Taschenbuch der technischen Formeln

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Friedrich Fischer

3., neu bearbeitete Auflage

mit zahlreichen Bildern

Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Größen und Einheiten

Physikalische und technische Gesetzmäßigkeiten werden durch mathematische Verknüpfungen der Größen dargestellt. Der Wert jeder physikalischen Größe ist das Produkt aus einem Zahlenwert und einer Einheit.

Wert = Zahlenwert mal Einheit

International wird weitgehend das Internationale Einheitensystem SI (Système International d'Unités) mit sieben Basiseinheiten benutzt. Es ist in der Bundesrepublik Deutschland seit 1969 durch das „Gesetz über Einheiten im Messwesen“ verbindlich. Darüber hinaus gibt es Einheiten, die in Spezialgebieten gebräuchlich sind bzw. in älterer Literatur benutzt werden, diese sind mit * gekennzeichnet.

Größe/Symbol	**Einheit**		**Beziehung**
Länge x, y, z, s, l, r	**m**	**Meter**	**SI-Basiseinheit**
	AE	Astronomische Einheit*	$1\,\text{AE} = 149{,}600 \cdot 10^9\,\text{m}$
	Lj	Lichtjahr*	$1\,\text{Lj} = 9{,}460\,5 \cdot 10^{15}\,\text{m}$
	Å	Angström*	$1\,\text{Å} = 10^{-10}\,\text{m}$ (Atomphysik)
	sm	(Internationale) Seemeile*	$1\,\text{sm} = 1852\,\text{m}$
ebener Winkel α, φ	rad	Radiant	$1\,\text{rad} = 1\,\text{m}/\text{m}$
	°	Grad	$1° = (\pi/180)\,\text{rad}$
		Vollwinkel	$2\pi\,\text{rad} = 360°$
Raumwinkel Ω	sr	Steradiant	$1\,\text{sr} = 1\,\text{m}^2/\text{m}^2$
Fläche A	m^2	Quadratmeter	
	a	Ar	$1\,\text{a} = 100\,\text{m}^2$
	ha	Hektar	$1\,\text{ha} = 100\,\text{a} = 10^4\,\text{m}^2$
	b	Barn	$1\,\text{b} = 10^{-28}\,\text{m}^2$ (Kernphysik)
Volumen V	m^3	Kubikmeter	
	l	Liter	$1\,\text{l} = 10^{-3}\,\text{m}^3 = 10^3\,\text{cm}^3$
	Fm	Festmeter*	$1\,\text{Fm} = 1\,\text{m}^3$ (Holzwirtschaft)
		Barrel*	$1\,\text{barrel} = 158{,}987\,\text{l}$ (nur Rohöl)
Masse m	**kg**	**Kilogramm**	**SI-Basiseinheit**
	g	Gramm	$1\,\text{g} = 10^{-3}\,\text{kg}$
	t	Tonne	$1\,\text{t} = 10^3\,\text{kg}$
	Ztr	Zentner*	$1\,\text{Ztr} = 50\,\text{kg}$
	Kt	metrisches Karat	$1\,\text{Kt} = 0{,}2\,\text{g}$ (Edelsteine)
Dichte ϱ	kg/m^3		$1\,\text{kg}/\text{m}^3 = 10^{-3}\,\text{g}/\text{cm}^3$

4 Schallwellen/Akustik

4.1 Beschreibung von Schallwellen

Schallwellen sind Wellen in elastischen Medien.

16 Hz . . . 20 kHz	Hörschall
< 16 Hz	Infraschall (Gebäudeschwingungen, Verkehrserschütterungen)
> 20 kHz	Ultraschall

Schallgeschwindigkeit

Schallgeschwindigkeit in Festkörpern

→ 3.5	Bei 20 °C: Blei 1300 m/s, Glas 5500 m/s, Stahl 5000 m/s

Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

$c = \sqrt{\dfrac{K}{\varrho}}$	K Kompressionsmodul, ϱ Dichte Bei 20 °C: Wasser 1485 m/s, Benzol 1320 m/s, Glycerin 1923 m/s

Schallgeschwindigkeit in Gasen

$c = \sqrt{\dfrac{\varkappa p}{\varrho}}$	$\varkappa = c_p/c_v$ Adiabatenexponent, p Druck, ϱ Dichte Bei 0 °C: Luft 332 m/s, Helium 971 m/s, Kohlendioxid 258 m/s

Die Schallgeschwindigkeiten sind über die Dichte temperaturabhängig. Für Luft gilt:

$c = (331{,}6 + 0{,}6\vartheta)\,\mathrm{m/s}$	Schallgeschwindigkeit in Luft ϑ in °C

4.2 Schallfeldgrößen

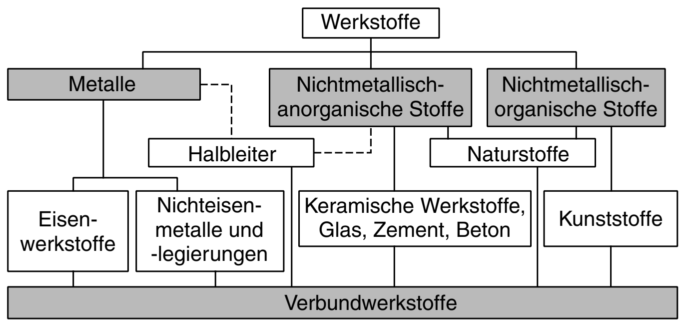
Die Schallwellen in Luft sind Longitudinalwellen (→ oben).

