



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Metallberufe

Roland Gomeringer, Meßstetten  
Volker Menges, Lichtenstein  
Stefan Oesterle, Amtzell

Claudius Scholer, Pliezhausen  
Andreas Stephan, Marktoberdorf  
Falko Wieneke, Essen

# Formelsammlung Metall **PLUS<sup>+</sup>**

**1. Auflage**

**Lektorat:**

Roland Gomeringer, Meßstetten

**Bildbearbeitung:**

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Druck 5 4 3

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern unverändert sind.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2016 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt  
Umschlag: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar  
Umschlagfotos: Gühring KG, Albstadt, und Titelbild Tabellenbuch Metall  
Druck: Lensing Druck GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund

**Europa-Nr.: 11947**

ISBN 978-3-8085-1194-7

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorfer Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

## Vorwort

Eigenverantwortliche Durchführung von Aufträgen und Projekten ist heute in Betrieben gängige Praxis. Dies gilt für die berufliche Grundbildung im Rahmen des Lernfeldunterrichts ebenso, wie für die berufliche Weiterbildung in Fachschulen oder Hochschulen. In den technischen Anwendungen wird dazu eine Vielzahl von Daten benötigt, die dann mit den Normen der Technik in anerkannten Regeln und Formeln genutzt werden.

Das vorliegende Buch **Formelsammlung Metall PLUS<sup>+</sup>** enthält insbesondere Formeln für die Metalltechnik, ist aber auch übergreifend einsetzbar.

- So sind in den ersten beiden Kapiteln die **Grundlagen der Mathematik und Physik** dargestellt.
- Die Formeln der **Mechanik und Festigkeitslehre** werden ergänzt durch zeichnerische Lösungsverfahren.
- Die **Arbeitsplanung** enthält zusätzlich das **Qualitätsmanagement** und die **Kalkulation**.
- Die **Fertigungstechnik** ist mit allen gängigen Verfahren vertreten.
- Bei der **CNC-Technik** wird die unabhängige PAL-Befehlscodierung verwendet.
- Die Formelsammlung wird mit einem umfangreichen **Sachwortregister** abgeschlossen.

Diese Formelsammlung ist als Nachschlagewerk für Prüfungen und als Hilfe bei der Arbeit mit Fachbüchern und Tabellenbüchern gedacht. Sie beschränkt sich nicht nur auf die einfachen Grundlagen, sondern hilft auch bei schwierigeren Themen.

Viele Inhalte sind für die metalltechnische Berufsausbildung wichtig, weitergehende Inhalte, wie z.B. die Mechanik und Festigkeitslehre, werden entweder in der technischen Weiterbildung (Meister und Techniker) oder im Technischen Gymnasium und der Fachoberschule zusätzlich genutzt. Auch für Praktiker aus Handwerk und Industrie sowie für Studenten des Maschinenbaues ist diese Formelsammlung wertvoll.

Autoren und Verlag sind allen Nutzern dieser Formelsammlung für Hinweise und Verbesserungsvorschläge an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de) dankbar.

## Technische Mathematik

### Grundlagen

Mathematische Zeichen .....	4
Besondere Zahlen und Funktionswerte .....	5
Griechisches Alphabet .....	6
Grundrechenarten und Rechenregeln .....	7
Lineare Funktion – Gerade .....	11
Quadratische Funktion – Parabel .....	12
Binome, Quadratische Gleichung .....	13
Gleichungssysteme, Lösungsverfahren .....	14

### Anwendungen

Größen und Einheiten .....	16
Rechnen mit Formeln .....	21
Rechnen mit Verhältnissen .....	23
Prozent-, Zinsrechnung .....	24
Satz des Pythagoras .....	26
Winkelfunktionen .....	27

### Längen, Flächen, Volumen

Teilung von Längen .....	28
Gestreckte Längen .....	29
Flächen .....	30
Volumen, Oberfläche .....	36
Volumen zusammengesetzter Körper .....	41

## Technische Physik

### Bewegung

Geradlinige Bewegung .....	42
Kreisförmige Bewegung .....	44
Geschwindigkeiten an Maschinen .....	46

### Wärmelehre und Fluidmechanik

Längen-, Volumenänderung .....	48
Zustandsänderung von Gasen .....	49
Wärmemenge bei Temperaturänderung .....	50
Druck, Überdruck, Luftdruck, absoluter Druck .....	52
Auftriebskraft, Druckübersetzung .....	53
Kolbenkräfte, Kolbengeschwindigkeit .....	54
Luftverbrauch, Hydraulische Presse .....	55
Massenerhaltungssatz .....	56
Energiehaltungssatz, Satz von Bernoulli .....	57

