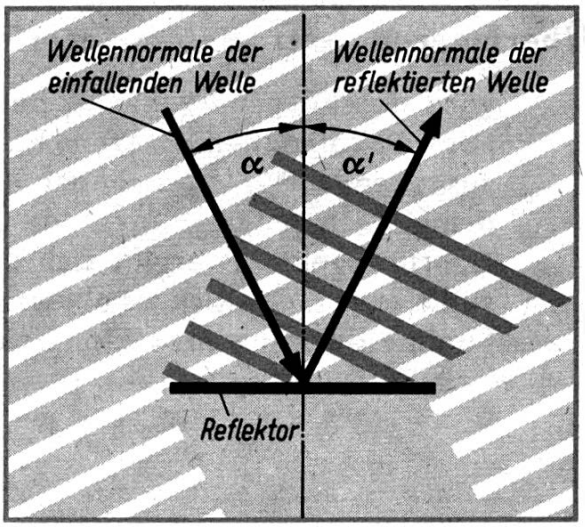


Bild 199/1 Reflexion einer Wasserwelle mit geraden Wellenfronten an einem Hindernis

▶ Bei der Reflexion einer Welle sind der Einfallswinkel α und der Reflexionswinkel α' gleich groß. Einfallsnormale, Einfallslot und Ausfallsnormale liegen in einer Ebene.

↗ Reflexion des Lichts, S. 204
↗ Reflexion von Hertzschen Wellen, S. 208

Brechung einer Welle

ist die Änderung ihrer Ausbreitungsrichtung beim Durchgang durch die Grenzfläche von zwei Gebieten unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit (Bild 199/2).

- Übergang von Wasserwellen von tiefem in flaches Wasser
- Übergang von Lichtwellen von Luft in Glas

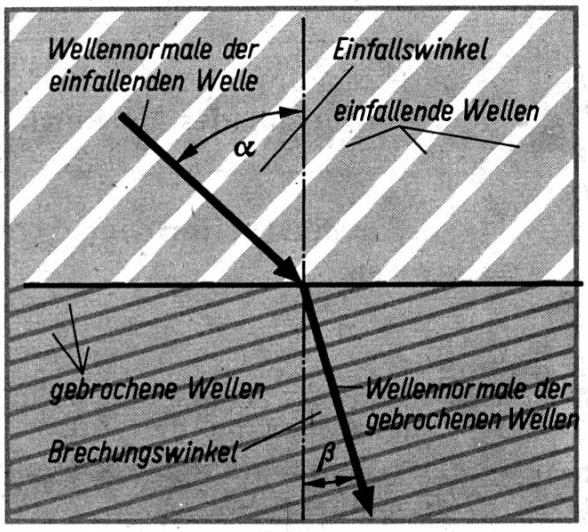


Bild 199/2 Brechung von Wasserwellen an der Grenze von tiefem und flachem Wasser

Beim Übergang einer Welle in ein Gebiet mit geringerer Ausbreitungsgeschwindigkeit ist der Einfallswinkel α größer als der Brechungswinkel β. Trifft umgekehrt die Welle auf einen Stoff mit größerer Ausbreitungsgeschwindigkeit, so gilt $\alpha < \beta$.

↗ Brechung des Lichts, S. 204

Überlagerung von Wellen-Interferenz

wird der Vorgang genannt, bei dem von verschiedenen Erregern E_1, E_2 ... ausgehende Wellen einander durchdringen. In jedem Punkt des Überlagerungsgebietes ergibt sich die *resultierende Elongation* als algebraische Summe der einzelnen Elongationen.

Bild 200/1 Interferenz von zwei Wasserwellen gleicher Frequenz und gleicher Amplitude

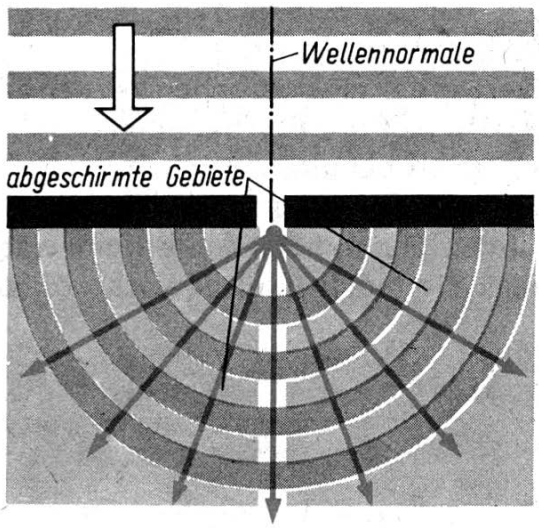
Bei der Interferenz gleichartiger Wellen werden die Wellen an bestimmten Stellen verstärkt, an anderen Stellen geschwächt oder ausgelöscht.

Verstärkung und Abschwächung durch Interferenz ist ein für Wellen kennzeichnendes Merkmal.

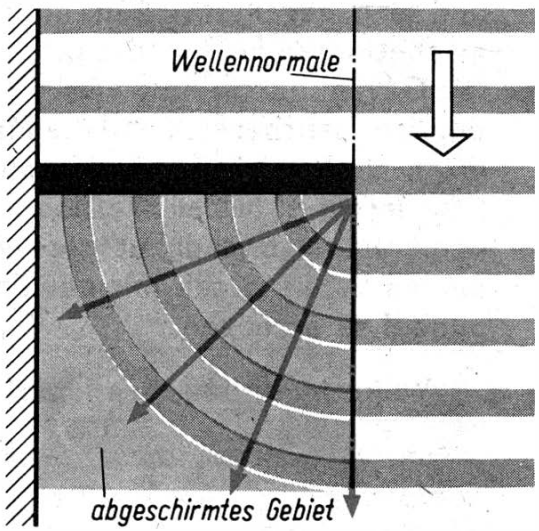
Interferenzstreifen sind Streifen, die bei der Überlagerung von Wellen auftreten.

Beugung

ist die Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Welle an einem Spalt oder an einer Kante, wobei die Welle in das dahinterliegende abgeschirmte Gebiet übergreift.



Beugung von Wasserwellen an einem schmalen Spalt. Der Spalt wirkt wie ein Erreger von Wellen



Beugung von Wasserwellen an einer Kante. Die Kante des Hindernisses wirkt wie ein Erreger von Wellen

▶ Beugung ist ein für Wellen kennzeichnendes Merkmal.

■ Die Beugung von Schallwellen ist aus dem täglichen Leben bekannt: Auch wenn sich ein Hindernis zwischen Schallquelle und Ohr befindet, ist ein Schall zu hören.

↗ Beugung und Interferenz des Lichts, S. 204

8.3. Elektromagnetische Wellen

Elektromagnetische Wellen werden durch elektromagnetische Schwingungen erregt und durch zeitlich und räumlich periodische Änderungen der elektrischen oder magnetischen Feldstärke beschrieben. U. a. gehören dazu Lichtwellen (↗ S. 202), Hertzsche Wellen (↗ S. 206) und Röntgenstrahlung (↗ S. 212).

↗ Erregung einer elektromagnetischen Welle, S. 208

Elektromagnetisches Spektrum

enthält die Gesamtheit der elektromagnetischen Wellen, geordnet nach der Frequenz f (Bild 202/1).
So verschieden auch die Wirkungen und Anwendungen dieser Wellen im einzelnen sind, so genügt zu ihrer Beschreibung und Berechnung im Prin-

zip das gleiche Modell der sich zeitlich und räumlich periodisch ändernden und sich gegenseitig durchdringenden und bedingenden elektrischen und magnetischen Felder, das in Bild 207/4 dargestellt ist.
Die Gegenüberstellung mit dem Spektrum der mechanischen Wellen zeigt, daß der Frequenzbereich und die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen bei elektromagnetischen Wellen bedeutend größer als bei mechanischen Wellen ist.
Gemeinsam ist beiden Wellenarten, daß mit wachsender Frequenz die Energieübertragung und damit die Wirkungen zunehmen. Außerdem wächst bei beiden Wellenarten mit der Frequenz die Möglichkeit, gerichtete Strahlenbündel zu erzeugen.

↗ Wellenarten und ihre Erzeugung, S. 194

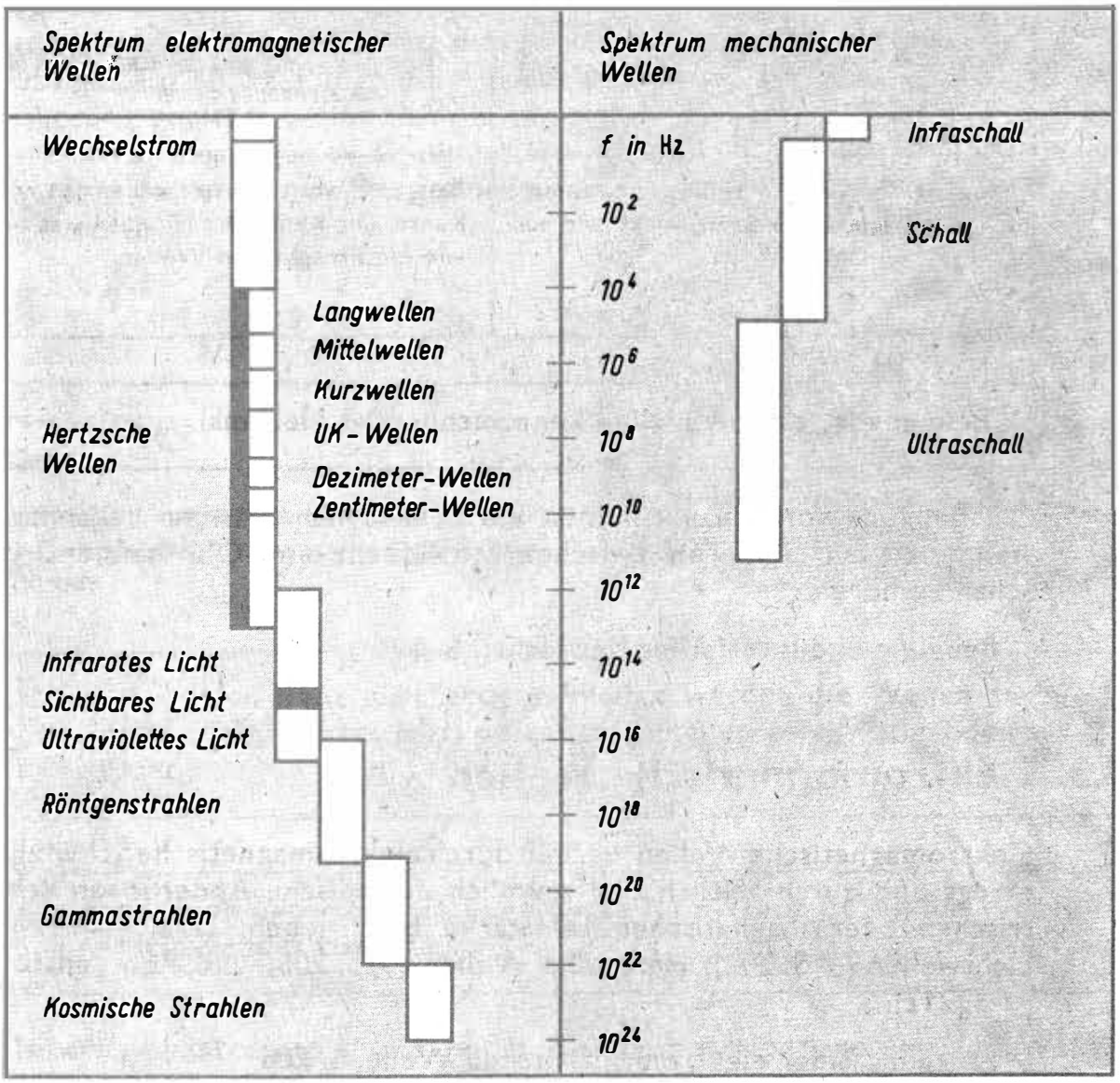


Bild 202/1 Spektrum der elektromagnetischen und der mechanischen Wellen

Lichtwellen

nennt man die elektromagnetischen Wellen im Wellenlängenbereich von $3 \cdot 10^{-4}$ m bis 10^{-9} m. Bei ihrer Ausbreitung treten die für Wellen kennzeichnenden Erscheinungen Reflexion (↗ S. 199), Brechung (↗ S. 199), Beugung und Interferenz (↗ S. 200) auf.

Emission von Licht

tritt ein beim Übergang eines angeregten Atoms in einen energieärmeren Zustand. Ein Elektron der Atomhülle geht von einem energiereicheren auf ein energieärmeres Niveau über. Die Energiedifferenz wird als Licht einer bestimmten Frequenz emittiert.

↗ Energieniveauschema, S. 219

Lichtenergie

▶ Durch Lichtwellen wird (wie durch andere Wellen) Energie übertragen.

■ Bei der Fotosynthese wird der Katalysator Chlorophyll durch Lichtenergie aktiviert, angeregt.

■ Viele Stoffe verändern unter dem Einfluß von Licht ihre Farbe oder ihren chemischen Aufbau (Plaste, Medikamente, Nahrungsmittel).

Lichtgeschwindigkeit *c*

beträgt im Vakuum 299792,5 $\frac{km}{s}$ und ändert sich wesentlich beim Durchgang des Lichts durch verschiedene Stoffe.

Stoff	Lichtgeschwindigkeit *c* in $\frac{km}{s}$ (gerundet)
Luft	300000
Wasser	225000
Kronglas	200000
Flintglas	186000
Diamant	125000

Aus der Grundgleichung der Wellenausbr itung (↗ S. 197) ergeben sich für die Frequenz von Lichtquellen sehr hohe Werte.

■ Für rotes Licht der Wellenlänge $\lambda = 7{,}6 \cdot 10^{-4}$ mm folgt z. B.

$f = \frac{c}{\lambda}$; $f = \frac{3 \cdot 10^{11}\ \text{mm} \cdot 10^{4}}{7{,}6\ \text{mm}}$;

$f \approx 4 \cdot 10^{14}$ Hz;

$\underline{\underline{f \approx 400\ \text{THz}}}$

↗ Spektralfarben, Frequenzen und Wellenlängen, S. 205

Reflexion und Brechung des Lichts

sind in der geometrischen Optik (Bilder 156/3 und 162/1) durch Lichtstrahlen dargestellt. Diese Darstellungen stimmen mit den Wellenbildern 199/1 und 199/2 überein, wenn die Lichtstrahlen als Wellennormale der Lichtwellen aufgefaßt werden.

↗ Lichtstrahl, S. 154

Beugung und Interferenz des Lichts

tritt ein, wenn Lichtwellen auf ein beugendes Hindernis (Haar, Spalt, Doppelspalt, Gitter) treffen. Es entstehen hinter solchen Körpern durch die Überlagerung von Wellen Zonen, an denen Verstärkung oder Auslöschung des Lichts beobachtet werden kann.

↗ Interferenz, S. 200

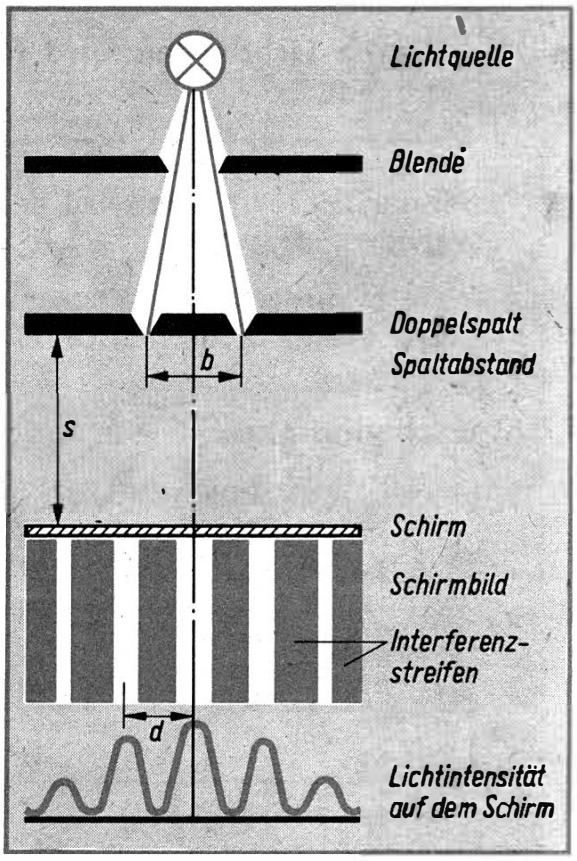


Bild 204/1 Entstehung von Interferenzstreifen durch Beugung des Lichts am Doppelspalt. Aus dem Abstand d der Interferenzstreifen und den Größen b, s ergibt sich die Wellenlänge einfarbigen Lichts nach der Gleichung $\lambda = \frac{d \cdot b}{s}$

▶ Die Welleneigenschaft des Lichts zeigt sich darin, daß hinter beugenden Hindernissen Interferenzerscheinungen auftreten.

Farbzerlegung von weißem Licht

tritt ein, wenn es durch ein optisches Prisma geleitet wird.
Spektrum wird die Gesamtheit der hierbei auftretenden Lichtfarben genannt.

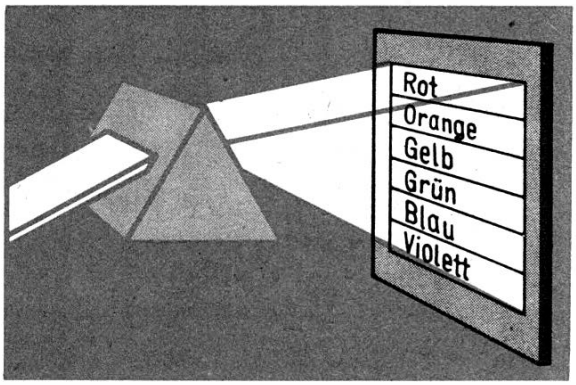


Bild 204/2 Schematische Darstellung der Entstehung eines Spektrums

Spektralfarben heißen die einzelnen bei der Farbzerlegung auftretenden Farben, die nicht weiter zerlegt werden können.

Mittlere Frequenzen und Wellenlängen der Spektralfarben

Spektralfarbe	Frequenz f in Hz	Wellenlänge λ in nm
Rot	$3{,}7 \cdot 10^{14}$	800
Orange	$5 \cdot 10^{14}$	600
Gelb	$5{,}2 \cdot 10^{14}$	580
Grün	$5{,}6 \cdot 10^{14}$	530
Blau	$6{,}5 \cdot 10^{14}$	460
Violett	$7{,}5 \cdot 10^{14}$	400

Kontinuierliches Spektrum

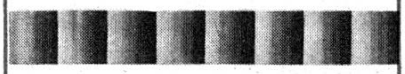
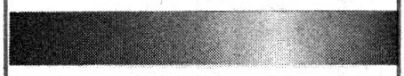
ist das lückenlos zusammenhängende Band der Spektralfarben.

Spektrallinie

ist das einfarbige Bild des Spaltes, durch den das Licht der aussendenden Lichtquelle gebeugt wird (Emissionsspektrum). Beim Absorptionsspektrum entsteht eine dunkle Linie als Spaltbild dort, wo kein (gebeugtes) Licht auftrifft. Beim Emissionsspektrum eines Elements liegt das einfarbige Spaltbild genau an der Stelle, wo beim Absorptionsspektrum des gleichen Elements ein dunkles Spaltbild liegt.

Linienspektrum

ist ein diskontinuierliches, aus einzelnen Spektrallinien zusammengesetztes Spektrum.
Nach der *Art des untersuchten Stoffes* unterscheidet man:

Stoff	Bezeichnung des Spektrums		Beispiel
1. Atomare Gase	Diskontinuierliche Spektren	**Linienspektrum**	
2. Molekulare Gase		**Bandenspektrum**	
3. Festkörper, Flüssigkeiten und Gase	**Kontinuierliches Spektrum**		

Nach dem *Ort des untersuchten Stoffes* beim Erzeugen des Spektrums unterscheidet man:

Ort des Stoffes	Bezeichnung des Spektrums	Merkmal
Stoff in der Lichtquelle	**Emissionsspektrum**	Farbige Linien auf dunklem Grund
Stoff zwischen Lichtquelle und Prisma	**Absorptionsspektrum**	Dunkle Linien im kontinuierlichen Spektrum

Spektralanalyse

wird die Erzeugung und Auswertung von Spektren der zu untersuchenden Stoffe genannt. Das Spektrum wird daraufhin untersucht, welche der für bestimmte Elemente typischen Spektrallinien vorhanden sind.

- Ihre *wissenschaftliche Bedeutung* beruht wesentlich auf der außerordentlich hohen Meßgenauigkeit.
  Geringste Spuren eines Stoffes (z. B. 10^{-7} mg) werden durch optische Spektren noch nachgewiesen.

- Die D-Linie im Sonnenspektrum (Na-Linie) erwies sich bei genauer Analyse als Doppellinie mit den Wellenlängen
  $\lambda_1 = 589{,}5932$ nm und $\lambda_2 = 588{,}9965$ nm.
  Die wachsende *technische Bedeutung* der Spektralanalyse beruht auf dem *Zeitgewinn* gegenüber den in der chemischen Industrie früher gebräuchlichen Fällungsanalysen und auf dem möglichen *hohen Automatisierungsgrad*.

- Spektralautomaten von „Lunochod" untersuchten das Mondgestein.

Infrarotes Licht – Ultraviolettes Licht

Zwischen dem Bereich des roten Lichts ($\lambda \approx 800 \cdot 10^{-19}$ m) und der kürzesten Hertzschen Welle ($\lambda \approx 10^{-4}$ m) liegt die infrarote Strahlung. Jenseits des violetten Lichts ($\lambda < 400 \cdot 10^{-9}$ m) bis in den Bereich der Röntgenstrahlung hinein ($\lambda \approx 10^{-9}$ m) erstreckt sich der Bereich der ultravioletten Strahlung.

