

Lehrmaterial für das Fachschulfernstudium

Anhang

zum Lehrbrief Physik 1 bis 3

4. Ausgabe

Mechanik fester Körper

Gleichungen, Einheiten, Tafeln

Institut für Fachschulwesen
der Deutschen Demokratischen Republik
Karl-Marx-Stadt

Tafel 1
Gleichungen

Nr.	Bezeichnung	Gleichung	Seite
(1)	Definition der Geschwindigkeit	$v = \frac{ds}{dt}$	11
(2)	Definition der Beschleunigung	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$	13
(3)	Weg bei der gleichförmigen Bewegung	$s = vt$	14
(4)	Geschwindigkeit bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung	$v = at + v_0$	15
(5)	Weg bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung	$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$	16
(6)	Weg bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung	$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$	19
(7)	Endgeschwindigkeit bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung	$v = \sqrt{2as + v_0^2}$	19
(8)	Weg bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung	$s = \frac{v + v_0}{2}t$	19
(9)	Definition des Winkels	$\varphi = \frac{s}{r}$	22
(10)	Definition der Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	23
(11)	Bahngeschwindigkeit	$v = \omega r$	23
(12)	Winkelgeschwindigkeit	$\omega = 2\pi n$	23

Nr.	Bezeichnung	Gleichung	Seite
(13)	Definition der Winkelbeschleunigung	$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$	26
(14)	Bahnbeschleunigung	$a = \alpha r$	26
(15)	Wurfhöhe beim schrägen Wurf	$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$	40
(16)	Wurfdauer beim schrägen Wurf	$t = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$	40
(17)	Wurfweite beim schrägen Wurf	$s = \frac{2 v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$	40
(18)	Radialbeschleunigung	$a_r = \frac{v^2}{r}$	44
(19)	Resultierende Kraft	$\mathfrak{F} = \mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2$	51
(20)	Betrag der Resultierenden	$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha}$	51
(21)	Drehmoment	$M = F l$	54
(22)	Drehmoment	$M = F r \sin \alpha$	54
(23)	Resultierendes Drehmoment	$\mathfrak{M} = \sum \mathfrak{M}_i$	55
(24)	Drehmoment eines Kräftepaars	$M = F l$	56
(25)	Schwerpunktkoordinaten	$x_s = \frac{1}{m} \int x \, dm$	57
(26)	Schwerpunktkoordinaten eines homogenen Körpers	$x_s = \frac{1}{V} \int x \, dV$	58
(27)	Gleichgewichtsbedingungen für den starren Körper	$\sum \mathfrak{F} = 0 \quad \sum \mathfrak{M} = 0$	61
(28)	Dynamisches Grundgesetz	$F = m a$	70
(29)	Gewicht	$G = m g$	71
(30)	Trägheitskraft	$F_T = m a$	75
(31)	Haft- und Gleitreibung	$F_R = \mu F_N$	81
(32)	Rollreibung	$M = \mu' F_N$	83

Nr.	Bezeichnung	Gleichung	Seite
(33)	Arbeit bei konstanter Kraft	$W = F s \cos \alpha$	86
(34)	Arbeit beim Spannen einer Feder	$W = \frac{1}{2} k s^2$	87
(35)	Arbeit bei veränderlicher Kraft	$W = \int F_s ds$	87
(36)	Potentielle Energie	$W_{\text{pot}} = m g h$	91
(37)	Kinetische Energie	$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$	92
(38)	Leistung	$P = \frac{W}{t}$	96
(39)	Wirkungsgrad	$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$	97
(40)	Kraftstoß	$F t = m v - m v_0$	100
(41)	Impulssatz	$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$	103
(42)	Gemeinsame Geschwindigkeit nach unelastischem Stoß	$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$	106
(43)	Geschwindigkeiten nach elastischem Stoß	$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{2 m_2}{m_1 + m_2}$ $v_2' = v_2 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} + v_1 \frac{2 m_1}{m_1 + m_2}$	108
(44)	Radialkraft	$F_r = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r$	117
(45)	Rotationsenergie eines Massenpunktes	$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m r^2 \omega^2$	118
(46)	Rotationsenergie eines Körpers	$W_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J \omega^2$	119
(47)	Massenträgheitsmoment	$J = \int r^2 dm$	119
(48)	Satz von Steiner	$J_A = J_S + m a^2$	123

