

p	0.001	0.01	0.05	0.1	1/6	0.2	0.25	1/3	0.4	0.5	p
x											$n-x$
$n = 20$											
0	0.980	0.818	0.358	0.122	0.026	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	20
1	1.000	0.983	0.736	0.392	0.130	0.069	0.024	0.003	0.001	0.000	19
2	1.000	0.999	0.925	0.677	0.329	0.206	0.091	0.018	0.004	0.000	18
3	1.000	1.000	0.984	0.867	0.567	0.411	0.225	0.060	0.016	0.001	17
4	1.000	1.000	0.997	0.957	0.769	0.630	0.415	0.152	0.051	0.006	16
5	1.000	1.000	1.000	0.989	0.898	0.804	0.617	0.297	0.126	0.021	15
6	1.000	1.000	1.000	0.998	0.963	0.913	0.786	0.479	0.250	0.058	14
7	1.000	1.000	1.000	1.000	0.989	0.968	0.898	0.661	0.416	0.132	13
8	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	0.990	0.959	0.809	0.596	0.252	12
9	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.997	0.986	0.908	0.755	0.412	11
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.996	0.962	0.872	0.588	10
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.987	0.943	0.748	9
12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996	0.979	0.868	8
13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.994	0.942	7
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.979	6
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	5
16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	4
17	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3
18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2
19	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0
$n = 25$											
0	0.975	0.778	0.277	0.072	0.010	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	25
1	1.000	0.974	0.642	0.271	0.063	0.027	0.007	0.001	0.000	0.000	24
2	1.000	0.998	0.873	0.537	0.189	0.098	0.032	0.004	0.000	0.000	23
3	1.000	1.000	0.966	0.764	0.382	0.234	0.096	0.015	0.002	0.000	22
4	1.000	1.000	0.993	0.902	0.594	0.421	0.214	0.046	0.009	0.000	21
5	1.000	1.000	0.999	0.967	0.772	0.617	0.378	0.112	0.029	0.002	20
6	1.000	1.000	1.000	0.991	0.891	0.780	0.561	0.222	0.074	0.007	19
7	1.000	1.000	1.000	0.998	0.955	0.891	0.727	0.370	0.154	0.022	18
8	1.000	1.000	1.000	1.000	0.984	0.953	0.851	0.538	0.274	0.054	17
9	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995	0.983	0.929	0.696	0.425	0.115	16
10	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.994	0.970	0.822	0.586	0.212	15
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.989	0.908	0.732	0.345	14
12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	0.958	0.846	0.500	13
13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.984	0.922	0.655	12
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	0.966	0.788	11
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.987	0.885	10
16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996	0.946	9
17	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.978	8
18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993	7
19	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	6
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	5
21	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4
22	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3
23	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2
24	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
25	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0
q	0.999	0.99	0.95	0.9	5/6	0.8	0.75	2/3	0.6	0.5	q

19 Mechanik

19.1 Kinematik

Geradlinige Bewegung

Gleichförmige Bewegung $s = s_0 + vt$
(konstante
Geschwindigkeit)

s Weg (Koordinate)
 s_0 Wert von s zum Zeitpunkt
 $t = 0$
 v Geschwindigkeit
 t Zeit
(vgl. 14: Lineare Funktion)

Gleichmässig beschleunigte Bewegung $s = s_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$
(konstante
Beschleunigung) $v = v_0 + at$
 $v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0)$ ①

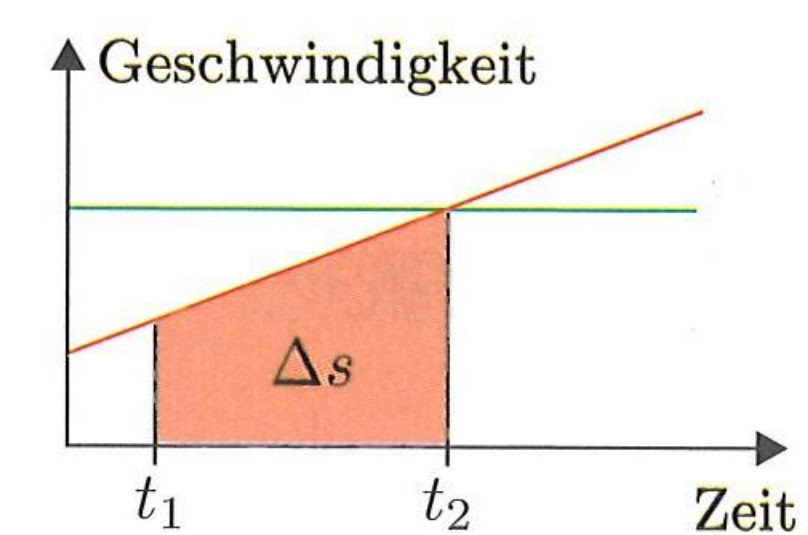
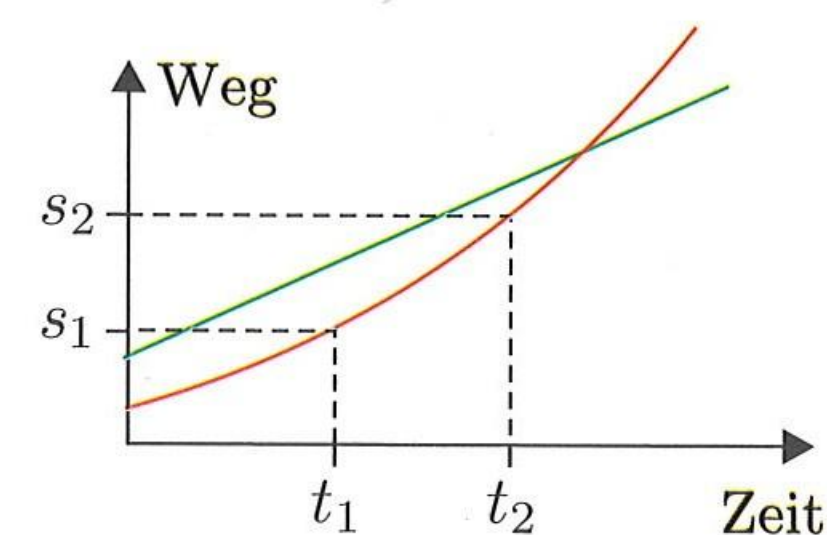
v Momentangeschwindigkeit
 v_0 Anfangsgeschwindigkeit,
Wert von v zum Zeitpunkt
 $t = 0$
 a Beschleunigung
(vgl. 15: Quadratische Funktion)

Mittlere Geschwindigkeit $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$ ②

s_1 Weg (Koordinate) zum
Zeitpunkt t_1
 s_2 Weg (Koordinate) zum
Zeitpunkt t_2
 Δs Wegstrecke
 Δt Zeitspanne
(vgl. 14: Lineare Funktion)

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

Darstellung
in Diagrammen
gleichförmig
gleichmässig be-
schleunigt



Zusammenhänge

Die Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt (Momentangeschwindigkeit) entspricht der Steigung des Graphen im Weg-Zeit-Diagramm zu diesem Zeitpunkt.
(vgl. 55: Differentialquotient;
vgl. 61: Bewegungsprobleme)

Die in der Zeitspanne Δt zurückgelegte Wegstrecke Δs entspricht dem Flächeninhalt der markierten Fläche im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm.
(vgl. 58: Bestimmtes Integral;
vgl. 61: Bewegungsprobleme)

① „Zeitlose Formel“

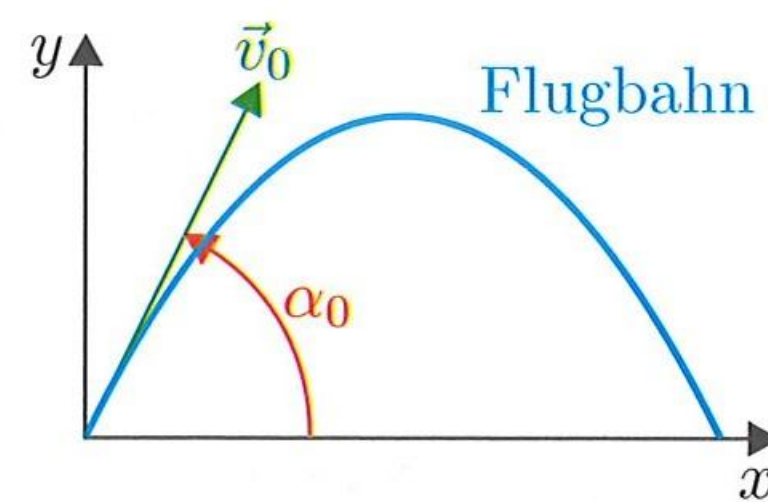
② Für gleichförmig beschleunigte Bewegungen mit Anfangsgeschwindigkeit v_0 und Endgeschwindigkeit v_E gilt

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_E}{2}$$

und es gilt stets $s = \bar{v} \cdot \Delta t$. Die mittlere Geschwindigkeit wird in der Hälfte der Zeit erreicht, d.h. $\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}a \cdot \Delta t$. Für v_E gilt $v_E = v_0 + a \cdot \Delta t$.

Schiefer Wurf

1



Die Flugbahn ist eine Parabel.

~~$$x = v_0 t \cos \alpha_0$$

$$y = v_0 t \sin \alpha_0 - \frac{1}{2} g t^2$$~~

- x waagerechte Wegkoordinate
- y senkrechte Wegkoordinate
- t Zeit
- v_0 Betrag der Anfangsgeschwindigkeit
- α_0 Abwurfwinkel
- g Fallbeschleunigung, Erde: $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$

Gleichförmige Kreisbewegung

Winkelkoordinate (im Bogenmass) (vgl. 23: Bogenmass des Winkels)

$$\varphi = \frac{b}{r}$$

- b Bogenlänge
- r Kreisradius

Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

$\Delta\varphi$ Drehwinkel (im Bogenmass), der in der Zeitspanne Δt überstrichen wird

Bahngeschwindigkeit

$$v = \omega r$$

Periode, Umlaufzeit

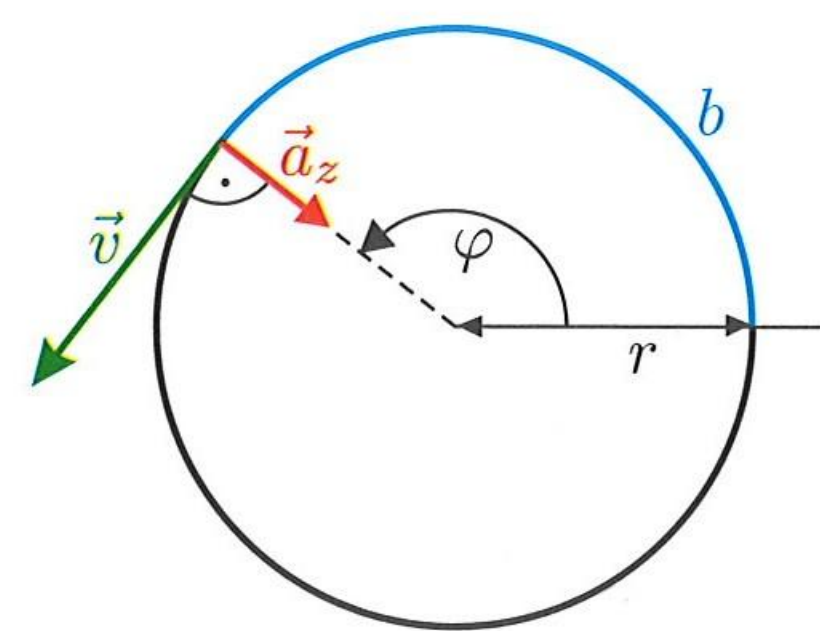
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

Frequenz, Drehzahl

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Zentripetalbeschleunigung (zum Zentrum der Kreisbewegung gerichtet) (vgl. 84: Zentripetalkraft)

$$a_z = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$



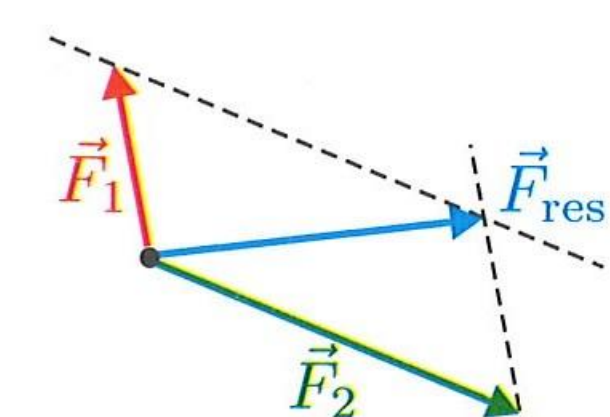
19.2 Dynamik

Resultierende Kraft

$$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

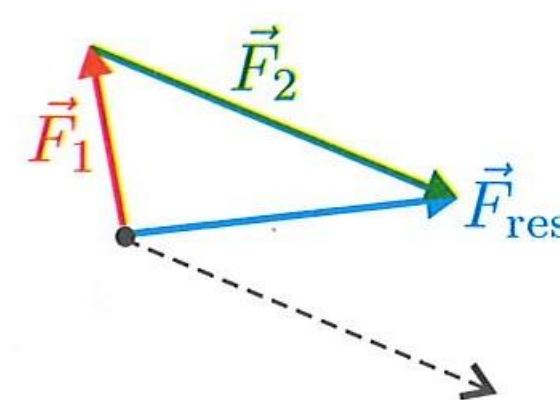
$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$ Kräfte, die am gleichen Körper angreifen (vgl. 33, 8.1)

Beispiel für zwei Kräfte



Kräfteparallelogramm konstruieren

oder



Kraftvektoren aneinander hängen

82

1 Der schiefe Wurf ist nicht mehr im Stoffplan. Das Thema kann im Kontext von Energieerhaltung jedoch immer noch auftauchen.

Newtonsche Axiome

Trägheitsprinzip (I. Axiom)

Ein Körper, auf den keine Kraft wirkt, behält Betrag und Richtung seiner Geschwindigkeit bei.

$$\vec{v} = \text{konst.}, \quad \text{wenn } \vec{F}_{\text{res}} = \vec{0}$$

\vec{v} Geschwindigkeit
 \vec{F}_{res} resultierende Kraft

Aktionsprinzip (II. Axiom)

Die Änderung des Bewegungszustandes ist proportional zur wirkenden Kraft und erfolgt in der Richtung, in der die Kraft wirkt.

$$\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$$

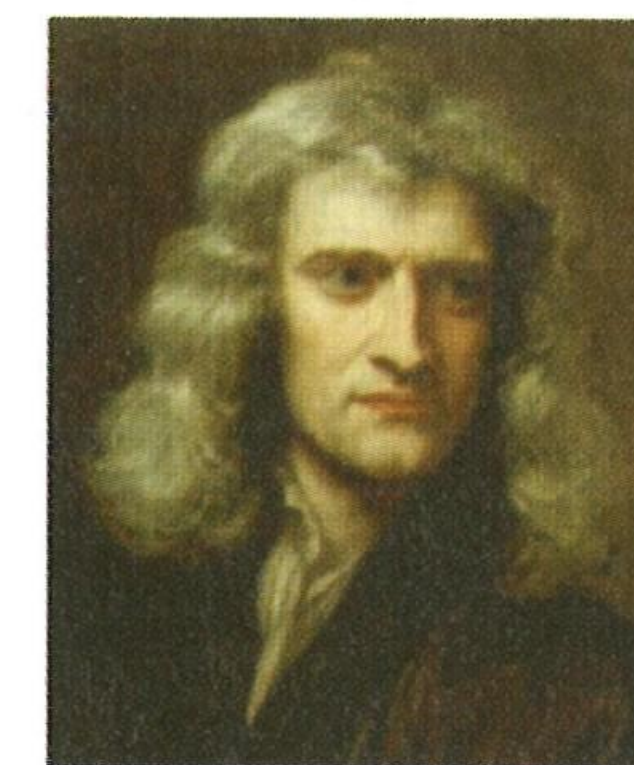
\vec{F}_{res} resultierende Kraft
 m Masse
 \vec{a} Beschleunigung

Wechselwirkungsprinzip, "Actio = Reactio" (III. Axiom)

Wirkt ein Körper 1 auf einen Körper 2 mit der Kraft \vec{F}_{21} ein, so wirkt stets der Körper 2 auf den Körper 1 mit einer gleich grossen, entgegengesetzten Kraft \vec{F}_{12} ein.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Isaac Newton (1643–1727)



Spezielle Kräfte

Gewichtskraft (Gewicht)

$$F_G = mg$$

g Fallbeschleunigung, Ortsfaktor
Erde: $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.81 \text{ N/kg}$

Federkraft (Hookesches Gesetz)

$$F_F = D y$$

D Federkonstante
 y Längenänderung, Längenunterschied zwischen gespannter und ungespannter Feder

Normalkraft

Die Kraft, mit der zwei Körper senkrecht zur Berührungsfläche aufeinander einwirken, heisst Normalkraft F_N .

Gleitreibungskraft

$$F_R = \mu_G \cdot F_N$$

μ_G Gleitreibungszahl (vgl. 101, 24.1)

Haftreibungskraft

$$F_R \leq \mu_H \cdot F_N$$

μ_H Haftreibungszahl (vgl. 101, 24.1)

Auftriebskraft

(vgl. 88: Auftriebskraft)

Gravitationskraft

(vgl. 86: Gravitationsgesetz)

Coulombkraft

(vgl. 95: Coulombsches Kraftgesetz)

Lorentzkraft

(vgl. 98: Lorentzkraft)

83

2 Die Gleitreibungskraft oder kurz „Reibungskraft“ kommt gelegentlich im Kontext von Energieerhaltung vor. Es handelt sich dann ganz einfach um eine Kraft, die eine Bewegung abbremst und das Reibungsgesetz muss häufig nicht angewendet werden.