↗ elektromagnetisches Spektrum, S. 201

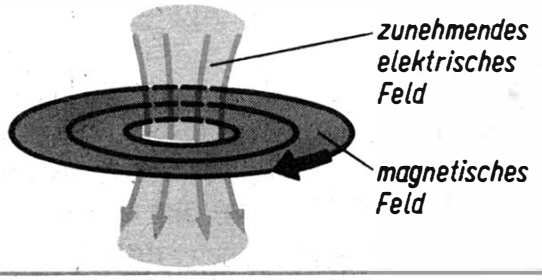
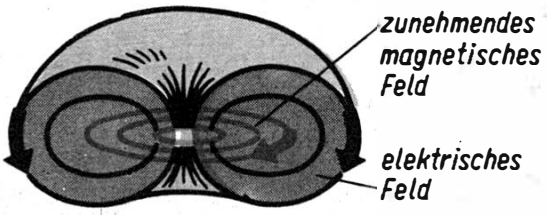
Hertzsche Wellen

sind die von einem Sendedipol (↗ S. 208) ausgehenden elektromagnetischen Wellen im Wellenlängenbereich von etwa 10 km bis 1 mm. Diese Wellen werden auch Funkwellen genannt; sie dienen zur Übertragung von Informationen (Sprache, Musik, Steuerimpulse, Bilder).

↗ elektromagnetisches Spektrum, S. 201

Kopplung von Feldern

findet ihren Ausdruck in folgenden Gesetzmäßigkeiten:

	Jedes zeitlich veränderliche elektrische Feld ist von einem geschlossenen Magnetfeld umgeben.
	Dieses zeitlich veränderliche Magnetfeld induziert wiederum ein umschließendes elektrisches Feld usw.

Diese Felder durchdringen einander. Es erfolgt eine ständige Umwandlung der Energie beider Feldformen ineinander. Dieser Vorgang der Verknüpfung breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus

↗ Kopplung von Schwingern, S. 196

Dipol

ist ein offener Schwingkreis (↗ S. 177), in dem mit dem angekoppelten geschlossenen Schwingkreis eines Röhrengenerators (↗ S. 190) er-

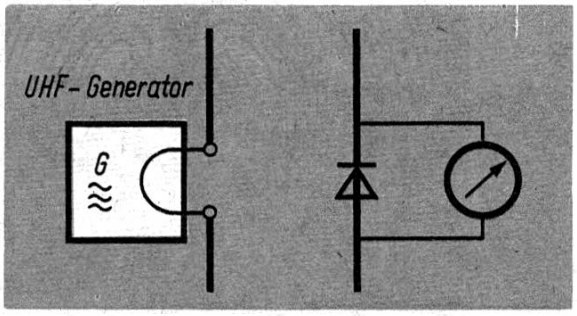


Bild 207/3 Links: Sendedipol, rechts: Empfangsdipol

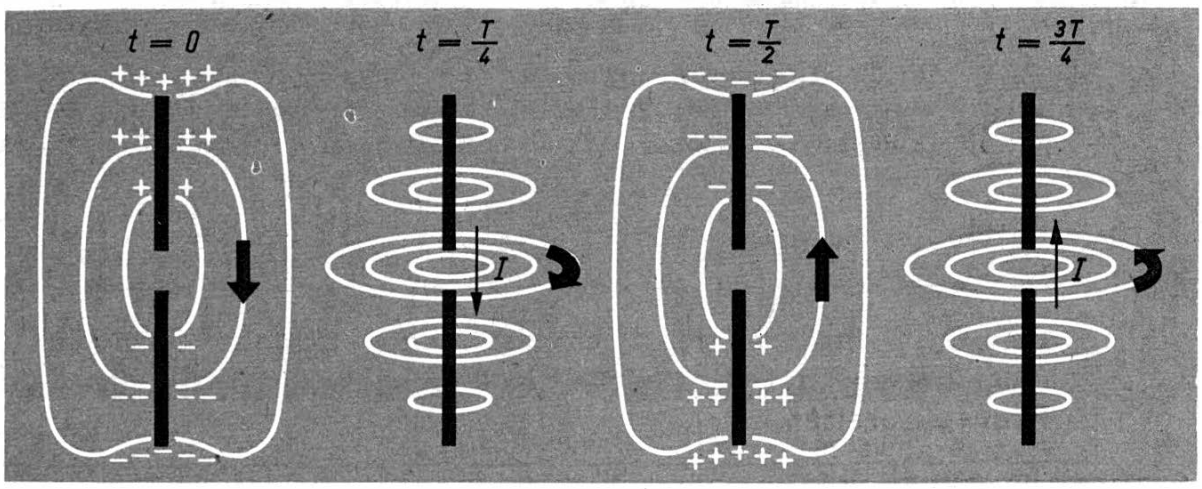


Bild 207/4 Modellbild des elektrischen und des magnetischen Feldes um einen Dipol. Die Maxima der Felder sind zeitlich jeweils um eine Viertelperiode gegeneinander verschoben

zwungene elektromagnetische Schwingungen der Eigenfrequenz f_0, des geschlossenen Schwingkreises (↗ S. 179) erregt werden (Bild 207/3).
In der Umgebung eines Dipols bilden sich elektrische und magnetische Felder in zeitlichem Wechsel aus (Bild 207/4).

Erregung einer elektromagnetischen Welle

Infolge der Kopplung von Feldern breitet sich vom Dipol ausgehend ein elektromagnetisches Feld im Raum aus (Bild 208/1). Dieses sich ausbreitende elektromagnetische Feld hat **Welleneigenschaften**:

- Die elektrische und die magnetische Feldstärke ändern sich räumlich und zeitlich periodisch.
- Bei seiner Ausbreitung treten die für Wellen kennzeichnenden Erscheinungen der Reflexion (Bild 208/2), Brechung, Beugung und Interferenz auf.

Daher wird das sich ausbreitende, durch Bild 207/4 modellmäßig dargestellte elektromagnetische Feld als *elektromagnetische Welle* bezeichnet.

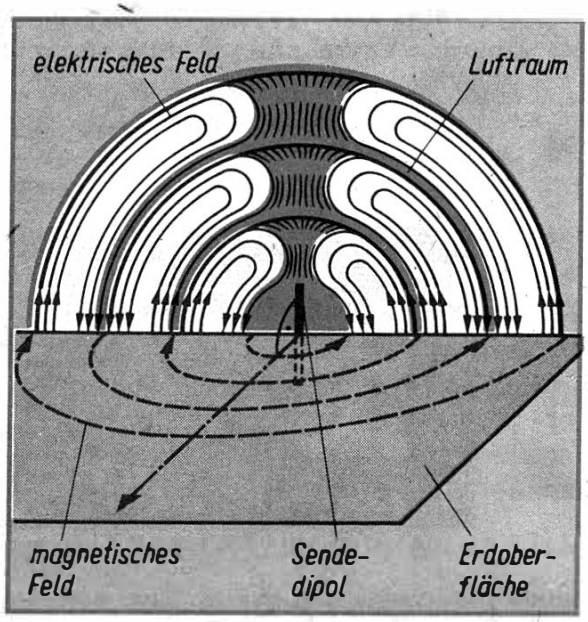


Bild 208/1 Modellbild der vom Sendedipol erregten elektromagnetischen Welle (Schnitt durch die obere Halbebene)

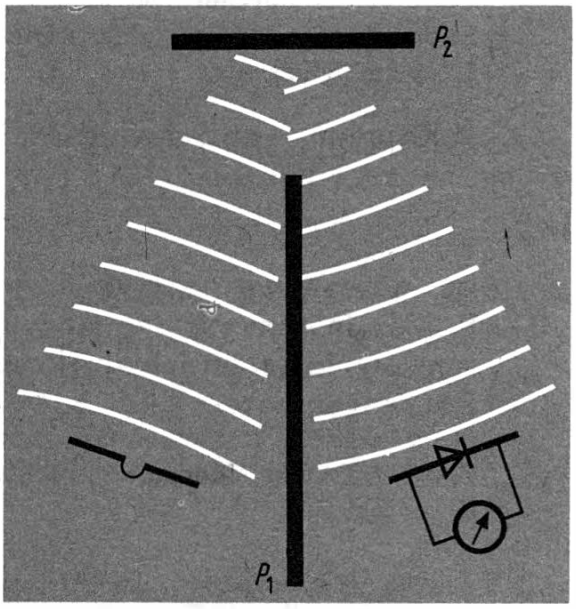


Bild 208/2 Hertzsche Wellen werden an elektrisch leitenden Flächen nach dem Reflexionsgesetz reflektiert.

Dipol als Sender

▶ Ein vom Röhrengenerator gespeister Dipol strahlt Energie in Form elektromagnetischer Wellen (Hertzscher Wellen) ab, die sich im Raum ausbreiten.

↗ elektrisches Feld als Träger von Energie, S. 124
↗ magnetisches Feld als Träger von Energie, S. 131

Elektromagnetische Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit im Raume aus.	$c \approx 300000\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$

↗ Lichtgeschwindigkeit, S. 203

Dipol als Empfänger

Eine vom Sendedipol ausgestrahlte elektromagnetische Welle wird in größerem Abstand mit einem Empfangsdipol (Bild 207/3 b) nachgewiesen. Wenn seine Eigenfrequenz f_0 der Frequenz f_E des Senders (Erregers) gleich ist, kommt es zur Resonanz. Im Empfangsdipol treten elektromagnetische Schwingungen auf. Es fließt darin ein Wechselstrom.

Ist $\lambda = \frac{c}{f_E}$ die Wellenlänge des Senders, so ist $l = \frac{\lambda}{2}$ die Länge des abgestimmten Empfangsdipols.

↗ Resonanz, S. 180

Aussenden modulierter Hertzscher Wellen

Prinzip: Die Signalschwingungen (Sprache, Musik) umfassen den Frequenzbereich von 16 Hz bis 15 kHz; sie werden mit einer konstant ausgestrahlten Hertzschen Welle übertragen. Die hochfrequente Trägerschwingung der Hertzschen Welle wird durch die niederfrequente Signalschwingung beeinflußt (Bild 209/1). Diesen Vorgang nennt man *Modulation*.

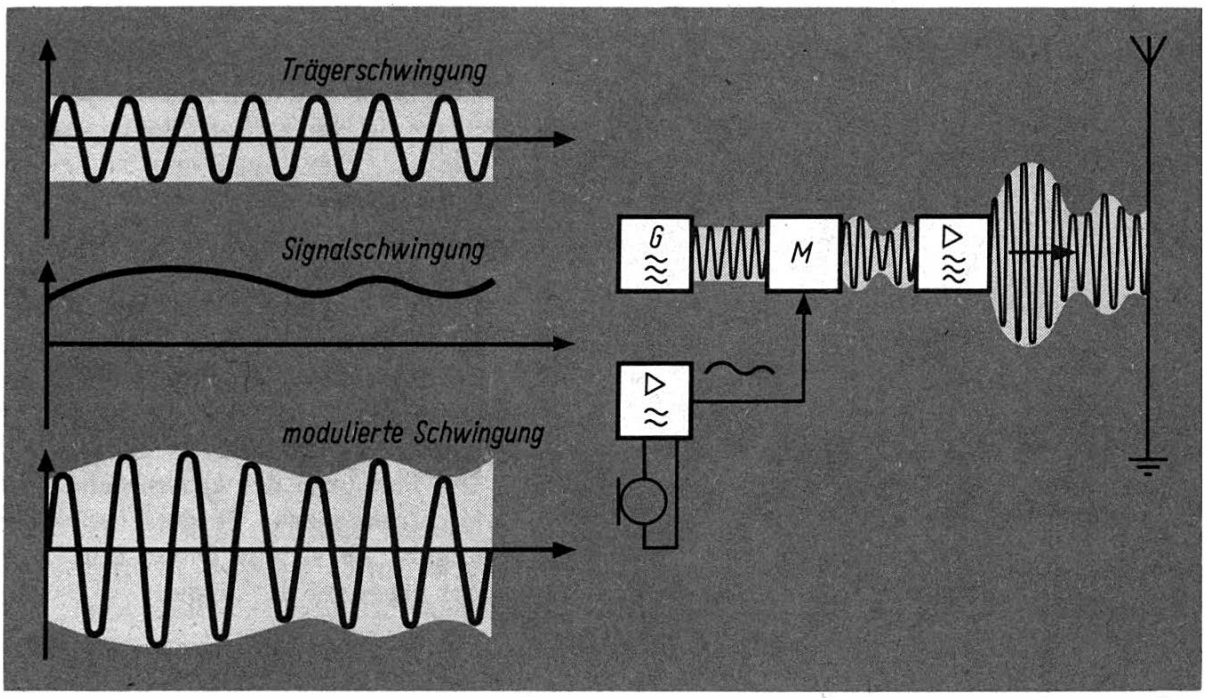


Bild 209/1 Die Amplitude der hochfrequenten Trägerschwingung (a) wird in einer Modulationsstufe *M* im Rhythmus der niederfrequenten Signalschwingung (b) verändert. Nach Verstärkung der modulierten HF-Schwingung wird sie durch die Sendeantenne als modulierte Hertzsche Welle ausgestrahlt

Einteilung und Bezeichnung der Hertzschen Wellen

(Angaben für λ und f gerundet)

Wellenbereich	Wellenlänge λ in m	Frequenz f in MHz
Längstwellen	15 000 bis 10 000	0,02 bis 0,03
Langwellen	10 000 bis 1 000	0,03 bis 0,3
Mittelwellen	1 000 bis 100	0,3 bis 3
Kurzwellen	100 bis 10	3 bis 30
Ultrakurzwellen	10 bis 1	30 bis 300
Dezimeterwellen	1 bis 0,1	300 bis 3 000
Zentimeterwellen	0,1 bis 0,01	3 000 bis 30 000
Millimeterwellen	0,01 bis 0,001	30 000 bis 300 000

Empfang modulierter Hertzscher Wellen

Prinzip: Die tonfrequenten Signalschwingungen, die im Sender der Trägerschwingung aufmoduliert werden, müssen im Empfänger wieder von der Trägerschwingung getrennt werden (Bild 210/1). Diesen Vorgang nennt man Demodulation.

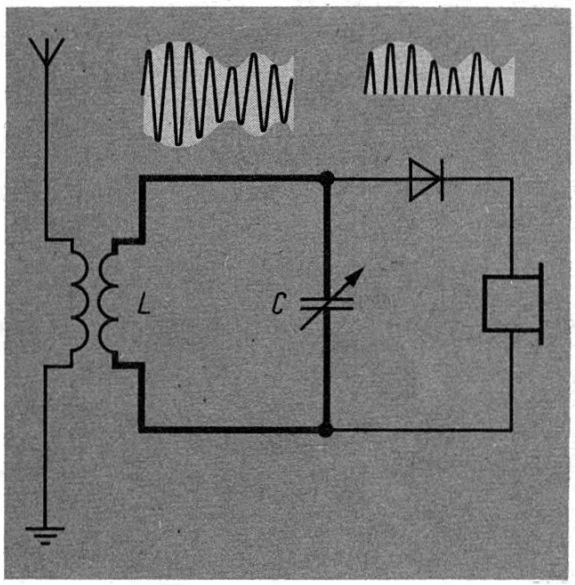


Bild 210/1 Die Antenne empfängt gleichzeitig die Hertzschen Wellen verschiedener Sender. Der angekoppelte geschlossene Schwingkreis (Abstimmkreis) wird durch Verändern der Kapazität (Drehkondensator) auf Resonanz mit dem gewünschten Sender eingestellt. Der durch die Hertzschen Wellen in der Antenne induzierte hochfrequente Wechselstrom wird durch einen Gleichrichter in pulsierenden Gleichstrom umgewandelt.
Die Membran des Lautsprechers kann der hochfrequenten Trägerschwingung nicht folgen; sie strahlt daher Schallwellen mit der Frequenz der Signalschwingung ab

Richtfunk

■ Dezimeter- und Zentimeterwellen werden von Parabolspiegeln gebündelt. Infolge der Bündelung können mit Sendeleistungen von nur wenigen Watt Entfernungen bis 50 km überbrückt werden. Auf *Richtfunkstrecken* können

wegen der sehr hohen Frequenzen durch mehrfache Modulation gleichzeitig mehrere Rundfunk- oder Fernsehsendungen und bis zu 1000 Telefongespräche übertragen werden.

Funkmessung

- Ein vom Sender ausgestrahltes kurzes Funksignal wird am Objekt reflektiert und vom Empfänger wieder aufgenommen. Aus der Laufzeit des Signals und der Ausbreitungsgeschwindigkeit ergibt sich die Entfernung des Objekts (Bild 211/1).
  Geräte zur Funkmessung (Radaranlagen) werden z. B. eingesetzt zur Ortung von Flugzeugen, Schiffen und Fahrzeugen, von Wetterwolken und kosmischen Objekten sowie zur Geschwindigkeitsmessung bei Fahrzeugen und anderen schnell bewegten Objekten.

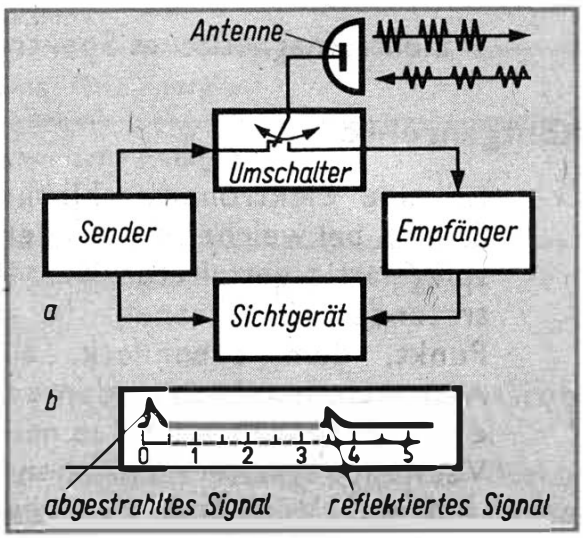


Bild 211/1 Prinzip einer Radaranlage:
a) Blockschema,
b) Entfernungsanzeige

Sprechfunk

- Tragbare und für den Einbau in Kraftfahrzeuge, Bagger, Lokomotiven und kleine Schiffe vorgesehene Funksprechgeräte (Leistung etwa 10 Watt; Wellenlänge etwa 2 m) erlangen besondere Bedeutung beim Einsatz im Gesundheitswesen, im Bauwesen, im Verkehrswesen, im Bergbau, bei der Polizei und in der Landwirtschaft.

Weltraumforschung und Hertzsche Wellen

- Für die Satellitentechnik, für Weltraumstationen, für die Erforschung von Himmelskörpern durch Automaten und für bemannte Raumschiffe hat die *Informationsübertragung und Funkmessung durch Hertzsche Wellen* grundlegende Bedeutung.
  Elektromagnetische Wellen von fernen Gestirnen werden von großen Parabolspiegeln aufgenommen und in der Radioastronomie ausgewertet.

- Fernsteuerung des fahrbaren Mondlaboratorium Lunochod mit Hilfe von Fernsehübertragung (Lunochod-Steuerzentrum) und Funkübertragung der Steuerbefehle (Steuerzentrum-Lunochod). Zeit zwischen Senden des Fernsehbildes und Empfangen eines Steuerbefehls 2,51 s.

- Funkverbindung mit Meßsonden über Entfernungen von $42 \cdot 10^6$ km (Venus 5 und 6). Laufzeit der Funksignale 140 s.
  Bei der Funkverbindung mit sowjetischer Marssonde wurden Entfernungen von $56 \cdot 10^6$ km bei einer Laufzeit der Funksignale von 186 s überbrückt.

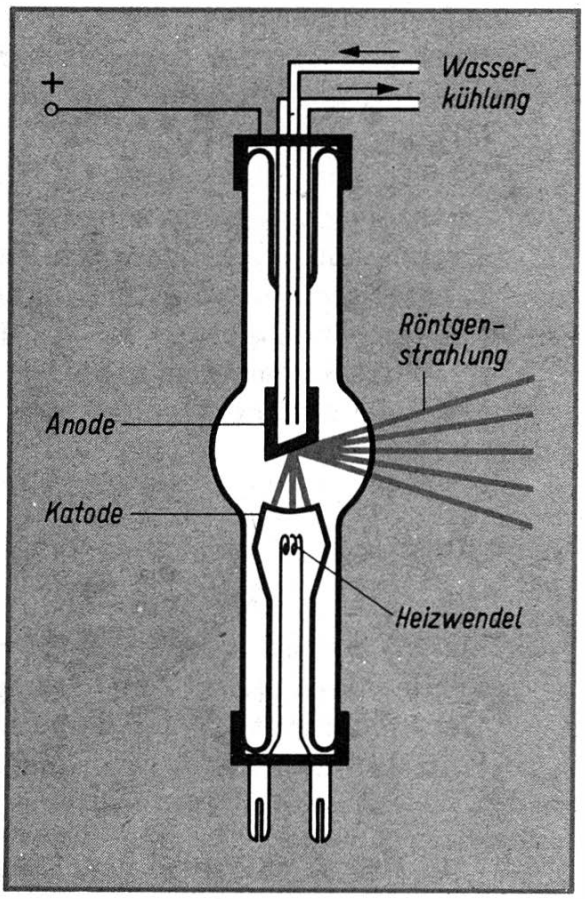
Röntgenstrahlung

kennt man als eine elektromagnetische Welle, die beim Auftreffen energiereicher Elektronen (Katodenstrahlen) auf Metallflächen entsteht. Die Röntgenstrahlung liegt im Bereich von $\lambda = 10^{-8}$ m bis $\lambda = 10^{-12}$ m.

↗ Elektromagnetisches Spektrum, S. 201

Röntgenröhre

ist eine Elektronenstrahlröhre, (↗ S. 147), bei welcher die aus der hohlspiegelartig gestalteten Katode austretenden Elektronen in einem Punkt, dem Brennfleck, auf die Anode treffen. Die Anodenspannung der Röntgenröhre liegt je nach dem Verwendungszweck zwischen 10 kV und 400 kV. Damit im Brennfleck das Anodenmaterial nicht verdampft, wird die Anode durch Wasser gekühlt.