Nr.	Bezeichnung	Gleichung	Seite
(49)	Dynamisches Grundgesetz für die Rotation	$M = J \alpha$	129
(50)	Antriebsmoment	$M t = J (\omega - \omega_0)$	130
(51)	Drehimpulssatz	$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2$	131
(52)	Coriolisbeschleunigung	$a_C = 2 v_R \omega$	145
(53)	Corioliskraft	$F_C = 2 m v_R \omega$	145
(54)	Gravitationsgesetz	$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$	148
(55)	Fallbeschleunigung ($m = \text{Erdmasse}$)	$g = \gamma \frac{m}{r^2}$	150
(56)	Elongation	$y = y_{\max} \sin \omega t$	160
(57)	Geschwindigkeit bei der harmonischen Bewegung	$v = y_{\max} \omega \cos \omega t$	161
(58)	Beschleunigung bei der harmonischen Bewegung	$a = -y_{\max} \omega^2 \sin \omega t = -\omega^2 y$	161
(59)	Maximalwert der Geschwindigkeit	$v_{\max} = \omega y_{\max}$	161
(60)	Maximalwert der Beschleunigung	$a_{\max} = \omega^2 y_{\max}$	161
(61)	Kraft auf einen harmo- nisch bewegten Körper	$F = -m \omega^2 y_{\max} \sin \omega t$	166
(62)	Frequenz des harmo- nischen Schwingers	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$	167
(63)	Periodendauer des har- monischen Schwingers	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	167
(64)	Hookesches Gesetz	$F = -k l$	167
(65)	Rücktreibendes Moment	$M = -D \varphi$	169
(66)	Frequenz des Dreh- schwingers	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{J}}$	169
(67)	Frequenz des mathema- tischen Pendels	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$	170

Nr. Bezeichnung	Gleichung	Seite
(68) Periodendauer des mathematischen Pendels	$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	170
(69) Frequenz des physischen Pendels	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m g d}{J}}$	171
(70) Periodendauer des physischen Pendels	$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{m g d}}$	173
(71) Gesamtenergie des Federschwingers	$W_{\text{ges}} = \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 = \frac{1}{2} k y_{\text{max}}^2$	174
(72) Potentielle Energie des Federschwingers	$W_{\text{pot}} = \frac{1}{2} k y^2 = \frac{1}{2} k y_{\text{max}}^2 \sin^2 \omega t$	175
(73) Kinetische Energie des Federschwingers	$W_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 y_{\text{max}}^2 \cos^2 \omega t$	175

Tafel 2
Gegenüberstellung analoger Größen

Translation		Rotation	
Größe	Symbol	Größe	Symbol
Weg	s	Drehwinkel	φ
Zeit	t	Zeit	t
Geschwindigkeit	v	Winkelgeschwindigkeit	ω
Beschleunigung	a	Winkelbeschleunigung	α
Kraft	F	Drehmoment	M
Masse	m	Massenträgheitsmoment	J
Arbeit	W	Arbeit	W
Leistung	P	Leistung	P
Kraftstoß	$F t$	Antriebsmoment	$M t$
Impuls	$m v$	Drehimpuls	$J \omega$

Tafel 3
Gegenüberstellung analoger Gleichungen

Translation		Rotation	
Geschwindigkeit	$v = \frac{ds}{dt}$	Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
Beschleunigung	$a = \frac{dv}{dt}$	Winkelbeschleunigung	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$

Gleichförmige Bewegung

Weg	$s = vt$	Drehwinkel	$\varphi = \omega t$
Arbeit	$W = Fs$	Drehtarbeit	$W = M\varphi$
Leistung	$P = Fv$	Leistung	$P = M\omega$

*Gleichmäßig beschleunigte Bewegung
(ohne Anfangsgeschwindigkeit)*

Weg	$s = \frac{1}{2}vt$	Drehwinkel	$\varphi = \frac{1}{2}\omega t$
Weg	$s = \frac{1}{2}at^2$	Drehwinkel	$\varphi = \frac{1}{2}\alpha t^2$
Geschwindigkeit	$v = at$	Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \alpha t$
Geschwindigkeit	$v = \sqrt{2as}$	Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \sqrt{2\alpha\varphi}$
Dyn. Grundgesetz	$F = ma$	Dyn. Grundgesetz	$M = J\alpha$
Kinetische Energie	$W = \frac{1}{2}mv^2$	Rotationsenergie	$W = \frac{1}{2}J\omega^2$

Tafel 4
Übersicht über die wichtigsten Einheiten

Größe	Einheit	Kurzzeichen	Zusammenhang mit den Grundeinheiten
Länge	Meter	m	
Zeit	Sekunde	s	
Masse	Kilogramm	kg	
	Tonne	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
Geschwindigkeit	Meter/Sekunde	m/s	
	Kilometer/Stunde	km/h	$1 \text{ km/h} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$
Beschleunigung	Meter/Quadratsekunde	m/s ²	
Dichte	Kilogramm/Kubikmeter	kg/m ³	
Kraft	Newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ mkg/s}^2$
	Kilopond	kp	$1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ mkg/s}^2$
	Dyn	dyn	$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ mkg/s}^2$
Arbeit	Joule	J	} = $1 \text{ m}^2\text{kg/s}^2$
	Newtonmeter Wattsekunde	Nm Ws	
	Kilopondmeter	kpm	$1 \text{ kpm} = 9,80665 \text{ m}^2\text{kg/s}^2$
Leistung	Watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ m}^2\text{kg/s}^3$
	Kilopondmeter/Sekunde	kpm/s	$1 \text{ kpm/s} = 9,80665 \text{ m}^2\text{kg/s}^3$
Druck	Newton/Quadratmeter	N/m ²	$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg/ms}^2$
	Kilopond/Quadrat-zentimeter	kp/cm ²	$1 \text{ kp/cm}^2 = 98066,5 \text{ kg/ms}^2$

