

# PHYSIK

## Fundament der Technik

### BEILAGE

#### Inhaltsverzeichnis

1.	Symbole der physikalischen Größen . . . . .	2
2.	Einheiten wichtiger Größen . . . . .	3
3.	SI-Vorsätze zur Bildung von dezimalen Vielfachen und Teilen der Einheiten . . . . .	5
4.	Umrechnen von Einheiten . . . . .	5
4.1.	Winkelinheiten . . . . .	5
4.2.	Einheiten für Kraft, Arbeit, Leistung, Druck . . . . .	5
5.	Gleichungen . . . . .	6
6.	Physikalische Konstanten . . . . .	17
7.	Tabellen . . . . .	17
7.1.	Dichte fester Stoffe . . . . .	17
7.2.	Dichte von Flüssigkeiten . . . . .	18
7.3.	Dichte von Gasen . . . . .	18
7.4.	Dichte trockener Luft . . . . .	18
7.5.	Reibungszahlen . . . . .	18
7.5.1.	Haftreibungs- und Gleitreibungszahl . . . . .	18
7.5.2.	Fahrwiderstandszahl . . . . .	19
7.6.	Elastizitätswerte . . . . .	19
7.7.	Dynamische Viskosität . . . . .	19
7.8.	Widerstandsbeiwert . . . . .	19
7.9.	Wärmewerte fester Stoffe . . . . .	20
7.10.	Wärmewerte von Flüssigkeiten . . . . .	20
7.11.	Wärmewerte von Gasen . . . . .	20
7.12.	Abhängigkeit der Siedetemperatur des Wassers vom Druck . . . . .	22
7.13.	Luftfeuchte und Partialdruck des Wasserdampfs . . . . .	22
7.14.	Schaltzeichen der Elektrotechnik . . . . .	23
7.15.	Spezifischer elektrischer Widerstand . . . . .	24
7.16.	Dielektrizitätszahl . . . . .	24
7.17.	Magnetisierungskurve und Permeabilitätszahl für Dynamoblech . . . . .	24
7.18.	Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen . . . . .	25
7.19.	Zulässiger Lärm in Räumen . . . . .	25
7.20.	Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen . . . . .	25
7.21.	Brechzahl verschiedener Stoffe . . . . .	25
	Sachwortverzeichnis . . . . .	26

*In dieser Beilage werden Einheiten entsprechend TGL 31 548 „Einheiten physikalischer Größen“ (März 1979) verwendet.*

## 1. Symbole der physikalischen Größen

$A$	Fläche Massenzahl Aktivität	$k$	Wärmedurchgangskoeffizient	$V$	Volumen
$a$	Beschleunigung Länge, Abstand van-der-Waalsche Konstante	$k'$	Winkelrichtgröße	$V_m$	magnetischer Spannungsabfall molares Volumen
$B$	magnetische Induktion Blindleitwert	$k_{\text{eff}}$	Multiplikationsfaktor	$v$	Geschwindigkeit spezifisches Volumen Schallschnelle
$b$	Länge, Abstand van-der-Waalsche Konstante	$L$	Drehimpuls Induktivität Schallpegel Strahldichte	$W$	Arbeit, Energie Wahrscheinlichkeit
$C$	elektrische Kapazität Wärmekapazität	$L_v$	Leuchtdichte	$w$	Energiedichte thermodynamische Wahr- scheinlichkeit
$C_m$	molare Wärmekapazität	$l$	Länge (Weglänge, Weg)	$X$	Blindwiderstand
$c$	Lichtgeschwindigkeit Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen spezifische Wärmekapazität	$M$	Drehmoment (Kraftmoment) molare Masse Massenzahl	$x$	Koordinate
$c_w$	Widerstandsbeiwert	$M_r$	relative Molekülmasse	$Y$	Scheinleitwert
$D$	elektrische Verschiebung	$m$	Masse magnetisches Dipolmoment	$y$	Koordinate Elongation
$d$	Durchmesser Dicke, Abstand	$N$	Anzahl, Windungszahl Neutronenzahl	$Z$	Scheinwiderstand Kernladungszahl
$E$	Elastizitätsmodul elektrische Feldstärke Bestrahlungsstärke	$N_A$	Avogadro-Konstante	$z$	Koordinate Anzahl Wertigkeit
$E_v$	Beleuchtungsstärke	$N_L$	Loschmidt-Konstante	$\alpha$	Winkelbeschleunigung Längenausdehnungs- koeffizient
$e$	elektrische Elementarladung	$n$	Stoffmenge Drehzahl Brechzahl Hauptquantenzahl		Winkel Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes Wärmeübergangskoeffizient Absorptionsgrad
$F$	Kraft Faraday-Konstante	$P$	Leistung	$\beta$	Winkel
$f$	Frequenz absolute Luftfeuchte	$p$	Druck; Schalldruck Impuls	$\gamma$	Winkel Gravitationskonstante Raumausdehnungskoeffizient Schiebung
$G$	Gewicht Schubmodul elektrischer Leitwert	$Q$	elektrische Ladung Wärmeenergie	$\delta$	Winkel Längenverhältnis Abklingkonstante
$g$	Fallbeschleunigung Feldstärke im Schwerfeld	$Q_v$	Lichtmenge	$\varepsilon$	Emissionsgrad Leistungszahl Dehnung Dielektrizitätskonstante
$H$	magnetische Feldstärke Enthalpie Heizwert	$q$	spezifische Schmelzwärme elektrische Ladung (zeitlich veränderlich)	$\varepsilon_0$	elektrische Feldkonstante
$h$	Höhe Plancksche Konstante	$R$	elektrischer Widerstand Gaskonstante	$\varepsilon_r$	Dielektrizitätszahl
$I$	elektrische Stromstärke Stromstärke (Volumenstrom) Strahlstärke	$R^*$	spezielle Gaskonstante	$\eta$	Wirkungsgrad dynamische Viskosität räumliche Ladungsdichte
$I_v$	Lichtstärke	$R_m$	magnetischer Widerstand	$\kappa$	Kompressibilität elektrische Leitfähigkeit Isentrophenexponent
$i$	elektrische Stromstärke (zeitlich veränderlich)	$R_1$	Wärmeleitwiderstand	$\lambda$	Wellenlänge Wärmeleitfähigkeit Zerfallskonstante
$J$	Massenträgheitsmoment Schallstärke	$r$	Radius, Abstand spezifische Verdampfungs- wärme		
$j$	Stromdichte	$S$	Entropie		
$K$	Kompressionsmodul Wiensche Konstante	$s$	Weg, Länge, Abstand		
$k$	Richtgröße (Federkonstante) Boltzmann-Konstante Polytropenexponent	$T$	Umlaufzeit, Periodendauer Temperatur (thermodyna- mische)		
		$t$	Zeit		
		$U$	Celsius-Temperatur elektrische Spannung innere Energie		
		$U_0$	Urspannung		
		$u$	elektrische Spannung (zeitlich veränderlich) Beweglichkeit		

$\mu$	Reibungszahl Masse eines Moleküls Permeabilität	$\sigma$	Normalspannung spezifische Oberflächenenergie (Oberflächenspannung) Wirkungsquerschnitt Stefan-Boltzmann-Konstante	$\Phi_v$	Lichtstrom
$\mu_0$	magnetische Feldkonstante	$\tau$	Schubspannung	$\varphi$	Winkel elektrisches Potential Phasenwinkel relative Luftfeuchte
$\mu_r$	Permeabilitätszahl	$\Phi$	Transmissionsgrad	$\varphi_{Gr}$	Gravitationspotential
$\nu$	kinematische Viskosität		magnetischer Fluß	$\Omega$	Raumwinkel
$\rho$	Dichte spezifischer elektrischer Widerstand Reflexionsgrad		Wärmestrom Strahlungsfluß	$\omega$	Kreisfrequenz Winkelgeschwindigkeit

## 2. Einheiten wichtiger Größen

Größe	Sym- bol	SI- Einheit	Beziehung zu den Basis- einheiten	SI-fremde Einheiten
<b>Länge</b>	$l, s$	m	m	
<b>Zeit</b>	$t$	s	s	min, h, d, a
<b>Masse</b>	$m$	kg	kg	$t = 10^3 \text{ kg}$
<b>Fläche</b>	$A$	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	
<b>Volumen</b>	$V$	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	$l = 1,000 \text{ dm}^3$
<b>Dichte</b>	$\rho$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	m <sup>-3</sup> kg	$\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
<b>Geschwindigkeit</b>	$v$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	m s <sup>-1</sup>	$\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}$
<b>Beschleunigung</b>	$a$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	m s <sup>-2</sup>	
<b>Winkel</b>	$\varphi$	rad	m m <sup>-1</sup> = 1	$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$
<b>Raumwinkel</b>	$\Omega$	sr	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> = 1	
<b>Winkel- geschwindigkeit</b>	$\omega$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$	s <sup>-1</sup>	$\text{min}^{-1} = \frac{1}{60} \text{ s}^{-1}$
<b>Winkel- beschleunigung</b>	$\alpha$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$	s <sup>-2</sup>	
<b>Frequenz</b>	$f$	Hz	s <sup>-1</sup>	$\text{min}^{-1} = \frac{1}{60} \text{ s}^{-1}$
<b>Kraft</b>	$F$	N	m s <sup>-2</sup> kg	(kp = 9,80665 N)
<b>Arbeit, Energie</b>	$W$	J = N m	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> kg	(kpm = 9,80665 J)
<b>Wärmeenergie, Enthalpie</b>	$Q$	J	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> kg	(kcal = 4186,8 J)
<b>Leistung</b>	$P$	$W = \frac{\text{J}}{\text{s}}$	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup> kg	$\left(\frac{\text{kpm}}{\text{s}} = 9,80665 \text{ W}\right)$
<b>Impuls</b>	$p$	$\frac{\text{kg m}}{\text{s}}$	m s <sup>-1</sup> kg	

## 2. Einheiten wichtiger Größen (Fortsetzung)

Größe	Sym- bol	SI- Einheit	Beziehung zu den Basis- einheiten	SI-fremde Einheiten
Druck	$p$	$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	$\text{m}^{-2} \text{s}^{-2} \text{kg}$	bar = $10^5$ Pa (at = 98 066,5 Pa) (atm = 101 325 Pa) (Torr = 133, 322 Pa)
Drehmoment	$M$	N m	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg}$	(kpm = 9,806 65 N)
Massenträgheits- moment	$J$	$\text{kg m}^2$	$\text{m}^2 \text{kg}$	
<b>Stromstärke</b>	$I$	A	A	
Ladung	$Q$	C = A s	s A	
Spannung	$U$	$V = \frac{W}{A}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-3} \text{kg A}^{-1}$	
Widerstand	$R$	$\Omega = \frac{V}{A}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-3} \text{kg A}^{-2}$	
Leitwert	$G$	$S = \frac{1}{\Omega}$	$\text{m}^{-2} \text{s}^3 \text{kg}^{-1} \text{A}^2$	
Elektrische Feldstärke	$E$	$\frac{V}{\text{m}} = \frac{N}{C}$	$\text{m s}^{-3} \text{kg A}^{-1}$	
Kapazität	$C$	$F = \frac{A s}{V}$	$\text{m}^{-2} \text{s}^4 \text{kg}^{-1} \text{A}^2$	
Magnetischer Fluß	$\Phi$	Wb = Vs	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg A}^{-1}$	
Magnetische Induktion	$B$	$T = \frac{Vs}{\text{m}^2}$	$\text{s}^{-2} \text{kg A}^{-1}$	
Magnetische Feldstärke	$H$	$\frac{A}{\text{m}}$	$\text{m}^{-1} \text{A}$	
Induktivität	$L$	$H = \frac{Vs}{A}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg A}^{-2}$	
<b>Temperatur</b> (thermo- dynamische)	$T$	K	K	$^{\circ}\text{C}$
Entropie	$S$	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg K}^{-1}$	$\left(\frac{\text{kcal}}{\text{K}} = 4 186,8 \frac{\text{J}}{\text{K}}\right)$
Stoffmenge	$n$	mol	mol	kmol = $10^3$ mol
Molare Masse	$M$	$\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$	$\text{kg mol}^{-1}$	$\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$
Lichtstärke	$I_v$	cd	cd	

### 3. Vorsätze zur Bildung von dezimalen Vielfachen und Teilen der Einheiten

Vorsatz	Vorsatzzeichen	Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird
Exa	E	$10^{18}$
Peta	P	$10^{15}$
Tera	T	$10^{12}$
Giga	G	$10^9$
Mega	M	$10^6$
Kilo	k	$10^3$
Hekto	h	$10^2$
Deka	da	10
Dezi	d	$10^{-1}$
Zenti	c	$10^{-2}$
Milli	m	$10^{-3}$
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$
Nano	n	$10^{-9}$
Piko	p	$10^{-12}$
Femto	f	$10^{-15}$
Atto	a	$10^{-18}$

Die Vorsätze Hekto, Dekka, Dezi und Zenti sollen nur noch zur Bezeichnung von solchen Vielfachen und Teilen von Einheiten verwendet werden, die bereits üblich sind.