Röntgenbremsstrahlung

In der Röntgenröhre wird die kinetische Energie der Elektronen beim Auftreffen auf die Anode umgewandelt, es entsteht infolge der Geschwindigkeitsänderung der Elektronen ein elektromagnetisches Feld, das sich als elektromagnetische Welle ausbreitet.
Diese Röntgenstrahlung wird *Bremsstrahlung* genannt.

Eigenschaften der Röntgenstrahlung

- Röntgenstrahlung ist nicht sichtbar.
- Röntgenstrahlung durchdringt Körper.
- Röntgenstrahlung wird bei Wechselwirkung mit Mikroobjekten gebeugt. Es tritt Interferenz auf (↗ S. 200 und 208).
- Röntgenstrahlung ionisiert Gase, schwärzt Fotopapier, zerstört lebende Zellen.

Wirkung von Röntgenstrahlung	Elektromagnetische Energie wird umgewandelt in
Leuchten eines Leuchtschirms	Lichtenergie
Erwärmen eines Körpers	Wärme
Stoßionisation in Gasen	kinetische Energie
Schwärzen von Fotopapier, Beeinflussung von Zellen	chemische Energie

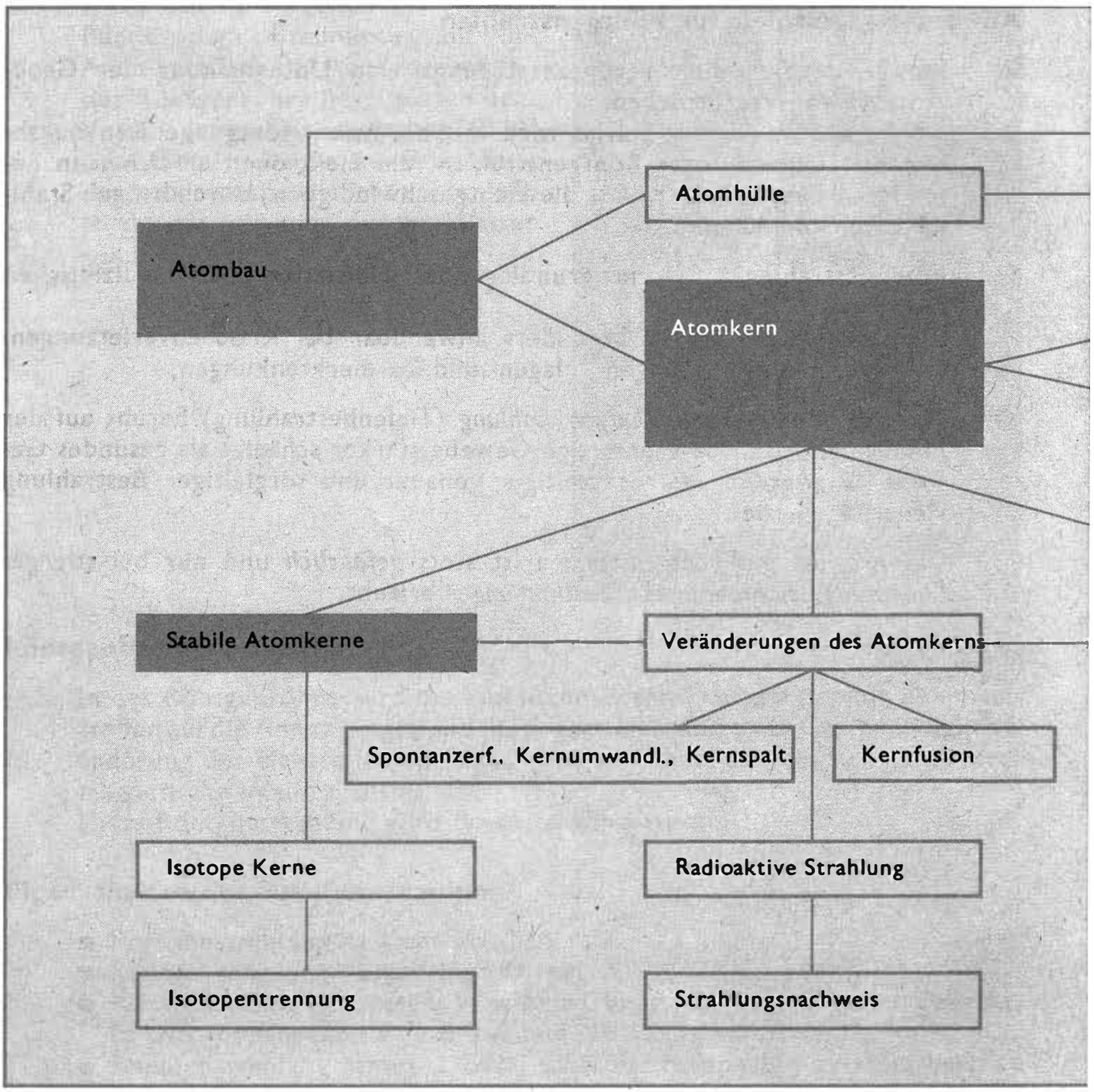
Anwendungsbeispiele für Röntgenstrahlen

- Röntgenstrahlen dienen zur zerstörungsfreien Untersuchung der Grobstruktur von Werkstücken.
  Stahl bis etwa 80 mm Stärke wird mit normalen Röntgengeräten durchleuchtet. Extrem harte Röntgenstrahlen (die Elektronen erreichen in besonderen Beschleunigern fast die Lichtgeschwindigkeit) durchdringen Stahlschichten von 400 mm.

- Röntgenstrahlen sind ein grundlegendes Hilfsmittel der medizinischen Diagnostik.
  Die Durchleuchtung ist besonders anwendbar bei Knochenverletzungen, Zahnerkrankungen, Lungen-, Magen- und Darmerkrankungen.

- *Therapie (Heilung) mit Röntgenstrahlung* (Tiefenbestrahlung) beruht auf der Erfahrung, daß diese krebsartige Gewebe stärker schädigt als gesundes Gewebe. So werden bei rechtzeitiger genauer und sorgfältiger Bestrahlung Heilerfolge erzielt.

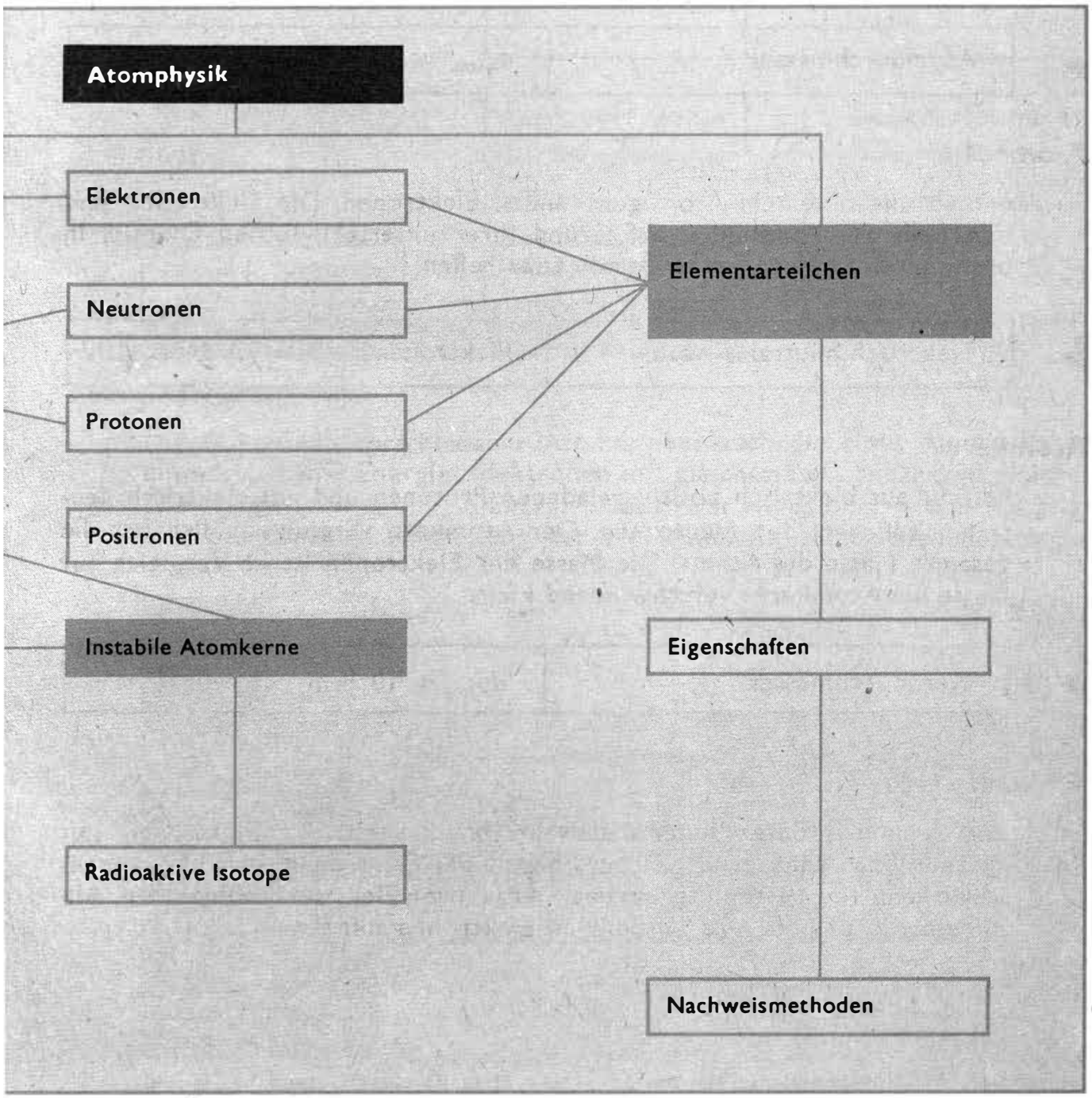
  Das *Arbeiten mit Röntgenstrahlen* ist stets *gefährlich* und nur bei *strenger Einhaltung der Arbeitsschutzbestimmungen* erlaubt.


Atombau
Atomhülle
Atomkern
Stabile Atomkerne
Veränderungen des Atomkerns
Spontanzerf., Kernumwandl., Kernspalt.
Kernfusion
Isotope Kerne
Radioaktive Strahlung
Isotopentrennung
Strahlungsnachweis

Atomphysik

9

Die Atomphysik ist das Teilgebiet der Physik, in dem der Aufbau der Atome, deren Eigenschaften, die Vorgänge innerhalb der Atome und die Wechselwirkungen zwischen den Atomen beschrieben werden.



9.1. Atombau

Für die Beschreibung der Atome werden Modelle verwendet. Diesen Modellen entsprechend bestehen Atome aus dem *Atomkern* und aus der *Atomhülle*.

Atome

sind die kleinsten Teilchen eines chemischen Elements, die sich mit chemischen Mitteln nicht weiter teilen lassen. Die Anzahl der Protonen (elektrisch positiv geladen) im Atomkern ist gleich der Anzahl der Elektronen (elektrisch negativ geladen) in der Atomhülle. Das Atom ist nach außen hin elektrisch neutral.

Atomdurchmesser	$d_{Atom} \approx 10^{-10}$ m

Atomhülle

enthält alle zu einem Atom gehörenden Elektronen. Die Elektronen sind innerhalb der Atomhülle, auf Grund ihrer unterschiedlichen Energie, in bestimmten Räumen am häufigsten anzutreffen.

Elektrisch neutrales Atom	Elektronenanzahl = Ordnungszahl

Atomkern

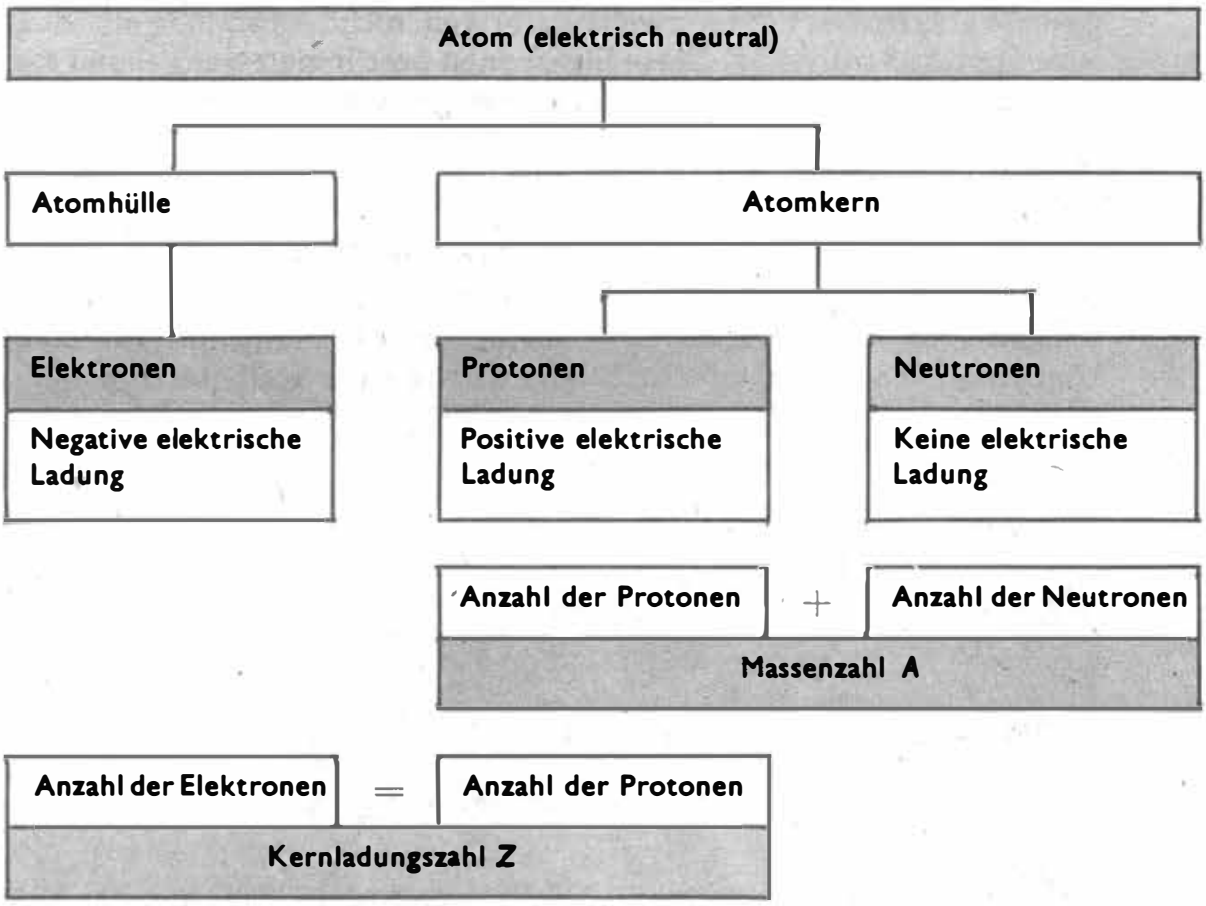
besteht aus elektrisch positiv geladenen Protonen und aus elektrisch neutralen Teilchen, den Neutronen. Der Atomkern vereinigt in sich fast die gesamte Masse des Atoms. Die Masse der Elektronen ist im Vergleich zur Masse des Atomkerns verschwindend klein.

Kerndurchmesser	$d_{Kern} \approx 10^{-15}$ m

Elektronenschalen

sind Räume größter Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen mit gleicher bzw. annähernd gleicher Energie der Elektronen. Jede Elektronenschale kann eine bestimmte maximale Anzahl von Elektronen aufnehmen. Allgemein gilt, daß die n-te Schale $2 \cdot n^2$ Elektronen aufnehmen kann.

Übersicht zum Atombau



Energieniveauschema

Die Elektronen verschiedener Atome, aber auch die eines Atoms, haben unterschiedliche Energie. Elektronen mit gleicher bzw. annähernd gleicher Energie gehören zu einem Energieniveau. Der Aufbau der Atomhülle zeigt eine gesetzmäßige Anordnung der Elektronen in verschiedenen Energieniveaus.

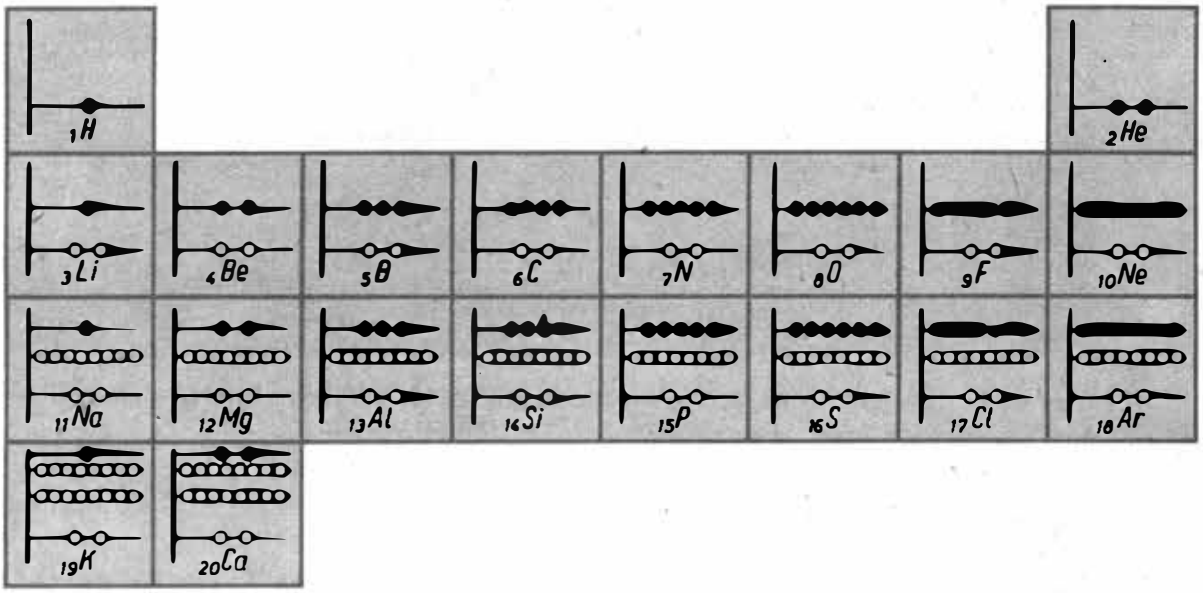


Bild 217/1 Energieniveauschemata einiger Atome mit verschiedenen Kernladungszahlen

Außenelektronen

sind die Elektronen in den jeweils äußersten, nicht vollständig mit Elektronen besetzten Außenschalen. Diese Elektronen bestimmen weitgehend die Eigenschaften und die chemische Reaktionsfähigkeit der Elemente.

Achterschalen

sind Elektronenschalen, die aus 8 Elektronen gebildet werden. Diese Elektronenanordnungen sind besonders stabil. Alle unvollständig besetzten Schalen sind weniger stabil. Durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen können diese Schalen in den stabilen Zustand einer vollbesetzten Elektronenschale übergehen. Der Elektronenaustausch ist mit einer Energieänderung verbunden.

Ionenbildung durch Elektronenabgabe

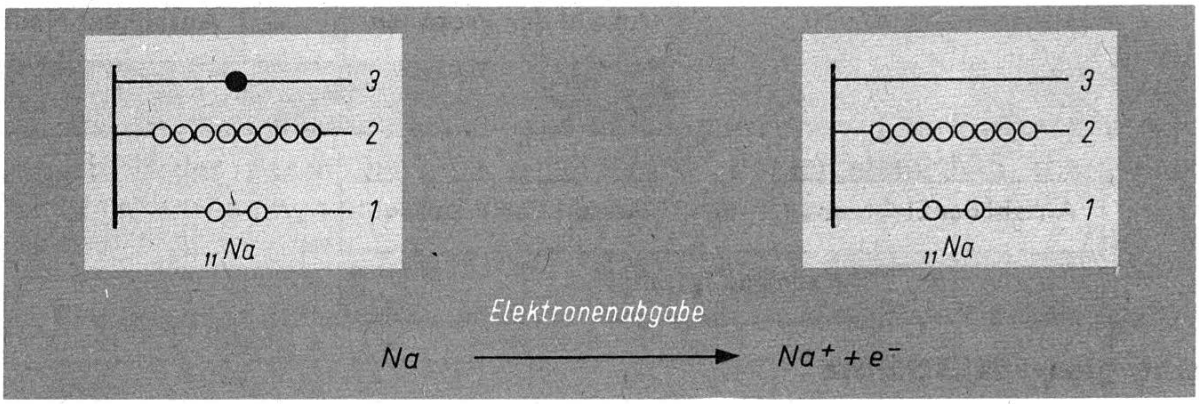


Bild 218/1 Elektrisch positiv geladene Ionen werden durch Elektronenabgabe aus den entsprechenden Atomen gebildet

Ionenbildung durch Elektronenaufnahme

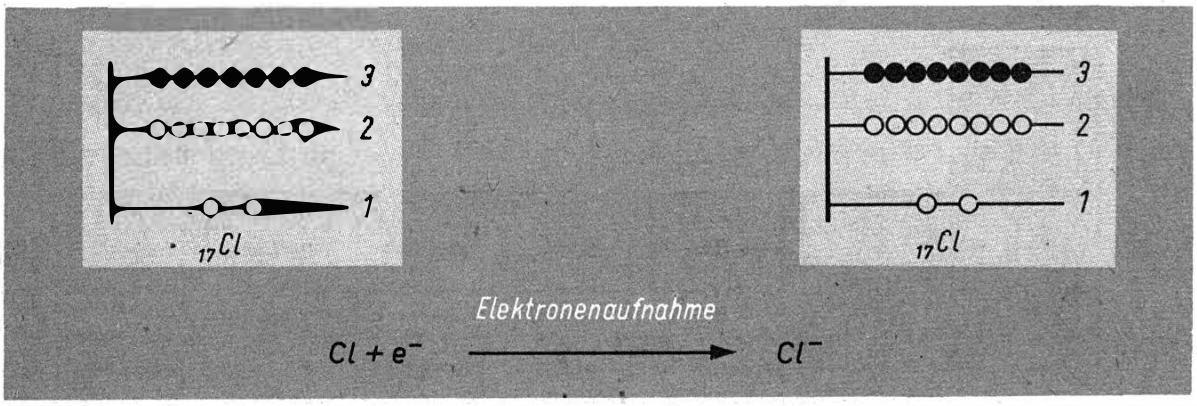


Bild 218/2 Elektrisch negativ geladene Ionen werden durch Elektronenaufnahme aus den entsprechenden Atomen gebildet

Chemische Eigenschaften und Atombau

Der Bau der Atomhülle und die dadurch bedingte Stellung der Elemente im Periodensystem geben Aufschluß über die Eigenschaften der Elemente.