Gleichförmige Kreisbewegung

Zentripetalkraft $F_Z = ma_z = mr\omega^2 = \frac{mv^2}{r}$

r Bahnradius
 ω Winkelgeschwindigkeit
 v Bahngeschwindigkeit
 a_z Zentripetalbeschleunigung
 (vgl. 82: Zentripetalbeschleunigung)

Impuls

Impuls $\vec{p} = m\vec{v}$

m Masse
 \vec{v} Geschwindigkeit

Kraftstoss $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ **1**

\vec{F} konstante Kraft
 Δt Zeitspanne
 $\Delta\vec{p}$ Impulsänderung

Impulserhaltungssatz

Der Gesamtimpuls \vec{p}_{tot} in einem abgeschlossenen System hat einen konstanten Betrag und eine konstante Richtung. Er wird von Vorgängen im System nicht beeinflusst.

$$\vec{p}_{\text{tot}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n \quad \vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots \text{ Einzelimpulse}$$

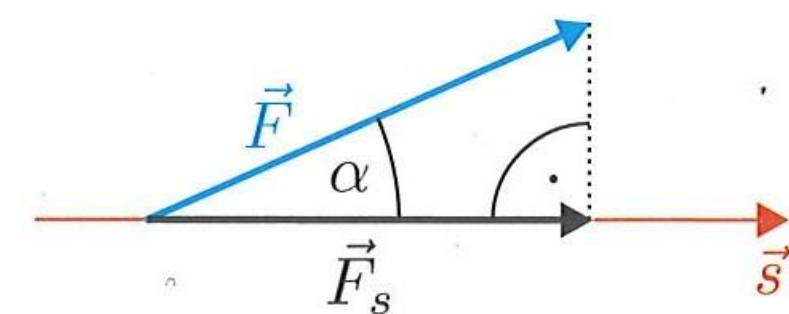
$$= \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{konst.} \quad \mathbf{2}$$

Arbeit

Arbeit (konstante Kraft) $W = F_s \cdot s$ **3**

F_s Kraft in Wegrichtung
 s Wegstrecke

$$F_s = F \cos \alpha$$



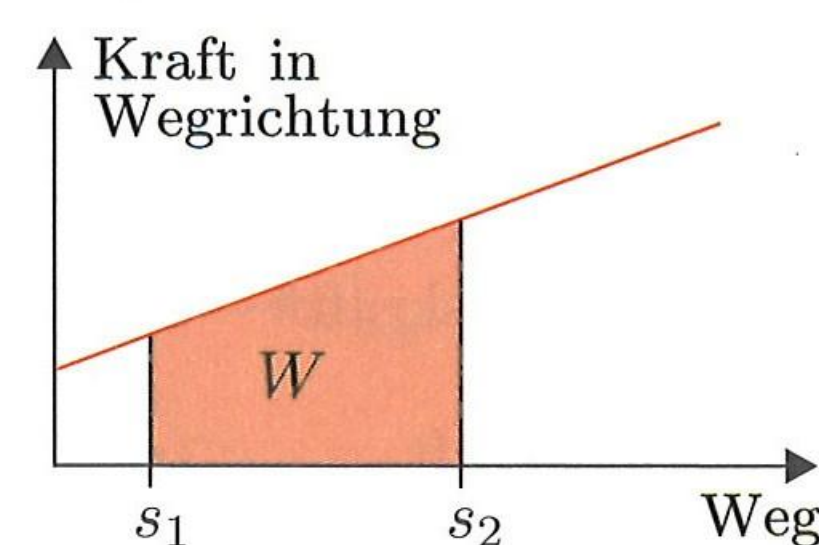
Arbeit (Skalarprodukt)

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

(vgl. 46: Skalarprodukt)

Arbeit (Kraft-Weg-Diagramm)

Wird die Kraft in Wegrichtung F_s in einem Diagramm als Funktion des Weges aufgetragen, so entspricht die zwischen den Wegkoordinaten s_1 und s_2 verrichtete Arbeit W der markierten Fläche.



(vgl. 58: Bestimmtes Integral)

84

- 1** Der „Kraftstoss“ ist nicht im Stoffplan. Es handelt sich jedoch um eine nützliche Grösse: Die Impulsänderung ist gleich dem Produkt aus Kraft und der Dauer ihrer Einwirkung.
- 2** Bei der Impulserhaltung ist zu beachten, dass der Impuls eine Vektorgrösse ist. Die Richtung kann meist mithilfe von Vorzeichen berücksichtigt werden, z.B. Impulse nach rechts sind positiv und Impulse nach links sind negativ.
- 3** Die einfache Definition von Arbeit als Arbeit = Kraft · Weg gilt nur dann, wenn Kraft und Weg kollinear sind. Für die Arbeit „wirksam“ ist nur die Kraftkomponente in Wegrichtung. Insbesondere wird keine Arbeit verrichtet, wenn Kraft und Weg lotrecht stehen.

Mechanische Energie

Energie

Die Energie ist eine Zustandsgrösse eines Systems, die zunimmt, wenn von aussen Arbeit am System verrichtet wird, und die abnimmt, wenn das System nach aussen Arbeit verrichtet.

$$\Delta E = W$$

ΔE Energieänderung
 W Arbeit

Kinetische Energie/ Bewegungsenergie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$

m Masse
 v Geschwindigkeit

Potentielle Energie/ Lageenergie $E_{\text{pot}} = mgh$

g Fallbeschleunigung, Ortsfaktor
 Erde: $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$
 h Höhe über Bezugsniveau

Energie einer gespannten Feder $E_F = \frac{1}{2}Dy^2$

D Federkonstante
 y Längenänderung
 (vgl. 83: Federkraft)

Energieerhaltungssatz

Die Gesamtenergie E_{tot} in einem abgeschlossenen System hat einen konstanten Wert, der von Vorgängen im System nicht beeinflusst wird.

$$E_{\text{tot}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad E_1, E_2, \dots \text{ Einzelenergien}$$

$$= \sum_{i=1}^n E_i = \text{konst.}$$

Leistung

Mittlere Leistung $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$

ΔW Arbeit, die in der Zeitspanne Δt verrichtet wird

Wirkungsgrad $\eta = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{auf}}}$

ΔE_{nutz} abgegebene Nutzenergie
 ΔE_{auf} aufgenommene Energie

85

19.3 Gravitation

Gravitationsgesetz (nach Newton) $F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

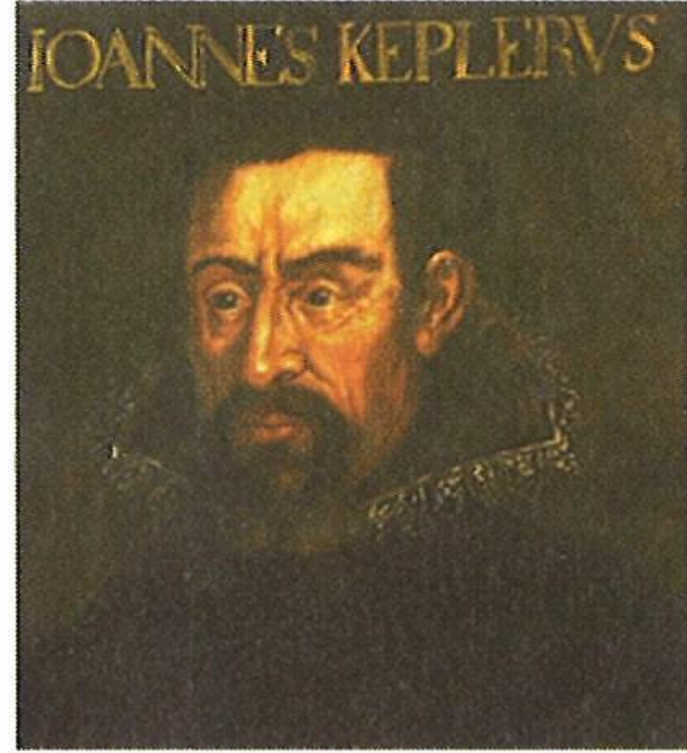
F_G Gravitationskraft
 m_1, m_2 punktförmige oder kugelsymmetrische Massen
 r Abstand der Massennittelpunkte
 G Gravitationskonstante ($G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

Keplersche Gesetze

I. Bahnkurve

Planeten bewegen sich auf Ellipsen. Die Sonne steht in einem Brennpunkt der Ellipse.

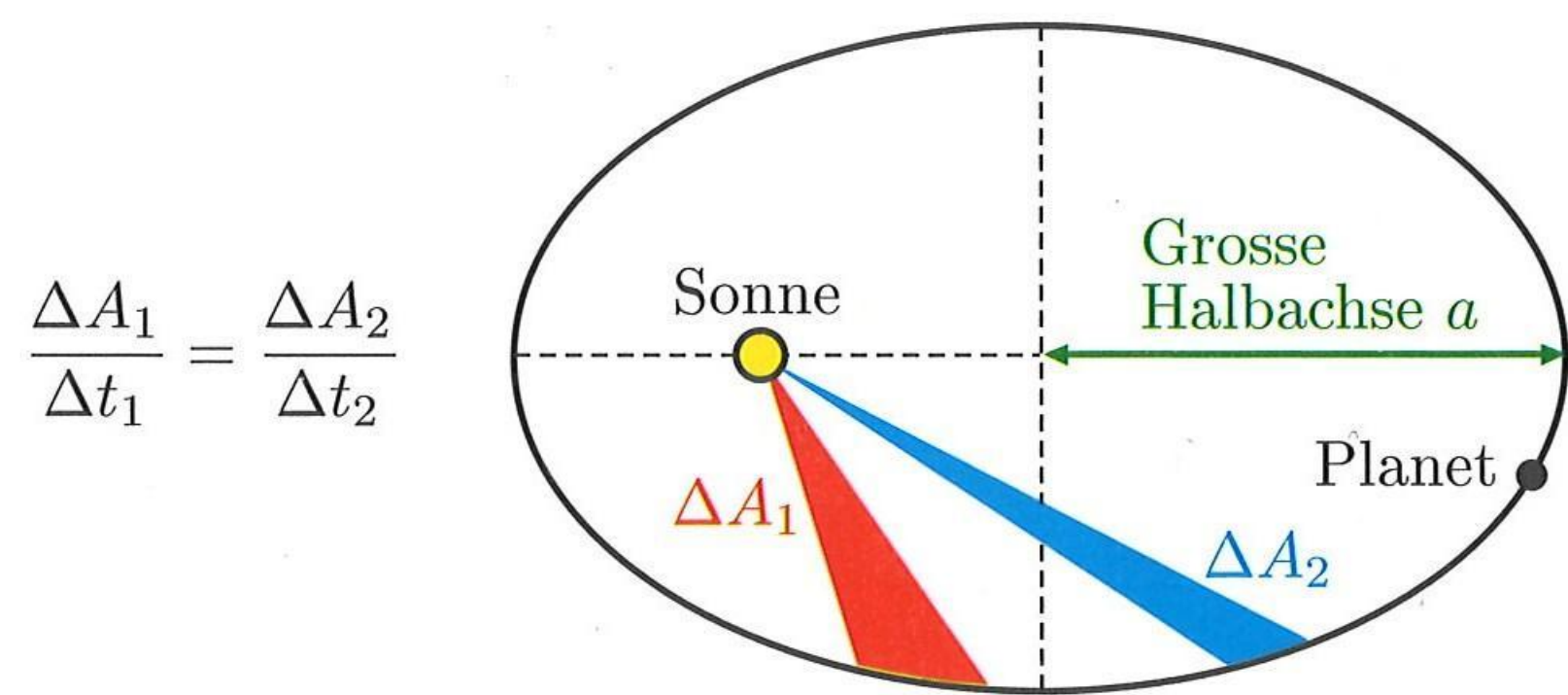
(vgl. 43: Ellipse)



Johannes Kepler (1571–1630)

II. Flächensatz

Die Verbindungslinie zwischen Sonne und Planet überstreicht in gleichen Zeitintervallen Δt gleiche Flächeninhalte ΔA .



$$\frac{\Delta A_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta A_2}{\Delta t_2}$$

III. Verhältnis der Umlaufzeiten

Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer grossen Halbachsen (bzw. Radien bei Kreisbahnen)

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad \text{oder} \quad \frac{a^3}{T^2} = \text{konst.}$$

↑
①

T Umlaufzeit
 a grosse Halbachse (vgl. 109, 30.3)
 (vgl. 16: Potenzgesetze)

① Bei kreisförmigen Bahnen wird anstelle der grossen Halbachse a der Bahnradius r verwendet.

19.4 Statik

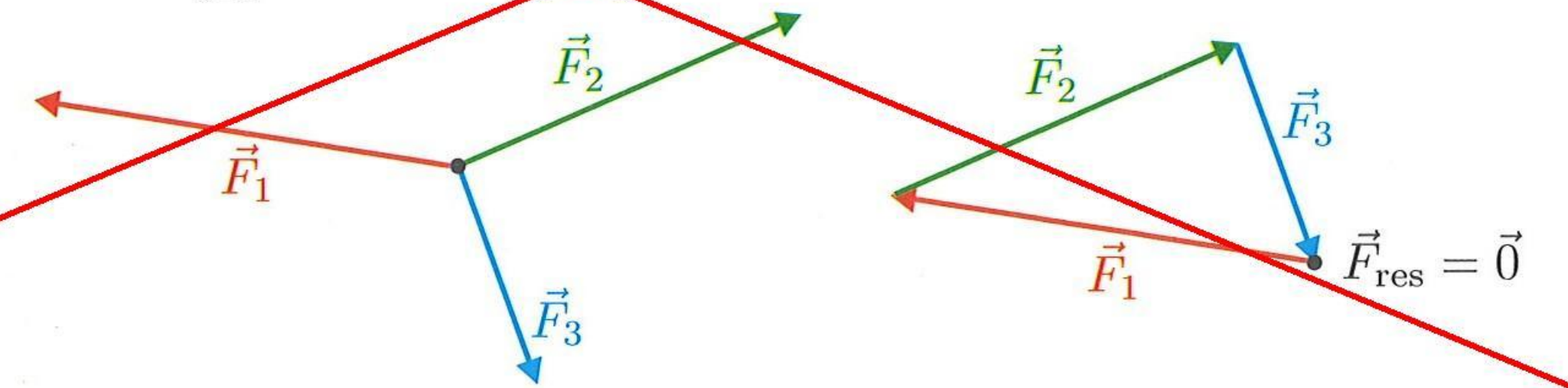
Gleichgewicht

Kräftegleichgewicht

Mehrere Kräfte, die an einem Punkt angreifen, sind im Gleichgewicht, wenn die resultierende Kraft \vec{F}_{res} null ist.

$$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad \vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots \text{ Einzelkräfte (vgl. 33: Vektoren)}$$

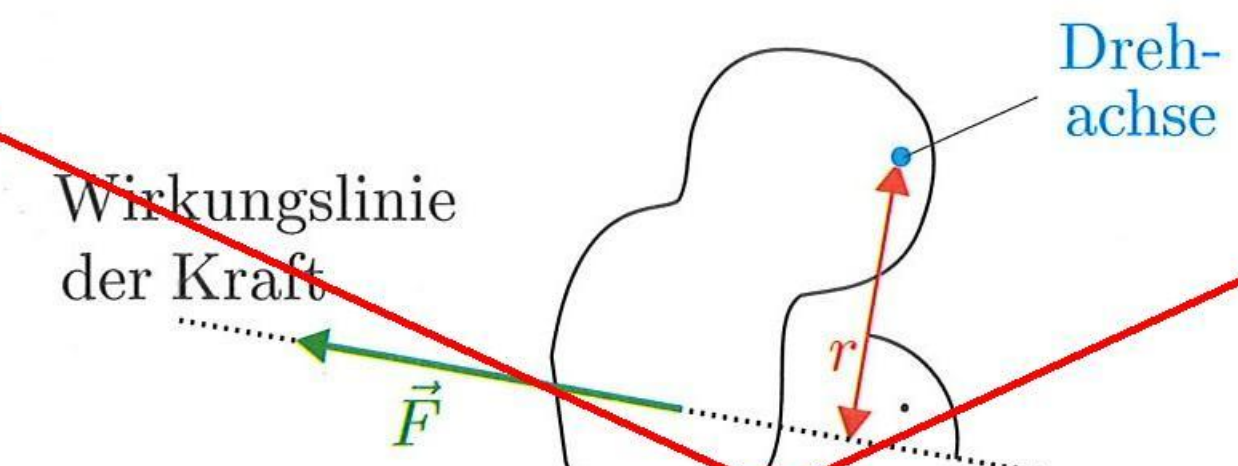
$$= \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0}$$



Drehmoment (Betrag)

$$M = Fr$$

F Kraft (\perp zur Drehachse)
 r Kraftarm. Abstand der Drehachse von der Wirkungslinie der Kraft



Drehmomentgleichgewicht (starre Achse)

Mehrere Drehmomente im Gegenuhrzeigersinn (positives Vorzeichen) und im Uhrzeigersinn (negatives Vorzeichen) sind im Gleichgewicht, wenn das Gesamtdrehmoment M_{tot} null ist.