### Elektrotechnik

Ohmsches Gesetz und Leiterwiderstand .....	58
Reihen- und Parallelschaltung .....	59
Gemischte Schaltungen .....	60
Elektrische Leistung .....	61
Elektrische Arbeit, Transformator .....	62
Kondensator .....	63
Gleichstrom- und Wechselstrommotor .....	64
Synchron- und Asynchronmotor .....	65

## Mechanik und Festigkeitslehre

### Mechanik

Darstellung von Kräften .....	66
3-Kräfte- und Schlusslinienverfahren .....	68
Gleichgewicht in der Ebene .....	69
Drehmoment .....	71
Kräfte und Momente bei Beschleunigung .....	73
Trägheitsmomente .....	74
Federkraft, Fliehkraft, Zentripetalkraft .....	75
Reibung .....	76

Reibung an der Schiefen Ebene .....	77
Mechanische Arbeit, Feste Rolle .....	78
Flaschenzug, Keil .....	79
Schraube, Räderwinde .....	80
Zahnradmaße .....	81
Übersetzungen .....	82
Potenzielle und kinetische Energie .....	84
Leistung, Wirkungsgrad .....	85

### Festigkeitslehre

Begriffe, Sicherheiten .....	87
Zug- und Druckbeanspruchung .....	89
Flächenpressung, Abscherung .....	90
Torsionsbeanspruchung .....	91
Biegebeanspruchung .....	92
Biegemomente und Durchbiegung .....	93
Knickung .....	94
Widerstandsmomente .....	95

## Arbeitsplanung und Kalkulation

Toleranzen und Passungen .....	98
Qualitätsmanagement .....	100
Durchlaufzeit .....	103
Auftragszeit .....	104
Belegungszeit .....	105
Kalkulation .....	106
Maschinenstundensatzberechnung .....	111
Teilkostenrechnung, Gewinnschwelle .....	112
Deckungsbeitrag .....	113
Kostenvergleichsrechnung .....	113

## Fertigungstechnik

Drehzahlprogramm .....	114
Drehen, Hauptnutzungszeiten .....	115
Kegeldrehen, Rautiefe .....	119
Drehen, Kräfte und Leistungen .....	120
Fräsen, Hauptnutzungszeiten .....	121
Teilen mit Teilkopf .....	124
Fräsen, Kräfte und Leistungen .....	125
Bohren und Reiben, Hauptnutzungszeiten .....	126
Bohren, Kräfte und Leistungen .....	128
Schleifen, Hauptnutzungszeiten .....	129
Abtragen .....	131
Scherschneiden .....	132
Biegen .....	134
Tiefziehen .....	135
Schweißen .....	138

## CNC-Technik

PAL-Drehen: Befehlscodierung .....	140
PAL-Drehen: G1 .....	141
PAL-Drehen: G2 .....	142
PAL-Drehen: G3 .....	143
PAL-Drehen: Zyklen .....	144
PAL-Fräsen: Befehlscodierung .....	147
PAL-Fräsen: G1 .....	148
PAL-Fräsen: G2 .....	149
PAL-Fräsen: G3 .....	150
PAL-Fräsen: Zyklen .....	151

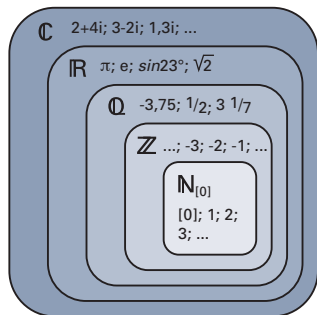
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	156
----------------------------------	-----