Tafel 5

Übersicht über veraltete, geänderte und neue Einheiten

Veraltete Bezeichnung	altes Kurzzeichen	Neue bzw. weiterhin gültige Bezeichnung	Gesetzl. Kurzzeichen	Beziehung zu anderen Einheiten
Mikron	μ	Mikrometer	μm	10^{-6} m
Millimikron	$\text{m}\mu$	Nanometer	nm	10^{-9} m
Ångström	Å	—	—	10^{-10} m
	qm	Quadratmeter	m^2	
	cbm	Kubikmeter	m^3	
Doppelzentner	dz	Dezitonne	dt	$10^{-1} \text{ t} = 100 \text{ kg}$
Zentner	z	50 Kilogramm	50 kg	
Pfund	\varnothing	0,5 Kilogramm	$0,5 \text{ kg}$	
		500 Gramm	500 g	
		Dekagramm	dag	10 g
		Hektogramm	hg	100 g
Gamma	γ	Mikrogramm	μg	10^{-6} g
Kilogramm-Kraft	kg	Kilopond	kp	$9,80665 \text{ N}$
Gramm-Kraft	g	Pond	p	10^{-3} kp
Tonne-Kraft	t	Megapond	Mp	10^3 kp
Meterkilogramm	mkg	Kilopondmeter	kpm	$9,80665 \text{ J}$
	sec	Sekunde	s	
		Gal	Gal	cm/s^2

Tafel 6

Auszug aus der Tafel der gesetzlichen Einheiten

Vorbemerkungen

1. Die Grundeinheiten und die abgeleiteten Einheiten sind in Spalte 1 laufend durchnummeriert. Nummern von Einheiten für die gleiche Größe stimmen in der vor dem Punkt stehenden Zahl überein. Die Grundeinheiten und die kohärent gebildeten Einheiten sind im Druck hervorgehoben worden, und zwar

Grundeinheiten: halbfette große Type unterstrichen,

kohärent gebildete Einheiten: halbfette kleinere Type.

2. Dezimale Vielfache und Teile, die von Grundeinheiten und von abgeleiteten Einheiten mit selbständigen Namen gebildet werden, dürfen durch Anfügen eines der folgenden gesetzlichen Vorsätze (Einh. VO. § 6)* bezeichnet werden, sofern sie hiervon nicht in Spalte 6 ausdrücklich ausgenommen sind (Einh. VO. § 9).

Vorsatz	Kurzzeichen	Bedeutung
<u>Tera</u>	<u>T</u>	1 000 000 000 000 (10 ¹²) Einheiten
<u>Giga</u>	<u>G</u>	1 000 000 000 (10 ⁹) Einheiten
<u>Mega</u>	<u>M</u>	1 000 000 (10 ⁶) Einheiten
<u>Kilo</u>	<u>k</u>	1 000 (10 ³) Einheiten
<u>Hekto</u>	<u>h</u>	100 (10 ²) Einheiten
<u>Deka</u>	<u>da</u>	10 (10 ¹) Einheiten
<u>Dezi</u>	<u>d</u>	0,1 (10 ⁻¹) Einheiten
<u>Zenti</u>	<u>c</u>	0,01 (10 ⁻²) Einheiten
<u>Milli</u>	<u>m</u>	0,001 (10 ⁻³) Einheiten
<u>Mikro</u>	<u>μ</u>	0,000 001 (10 ⁻⁶) Einheiten
<u>Nano</u>	<u>n</u>	0,000 000 001 (10 ⁻⁹) Einheiten
<u>Pico</u>	<u>p</u>	0,000 000 000 001 (10 ⁻¹²) Einheiten

3. Soweit dezimale Vielfache und Teile, die von abgeleiteten Einheiten ohne selbständige Namen gebildet werden, durch Vorsätze nach Nr. 2 gebildet werden dürfen (Einh. VO. § 9), ist dies in Spalte 6 angegeben.

* Bezüge auf die Verordnung vom 14. 8. 1958 über die physikalisch-technischen Einheiten sind innerhalb der Tafel durch den Hinweis „Einh. VO.“ bezeichnet.

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
			1. Länge
1.1	<u>Meter</u>	<u>m</u>	<u>Das Meter ist der Abstand der Mittelstriche der auf dem Internationalen Meterprototyp angebrachten Strichgruppen bei der Gleichgewichtstemperatur zwischen Eis und reinem, luftgesättigtem Wasser unter dem Druck einer physikalischen Atmosphäre.</u>
1.2	Seemeile	sm	Die Seemeile ist gleich 1852 Meter.
			2. Fläche
2.1	Quadratmeter	m ²	Das Quadratmeter ist die Fläche eines Quadrates von der Seitenlänge 1 m.
2.2	Ar	a	Das Ar ist gleich 100 Quadratmeter.
2.3	Hektar	ha	Das Hektar ist gleich 100 Ar.
			3. Volumen
3.1	Kubikmeter	m ³	Das Kubikmeter ist das Volumen eines Würfels von der Kantenlänge 1 m.
3.2	Liter	l	Das Liter ist das Volumen von 1 kg reinen, luftfreien Wassers bei seiner maximalen Dichte unter dem Druck einer physikalischen Atmosphäre.