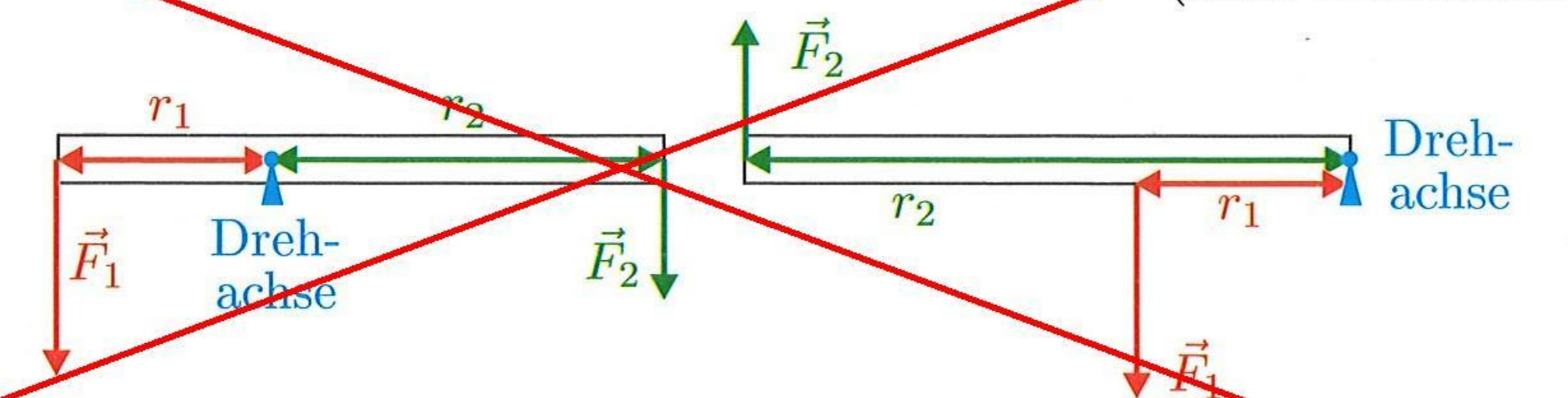
$$M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 + \dots + M_n \quad M_1, M_2, \dots \text{ Einzeldrehmomente}$$

$$= \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Hebelgesetz (Spezialfall des Drehmomentgleichgewichts)

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$F_{1,2}$ Kräfte (\perp zur Drehachse)
 $r_{1,2}$ Kraftarme (siehe Drehmoment)



Zweiseitiger Hebel

Einseitiger Hebel

Hydrostatik

Dichte (vgl. 101, 24.2)	$\rho = \frac{m}{V}$	m Masse V Volumen
Druck	$p = \frac{F}{A}$	F Kraft (\perp zur Fläche) A Fläche ρ Dichte der Flüssigkeit
Schweredruck/ Hydrostatischer Druck	$p = \rho gh$	g Fallbeschleunigung, Ortsfaktor Erde: $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ h Tiefe, Abstand von der Oberfläche, Höhe der Flüssigkeitssäule
Auftriebskraft/ Auftrieb	$F_A = \rho g V_E$	V_E eingetauchtes Volumen, Volumen der verdrängten Flüssigkeit

①

②

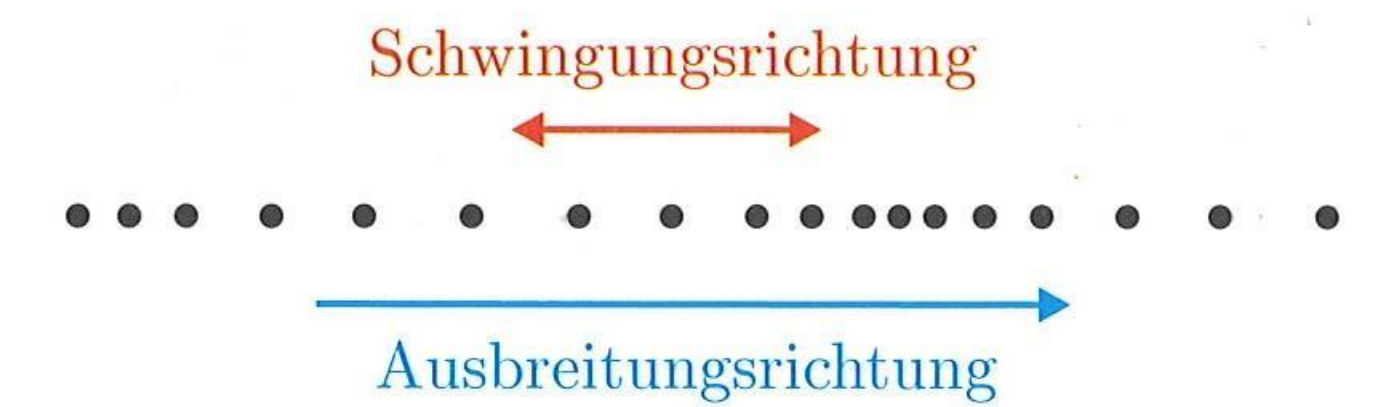
19.5 Schwingungen und Wellen

Harmonische Schwingungen (vgl. 29, 6.5)		
Frequenz	$f = \frac{1}{T}$	T Periode, Schwingungsdauer
Kreisfrequenz	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	
Elongation/ Momentane Auslenkung	$y = \hat{y} \cdot \sin(\omega t - \varphi_0)$	\hat{y} Amplitude t Zeit φ_0 Nullphase $\omega t - \varphi_0$ Phase
Kraftgesetz	$\vec{F} = -k\vec{y}$	k Richtgrösse (z. B. für Feder $k = D$)
Schwingungsdauer	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	m Masse
Mathematisches Pendel (masseloser Faden, Punktmasse, Näherung für kleine Amplituden)	$T \approx 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	l Fadenlänge g Fallbeschleunigung, Ortsfaktor Erde: $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$

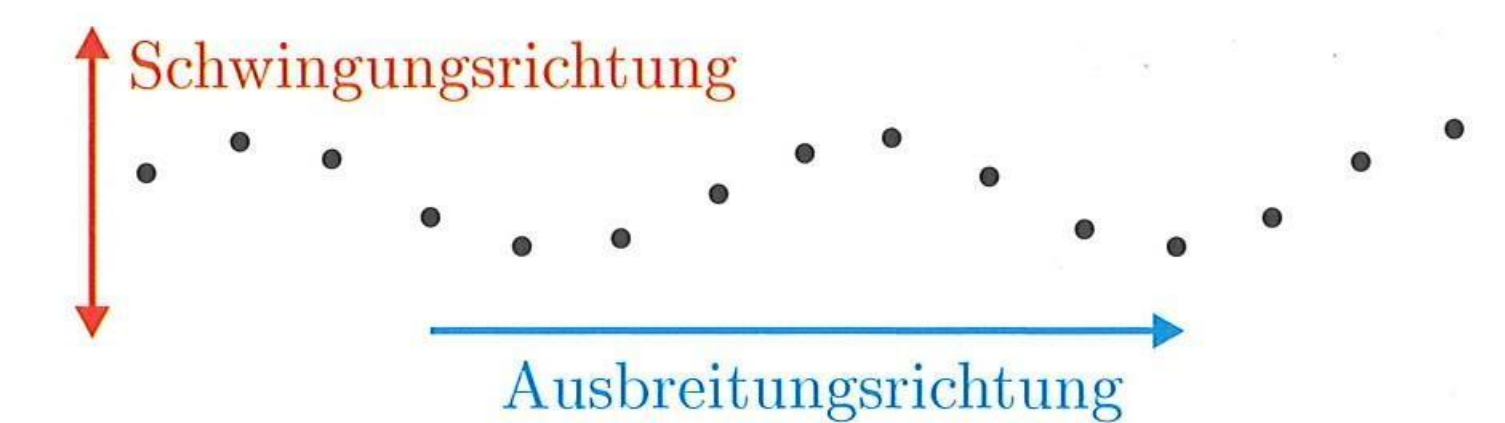
88

Wellen

Longitudinalwelle
(Bei einer Longitudinalwelle erfolgt die Elongation der Schwinger und die Ausbreitungsrichtung der Wellen auf einer Linie)



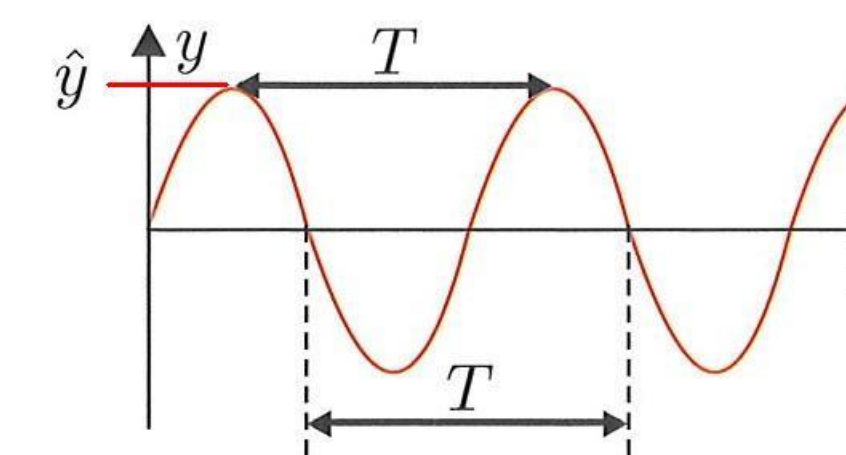
Transversalwelle
(Bei einer Transversalwelle stehen die Elongation der Schwinger und die Ausbreitungsrichtung der Welle senkrecht zueinander)



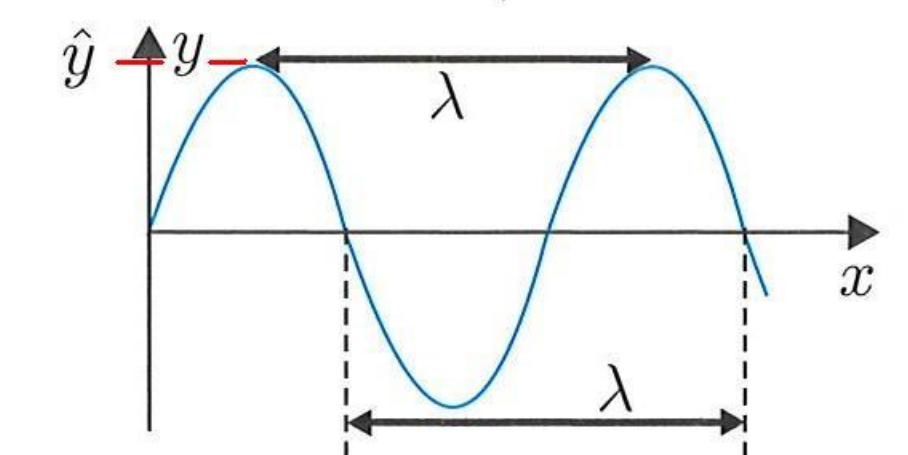
Wellenlänge	$\lambda = \frac{c}{f}$	c Ausbreitungsgeschwindigkeit f Frequenz
Wellenzahl	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$	
Sinuswelle	 $y(x, t) = \hat{y} \cdot \sin\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$ $y(x, t) = \hat{y} \cdot \sin(\omega t - kx)$ $y(x, t) = \hat{y} \cdot \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$ 	y Elongation \hat{y} Amplitude x Ortskoordinate t Zeit T Periode, Schwingungsdauer ω Kreisfrequenz

Graphische Darstellung
Elongation eines Oszillators als Funktion der Zeit t .

①



Momentaufnahme einer Welle,
Elongation als Funktion der Ortskoordinate x .



Dopplereffekt (klassisch)	$f_B = f_S \cdot \frac{c \pm v_B}{c \mp v_S}$ Oberes Vorzeichen für Annäherung	f_B beobachtete Frequenz f_S Senderfrequenz v_B Geschwindigkeit des Beobachters v_S Geschwindigkeit des Senders
------------------------------	---	--

89

① Zwei Darstellungen von Wellen, einmal als „Schnappschuss“ und das andere Mal als Weg-Zeit-Diagramm eines einzelnen schwingenden Punkts im Ausbreitungsmedium.

① Merke, wenn ein Körper im Wasser schwimmt oder schwebt, verdrängt er so viele Kilogramm Wasser wie er selbst wiegt.

② Diese Formel nicht streichen!

20 Wärmelehre

Temperatur

1

Die Temperatur ist ein Mass für den Wärmezustand eines Systems. Sie wird durch die mittlere Bewegungsenergie der Teilchen bestimmt.

Celsius-Temperatur	ϑ (in °C) = $T - T_n$ (in K)	T_n Normtemperatur
Absolute Temperatur	T (in K) = $\vartheta + 273.15$ (in °C)	$T_n = 273.15$ K
Temperaturdifferenz	$\Delta\vartheta = \Delta T$ (gleiche Skalenteilung)	
Längenänderung (Festkörper)	$\Delta l \approx \alpha l \Delta T$	α Längenausdehnungskoeffizient (vgl. 102, 25.1)
Volumenänderung (Festkörper)	$\Delta V \approx 3\alpha V \Delta T$	ΔT kleine Temperaturänderung
Volumenänderung (Flüssigkeiten)	$\Delta V \approx \gamma V \Delta T$	γ Volumenausdehnungskoeffizient (vgl. 102, 25.1)

Ideales Gas

In einem idealen Gas fliegen die Teilchen ohne gegenseitige Wechselwirkungen und ohne Eigenvolumen umher. Die Stösse gegen Hindernisse erfolgen vollkommen elastisch.

Zustandsgleichung	$pV = NkT = nRT$	p Druck
Boltzmann-Konstante	$k = \frac{R}{N_A}$ (vgl. Umschlag, 33)	V Volumen
Stoffmenge in Mol	$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$	N Teilchenzahl in V
Molare Masse (vgl. 110, 31.1)	$M = N_A m_T$	R universelle Gaskonstante (vgl. Umschlag, 33)
		m Gasmasse
		m_T Masse eines Teilchens
		N_A Avogadro-Konstante (vgl. Umschlag, 33)

Gesetze speziell für konstante Gasmengen

von Boyle-Mariotte	$pV = konst.$ bei konstanter Temperatur (isotherm)	
von Gay-Lussac	$\frac{V}{T} = konst.$ bei konstantem Druck (isobar)	
von Amontons	$\frac{p}{T} = konst.$ bei konstantem Volumen (isochor)	
Teilchenbewegung	$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m_T \overline{v^2}$	$\overline{E_k}$ Mittlere Bewegungsenergie eines Teilchens
Gasdruck	$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \overline{E_k}$	k Boltzmann-Konstante (vgl. Umschlag, 33)
		$\overline{v^2}$ Mittelwert des Geschwindigkeitsquadrates

90

1 Alle Formeln, die wir verwenden, enthalten Temperaturdifferenzen ΔT , für welche eine Umrechnung nicht erforderlich ist. Weil die beiden Temperaturskalen nur gegeneinander verschoben sind, ergeben sich für Temperaturdifferenzen in beiden Temperaturskalen gleiche Zahlenwerte.

Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit gibt den gasförmigen Wassergehalt der Luft an.

Absolute Luftfeuchtigkeit	$\varphi_a = \rho_w$	ρ_w Wasserdampfdichte
Relative Feuchtigkeit	$\varphi_r = \frac{\rho_w}{\rho_s}$	ρ_s Sättigungsdampfdichte (vgl. 103, 25.5)
Taupunkt	Die Lufttemperatur ϑ in °C, bei der die vorhandene Wasserdampfdichte der Sättigungsdampfdichte entspricht, heisst Taupunkt τ . (vgl. 103, 25.5)	

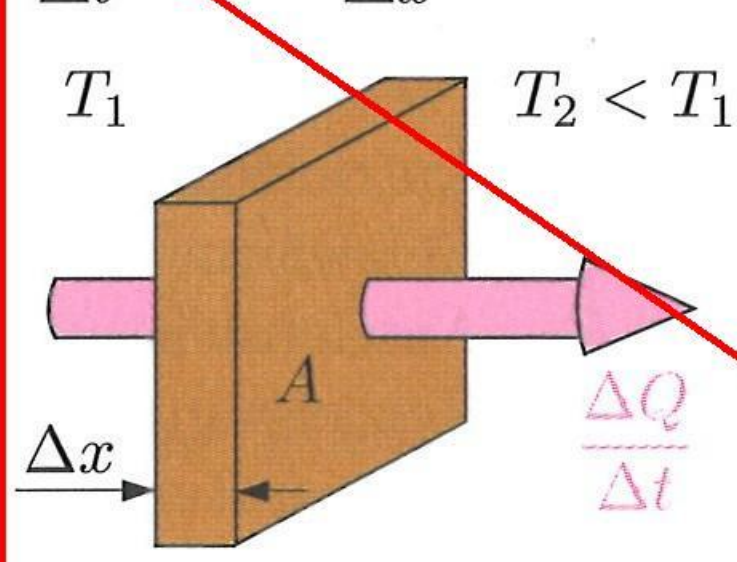
Wärme

Wärme bezeichnet die Energiemenge, die mit einer Temperaturänderung, einer Phasenänderung oder einer chemischen Reaktion verbunden ist. Sie beschreibt eine Form des Energieaustausches eines Systems mit seiner Umgebung.

Temperaturänderung	$Q = cm\Delta T = Cn\Delta T$	Q Wärme, Wärmemenge
Schmelzen bzw. Erstarren	$Q = L_f m$	c spezif. Wärmekapazität (vgl. 102, 25.1)
Verdampfen bzw. Kondensieren	$Q = L_v m$	C molare Wärmekapazität (vgl. 102, 25.1)
Verbrennung	$Q = Hm$	m Masse
		n Stoffmenge in Mol
		L_f spezif. Schmelzwärme (vgl. 102, 25.1)
		L_v spezif. Verdampfungswärme (vgl. 102, 25.1)
		H Heizwert, Brennwert (vgl. 102, 25.2)

2

Wärmetransporte

Wärmeleitung	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} A$	$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ Energie pro Zeit (Wärmestrom)
		λ Wärmeleitfähigkeit (vgl. 102, 25.1; vgl. 103, 25.3)
		Δx Schichtdicke
		ΔT Temperaturdifferenz
		A Querschnittsfläche
Konvektion	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto \Delta T \cdot A$	A von der Konvektion überstrichene Fläche
Wärmestrahlung	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \varepsilon \sigma T^4 A$	ε Emissionszahl (vgl. 103, 25.4)
		σ Stefan-Boltzmann-Konstante (vgl. Umschlag, 33)
		T Oberflächentemperatur
		A Oberfläche

2 Merke: Für den Wärm austausch zwischen zwei Körpern gilt der Energiesatz: So viel Wärme wie der warme Körper abgibt, so viel Wärme nimmt der kalte Körper auf.