## Grundlagen

## Mathematische Zeichen

Math. Zeichen	Sprechweise	Math. Zeichen	Sprechweise
$\approx$ $\doteq$ $\dots$ $\infty$	ungefähr gleich, rund, etwa entspricht und so weiter unendlich	$\sim$ $a^x$ $\sqrt{\quad}$ $\sqrt[n]{\quad}$	proportional a hoch x, x-te Potenz von a Quadratwurzel aus n-te Wurzel aus
$=$ $\neq$ $\stackrel{\text{def}}{=}$ $<$	gleich ungleich ist definitionsgemäß gleich kleiner als	$ x $ $\perp$ $\parallel$ $\uparrow\uparrow$	Betrag von x senkrecht zu ist parallel zu gleichsinnig parallel
$\leq$ $>$ $\geq$ $+$	kleiner oder gleich größer als größer oder gleich plus	$\uparrow\downarrow$ $\sphericalangle$ $\triangle$ $\cong$	gegenseitig parallel Winkel Dreieck kongruent zu
$-$ $\cdot$ $\div, /, :$ $\Sigma$	minus mal, multipliziert mit durch, geteilt durch, zu, pro Summe	$\Delta x$ $\%$ $\text{‰}$	Delta x (Differenz zweier Werte) Prozent, vom Hundert Promille, vom Tausend
log lg ln e	Logarithmus (allgemein) dekadischer Logarithmus natürlicher Logarithmus Eulersche Zahl ( $e = 2,718281\dots$ )	$()$ , $[\ ]$ , $\{ \}$ $\pi$	runde, eckige, geschweifte Klammer auf und zu pi (Kreiszahl = 3,14159 ...)
sin cos tan cot	Sinus Kosinus Tangens Kotangens	$\overline{AB}$ $\widehat{AB}$ $a'$ , $a''$ $a_1$ , $a_2$	Strecke AB Bogen AB a Strich, a zwei Strich a eins, a zwei

## Zahlenmengen



## Bezeichnungen

- $\mathbb{N}$  Natürliche Zahlen, positive ganze Zahlen [mit Null]
- $\mathbb{Z}$  Ganze Zahlen,  $\mathbb{N}$  plus negative ganze Zahlen
- $\mathbb{Q}$  Rationale Zahlen (Quotienten),  $\mathbb{Z}$  plus Bruch- und Dezimalzahlen
- $\mathbb{R}$  Reelle Zahlen,  $\mathbb{Q}$  plus nicht durch Brüche darstellbare Zahlen
- $\mathbb{C}$  Komplexe Zahlen (Complex) aus Realteil u. Imaginärteil; mit  $i^2 = -1$
- $\mathbb{C}$  ist Teilmenge von

Zusammenhang der Zahlenmengen

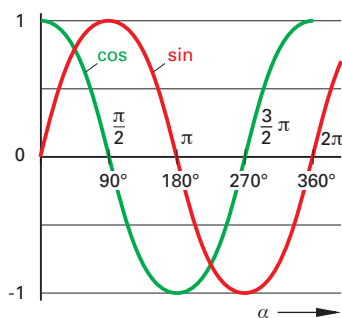
 $\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C}$

## Grundlagen

## Besondere Zahlen (Auswahl)

Kreiszahl	$\pi = 3,141592 \dots$	Goldener Schnitt	$\Phi = 1,618033 \dots$
Eulersche Zahl	$e = 2,71828 \dots$	Wurzel aus 2	$\sqrt{2} = 1,4142135 \dots$
Absoluter Nullpunkt	$T = -273,15^\circ\text{C}$	Wurzel aus 3	$\sqrt{3} = 1,7320508 \dots$
Erdbeschleunigung	$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$	Primzahlen	2; 3; 5; 7; 11; 13 ...
Lichtgeschwindigkeit	$c = 299792458 \text{ m/s}$	Avogadrozahl $N_A$	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$
Fluchtgeschwindigkeit	$v = 11,2 \text{ km/s}$	molare Gaskonstante	$R = 8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$

## Sinus-, Kosinus- und Tangensfunktion (Auswahl)



## Bezeichnungen

$\sin \alpha$	Sinusfunktion
$\cos \alpha$	Kosinusfunktion
$\alpha$	Winkel ( $^\circ$ )
$\alpha_r$	Winkel (rad)
rad	Radian, Winkel im Bogenmaß

## Umrechnung: Grad und Radian

$$\alpha = \frac{\alpha_r \cdot 180^\circ}{\pi}$$

$$\alpha_r = \frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ}$$

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$135^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
$\alpha_r$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	$\pi$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1
$\tan \alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm \infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0

sin, cos, tan für  $180^\circ < \alpha \leq 360^\circ$ 

$$\begin{aligned}\sin(\alpha - 180^\circ) &= -\sin \alpha \\ \cos(\alpha - 180^\circ) &= -\cos \alpha \\ \tan(\alpha - 180^\circ) &= \tan \alpha\end{aligned}$$

sin, cos, tan für  $\pi < \alpha_r \leq 2\pi$ 

$$\begin{aligned}\sin(\alpha_r - \pi) &= -\sin \alpha_r \\ \cos(\alpha_r - \pi) &= -\cos \alpha_r \\ \tan(\alpha_r - \pi) &= \tan \alpha_r\end{aligned}$$