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
$1 \text{ sm} = 1852 \text{ m}$	<p>Die Seemeile ist nur für die Angabe von Entfernungen oder Wegstrecken in der Luft- und in der Seefahrt zulässig. Vielfache und Teile der Seemeile dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p>
$1 \text{ m}^2 = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}$ $1 \text{ a} = 10^2 \text{ m}^2$ $1 \text{ ha} = 100 \text{ a} = 10^4 \text{ m}^2$	<p>Als Einheiten der Fläche sind auch alle Einheiten zulässig, die als Fläche aus einer zulässigen Längeneinheit gebildet werden.</p> <p>Vielfache und Teile des Ars und des Hektars dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 gebildet werden.</p>
$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}$ $1 \text{ l} = 1,000028 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	<p>Als Einheiten des Volumens sind auch alle Einheiten zulässig, die als Kubus aus einer zulässigen Längeneinheit gebildet werden.</p>

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kürzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
4. Ebener Winkel			
4.1	Radiant	rad	Der Radiant ist der ebene Winkel, für den das Verhältnis der Längen des zugehörigen Kreisbogens zu seinem Halbmesser gleich 1 ist.
4.2	rechter Winkel, Rechter	L	Der rechte Winkel oder Rechte ist jeder der vier ebenen Winkel, die zwei sich unter gleichen Nebenwinkeln schneidende Geraden bilden.
4.3	Grad	°	Der Grad ist der 90ste Teil des rechten Winkels oder Rechten.
4.4	Minute	'	Die Minute ist der 60ste Teil des Grades.
4.5	Sekunde	"	Die Sekunde ist der 60ste Teil der Minute.
4.6	Neugrad, Gon	g	Der Neugrad oder das Gon ist der 100ste Teil des rechten Winkels oder Rechten.
5. Raumwinkel			
5.1	Steradian	sr	Der Steradian ist der Raumwinkel, für den das Verhältnis der zugehörigen Kugel­fläche zum Quadrat ihres Halbmessers gleich 1 ist.
6. Zeit			
6.1	<u>Sekunde</u>	s	<u>Die Sekunde ist der 31 556 925,974 7te Teil des tropischen Jahres für 1900, Januar 0, 12 Uhr Ephemeridenzeit.</u>
6.2	Minute	min	Die Minute ist gleich 60 Sekunden.
6.3	Stunde	h	Die Stunde ist gleich 60 Minuten.
6.4	Tag	d	Der Tag ist gleich 24 Stunden.

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
$1 \text{ L} = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$ $1^\circ = \frac{1 \text{ L}}{90}$ $1' = \frac{1^\circ}{60}$ $1'' = \frac{1'}{60}$ $1^{\text{K}} = 10^{-2} \text{ L}$	<p>Vielfache und Teile der Winkleinheiten, rechter Winkel oder Rechter, Grad, Minute, Sekunde und Neugrad dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p> <p>Der 100ste Teil des Neugrads darf als Neuminute (Kurzzeichen ^c), der 100ste Teil der Neuminute als Neusekunde (Kurzzeichen ^{cc}) bezeichnet werden.</p>
$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ $1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$	<p>Vielfache und Teile der Zeiteinheiten Minute, Stunde und Tag dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p>

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
7.1	Hertz	Hz	<p>7. Frequenz</p> <p>Das Hertz ist die Frequenz eines periodischen Vorganges von der Periodendauer 1 s.</p>
8.1	Meter/Sekunde	m/s	<p>8. Geschwindigkeit</p> <p>Das Meter/Sekunde ist die Geschwindigkeit eines sich gleichmäßig bewegenden Körpers, der während der Zeit 1 s den Weg 1 m zurücklegt.</p>
8.2	Knoten	kn	<p>Der Knoten ist die Geschwindigkeit eines sich gleichmäßig bewegenden Luft- oder Wasserfahrzeugs, das während der Zeit 1 h den Weg 1 sm zurücklegt.</p>
9.1	Meter/Quadratsekunde	m/s ²	<p>9. Beschleunigung</p> <p>Das Meter/Quadratsekunde ist die Beschleunigung eines Körpers, dessen Geschwindigkeit sich während der Zeit 1 s gleichmäßig um 1 m/s ändert.</p>

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$	<p>Bei Angabe von Umlauffrequenzen darf die Einheit Hertz als Umdrehung/Sekunde (Kurzzeichen U/s) bezeichnet werden.</p> <p>Außerdem sind als Einheiten für die Umlauffrequenz zulässig: die Umdrehung/Minute (Kurzzeichen U/min) gleich dem 60sten Teil der Umdrehung/Sekunde und die Umdrehung/Stunde (Kurzzeichen U/h) gleich dem 60sten Teil der Umdrehung/Minute.</p>
$1 \text{ m/s} = 1 \text{ m s}^{-1}$ $1 \text{ kn} = 1 \text{ sm/h}$ $= \frac{1852}{3600} \text{ m s}^{-1}$	<p>Als Einheiten der Geschwindigkeit sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Längeneinheit und einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p> <p>Der Knoten ist nur für Geschwindigkeitsangaben in der Luft- und in der Seefahrt zulässig. Vielfache und Teile des Knotens dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p>
$1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ m s}^{-2}$	<p>Als Einheiten der Beschleunigung sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Längeneinheit und dem Quadrat einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p> <p>Der 100ste Teil des Meter/Quadratsekunde, das Zentimeter/Quadratsekunde, darf auch als Gal (Kurzzeichen Gal) bezeichnet werden.</p>