### 4. Umrechnen von Einheiten

#### 4.1. Winkleinheiten

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \qquad 1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

#### 4.2. Einheiten für Kraft, Arbeit, Leistung und Druck

$$\begin{array}{ll}
 1 \text{ kp} & = 9,81 \text{ N} \\
 1 \text{ kp m} & = 9,81 \text{ J} \\
 1 \text{ kcal} & = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J} \\
 1 \text{ kWh} & = 3,60 \cdot 10^6 \text{ J} \\
 1 \text{ eV} & = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\
 1 \text{ J} & = 1 \text{ N m} = 1 \text{ W s}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 1 \text{ kp m s}^{-1} & = 9,81 \text{ W} \\
 1 \text{ PS} & = 736 \text{ W} \\
 1 \text{ mbar} & = 10^2 \text{ Pa} \\
 1 \text{ at} & = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} \\
 1 \text{ atm} & = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\
 1 \text{ Torr} & = 133,3 \text{ Pa} \\
 1 \text{ mm WS} & = 9,81 \text{ Pa}
 \end{array}$$

## 5. Gleichungen

Durchschnittsgeschwindigkeit

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Momentangeschwindigkeit

$$v = \frac{ds}{dt} = \dot{s} \quad (2.1')$$

Geschwindigkeit bei gleichförmiger Bewegung

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.1'')$$

Durchschnittsbeschleunigung

$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Momentanbeschleunigung

$$a = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \frac{d^2s}{dt^2} = \ddot{s} \quad (2.2')$$

Geschwindigkeit

$$v = v_0 + at \quad (2.6)$$

Weg

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (2.7)$$

Weg

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (2.8)$$

Weg

$$s = \frac{v_0 + v}{2} t \quad (2.9)$$

Weg

$$s = vt - \frac{1}{2} at^2 \quad (2.10)$$

ebener Winkel

$$\varphi = \frac{s_B}{r} \quad (2.11)$$

Frequenz (Drehzahl) bei gleichförmiger Drehbewegung

$$f = n = \frac{z}{\Delta t} \quad (2.12)$$

Periodendauer (Umlaufzeit)

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.13)$$

Durchschnittswinkelgeschwindigkeit

$$\omega_m = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad (2.14)$$

momentane Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi} \quad (2.14')$$

Durchschnittswinkelbeschleunigung

$$\alpha_m = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad (2.15)$$

momentane Winkelbeschleunigung

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \ddot{\varphi} \quad (2.15')$$

Kreisfrequenz (Winkelgeschwindigkeit)

$$\omega = 2\pi f \quad (2.16)$$

Drehwinkel bei gleichförmiger Drehbewegung

$$\varphi = \omega t \quad (2.17)$$

Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (2.18)$$

Drehwinkel

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (2.19)$$

bei gleichmäßig  
beschleunigter  
Bewegung

Weg	} bei Kreisbewegung	$s_B = \varphi r$	(2.11')
Bahngeschwindigkeit		$v_B = \omega r$	(2.21)
Bahnbeschleunigung		$a_B = \alpha r$	(2.22)
Radialbeschleunigung		$a_r = \frac{v_B^2}{r}$	(2.25)
		$a_r = \omega^2 r$	(2.25')
Dichte		$\rho = \frac{m}{V}$	(3.3)
Grundgleichung der Dynamik		$F = ma$	(3.4)
Gewichtskraft		$G = mg$	(3.6)
Gravitationskraft		$F_{Gr} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$	(3.7)
Federkraft		$F_F = -k \Delta s$	(3.16)
Reibungskraft		$F_R = \mu F_N$	(3.17)
Betrag der Trägheitskraft im beschleunigten Bezugssystem		$F_T = ma$	(3.23)
Radialkraft auf Massenpunkt		$F_r = m \frac{v_B^2}{r}$	(3.25)
		$F_r = m\omega^2 r$	(3.25')
mechanische Arbeit bei konstanter Kraft		$W = Fs \cos \alpha$	(3.29)
Hubarbeit, potentielle Energie im Schwerfeld		$W_H = mgh = W_{pH}$	(3.30)
Spannarbeit, potentielle Energie der Feder		$W_F = \frac{1}{2} ks^2 = W_{pF}$	(3.31)
Reibungsarbeit		$W_R = \mu F_N s$	(3.32)
Beschleunigungsarbeit, kinetische Energie		$W_B = \frac{1}{2} mv^2 = W_k$	(3.37)
Durchschnittsleistung		$P_m = \frac{\Delta W}{\Delta t}$	(3.40)
Momentanleistung		$P = \frac{dW}{dt}$	(3.40')
		$P = Fv$	(3.40'')
Wirkungsgrad		$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$	(3.41)
		$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$	(3.41')
Impuls		$p = mv$	(3.43)
Kraftstoß bei konstanter Kraft		$F \Delta t = \Delta p$	(3.45)
Momentankraft		$F = \frac{dp}{dt} = \dot{p}$	(3.46')

Geschwindigkeit nach unelastischem Stoß

$$v_n = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (3.48)$$

Geschwindigkeiten nach elastischem Stoß

$$v_{n1} = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \quad (3.49)$$

$$v_{n2} = v_2 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} + v_1 \frac{2m_1}{m_1 + m_2}$$

Drehmoment

$$M = Fr \sin \alpha \quad (3.51')$$

Massenträgheitsmoment

$$J = \int_{(m)} r^2 dm \quad (3.58')$$

Satz von Steiner

$$J_A = J_S + m s^2 \quad (3.59)$$

Grundgleichung der Dynamik bei Rotation

$$M = J \alpha \quad (3.60)$$

Arbeit bei Rotation

$$W_{\text{rot}} = M \varphi \quad (3.61)$$

Winkelrichtgröße

$$k' = \left| \frac{M}{\varphi} \right| \quad (3.62)$$

Verdrillungsarbeit, potentielle Energie der Drehfeder

$$W_F = \frac{1}{2} k' \varphi^2 \quad (3.63)$$

Beschleunigungsarbeit bei Rotation, Rotationsenergie

$$W_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (3.64)$$

Momentanleistung bei Rotation

$$P_{\text{rot}} = M \omega \quad (3.65)$$

Drehimpuls

$$L = J \omega \quad (3.67)$$

Antrieb (Drehmomentstoß)

$$M \Delta t = \Delta L \quad (3.68)$$

momentanes Drehmoment

$$M = \frac{dL}{dt} = \dot{L} \quad (3.69)$$

Druck

$$p = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

statischer Druck = Kolbendruck + Schweredruck

$$p_{\text{stat}} = p_K + p_S \quad (4.2)$$

Kräfte bei hydraulischer Presse

$$F_1 : F_2 = A_1 : A_2 \quad (4.3)$$

Gesetz von Boyle und Mariotte

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (4.4)$$

Schweredruck in Flüssigkeiten

$$p_S = \rho g h \quad (4.6)$$

Gasdruck im Schwerfeld

$$p = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}} \quad (4.7)$$

Überdruck

$$p_U = p_{\text{Gas}} - p_L \quad (4.10)$$

Auftriebskraft

$$F_A = \rho_F g V_F \quad (4.11)$$

Gleichgewicht bei schwimmendem Körper

$$F_A = G_K = G_F \quad (4.12)$$

Kontinuitätsgleichung

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (4.13)$$

Stromstärke bei stationärer Strömung

$$I = \frac{V}{t} = Av \quad (4.14')$$

Bernoullische Gleichung

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (4.15')$$



Stromstärke im langen Rohr bei laminarer Strömung	$I = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta \Delta l}$	(4.20)
Kraft auf laminar umströmte Kugel	$F = 6\pi\eta r v$	(4.21)
Strömungswiderstand für einen umströmten Körper	$F_W = \frac{1}{2} \rho v^2 c_W A$	(4.22)
molare Masse	$M = \frac{m}{n}$	(5.2)
Avogadro-Konstante	$N_A = \frac{N}{n}$	(5.4)
molares Volumen	$V_m = \frac{V}{n}$	(5.5)
Loschmidt-Konstante	$N_L = \frac{N_A}{V_{m0}}$	(5.6)
spezifisches Volumen	$v = \frac{V}{m}$	(5.8)
mittlere kinetische Energie der Gasmoleküle	$\overline{W}_{\text{kin}} = \frac{3}{2} kT$	(5.11)
Gaskonstante	$R = N_A k$	(5.12)
Zustandsgleichung des idealen Gases	$pV = \frac{m}{M} RT$	(5.13)
Celsius-Temperatur	$t_{/C} = T_{/K} - 273,15$	(6.1)
Temperaturdifferenz	$\Delta t = \Delta T$	(6.1')
Längenänderung	$\Delta l = \alpha l_1 \Delta T$	(6.2)
Volumenänderung	$\Delta V = \gamma V_1 \Delta T$	(6.3)
Raumausdehnungskoeffizient	$\gamma \approx 3\alpha$	(6.4)
Wärmemenge (Wärmeenergie)	$Q = cm \Delta T$	(6.6)
Wärmeenergie bei Verbrennung fester und flüssiger Brennstoffe	$Q = Hm$	(6.9)
Wärmeenergie bei Verbrennung gasförmiger Brennstoffe	$Q = H'V$	(6.9')
1. Hauptsatz der Thermodynamik	$dQ = dU + dW$	(6.10)
Ausdehnungsarbeit	$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$	(6.11')
1. Hauptsatz bei Volumenänderung	$dQ = dU + p dV$	(6.12)
Zustandsgleichung des idealen Gases	$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$	(6.13)
Wärmezufuhr bei isothermer Zustandsänderung	$Q = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	(6.16)
Ausdehnungsarbeit bei isothermer Zustandsänderung	$W = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	(6.17)