## Grundlagen

## Griechisches Alphabet mit Anwendungsbeispielen

Griechischer Buchstabe		Gesprochen	z. B. verwendet für ...
A	$\alpha$	Alpha	Freiwinkel, Winkel, Längenausdehnungskoeffizient
B	$\beta$	Beta	Keilwinkel, Winkel
$\Gamma$	$\gamma$	Gamma	Spanwinkel, Winkel, spezifischer Widerstand
$\Delta$	$\delta$	Delta	Differenz, Winkel
E	$\varepsilon$	Epsilon	Dehnung, Eckenwinkel (Wendeschneidplatte)
Z	$\zeta$	Zeta	Verlustbeiwert von Armaturen
H	$\eta$	Eta	Wirkungsgrad
$\Theta$	$\theta$	Theta	Thermodynamische Temperatur (°K), Temperatur (°C)
I	$\iota$	Iota	höhere Mathematik
K	$\kappa$	Kappa	Einstellwinkel (Drehen), elektrische Leitfähigkeit
$\Lambda$	$\lambda$	Lambda	Wellenlänge, Wärmeleitfähigkeit, Neigungswinkel (Wendeschneidplatte)
M	$\mu$	My	Reibungskoeffizient, Prozessmittelwert
N	$\nu$	Ny	Sicherheitszahl
$\Xi$	$\xi$	Xi	höhere Mathematik
O	$\omicron$	Omikron	höhere Mathematik
$\Pi$	$\pi$	Pi	Produkt-Symbol, Kreiszahl 3,1415 ...
P	$\varrho, \rho$	Rho	Dichte, Winkel, Leiterwiderstand
$\Sigma$	$\sigma$	Sigma	Summe-Symbol, Normalspannung, Prozessstandardabweichung
T	$\tau$	Tau	Schubspannung, Torsionsspannung
$\Upsilon$	$\upsilon$	Ypsilon	Achsenbezeichnung
$\Phi$	$\varphi$	Phi	Wärmestrom (Q), Goldener Schnitt, Winkel, Phasenverschiebung, Stoßfaktor
X	$\chi$	Chi	Statistisches Merkmal
$\Psi$	$\psi$	Psi	Wärmedurchgangskoeffizient
$\Omega$	$\omega$	Omega	Zeichen für Ohm, Winkelgeschwindigkeit

## Grundlagen

### Grundrechenarten

<b>Addition</b>	$a$ Summand $b$ Summand $c$ Summe	$a + b = c$
<b>Subtraktion</b>	$a$ Minuend $b$ Subtrahend $c$ Differenz	$a - b = c$
<b>Multiplikation</b>	$a$ Multiplikator $b$ Multiplikator $c$ Produkt	$a \cdot b = c$
<b>Division</b>	$a$ Dividend, Zähler $b$ Divisor, Nenner, $b \neq 0$ $c$ Quotient, Wert des Bruches	$a \div b = c$  <i>Bruchschreibweise:</i> $\frac{a}{b} = c$

### Vorzeichenregeln

<b>Vorzeichen- regeln</b>	<b>Addition</b> $+(+a) = +a$ $+(-a) = -a$	<b>Subtraktion</b> $-(+a) = -a$ $-(-a) = +a$
	<b>Multiplikation</b> $+\cdot+ = +$ $+\cdot- = -$ $- \cdot + = -$ $- \cdot - = +$	<b>Division</b> $+:+ = +$ $+: - = -$ $-: + = -$ $-: - = +$

### Rechengesetze

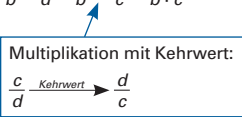
<b>„Punkt vor Strich“</b>	$a + b \cdot c = a + (b \cdot c)$
<b>Kommutativ- gesetz ...</b>	... der Addition: $a + b = b + a$ ... der Multiplikation: $a \cdot b = b \cdot a$
<b>Assoziativ- gesetz ...</b>	... der Addition: $(a + b) + c = a + (b + c)$ ... der Multiplikation: $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$
<b>Distributiv- gesetz ...</b>	$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$