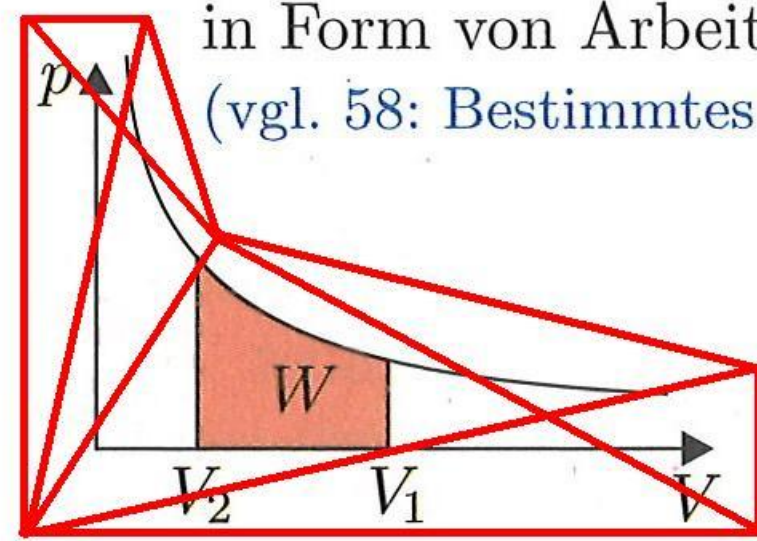
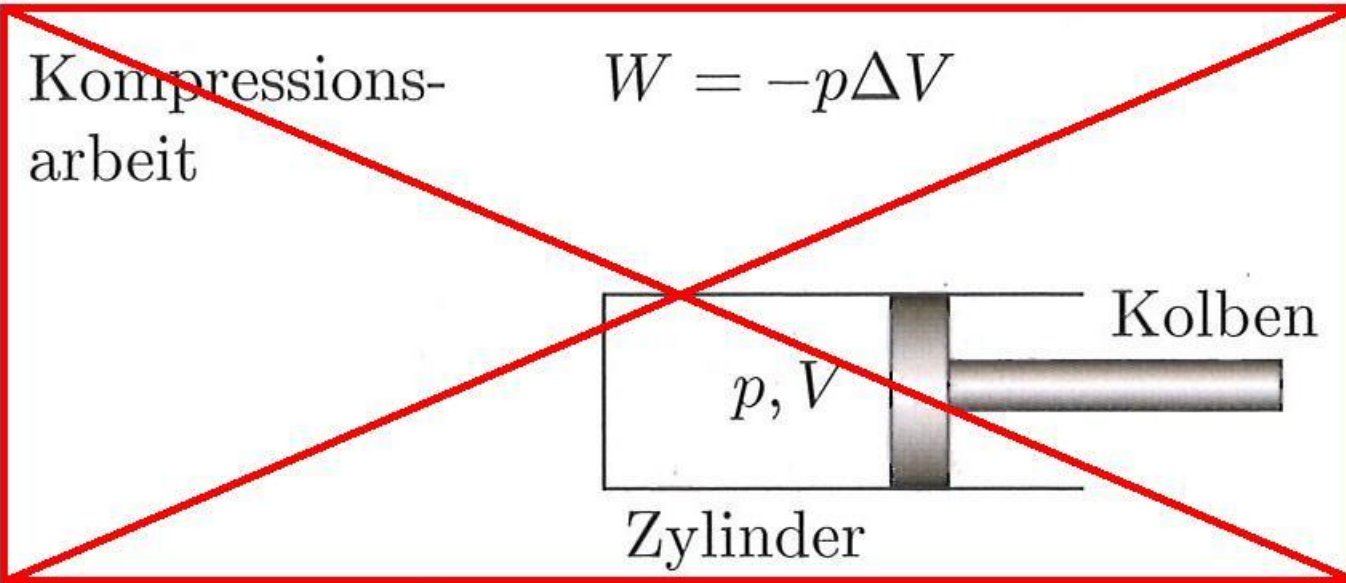
91

1. Hauptsatz
(in gleichwertigen Formulierungen)

- a. In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie konstant.
- b. Energie kann nicht erzeugt, sondern nur umgewandelt und übertragen werden.
- c. Es gibt kein Perpetuum mobile 1. Art.

1. Hauptsatz $\Delta U = Q + W$

ΔU Änderung der inneren Energie eines Systems
 Q Energieaustausch mit der Umgebung in Form von Wärme
 W Energieaustausch mit der Umgebung in Form von Arbeit (vgl. 84: Arbeit) (vgl. 58: Bestimmtes Integral)



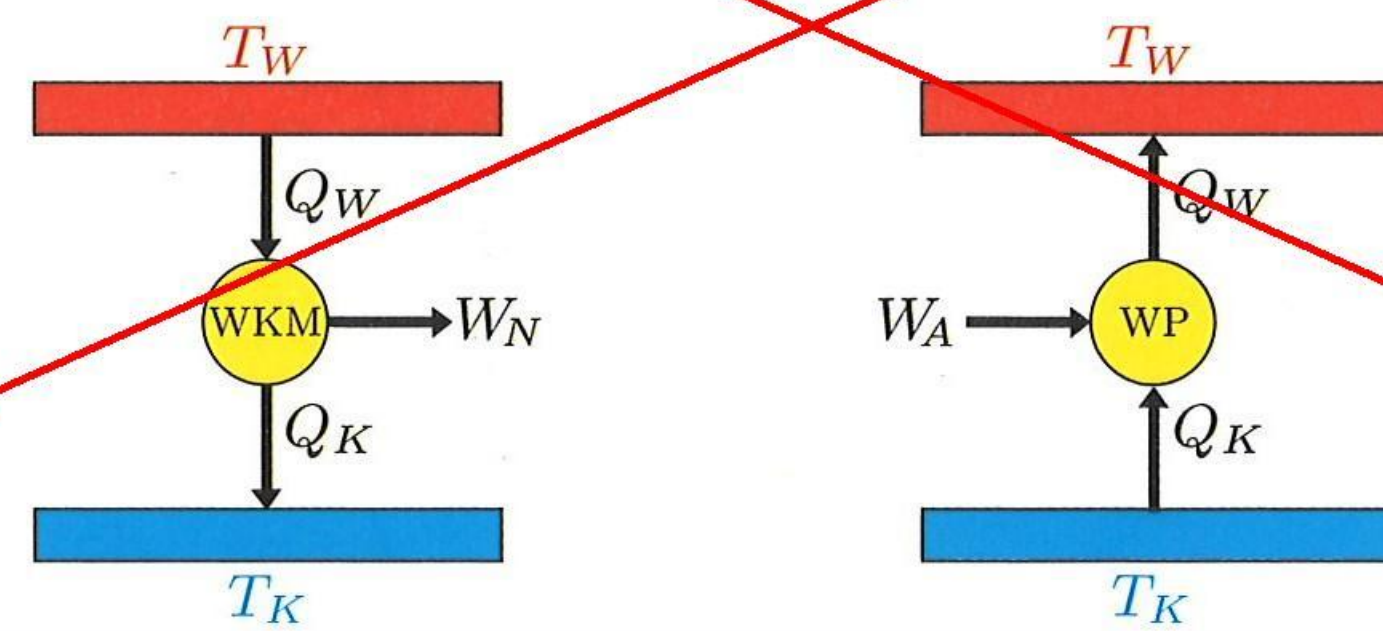
Thermodynamische Wirkungsgrade (vgl. 85: Wirkungsgrad)

Wärmeleistungsmaschinen (WKM)

Reale Maschine (Praxis) $\eta_{\text{real}} = \frac{W_N}{Q_W} = \frac{P_N}{P_W}$

Ideale Maschine (Theorie) $\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_W - T_K}{T_W}$

W_N Nutzarbeit
 Q_W Antriebswärme
 P_N Nutzleistung
 P_W Antriebsleistung
 T_W Temperatur der Antriebswärme (in K)
 T_K Temperatur der Abwärme (in K)



Wärmepumpen (WP)

Reale Maschine (Praxis) $\epsilon_{\text{real}} = \frac{Q_W - P_W}{W_A} = \frac{P_A - P_W}{P_A}$

Ideale Maschine (Theorie) $\epsilon_{\text{Carnot}} = \frac{T_W}{T_W - T_K}$

W_A Antriebsarbeit
 Q_W Heizwärme
 P_A Antriebsleistung
 P_W Heizleistung
 T_W Temperatur der Heizwärme (in K)
 T_K Temperatur der Wärmequelle (in K)

2. Hauptsatz
(in gleichwertigen Formulierungen)

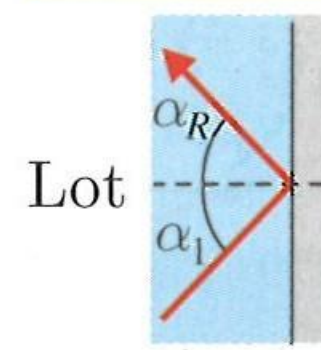
- a. Wärme strömt von selbst immer zu Orten mit tieferen Temperaturen.
- b. Keine zyklisch arbeitende Einrichtung kann Wärme vollständig in mechanische Nutzenergie umwandeln; d. h., es gibt kein Perpetuum mobile 2. Art.
- c. Abgeschlossene Systeme streben einen Zustand maximaler Unordnung bzw. grösster Wahrscheinlichkeit an (Prinzip der max. Entropie).

21 Geometrische Optik

Lichtstrahl

Ein Lichtstrahl ist ein sehr feines Lichtbündel, das sich in einem homogenen Medium geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit ausbreitet. Der Lichtweg ist umkehrbar.

Reflexion

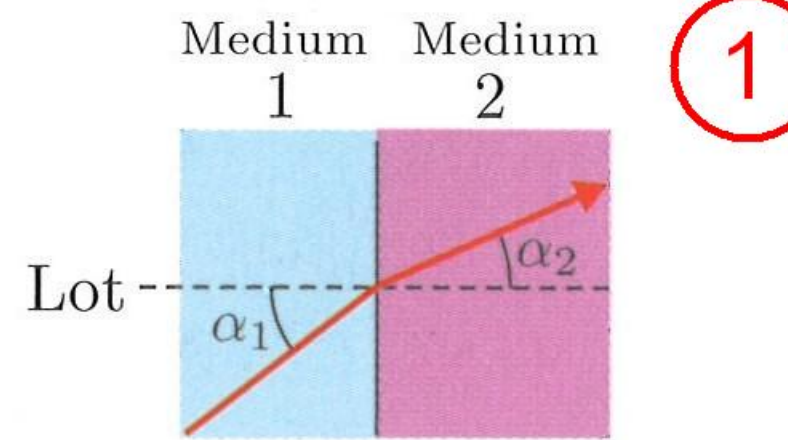


α_1 Einfallswinkel
 α_R Reflexionswinkel/
 Ausfallswinkel

Reflexionsgesetz

$\alpha_1 = \alpha_R$

Brechung
(beim Übergang vom optisch dünneren Medium 1 ins optisch dichtere Medium 2)



α_1 Einfallswinkel
 α_2 Brechungswinkel
 n_{12} Brechzahl der Medienkombination
 n_1, n_2 Brechzahlen der Medien (vgl. 103, 26.1; 26.2)
 c_1, c_2 Lichtgeschwindigkeiten in den Medien

Brechungsgesetz

$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$

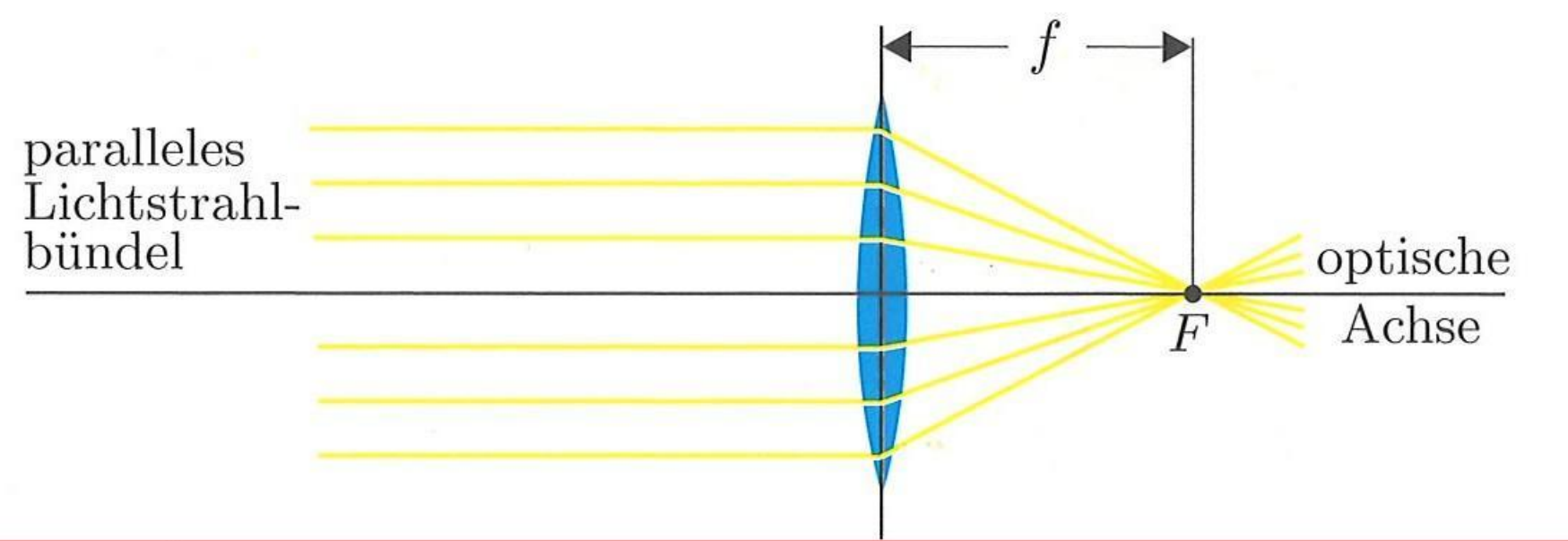
Lichtgeschwindigkeit in einem Medium

$c_M = \frac{c}{n}$

c Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (vgl. Umschlag, 33)

Linsen

Brennpunkt und Brennweite



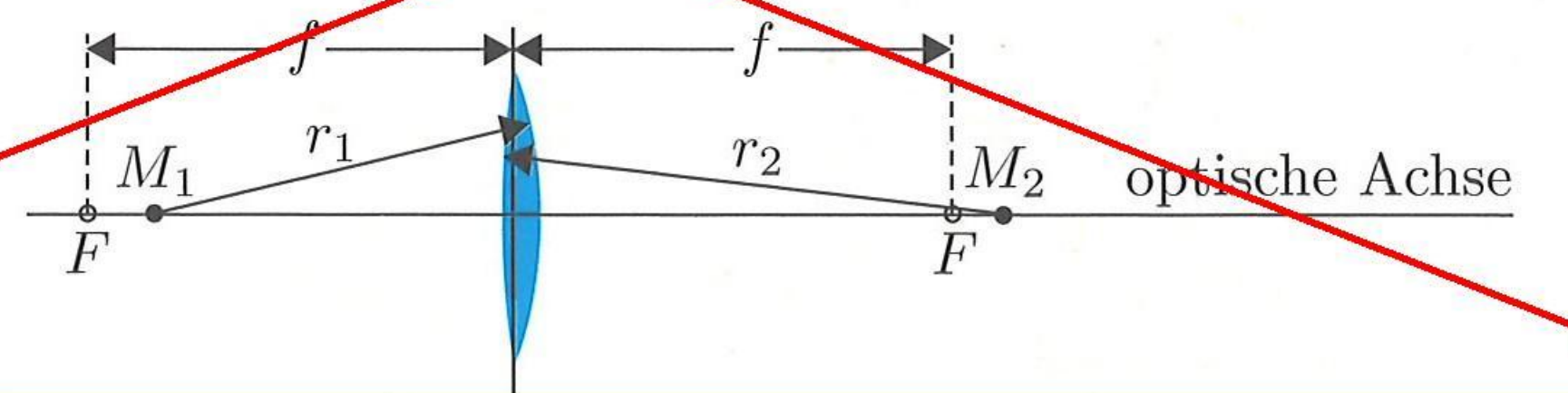
Brechkraft einer Linse $D = \frac{1}{f}$

F Brennpunkt (Fokus)
 f Brennweite

Brennweite einer dünnen Linse

$\frac{1}{f} \approx (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$

n Brechzahl des Linsenmaterials (vgl. 103, 26.1)
 r_1, r_2 Krümmungsradien der beiden Linsenflächen

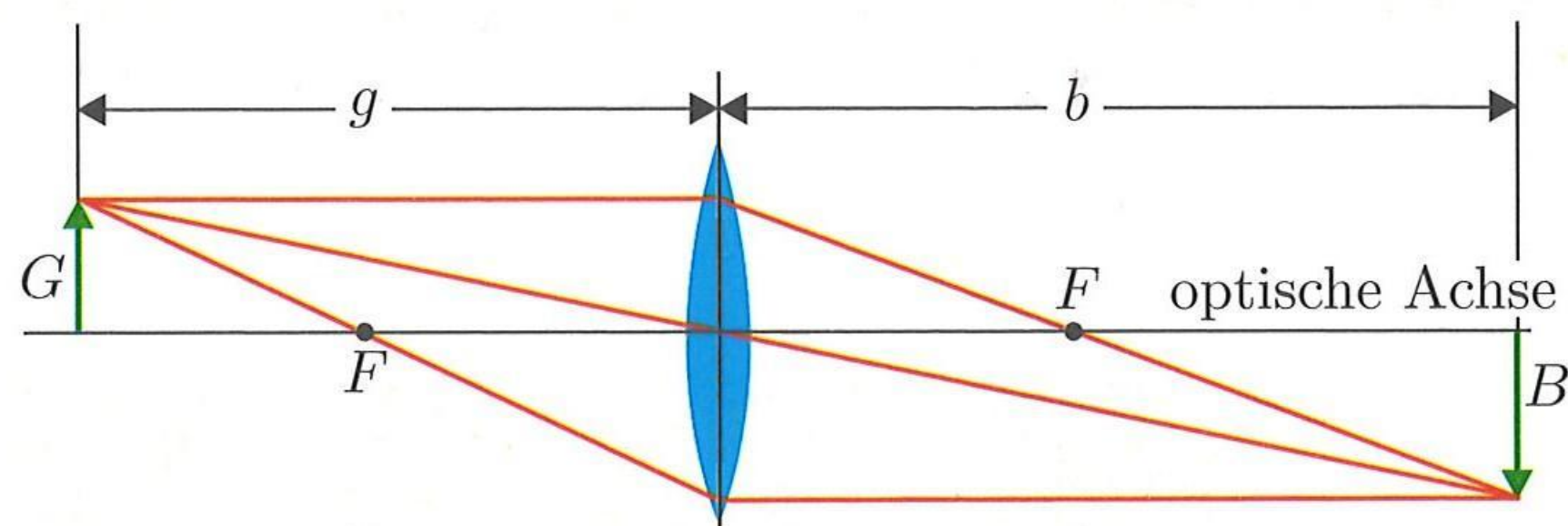


1 Bei Übergängen von einem optisch dichteren in ein dünneres Medium „funktioniert“ diese Formel für grosse Einfallswinkel nicht. Dann liegt **Totalreflexion** vor. Merke auch, dass die vom **Lot** und vom Lichtstrahl eingeschlossenen Winkel verwendet werden.