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
10.1	Radiant/ Sekunde	rad/s	<p>10. Winkelgeschwindigkeit</p> <p>Der Radiant/Sekunde ist die Winkelgeschwindigkeit eines gleichmäßig rotierenden Körpers, der sich während der Zeit 1 s um den Winkel 1 rad um seine Achse dreht.</p>
11.1	Radiant/ Quadratsekunde	rad/s ²	<p>11. Winkelbeschleunigung</p> <p>Der Radiant/Quadratsekunde ist die Winkelbeschleunigung eines Körpers, dessen Winkelgeschwindigkeit sich während der Zeit 1 s gleichmäßig um 1 rad/s ändert.</p>
12.1	<u>Kilogramm</u>	<u>kg</u>	<p>12. Masse</p> <p><u>Das Kilogramm ist die Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.</u></p>
12.2	Gramm	g	Das Gramm ist der 1000ste Teil des Kilogramms.
12.3	Tonne	t	Die Tonne ist gleich 1000 Kilogramm.
12.4	metrisches Karat	k	Das metrische Karat ist der 5000ste Teil des Kilogramms.

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
$1 \text{ rad/s} = 1 \text{ s}^{-1}$	<p>Als Einheiten der Winkelgeschwindigkeit sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Winkeleinheit und einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p>
$1 \text{ rad/s}^2 = 1 \text{ s}^{-2}$	<p>Als Einheiten der Winkelbeschleunigung sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Winkeleinheit und dem Quadrat einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p>
$1 \text{ g} = 10^{-2} \text{ kg}$ $1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$ $1 \text{ k} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$	<p>Die durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichneten Vielfachen und Teile werden nicht von der Einheit Kilogramm, sondern von ihrem 1000-sten Teil, dem Gramm (lfd. Nr. 12.2) gebildet.</p> <p>Die bei Wägungen benutzten, zur Bestimmung der Masse dienenden Vergleichskörper werden Gewichtsstücke oder Wägestücke genannt.</p> <p>Das metrische Karat ist nur für den Handel mit Diamanten, Perlen, Edelsteinen und Edelmetallen zulässig. Vielfache und Teile des metrischen Karats dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p>

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
			13. Dichte
13.1	Kilogramm/ Kubikmeter	kg/m ³	Das Kilogramm/Kubikmeter ist die Dichte eines homogenen Körpers, der bei der Masse 1 kg das Volumen 1 m ³ einnimmt.
			14. Kraft
14.1	Newton	N	Das Newton ist die Kraft, die der Masse 1 kg die Beschleunigung 1 m/s ² erteilt.
14.2	Dyn	dyn	Das Dyn ist der 100000ste Teil des Newton.
14.3	Kilopond	kp	Das Kilopond ist gleich 9,806 65 Newton.
14.4	Pond	p	Das Pond ist der 1000ste Teil des Kiloponds.

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
$1 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ m}^{-3} \text{ kg}$	<p>Als Einheiten der Dichte sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Masseinheit und einer zulässigen Volumeneinheit gebildet werden.</p> <p>Die Dichteeinheiten dürfen auch für Schüttdichten benutzt werden.</p>
$1 \text{ N} = 1 \text{ m kg s}^{-2}$ $1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N} = 10^{-5} \text{ m kg s}^{-2}$ $1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$ $\quad = 9,80665 \text{ m kg s}^{-2}$ $1 \text{ p} = 10^{-3} \text{ kp}$ $\quad = 9,80665 \cdot 10^{-3} \text{ m kg s}^{-2}$	<p>Die durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichneten Vielfachen und Teile werden nicht von der Einheit Kilopond, sondern von ihrem 1000-ten Teil, dem Pond (Ifd. Nr. 14.4) gebildet.</p>

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
15. Druck			
15.1	Newton/ Quadratmeter	N/m ²	Das Newton/Quadratmeter ist der Druck, den eine gleichmäßig verteilte Kraft von 1 N auf die Fläche 1 m ² ausübt.
15.2	Bar	bar	Das Bar ist gleich 100 000 Newton/Quadratmeter.
15.3	technische Atmosphäre	at	Die technische Atmosphäre ist gleich 10 000 Kilopond/Quadratmeter.
15.4	physikalische Atmosphäre	atm	Die physikalische Atmosphäre ist gleich 101 325 Newton/Quadratmeter.
15.5	Torr	Torr	Das Torr ist der 760ste Teil der physikalischen Atmosphäre.
16. Dynamische Viskosität			
16.1	Newtonsekunde/ Quadratmeter	Ns/m ²	Die Newtonsekunde/Quadratmeter ist die dynamische Viskosität eines laminar strömenden, homogenen, isotropen Körpers, in dem zwischen zwei ebenen parallelen Schichten mit dem Geschwindigkeitsunterschied 1 m/s je 1 m Abstand in der Schichtfläche die Schubspannung 1 N/m ² herrscht.
16.2	Poise	P	Das Poise ist der 10te Teil der Newtonsekunde/Quadratmeter.