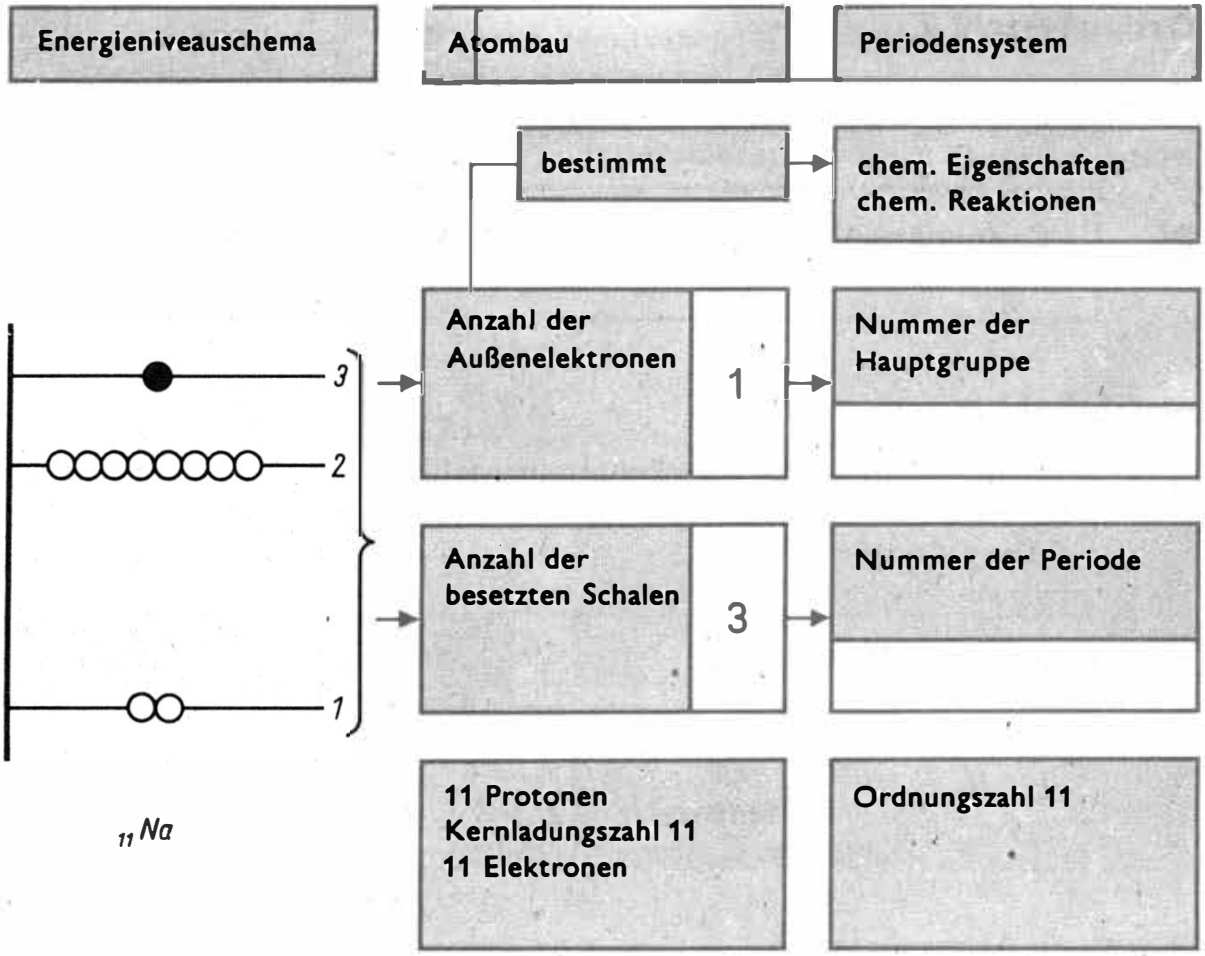


Bild 219/1 Aufbau der Atomhülle eines Natriumatoms

Veränderungen der Elektronenanordnung: Bei Berührung zweier Atome, die sich in bezug auf ihr Bestreben zur Abgabe und Aufnahme von Elektronen ergänzen, findet in beiden Elektronenhüllen eine Neuverteilung der Außenelektronen durch Elektronenübergang statt. Viele chemische Reaktionen sind durch die Neuverteilung der Außenelektronen gekennzeichnet.

Reaktion	2 Na +	:Cl̈–C̈l: →	2 [Na]⁺ [:C̈l:]⁻
Teilchen	Atome (Ionen) im Metallgitter	Moleküle	Ionen im Ionengitter
Art der chemischen Bindung	Metallbindung	Atombindung	Ionenbeziehung
Verteilung der Außenelektronen	Je 1 frei bewegliches Elektron in der 3. Schale je Atom	Neben je 6 Elektronen in der 3. Schale 2 weitere Elektronen im gemeinsamen Elektronenpaar	Kein Elektron in der 3. Schale (8 Elektronen in der 2. Schale) der Natrium-Ionen und 8 Elektronen in der 3. Schale der Chlorid-Ionen

Ordnungszahl Z

ist die Zahl, die die Reihenfolge der Elemente im Periodensystem kennzeichnet. Für das elektrisch neutrale Atom gilt:

▶ Ordnungszahl = Kernladungszahl = Protonenanzahl = Elektronenanzahl

Massenzahl A

wird die Summe aus der Protonenanzahl Z und der Neutronenanzahl N genannt. Die Massenzahl A ist gleich der auf eine ganze Zahl gerundeten relativen Atommasse A_r.

Massenzahl A	$A = Z + N$

■ $^{4}_{2}He$

Massenzahl	$A = 4$
Protonenanzahl	$Z = 2$
Neutronenanzahl	$N = A - Z = 2$

Absolute Atommasse m_A

gibt die Masse eines bestimmten Atoms in Kilogramm an.

■

Wasserstoff	$m_A(H) = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg
Kohlenstoff	$m_A(C) = 19{,}9 \cdot 10^{-27}$ kg
Sauerstoff	$m_A(O) = 26{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg

Relative Atommasse A_r

gibt an, wieviel mal größer die absolute Atommasse eines beliebigen Atoms als der zwölfte Teil der Atommasse des Kohlenstoffisotops $^{12}_{6}C$ ist.

Relative Atommasse A_r	$A_r = \dfrac{m_A}{\frac{1}{12} m_A(^{12}_{6}C)}$

■

Wasserstoffatom	$(^{1}_{1}H)$	$A_r = 1{,}007\,825$
Kohlenstoffatom	$(^{12}_{6}C)$	$A_r = 12{,}000\,000$
Sauerstoffatom	$(^{16}_{8}O)$	$A_r = 15{,}994\,915$

Die meisten Elemente bestehen aus mehreren Isotopen.

■ Kohlenstoff besteht zu 98,89% aus dem Isotop $^{12}_{6}C$ und
zu 1,11% aus dem Isotop $^{13}_{6}C$.

Deshalb ist die relative Atommasse des Kohlenstoffs nicht 12,000, sondern 12,0111.
$A_r = 0{,}9889 \cdot 12 + 0{,}0111 \cdot 13 = 11{,}8668 + 0{,}1443$
$A_r = 12{,}0111$ für Kohlenstoff.

Atomare Masseneinheit u

wird als der zwölfte Teil der Masse des Kohlenstoffisotops $^{12}_{6}C$ definiert.

▶

Atomare Masseneinheit	$1\ u = \frac{1}{12} m_A(^{12}_{6}C)$ $1\ u = 1{,}660277 \cdot 10^{-27}\ kg$ $1\ kg = 6{,}023091 \cdot 10^{26}\ u$

▶

Masse eines Atoms	$m_A = A_r \cdot 1\ u$

Wasserstoff: $A_r = 1{,}007825$

$m_A(H) = 1{,}007825 \cdot 1{,}660277 \cdot 10^{-27}\ kg$
$m_A(H) = 1{,}673 \cdot 10^{-27}\ kg$

Symbolschreibweise
kennzeichnet den Atombau eines elektrisch neutralen Atoms

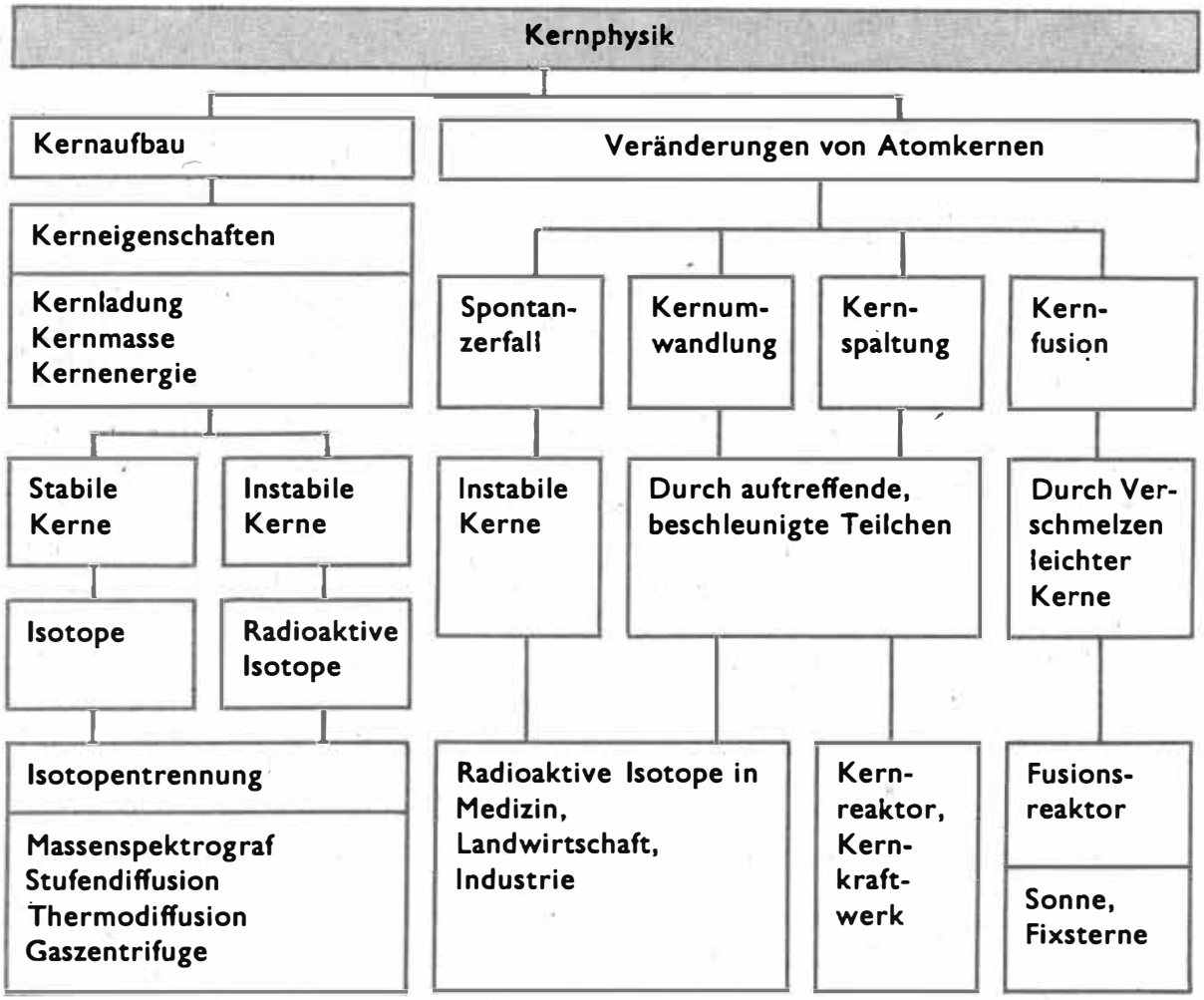
$^{A}_{Z}$ Symbol des Elements	$^{12}_{6}C$

A = Massenzahl (Summe aus Protonenanzahl und Neutronenanzahl)
Z = Kernladungszahl = Protonenanzahl = Elektronenanzahl = Ordnungszahl

■ $^{12}_{6}C$ $A = 12$ (12 Kernteilchen)
$Z = 6$ (6 Protonen im Atomkern)
(6 Elektronen in Atomhülle)
$N = A - Z$
$N = 6$ (6 Neutronen im Atomkern)

9.2. Atomkerne

In der **Kernphysik** werden der Kernaufbau, die Eigenschaften der Kernteilchen und die Veränderungen von Atomkernen beschrieben.



Eigenschaften der Atomkerne

Kernladung bestimmt durch die Kernladungszahl Z	**Kernmasse** bestimmt durch die Massenzahl A
Anzahl der Protonen im Atomkern	Anzahl der Nukleonen im Atomkern $A = Z + N$

Stabile Atomkerne

weisen gegenüber äußeren Einwirkungen größte Beständigkeit hinsichtlich ihrer Zusammensetzung aus Protonen und Neutronen und ihrer inneren Energie, der Kernenergie (↗ S. 229), auf.

Kernaufbau

Modelle vom Atomkern geben wesentliche Eigenschaften und Veränderungen der Atomkerne wieder. Atomkerne bestehen danach aus Protonen und Neutronen.
Diese Kernteilchen werden zusammengefaßt unter dem Begriff *Nukleonen*.

Aufbau der Atomkerne einiger Elemente

Teilchen bzw. Elemente	Symbol	Massenzahl *A*	Protonenanzahl *Z*	Neutronenanzahl *N*	Kernmasse bzw. Teilchenmasse	Schreibweise
Proton	p	1	1	0	1,007276 u	$^{1}_{1}p$
Neutron	n	1	0	1	1,008665 u	$^{1}_{0}n$
Helium	He	4	2	2	4,001506 u	$^{4}_{2}He$
Stickstoff	N	14	7	7	13,999231 u	$^{14}_{7}N$
Sauerstoff	O	16	8	8	15,990523 u	$^{16}_{8}O$
Natrium	Na	23	11	12	22,98373 u	$^{23}_{11}Na$
Kobalt	Co	59	27	32	58,91837 u	$^{59}_{27}Co$
Uran	U	238	92	146	238,00025 u	$^{238}_{92}U$

Protonen

sind elektrisch positiv geladene Masseteilchen (relative Masse rund 1) des Atomkerns. Die Anzahl der Protonen im Atomkern bestimmt die Kernladung und damit auch die Kernladungszahl (↗ Ordnungszahl *Z*, S. 220).

▶ Ordnungszahl = Protonenanzahl = Kernladungszahl

Neutronen

sind elektrisch neutrale Masseteilchen (etwa gleicher Masse wie Protonen) im Atomkern. Die Neutronenanzahl kann für Atomkerne des gleichen Elements unterschiedlich sein.
Da im Atomkern mit zunehmender Protonenanzahl die elektrischen Abstoßungskräfte der Protonen größer werden, nimmt die Neutronenanzahl im Verhältnis zur Protonenanzahl rascher zu.

■ $^{4}_{2}He$ $N = A - Z = 2$ Neutronen $Z = 2$ Protonen $Z : N = 1 : 1$	■ $^{238}_{92}U$ $N = A - Z = 146$ Neutronen $Z = 92$ Protonen $Z : N = 1 : 1{,}59$

Isotope

sind Atomarten, die bei gleicher Kernladungszahl (Ordnungszahl) durch ihre unterschiedliche Anzahl von Neutronen verschiedene Massenzahlen aufweisen. Isotope weisen gleiche chemische Eigenschaften auf, unterscheiden sich aber in ihren physikalischen Eigenschaften (z. B. Kernmasse, Wärmeleitfähigkeit, Diffusionsgeschwindigkeit usw.).

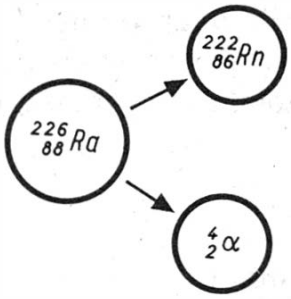
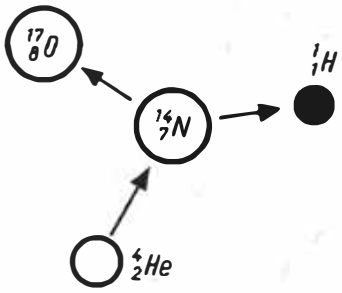
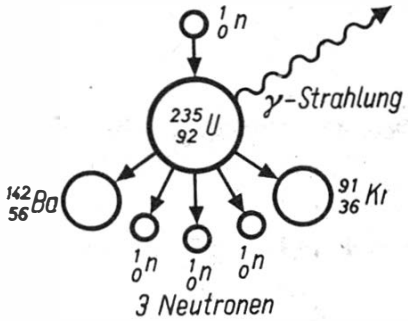
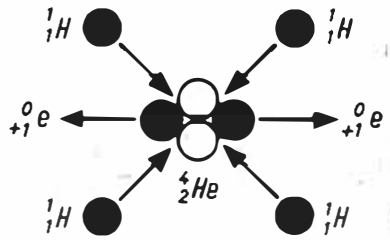
Übersicht über einige Isotope

Atomart	Z	A	$N = A - Z$	Relative Atommasse A_r	Häufigkeit	Art des Elements
$^{35}_{17}Cl$	17	35	18		75,4%	Mischelement
$^{37}_{17}Cl$	17	37	20	35,453	24,6%	
(Isotope)						
$^{238}_{92}U$	92	238	146		99,274%	Mischelement
$^{235}_{92}U$	92	235	143	238,03	0,72%	
$^{234}_{92}U$	92	234	142		0,006%	
(Isotope)						
$^{23}_{11}Na$	11	23	12	22,989	100%	Reinelement
$^{27}_{13}Al$	13	27	14	26,981	100%	Reinelement

Veränderungen von Atomkernen

kommen zustande

- durch Spontanzerfall instabiler Kerne oder
- durch auftreffende, beschleunigte Elementarteilchen (↗ S. 230).

Bezeichnung der Veränderung der Atomkerne	Ursache der Veränderung der Atomkerne	Folge der Veränderung der Atomkerne
Spontanzerfall 	Instabilität der Atomkerne durch anomales Protonen-Neutronen-Verhältnis oder zu große innere Energie	Emission von Teilchen oder Gammastrahlung, bis stabile Kerne entstehen
Kernumwandlung 	Auftreffen eines beschleunigten Elementarteilchens auf einen Atomkern	Stabile oder instabile Kerne entstehen. Instabile Kerne zerfallen spontan unter Emission von Teilchen oder Gammastrahlung in stabile Kerne
Kernspaltung 	Auftreffen von Neutronen auf $^{235}_{92}U$-Kerne	Instabile $^{236}_{92}U$-Kerne spalten sich in zwei fast gleich große Kerne unter Emission einiger Neutronen
Kernfusion 	Verschmelzen leichter Atomkerne zu schwereren bei hohen Temperaturen	Aufbau schwerer Atomkerne

Spontanzerfall

ist ein Vorgang, bei dem instabile Atomkerne ohne äußeren Anlaß durch Energieabgabe in Form von Strahlung (Emission von Teilchen oder Gammastrahlung) in stabile Atomkerne zerfallen.

Instabile Atomkerne

sind Kerne, die durch ein anomales Protonen-Neutronen-Verhältnis oder eine zu große innere Energie ohne äußeren Anlaß und unabhängig von mechanischer, thermischer oder anderer Beeinflussung durch Energieabgabe in Form von radioaktiver Strahlung mehr oder weniger schnell zerfallen, bis ein stabiler Atomkern mit normalem Protonen-Neutronen-Verhältnis und einem energetisch stabilen Endzustand erreicht ist.

Kernzerfall mit α-Emission

$$^{A}_{Z}\text{Elementsymbol} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Elementsymbol} + {}^{4}_{2}\alpha$$

■ $^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{4}_{2}\alpha$

$$226 = 222 + 4$$
$$88 = 86 + 2$$

Kernzerfall mit β^--Emission

$$^{A}_{Z}\text{Elementsymbol} \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}\text{Elementsymbol} + {}^{0}_{-1}e$$

■ $^{214}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{214}_{83}\text{Bi} + {}^{0}_{-1}e$

$$214 = 214 + 0$$
$$82 = 83 + (-1)$$

Kernzerfall mit β^+-Emission

$$^{A}_{Z}\text{Elementsymbol} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}\text{Elementsymbol} + {}^{0}_{+1}e$$

■ $^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^{0}_{+1}e$

$$30 = 30 + 0$$
$$15 = 14 + (+1)$$

γ-Strahlung

$$^{A}_{Z}\text{Elementsymbol}^* \longrightarrow {}^{A}_{Z}\text{Elementsymbol} + \gamma$$

■ $^{208}_{82}\text{Pb}^* \longrightarrow {}^{208}_{82}\text{Pb} + \gamma$

(* bedeutet angeregter Atomkern)
γ-Strahlung tritt häufig als Begleiterscheinung von Kernzerfällen auf.