① Linsenformel $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

f Brennweite
 g Gegenstandsweite
 b Bildweite

Bildkonstruktion
 (mit Parallel-,
 Mittelpunkt- und
 Brennstrahlen)



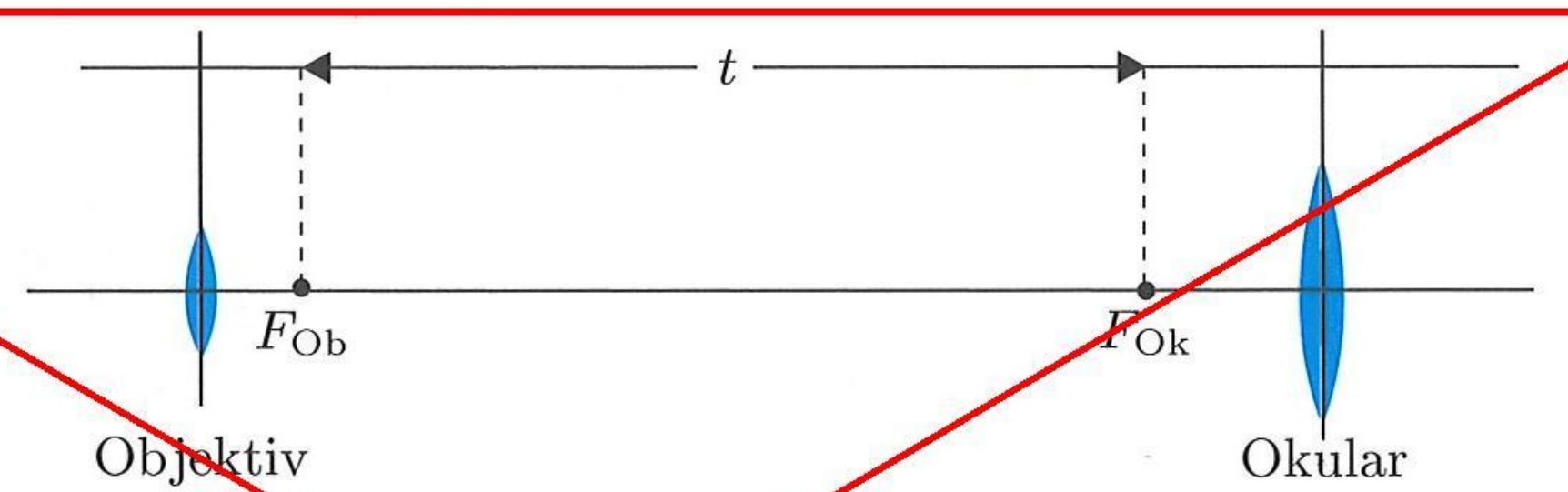
Abbildungsmaßstab $A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$
 (vgl. 24: Strahlensätze)

F Brennpunkt
 G Gegenstandsgröße
 B Bildgröße

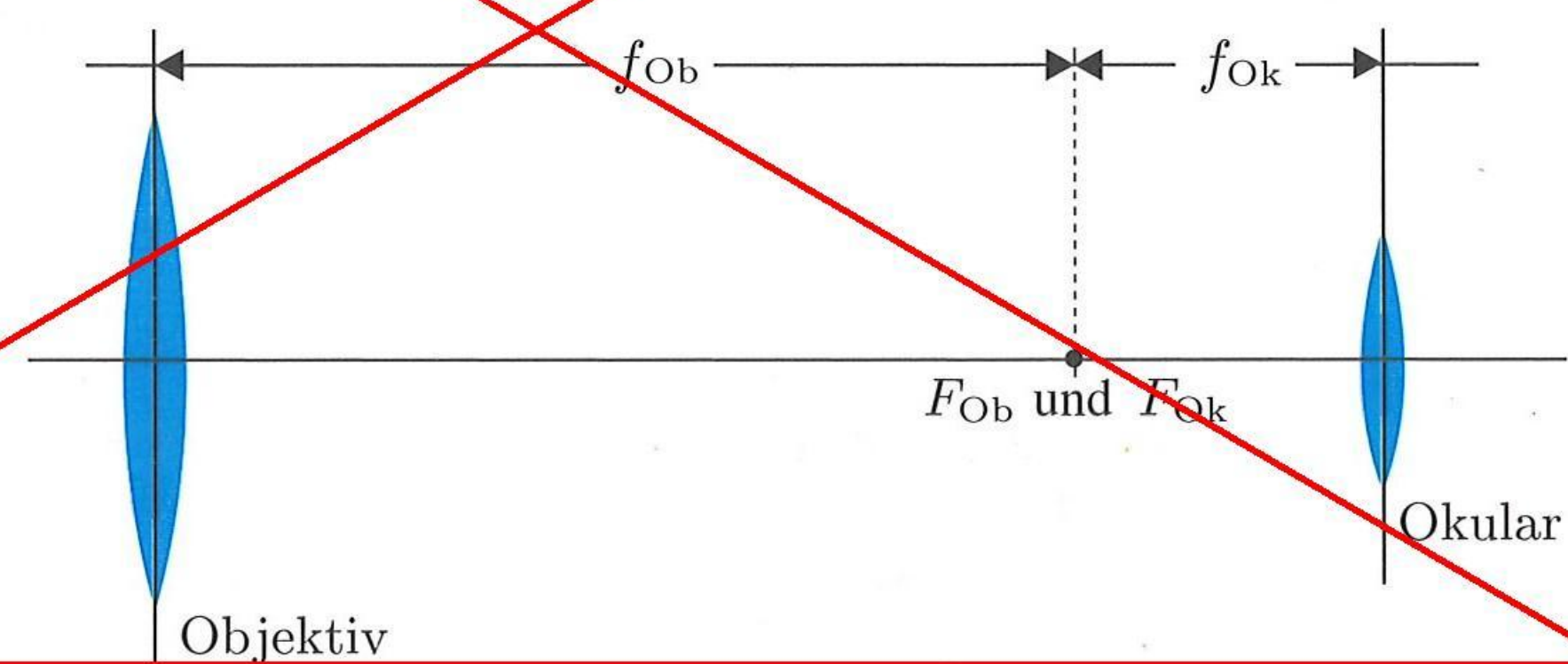
Vergößerung

Lupe	$V_L = \frac{s}{f_L}$	s deutliche Sehweite Normwert: $s = 250$ mm
Mikroskop	$V_M = \frac{t}{f_{Ob}} \cdot \frac{s}{f_{Ok}}$	f Brennweite von Lupe, Objektiv bzw. Okular
Fernrohr	$V_F = \frac{f_{Ob}}{f_{Ok}}$	t Tubuslänge: Abstand der einander zugekehrten Brennpunkte von Objektiv und Okular

Mikroskopaufbau



Linsenfernrohr



22 Elektrizitätslehre

22.1 Elektrostatik

Ladungserhaltungssatz $Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$ Q_1, Q_2, \dots Einzelladungen
 $Q_{tot} = \sum_{i=1}^n Q_i = konst.$ Q_{tot} Gesamtladung im abgeschlossenen System

Kräfte zwischen Ladungen

Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab.
 Ungleichnamige Ladungen ziehen einander an.

Coulombsches Kraftgesetz (für Punktladungen)

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

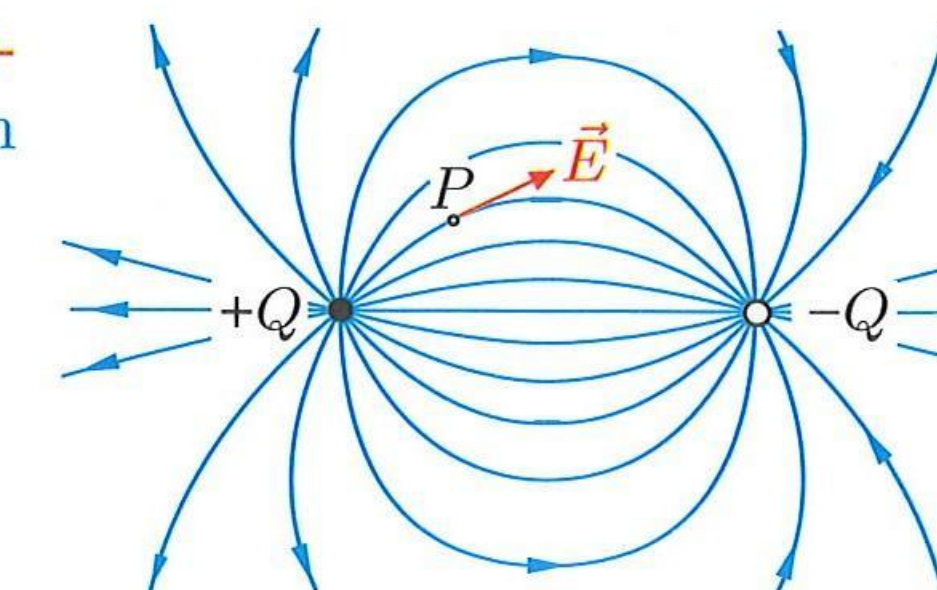
F_C Coulombkraft
 Q_1, Q_2 Punktladungen
 r Abstand zwischen den Punktladungen
 ϵ_0 Elektrische Feldkonstante
 $\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ CV}^{-1}\text{m}^{-1}$
 ϵ_r Dielektrizitätszahl
 (vgl. 104, 27.2)

Elektrische Feldstärke

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

q Probeladung
 \vec{F} Kraft, die auf die Probeladung wirkt

Ein elektrisches Feld kann durch **Feldstärkevektoren** \vec{E} oder durch **Feldlinien** dargestellt werden.



Spannung

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

W_{AB} Arbeit des elektrischen Feldes zum Verschieben der Probeladung q von Punkt A nach Punkt B.

Spannung im homogenen Feld

$$U_{AB} = \vec{E} \cdot \vec{s} = E s \cos \alpha$$

(vgl. 46: Skalarprodukt)

\vec{E} elektrische Feldstärke
 s Strecke AB
 α Winkel zwischen Feldrichtung und Strecke AB

~~Kapazität $C = \frac{Q}{U}$~~

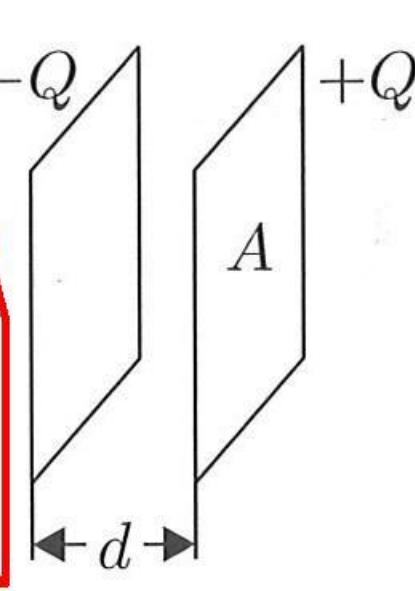
① Linsen und Abbildungen mit Linsen sind im Stoffplan für die Ergänzungsprüfung, nicht jedoch für die gymnasiale Maturität.

Plattenkondensator 1

Kapazität eines Plattenkondensators $C = \epsilon \frac{A}{d}$ $d \ll \sqrt{A}$

Feldstärke im Plattenkondensator $E = \frac{Q}{\epsilon A} = \frac{U}{d}$ $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

Energie des geladenen Kondensators $E_{\text{Kond}} = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2$



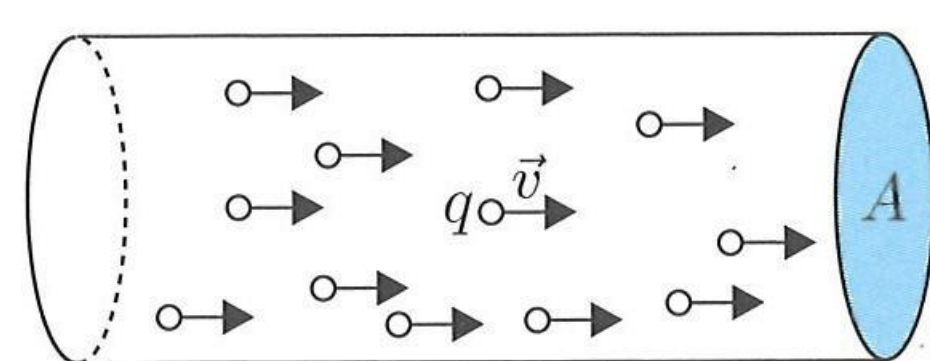
A Fläche einer Platte
 d Plattenabstand
 ϵ_0 Elektrische Feldkonstante
 $\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ CV}^{-1}\text{m}^{-1}$
 ϵ_r Dielektrizitätszahl (vgl. 104, 27.2)

22.2 Elektrischer Stromkreis

Stromstärke $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ Ladung pro Zeiteinheit

Stromstärke in einem Leiter $I = nqvA$

n Ladungsträgerdichte
 q Ladung eines Trägers
 v Driftgeschwindigkeit
 A Querschnittsfläche des Leiters



Technische Stromrichtung Die technische Stromrichtung verläuft vom Plus- zum Minuspol der Spannungsquelle. Sie ist der Elektronenbewegung entgegengerichtet.
 (vgl. 98: Kraft auf einen stromdurchflossenen geraden Leiter)

~~Grundgesetz der Elektrolyse $m = \frac{MQ}{zF}$~~

~~m abgeschiedene Masse
 M molare Masse (vgl. 110, 31.1)
 Q totale transportierte Ladung
 z Ionenwertigkeit (vgl. 110, 31.1)
 F Faraday-Konstante (vgl. Umschlag, 33)~~

Widerstand $R = \frac{U}{I}$ 2 U Spannung
 I Stromstärke

Widerstand eines Drahtes $R = \rho_{\text{el}} \frac{l}{A}$

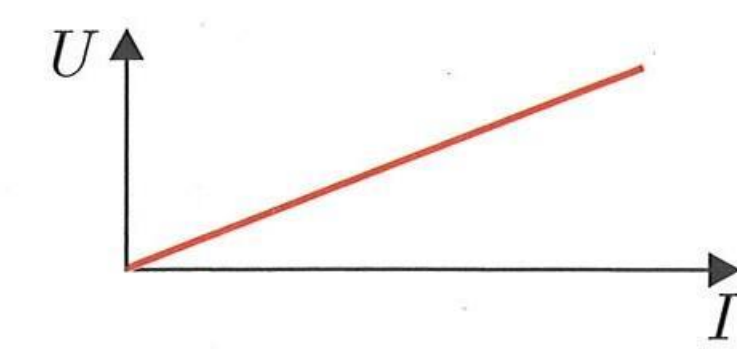
l Länge des Drahtes
 A Querschnittsfläche des Drahtes
 ρ_{el} spezifischer Widerstand (vgl. 104, 27.1)

- 96
- 1 Ein Plattenkondensator besteht aus zwei parallelen gleich grossen Metallplatten. Wenn man an die Platten eine Spannung anlegt, bildet sich zwischen den Platten ein homogenes elektrisches Feld. Die Formeln für den Plattenkondensator muss man nicht kennen.
 - 2 Merke: Das Ohmsche Gesetz lässt sich auch auf beliebige Teile einer Schaltung anwenden, insbesondere auf Einzelwiderstände.