Wärmeenergie bei isochorer Zustandsänderung

$$Q = c_v m \Delta T \quad (6.20)$$

innere Energie des idealen Gases

$$U = c_v m T \quad (6.21')$$

Wärmezufuhr bei isobarer Zustandsänderung

$$Q = c_p m \Delta T \quad (6.23)$$

Ausdehnungsarbeit bei isobarer Zustandsänderung

$$W = p(V_2 - V_1) \quad (6.24)$$

Mayersche Gleichung

$$c_p - c_v = \frac{R}{M} \quad (6.25)$$

Isentropenexponent

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (6.29)$$

Volumen-Temperatur-Beziehung  
bei isentroper Zustandsänderung

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} \quad (6.30)$$

Druck-Temperatur-Beziehung  
bei isentroper Zustandsänderung

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (6.31)$$

Druck-Volumen-Beziehung  
bei isentroper Zustandsänderung

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa} \quad (6.32)$$

Ausdehnungsarbeit  
bei isentroper Zustandsänderung

$$W = \frac{mR}{M(\kappa-1)}(T_1 - T_2) \quad (6.33)$$

polytrope Zustandsänderung

Es gelten (6.30)...(6.33) mit  $\kappa \rightarrow k$ 

thermischer Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (6.40)$$

Enthalpie

$$H = U + pV \quad (6.43)$$

1. Hauptsatz

$$dQ = dH - V dp \quad (6.44)$$

Entropie

$$S = k \ln w \quad (6.45)$$

Entropieänderung

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (6.46')$$

Entropieänderung des idealen Gases

$$\Delta S = c_v m \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (6.47)$$

2. Hauptsatz

$$\Delta S \geq 0 \quad (6.48)$$

spezifische Schmelzwärme

$$q = \frac{Q_{sm}}{m} \quad (6.50)$$

spezifische Verdampfungswärme

$$r = \frac{Q_{sd}}{m} \quad (6.50')$$

van-der-Waals'sche Zustandsgleichung  
für reale Gase

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (6.51)$$

relative Luftfeuchte

$$\varphi = \frac{f}{f_{\max}} \quad (6.53)$$

Wärmeleitung durch eine ebene Wand

$$Q = \lambda \frac{At \Delta T}{l} \quad (6.54)$$

Wärmeübergang

$$Q = \alpha At \Delta T \quad (6.58)$$

Wärmedurchgang

$$Q = kAt \Delta T \quad (6.59)$$

Wärmedurchgangskoeffizient bei Wärmedurchgang durch eine Wand	$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{l}{\lambda}$	(6.80)
Ladung bei Gleichstrom	$Q = It$	(7.2')
elektrische Spannung	$U = \frac{\Delta W}{Q}$	(7.3)
elektrischer Widerstand	$R = \frac{U}{I}$	(7.7)
elektrischer Widerstand (Bemessungsgleichung)	$R = \frac{\rho l}{A}$	(7.8)
elektrische Leistung bei Gleichstrom	$P = UI$	(7.11)
	$P = RI^2 = \frac{U^2}{R}$	(7.11')
elektrische Arbeit bei Gleichstrom	$W = UI t$	(7.12)
1. Kirchhoffsches Gesetz (Knotenpunktsatz)	$\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$	(7.13)
2. Kirchhoffsches Gesetz (Maschensatz)	$\sum_{\mu=1}^m U_{0\mu} = \sum_{\nu=1}^n U_{\nu}$	(7.14)
Klemmenspannung	$U_k = U_0 - IR_1$	(7.15)
Stromstärke im einfachen Stromkreis	$I = \frac{U_0}{R_a + R_1}$	(7.16)
Ersatzwiderstand für $n$ hintereinandergeschaltete Widerstände	$R_{ers} = \sum_{\nu=1}^n R_{\nu}$	(7.17)
Ersatzwiderstand für $n$ parallelgeschaltete Widerstände	$R_{ers} = \left( \sum_{\nu=1}^n \frac{1}{R_{\nu}} \right)^{-1}$	(7.19)
Coulombsches Gesetz	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ'}{r^2}$	(8.1)
Kraft auf Ladungsträger im elektrischen Feld	$F = Q'E$	(8.2)
Feldstärke in der Umgebung einer Punktladung	$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$	(8.3)
Feldstärke im homogenen Feld des Plattenkondensators	$E = \frac{U}{d}$	(8.5')
elektrische Verschiebung im homogenen Feld	$D = \frac{Q}{A}$	(8.6)
elektrische Verschiebung und Feldstärke im Vakuum	$D = \epsilon_0 E$	(8.7)
Ladung eines Kondensators	$Q = CU$	(8.8)
Kapazität des leeren oder luftgefüllten Plattenkondensators	$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$	(8.9)
Energieinhalt einer Leiteranordnung mit Kapazität	$W = \frac{1}{2} CU^2$	(8.10)

Entladungsgesetz des Kondensators

$$u_C = U_{C0} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (8.11)$$

Ersatzkapazität für  $n$  parallelgeschaltete Kondensatoren

$$C_{\text{ers}} = \sum_{v=1}^n C_v \quad (8.13)$$

Ersatzkapazität für  $n$  hintereinandergeschaltete Kondensatoren

$$C_{\text{ers}} = \left( \sum_{v=1}^n \frac{1}{C_v} \right)^{-1} \quad (8.14)$$

Kapazität des stoffgefüllten Plattenkondensators

$$C_m = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (8.9')$$

elektrische Verschiebung und Feldstärke im stoffgefüllten Feld

$$D = \epsilon_r \epsilon_0 E \quad (8.7')$$

Dielektrizitätskonstante

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (8.16)$$

magnetische Feldstärke im Inneren einer langen geraden Spule

$$H = \frac{N}{l} I \quad (8.17)$$

Feldstärke um einen langen geraden Leiter

$$H(r) = \frac{I}{2\pi r} \quad (8.18)$$

magnetische Flußdichte und Feldstärke im Vakuum

$$B = \mu_0 H \quad (8.20)$$

magnetischer Fluß im homogenen Feld

$$\Phi = B_n A \quad (8.21')$$

Lorentzkraft

$$F = Q' v B \sin(\mathbf{v}, \mathbf{B}) \quad (8.22')$$

Induktionsspannung im bewegten Leiter

$$U_1 = l v B \sin(\mathbf{v}, \mathbf{B}) \quad (8.24)$$

Induktionsgesetz

$$U_1 = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (8.25)$$

selbstinduzierte Spannung

$$U_1 = -L \frac{dI}{dt} \quad (8.26)$$

Induktivität einer langen leeren Spule

$$L = \mu_0 N^2 \frac{A}{l} \quad (8.27)$$

magnetische Energie einer Leiteranordnung mit Induktivität

$$W_{\text{magn}} = \frac{1}{2} LI^2 \quad (8.28)$$

magnetische Flußdichte im stoffgefüllten Feld

$$B = \mu_r \mu_0 H \quad (8.20')$$

Permeabilität

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (8.30)$$

magnetischer Fluß durch unterschiedliche Stoffe

$$\Phi = \frac{NI}{\frac{l_1}{\mu_1 A_1} + \frac{l_2}{\mu_2 A_2}} \quad (8.31)$$

Drehmoment auf stromführende Spule im Magnetfeld

$$M = NI\Phi \cos \varphi \quad (8.35)$$

momentane Leistung

$$P_{\text{mech}} = NI\Phi \omega \cos \omega t \quad (8.36)$$

Beweglichkeit

$$u = \frac{v}{E} \quad (9.1)$$

räumliche Ladungsdichte

$$\eta = \frac{dQ}{dV} \quad (9.2)$$

elektrische Leitfähigkeit

$$\kappa = \eta_+ u_+ + \eta_- u_- \quad (9.3)$$

2. Faradaysches Gesetz	$Q = zF \frac{m}{M}$	(9.4')
Faraday-Konstante	$F = N_A e$	(9.5)
Augenblickswert der Größe $y$ bei Sinusschwingung	$y = y_m \sin(\omega t + \varphi)$	(10.1)
Geschwindigkeit bei mechanischer Sinusschwingung	$v = \omega y_m \cos(\omega t + \varphi)$	(10.2)
Beschleunigung bei mechanischer Sinusschwingung	$a = -\omega^2 y_m \sin(\omega t + \varphi)$	(10.3)
Maximalwert der Geschwindigkeit	$v_m = \omega y_m$	(10.2')
Maximalwert der Beschleunigung	$a_m = \omega^2 y_m$	(10.3'')
Kraft bei mechanischer Sinusschwingung	$F = -m\omega^2 y_m \sin(\omega t + \varphi)$	(10.4)
Richtgröße	$k = m\omega^2$	(10.5)
Eigenfrequenz der mechanischen Sinusschwingung	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$	(10.7)
Winkelrichtgröße	$k' = \left  \frac{M}{\varepsilon} \right $	(10.8)
Frequenz bei Drehschwingungen	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k'}{J_A}}$	(10.9)
Energie der mechanischen Sinusschwingung	$W = \frac{1}{2} k y_m^2$	(10.11)
Effektivwert einer sinusförmigen Größe	$y_{\text{eff}} = \frac{y_m}{\sqrt{2}}$	(10.12)
Augenblickswert der Größe $y$ bei gedämpfter Sinusschwingung	$y = y_0 e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi)$	(10.13)
Frequenz des physischen Pendels für kleine Drehwinkel	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{mgs}{J_A}}$	(10.15)
Frequenz des Fadenpendels für kleine Amplitude	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$	(10.15')
Eigenfrequenz des elektrischen Schwingkreises	$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}}$	(10.19)
Wechselspannung	$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$	(10.20)
Wechselstromstärke	$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$	(10.21)
Phasenverschiebung	$\varphi = \varphi_i - \varphi_u$	(10.22)
kapazitiver Widerstand	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	(10.23)
induktiver Widerstand	$X_L = \omega L$	(10.24)
Scheinwiderstand im Wechselstromkreis	$Z = \frac{U}{I}$	(10.25)
Scheinwiderstand bei Reihenschaltung	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	(10.26)

Zusammenhang zwischen Phasenverschiebung und Blindwiderständen bei Reihenschaltung

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (10.27)$$

Zusammenhang zwischen Phasenverschiebung und Blindleitwerten bei Parallelschaltung

$$\tan \varphi = \frac{B_C - B_L}{G} \quad (10.29)$$

Wirkleistung im Wechselstromkreis

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R \quad (10.30)$$

Blindleistung im Wechselstromkreis

$$P_q = UI \sin \varphi \quad (10.31)$$

Zusammenhang zwischen Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung

$$P_s = \sqrt{P^2 + P_q^2} \quad (10.32)$$

Scheinleistung im Wechselstromkreis

$$P_s = UI \quad (10.33)$$

Wirkleistung bei Drehstrom

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (10.51)$$

Augenblickswert bei linearer Sinuswelle

$$y = y(t, x) = y_m \sin \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) \quad (11.1)$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle

$$c = \lambda f \quad (11.2)$$

Brechungsgesetz

$$\sin \alpha_1 : \sin \alpha_2 = c_1 : c_2 \quad (11.5)$$

Grenzwinkel der Totalreflexion

$$\sin \alpha_T = \frac{c_1}{c_2} \quad (11.6)$$

Strahlungsleistung

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad (11.7)$$

Strahlstärke

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (11.11)$$

Raumwinkel

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (11.12)$$

Strahldichte

$$L = \frac{dI}{dA_Q} \quad (11.13)$$

Energiedichte

$$w = \frac{dW}{dV} \quad (11.14)$$

Bestrahlungsstärke

$$E = \frac{d\Phi}{dA_E} \quad (11.15)$$

Zusammenhang zwischen Bestrahlungsstärke und Energiedichte

$$E = wc \quad (11.17)$$

Abstandsgesetz bei Kugelwelle

$$w_1 : w_2 = r_2^2 : r_1^2 \quad (11.20)$$

Schallgeschwindigkeit in Luft

$$c_{L/m s^{-1}} = 331,6 + 0,6 t / ^\circ C \quad (11.23')$$

Schallintensitätspegel

$$L_{/dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0} \quad (11.28)$$

Schalldruckpegel

$$L_{/dB} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (11.28')$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen

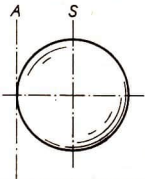
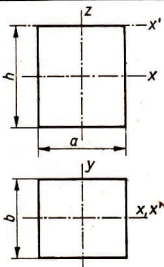
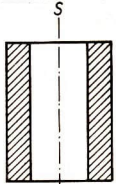
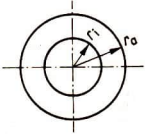
$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (11.30')$$

Brechzahl (Brechungsindex)

$$n = \frac{c_0}{c} \quad (11.32)$$

Brechungsgesetz von Snellius	$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}$	(11.5')
Leuchtdichte	$L = \frac{I}{\Delta A \cos \alpha}$	(11.33)
Lichtstärke eines ebenen Strahlers	$I_{\alpha} = L \Delta A \cos \alpha$	(11.34)
Lichtstrom bei winkelunabhängiger Lichtstärke	$\Phi = I \Omega$	(11.35')
Beleuchtungsstärke	$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta A_E}$	(11.37)
Beleuchtungsstärke bei schrägem Lichteinfall	$E_{/lx} = \frac{I_{cd} \cos \alpha}{(r/m)^2}$	(11.37')
Energie eines Strahlungsquants	$W = hf$	(12.1)
relativistische Masse	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$	(12.2)
Masse-Energie-Beziehung	$W = mc^2$	(12.3)
Masse eines Photons	$m = \frac{hf}{c^2}$	(12.7)
Impuls eines Photons	$p = \frac{hf}{c}$	(12.8)
Energiebilanz beim Foto-Effekt	$hf = W_A + \frac{1}{2} m_e v^2$	(12.9)
Grenzfrequenz des Foto-Effekts	$f_g = \frac{W_A}{h}$	(12.10)
de-Broglie-Wellenlänge	$\lambda = \frac{h}{mv}$	(12.11)
Wiedemann-Franz'sches Gesetz	$\lambda = \alpha T \kappa$	(12.13)
Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes	$\varrho_2 = \varrho_1(1 + \alpha \Delta T)$	(12.14)
Wiensches Verschiebungsgesetz	$\lambda_{\max} T = K$	(12.18)
Stefan-Boltzmann'sches Strahlungsgesetz	$\Phi = \varepsilon \sigma \Delta T^4$	(12.19')
Energiebilanz bei Röntgenstrahlung	$\frac{1}{2} m v^2 = eU$	(12.20)
Grenzfrequenz bei der Röntgenbremsstrahlung	$f_g = \frac{eU}{h}$	(12.22)
Massenzahl	$A = Z + N$	(12.23)
Zerfallsgesetz	$N = N_0 e^{-\lambda t}$	(12.25)
Halbwertszeit	$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	(12.26)
Aktivität	$A = \lambda N = \frac{N}{T_{1/2}} \ln 2$	(12.27)

Gleichungen zur Berechnung von Masse  $m$  und Massenträgheitsmoment  $J$  um verschiedene Achsen einiger Körper

Körper	Masse	Massenträgheitsmoment
<p>Kugel</p> 	$m = \frac{4}{3} \pi \rho r^3$	$J_S = \frac{2}{5} m r^2$ $J_A = \frac{7}{5} m r^2$
<p>Quader</p> 	$m = \rho a b h$	$J_x = \frac{1}{12} m (b^2 + h^2)$ $J_y = \frac{1}{12} m (a^2 + h^2)$ $J_z = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2)$ $J_{x'} = \frac{1}{12} m (b^2 + 4h^2)$
<p>Dünner Stab (Länge <math>l</math>, Querschnittsfläche <math>A</math>, Seiten <math>a, b</math> bzw. Radius <math>r</math>; <math>a, b, r \ll l</math>) Lage der Achsen wie im Quader</p>	$m = \rho A h$	$J_x = J_y = \frac{1}{12} m l^2$ $J_{x'} = \frac{1}{3} m l^2$
<p>Hohlzylinder</p> 	$m = \pi \rho (r_a^2 - r_i^2) h$ <p>bei geringer Wanddicke (<math>r_m = \frac{r_a + r_i}{2}</math>; <math>r_a - r_i \ll r_m</math>)</p> $m = 2\pi \rho h r_m (r_a - r_i)$	$J_S = \frac{1}{2} m (r_a^2 + r_i^2)$ $J_S = m r_m^2$
<p>Vollzylinder</p> 	$m = \pi \rho r^2 h$	$J_S = \frac{1}{2} m r^2$



## 6. Physikalische Konstanten

	Gravitationskonstante	$\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
	Normfallbeschleunigung	$g_n = 9,80665 \text{ m s}^{-2}$
	Gaskonstante	$R = 8314,4 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
	Molares Normvolumen des idealen Gases	$V_{\text{mo}} = 22,4138 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$
	Avogadro-Konstante	$N_A = 6,02205 \cdot 10^{23} \text{ kmol}^{-1}$
	Loschmidt-Konstante	$N_L = 2,68675 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$
	Boltzmann-Konstante	$k = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
	Elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
	Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$
	Elektrische Elementarladung	$e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
	Spezifische Ladung des Elektrons	$e/m_e = 1,758805 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$
	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
	Faraday-Konstante	$F = 9,64846 \cdot 10^7 \text{ C kmol}^{-1}$
	Planck-Konstante	$h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
	Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
	Wien-Konstante	$K = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$
	Ruhmasse des Elektrons	$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
	Ruhmasse des Protons	$m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
	Ruhmasse des Neutrons	$m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
	Atomare Masseneinheit	$u = 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Erdradius	6378 km	
Erdmasse	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	
Sonne—Erde	$1,495 \cdot 10^8 \text{ km}$	
Sonnenradius	$6,96 \cdot 10^5 \text{ km}$	
Sonnenmasse	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	
Erde—Mond	$3,84 \cdot 10^5 \text{ km}$	
Mondradius	1738 km	
Mondmasse	$7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	

## 7. Tabellen

\* bedeutet, daß der Wert stark schwankt; es wird ein Durchschnittswert angegeben.

## 7.1. Dichte fester Stoffe

Stoff	$\rho/\text{kg dm}^{-3}$	Stoff	$\rho/\text{kg dm}^{-3}$	Stoff	$\rho/\text{kg dm}^{-3}$
Aluminium	2,70	Kohlenstoff:		PVC	1,4*
Blei	11,34	Diamant	3,51	Sand, feucht	2,0*
Chrom	6,92	Graphit	2,25	Sand, trocken	1,5*
Eis bei 0°C	0,917	Braunkohle	1,3*	Schwefel, rhombisch	2,07
Eisen	7,86	Steinkohle	1,3*	Schwefel, monoklin	1,96
Glas	2,5*	Kork	0,3*	Silber	10,49
Bleiglas	2,90	Kupfer	8,92	Silizium	2,33
Gold	19,3	Magnesium	1,74	Uran	19,0
Granit	2,8*	Mangan	7,20	Wismut	9,80
Grauguß	7,2	Natrium	0,97	Wolfram	19,3
Gummi	1,1*	Nickel	8,90	Ziegel	1,6*
Holz	0,5*	Phosphor, weiß	1,82	Zink	7,13
Kalium	0,86	Platin	21,45	Zinn	7,28
Kobalt	8,9	Polystyrol	1,1*		

## 7.2. Dichte von Flüssigkeiten

Stoff	$\rho/\text{kg dm}^{-3}$	Stoff	$\rho/\text{kg dm}^{-3}$
Äthylalkohol (Äthanol)	0,789	Tetrachlorkohlenstoff (Tetrachlormethan)	1,598
Azeton (Propanon)	0,791	Toluol (Methylbenzol)	0,866
Benzin	0,72*	Wasser	
Benzol	0,88	bei 4 °C	0,999973
Dieselöl	0,87*	bei 10 °C	0,999700
Glyzerin	1,26	bei 20 °C	0,998203
(Propantriol)		bei 50 °C	0,9981
Methylalkohol (Methanol)	0,792	bei 100 °C	0,9583
Quecksilber	13,55	Meerwasser	1,02

7.3. Dichte von Gasen  
(bei 0 °C, 101,325 kPa)

Stoff	$\rho/\text{kg m}^{-3}$
Ammoniak	0,771
Azetylen (Äthin)	1,171
Helium	0,179
Kohlendioxid	1,977
Luft	1,293
Methan	0,717
Propan	2,004
Sauerstoff	1,429
Schwefeldioxid	2,926
Stadtgas	0,6*
Stickstoff	1,251
Wasserstoff	0,090

7.4. Dichte trockener Luft  $\rho/\text{kg m}^{-3}$   
in Abhängigkeit von Druck und Temperatur

$p/\text{kPa} \rightarrow$	94	96	98	100	101,325	102	104
$p/\text{Torr} \rightarrow$	705	720	735	750	760	765	780
$t/^\circ\text{C} \downarrow$							
0	1,200	1,225	1,251	1,276	1,293	1,302	1,327
5	1,178	1,203	1,229	1,253	1,270	1,278	1,303
10	1,157	1,182	1,207	1,231	1,248	1,256	1,280
15	1,137	1,161	1,186	1,210	1,226	1,234	1,258
20	1,118	1,141	1,166	1,189	1,205	1,213	1,236
25	1,099	1,122	1,146	1,169	1,185	1,193	1,216
30	1,080	1,104	1,126	1,149	1,165	1,173	1,196

## 7.5. Reibungszahlen

## 7.5.1. Haftreibungs- und Gleitreibungszahl

Stoffpaar	Haftreibungszahl $\mu_0$		Gleitreibungszahl $\mu_G$		
	trocken	geschmiert	trocken	geschmiert	mit Wasser
Stahl/Stahl	0,15*	0,11*	0,06*	0,009*	
Lederriemen/Guß Eisen	0,6*	0,2*	0,28*	0,14*	0,38*
Lederriemen/Holz	0,47*		0,27*		
Metall/Holz	0,55*	0,1*	0,4*	0,05*	0,25*
Holz/Holz	0,57*		0,3*	0,10*	0,25*

## 7.5.2. Fahrwiderstandszahl

	$\mu_F$
Eisenbahn	0,002*
Straßenbahn	0,006*
Auto auf Asphalt	0,022*
Auto auf Pflaster	0,04*
Fuhrwerk auf gutem Erdweg	0,05*

## 7.6. Elastizitätswerte

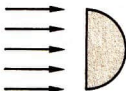
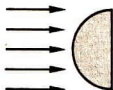
Stoff	E Elastizitätsmodul		K Kompressionsmodul	
	$E/10^{11}\text{Pa}$	$G/10^{11}\text{Pa}$	$K/10^{10}\text{Pa}$	$\kappa/10^{-10}\text{Pa}^{-1}$
Aluminium	0,73	0,26	7,1	0,14
Gußeisen	0,75	0,3	7,7	0,13
Kupfer	1,2	0,45	14,3	0,07
Messing	1,03	0,42	10	0,1
Silber	0,79	0,29	10	0,1
Stahl-, Feder-	2,2	0,85	5,3	0,19
Chromnickel-	2,0	0,83		
Wasser			0,2	5,0
Äthanol			0,085	11,7
Benzol			0,103	9,7
Quecksilber			2,6	0,38