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
<p>$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$</p> <p>$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$ $= 10^5 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$</p> <p>$1 \text{ at} = 10^4 \text{ kp/m}^2$ $= 98066,5 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$</p> <p>$1 \text{ atm} = 101325 \text{ N/m}^2$ $= 101325 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$</p> <p>$1 \text{ Torr} = \frac{1}{760} \text{ atm}$ $= \frac{101325}{760} \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$</p>	<p>Als Einheiten des Drucks sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Kräfteinheit und einer zulässigen Flächeneinheit gebildet werden.</p> <p>Vielfache und Teile der technischen Atmosphäre dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p> <p>Der 10te Teil der technischen Atmosphäre darf auch als Meter Wassersäule (Kurzzeichen mWS), der 1000ste Teil als Zentimeter Wassersäule (Kurzzeichen cmWS) und der 10000ste Teil als Millimeter Wassersäule (Kurzzeichen mmWS) bezeichnet werden.</p> <p>Vielfache und Teile der physikalischen Atmosphäre dürfen nicht durch einen Vorsatz nach Einh. VO. § 6 bezeichnet werden.</p>
<p>$1 \text{ Ns/m}^2 = 1 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-1}$</p> <p>$1 \text{ P} = 10^{-1} \text{ Ns/m}^2$ $= 10^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-1}$</p>	<p>Als Einheiten der dynamischen Viskosität sind auch alle Einheiten zulässig, die in der Form: zulässige Kräfteinheit mal zulässige Zeiteinheit, dividiert durch eine zulässige Flächeneinheit gebildet werden.</p>

Lfd. Nr.	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition der Einheit
1	2	3	4
17.1	Quadratmeter/ Sekunde	m ² /s	17. Kinematische Viskosität Das Quadratmeter/Sekunde ist die kinematische Viskosität eines Körpers der dynamischen Viskosität 1 Ns/m ² und der Dichte 1 kg/m ³ .
17.2	Stokes	St	Das Stokes ist der 10 000ste Teil des Quadratmeter/Sekunde.
18.1	Joule, Wattsekunde, Newtonmeter	J Ws Nm	18. Arbeit, Energie und Wärmemenge Das Joule, die Wattsekunde oder das Newtonmeter ist die Arbeit, die verrichtet wird, wenn sich der Angriffspunkt einer Kraft von 1 N in Richtung der Kraft um 1 m verschiebt.
18.2	Erg	erg	Das Erg ist der 10 000 000ste Teil des Joule.
18.3	Kalorie	cal	Die Kalorie ist gleich 4,1868 Joule.
19.1	Watt	W	19. Leistung Das Watt ist die Leistung von 1 J/s.

Beziehung der Einheit zu den Grundeinheiten	Besondere Bestimmungen
5	6
$1 \text{ m}^2/\text{s} = \frac{1 \text{ N s}/\text{m}^2}{1 \text{ kg}/\text{m}^3}$ $= 1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ $1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ $= 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	<p>Als Einheiten der kinetischen Viskosität sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Flächeneinheit und einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p>
$1 \text{ J} = 1 \text{ W s} = 1 \text{ Nm}$ $= 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$ $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ $= 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$ $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$ $= 4,1868 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$	<p>Als Einheiten der Arbeit, der Energie und der Wärmemenge sind auch alle Einheiten zulässig, die als Produkt aus einer zulässigen Krafteinheit und einer zulässigen Längeneinheit oder als Produkt aus einer zulässigen Leistungseinheit und einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p>
$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-3}$	<p>Bei Angabe von elektrischen Scheinleistungen darf anstelle des Watt das Voltampere (Kurzzeichen VA), bei Angabe von elektrischen Blindleistungen das Var (Kurzzeichen var) benutzt werden.</p> <p>Als Einheiten der Leistung sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer zulässigen Arbeitseinheit und einer zulässigen Zeiteinheit gebildet werden.</p> <p>Das 735,498 75fache des Watt (75 Kilopondmeter/Sekunde) darf bis auf weiteres noch als Pferdestärke (Kurzzeichen PS) bezeichnet werden.</p>