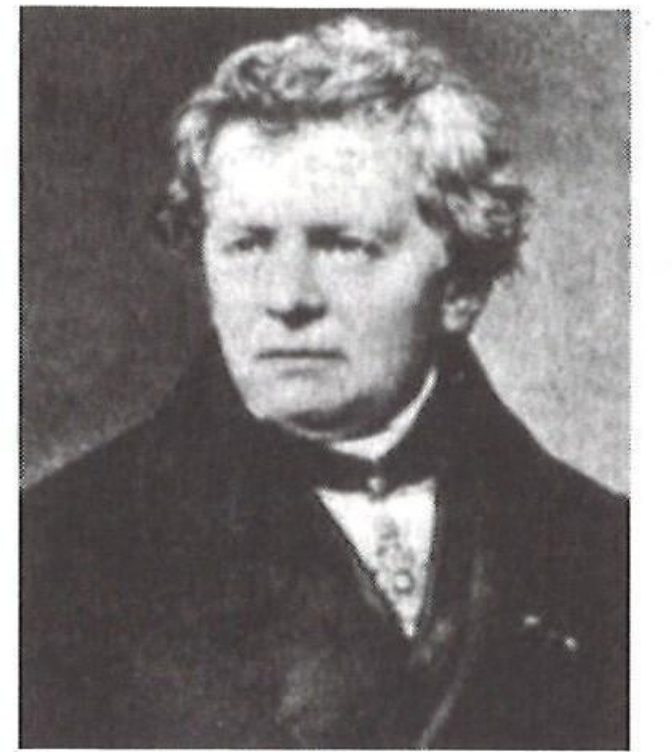
Ohmsches Gesetz

Spannung U und Stromstärke I sind proportional zueinander.

$$U = RI \quad \frac{U}{I} = R = \text{konst.}$$



Die Steigung der Geraden entspricht dem Widerstand.
 (vgl. 12: Proportionalität)



Georg Simon Ohm
 (1789–1854)

Kombination von Widerständen

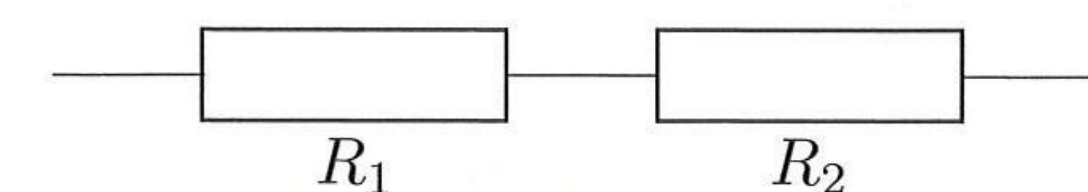
Serienschaltung/
 Reihenschaltung

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$



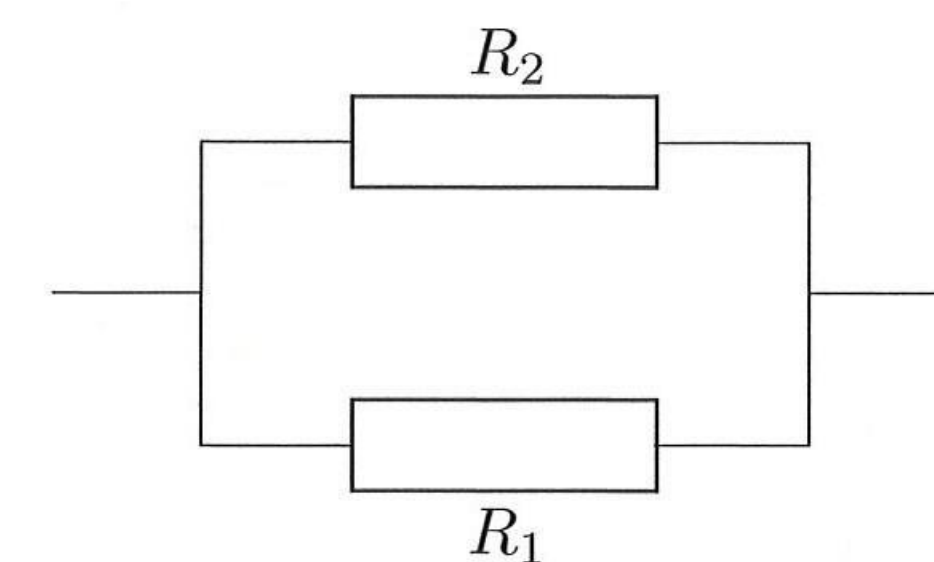
Parallelschaltung

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$



Elektrische Arbeit

$$W = UI\Delta t = P\Delta t$$

U Spannung
 I Stromstärke
 R Widerstand

Elektrische Leistung

$$P = UI$$
 3

Joulesche Wärme

$$W = RI^2\Delta t = \frac{U^2}{R}\Delta t$$

- 3 Mithilfe des Ohmschen Gesetzes erhält man weitere Formeln für die elektrische Leistung wie folgt: $P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$.

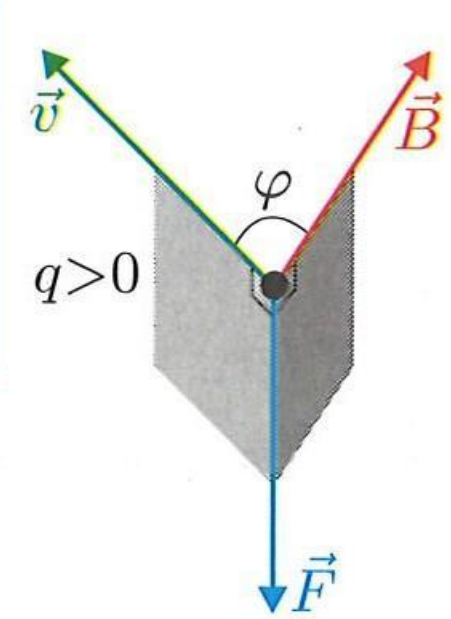
22.3 Elektromagnetismus

Lorentzkraft
(Kraft auf bewegte Ladung)

~~$$F_L = qvB \cdot \sin \varphi$$

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

(vgl. 46: Vektorprodukt)~~

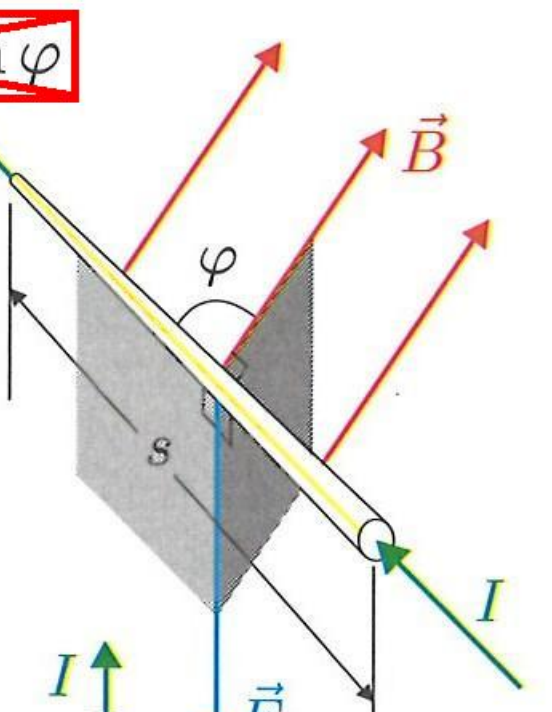


q bewegte Ladung
 v Geschwindigkeit des geladenen Teilchens
 B magnetische Flussdichte (magnetische Feldstärke)
 φ Winkel zwischen der Feldrichtung und der Geschwindigkeit

1

Kraft auf einen stromdurchflossenen geraden Leiter im homogenen Magnetfeld

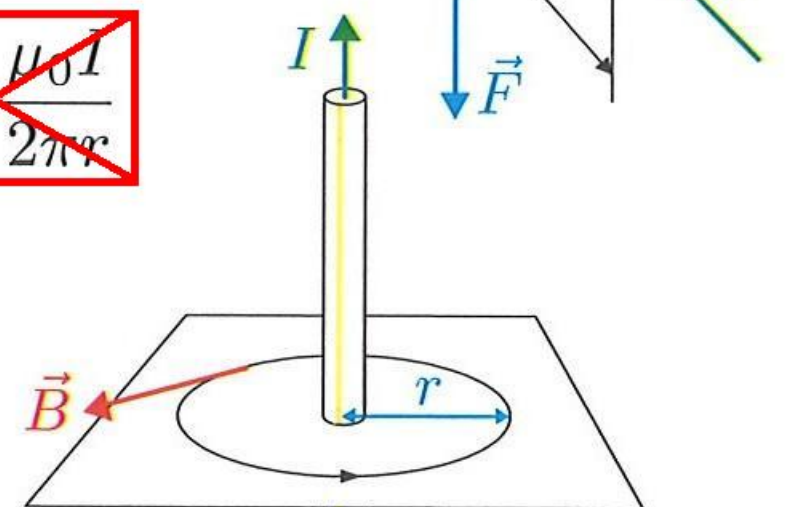
~~$$F = I \cdot B \cdot \sin \varphi$$~~



I Stromstärke
 s Länge des Leiterstücks
 φ Winkel zwischen der Feldrichtung und der technischen Stromrichtung

Magnetische Flussdichte eines unendlich langen und geraden stromdurchflossenen Leiters

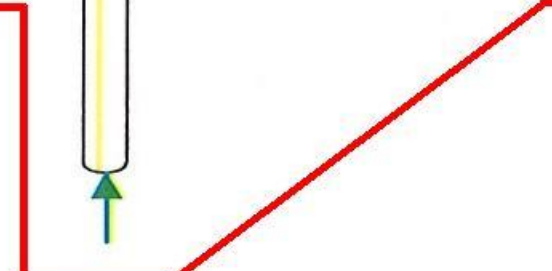
~~$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$~~



I Stromstärke
 r senkrechter Abstand vom Leiter
 μ_0 magnetische Feldkonstante
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ VsA}^{-1}\text{m}^{-1}$

Magnetische Flussdichte im Inneren einer langen, schlanken stromdurchflossenen Spule

~~$$B \approx \mu_0 \frac{N}{l} I$$~~

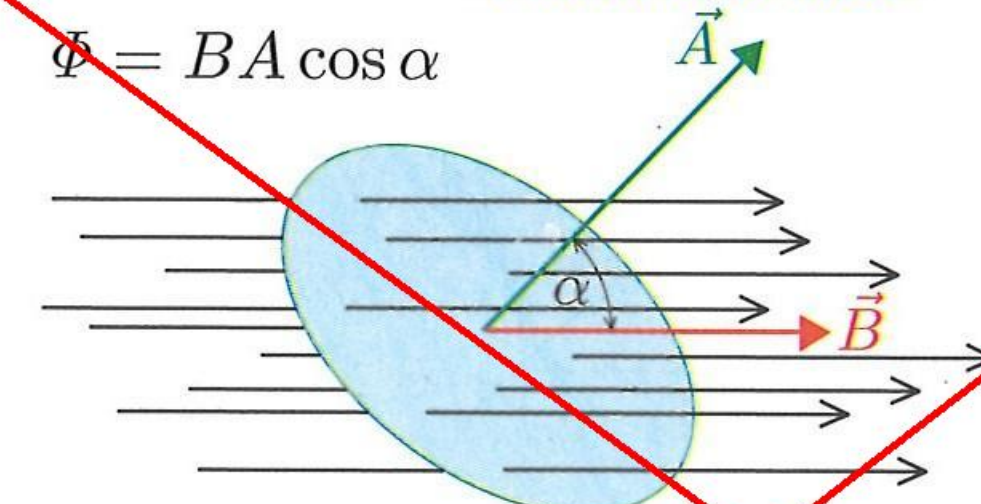


N Windungszahl
 l Länge der Spule

Magnetischer Fluss

~~$$\Phi = BA \cos \alpha$$~~

Flächennormale



B homogenes Feld
 A durchflossene Fläche
 α Winkel zwischen der Flächennormalen und der magnetischen Flussdichte

Elektromagnetische Induktion

Ändert sich der magnetische Fluss durch die Fläche einer Leiterschleife bzw. einer Spule, so wird eine Spannung induziert. Der Induktionsstrom ist seiner Ursache stets entgegengerichtet (Lenz'sche Regel)

Induktionsgesetz

~~$$U_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$~~

N Windungszahl

98

1 Keine Berechnungen werden gefordert. Nur nach der Richtung der Lorentzkraft und nach der Gestalt von Magnetfeldern wird gefragt.

23 Moderne Physik

23.1 Spezielle Relativitätstheorie

Einsteins Postulate

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum hat in jedem Inertialsystem denselben Wert.
Alle Inertialsysteme sind gleichwertig.

Relativitätsfaktor	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$	c Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
Zeitdilatation	$\Delta t = \gamma \Delta t_0$	$\Delta t, l, m_{\text{rel}}$ Größen im System, in dem sich das Objekt bewegt
Längenkontraktion	$l = \frac{l_0}{\gamma}$	$\Delta t_0, l_0, m_0$ Größen im System, in dem das Objekt ruht
Relativistische Masse	$m_{\text{rel}} = \gamma m_0$	m_0 Ruhemasse des Teilchens
Ruheenergie	$E_0 = m_0 c^2$	
Masse-Energie-Beziehung	$E = \gamma m_0 c^2 = m_{\text{rel}} c^2$ $= E_0 + E_{\text{kin}}$	E Gesamtenergie E_0 Ruheenergie

23.2 Quantenphysik

Energie des Photons	$E = hf$	h Plancksches Wirkungsquantum $h \approx 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ f Frequenz der elektromagnetischen Strahlung
Äusserer Photoeffekt	$hf = W_A + \frac{1}{2}mv^2$	W_A Elektronenaustrittsarbeit (vgl. 105, 28.1) $\frac{1}{2}mv^2$ kinetische Energie des Elektrons
De Broglie-Wellenlänge	$\lambda = \frac{h}{p}$	λ Wellenlänge p Impuls
Heisenbergsche Unschärferelation, Unbestimmtheitsrelation	$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$ $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$	Δx Ortsunschärfe Δp_x Impulsunschärfe bei gleichzeitiger Messung von Δx und Δp_x ΔE Energieunschärfe Δt Zeitintervall, in dem ΔE gemessen wird

99

23.3 Atomphysik

Bohrsches Modell des Wasserstoffatoms

Bahnradien	$r_n = r_1 n^2$	$n = 1, 2, 3, \dots$	$r_1 \approx 0.0529 \text{ nm}$ Bohrscher Radius
Energie des Elektrons im Niveau n	$E_n = E_1 \frac{1}{n^2}$		$E_1 \approx -13.6 \text{ eV}$
Bohrsche Frequenzbedingung	$hf = E_m - E_n $	$E_n > E_m$	Emission
		$E_n < E_m$	Absorption

23.4 Kernphysik

Nuklidsymbolik	${}^A_Z X$	X	Elementsymbol
		A	Massenzahl
		Z	Kernladungszahl
Zerfallsgesetz	$N = N_0 e^{-\lambda t}$	N	Anzahl Kerne
		λ	Zerfallskonstante
	$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	$T_{1/2}$	Halbwertszeit
			(vgl. 51: Exponentialfunktionen; Logarithmusfunktionen; vgl. 105, 28.2)
Wichtigste radioaktive Zerfallsarten			
α -Zerfall	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} X + \alpha$	α	He-Kern
β^- -Zerfall	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} X + e^- + \bar{\nu}$	e^-	Elektron aus dem Kern
		$\bar{\nu}$	Antineutrino
γ -Emission	$X^* \rightarrow X + \gamma$	X^*	angeregter Kern
		γ	elektromagnetische Strahlung

Dosimetrie

Aktivität	$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$	ΔN	Anzahl Zerfälle im Zeitintervall Δt
Energiedosis	$D = \frac{\Delta E}{m}$	ΔE	absorbierte Strahlungsenergie
		m	absorbierende Masse
Äquivalentdosis	$H = q \cdot D$	q	Qualitätsfaktor, hängt von der Strahlungsart und dem bestrahlten Gewebe ab

100

1 Die gegebenen Formeln sind umständlich zu handhaben. Eine „benutzerfreundlichere“ Formel ist $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$, wobei $n = \frac{t}{T_{1/2}}$. Häufig ist eine „ganzzahlige“ Lösung gesucht. Dann kann man mit einer Wertetabelle arbeiten.

t	0	$T_{1/2}$	$2T_{1/2}$	$3T_{1/2}$	$4T_{1/2}$	$5T_{1/2}$	$6T_{1/2}$	$7T_{1/2}$	$8T_{1/2}$	$9T_{1/2}$
N/N ₀	100%	50%	25%	12.5%	6.25%	3.13%	1.56%	0.78%	0.39%	0.20%

24 Mechanik

24.1 Reibungszahl μ (vgl. 83: Gleitreibungskraft; Haftreibungskraft)

Materialkombination	Gleitreibung	Haftreibung	Materialkombination	Gleitreibung	Haftreibung
Holz/Holz	0.4	0.6	Pneu/trockene Strasse	0.6	1.0
Stahl/Stahl	0.1	0.15	Pneu/nasse Strasse	0.3	0.5
Stahl/Eis	0.014	0.027	Pneu/Eis	0.05	0.1