Radioaktive Strahlung

ist die räumliche Ausbreitung von Energie in Form von emittierten Teilchen oder Gammastrahlung. Beim Durchgang durch Stoffe werden Atome oder Moleküle ionisiert. Dabei verringert sich die Energie der radioaktiven Strahlung.

Arten der radioaktiven Strahlung

Alphastrahlen	Betastrahlen	Positronstrahlen	Gammastrahlen
${}^{4}_{2}He$ oder α	${}^{0}_{-1}e$ oder β^-	${}^{0}_{+1}e$ oder β^+	γ
Zweifach positiv geladene Heliumkerne	Elektronen	Positronen	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die als Begleiterscheinung bei Kernumwandlungen auftritt
Ablenkung durch magnetische und elektrische Felder			Weder elektrisch noch magnetisch ablenkbar
Durchdringungsvermögen D			
Näherungsweise gilt für diese Strahlenarten bei gleicher Energie: $D_\alpha : D_\beta : D_\gamma = 1 : 100 : 10000$			
Ionisierungsvermögen I			
Näherungsweise gilt für diese Strahlenarten bei gleicher Energie: $I_\alpha : I_\beta : I_\gamma = 10000 : 100 : 1$			

Nachweis der radioaktiven Strahlung

beruht auf dem physikalischen Vorgang der Ionisation (↗ S. 143), bei dem die radioaktive Strahlung ihre Energie ganz oder teilweise an einen geeigneten Stoff (z. B. eine Gasmischung) abgibt.

Nachweisgeräte: Fotoplatte, Geiger-Müller-Zählrohr, Nebelkammer, Blasenkammer (↗ S. 234).

Radioaktive Isotope

sind Atome mit instabilen Atomkernen, die unter Emission von radioaktiver Strahlung mehr oder weniger schnell in stabile Kerne anderer Elemente zerfallen. Dieses Verhalten der Isotope wird bei verschiedenen technischen Verfahren ausgenutzt.

- *Bestrahlungsverfahren*
  Ionisierung von Atomen und Molekülen,
  Beschleunigung und Kontrolle chemischer Reaktionen,
  Veränderung physikalischer Eigenschaften,
  Tiefentherapie bei Geschwulstkrankheiten

- *Durchstrahlungsverfahren*
  α-Strahler: Berührungsfreie Messung geringer Dicken,
  β-Strahler: Berührungsfreie Messung der Dicke; Dichtemessungen,
  γ-Strahler: Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

- *Markierungsverfahren*
  Markierung von Atomen zur Stoffwechseluntersuchung,
  Verschleißmessungen an schwer zugänglichen Stellen
  (Schneidwerkzeuge, Kolbenringe, Hochofenmauerwerk)

Halbwertzeit

nennt man die Zeit, in der jeweils die Hälfte der vorhandenen instabilen Atomkerne eines Elements zerfällt.

Elemente	Zahlenwert	Einheit
$^{234}_{92}U$	$2{,}52 \cdot 10^5$	Jahre
$^{230}_{90}Io$	$8 \cdot 10^4$	
$^{226}_{88}Ra$	$1{,}622 \cdot 10^3$	
$^{222}_{86}Rn$	3,825	Tage
$^{218}_{84}Ra$ A	3,05	Minuten
$^{214}_{82}Ra$ B	26,8	
$^{214}_{84}Ra$ C	$1.6 \cdot 10^{-4}$	Sekunden

Kernzerfall als statistisches Problem

Aus einer großen Anzahl von Radiumatomen zerfällt ein Teil dieser Atome in der nächsten Sekunde, ein anderer Teil im Laufe der nächsten Stunden oder erst nach Jahren. Wann ein bestimmtes, einzelnes Atom zerfällt, ist zufällig und kann nicht vorausgesagt werden. Wenn es aber zerfällt, so hat der Zerfall seine Ursache, die durch die Eigenschaften des Atoms und durch die objektiven Zusammenhänge aller Atome bedingt ist. Die Gesamtheit dieser Bedingungen ist aber nicht bis in alle Einzelheiten auflösbar. Das Gesamtverhalten einer sehr großen Anzahl von Atomen, welches unter den gegebenen Bedingungen verwirklicht wird, beschreibt ein *statistisches Gesetz*.

(↗ statistisches Gesetz, S. 22).

Kernumwandlungen

sind Vorgänge, die nach dem Auftreffen eines beschleunigten Elementarteilchens auf einen stabilen Atomkern ablaufen. Es entsteht ein instabiler, angeregter Zwischenkern, der sich spontan mehr oder weniger schnell unter Emission von Teilchen oder Gammastrahlung in einen stabilen Kern umwandelt. Dabei wird Energie frei. Es ist die kinetische Energie der emittierten Teilchen oder die Gammastrahlung.

■ *Kernumwandlung durch α-Teilchen*

$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{1}_{1}p + ^{17}_{8}O$ $\qquad$ $14 + 4 = 1 + 17$, $\quad 7 + 2 = 1 + 8$

Kurzform: $^{14}_{7}N\ (\alpha, p)\ ^{17}_{8}O$

Bei einer Kernumwandlung muß sowohl die Summe der Massenzahlen (obere Indizes) als auch die Summe der Kernladungen (untere Indizes) auf beiden Seiten gleich sein.

■ *Kernumwandlung durch Neutronen*

$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{4}_{2}\alpha + ^{7}_{3}Li$ $\qquad$ $10 + 1 = 4 + 7$, $\quad 5 + 0 = 2 + 3$

Kurzform: $^{10}_{5}B\ (n, \alpha)\ ^{7}_{3}Li$

Herstellung radioaktiver Isotope

erfolgt in Reaktoren. Die entsprechenden Stoffe bringt man in dafür vorgesehene Kanäle, wo sie durch Neutronen bestrahlt werden. Die Neutronen dringen in die Atomkerne der Stoffe ein und bilden durch Kernumwandlungen radioaktive Isotope.

■ $^{59}_{27}Co + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{60}_{27}Co$ $\qquad$ $59 + 1 = 60$, $\quad 27 + 0 = 27$

$^{60}_{27}Co$ ist radioaktiv und zerfällt unter Aussendung von β^--Strahlung und Gammastrahlung in den Nickelkern $^{60}_{28}Ni$.

$^{60}_{27}Co \longrightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e + \gamma$ $\qquad$ $60 = 60 + 0$, $\quad 27 = 28 + (-1)$

Kernspaltung

Durch Aufnahme eines auf einen $^{235}_{92}U$-Kern auftreffenden Neutrons geht dieser Kern in den instabilen $^{236}_{92}U$-Kern über, der unter unmittelbarer Emission einiger Neutronen in zwei fast gleich große Kerne gespalten wird. Dabei wird Kernenergie frei. Der größte Teil dieser Energie tritt sofort als Bewegungsenergie der Spaltstücke, der Neutronen und als γ-Strahlung auf, während der geringere Teil beim weiteren Zerfall der radioaktiven Spaltstücke durch β- und γ-Strahlung emittiert wird (Bild 230/1).

■ $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{142}_{56}Ba + ^{91}_{36}Kr + 3(^{1}_{0}n)$

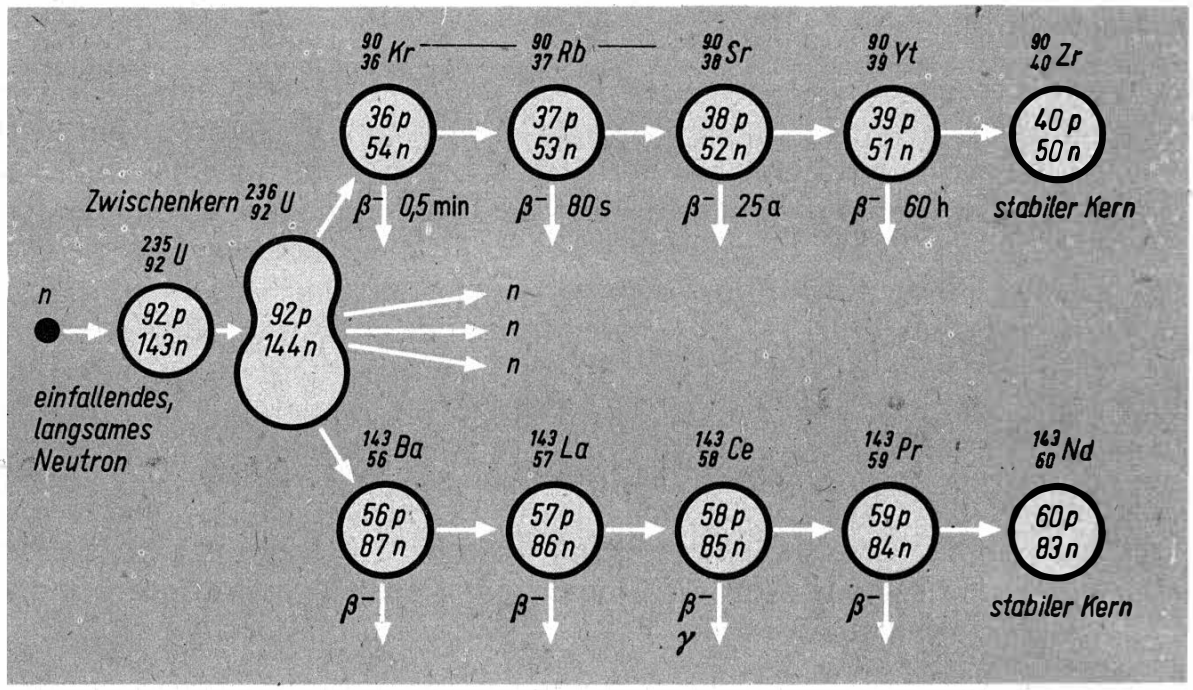


Bild 230/1 Uran-Kernspaltung

Energiefreisetzung durch Kernspaltung

Bei der Kernspaltung wird Kernenergie in Form kinetischer Energie der Spaltstücke, der Neutronen und durch Strahlung freigesetzt. Die Bewegungsenergie der Spaltstücke verwandelt sich beim Abbremsen durch die umgebenden Körper in Wärme.

> Bei jeder Spaltung eines Urankerns wird eine Energie von etwa $3{,}2 \cdot 10^{-14}$ kJ frei

Vergleich freigesetzter Energien

Brennstoff	Frei werdende Energie in $\frac{kJ}{kg}$
Lufttrockenes Holz	$\approx 1{,}67 \cdot 10^4$
Braunkohle	$2{,}51 \cdot 10^4$
Steinkohle	$3{,}35 \cdot 10^4$
Benzin	$4{,}61 \cdot 10^4$
$^{235}_{92}$Uran (Kernspaltung)	$8{,}37 \cdot 10^{10}$

Die ungesteuerte Kettenreaktion

Spalten nach jeder Kernspaltung jeweils die drei frei werdenden Neutronen drei weitere Atomkerne, so wächst die Zahl der Kernspaltungen wie die Potenzen von 3 : 3, 6, 9, 27, 81, 243, ... usw.

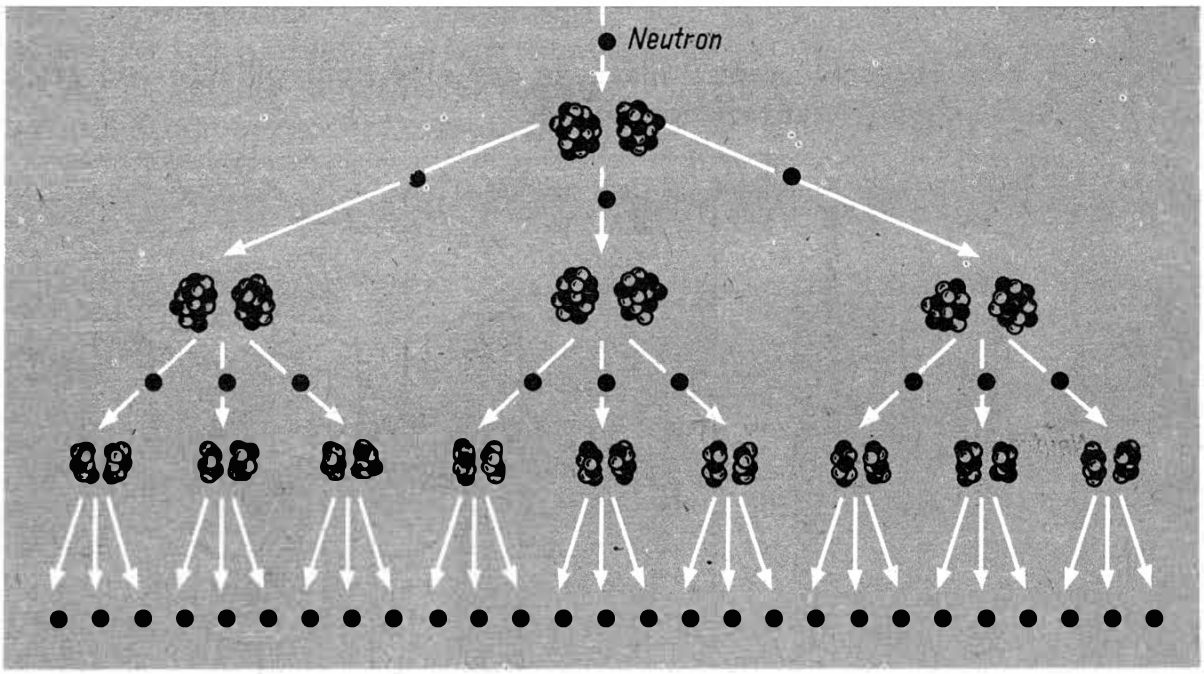


Bild 231/1 Kettenreaktion

Einen solchen sich selbständig fortsetzenden Prozeß nennt man eine *ungesteuerte Kettenreaktion.*

Bedrohung der Menschheit durch Kernwaffen

Die Entdeckung der Kernspaltung mißbrauchen die amerikanischen Imperialisten zur Herstellung von Kernwaffen, die sie als Druckmittel ihrer Politik der Stärke zur Unterdrückung anderer Völker einsetzen wollen. Namhafte Wissenschaftler und die gesamte friedliebende Menschheit verurteilen diese imperialistischen Pläne. Im Kampf gegen die ständige Bedrohung der Menschheit durch Kernwaffen der Imperialisten errang die UdSSR durch den Vertrag über das Verbot von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und im Wasser einen großen Erfolg. Durch den gemeinsamen Kampf der internationalen Arbeiterklasse unter Führung der marxistisch-leninistischen Arbeiterparteien zusammen mit allen friedliebenden Menschen ist es möglich, einen Kernwaffenkrieg aus dem Leben der Gesellschaft zu verbannen, auch wenn die kapitalistische Gesellschaftsordnung noch in einem Teil der Welt besteht. In diesem Kampf für die Sicherung des Friedens in der Welt trägt jeder Bürger, unabhängig von seiner beruflichen Arbeit, eine große Verantwortung, die von ihm persönlich konsequentes Auftreten gegen jeden Mißbrauch der Naturwissenschaften zum Schaden der Menschheit erfordert.

Die gesteuerte Kettenreaktion

erfolgt durch eine Regelvorrichtung mit Hilfe von beweglichen Stäben aus Kadmium. Durch die Kadmiumstäbe, die die Neutronen sehr stark absorbieren, läßt sich die Anzahl der für eine Kernspaltung erforderlichen Neutronen regulieren.

Kernreaktor

heißt eine abgeschlossene Anlage, in der eine kontrollierte und gesteuerte Kernspaltungs-Kettenreaktion abläuft.

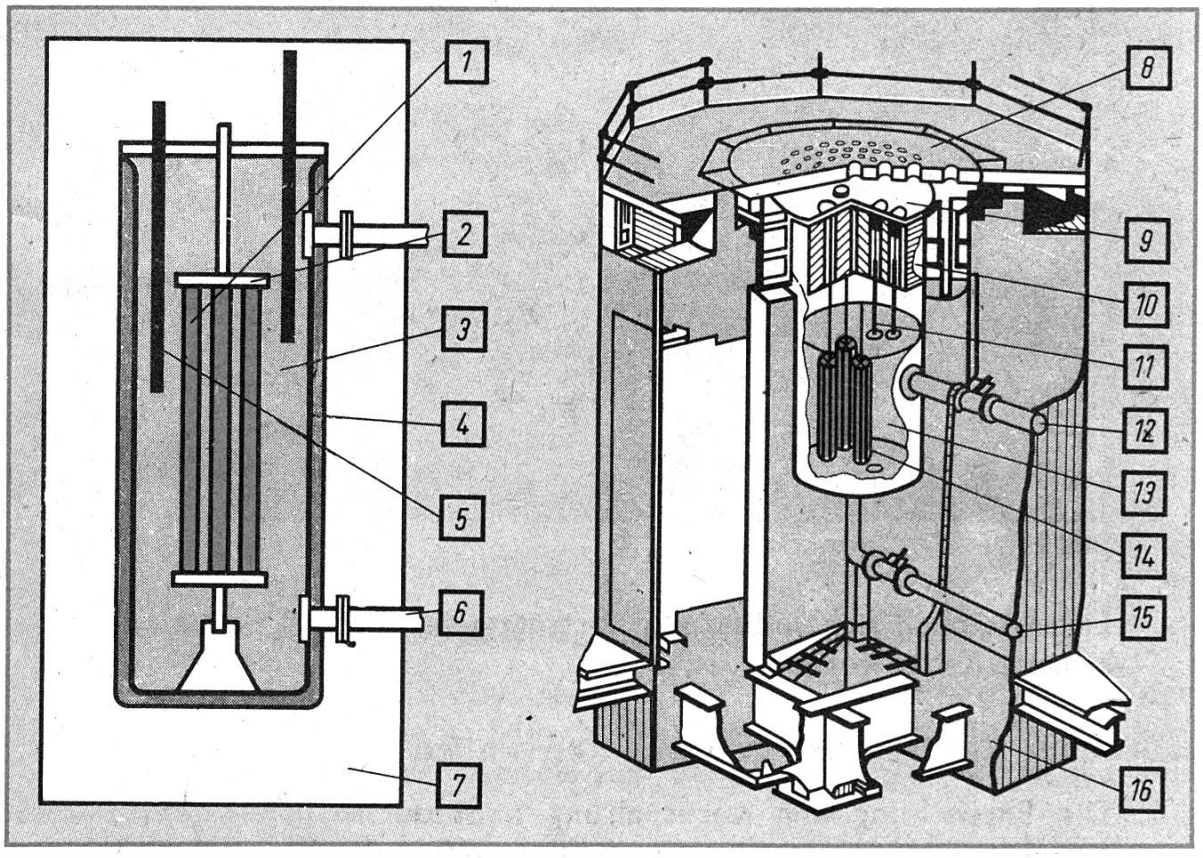


Bild 232/1 Prinzip eines Kernreaktors und Ausführungsbeispiel eines Kernreaktors

1 – Spaltbares Material
2 – Konstruktionselemente
3 – Bremssubstanzen
4 – Reflektoren
5 – Regelelemente
6 – Kühlsystem
7 – Strahlenschutzmantel
8 – Abdeckplatte
9 – Deckel mit Beschickungsöffnung
10 – Aluminiumbehälter
11 – Regelstäbe
12 – Abfluß des Energieträgers
13 – Wasserfüllung
14 – Brennstoffelemente
15 – Zufluß des Energieträgers
16 – Betonmantel

Wirkungsweise eines Kernreaktors. In einem mit Spaltmaterial beschickten Reaktor tritt durch das natürliche Vorhandensein von Neutronen eine Kernspaltung ein. Die darauf einsetzende Kettenreaktion erzeugt ständig eine ausreichende Anzahl schneller Neutronen, die in der Bremssubstanz auf die für weitere Kernspaltungen günstige Geschwindigkeit abgebremst werden. Vom Schaltraum aus wird der Neutronenstrom automatisch geregelt. Die in Form von Wärme frei werdende Energie wird durch Energieträger abgeleitet.

Verwendungszweck der Kernreaktoren

Energiereaktoren (z. B. Kernkraftwerk Rheinsberg)
zur Gewinnung wirtschaftlich verwertbarer Energien

Forschungsreaktoren (z. B. Rossendorf)
a) als Neutronenquelle für Forschungszwecke,
b) zur Erzeugung radioaktiver Isotope,
c) zum Studium der Reaktorphysik

Brutreaktoren zur Erzeugung spaltbaren Materials

Nutzung der Kernenergie

Die Wissenschaftler und Techniker der sozialistischen Staatengemeinschaft lösen schwierige technische und wissenschaftliche Probleme, die den Weg für eine friedliche Nutzung der Kernenergie weisen. Die Arbeiten reichen von der Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes in Obninsk, dem Bau des ersten durch Kernenergie angetriebenen Eisbrechers „Lenin" über die kernphysikalischen Großforschungszentren sozialistischer Staaten in Dubna und Serpuchow bis zu den ersten Erfolgen der gesteuerten Kernfusion mit dem Reaktor TOKAMAK T3 am Kurtschatow-Institut. Durch den Bau der Kernkraftwerke Rheinsberg und Greifswald wird auch in unserer Republik eine weitere Grundlage für den stetigen Aufschwung der Volkswirtschaft zum Wohle aller Bürger unserer Republik und als Beitrag zur Vervollkommnung der sozialistischen Gesellschaft geschaffen.

9.3. Elementarteilchen

Nach gegenwärtiger Kenntnis nennt man die kleinsten Bausteine der Natur Elementarteilchen.
Die Erforschung des Atombaus ergab, daß Atome aus noch kleineren Teilchen, den Elementarteilchen, bestehen. Neben diesen Bestandteilen der Atome (Elektronen, Protonen, Neutronen) wurden inzwischen beim Spontanzerfall, bei Kernumwandlungen und in der Höhenstrahlung mehr als 200 Elementarteilchen entdeckt.