Tafel 7

Zusammenstellung einiger älterer bzw. nichtkohärenter Einheiten und Konstanten

1 Zoll	= 1 inch	= 0,0254 m
1 Fuß (foot)	= 12 Zoll	= 0,305 m
1 Yard	= 3 Fuß	= 0,914 m
1 X-Einheit (XE)	= 10^{-13} m	
1 Angström (Å)	= 10^{-10} m	
1 Seemeile (sm)	(= 1 Längenkreis- Minute)	= 1852 m
1 geogr. Meile	$\left(= \frac{1}{15} \text{ Äqu.-grad} \right)$	= 7420,44 m
1 Lichtjahr (Lj)	= $0,946 \cdot 10^{16}$ m	
1 Parallaxensekunde (Parsec, pc)	= $3,084 \cdot 10^{16}$ m	
1 Liter (l)	= $1,000028 \cdot 10^{-3}$ m ³	
1 Stunde (h)	= 3600 s	
1 Tag (d)	= 24 h	= 86400 s
1 Jahr (a)	= $31,557 \cdot 10^6$ s	
1 km/h	= $\frac{1}{3,6}$ m s ⁻¹	= 0,278 m s ⁻¹
1 rad	= 57°17'45''	= 57,29578° = $\frac{180^\circ}{\pi}$
0,1 rad	= 5,72958°	
0,01 rad	= 0,57296°	

Tafel 8
Druckeinheiten

	at	atm	bar = 10^5 Nm^{-2}	mbar	Torr	cm WS
at	1	0,968	0,981	981	736	1000
atm	1,033	1	1,0133	1013,3	760	1033
bar	1,02	0,987	1	1000	750	1020
mbar	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$9,87 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	1	0,75	1,02
Torr	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	1,33	1	1,36
cm WS	10^{-3}	$9,68 \cdot 10^{-4}$	$9,81 \cdot 10^{-4}$	0,981	0,736	1

Tafel 9
Energie- und Arbeitseinheiten

	$J = W_s = \text{Nm}$ $= \text{m}^2 \text{ kg s}^{-2}$	kpm	kWh	kcal	eV
J	1	0,102	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$6,24 \cdot 10^{18}$
kpm	9,81	1	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	$6,12 \cdot 10^{19}$
kWh	$3,60 \cdot 10^6$	$3,67 \cdot 10^5$	1	860	$2,25 \cdot 10^{25}$
kcal	4186,8	427	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1	$2,61 \cdot 10^{22}$
eV	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,63 \cdot 10^{-20}$	$4,45 \cdot 10^{-26}$	$3,83 \cdot 10^{-23}$	1

Tafel 10
Leistungseinheiten

	$W = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-3}$	kW	$\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$	PS	$\frac{\text{kcal}}{\text{s}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
W	1	10^{-3}	0,102	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	0,86
kW	10^3	1	102	1,36	0,239	860
$\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	8,43
PS	735,5	0,7355	75	1	0,1757	632
$\frac{\text{kcal}}{\text{s}}$	4187	4,19	427	5,69	1	3600
$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	1

Tafel 11
Reibungskoeffizienten μ

	Haftreibung		Gleitreibung		
	trocken	ge- schmiert	trocken	ge- schmiert	mit Wasser
Stahl/Stahl	0,15 (poliert) 0,23 (geschlicht.)	0,1	0,1	0,009	—
Stahl/ Gußeisen	0,18	0,1	0,15...0,4	0,01	—
Lederrriemen/ Gußeisen	0,56	—	0,28	0,12	0,38
Lederrriemen/ Holz	0,47	—	0,27	—	—
Holz/Holz	0,65	0,2	0,2...0,4	0,16...0,04	0,25
Holz/Metall	0,5...0,6	0,1	0,2...0,5	0,02...0,08	0,22...0,26
Kfz. mit blockierten Rädern:	Pflaster		0,3...0,7		0,25...0,5
	Zementbeton		0,45		0,3
	Asphalt		0,3		0,15

Kahn (geringe Geschwindigkeit)	$\mu \approx 0,0004$
Kugel- und Rollenlager	$\mu \approx 0,003$
Stapellauf ($4 \dots 5 \text{ m s}^{-1}$)	$\mu \approx 0,04$
Schlitten, Schlittschuhe (Eisenkufen)	$\mu \approx 0,015 \dots 0,03$
Schlitten (Holzkufen)	$\mu \approx 0,035$

Tafel 12
Fahrwiderstandszahlen μ von Fahrzeugen

Eisenbahn	0,0017 ... 0,0027	eisenbereift:	
Straßenbahn	0,006	Asphalt	0,01 ... 0,015
Gummibereifte Fahrzeuge		Steinpflaster	0,02 ... 0,04
Asphalt	0,021 ... 0,035	Erdweg, fest	0,05 ... 0,1
Pflaster	0,04	loser Sand	0,15 ... 0,3

Tafel 13
Längen und Entfernungen

Bogenlänge eines Längengrades (mittl.)	$1,11 \cdot 10^6$ m
Erdumfang (mittl.)	$4 \cdot 10^7$ m
Erddurchmesser (mittl.)	$1,274 \cdot 10^7$ m
Entfernung Erde—Sonne	$1,495 \cdot 10^{11}$ m
Entfernung Erde—Mond	$3,84 \cdot 10^8$ m
Durchmesser der Sonne	$1,39 \cdot 10^9$ m
Durchmesser des Mondes	$3,476 \cdot 10^6$ m
Eisenbahnspurweite	1,435 m
Eisenbahnspurweite (UdSSR)	1,524 m
Sichtbarkeit im Mikroskop bis	$2 \cdot 10^{-8}$ m (= 20 nm)
Sichtbarkeit im Elektronenmikroskop bis	$2 \cdot 10^{-9}$ m