## 7.7. Dynamische Viskosität von Flüssigkeiten und Gasen bei 20°C

Stoff	$\eta/\text{cP}$	$\eta/\text{Pa}\cdot\text{s}$
Äthanol	1,16	0,00116
Benzol	0,649	$6,49 \cdot 10^{-4}$
Glyzerin (Propantriol)	1470	1,47
Luft	0,0182	$1,82 \cdot 10^{-5}$
Quecksilber	1,554	0,001554
Schwefelsäure	29	0,029
Wasser	1,005	0,001005

## 7.8. Widerstandsbeiwert

Körper	$c_w$
Halbkugel (hinten offen) (oberes Bild)	0,34
Halbkugel (vorn offen) (unteres Bild)	1,33
Kugel	0,4
Stromlinienkörper	0,06
Personenkraftwagen	0,4 *
Lastkraftwagen	0,9 *



## 7.9. Wärmewerte fester Stoffe

<i>M</i>	molare Masse (Zahlenwert = relative Molekülmasse)	Stoff	$M$ /kg kmol <sup>-1</sup>	$\alpha$ /10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	$c$ /kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	$c$ /kcal kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$\lambda$	Längenausdehnungs- koeffizient (0...100°C)	Aluminium	27	23	0,896	0,214
$c$	spezifische Wärmekapazität	Blei	207	29	0,130	0,031
$t_{sm}$	Schmelzpunkt	Eis (0°C)	18	51	2,09	0,50
$t_s$	Siedepunkt	Eisen	56	12	0,465	0,111
$q$	spezifische Schmelzwärme	Stahl	—	14*	0,477*	0,114*
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit bei 20°C	Kupfer	63,5	15	0,385	0,092
		Messing	—	18	0,385	0,092
		Platin	195	9	0,134	0,032
		Silber	108	20	0,234	0,056
		Zink	65	35	0,389	0,093
		Zinn	119	27	0,218	0,052
		Invar	—	2	—	—
		Glas	—	10*	0,80*	0,19*
		Labortherm G	—	4,7	0,791	0,189

## 7.10. Wärmewerte von Flüssigkeiten

$\gamma$	Raumausdehnungs- koeffizient (20°C)	Stoff	$\gamma$ /10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	$c$ /kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	$c$ /kcal kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$c$	spezifische Wärmekapazität	Äthanol	1,10	2,43	0,58
$t_c$	Erstarrungspunkt	Azeton (Propanon)	1,43	2,13	0,51
$t_s$	Siedepunkt	Benzin	—	—	—
$r$	spezifische Verdampfungs- wärme für Umwandlungs- temperatur bei 101,325 kPa	Benzol	1,06	1,72	0,41
		Diesöl	—	—	—
$q$	spezifische Erstarrungswärme für Umwandlungs- temperatur bei 101,325 kPa	Glyzerin	0,50	2,43	0,58
		Quecksilber	0,18	0,14	0,033
		Tetrachlormethan	1,22	0,84	0,20
$H$	Heizwert	Toluol	1,11	1,72	0,41
		Wasser (20°C)	0,18	4,18	0,999
		Wasser (4°C)	—	4,19	1,000

## 7.11. Wärmewerte von Gasen bei 0°C und 101,325 kPa

<i>M</i>	molare Masse (Zahlenwert = relative Molekülmasse)	Stoff	$M$ /kg kmol <sup>-1</sup>	$c_p$ /kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	$c_p$ /kcal kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$c_p$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	Ammoniak	17,03	2,05	0,489
$c_v$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen	Argon	39,95	0,52	0,125
$\kappa$	Isentropenexponent	Helium	4,003	5,24	1,251
$t_s$	Siedepunkt	Kohlendioxid	44,01	0,82	0,196
$r$	spezifische Verdampfungs- wärme	Kohlenmonoxid	28,01	1,04	0,249
$H'$	Heizwert	Luft (29,0)	(29,0)	1,00	0,240
		Methan	16,04	2,15	0,514
		Propan	44,10	—	—
		Sauerstoff	32,00	0,92	0,219
		Schwefeldioxid	64,00	0,61	0,145
		Stickstoff	28,01	1,04	0,248
		Wasserstoff	2,02	14,24	3,403

$t_{am}/^{\circ}\text{C}$	$t_s/^{\circ}\text{C}$	$q/\text{kJ kg}^{-1}$	$q/\text{kcal kg}^{-1}$	$\lambda/\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	$\lambda'/\text{kcal(mhK)}^{-1}$
660	2500	396	94,6	233	200
327	1750	24,8	5,92	34	29
0,00	100,0	334	79,7	2,22	1,91
1539	2880	270	64,6	70	60
1460*	—	—	—	47	40
1083	2560	205	48,9	384	330
—	—	—	—	110	95
1773	—	100	24	70	60
960	2180	105	25,1	419	360
420	910	105	25	122	105
232	2430	58,6	14	67	58
—	—	—	—	12	10
1100*	—	—	—	1*	0,86*
—	—	—	—	1,17	1,01

$t_e/^{\circ}\text{C}$	$q/\text{kJ kg}^{-1}$	$q/\text{kcal kg}^{-1}$	$t_s/^{\circ}\text{C}$	$r/\text{kJ kg}^{-1}$	$r/\text{kcal kg}^{-1}$	$H/\text{MJ kg}^{-1}$	$H'/\text{kcal kg}^{-1}$
-114,2	108	25,8	78,4	842	201	28,9*	6900*
-94,3	82	19,6	56,2	519	124	—	—
—	—	—	—	—	—	45,2*	10800*
5,5	127	30,4	80	394	94	41,0*	9800*
—	—	—	—	—	—	43,5*	10400*
18	178	42,5	290	—	—	—	—
38,9	11,7	2,8	357	293	70	—	—
-22,9	17,6	4,2	76,7	193	46	—	—
-95	72,0	17,2	110,7	348	83	—	—
0,00	334	79,7	100,0	2256	538,9	—	—

$c_v/\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$	$c_v/\text{kcal kg}^{-1}\text{K}^{-1}$	$\alpha$	$t_s/^{\circ}\text{C}$	$r/\text{kJ kg}^{-1}$	$r/\text{kcal kg}^{-1}$	$H'/\text{kJ m}^{-3}$	$H'/\text{kcal m}^{-3}$
1,56	0,372	1,32	-33,4	1369	327	—	—
0,32	0,076	1,66	-185,9	162	38,6	—	—
3,16	0,755	1,67	-268,9	25	6	—	—
0,63	0,151	1,30	-78,5	574	137	—	—
0,74	0,178	1,40	-191,5	216	51,6	12500	3000
0,72	0,171	1,40	—	—	—	—	—
1,63	0,390	1,32	-161,5	544	130	36000	8600
—	—	—	-44,5	—	—	95000	22700
0,65	0,156	1,40	-183,0	214	51	—	—
0,48	0,114	1,27	-10,0	398	95	—	—
0,74	0,177	1,40	-195,8	201	48	—	—
10,12	2,417	1,41	-252,8	465	111	10800	2580
































### 7.12. Abhängigkeit der Siedetemperatur des Wassers vom Druck

$P/\text{kPa}$	$P/\text{Torr}$	$t_s/^\circ\text{C}$	$P/\text{kPa}$	$P/\text{Torr}$	$t_s/^\circ\text{C}$	$P/\text{MPa}$	$P/\text{at}$	$t_s/^\circ\text{C}$
91	682,5	97,01	100,5	753,8	99,77	0,2	2,04	120,2
92	690	97,32	101	757,5	99,91	0,3	3,06	133,5
93	697,5	97,62	101,325	760	100,00	0,4	4,08	143,6
94	705	97,91	102	765	100,18	0,5	5,10	151,8
95	712,5	98,20	102,5	768,8	100,32	0,6	6,12	158,8
96	720	98,49	103	772,5	100,46	0,7	7,14	164,9
97	727,5	98,78	103,5	776,3	100,59	0,8	8,16	170,4
98	735	99,07	104	780	100,73	1	10,20	180,0
99	742,5	99,35	105	787,5	101,00	2	20,40	212,7
99,5	746,3	99,49	106	795	101,27	5	51,00	264,4
100	750	99,63	107	802,5	101,53	10	102,00	311,4

### 7.13. Luftfeuchte und Partialdruck des Wasserdampfs

$t/^\circ\text{C}$	$f/\text{max/g m}^{-3}$	$P/\text{kPa}$	$P/\text{Torr}$	$t/^\circ\text{C}$	$f/\text{max/g m}^{-3}$	$P/\text{kPa}$	$P/\text{Torr}$
-10	2,14	0,255	1,95	11	10,0	1,31	9,8
-9	2,33	0,283	2,12	12	10,7	1,40	10,5
-8	2,54	0,309	2,32	13	11,4	1,49	11,2
-7	2,76	0,337	2,53	14	12,1	1,60	12,0
-6	2,99	0,368	2,76	15	12,8	1,71	12,8
-5	3,24	0,401	3,01	16	13,6	1,81	13,6
-4	3,51	0,437	3,28	17	14,5	1,93	14,5
-3	3,81	0,476	3,57	18	15,4	2,07	15,5
-2	4,13	0,517	3,88	19	16,3	2,20	16,5
-1	4,47	0,563	4,22	20	17,3	2,33	17,5
0	4,84	0,611	4,58	21	18,3	2,48	18,6
1	5,2	0,653	4,9	22	19,4	2,64	19,8
2	5,6	0,707	5,3	23	20,6	2,81	21,1
3	6,0	0,760	5,7	24	21,8	2,99	22,4
4	6,4	0,813	6,1	25	23,0	3,17	23,8
5	6,8	0,867	6,5	26	24,4	3,36	25,2
6	7,3	0,933	7,0	27	25,8	3,56	26,7
7	7,8	1,000	7,5	28	27,2	3,77	28,3
8	8,3	1,067	8,0	29	28,7	4,00	30,0
9	8,8	1,147	8,6	30	30,3	4,24	31,8
10	9,4	1,227	9,2				

## 7.14. Schaltzeichen der Elektrotechnik

	Leitungskreuzung ohne elektrische Verbindung		Spule mit Ferromagnetkern, Drosselspule
	Leitungsverbindung		Einphasentransformator, Übertrager allgemein
	Schalter		Galvanisches Element, Akkumulator
	Gleichspannung, Gleichstrom, allgemein		Batterie
	Wechselspannung, Wechselstrom, allgemein		Glühlampe
	Wechselstrom im Bereich der Tonfrequenz		Glimmlampe
	Wechselstrom im Bereich der Hochfrequenz und Ultraschallfrequenz		Glühdiode
	Gleich- oder Wechselspannung, Gleich- oder Wechselstrom		Triode
	Erde		Gleichrichter (Pfeil zeigt in Durchlaßrichtung für Strom)
	Widerstand, allgemein		pnp-Transistor
	Festwiderstand mit Anzapfungen		Lautsprecher
	Widerstand, verstellbar, allgemein		Galvanometer
	Sicherung, allgemein		Strommesser
	Kondensator, allgemein		Spannungsmesser
	Kondensator, verstellbar, Drehkondensator		Elektroskop
	Wicklung, Spule, allgemein		