	Protonen	Neutronen	Elektronen	Positron
Entdeckung durch	1886 Goldstein	1932 Chadwick	1897 Thomson	1932 Anderson
bei	Leuchterscheinungen in Gasentladungsröhren	Strahlungsuntersuchungen an Beryllium	Katodenstrahlexperimenten	Erforschung der Höhenstrahlung
Symbol	p	n	e^- oder β^-	e^+ oder β^+
Schreibweise	${}^{1}_{1}p$	${}^{1}_{0}n$	${}^{0}_{-1}e$	${}^{0}_{+1}e$

	Protonen	Neutronen	Elektronen	Positron
Masse (Teilchen in Ruhe)	1,6725 $\cdot 10^{-27}$ kg	1,6748 $\cdot 10^{-27}$ kg	9,1091 $\cdot 10^{-31}$ kg	9,1091 $\cdot 10^{-31}$ kg
Masse in atomaren Masseneinheiten	1,007276 u	1,008665 u	0,000549 u	0,000549 u
Ladung $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ As	$Q_p = +e$	$Q_n = 0$	$Q_e = -e$	$Q_{e+} = +e$
Teilchen wurden experimentell nachgewiesen	im Atomkern	im Atomkern	in der Elektronenhülle	in der Höhenstrahlung und beim Spontanzerfall

Nachweis der Elementarteilchen

Nachweisgeräte für Elementarteilchen	Kernspurplatte (Fotoplatte)	Zählrohr	Nebelkammer	Blasenkammer
Nachweiswirkung durch	Erzeugung chemischer Strukturveränderungen in besonders präparierten fotografischen Schichten	Erzeugung von Ionen in Gasen, in denen ein äußeres elektrisches Feld besteht	Erzeugung von Ionen in einem durch Dampf übersättigten Gas	Erzeugung von Ionen in einer überhitzten Flüssigkeit

Kernspurplatten

weisen gegenüber üblichen fotografischen Schichten einen stark überhöhten Bromsilbergehalt und ein extrem feines Korn auf. Schnell bewegte Teilchen hinterlassen beim Durchdringen der fotografischen Schicht Spuren, die beim Entwickeln der Platten sichtbar werden.

Zählrohr

ist ein Gerät, das die durch einfallende Elementarteilchen durch Stoßionisation erzeugte Elektronenlawine in zählbare Stromimpulse umwandelt.
Es besteht aus einem Glasrohr (4), dessen Innenseite eine aufgedampfte Metallschicht (3) trägt. Zwischen dem Rohrmantel und dem Zähldraht (1) besteht ein elektrisches Feld.
Eindringende geladene Teilchen (2) ionisieren eine bestimmte Anzahl der Atome des Füllgases. Die durch Ionisation entstandenen Elektronen und Ionen (5) werden im elektrischen Feld beschleunigt, stoßen mit weiteren

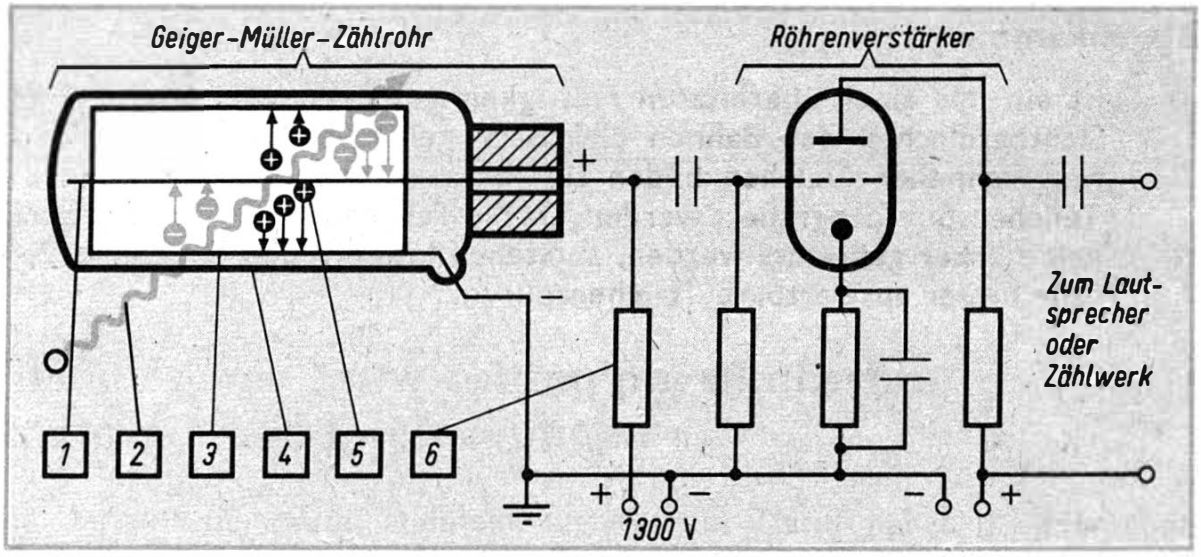


Bild 235/1 Zählrohr

1 – Innenelektrode (Anode)
2 – einfallendes Teilchen
3 – Katode
4 – Zählrohrkammer
5 – ionisierte Gasteilchen
6 – Arbeitswiderstand

Gasatomen zusammen und ionisieren auch diese (↗ Stoßionisation, S. 143). Sie lösen damit eine Elektronenlawine aus, die im Zählrohrkreis einen Stromstoß erzeugt.

Nebelkammer

ist ein Gerät zum Sichtbarmachen der Bahnen elektrisch geladener Teilchen. In einem abgeschlossenen, zylinderförmigen Gefäß wird staubfreie Luft durch Wasserdampf und Äthanol nahezu gesättigt. Durch rasche Bewegung des im Gefäß befindlichen Kolbens wird die Luft ausgedehnt und dabei so weit abgekühlt, daß der Raum mit Dampf übersättigt ist. Eindringende Teilchen ionisieren das Gas längs ihrer Bahn. An den ionisierten Gasatomen bilden sich feine Wassertröpfchen, die bei geeigneter Beleuchtung beobachtet und auch fotografiert werden können.

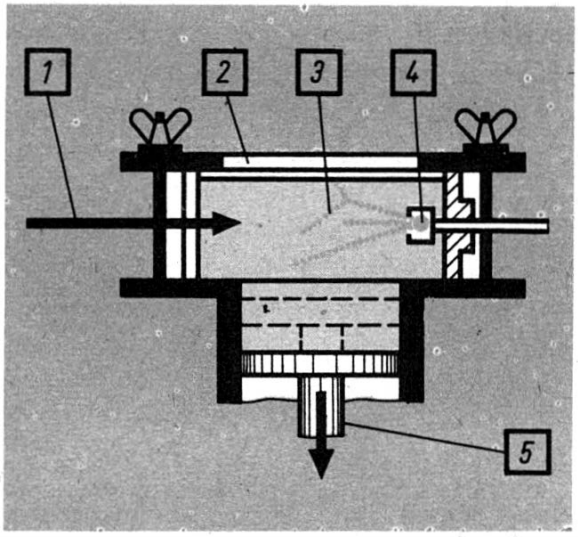


Bild 235/2 Nebelkammer nach Wilson

1 – Lichteinfall
2 – Beobachtungsfenster
3 – Nebelspuren
4 – radioaktives Präparat
5 – Kolben

Blasenkammer

ist ein mit einer überhitzten Flüssigkeit gefülltes, sehr großes Gefäß zum Sichtbarmachen der Bahnen elektrisch geladener Teilchen. Beim Durchgang schneller Teilchen bilden sich an den Ionen Dampfbläschen, die als Teilchenspur fotografiert werden. Da die Teilchen in der überhitzten Flüssigkeit stärker gebremst werden, entstehen kürzere und für kleine Zeitintervalle besser auswertbare Teilchenspuren.

Zur historischen Entwicklung physikalischer Erkenntnisse und Entdeckungen

Im Verlaufe der Auseinandersetzung mit der Natur haben die Menschen schon auf den frühen Stufen der Produktionspraxis physikalische Gesetzmäßigkeiten angewandt. Das geschah zunächst entsprechend dem allgemeinen Erkenntnisstand unbewußt. Mit der sich entwickelnden Produktion und den damit verbundenen gesellschaftlichen Arbeitsteilungen wurde es notwendig und möglich, immer bewußter naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen.

Mit Hilfe der so gewonnenen physikalischen Kenntnisse und Erkenntnisse konnten die Menschen im gesellschaftlichen Arbeitsprozeß die Natur verändern, Stoffe und Energien für die menschliche Gesellschaft nutzbar machen. So war z. B. der Übergang von der Handarbeit zur Maschinenarbeit nur auf einem bestimmten Stand des physikalischen Wissens möglich. Für die wissenschaftlich-technische Revolution haben physikalische Erkenntnisse einen noch bestimmenderen Einfluß auf die Technik und die Produktion.

Der Zusammenhang von physikalischem Wissen und Produktionspraxis wird in entscheidendem Maße von den jeweiligen gesellschaftlichen Verhältnissen geprägt. Jede Wissenschaft kann nur dann voll zum Nutzen der menschlichen Gesellschaft wirken, wenn die Interessen der Wissenschaftler und aller werktätigen Menschen mit den Interessen der Gesellschaft übereinstimmen.

Die nachfolgende Übersicht enthält eine Auswahl bedeutender Erkenntnisse und Entdeckungen auf dem Gebiet der Physik und versucht darzustellen, welche Bedeutung diesen in gesellschaftlicher, wissenschaftlicher oder technischer Hinsicht zukommt. Die Darstellung beginnt nach dem Jahr 1500. Seit dieser Zeit kann man von der Physik als Wissenschaft sprechen, obwohl es schon viele Jahrtausende vorher physikalische Erkenntnisse gab, wie z. B. über die Bedeutung des Feuers, des Rades, das von Archimedes formulierte Hebelgesetz und seine Anwendung in einfachen Maschinen, erste Kenntnisse auf dem Gebiet der Optik, der Lehre von den Flüssigkeiten und Vorstellungen vom Aufbau der Körper.

Jahr	Beispiel	Bedeutung
1543	Heliozentrisches Weltbild entwickelt (Nikolaus Kopernikus)	Historische, von der katholischen Kirche übernommene Darstellung von der Erde als Mittelpunkt der Welt wird wissenschaftlich widerlegt
1589	Fallgesetze (↗ S. 59) formuliert (Galileo Galilei)	Wichtiger Beitrag zur Erkenntnis über die Erkennbarkeit der Welt, Begründung der experimentellen Physik, Widerlegung der Bewegungslehre des Aristoteles
1609	Astronomisches Fernrohr gebaut (Hans Lippershei) und angewendet (Galileo Galilei)	Erkennen der Sternbewegungen, Fixsterne mit Satelliten, Bestätigung des heliozentrischen Weltbildes, Erfindung des Mikroskops und damit Entdeckungen in der Biologie
1609	Planetengesetze (↗ S. 71) formuliert (Johannes Kepler)	Theorie von der Kreisbewegung der Gestirne (Ptolemäus) wird ersetzt durch Theorie von der Bewegung auf elliptischen Bahnen
1638	Luftdruck (↗ S. 83) als Naturerscheinung erkannt und erklärt (Evangelista Torricelli)	Erklärung des Vakuums als physikalische Erscheinung
1650	Luftdruck und -veränderungen erklärt und genutzt (Otto von Guericke)	Nachweis und Nutzung des Luftdrucks durch Pumpen und Barometer, Wettervorhersage
1662	Druck-Volumen-Gesetz formuliert (Robert Boyle)	Vorbereitung der Erkenntnisse über das allgemeine Gasgesetz
1673	Gesetz der Schwingungsdauer eines Pendelschwingers formuliert (Christian Huygens)	Verwendung des Pendelschwingers als Steuervorrichtung in der Uhr
1676	Berechnung der Lichtgeschwindigkeit (↗ S. 203) (Olaf Römer)	Bestimmung einer Naturkonstante aus der Stellung von Erde, Sonne und Jupitermonden
1687	Grundgesetze der Mechanik (↗ S. 67) formuliert (Isaac Newton)	Grundlagen der Mechanik geschaffen und Zusammenhänge zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung erkannt. Newton leitet diese Erkenntnisse von der Bewegung der Himmelskörper ab und überträgt sie auf irdische Bedingungen. Beitrag zur Infinitesimalrechnung

Jahr	Beispiel	Bedeutung
1786	Elektrisches Grundgesetz (↗ S. 126) zur Bestimmung der Kraft zwischen elektrisch geladenen Körpern formuliert (Charles Coulomb)	Zusammenhang zwischen mechanischen und elektrischen Größen erkannt, damit erstmals quantitative Bestimmung elektrischer Gesetzmäßigkeiten
1798	Gravitationskonstante (↗ S. 72) ermittelt (Henry Cavendish)	Ermittlung einer Naturkonstante mit einfachen technischen Mitteln (Drehwaage)
1800	Erfindung einer Gleichstromquelle (↗ S. 116) (Alessandro Volta)	Experimentelle Untersuchungen und Messungen elektrischer Vorgänge werden dadurch möglich
1801	Interferenz des Lichts (↗ S. 204) wird als Wellenerscheinung erklärt (Thomas Young)	Wichtiger Beitrag zur Weiterentwicklung der Lichttheorie (Newton: Licht besteht aus Teilchen; Huygens: Licht ist Welle)
1815	Spektrallinien im Sonnenlicht entdeckt (Joseph Fraunhofer)	Grundlage für die Spektroskopie geschaffen
1816	Allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases (↗ S. 95) formuliert (Louis Gay-Lussac)	Damit wurde eine wichtige Grundlage für die wissenschaftliche Erklärung der Energieumwandlung in Wärmekraftmaschinen gegeben
1818	Beugung des Lichts (↗ S. 202) wird als Wellenerscheinung erklärt (Augustin Jean Fresnel)	Erarbeitung einer wichtigen Grundlage für das Erkennen des inneren Aufbaus der Körper (Kristallgefüge)
1820	Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom (↗ S. 132) wird gefunden (Christian Oersted)	Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Erscheinungen entdeckt
1824	Wärmekreisprozeß wird als Gesetzmäßigkeit erkannt und beschrieben (Sadi Carnot)	Damit wurden die wissenschaftliche Erklärung der Wirkungsweise von Wärmekraftmaschinen und Möglichkeiten zur Verbesserung des Wirkungsgrades (↗ S. 77) gegeben
1826	Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand (↗ S. 120) als Gesetz formuliert (Georg Simon Ohm)	Mit diesem Grundgesetz des Stromkreises wurden weitere Grundlagen geschaffen, um elektrische Erscheinungen quantitativ erfassen und berechnen zu können

Jahr	Beispiel	Bedeutung
1827	Entdeckung der Molekularbewegung (↗ S. 52) (Robert Brown)	Wichtiger Beitrag zur kinetischen Gas- und Wärmetheorie
1831	Entdeckung der elektromagnetischen Induktion (↗ S. 135) (Michael Faraday) Einführung des Feldbegriffes in die Physik	Wichtiger Beitrag zum allgemeinen Energieerhaltungssatz und zur Entwicklung der Produktionstechnik (Elektrifizierung), Modellvorstellung von den Feldlinien geschaffen
1833	Gesetz über die Richtung eines durch Bewegung induzierten elektrischen Stroms (Heinrich Emil Lenz)	Erklärung elektrischer Erscheinungen (Induktion, Selbstinduktion, ↗ S. 138) beim Betrieb elektrischer Maschinen
1842	Zusammenhang zwischen Wärme und mechanischer Energie erkannt (Robert Mayer)	Wichtiger Beitrag zum allgemeinen Energieerhaltungssatz (↗ S. 101) und zur Entwicklung von Wärmekraftmaschinen
1845	Experimente über den Zusammenhang zwischen Wärme und mechanischer Energie angegeben (James Prescott Joule)	Weiterer Beitrag zur Formulierung des allgemeinen Energieerhaltungssatzes
1847	Allgemeiner Energieerhaltungssatz (↗ S. 101) formuliert (Hermann von Helmholtz)	Systematisierung physikalischer Erscheinungen verschiedener Teilgebiete unter gemeinsamer Betrachtungsweise
1847	Gesetzmäßigkeiten bei der Stromverzweigung (↗ S. 122) gefunden (Robert Kirchhoff)	Theoretische Voraussetzung zur Elektrifizierung wurden damit ergänzt
1848	Erklärung der Interferenz des Lichts (↗ S. 200) (Leon Foucault)	Beitrag zur Theorie der Wellen
1850	Formulierung des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre (↗ S. 101) (Rudolf Clausius)	Damit wird der Zusammenhang zwischen Wärmezufuhr und Zustandsänderung eines Körpers erklärt
1858	Entwicklung der Spektroskopie (↗ S. 206) (Kirchhoff und Bunsen)	Schaffung eines Verfahrens, mit dem durch Messung von Leuchterscheinungen der einheitliche stoffliche Aufbau des Sternensystems nachgewiesen werden konnte

Jahr	Beispiel	Bedeutung
1864	Entdeckung der Katodenstrahlen (↗ S. 147) (Wilhelm Hittorf)	Voraussetzung zur Entdeckung des Elektrons und zur Entwicklung der Katodenstrahlröhren
1865	Entwicklung der Theorie der elektromagnetischen Wellen. Deutung des Lichts als elektromagnetische Welle (↗ S. 202) (James Clerk Maxwell)	Damit kann das Licht als Form der Energieübertragung in die Wellenskale eingeordnet werden
1888	Erzeugung und Untersuchung elektromagnetischer Wellen (Heinrich Rudolf Hertz)	Damit wurde die Maxwellsche Deutung bewiesen, daß die Eigenschaften elektromagnetischer Wellen und des Lichts übereinstimmen müssen
1895	Entdeckung der Röntgenstrahlung (↗ S. 212) (Wilhelm Conrad Röntgen)	Breite Anwendung in der Medizin, Voraussetzung von Untersuchungen der Atomanordnung in Kristallen
1897	Verhältnis von Ladung zu Masse des Elektrons (↗ S. 233) ermittelt (Joseph Thomson)	Wichtiger Beitrag zur Abschätzung atomarer Konstanten
1898	Entdeckung der Radioaktivität bestimmter Elemente (↗ S. 225) (Marie und Pierre Curie)	Beginn der Erforschung kernphysikalischer Erscheinungen auf Grund der Kenntnisse über die Erhaltung der Energie
1901	Erfindung der Halbleiterdiode (Kristalldiode) (K. F. Braun)	Beginn der Entwicklung von Geräten zur Erzeugung und zum Senden und Empfangen Hertzscher Wellen
1904	Erfindung der Röhrendiode (↗ S. 144) (John Flemming)	Grundlage der modernen Informationsübermittlung
1907	Erfindung der Röhrentriode (↗ S. 146) (Lee de Forest)	
1913	Erfindung des Röhrengenerators (↗ S. 191) (Alexander Meißner)	
1919	Erste Kernumwandlung (↗ S. 229) künstlich herbeigeführt (Ernest Rutherford)	Grundlagen geschaffen zum Erschließen einer neuen Energiequelle

Jahr	Beispiel	Bedeutung
1934	Entdeckung der künstlich herbeiführbaren Aussendung energiereicher Strahlung aus dem Atomkern (↗ S. 226) (Irene und Frederic Joliot-Curie)	Weiterer Beitrag zur Erschließung der bisher stärksten Energiequelle Atomkern
1938	Atomkernspaltung (↗ S. 229) herbeigeführt (Otto Hahn)	Diese wissenschaftlich bedeutsame Leistung fällt in die Periode der allgemeinen Krise des Kapitalismus und wird deshalb zum Schaden der Völker zunächst ausschließlich militärisch nutzbar gemacht
1942	Gesteuerte Kettenreaktion im Großversuch gelungen (Enrico Fermi)	Beginn der Produktion von Kernspaltungsmaterial zum Bau von Atombomben
1945	Explosion zweier Atombomben über Hiroshima und Nagasaki	Tötung vieler hunderttausend Menschen. Anwendung der Kernenergie zum Schaden der Völker
1948	Erfindung der Halbleitertriode (J. Bardeen und W. H. Brattain)	Entwicklung der Transistortechnik
1954	Kernenergie-Kraftwerk in Obninsk bei Moskau in Betrieb genommen (Leistung 5000 kW)	Erstmals wird Energie aus dem Atomkern in Elektroenergie umgewandelt und zur Stromversorgung eingesetzt
1957	Start des ersten künstlichen Erdsatelliten in der Sowjetunion	Beginn der aktiven Erforschung der erdfernen Umgebung
1961	Juri Gagarin umkreist die Erde mit dem Raumschiff „Wostok"	Erstmals gelangt ein Mensch in den Kosmos
1970	Kurzzeitige gesteuerte Kernfusion mit dem Reaktor TOKAMAK 3 in der Sowjetunion herbeigeführt	Beginn der Erschließung neuer Energievorräte
	Landung des fahrbaren Laboratoriums „Lunochod" auf dem Mond	Erforschung des Mondes, Transport von Mondgestein zur Erde

Jahr	Beispiel	Bedeutung
1970	Fortsetzung der Weltraumforschung, u. a. durch Venus- und Marssonden	Internationale Zusammenarbeit sozialistischer Länder mit Satellit „Interkosmos"
1971	Einsatz der Raumstation „Salut" und Durchführung verschiedener Untersuchungen außerhalb der Erdatmosphäre	Erstes, langfristig auf einer Erdumlaufbahn stationiertes Laboratorium

Schaltzeichen und Schaltkurzzeichen elektrischer Bauelemente

Zur zeichnerischen Darstellung der Bauelemente elektrischer und elektronischer Schaltungen werden **symbolische Darstellungen** verwendet.

Man unterscheidet:
Kennzeichen sind Teile von Schaltzeichen.
Schaltzeichen, vereinfacht und ausführlich, sind vereinfachte Symbole von einem oder mehreren Bauteilen oder Symbole, die die Einzelheiten der Bauteile ausführlich zeigen.
Schaltkurzzeichen sind Symbole zur zusammenfassenden Darstellung eines Bausteines, eines Gerätes oder einer Anlage.
Sinnbilder sind symbolische Darstellungen von Meßgeräten zur Kennzeichnung ihres Aufbaus und ihrer technischen Daten.