### Klammern

<b>Klammern auflösen</b>	$(a + b) \cdot (c + d) = a \cdot c + a \cdot d + b \cdot c + b \cdot d$ $a + (b + c) = a + b + c$ $a - (b + c) = a - b - c$
<b>Ausklammern</b>	$a \cdot b + a \cdot c = a \cdot (b + c)$

## Grundlagen

## Grundoperationen mit Brüchen

<b>Multiplikation mit ganzer Zahl</b>	$a$ Zähler $b$ Nenner $k$ ganze Zahl	$\frac{a}{b} \cdot k = \frac{a \cdot k}{b}$
<b>Multiplikation von Brüchen</b>	$a, c$ Zähler $b, d$ Nenner	$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$
<b>Erweitern</b>	$a$ Zähler $b$ Nenner $k$ Zahl, mit der erweitert wird	$\frac{a}{b} \cdot \frac{k}{k} = \frac{a \cdot k}{b \cdot k}$  Der Wert des Bruches bleibt gleich.
<b>Division durch ganze Zahl</b>	$a$ Zähler $b$ Nenner $k$ ganze Zahl	$\frac{a}{b} \div k = \frac{a}{b \cdot k}$
<b>Division</b>	$a, c$ Zähler $b, d$ Nenner	$\frac{a}{b} \div \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$ <div>  <p>Multiplikation mit Kehrwert:</p> <math display="block">\frac{c}{d} \xrightarrow{\text{Kehrwert}} \frac{d}{c}</math> </div>
<b>Kürzen</b>	$a$ Zähler $b$ Nenner $k$ Zahl, durch die gekürzt wird	$\frac{a \div k}{b \div k}$  Der Wert des Bruches bleibt gleich.
<b>Addition und Subtraktion</b>	$a, c$ Zähler $b, d$ Nenner	$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{d} + \frac{c}{d} \cdot \frac{b}{b} = \frac{a \cdot d + c \cdot b}{b \cdot d}$  $\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{d} - \frac{c}{d} \cdot \frac{b}{b} = \frac{a \cdot d - c \cdot b}{b \cdot d}$



## Grundlagen

## Potenzterm

$$a^n = x$$

$$a^n = \underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ Faktoren}}$$

## Bezeichnungen

$a$	Basis (Grundzahl)
$n$ oder $m$	Exponent (Hochzahl)
$a^n$	Potenz
$x$	Potenzwert

## Rechenoperationen mit Potenzen

## Addition und Subtraktion

... bei gleicher Potenz in allen Termen

$$g \cdot a^n - j \cdot a^n + h \cdot a^n = a^n (g - j + h)$$

## Multiplikation

## bei gleicher Basis

$$a^n \cdot a^m = a^{n+m}$$

## bei gleichem Exponenten

$$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$$

## Division

## bei gleicher Basis

$$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$$

## bei gleichem Exponenten

$$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n$$

## Potenzieren

$$(a^n)^m = a^{n \cdot m}$$

Sonderformen von  $a^n$ 

$$n = 1$$

$$a^1 = a$$

$$n = 0$$

$$a^0 = 1$$

$$n = -1$$

$$a^{-1} = \frac{1}{a}$$

$$n < 0$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

## Umwandeln von Potenzen in Wurzeln

$$a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{a^n}$$

## Grundlagen

## Wurzelterm

$$\sqrt[n]{a} = x$$

$$a = \underbrace{\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{a} \cdot \dots \cdot \sqrt[n]{a}}_{n \text{ Wurzeln}}$$

## Bezeichnungen

$n, m$	Wurzelexponent
$a$	Radikant
$x$	Wurzelwert

## Rechenoperationen mit Wurzeln

## Addition und Subtraktion

... bei gleichem Wurzelexponenten in allen Termen

$$g \cdot \sqrt[n]{a} - j \cdot \sqrt[n]{a} + h \cdot \sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{a} (g - j + h)$$

## Multiplikation

## bei gleichem Radikant

$$\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[m]{a} = \sqrt[m \cdot n]{a^{m+n}}$$

## bei gleichem Wurzelexponent

$$\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a \cdot b}$$

## Division

## bei gleichem Radikant

$$\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[m \cdot n]{a^{m-n}}$$

## bei gleichem Wurzelexponent

$$\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$$

## Potenzieren

$$(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m}$$

Radizieren  
(Wurzelziehen)

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[m \cdot n]{a} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}}$$

Hinweise zur  
Quadratwurzel

## Der Wurzelexponent entfällt:

$$x = \pm \sqrt[2]{a} \rightarrow x = \pm \sqrt{a}$$

Es gibt zwei Werte für  $x$ :