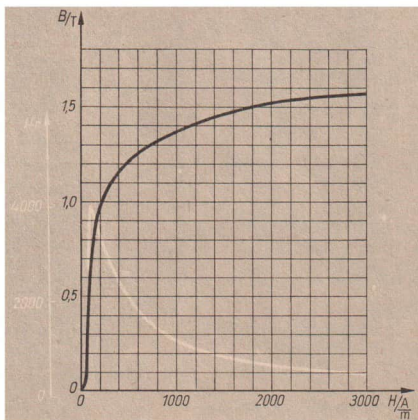
### 7.15. Spezifischer elektrischer Widerstand

Stoff	$\varrho/\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$	Stoff	$\varrho/\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$
Aluminium	0,0286	Quecksilber	0,96
Eisen	0,098	Silber	0,016
Konstantan	0,50	Zink	0,059
Kupfer	0,0178	Glas	$5 \cdot 10^{17}*$
Nickelin	0,43	Quarz	$10^{21}*$

### 7.16. Dielektrizitätszahl

Stoff	$\epsilon_r$	Stoff	$\epsilon_r$
Azeton (Propanon)	21,5	Papier (trocken)	2,1*
Bakelit	4*	Pertinax	4,5*
Condensa C	85	Quarz	4,2*
Glimmer	7*	Quarzglas	4,0*
Hartgummi	3,0*	Silikonöl	2,5*
Luft (101,325 kPa, 0°C)	1,000592	Transformatoröl	2,4*
Marmor	11*	Wasser	80,8

### 7.17. Magnetisierungskurve und Permeabilitätszahl für Dynamoblech





### 7.18. Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen

(Feste Stoffe und Flüssigkeiten bei 20°C, Gase bei 0°C und 101,325 kPa)

Stoff	$c/m\ s^{-1}$	Stoff	$c/m\ s^{-1}$
Aluminium	5 100	Luft	332
Blei	1 300	Messing	3 300
Eisen	5 200	Quecksilber	1 430
Glas	5 000	Sauerstoff	315
Helium	971	Silber	2 700
Kork	500	Wasser	1 485
Kupfer	3 800	Wasserstoff	1 280

### 7.19. Zulässiger Lärm in Räumen

Raumart	Maximalwert/ $dB(A)$
Krankenzimmer in Krankenhäusern	35
Unterrichtsräume	40
Wohnräume	40
Konzertsäle	30
Geistig-schöpferische Tätigkeit	50
Arbeitsräume der Verwaltung	60
Arbeitsplätze, an denen Sprachverständigung noch möglich	85
Industriegebiet, Stadtzentrum	60

### 7.20. Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen

Stoff	$c/10^8\ m\ s^{-1}$	Stoff	$c/10^8\ m\ s^{-1}$
Benzol	2,00	Luft	3,00
Diamant	1,22	Quarz	1,94
Flintglas	1,86	Schwefelkohlenstoff	1,84
Kohlendioxid	2,66	Wasser	2,24
Kronglas	1,97		

### 7.21. Brechzahl verschiedener Stoffe

Stoff	$n$	Stoff	$n$
Diamant	2,42	Kanadabalsam	1,54
Glas		Polystyrol	1,59
Flintglas	1,62	Quarz	1,54
Schwerflintglas	1,74	Schwefelkohlenstoff	1,63
Kronglas	1,52	Steinsalz	1,54
Flußspat	1,43	Wasser	1,33

# Sachwortverzeichnis

- Ableitung 40  
Abschaltstrom 272  
Absorption 348  
— elektromagnetischer Wellen 375  
Absorptionsgrad 349  
Abstandsgesetz bei Ausbreitung  
  von Kugelwellen 354  
Adhäsion 148  
Adiabatexponent 199, 202  
Aggregatzustände 169, 215  
Akzeptoren 388  
Alphastrahlen 398  
Ampere 228, 267  
Amplitude 297  
— der Schallschnelle 357  
Anergie 214  
Anpassung 238  
Anstieg 39  
Antrieb 139, 143  
Antriebsmoment 143  
Arbeit, elektrische 234  
—, mechanische 99f., 106, 112, 139  
— bei Rotation 139f.  
— im elektrischen Feld 249  
Arbeitsvermögen 104  
Atommodell, Bohrsches 374  
Auflagerkraft 130  
Auflösungsvermögen 381  
Auftriebskraft 156  
Aufzeichnung von Schwingungen  
  301  
Augenblickswerte 297  
Ausbreitungsgeschwindigkeit einer  
  Schallwelle 356  
— — Welle 337f.  
— — elektromagnetischen Welle  
  363  
Auswüchsen 146  
Avogadro-Konstante 171, 294  
Axiom von Newton, drittes 77  
— — —, erstes 76  
— — —, zweites 76  
Bahn 34f., 37, 90  
— -beschleunigung 57, 59  
— -geschwindigkeit 57, 59, 61  
— -gleichung für Wurfbewegung  
  65  
— -größen 57, 59  
Balkenwaage 70  
Balmer-Serie 376  
Bändermodell 386  
Basis-einheiten 27  
— -größen 27  
Beharrungsvermögen 69  
Beleuchtungsstärke 368  
Beobachter, mitbewegter 91, 96,  
  98f.  
Bernoullische Gleichung 160  
Beschleunigung 36ff., 60, 74, 106f.  
— bei Sinusschwingung 299  
Beschleunigungsarbeit 106f., 141  
Bestrahlungsstärke 353  
Betastrahlen 398  
Beugung 348  
Beweglichkeit 285  
Bewegung, Begriff 31, 33  
—, beschleunigte 45  
—, eindimensionale 37  
—, fortschreitende 34, 57  
—, geradlinige 34, 37, 42, 51  
—, gleichförmige 34f., 42ff., 51f.,  
  65  
—, gleichmäßig beschleunigte 34f.,  
  43ff., 80  
—, krummlinige 34, 57, 60  
—, ungleichförmige 34f.,  
— in der Ebene 62  
— im Raum 66  
Bewegungs-art 34  
— -diagramm 38, 43ff., 58  
— -energie 101  
— -form 34  
— -richtung 37, 43  
Bezugssystem 33, 102

- Bezugssystem, beschleunigtes 91f.  
 —, rotierendes 98  
 Bindungsenergie 215, 400  
 Blind-leistung 328  
 —-widerstand 321  
 Bogenmaß 54  
 Boltzmann-Konstante 179f., 210  
 Boyle-Mariottesches Gesetz 150, 178  
 Brackett-Serie 376  
 Braunsche Röhre 258  
 Brechungsgesetz 346  
 — von Snellius 364  
 Brechzahl 363  
 Brems-kraft 87  
 —-substanz 404  
 —-waage 142  
 Brownsche Bewegung 169  
 Bruchspannung 84  
  
 Candela 366  
 Carnot-Prozeß 204, 212  
 Celsius-Skale 184  
 Compton-Effekt 378  
 Corioliskraft 97ff.  
 Coulomb 229  
 —-kraft 246f., 250  
 Coulombsches Gesetz 246  
 — Reibungsgesetz 86  
 Curie 401  
  
 d'Alembertsches Prinzip 95  
 Daltonsches Gesetz 219  
 Dampf, überhitzer 220  
 —-druck 220  
 —-kurve 220f.  
 Darstellungen, grafische 30, 38  
 de-Broglie-Wellenlänge 379  
 Defektelektronen 388  
 Dehnung 83  
 Dezibel 359  
 Diamagnetismus 273, 275  
 Dichte 71  
 —-änderung 187  
 Dielektrikum 261  
 Dielektrizitätszahl 260f.  
 Differentialquotient 40  
 Differenzieren 39ff.  
 Diode 288  
 Dipol, elektrischer 248  
 —, magnetischer 262  
 —-moment, magnetisches 265  
 Dispersion 364  
 Donatoren 388  
 Dreh-achse 128f., 134f., 141  
 —-bewegung 34, 53f., 134  
 Dreh-bewegung, gleichförmige 56f.  
 — —, gleichmäßig beschleunigte 56f.  
 —-feder 140  
 —-impuls 99, 139, 143f.  
 — —-erhaltungssatz 99, 144  
 —-moment 125ff., 134, 138, 140, 144  
 — — auf stromführende Spule 281  
 — — — magnetischen Dipol 265  
 —-schemel 99, 144  
 —-sinn 56, 129  
 —-strom 331  
 —-waage 79  
 —-winkel 55, 57f.  
 —-zahl 53f., 56  
 Dreieckschaltung 333  
 Driftgeschwindigkeit 291  
 Drillachse 140  
 Druck 83, 148  
 —, aerostatischer 148  
 —, hydrostatischer 148  
 —, kritischer 219  
 —, statischer 149, 160  
 — bei mechanischer Longitudinal-welle 354  
 —-messung in Strömungen 163  
 — —, statische 154  
 Dualismus Welle — Teilchen 377  
 Durchflutungsgesetz 276  
 Durchschnitts-beschleunigung 36  
 —-geschwindigkeit 36  
 —-leistung 111  
 —-winkel-beschleunigung 55  
 — —-geschwindigkeit 55  
 Dynamik 67, 76  
 — der Sinusschwingung 306  
 — des starren Körpers 125  
 Dynamometer 78  
  
 Ebene, geneigte 87f.  
 Effekt, lichtelektrischer 372, 378  
 Effektivwerte 310, 324, 351  
 Eigen-frequenz der mechanischen Sinusschwingung 307  
 — — des elektrischen Schwing-kreises 318  
 —-leitung 387  
 —-schwingungen 306  
 — —, elektrische 316  
 Einheiten 25, 27  
 —, fotometrische 366  
 Einschaltvorgang 271  
 Eintauchtiefe 158  
 Elastizitäts-grenze 83, 85  
 —-modul 84  
  
 Elektrometer 252  
 Elektron 259  
 Elektronen, freie 258  
 —-beugung 380  
 —-bohrer 288  
 —-gas 227  
 —-linsen 381  
 —-mikroskop 288, 381  
 —-optik 381  
 —-strahlen 292  
 —-volt 259  
 Elementar-ladung 229, 259  
 —-teilchen 403  
 —-welle 344  
 Elongation 297  
 Emission, spontane 375  
 —, stimulierte 376  
 — elektromagnetischer Wellen 375  
 — von Strahlung 392  
 Emissionsgrad 392  
 Energie, innere 182, 191, 196  
 —, kinetische 101f., 107ff., 134, 141, 308  
 —, mechanische 99  
 —, potentielle 101ff., 105f., 108f., 139f., 308  
 — des elektrischen Feldes 254  
 — — magnetischen Feldes 272  
 —-dichte einer Welle 352  
 — — — mechanischen Welle 354  
 —-erhaltungssatz, allgemeiner 110  
 — — der Mechanik 109  
 —-form 110  
 —-niveau 374  
 —-satz s. Energieerhaltungssatz  
 —-speicher 141  
 —-umsatz 104, 111  
 —-zustände, angeregte 375  
 Enthalpie 208  
 Entladung des Kondensators 255  
 Entropie 209f., 213  
 Erhaltungssatz der Energie, allgemeiner 110  
 — — — der Mechanik 109  
 — — Masse 110  
 — — des Drehimpulses 99, 144  
 — — Impulse 114f., 119f., 123f.  
 — — Massenmittelpunkts 124  
 Ersatz-kapazität 256f.  
 —-leitwert 240  
 —-schaltbild 237  
 —-widerstand 239  
 Erstarrungs-punkt 216  
 —-verzug 216  
 Ergiebigkeit 214