Kennzeichen

+	Positiv	—	Gleichspannung oder Gleichstrom
—	Negativ	~	Wechselspannung oder Wechselstrom
↗	Verstellbarkeit	⎓	Wechselspannung oder Gleichspannung
↗	Einstellbarkeit	≋	Tonfrequenz
		≋	Hochfrequenz

Schaltzeichen

Leitung, allgemein	Relaiskontakt
Kreuzung von Leitungen ohne Verbindung	Widerstand, allgemein
Kreuzung von Leitungen mit Verbindung	Heizwiderstand
Erdverbindung	Widerstand, verstellbar, allgemein
Masseverbindung	Widerstand, stetig verstellbar
Trennbare und nicht trennbare elektrische Verbindung, allgemein	Widerstand, stufig verstellbar
Buchse	Potentiometer
Stecker	Widerstand, abgleichbar
Galvanisches Element	Widerstand, nebenschaltbar
Batterie	Kondensator, allgemein
Schmelzsicherung, allgemein	Drehkondensator
Schließer, allgemein	Elektrolytkondensator, gepolt
Öffner, allgemein	Spule, allgemein
Umschalter, allgemein	Spule mit Eisenkern
	Einphasentransformator mit Eisenkern

Antenne, allgemein	Mikrofon
Dipol	Lautsprecher
Diode	Glühlampe
Triode	Glimmlampe mit Gasfüllung
Halbleiterdiode	Wecker, allgemein
Spitzen- oder Flächentransistor (p-n-p, bzw, n-p-n)	Magnetspule
Fotowidersand	Gleichstromgenerator
Fotodiode	Gleichstrommotor
Fotozelle	Meßinstrument
	Strommesser
	Spannungsmesser
	Leistungsmesser

Schaltungskurzzeichen

Wandler, allgemein	Hochfrequenzgenerator
Gleichrichter	Verstärker, allgemein
Tonfrequenzgenerator	

Sinnbilder

	Drehspulmeßwerk	—	Gleichstrom
	Dreheisenmeßwerk	~	Wechselstrom
	Elektrodynamisches Meßwerk eisenlos	≂	Gleich- oder Wechselstrom
	Hitzdrahtmeßwerk	⊥	Senkrechte Gebrauchslage
	Gleichrichter	⊓	Waagerechte Gebrauchslage
2	Prüfspannungszeichen mit Angabe der Prüfspannung in kV	⚠	Achtung! Gebrauchsanweisung beachten!
		2,5	Klassenzeichen

1. Multiva-Universal-Drehspul-Meßinstrument für Gleich- und Wechselstrom mit 28 Meßbereichen

Gleichstrom

—

Drehspulinstrument

Klasse 1,5 (d. h. Betriebsmeßgerät mit ± 1,5% Anzeigefehler vom Meßbereichsendwert bei 20 °C Raumtemperatur)

1,5

Waagerechte Gebrauchslage

⊓

Prüfspannung 2 kV (d. h. Betriebsspannung bis 650 V)

2

Zur Wechselstrommessung mit Gleichrichter ausgestattet

~ ⊳|

2. Demonstrations-Meßinstrument

Für Gleich- und Wechselstrom

≂

Dreheisen-instrument

Klasse 2,5

2,5

Senkrechte Gebrauchslage

⊥

Prüfspannung 2 kV

2

3. Demonstrationsleistungsmesser

Elektrodynamisches Meßwerk

Klasse 2,5

2,5

Senkrechte Gebrauchslage

⊥

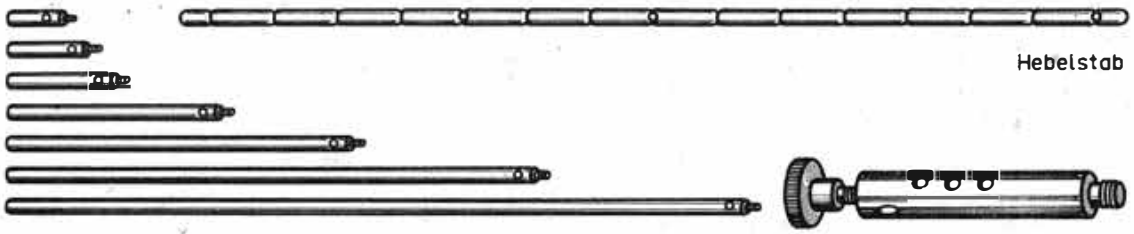
Prüfspannung 2 kV

2

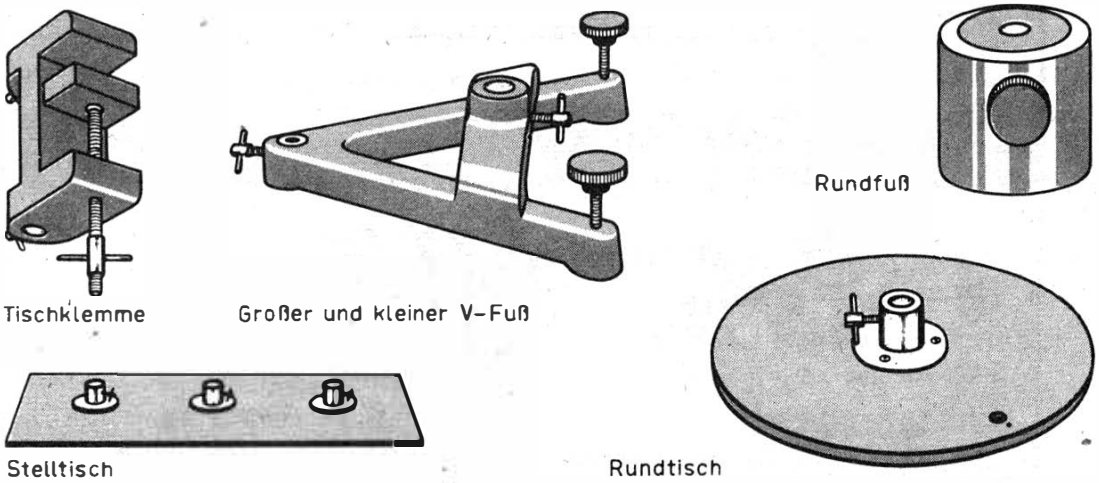
Bezeichnungen der wichtigsten Stativteile

Die Kenntnis der Bezeichnungen der wichtigsten Stativteile ist Voraussetzung für die gegenseitige Verständigung beim experimentellen Arbeiten.

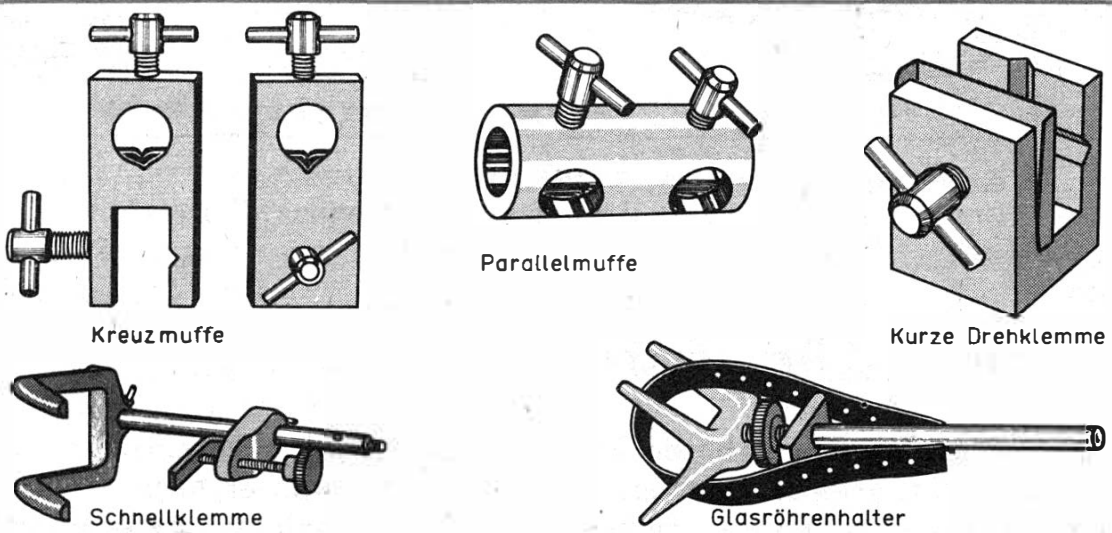
Stäbe

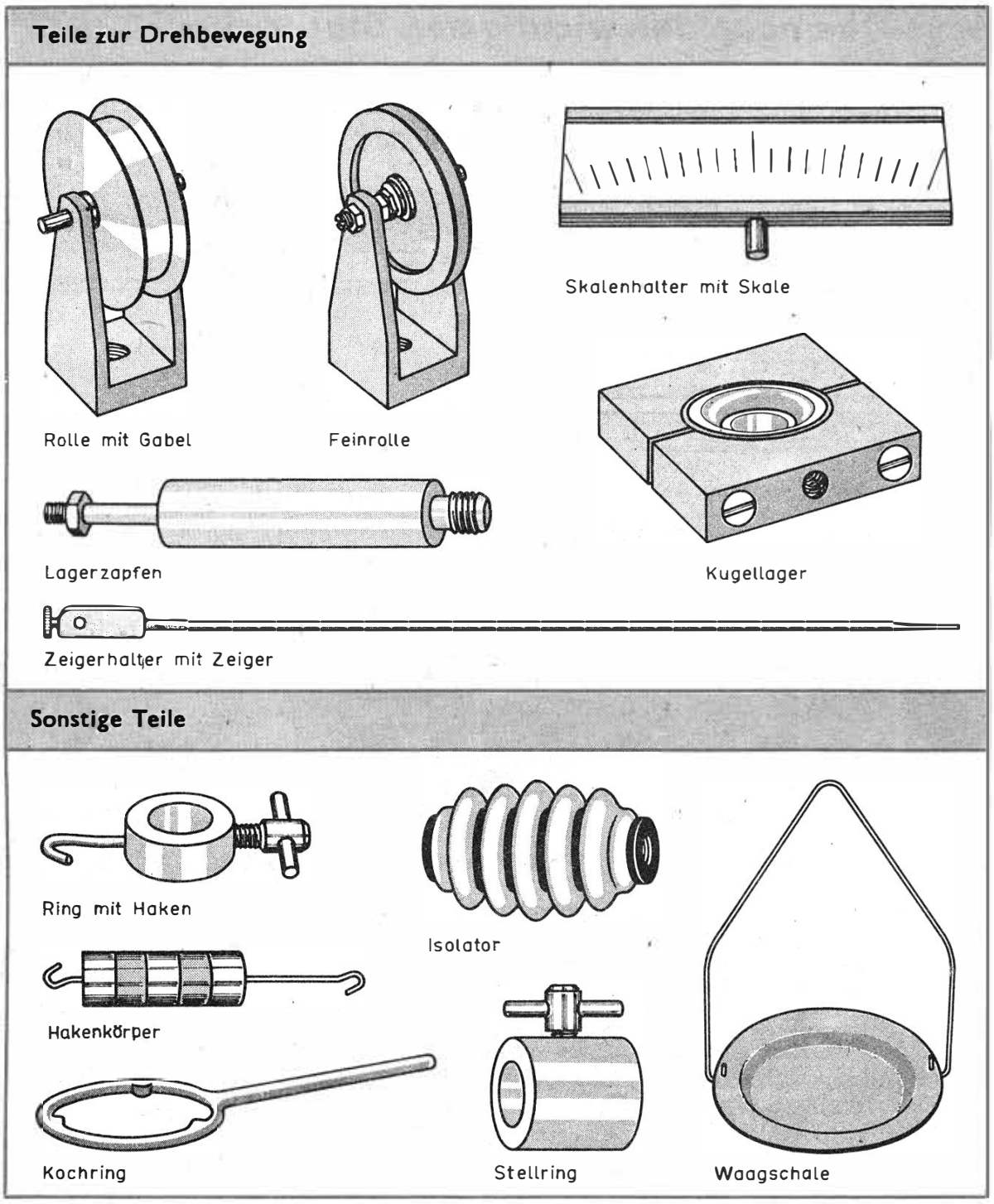


Teile zum Hochstellen



Telle zum Verbinden und Befestigen





Weitere Hilfsgeräte ↗ Ch i Üb

Arbeits- und Brandschutz

Um Unfälle zu verhüten und die Gesundheit jedes einzelnen Schülers zu schützen, erfordert der experimentelle Physikunterricht von jedem Schüler die Kenntnis und Beachtung einiger Grundregeln des **Arbeits- und Brandschutzes**.

Grundregeln für die experimentelle Arbeit

1. Bei experimentellen Arbeiten ist größte **Disziplin** zu halten und gegenseitige Rücksichtnahme zu üben.
2. Auf dem Arbeitsplatz ist größte **Ordnung** zu halten.
3. Vor jedem Experiment sind die möglichen **Gefahrenquellen** zu bedenken. Mit den Geräten ist sorgsam umzugehen, sie sind Volkseigentum.
4. Die Versuchsanordnung ist so aufzubauen, daß keine Geräte umstürzen, herabfallen oder andere Schüler gefährden können!
5. Besondere Vorsicht beim Umgang mit **Glasgeräten**, mit **elektrischem Strom**, mit **Chemikalien**, mit **Quecksilber**, mit **radioaktiven Stoffen**!
6. Es ist zu gewährleisten, daß **offene** (Gasflammen usw.) und **geschlossene** (elektrische Kochplatte) Heizquellen so aufgestellt werden, daß sie nicht versehentlich berührt werden können!
7. Der **Alarmplan** der Schule, der **polizeiliche** und **ärztliche Notruf** und die Rufnummer der **Feuerwehr** müssen jedem Schüler bekannt sein!
8. Auch geringfügige **Verletzungen** sind dem Lehrer zu melden.
9. Dem Lehrer sind alle festgestellten **Mängel** an Apparaturen, Einrichtungen usw. zu melden!

Hinweise für den Umgang mit elektrischem Strom

1. Bei Schülerexperimenten dürfen ohne Berührungsschutz maximal Nennspannungen von 42 V Wechselstrom oder 60 V Gleichstrom verwendet werden.
2. Elektrische Schaltungen sind vor Inbetriebnahme vom Lehrer zu prüfen (Schaltungen auf Kurzschlüsse prüfen)!
3. Geschaltet wird stets nur mit einer Hand! Jede Berührung offener elektrischer Leitungen ist zu vermeiden!
4. Kabelbrüche durch Verschlingen oder Verknoten von Anschlußschnüren sind zu vermeiden! Defekte Geräte oder Kabel nicht verwenden!
5. Anschlußschnüre dürfen nie an den Schnüren aus Steckdosen, Meß- oder Telefonbuchsen gezogen werden!
6. Die Geräte sind nur solange wie unbedingt erforderlich unter Spannung zu halten!

Hinweise für den Umgang mit Glasgeräten

1. Es sind nur unbeschädigte Glasgeräte zu verwenden!
2. Glasstopfen sind sachgemäß zu lockern (Lehrer um Hilfe bitten)!
3. Beim Einsetzen von Thermometern und Glasröhren in Stopfen und Schläuche sind Gleitmittel zu benutzen. Die Hände sind durch Tücher gegen Splitter bei eventuellem Glasbruch zu schützen!
4. Glasgeräte sind im Stativmaterial zwischen elastischen Stoffen (Gummi, Filz, Kork, Plaste usw.) einzuspannen!
5. Glasgefäße dürfen nicht über die offene Bunsenflamme gestellt werden (Asbestdrahtnetz benutzen)!
6. Sehr kalte und heiße Flüssigkeiten dürfen nur langsam und in kleinen Portionen in Glasgefäße gefüllt werden!

7. Beim Bearbeiten von Glas durch Erwärmen ist die Gefahr von Verbrennungen sehr groß!
8. Beim Experimentieren ist besonders vorsichtig mit Glasgeräten, die unter erniedrigtem oder erhöhtem Druck stehen, umzugehen!
9. Beim Bohren von Gummistopfen sind Gleitmittel zu verwenden und die Hände sowie die Unterlagen durch Tücher zu schützen!
10. Schneidewerkzeuge (Stopfenbohrer, Scheren usw.) sind geschützt aufzubewahren und stets scharf zu halten!

Hinweis für den Umgang mit offenen Flammen

1. Spiritus- und Benzinbrenner dürfen nur vom Lehrer in gelöschtem Zustand gefüllt und während des Betriebes nicht gekippt werden!
2. Brenner müssen so aufgestellt sein, daß eine zufällige Berührung oder ein Umkippen ausgeschlossen sind!
3. Das Löschen des Spiritusbrenners hat ausschließlich durch rasches Abdecken mit der Schutzkappe (Ersticken) zu erfolgen. Ausblasen ist verboten!
4. Die Abstellflächen für Brenner sind so zu wählen, daß Brände nicht entstehen können! Schultische sind durch Asbestunterlagen vor Brandflecken zu schützen!

Regeln für die Erste Hilfe

Unfälle mit elektrischem Strom
– Bei elektrischem Schlag sofort zurückfallen lassen, um die Verbindung zu unterbrechen
– Sofortiges Ausschalten des Stromes, gegebenenfalls Sicherung herausdrehen
– Wegziehen des Verunglückten mit einem trockenen Stock oder trokkenem Seil
– Aufheben des Erdschlusses durch Unterschieben eines trockenen Brettes. Der Retter muß gut isoliert sein, z. B. durch Gummihandschuhe, Stehen auf einem Holz- oder Porzellangegenstand.

Ohnmacht
– Bei gerötetem Gesicht Oberkörper hochlegen
– Bei blassem Gesicht Ohnmächtigen horizontal legen
– Enge Kleidung öffnen – frische Luft
– Gesicht, Brust kalt waschen – Riechmittel reichen
– Körper (Fußsohlen) reiben und bürsten

Verbrennungen, Vergiftungen ↗ Ch i Üb, S. 132

Wunden
– Eventuelle Blutungen stillen – Verschmutzungen vermeiden
– Schmutz der Wundumgebung entfernen (mit Jodtinktur oder Alkohol reinigen, immer von der Wunde nach außen) – Wunde nicht waschen
– Wunde nicht mit den Fingern berühren
– Sterilen Verband anlegen
– Grobe Fremdkörper nicht oder nur mit keimfreien Instrumenten aus der Wunde entfernen – Arzt hinzuziehen

Register

A

Absorptionsspektrum 206
Abstoßungskraft 52
Achterschalen 218
Adhäsionskraft 53
Aggregatzustand 51
–, Änderung 97
Alphastrahlen 227
Amplitude 174, 195
Anode 144, 146
Anomalie des Wassers 95
Anziehungskraft 52
Arbeit, elektrische 119
–, mechanische 73
–, Satz von der Gleichheit der 75
Arbeits|diagramm 40, 74, 120, 127
– schutz 248
Archimedisches Gesetz 85
Atom 216
–, Symbolschreibweise 221
atomare Masseneinheit 221
Atom|bau 216, 217
– hülle 216
– hülle, Aufbau 217
– physik 215
Atomkerne 216, 222
–, Aufbau 223
–, Eigenschaften 223
–, instabile 226
–, stabile 222
–, Veränderungen 224
Atommasse, absolute 220
–, relative 220
Auftrieb, dynamischer 87
–, statischer 84
Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle 195, 197
Außenelektronen 218
Auslenkung 175
Auslenkwinkel 175

B

Bahngeschwindigkeit 60
Basis 149
– größe 11
Bauelemente, elektrische 151
Beschleunigung 57
Beschleunigungsarbeit 78
Bestrahlungsverfahren 228
Betastrahlen 227
Beugung 200
– des Lichts 204
Bewegung 54
–, beschleunigte 56
–, geradlinige 55
–, geradlinige, gleichförmige 56
–, geradlinige, gleichmäßig beschleunigte 57
–, Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen 57
–, Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten 58
–, zusammengesetzte 60
Bewegungs|arten 54
– energie 78
– formen 54
Bild, reelles 159, 165
–, virtuelles 159, 165
Bilder, optische 155
–, reelle 155
–, virtuelle 155
Bildentstehung am ebenen Spiegel 157, 160
– am Hohlspiegel 158, 160
– an Linsen 164
Bild|größe 157
– weite 157
Blasenkammer 234, 236
Brandschutz 247
Brechung an ebenen Flächen 162
– an Linsen 164
– des Lichts 162, 204
Brechung einer Welle 199
Brechungsgesetz 162
Brenn|punkt 158, 163
– strahl 158, 164
– weite 158, 163
Brownsche Bewegung 52

C

chemische Eigenschaften 218
Celsius-Temperatur 90
Coulombsches Gesetz 126

D

Dampfkraftmaschinen 102
Dämpfung 189
Dauermagnete 130
Defektelektronen 141
Definition 18, 23
Demodulation 210
Dezimalvorsätze 15
Diagramme 37, 39
Diaskop 169
Dichte 50
– bestimmung 50
Dielektrikum 128
Dieselmotor 102, 103
Differenzmessung 48
Dipol 207
– als Empfänger 209
– als Sender 208
Dissoziation 142, Ch i Üb
Dotieren 142
Drehbewegung 69
Dreheisenmeßgerät 182
Drehspulmeßgerät 182
Druck 66
–, hydrostatischer 83
– kraft 66
– messung 84
–, statischer 86
Durchlaßrichtung 148