24.2 Dichte ρ (vgl. 88: Dichte)

Feste Stoffe bei 20 °C	kg/m ³	Flüssigkeiten bei 20 °C	kg/m ³
Aluminium	2 700	Aceton	(CH ₃) ₂ CO 791
Beton	2 200	Benzol	C ₆ H ₆ 879
Blei	11 340	Benzin	744
Buchen- und Eichenholz (trocken)	700	Diethylether	(C ₂ H ₅) ₂ O 714
Diamant	3 510	Ethanol	C ₂ H ₅ OH 789
Eis (bei 0 °C)	917	Glycerin	C ₃ H ₅ (OH) ₃ 1 261
Eisen	7 860	Heizöl	840
Glas	2 500	Methanol	CH ₃ OH 792
Gold	19 290	Olivenöl	920
Graphit	2 240	Quecksilber	Hg 13 546
Invar (64 % Fe, 36 % Ni)	8 000	Schwefelsäure	H ₂ SO ₄ 1 840
Kalkstein (Marmor)	2 700	Tetrachlorkohlenstoff	CCl ₄ 1 594
Kork	300	Wasser	H ₂ O 998
Kupfer	8 920	Wasser, schwer	D ₂ O 1 105
Messing (65 % Cu, 35 % Zn)	8 470		
Natrium	970	Gase bei 0 °C und 1.013 · 10 ⁵ Pa kg/m ³	
Nickel	8 900	Ammoniak	NH ₃ 0.771
Paraffin	900	Argon	Ar 1.784
Platin	21 450	Butan	C ₄ H ₁₀ 2.732
Plexiglas	1 180	Erdgas	0.83
Porzellan	2 400	Helium	He 0.1785
Quarzglas	2 200	Kohlendioxid	CO ₂ 1.977
Silber	10 500	Kohlenmonoxid	CO 1.250
Silizium	2 420	Luft	1.293
Styropor	20	Methan	CH ₄ 0.717
Tannenholz (trocken)	500	Neon	Ne 0.900
Uran	18 700	Propan	C ₃ H ₈ 2.010
Wolfram	19 300	Sauerstoff	O ₂ 1.429
Ziegelstein	1 600	Schwefeldioxid	SO ₂ 2.926
Zink	7 140	Stickstoff	N ₂ 1.250
Zinn	7 290	Wasserstoff	H ₂ 0.0899
		Xenon	Xe 5.897

101

25 Wärme

25.1 Thermische Eigenschaften einiger Stoffe

α Längenausdehnungskoeffizient bei 20 °C	ϑ_f Schmelztemperatur	} bei Normaldruck
γ Volumenausdehnungskoeffizient bei 20 °C	L_f spezif. Schmelzwärme	
c_p Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C	ϑ_V Siedetemperatur	
C_p Molare Wärmekapazität bei 20 °C	L_v spezif. Verdampfungswärme	
(c_p, C_p : Werte bei konstantem Druck)	λ Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C (vgl. 103, 25.3)	

Festkörper	α 10^{-6} K^{-1}	c_p $\text{Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	ϑ_f $^{\circ}\text{C}$	L_f 10^5 Jkg^{-1}	ϑ_V $^{\circ}\text{C}$	L_v 10^5 Jkg^{-1}	λ $\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Aluminium	23.8	896	660.1	3.97	2467	109	239
Blei	31.3	129	327.4	0.23	1740	86	34.8
Eis (0 °C)	37.0	2100	0	3.338	100	22.5	2.2
Eisen	12.0	450	1535	2.77	2750	63.4	80
Glas	8.5	800					1.0
Invar	0.2–1.6	460	1427	5.15			11
Kupfer	16.8	383	1083	2.05	2567	47.9	390
Silber	19.7	235	960.8	1.045	2212	23.5	428
Silizium	7.6	705	1410	1.654	2355	140.5	153
Stahl V2A	16.0	510					14
Wolfram	4.3	134	3380	1.92	5660	43.5	177

Flüssigkeiten	γ 10^{-3} K^{-1}	c_p $\text{Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	ϑ_f $^{\circ}\text{C}$	L_f 10^5 Jkg^{-1}	ϑ_V $^{\circ}\text{C}$	L_v 10^5 Jkg^{-1}	λ $\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Aceton	1.49	2160	-94.86	0.98	56.25	5.25	0.162
Benzin		2020	-50...-30		67...100		0.13
Ethanol	1.10	2430	-114.5	1.08	78.33	8.40	0.165
Glycerin	0.5	2390	18.4	2.01	290.5	8.54	0.285
Heizöl EL	0.92		-5		200...350		0.14
Quecksilber	0.182	139	-38.87	0.118	356.58	2.85	8.2
Wasser	0.21	4182	0	3.338	100.0	22.56	0.598

Gase	C_p $\text{Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$	c_p $\text{Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	ϑ_f $^{\circ}\text{C}$	L_f 10^5 Jkg^{-1}	ϑ_V $^{\circ}\text{C}$	L_v 10^5 Jkg^{-1}	λ $\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Ammoniak	36.8	2160	-77.7		-33.35	13.70	0.022
Helium	20.9	5230	-272.2	5	-268.93	20	0.143
Kohlendioxid	36.8	837	subl.	1.81	-78.45	1.37	0.015
Luft	29.1	1005			-191.4		0.024
Methan	35.6	2219	-182.52	0.59	-161.5	5.10	0.030
Sauerstoff	29.3	917	-218.79	0.14	-182.97	2.13	0.024
Stickstoff	29.1	1038	-210.00	0.26	-195.82	1.98	0.024
Wasserstoff	28.9	14320	-259.20	60	-252.77	450	0.171

25.2 Heizwert H_u * (ohne Kondensation des Wasserdampfes) in MJkg^{-1}

Braunkohle	8.9	Benzin	42	Butan	45.7
Holz, trocken	15.5	Ethanol	26.7	Erdgas	38
Steinkohle	29.3	Heizöl	42.7	Wasserstoff	120

*Der Brennwert H_0 (mit Kondensation des Wasserdampfes) ist etwas höher.

25.3 Wärmeleitfähigkeit λ von Baustoffen bei 20 °C in $\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (vgl. 102, 25.1)

Backstein	0.44	Holztäfer	0.15	Stahlbeton	1.8
Beton	1.4	Kork	0.045	Steinwolle	0.040
Fensterglas	1.0	Leichtbeton	0.22	Polystyrolschaum	0.040

25.4 Emissionszahl ε von Oberflächen bei 20 °C

Aluminium, poliert	0.04	Kupfer, oxidiert	0.6	Menschliche Haut	0.98
Aluminium, oxidiert	0.3	Anstrichfarben	0.9	Vegetation	0.95
Kupfer, poliert	0.04	Sand	0.75	Wasser	0.96

25.5 Druck p_s und Dichte ρ_s des gesättigten Wasserdampfes

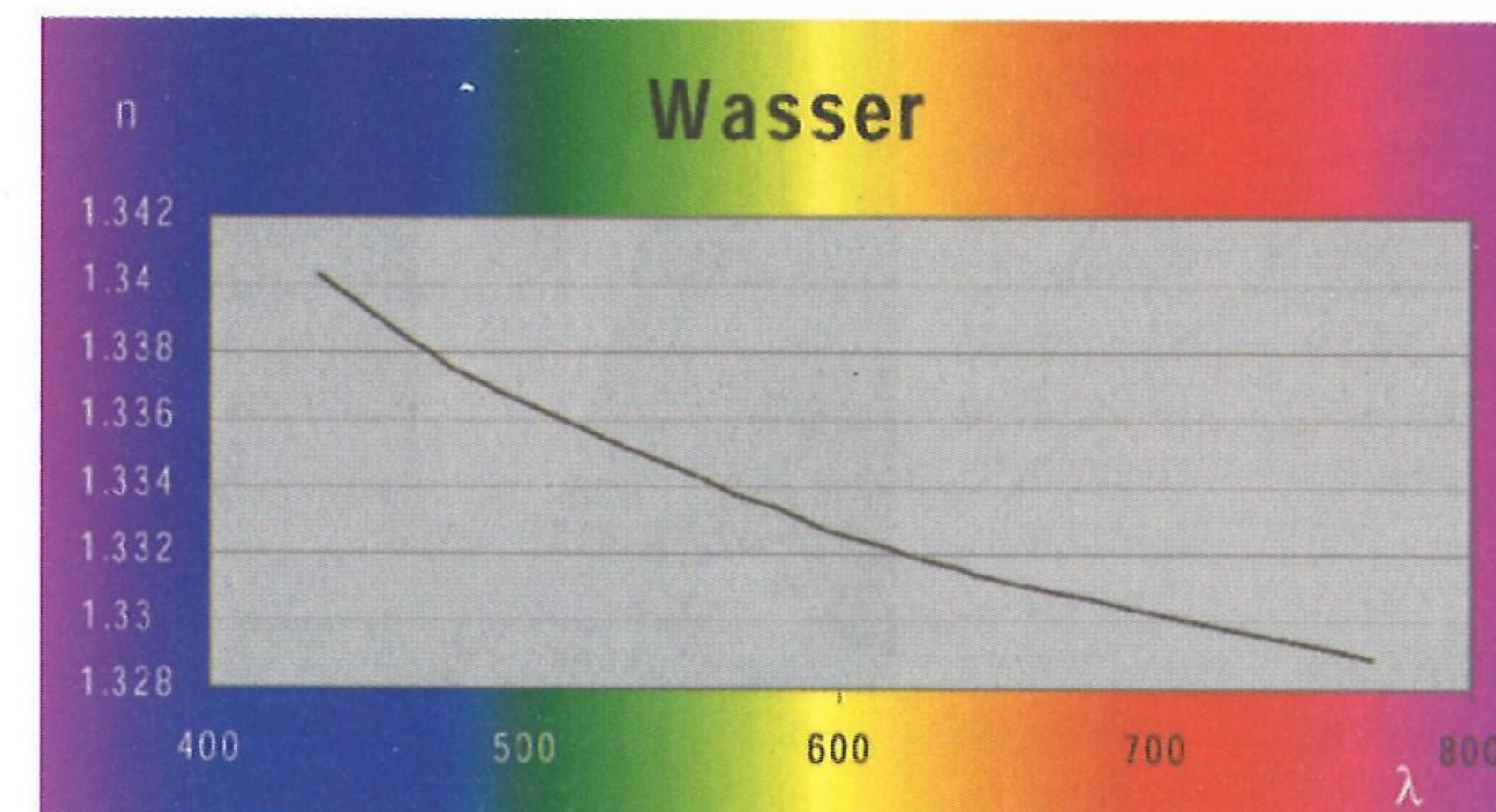
ϑ $^{\circ}\text{C}$	p_s Pa	ρ_s gm^{-3}	ϑ $^{\circ}\text{C}$	p_s Pa	ρ_s gm^{-3}	ϑ $^{\circ}\text{C}$	p_s Pa	ρ_s gm^{-3}
-10	285	2.36	15	1707	12.86	40	7378	50.17
-5	421	3.32	20	2337	17.32	45	9586	65.45
0	611	4.85	25	3172	23.10	50	12340	83.00
5	874	6.82	30	4242	30.39	75	39250	245.50
10	1227	9.41	35	5642	39.63	100	101325	597.70

26 Optik

26.1 Brechzahl n gegen Luft bei 20 °C für $\lambda = 589.3 \text{ nm}$

Diamant	2.417	Plexiglas	1.491	Zuckerlösung 30 %	1.38
Eis	1.310	Quarzglas	1.458	80 %	1.49
Ethanol	1.362	Steinsalz	1.544		
Fensterglas	≈ 1.5	Wasser	1.333	Luft gegen Vakuum	1.00027

26.2 Brechzahldispersion $n(\lambda)$ von Wasser, Bleiglas und Diamant



Wellenlänge λ nm	SF4 * n	Diamant n
434	1.792	2.454
486	1.775	2.433
589	1.755	2.417
633	1.750	2.410
656	1.747	2.408
768	1.739	2.401

*Schwerflint (Bleiglas)

27 Elektrizität

27.1 Spezifischer elektrischer Widerstand ρ_{el}

von Leitern und Halbleitern bei 20 °C

Ωm		Ωm		Ωm	
Aluminium	$2.65 \cdot 10^{-8}$	Konstantan	$49 \cdot 10^{-8}$	Silizium	$1.7 \cdot 10^4$
Blei	$21 \cdot 10^{-8}$	Kupfer (rein)	$1.7 \cdot 10^{-8}$	Wolfram	$5.3 \cdot 10^{-8}$
Eisen (rein)	$9.7 \cdot 10^{-8}$	Messing	$7 \cdot 10^{-8}$	Wolfram (1000 °C)	$33 \cdot 10^{-8}$
Germanium (rein)	0.14	Nickel	$7.8 \cdot 10^{-8}$	Wolfram (2000 °C)	$70 \cdot 10^{-8}$
Gold	$2.2 \cdot 10^{-8}$	Platin	$10 \cdot 10^{-8}$	Wolfram (3000 °C)	$113 \cdot 10^{-8}$
Kohle	$5000 \cdot 10^{-8}$	Silber	$1.59 \cdot 10^{-8}$	Zink	$5.8 \cdot 10^{-8}$

27.2 Spezifischer elektrischer Widerstand ρ_{el} für Isolierstoffe bei 20 °C und Dielektrizitätszahl ϵ_r

ρ_{el} Ωm	ϵ_r	ρ_{el} Ωm	ϵ_r		
Bernstein	$1 \cdot 10^{18}$	2.6	Polyvinylchlorid	$1 \cdot 10^{13}$	6.1
Glimmer	$5 \cdot 10^{14}$	7	Quarzglas	$3 \cdot 10^{14}$	4
Hartgummi	$1 \cdot 10^{16}$	3.5	Wasser		80
Plexiglas	$1 \cdot 10^{13}$	3.4	Luft (Normdruck)		1.0006

28 Moderne Physik



Marie Curie-Sklodowska
(1867–1934)



Lise Meitner
(1878–1968)

28.1 Elektronenaustrittsarbeit W_A ; langwellige Grenze λ_0 (äusserer Photoeffekt)

	W_A eV	λ_0 nm		W_A eV	λ_0 nm
Aluminium	4.20	295	Nickel	5.09	243
Caesium	1.94	639	Silber	4.43	273
Kupfer	4.84	256	Zink	4.34	285

28.2 Ausgewählte Nuklide

Z	Ordnungszahl	rel. H.	relative Häufigkeit
Sy	chemisches Symbol	$T_{1/2}$	Halbwertszeit bei nicht stabilen Isotopen (a Jahr, d Tag, m Minute, s Sekunde)
A	Nukleonenzahl	Energie	Zerfallsenergie in MeV
m_a	Atommasse in u		
M	molare Masse in kg/kmol		

Z	Name	Sy	A	$m_a; M$	rel. H.	$T_{1/2}$	Zerfallsart	Energie
1	Wasserstoff	H	1	1.0078250	99.989			
			2	2.0141018	0.015			
			3	3.0160493		12.33 a	β^-	0.0186
2	Helium	He	3	3.0160293	0.00014			
			4	4.0026033	99.999			
6	Kohlenstoff	C	12	12.000000	98.93			
			13	13.003355	1.07			
			14	14.003242		5730 a	β^-	0.1565
			14	14.003074	99.632			
7	Stickstoff	N	15	15.000109	0.368			
			16	15.994915	99.757			
			17	16.999132	0.038			
			18	17.999160	0.205			
19	Kalium	K	39	38.963707	93.258			
			40	39.963999	0.012	1.28 · 10 ⁹ a	$\beta^- \gamma$	1.311
			41	40.961826	6.730			
26	Eisen	Fe	54	53.939615	5.845			
			56	55.934942	91.754			
			57	56.935399	2.119			
			58	57.933280	0.282			
27	Kobalt	Co	59	58.933200	100			
			60	59.933822		5.271 a	$\beta^- \gamma$	2.824
28	Nickel	Ni	58	57.935348	68.0767			
			60	59.930791	26.223			
			62	61.928349	3.635			

28.2 Ausgewählte Nuklide (Fortsetzung)

Z	Name	Sy	A	$m_a; M$	rel. H.	$T_{1/2}$	Zerfallsart	Energie
29	Kupfer	Cu	63	62.929601	69.17			
			65	64.927794	30.83			
32	Germanium	Ge	70	69.924250	20.84			
			72	71.922076	27.54			
			73	72.923459	7.73			
			74	73.921178	36.28			
			76	75.921403	7.61			
38	Strontium	Sr	84	83.913425	0.56			
			86	85.909265	9.86			
			87	86.908879	7.00			
			88	87.905614	82.58			
			90	89.907738		28.79 a	β^-	0.546
47	Silber	Ag	107	106.905093	51.839			
			108	107.905954		2.37 m	β^-	1.649
			109	108.904756	48.161			
			110	109.906111		24.6 s	$\beta^- \gamma$	2.892
53	Iod	I	127	126.904468	100			
			128	127.905805		25.00 m	$\beta^- \gamma$	2.118
			131	130.906125		8.040 d	$\beta^- \gamma$	0.971
55	Caesium	Cs	133	132.905447	100			
			137	136.907085		30.07 a	$\beta^- \gamma$	1.176
78	Platin	Pt	192	191.961035	0.782			
			194	193.962664	32.967			
			195	194.964774	33.832			
			196	195.964935	25.242			
			198	197.967876	7.163			
79	Gold	Au	197	196.966552	100			
			198	197.968225		2.695 d	$\beta^- \gamma$	1.372
80	Quecksilber	Hg	196	195.965815	0.15			
			198	197.966752	9.97			
			199	198.968262	16.87			
			200	199.968309	23.10			
			201	200.970285	13.18			
			202	201.970626	29.86			
			204	203.973476	6.87			
82	Blei	Pb	204	203.973029	1.4			
			206	205.974449	24.1			
			207	206.975881	22.1			
			208	207.976636	52.4			
			210	209.984174		22.3 a	$\beta^- \gamma$	0.0635
			212	210.988732		138.37 d	α	0.1404
86	Radon	Rn	220	220.011384		55.6 s	α	6.29
			222	222.017570		3.824 d	α	5.49
92	Uran	U	235	235.043922	0.720	$7.04 \cdot 10^8$ a	$\alpha \gamma$	4.679
			238	238.050784	99.2745	$4.46 \cdot 10^9$ a	$\alpha \gamma$	4.2
94	Plutonium	Pu	239	239.052156		$2.41 \cdot 10^4$ a	$\alpha \gamma$	5.2