- Fadenpendel 89, 99, 109, 315  
 Fahr-plan, grafischer 44  
 --widerstand 89  
 --widerstandszahl 89  
 Fall, freier 45, 48, 50, 80f.  
 --beschleunigung 45, 49, 75, 79ff.  
 --bewegung 65, 79  
 Farad 253  
 Faradaysche Gesetze 293f.  
 Farbempfindung 364  
 Feder-härte 85  
 --konstante 85, 102, 307  
 --kraft 73f., 82, 85, 103f., 109  
 --messer 78  
 --Masse-Schwinger 314  
 Feld, homogenes 82, 250, 263  
 --, inhomogenes 82, 250  
 --begriff 81, 245  
 --effekt 286  
 --konstante, elektrische 246  
 --, magnetische 265  
 --linie, elektrische 248  
 --, magnetische 263  
 --stärke, elektrische, um Punkt-ladung 248  
 --, --, -- zylindrische Ladung 249, 266  
 --, --, -- magnetische, in einer Spule 263  
 --, --, --, um geraden Leiter 264  
 --, --, --, Messung 264  
 -- im Gravitationsfeld 80, 82  
 Fermatsches Prinzip 354  
 Fernsehbildröhre 289  
 Ferro-elektrizität 261  
 --magnetismus 274  
 Festigkeit 84  
 Festigkeitsgrenze 145  
 Festkörperlaser 377  
 Fliehkraft 96f.  
 Fluß, magnetischer 266  
 --dichte, magnetische 265  
 Formänderung 83, 89, 119f.  
 Formänderungsarbeit 119f.  
 Foto-Effekt 378  
 Freiheitsgrad 180  
 Frequenz 53f., 298, 307, 315, 318, 320, 356, 363  
 Führung 89f.  
 Funkenentladung 293  
  
 Galvanometer, ballistisches 282  
 Gammastrahlen 398  
 Gas, ideales 176  
 Gase, reale 218  
 Gasentladung, selbständige 290  
  
 Gas-entladung, unselbständige 292  
 --konstante 181  
 --laser 377  
 Gegenkraft 77  
 Generator, elektrischer 282  
 Geräusch 356  
 Gesamtwirkungsgrad 113  
 Geschwindigkeit 35ff., 45f., 57, 60  
 -- bei Sinusschwingung 299  
 Geschwindigkeitsquadrat, mittleres 178  
 Gewicht 73, 75, 78ff., 105  
 Gleich-gewicht 127ff.  
 -- beim schwimmenden Körper 157  
 --gewichts-bedingung 129f.  
 --zustand 133  
 --strom-kreis 227  
 --motor 280  
 Gleichungsschreibweise 28  
 Gleichverteilungssatz 180  
 Gleit-geschwindigkeit 88  
 --reibungs-kraft 87f.  
 --zahl 88  
 Glimmdiode 293  
 Gravitation 70, 78f.  
 Gravitations-energie 105  
 --gesetz 79  
 --konstante 79  
 --kraft 78f.  
 --potential 105f.  
 Grenzwert 40f.  
 Größen, energetische, des Wellenfeldes 351  
 --, extensive 182  
 --, fotometrische 365  
 --, intensive 182  
 --, kinematische, des Wellenfeldes 350  
 --, makroskopische 178  
 --, mikroskopische 178  
 --, molare 171  
 --, physikalische 24  
 --, stoffmengenbezogene 171  
 --, vektorielle 25, 36f., 56, 73, 127  
 --gleichung 28  
 Grund-gleichung der Dynamik 76, 79, 86, 94, 99, 117, 139  
 -- -- -- -- der Rotation 137ff.  
 --zustand 375  
  
 Haarhygrometer 223  
 Haftreibungs-kraft 87f., 95  
 --zahl 87, 95  
  
 Hagen-Poiseuillesche Gleichung 166  
 Halb-leiter 387  
 --wertzeit 401  
 Hangabtriebskraft 87  
 Haupt-quantenzahl 374  
 --satz, erster, der Thermo-dynamik 191, 214  
 --, --, zweiter, der Thermo-dynamik 213f.  
 --trägheitsachse 136, 145  
 Heiß-dampf 220  
 --leiter 387  
 Heizwert 190f.  
 Henry 271  
 Hertz 54  
 Hohlraumstrahlung 392  
 Hookesches Gesetz 83  
 Hör-schall 356  
 --vermögen des Menschen 355, 360  
 Hubarbeit 102f.  
 Huygenssches Prinzip 344  
 Hysteresis 274  
  
 Impuls 99, 114, 118, 139  
 --änderung 117  
 --erhaltungssatz 114f., 119f., 123f.  
 --satz s. Impulserhaltungssatz  
 -- eines Photons 378  
 Induktion, magnetische 267  
 Induktions-gesetz 268  
 --vorgänge 270f.  
 Induktivität 271  
 Infinitesimalrechnung 39, 50f.  
 Einfluss 248  
 Infrarotschall 356  
 Innenwiderstand 237  
 Intensitätsgrößen 182  
 Interferenz 342  
 -- von Lichtwellen 364  
 Ionisationskammer 291  
 Isentrope 200, 202, 212  
 Iso-bare 196  
 --chore 195, 211  
 --therme 194, 204, 211, 218  
  
 Joule 100f., 188, 234  
  
 Kalorie 188  
 Kalorimetrie 188  
 Kältemaschine 207  
 Kapazität 253  
 Kelvin 179, 184, 221  
 Kernfusion 400, 406

- Kern-kraft 73f.  
 — -reaktor 404  
 — -spaltung 402  
 — -wechselwirkung 73  
 Kettenreaktion 403  
 Kilo-gramm 70  
 — -mol 171  
 — -pond 75, 81  
 Kinematik 31f.  
 Kirchhoffsche Gesetze 235f.  
 Klang 356  
 Klemmenspannung 237  
 Knall 356  
 Knotenpunktsatz 235  
 Kohärenz 365  
 Kohäsion 148, 215  
 Koerzitivfeldstärke 274  
 Kolbendruck 149  
 Komponenten der kinematischen  
 Größen 61, 63, 65  
 — — Kraft 73, 90, 96, 100  
 Kompressibilität 150  
 Kondensationspunkt 216  
 Kondensatoren 252  
 Kontinuitätsgleichung 159  
 Konvektion 226  
 Koordinatensystem 63, 65  
 Körper, schwarzer 392  
 —, starrer 53, 68, 125  
 Korpuskeln 377  
 Kraft 72ff., 87, 99, 118  
 —, elastische 83, 145  
 —, elektrische 73f.  
 —, elektrostatische 73, 246f.  
 —, innere 108  
 —, magnetische 73f., 266  
 —, resultierende 77, 128  
 — auf stromführenden Leiter im  
 Magnetfeld 280  
 — bei mechanischer Sinus-  
 schwingung 306  
 — zwischen parallelen Strömen  
 267  
 — -arm 126  
 Kräfte-gleichgewicht 77ff., 83,  
 127f., 157  
 — -paar 128f.  
 — -system, ebenes 128  
 — —, räumliches 129  
 Kraft-feld 82  
 — -gesetz, lineares 85, 307  
 — -stoß 99, 115ff., 139  
 Kreis, magnetischer 276  
 — -bahn 34, 53, 56, 60  
 — -bewegung 34, 53, 60f., 94, 97  
 Kreisel 144  
 Kreis-frequenz 56, 297  
 — -prozesse 203  
 Kugelwelle 340, 355  
 Kupplungsvorgänge 144  
 Kurve, ballistische 66  
 Kurvenüberhöhung 96  
 Kurzschluß 238  
 Ladung, elektrische 227, 245  
 —, spezifische 259  
 Ladungen, freie, im elektrischen  
 Feld 258  
 —, —, — Magnetfeld 279  
 Ladungs-dichte 249, 251, 266  
 — -träger, freie, im elektrischen  
 Feld 258  
 — —, —, — magnetischen Feld  
 279  
 Lageenergie 101  
 Länge 35  
 Längenausdehnungskoeffizient  
 185, 187  
 Lärm 356  
 Laser-Effekt 377  
 Lautstärke 360  
 Leistung, elektrische 234  
 —, mechanische 139  
 — im Wechselstromkreis 327  
 Leitfähigkeit, elektrische 233  
 Leitungsmechanismen 284  
 Leitwert, elektrischer 232  
 — -bemessungsgleichung 233  
 Lenzsche Regel 269  
 Leuchtdichte 366  
 Licht-bogen 292  
 — -geschwindigkeit 363, 372  
 — -stärke 366  
 — -strom 367  
 Longitudinalwelle 340  
 Lorentzkraft 266  
 Loschmidt-Konstante 172  
 Luft-druck 153  
 — -feuchte, absolute 221  
 — —, relative 222  
 — -widerstand 66, 89, 167  
 Lumen 367  
 Lux 368  
 Lyman-Serie 376  
 Maschensatz 236  
 Maschinen, einfache 130  
 Masse 66f., 74f., 110  
 —, molare 171  
 —, relativistische 72, 373  
 —, schwere 70  
 —, träge 69  
 Masse-Energie-Beziehung 374  
 Massen-anziehung 70  
 — -defekt 400  
 — -dichte 71  
 — -mittelpunkt 123, 131ff.  
 — -punkt 35, 123, 128, 134  
 — -spektrometer 279  
 — -trägheitsmoment 99, 125,  
 134ff., 138, 141  
 — -zahl 399  
 — -zuwachs, relativistischer 72  
 Masseprototyp 70  
 Materie 71  
 Mayersche Gleichung 197  
 Meß-bereichserweiterung von  
 Spannungsmessern 243  
 — — — Strommessern 243  
 — -brücke 244  
 — -technik, elektrische 243  
 Meter 35  
 Millikan-Versuch 257  
 Mischungstemperatur 189  
 Mol 170  
 Molekularkraft 73, 148  
 Molekülmasse, relative 170f.  
 Moment 125  
 Momentan-beschleunigung 39ff.  
 — -geschwindigkeit 39f.  
 — -größen 39, 55  
 — -leistung 11, 112, 142  
 — — bei Rotation 139, 142  
 Muskelkraft 74  
 Naßdampf 220  
 Neigungswinkel 88  
 Neutronen 399  
 —, thermische 404  
 — -beugung 380  
 Newton 75  
 Newtonsches Axiom, drittes 77  
 — —, erstes 76  
 — —, zweites 76  
 n-Leiter 388  
 Normal-beschleunigung 61  
 — -kraft 83, 86ff.  
 — -spannung 83f.  
 Norm-fallbeschleunigung 81  
 — -volumen, molares 172  
 Null-phasenwinkel 297, 320  
 — -punkt, absoluter 183f.  
 Nutzenergie 112  
 Parallelogrammsatz 73  
 Parallelschaltung von Kondensatoren 256  
 — — Widerständen 240