Durchstrahlungsverfahren 228
Dynamik 64

E

Effektivwert 183
Eigenfrequenz 178, 179
Eigenleitung 141
Eigenschwingung 178
Einheiten 14, 15
elektrische Arbeit 119
– Energie 117
elektrisches Feld 124, 139
elektrische Feldlinien 125
– Feldstärke 125
– Leistung 119
elektrische Leitungsvorgänge 139
–, allgemeines Modell 139
– im Vakuum 143
– in Festkörpern 140
– in Flüssigkeiten 142
– in Gasen 142
elektrische Kapazität 127
– Spannung 115
elektrischer Strom 112
– Stromkreis 114
elektrische Stromrichtung 112
– Stromstärke 113
elektrischer Widerstand 120
Elektrizitätslehre 107
–, Übersicht 108
Elektroenergie, volkswirtschaftliche Bedeutung 118
Elektromagnet 132
elektromagnetisches Feld, Welleneigenschaften 208
elektromagnetische Induktion 135
elektromagnetisches Spektrum 201
elektromagnetische Welle 194, 202
–, Erregung 208
elektromotorisches Prinzip 133
Elektronen 233
– anordnung 219
– mangel 109
– schalen 216
– strahlen 147
Elektronenstrahl|oszillograf 148
– röhre 147
Elektronenüberschuß 109
Elektrolyte 142
Elektroskop 110
Elementarladung 109
Elementarteilchen 233
–, Nachweis 234
Elongation 174, 195
Emission von Licht 203
Emissionsspektrum 206
Emitter 149
Energie der Lage 78
–, elektrische 117
–, innere 93
–, kinetische 77
–, mechanische 77
–, potentielle 77
Energie|erhaltung 118
–, Satz von der Erhaltung der 101
– streifendiagramme 40, 105
Energieumwandlung 100
– bei Schwingungen 189
Energie|versorgung 187
– wandler 113, 118, 119
Entdeckungen 237
Episkop 169
Erfahrungssätze 19
Erhaltungs|größe 13
– sätze 19
Erkenntnisgewinnung 25
Erstarren 98
Erstarrungs|temperatur 98
– wärme 98
Erste Hilfe 250
Experiment 29
experimentelle Methode 28

F

Fallbeschleunigung 59, 73
Farbzerlegung 204
Federschwinger 176
–, Dämpfung 189
Federspannarbeit 74, 78
Fehlerbetrachtung 32
Feld, elektrisches 124, 139
–, magnetisches 129, 131, 139
Felder 139
– als Träger von Energie 124
Feld|linien 123
– stärke 125
Fernrohr 170
Flächentransistor 149
Flaschenzug 76
Formelzeichen 15
Foto|emission 143
– platte 234
– zelle 145
freier Fall 58
Frequenz 174, 195
Funkmessung 211
Funktionsleitern 37, 38

G

Galileisches Fernrohr 170
Gamma|strahlen 227
– strahlung 194
Gegenstands|größe 157
– weite 157
Geiger-Müller-Zählrohr 234
geneigte Ebene 76
Generatorprinzip 134
geometrische Optik 153
Geschwindigkeit 56
–, resultierende 61, 62
–, Zusammensetzen 61
Gesetze, dynamische 22
–, physikalische 18, 19, 23
–, statistische 22
Gewichtskraft 68
Gitter 146
Gleichrichterwirkung 145, 148
Gleichstromkreis, Gesetze 120
Gleitreibung 70
Glühemission 143
Gravitation 71
Gravitations|konstante 72
– feld 72
– gesetz 72
Größen, abgeleitete 11
– gleichung 14
–, physikalische 9, 15
–, vektorielle 12
Grundgleichung der Wärmelehre 92
– der Wellenausbreitung 197

H

Haftreibung 70
Halbleiter 141
– bauelemente 148
– diode 148

Halbleitereinkristall 141
Halbwertzeit 228
Hebel 75
Hertzsche Wellen 194, 206
– Demodulation 210
– Einteilung 210
– Modulation 209
– Weltraumforschung 211
Hohlspiegel 157, 158
Hubarbeit 74, 78
hydraulische Anlage 80

I

ideales Gas 95
Induktion 135
Induktionsspannung 137
Induktivität 138, 185
infrarotes Licht 194, 206
innere Energie 93
Interferenz des Lichts 204
– streifen 200
Isolatoren 112, 141
Isotope 224
–, radioaktive 227

K

Kamera 168
Kapazität 127, 186
Katode 144, 146
Kelvin-Temperatur 90
Kennlinie 145, 146, 148
Kennzeichen 243
Keplersches Fernrohr 170
Keplersche Gesetze 71
Kernaufbau 222
Kerne, isotope 224
Kern|energie, Nutzung 233
– fusion 225
– ladung 223
– masse 223
– physik 222
Kernreaktor 232
–, Wirkungsweise 232
–, Verwendungszweck 232, 233
Kern|spaltung 225, 229
– spaltung, Energiefreisetzung 230
– spurplatte 234
– umwandlung 225, 229
– waffen 231
– zerfall 226
Kettenreaktion, gesteuerte 231
–, ungesteuerte 230
Kinematik 54
Kleinbildwerfer 169
Kohäsionskraft 53
Kolbendruck 80, 81
– auf Flüssigkeiten 80
– auf Gase 81
Kollektor 149
Kondensationswärme 99
Kondensatoren 126
-arten 129
Kondensationstemperatur 98
Kondensieren 98
Konkav|linsen 163
– spiegel 157
kontinuierliches Spektrum 205
Konvex|linsen 163
– spiegel 157
Kopplung 179, 196
Kopplung von| Feldern 207
– Schwingern 196
Körper, beleuchtete 154
–, Eigenschaften 47
–, Formverhalten 51
–, selbstleuchtende 154
–, sichtbare 154
–, Volumenverhalten 51
kosmische Strahlung 194
Kraft 64
– messung 64
–, resultierende 65
Kräfte, Zerlegen 65
–, Zusammensetzen 65
– zwischen geladenen Körpern 110
kraftumformende Einrichtungen 75
Kraftwirkung, dynamische 64
–, statische 64
Kreis|bewegung 59, 69
– frequenz 174
Krümmungs|mittelpunkt 158
– radius 158
Kugelspiegel 157
Kurzzeichen 15

L

Ladung, elektrische 109
Ladungs|ausgleich 110
– messung 109
– nachweis 110
Ladungsteilung 112
– träger 150
– trennung 110
– übertragung 112
Leistung 78
–, elektrische 119
Leistungsfaktor 186, 187
Leiter 112
Leitfähigkeitsverhalten 144
Lenzsches Gesetz 137
Licht 194
– ausbreitung 154
– bündel 154
–, Emission 203
– energie 203
– geschwindigkeit 203
–, infrarotes 195, 206
– quellen 154
– strahl 154, 204
–, ultraviolettes 194, 206
– weg 155
– wellen 194, 202
Linienspektrum 205
Linsenformen 163
Luftdruck 83
Lupe 168

M

magnetische Feldlinien 131
– Werkstoffe 132
magnetisches Feld 129, 131, 139
–, Ladung 133
Markierungsverfahren 228
Masse 49
Massen|bestimmung 50
– einheit, atomare 221
– punkt 54, 69
– zahl 220
Mechanik 45
–, Einheiten 15
–, Größen 15
–, Übersicht 45, 46
mechanische Energie, Satz von der Erhaltung 79
mechanische Wellen 194, 196
–, Formen 198
mechanischer Schwinger 176
Meißnersche Rückkopplungsschaltung 190
Messen der elektrischen Spannung 117
Messungen, physikalische 30

Meß|bereichserweiterung 123
– fehler 32
– geräte 30, 50, 84, 91, 114, 117, 182
– protokoll 31
– tabelle 31
– zylinder 49
Methode, deduktive 34, 36
–, induktive 34
MHD-Generator 135
Mikroskop 171
Mittel|wert 31
– punkt 163
– punktstrahl 158, 164
Modell 33, 95
– methode 33
Modulation 209
Momentanwert 175

N

Nebelkammer 234, 235
Neutronen 223, 233
Newtonsches Grundgesetz 67
Nomogramme 37
Normalkraft 70
Nukleonen 223

O

Oberflächenwelle 198
Objektiv 170
Ohmsches Gesetz (für den Gleichstromkreis) 120
Ohmscher Widerstand 183
Okular 170
optische Achse 158, 163
– Geräte 168
Ordnungszahl 220
Ottomotor 102, 104

P

Parabolspiegel 157
Parallel|schaltung 122
– strahl 158, 164
Pendelschwinger 176, 179, 191
–, Dämpfung 189
Periode 174, 175
Perpetuum mobile 102
Physik, Methoden und Verfahren 25
–, Teilgebiete 7
physikalische Aufgaben 40
physikalische Gesetze, Definitionsbereich 23
–, Darstellungsform 19
–, Gültigkeitsbereich 23
physikalische Größe 9, 15
– Größen, Einteilung 11
– Größen, Messung 10
Positron 233
– strahlen 227
Projektor 169
Protonen 223, 233
Punktladung 126

R

Radial|beschleunigung 60
– kraft 68
radioaktive Strahlung 226
–, Arten 227
–, Nachweis 227
Raumwellen 198
Reflexion am ebenen Spiegel 156
– des Lichts 155, 156, 204
–, diffuse 155
– einer Welle 199
–, regelmäßige 155
Reflexionsgesetz 156
Reibung 70
Reibungs|arbeit 74
– kraft 70
Reihenschaltung 122
Resonanz 180
– kurve 180
Richtfunk 210
Röhren|diode 144
– generator 190
– triode 146, 190
Rolle 76
Rollreibung 70
Röntgen|bremsstrahlung 212
– röhre 212
Röntgenstrahlung 194, 212
–, Eigenschaften 212
Rückkopplungsschaltung 190

S

Sammellinsen 163
Schallwelle 194
Schalt|kurzzeichen 243, 245
- zeichen 243, 244
Schatten 154
Scheinleistung 186
Scheitelpunkt 158
Schmelzen 98
Schmelz|temperatur 98
– wärme 98
Schweben 85
Schweredruck 81
– in Flüssigkeiten 81
– in Gasen 83
Schwimmen 85
Schwingerkette 196
Schwingkreis, geschlossener 177, 191
–, offener 177
Schwingung 174
–, Darstellung 174
–, elektromagnetische 175, 180, 191
–, Erzeugung 178
–, erzwungene 179
–, gedämpfte 190
–, Gleichung 175
–, harmonische 175
–, Kenngrößen 175
–, mechanische 175, 191
–, ungedämpfte 190
Schwingungen, Vergleich 191
Schwingungs|arten 175
– dauer 174
– lehre 173
Sehwinkel 168
Seilwelle 194
Selbstinduktion 138
Sieden 99
Siedetemperatur 98
Sinken 85
Sinnbilder 243, 246
Spannenergie 78
Spannung, elektrische 115
Spannungs|übersetzung 187
– teilerschaltung 123
– quelle 116
Spektral|analyse 206
– farben 205
Spektrum 204
–, elektromagnetisches 201
–, kontinuierliches 205
Sperrichtung 145, 148
spezifische Wärme 92
spezifischer Widerstand 121
Spiegel, asphärische 157
–, gekrümmte 157

Spiegel, sphärische 157
Spontanzerfall 225
Sprechfunk 211
Stativteile 247
Steigen 85
Steuerwirkung 149
Stoff 47
Stoffe, Aufbau 52
Störstellenleitung 141
Stoßionisation 143
Strommesser 114
Stromkreis, elektrischer 114
Stromlinien 86
Strom, elektrischer 112
– richtung, elektrische 112
– stärke, elektrische 113
Stromstärke|messung 114
– übersetzung 188
Strömungs|geschwindigkeit 86
– querschnitt 86

T

Tabellen 36
Teilchen 47, 52
Temperatur 90
– messung 91
Totalreflexion 163
Transformator 187
–, belasteter 188
–, idealer 188
–, Spannungsübersetzung 187
–, Stromstärkeübersetzung 188
–, Wirkungsgrad 189
Transistor 149
Trägheitsgesetz 68

U

Überlaufmethode 48
ultraviolettes Licht 194, 206
Umlaufzeit 60
Unfälle 250
unverzweigter Stromkreis 122

V

Verbrennungskraftmaschinen 102
verbundene Gefäße 82
Verdampfen 98, 99
Verdampfungswärme 99
Verdunsten 99
Verschiebungsarbeit 74
verzweigter Stromkreis 122
Volumen 48
– änderung 94
– messung 48

W

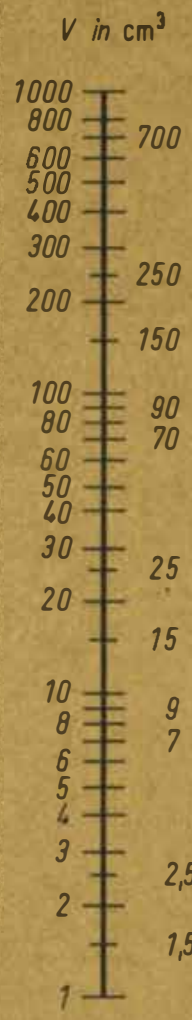
Wasserwelle 194
Wärme|ausbreitung 94
– austausch 93
– kraftmaschinen 102
Wärmelehre 89
–, Grundgleichung der 92
–, 1. Hauptsatz der 100
Wärme|leitung 94
– menge 92
–, spezifische 92
– strahlung 94
– strömung 94
Wechselstrom 180
–, Frequenz 182
– generator 181
– kreis, Gesetze 183
–, Meßgeräte 182
Wechselwirkungsgesetz 65
Welle 194
–, Darstellung 195
–, Diagramme 195
–, Kenngrößen 195
–, Überlagerung 200
Wellen|arten 194
– front 198
– länge 195
– lehre 193
–, lineare 198
– normale 199
Widerstand, elektrischer 120
–, im Wechselstromkreis 183
–, induktiver 184
–, kapazitiver 185
–, Ohmscher 183
–, spezifischer 121
Widerstandsgesetz 121
Windungszahl 187
Wirbelströme 138
Wirkleistung 186
Wirkung des elektrischen Stroms 113
Wirkungsgrad 77, 105, 189
Wölbspiegel 157
Wurf 61
-, schräger 62
Wurf, senkrechter 62
–, waagerechter 62
– weite 63

Z

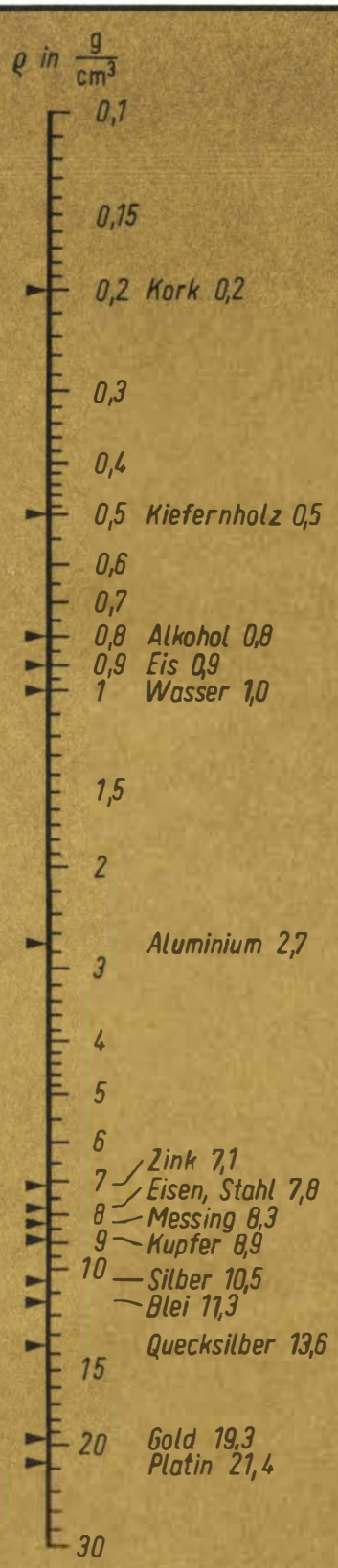
Zahlenwert 10
Zählrohr 234
Zentrifugalkraft 69
Zerstreuungslinsen 163
Zustandsgröße 13
Zustandsgrößen eines Gases 95
Zustandsänderung, isobare 96
–, isochore 96
–, isotherme 96

Dichte $\varrho = \frac{m}{V}$

1



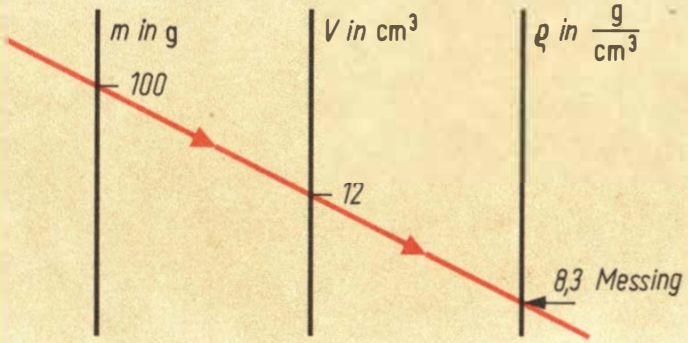
2



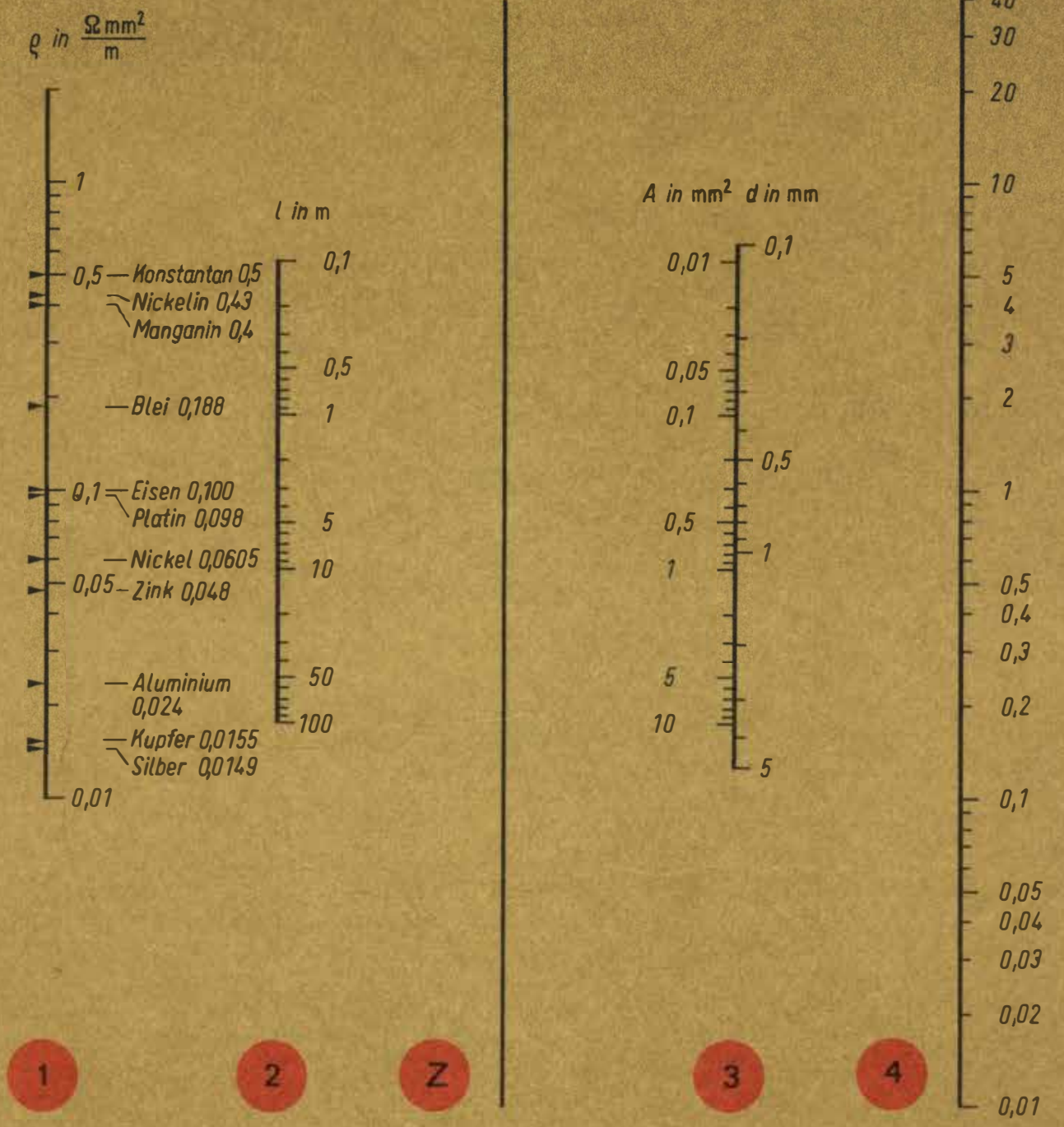
3

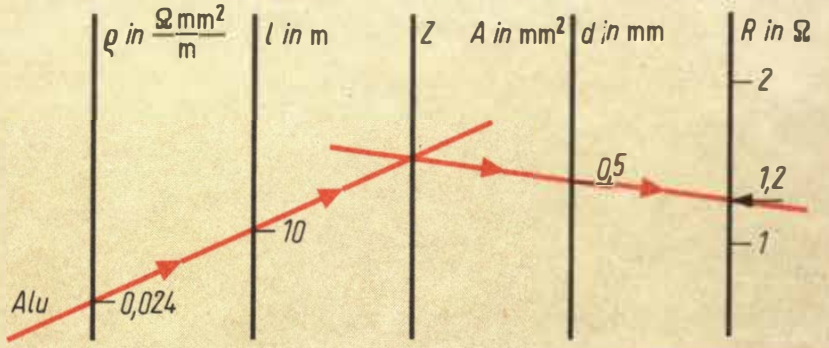
Ablesebeispiel

$m = 100$ g
$V = 12$ cm³
$\varrho = 8{,}3 \frac{g}{cm^3}$



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



Ablesebeispiel

$l = 10\ \text{m}$
$d = 0{,}5\ \text{mm}$
$\varrho = 0{,}024\ \frac{\Omega\,\text{mm}^2}{\text{m}}$
$R = 1{,}2\ \Omega$