29 Verschiedene Einheiten und Umrechnungen

Länge		Geschwindigkeit, Masse	
1 in (inch, Zoll)	= $2.540 \cdot 10^{-2}$ m	1 Knoten	= $1.852 \text{ kmh}^{-1} \approx 0.51411 \text{ ms}^{-1}$
1 ft (foot)	= 12 in = 0.3048 m		
1 mi (mile)	= 1609.344 m	1 lb (pound mass)	= 0.45359 kg
1 Seemeile	= 1852 m	1 ct (Karat)	= $2 \cdot 10^{-4}$ kg
Energie, Leistung		Kraft, Druck	
1 cal	= 4.1868 J	1 lb (pound force)	= 4.448 N
1 kWh	= $3.6 \cdot 10^6$ J	1 bar	= 10^5 Pa
1 Elektronenvolt (eV)	= $1.602 \cdot 10^{-19}$ J	1 atm	= 101325 Pa
1 PS	≈ 735.5 W	1 mmHg = 1 Torr	≈ 133.3 Pa
Temperatur		1 mmWS (Wassersäule)	= 9.806 Pa
Celsius aus Fahrenheit	$\vartheta_C = \frac{5}{9} \vartheta_F - 17.8^\circ$	1 psi	= $6.8947 \cdot 10^3$ Pa
		(pound-force per square inch)	

30 Astronomie

30.1 Längen- und Zeitmasse

1 Astronomische Einheit (AE) (mittlerer Abstand Sonne Erde)	$1.496 \cdot 10^{11}$ m
1 Lichtjahr (LJ)	$9.461 \cdot 10^{15}$ m
1 Parallaxensekunde/Parsec (pc)	$3.086 \cdot 10^{16}$ m
(Entfernung, aus der der Erdbahnradius unter dem Winkel von einer Bogensekunde ($\text{arc } 1'' = 4.85 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$) erscheint)	
1 d (mittlerer Sonnentag)	86400 s
1 Sterntag	86164.09 s
1 siderisches Jahr	$365.2564 \text{ d} = 3.1558 \cdot 10^7 \text{ s}$
(auf das Koordinatensystem der Fixsterne bezogen)	
1 tropisches Jahr (auf den Frühlingspunkt bezogen)	$365.24220 \text{ d} = 3.1557 \cdot 10^7 \text{ s}$
Einige Distanzangaben	
Proxima Centauri (nächster Stern)	4.22 LJ
Sirius (hellster Stern, αCMa)	8.6 LJ
Orionnebel M42	1800 LJ
Andromeda M31	$2.540 \cdot 10^6$ LJ
Rand des bekannten Universums (2000)	10^{10} LJ

30.2 Kosmische Umgebung der Erde

Milchstrasse			
Durchmesser	111 000 LJ	Gesamtmasse	$1.4 \cdot 10^{12} \cdot m_{\text{Sonne}}$
Dicke im Zentrum	16 000 LJ	Scheibenmasse	$2 \cdot 10^{11} \cdot m_{\text{Sonne}}$
Dicke aussen	3 000 LJ	Mittlere Dichte	$7 \cdot 10^{-20} \text{ kgm}^{-3}$
Halodurchmesser	160 000 LJ	Rotationsgeschwindigkeit am Ort der Sonne	225 kms^{-1}

Sonne			
Radius Äquator	$6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$	Effekt. Oberflächentemperatur	5778 K
Masse	$1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	Strahlungsleistung	$3.826 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Fallbeschleunigung	274 ms^{-2}	Solarkonstante S	1380 Wm^{-2}
Dichte im Zentrum	$1.62 \cdot 10^5 \text{ kgm}^{-3}$	Abstand vom galaktischen Zentrum	25 000 LJ
Druck im Zentrum	$2.48 \cdot 10^{11} \text{ bar}$	Abstand (nördlicher) von der galaktischen Hauptebene	40 LJ
Temperatur im Zentrum	$1.57 \cdot 10^7 \text{ K}$		

Erde (Bezugswerte für Tabelle 30.3)

Radius		Fluchtgeschwindigkeit an der Erdoberfläche	$11\,186 \text{ ms}^{-1}$
– Äquator	$6.378 \cdot 10^6 \text{ m}$	Mittlere Oberflächentemperatur	288 K
– Pol	$6.356 \cdot 10^6 \text{ m}$	grosse Bahnhalfachse (1 AE)	$1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
– Volumengleiche Kugel	$R_{\oplus} \cdot 6.371 \cdot 10^6 \text{ m}$	Numerische Exzentrizität ε	0.01671
Masse	$M_{\oplus} \cdot 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	Siderische Umlaufzeit T_{\oplus}	365.25636 d
Fallbeschleunigung			
– Normwert	$g_{\oplus} \cdot 9.80665 \text{ ms}^{-2}$		
– am Äquator	9.7803 ms^{-2}		
– am Nordpol	9.8322 ms^{-2}		

Mond

Radius	$1.7375 \cdot 10^6 \text{ m}$	Grosse Bahnhalfachse	$3.844 \cdot 10^8 \text{ m}$
Masse	$7.349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	Numerische Exzentrizität ε	0.0549
Fallbeschleunigung	1.622 ms^{-2}	siderische Umlaufzeit	27.322 d

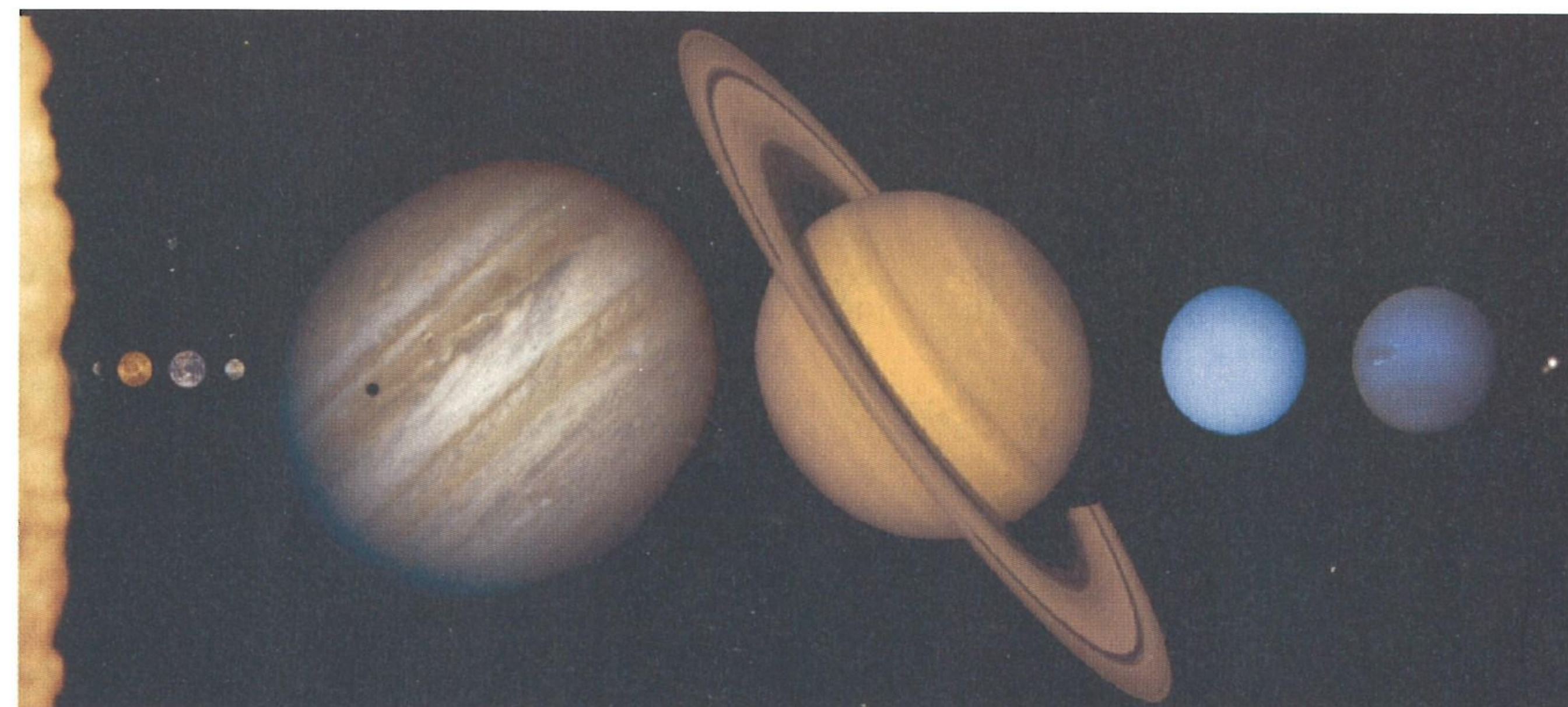


Milchstrasse: x = Ort der Sonne in ca. 25 000 LJ Abstand vom galaktischen Zentrum; Bildbreite ca. 100 000 LJ

30.3 Planeten (R , M und g relativ zu den Erddaten) (vgl. 108, 30.2)

R Radius der festen bzw. sichtbaren Oberfläche
 M Masse
 g Fallbeschleunigung bei R
 T_O mittlere Oberflächentemperatur in K
 a grosse Bahnhalfachse in AE
 ε numerische Exzentrizität der Umlaufbahn
 T siderische Umlaufzeit in Jahren

		R/R_{\oplus}	M/M_{\oplus}	g/g_{\oplus}	T_O	a	ε	T
Merkur	☿	0.383	0.0553	0.377	440	0.3871	0.20563	0.241
Venus	♀	0.949	0.851	0.903	737	0.7233	0.00673	0.615
Erde	♁	1	1	1	288	1	0.01671	1
Mars	♂	0.533	0.1075	0.380	210	1.5237	0.09341	1.881
Jupiter	♃	11.21	317.83	2.64	165	5.2034	0.04839	11.862
Saturn	♄	9.45	95.162	1.14	134	9.5371	0.05415	29.457
Uranus	♅	4.01	14.54	0.92	76	19.19	0.04717	84.01
Neptun	♆	3.88	17.2315	1.15	72	30.07	0.00859	164.78
Pluto	♇	0.18	0.002	0.065	50	39.48	0.24881	247.67



Planetengrössen massstäblich; Abstände nicht massstäblich

31.1 Chemische Elemente

Z: Ordnungszahl
 m_a : Atommasse des natürlichen Isotopengemisches in der atomaren Masseneinheit u ($= 1/12$ ^{12}C)
 In eckigen Klammern: Nucleonenzahl des Isotops mit der längsten Halbwertszeit.
 M : molare Masse in kg/kmol
 r_a : Atomradius in Picometer (10^{-12} m)
 r_i : Ionenradius in Picometer (10^{-12} m)

Name	Z	$m_a; M$	r_a pm	Ion	r_i pm	Name	Z	$m_a; M$	r_a pm	Ion	r_i pm
Actinium	Ac	89 [227]				Hassium	Hs	108 [265]			
Aluminium	Al	13 26.982	143	Al^{3+}	50	Helium	He	2 4.003			
Americium	Am	95 [243]				Holmium	Ho	67 164.930			
Antimon	Sb	51 121.75	141			Indium	In	49 114.82	162	In^{3+}	81
Argon	Ar	18 39.948				Iod	I	53 126.905	133	I^-	216
Arsen	As	33 74.922	121			Iridium	Ir	77 192.22			
Astat	At	85 [210]	140			Kalium	K	19 39.098	231	K^+	133
Barium	Ba	56 137.33	217	Ba^{2+}	135	Kobalt	Co	27 58.933	125	Co^{2+}	74
Berkelium	Bk	97 [247]				Kohlenstoff	C	6 12.011	77		
Beryllium	Be	4 9.012	112	Be^{2+}	31	Krypton	Kr	36 83.80			
Bismut	Bi	83 208.981	146			Kupfer	Cu	29 63.546	128	Cu^{2+}	69
Blei	Pb	82 207.2	175	Pb^{4+}	84	Lanthan	La	57 138.906	188	La^{3+}	115
Bohrium	Bh	107 [262]				Lawrencium	Lr	103 [262]			
Bor	B	5 10.81	88	B^{3+}	20	Lithium	Li	3 6.941	152	Li^+	60
Brom	Br	35 79.904	114	Br^-	195	Lutetium	Lu	71 174.97			
Cadmium	Cd	48 112.40	149	Cd^{2+}	97	Magnesium	Mg	12 24.305	160	Mg^{2+}	65
Caesium	Cs	55 132.905	262	Cs^+	169	Mangan	Mn	25 54.938	129	Mn^{2+}	80
Calcium	Ca	20 40.08	197	Ca^{2+}	97	Meitnerium	Mt	109 [266]			
Californium	Cf	98 [251]				Mendelevium	Md	101 [258]			
Cer	Ce	58 140.12				Molybdän	Mo	42 95.94			
Chlor	Cl	17 35.453	99	Cl^-	181	Natrium	Na	11 22.990	186	Na^+	95
Chrom	Cr	24 51.996	125	Cr^{3+}	69	Neodym	Nd	60 144.24			
Curium	Cm	96 [247]				Neon	Ne	10 20.179			
Dubnium	Db	105 [262]				Neptunium	Np	93 237.048			
Dysprosium	Dy	66 162.50				Nickel	Ni	28 58.71	124	Ni^{2+}	72
Einsteinium	Es	99 [252]				Niob	Nb	41 92.906			
Eisen	Fe	26 55.847	126	Fe^{2+}	76	Nobelium	No	102 [259]			
Erbium	Er	68 167.26				Osmium	Os	76 190.2			
Europium	Eu	63 151.96				Palladium	Pd	46 106.4			
Fermium	Fm	100 [257]				Phosphor	P	15 30.974	110		
Fluor	F	9 18.998	64	F^-	136	Platin	Pt	78 195.09			
Francium	Fr	87 [223]				Plutonium	Pu	94 [244]			
Gadolinium	Gd	64 157.25				Polonium	Po	84 [209]	140		
Gallium	Ga	31 69.72	122	Ga^{3+}	62	Praseodym	Pr	59 140.908			
Germanium	Ge	32 72.59	122	Ge^{4+}	53	Promethium	Pm	61 [145]			
Gold	Au	79 196.967	144	Au^+	137	Protactinium	Pa	91 [231]			
Hafnium	Hf	72 178.49				Quecksilber	Hg	80 200.59	150	Hg^{2+}	110

Chemische Elemente (Fortsetzung)

Name	Z	$m_a; M$	r_a pm	Ion	r_i pm	Name	Z	$m_a; M$	r_a pm	Ion	r_i pm
Radium	Ra	88 226.025				Technetium	Tc	43 98.906			
Radon	Rn	86 [222]				Tellur	Te	52 127.60	137	Te^{2-}	221
Rhenium	Re	75 186.2				Terbium	Tb	65 158.925			
Rhodium	Rh	45 102.906				Thallium	Tl	81 204.37	171	Tl^{3+}	95
Rubidium	Rb	37 85.468	244	Rb^+	148	Thorium	Th	90 232.038			
Ruthenium	Ru	44 101.07				Thulium	Tm	69 168.934			
Rutherfordium	Rf	104 [261]				Titan	Ti	22 47.90	146	Ti^{2+}	90
Samarium	Sm	62 150.4				Uran	U	92 238.029			
Sauerstoff	O	8 15.999	66	O^{2-}	140	Vanadium	V	23 50.941	131	V^{2+}	88
Scandium	Sc	21 44.956	160	Sc^{3+}	81	Wasserstoff	H	1 1.0079	30		
Schwefel	S	16 32.06	104	S^{2-}	184	Wolfram	W	74 183.85			
Seaborgium	Sg	106 [263]				Xenon	Xe	54 131.30			
Selen	Se	34 78.96	117	Se^{2-}	198	Ytterbium	Yb	70 173.04			
Silber	Ag	47 107.868	144	Ag^+	126	Yttrium	Y	39 88.906	180	Y^{3+}	93
Silizium	Si	14 28.086	117			Zink	Zn	30 65.38	133	Zn^{2+}	74
Stickstoff	N	7 14.007	70			Zinn	Sn	50 118.69	140	Sn^{4+}	71
Strontium	Sr	38 87.62	215	Sr^{2+}	113	Zirkon	Zr	40 91.22			
Tantal	Ta	73 180.948									

31.2 Periodensystem

Haupt-												-gruppen																																																																							
I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII																																																																		
1 H		H Gas Br Flüssigkeit C Feststoff										Nichtmetall Halbmetall Metall																																																																							
3 Li	4 Be	Nebengruppen (Übergangsmetalle)										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																																																																		
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																																																										
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu																																																	
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Rf	91 Db	92 Sg	93 Bh	94 Hs	95 Mt										99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr																																																													
Lanthanoide (1. Zeile) und Actinoide (2. Zeile)																																																																																			
<table border="1"> <tr> <td>58</td><td>59</td><td>60</td><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td><td>71</td> </tr> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>90</td><td>91</td><td>92</td><td>93</td><td>94</td><td>95</td><td>96</td><td>97</td><td>98</td><td>99</td><td>100</td><td>101</td><td>102</td><td>103</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																												58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																																																																						
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																																						
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103																																																																						
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																																																						

1 In der Physik dient das Periodensystem der Elemente (PSE) vor allem zur Bestimmung von Tochterkernen beim radioaktiven Zerfall.