Tafel 14
Geschwindigkeiten

	$v/m \text{ s}^{-1}$
Licht (el. magn. Wellen)	299,78 · 10 ⁶
Elektron, nach Durchlaufen einer Spannung	19 · 10 ⁶
} von 1000 V	
} von 1 V	6 · 10 ⁵
Sonne um Zentrum der Milchstraße	268 · 10 ³
Erde um die Sonne	29,6 · 10 ³
Rakete (überwindet Erdanziehung)	11,2 · 10 ³
Rakete (Erdsatellit, Kreisbahn um die Erde)	8 · 10 ³
Schall in Stahl und Aluminium	5,1 · 10 ³
Erdbebenwelle	3,5 ... 10 · 10 ³
Wasserstoffmolekül bei 0°C und 760 Torr	1,8 · 10 ³
Schall in Wasser	1,4 · 10 ³
Mond um Erde	1,03 · 10 ³
Punkt des Äquators	465
Schall in Luft bei der Temperatur t (in °C)	331 $\sqrt{1 + 0.0037 t/grad}$
Schwalbe	70 ... 90
Nervenleitung	40 ... 70
Brieftaube	bis 38
Schwertfisch	bis 36
Windstärke 12	über 29
Autobahnhöchstgeschwindigkeit (100 km h ⁻¹) = Endgeschwindigkeit bei Fall aus rund 40 m Höhe	28
Windhund	bis 25
Windstärke 6 (starker Wind)	12,4 ... 9,9
Hai	bis 12
100-m-Läufer (Weltrekord)	9,8
10000-t-Frachter (16,5 kn)	8,5
Fallschirm	5
Regentropfen	4
Drehen von Stahl' (Schnittgeschw.)	bis 8
Magnettonband	0,76 0,381 0,1905 0,095
Blut in der Hauptschlagader	0,5
Gletscher	5 · 10 ⁻⁶

Tafel 15
Beschleunigungen

	$a/m \text{ s}^{-2}$
Ultrazentrifuge (Zentralbeschleunigung)	10 ⁶
Milchzentrifuge (Zentralbeschleunigung)	400
Sonnenoberfläche (Schwerebeschleunigung)	274
Rakete (bei Brennschluß)	30 ... 70
Erdbeschleunigung am Pol	9,833
Erdbeschleunigung, gesetzlich festgelegter Mittelwert	9,80665
Erdbeschleunigung am Äquator	9,780
Venusoberfläche (Schwerebeschleunigung)	8,74
Anfahren eines Kraftwagens	bis 3
Strahltrieb-Verkehrsflugzeug (Start)	ca. 2
Mondoberfläche (Schwerebeschleunigung)	1,62
Anfahren der Berliner S-Bahn	0,55
" von E-Schnellzügen	0,25
" von Dampf-Schnellzügen	0,20
" von Personenzügen	0,12
" von Güterzügen	0,08
Schwerebeschleunigung durch die Sonne auf der Erde	0,00593
Erdbeschleunigung in Mondentfernung (60,27 Erdradien)	0,00272

Verzögerungen

Landung eines Strahltrieb-Verkehrsflugzeugs	1,3
Verkehrspolizeiliche Vorschrift für Kraftfahrzeuge, mindestens	3,0
Bremsen eines Kraftwagens mit guter Vierradbremse	5,2
Bremsen der S-Bahn	0,95
Bremsen von Schnellzügen	0,4

Tafel 16**Drehzahl**

	n/min^{-1}
Ultrazentrifugen	40 000 ... 500 000
Strahltriebwerke	6 000 ... 40 000
Kreiselkompaß	20 000
Milchzentrifugen	5 000 ... 8 000
Ottomotoren	2 500 ... 5 500
Flugzeugpropeller	2 000 ... 3 400
Drehstromgenerator im Wärmekraftwerk	3 000
Dieselmotoren	200 ... 2 000
Waschmaschine (Schleuder, Wirbler)	1 500
Bohrmaschinen	60 ... 1 500
Drehmaschinen	22 ... 1 000
Wasserturbinen	60 ... 1 000
Schiffsschrauben	90 ... 310
Schallplattenteller	33/45/78

INHALTSVERZEICHNIS

Tafel		Seite
1	Gleichungen	1
2	Gegenüberstellung analoger Größen	5
3	Gegenüberstellung analoger Gleichungen	6
4	Übersicht über die wichtigsten Einheiten	7
5	Übersicht über veraltete, geänderte und neue Einheiten	8
6	Auszug aus der Tafel der gesetzlichen Einheiten	9
7	Zusammenstellung einiger älterer bzw. nichtkohärenter Einheiten	24
8	Druckeinheiten	25
9	Energie- und Arbeitseinheiten	25
10	Leistungseinheiten	25
11	Reibungskoeffizienten μ	26
12	Fahrwiderstandszahlen μ von Fahrzeugen	26
13	Längen und Entfernungen	27
14	Geschwindigkeiten	28
15	Beschleunigungen	29
16	Drehzahl	30