- Parallelschaltung von Wirk- und Blindwiderständen 326  
 Partialdruck 219, 221  
 Pascal 148  
 Paschen-Serie 376  
 Peltier-Effekt 385  
 Pendel, physisches 315  
 Periodendauer 54, 298  
 Permeabilität 274  
 Permeabilitätszahl 273  
 Perpetuum mobile 191, 213  
 Pferdestärke 111  
 Pfund-Serie 376  
 Phasen 215  
 —-änderungen 215  
 —-verschiebung 298, 320, 324  
 —-winkel 297  
 Phon 360  
 Photonen 371, 375, 377, 380  
 Physik, klassische 32, 370  
 —, moderne 32, 36, 370  
 Pitot-Rohr 163  
 Plasma 215, 292  
 p-Leiter 388  
 pn-Übergang 389  
 Poise 165  
 Poissonsche Gleichung 200  
 Polarisation von Transversalwellen 341  
 Polarisationsfilter 341  
 Polytrope 202  
 Polytropenexponent 202  
 Potential, elektrisches 230, 249  
 — der Gravitation 105f.  
 — topfmodell 286, 384  
 Prandtl'sches Staurohr 164  
 Presse, hydraulische 149  
 Prinzip von Fermat 344  
 — Huygens 344  
 Probekladungen 247  
 Pronyscher Zaum 142  
 Proton 399f.  
 Prozeß, irreversibler 204, 209  
 —, isentroper 198  
 —, linksläufiger 203  
 —, quasistatischer 205  
 —, rechtsläufiger 203  
 —, reversibler 204, 211  
 Psychrometer 223  
 Pumplicht 376  
 Punkt, kritischer 221  
 Pyrometer 395  
 Quantentheorie 370  
 Quantitätsgrößen 182  
 Radial-beschleunigung 60f., 94  
 —-kraft 90, 94ff., 100, 145  
 Radiant 53  
 Radioaktivität 398  
 Raketengleichung 118  
 Raum-ausdehnungskoeffizient 186  
 —-winkel 352  
 Reflexion 345  
 Reflexions-gesetz 345  
 —-grad 349  
 Reibungs-arbeit 102ff.  
 —-kraft 73f., 85, 90, 103, 110  
 —-winkel 87  
 —-zahl 86f.  
 Reihenschaltung von Kondensatoren 257  
 — — Widerständen 239  
 — — Wirk- und Blindwiderständen 323  
 Relativität der Bewegung 32  
 Relativitäts-prinzip der Mechanik 92  
 —-theorie 32, 72, 372  
 Resonanz 311  
 —-verstärkung 377  
 Richtgröße 85, 140, 307  
 Roll-bewegung 88f., 141  
 —-reibungs-kraft 89  
 — —-zahl 89  
 Röntgen-röhre 396  
 —-strahlung 396  
 Rotation 34f., 53, 57, 128, 138f.  
 Rotations-energie 139ff.  
 —-geschwindigkeit 141  
 Rubinlaser 377  
 Ruhmasse 373, 378  
 Satellitenbewegung 54  
 Satteldampf 220  
 Sättigungsmenge 221f.  
 Satz von Steiner 136, 141  
 Schall-druck 357  
 — —-pegel 359  
 —-feld 356  
 —-geschwindigkeit 356  
 —-intensitätspegel 359  
 —-leistungspegel 360  
 —-pegel, frequenzbewerteter 360  
 —-schnelle 357  
 —-stärke 357f.  
 —-wellen 355  
 Schaltung, gemischte, von Widerständen 241  
 —, spannungsrichtige 243  
 —, stromrichtige 243  
 Scheinkraft 93, 98  
 Schein-leistung 328  
 —-widerstand im Wechselstromkreis 323  
 Scheitelwert 297  
 Schiebung 83  
 Schmelz-kurve 220f.  
 —-punkt 216, 221  
 —-wärme, spezifische 217  
 Schub-kraft 83  
 —-modul 84  
 —-spannung 83  
 Schwankungen 176  
 Schwere 70, 75  
 —-druck 151  
 — — in Flüssigkeiten 151  
 — — — Gasen 152  
 —-feld 80ff., 105f., 131, 133  
 —-losigkeit 97  
 Schwer-kraft 73f., 78, 97, 103, 109, 131  
 —-linie 133  
 —-punkt 132f.  
 Schwimmen 157  
 Schwingungen, elektrische 316  
 —, erzwungene 311  
 —, gedämpfte 310  
 —, mechanische 34, 52, 296  
 Schwingungsenergie 308  
 Schwingweite 297  
 Schwungrad 141  
 Seebeck-Effekt 385  
 Seil-kraft 89  
 —-wellen, stehende 349  
 Sekunde 35  
 Selbstinduktion 270  
 Siede-punkt 216, 221  
 —-verzug 216  
 Sinusschwingung 295, 306  
 Spaltprozeß 402  
 Spannarbeit 102ff.  
 Spannung, elektrische 229, 249  
 —, mechanische 83f.  
 Spannungsabfall, elektrischer 230  
 —, magnetischer 248  
 Spektralserien des Wasserstoffs 376  
 Spektrum akustischer Wellen 356  
 — elektromagnetischer Wellen 363  
 Sprungtemperatur 384  
 Statik 127  
 Statistik 173  
 Stauchung 83  
 Stefan-Boltzmann-Konstante 394  
 Steinerscher Satz 136, 141  
 Steradian 352

- Sternschaltung 332  
 Stoffe, diamagnetische 275  
 —, dielektrische 261  
 —, ferroelektrische 261  
 —, ferromagnetische 275  
 —, paraelektrische 261  
 —, paramagnetische 275  
 Stoff im magnetischen Feld 273  
 — menge 170  
 Stokes 165  
 Stokessche Gleichung 166  
 Störstellenleitung 387  
 Stoß, elastischer 119ff.  
 —, gerader 119  
 —, schiefer 119  
 —, unelastischer 119f.  
 — ionisation 292  
 — vorgänge 118f.  
 — welle 336  
 Strahl 341, 352  
 — dichte 352  
 — stärke 351  
 Strahlung, induzierte 377  
 —, schwarze 392  
 —, stimulierte 377  
 Strahlungs-emission 392  
 — energie 351  
 — fluß 351  
 — gesetz, Kirchhoffsches 392  
 —, Planksches 393  
 —, Stefan-Boltzmannsches 394f.  
 —, Wiensches 393  
 — gesetz 392  
 — leistung 351  
 — quant 371  
 Strom-dichte, elektrische 228  
 — kreis, einfacher 227  
 —, verzweigter 236  
 — stärke, elektrische 228  
 — in einer Flüssigkeit 159  
 Strömung, laminare 165  
 —, reibungsfreie 160  
 —, turbulente 166  
 — unter Reibungseinfluß 169  
 Strömungs-geschwindigkeit 164  
 — widerstand 167  
 Sublimation 216, 221  
 Sublimationskurve 220f.  
 Superpositionsprinzip 33, 46, 64, 73  
 Supraleitung 384  
 Symbole 30  
 System, abgeschlossenes 108, 213  
 Tabellenkopf 30  
 Tangentialbeschleunigung 61  
 Taupunkt 222  
 Temperatur 179, 184  
 —, kritische 219, 221  
 — Nullpunkt 183f.  
 — skale, thermodynamische 184f.  
 — strahlung 391, 395  
 Tesla 265  
 Thermistor 387  
 Thermoeffekt 385  
 Ton 356  
 — höhe 355  
 Torsion 85  
 Torsionspendel 314  
 Totalreflexion 347  
 Trägheit 69, 75f.  
 Trägheits-kraft 90, 92ff., 96f.  
 — satz 76  
 — widerstand 69  
 Transistor 390  
 Translation 34f., 57, 128, 138f.  
 Translations-energie 139, 141  
 — geschwindigkeit 141  
 Transmission 348  
 Transmissionsgrad 349  
 Transversalwelle 340  
 Triode 288  
 Tripelpunkt 220f.  
 Tröpfchenmodell 399  
 Überdruck 155  
 Überlagerung von Bewegungen 32ff., 64  
 — — Schwingungen 302  
 — — Wellen 342  
 Überlagerungssatz 32f., 46  
 Ultraschall 356, 361  
 Umlauf-frequenz 54  
 — zeit 54  
 Umwandlungs-energie 216  
 —, spezifische 216  
 — punkt 216  
 Unscharferelation, Heisenberg-sche 381  
 Unterdruck 155  
 Unwucht 146  
 Ursprung 230, 236  
 Vektor-darstellung 25, 36f.  
 — — der Winkelgeschwindigkeit 56  
 — feld 82  
 — größen 36, 56, 73, 114, 127, 143  
 Verdampfungswärme, spezifische 217  
 Verdrihlung 79, 85  
 Verdrihlungsarbeit 140  
 Verformung 83, 85  
 Verformungsarbeit 119  
 Verhältnisgröße 53, 352  
 Verschiebung, elektrische 251  
 Verschiebungs-arbeit 102f., 105, 140  
 — gesetz, Wiensches 394  
 Viskosität 165  
 Volt 229  
 Volta-Spannung 384  
 Volumen, molares 173  
 —, spezifisches 173  
 — strom 159  
 Wahrscheinlichkeit 173  
 —, thermodynamische 174, 210  
 Wärme-austausch 189  
 — durchgang 225  
 — durchgangskoeffizient 225  
 — energie 102f., 188, 190f.  
 — kapazität 188  
 —, spezifische 188  
 — kapazitäten, spezifische, des idealen Gases 197, 200  
 — kraftmaschinen 203  
 — leitfähigkeit 224  
 — leitung 223  
 — leitwiderstand 224  
 — menge 188  
 —, reduzierte 211  
 — pumpe 207  
 — strom 224  
 — strömung 226  
 — theorie, kinetische 168  
 — tod der Welt 214  
 — transport 223  
 — übergang 225  
 Wasserstoffspektrum 376  
 Watt 111, 234  
 Weber 266  
 Wechsel-strom 319  
 — wirkung 73f., 82, 90, 95  
 —, elektrische 73  
 —, schwache 73  
 — wirkungs-kraft 77, 90  
 — — prinzip 77  
 Weg 35ff., 45f., 48, 57, 99, 106  
 Wehnelt-Zylinder 289  
 Wellen 335  
 —, ebene 340  
 —, elektromagnetische 362  
 —, lineare 337, 340  
 —, stehende 349  
 — arten 339  
 — feld, energetische Größen 351  
 — —, kinematische Größen 350

- Wellen-länge 337  
 --mechanik 372  
 Wheatstonesche Brückenschaltung 244  
 Widerstand, elektrischer 232  
 +, induktiver 322  
 -, kapazitiver 321  
 -, magnetischer 277  
 Widerstandsbemessungsgleichung 233  
 Wiedemann-Franz'sches Gesetz 383  
 Winkel, ebener 53, 57  
 -, räumlicher 352  
 --beschleunigung 55, 57, 134, 138  
 --geschwindigkeit 55ff.  
 --größen 57, 59  
 --richtgröße 140, 308  
 Wirbel 166  
 Wirk-leistung 327  
 -- bei Drehstrom 334  
 --widerstand 320
- Wirkung 371  
 Wirkungs-grad 111  
 --, thermischer, des Carnot-Prozesses 205  
 --linie 100, 128  
 --quantum, Plancksches 371  
 --querschnitt 404  
 Wurf-bahn 64ff.  
 --bewegung 49f., 64f., 82  
 --höhe 66  
 --kurve, ballistische 66  
 --weite 65f.  
 --winkel 65
- Zähigkeit, dynamische 165  
 --, kinematische 165  
 Zahlenwertgleichung 28  
 Zeit 35f.  
 --konstante 256  
 Zentrifugal-kraft 97, 145  
 --regler 146
- Zentrifuge 146  
 Zentripetalkraft 94f.  
 Zerfallsgesetz 400  
 Zug 83  
 --festigkeit 84  
 Zustand, angeregter 375  
 --, kritischer 219  
 --, makroskopischer 174  
 --, mikroskopischer 174  
 Zustands-änderung, isentrope 194, 198, 205  
 --, isobare 193, 196  
 --, isochore 193, 195  
 --, isotherme 193f., 205  
 --, polytrope 194, 201  
 --diagramm 221  
 --gleichung des idealen Gases 181, 193  
 --, van-der-Waals'sche 219  
 --größe 182  
 Zwangskraft 89f., 95, 106