$s(x,t) = s_0 \cos(\omega t - kx)$	Orts-Zeit-Funktion der Welle s Auslenkung eines Teilchens

Werkstofftechnik

1 Grundlagen

1.1 Übersicht zu den Werkstoffgruppen



1.2 Festkörperstrukturen als Basis der Werkstoffeigenschaften

Festkörpereigenschaften ergeben sich aus der Struktur:

Art der Bausteine	Atome, Ionen, Moleküle
Anordnung der Bausteine	amorph (ungeordnet) kristallin (geordnet)
Chemische Bindung	Metallbindung, Atombindung, Ionenbeziehung, van-der-Waals'sche Bindung

Charakterisierung der kristallinen Struktur

Elementarzelle (EZ)	kleinste räumliche Einheit des Kristallgitters
Kenngrößen zur Charakterisierung der Elementarzelle	a) Gitterkonstanten: a, b, c b) Winkel des Kristallgitters: α, β, γ c) Besetzungszahl (BZ): Anzahl der Atome je EZ d) Koordinationszahl (KZ): Anzahl der nächsten Nachbaratome e) Packungsdichte (PD): Verhältnis von Volumen der Atome je EZ und Volumen der EZ

Regelungstechnik

1 Grundbegriffe

1.1 Aufgabe der Regelung

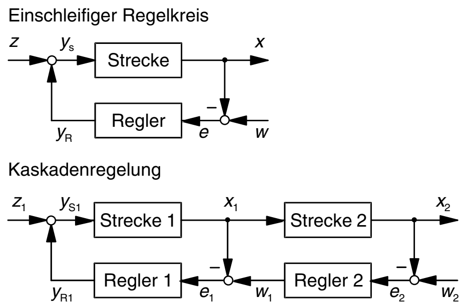
Die Regeleinrichtung (Regler) hat die Aufgabe, eine Stellgröße zu erzeugen, die auf den Eingang der Regelstrecke wirkt, sodass die Sollwert-/Istwert-Abweichung $e = w - x$ zu null wird.

1.2 Blockschaltbild eines Regelkreises

Sollwert-/Istwert-Abweichung

$e = w - x$

x Regelgröße
y Stellgröße, allgemein
z Störgröße
w Führungsgröße, Sollwert
y_R Reglerausgangsgröße
y_S Streckeneingangsgröße



1.3 Testfunktionen

Sprungfunktion

$$x_e(t) = \begin{Bmatrix} 0 & \text{für } t < 0 \\ x_{e0} = \text{const} & \text{für } t \geqq 0 \end{Bmatrix}$$

$x_e(t)$ Sprungfunktion

Einheitssprung

$$\sigma(t) = \begin{Bmatrix} 0 \text{ für } t < 0 \\ 1 \text{ für } t \geqq 0 \end{Bmatrix}$$

Die auf den Wert eins normierte Sprungfunktion wird als Einheitssprung bezeichnet.

$$x_e(t) = x_{e0}\sigma(t)$$

Weitere Schreibweise für die Sprungfunktion

Die Reaktion einer Regelstrecke oder des gesamten Regelkreises auf einen Einheitssprung wird als Sprungantwort bzw. Übergangsfunktion $h(t)$ bezeichnet.

Berechnung der Parameter a_i und b_i für z-Übertragungsfunktionen verschiedener Strecken

Strecke	Übertragungsfunktion	z-Übertragungsfunktion mit Halteglied	Gleichungen zur Berechnung der Parameter der z-Übertragungsfunktion
P-T_1-Strecke	$G(s) = \dfrac{K_S}{1 + s \cdot T_1}$	$H \cdot G(z) = \dfrac{b_1 \cdot z^{-1}}{1 + a_1 \cdot z^{-1}}$	$b_1 = K_S \left(1 - e^{-\frac{T_0}{T_1}}\right), \quad a_1 = -e^{-\frac{T_0}{T_1}}$
P-T_2-Strecke mit aperiodischem Verhalten	$G(s) = \dfrac{K_S}{(1 + s \cdot T_1)(1 + s \cdot T_2)}$	$H \cdot G(z) = \dfrac{b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}$	$A = K_S, \quad B = K_S \cdot \dfrac{T_1}{T_2 - T_1}, \quad C = K_S \cdot \dfrac{T_2}{T_1 - T_2}$, $b_1 = -\left[A\left(e^{-\frac{T_0}{T_1}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}}\right) + B\left(1 + e^{-\frac{T_0}{T_2}}\right) + C\left(1 + e^{-\frac{T_0}{T_1}}\right)\right]$, $b_2 = A \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_2}} + B \cdot e^{-\frac{T_0}{T_2}} + C \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1}}$, $a_1 = -\left(e^{-\frac{T_0}{T_1}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}}\right), \quad a_2 = e^{-\frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_2}}$
P-T_2-Strecke mit aperiodischem Grenzverhalten	$G(s) = \dfrac{K_S}{(1 + s \cdot T_1)^2}$	$H \cdot G(z) = \dfrac{b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}$	$A = K_S, \quad B = -\dfrac{K_S}{T_1}, \quad C = -K_S$ $b_1 = B \cdot T_0 \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1}} - A \cdot 2 \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1}} - C\left(1 + e^{-\frac{T_0}{T_1}}\right)$, $b_2 = A \cdot e^{-2 \cdot \frac{T_0}{T_1}} - B \cdot T_0 \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1}} + C \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1}}$, $a_1 = -2 \cdot e^{-\frac{T_0}{T_1}}, \quad a_2 = e^{-2 \cdot \frac{T_0}{T_1}}$