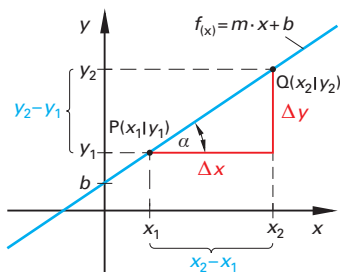
$$x_1 = +\sqrt{a}; \quad x_2 = -\sqrt{a}$$

Umwandeln  
von Wurzeln  
in Potenzen

$$\sqrt[m]{a^n} = a^{\frac{n}{m}}$$

## Grundlagen

## Lineare Funktion – Gerade



## Bezeichnungen

$y, f_{(x)}$	Funktion von $x$
$P, Q$	Punkte auf der Geraden
$x_1, x_2$	x-Koordinaten der Punkte
$y_1, y_2$	y-Koordinaten der Punkte
$\Delta x$	Differenz von P nach Q in x-Richtung
$\Delta y$	Differenz von P nach Q in y-Richtung
$m$	Steigung, Differenzenquotient
$b$	Schnittpunkt mit y-Achse
$\alpha$	Steigungswinkel

## Geradengleichung

$$y = f_{(x)} = m \cdot x + b$$

Bestimmung von  $m$  und  $b$ 

gegeben:

- 2 Punkte  
 $P(x_1; y_1)$   
 $Q(x_2; y_2)$

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$b = y_1 - m \cdot x_1$$

$$b = y_2 - m \cdot x_2$$

gegeben:

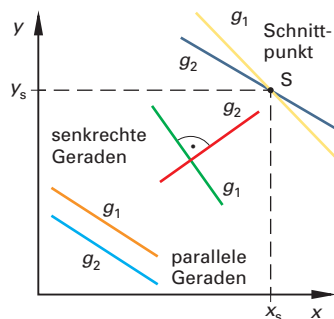
- 1 Punkt  
 $P(x_p; y_p)$
- $m$  oder  $\alpha$

 $m$  ist gegeben

oder

$$m = \tan \alpha$$

$$b = y_p - m \cdot x_p$$

Zwei Geraden:  $g_1 = m_1 \cdot x + b_1$  und  $g_2 = m_2 \cdot x + b_2$ 

## Parallele Geraden

$$m_1 = m_2 \quad b_1 \neq b_2$$

## Senkrechte Geraden

$$m_1 = -\frac{1}{m_2} \quad b_1, b_2 \text{ beliebig}$$

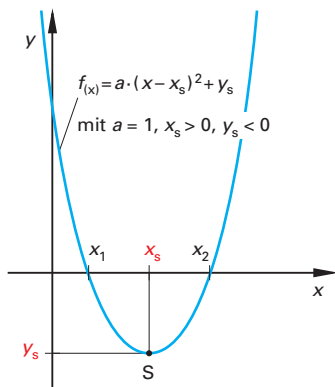
Schnittpunkt  $S(x_s; y_s)$ 

$$x_s = \frac{b_1 - b_2}{m_2 - m_1} \quad m_1 \neq m_2$$

$$y_s = m_1 \cdot x_s + b_1$$

## Grundlagen

## Quadratische Funktion – Parabel



## Bezeichnungen

$y, f_{(x)}$	Funktion von $x$
$S$	Scheitelpunkt
$x_s, y_s$	Koordinaten des Scheitelpunktes
$a$	Faktor
<b><math>a &gt; 0</math>: Parabel oben offen</b>	
Streckung: $a > 1$	
Normalparabel: $a = 1$	
Stauchung: $a < 1$	
<b><math>a &lt; 0</math>: Parabel unten offen</b>	
Streckung: $a < -1$	
neg. Normalparabel: $a = -1$	
Stauchung: $-1 < a < 0$	
$x_1, x_2$	Nullstellen ( $y = 0$ )
$A, B, C$	Koeffizienten des Polynoms

## Parabelgleichung – Scheitelform

$$y = f_{(x)} = a \cdot (x - x_s)^2 + y_s$$

## Nullstellen

$$x_{1/2} = x_s \pm \frac{\sqrt{-4 \cdot a \cdot y_s}}{2 \cdot a}$$

keine reellen Nullstellen wenn  
 $-4 \cdot a \cdot y_s < 0$

## Scheitelform aus Polynom

$$a = A$$

$$x_s = \frac{B}{2 \cdot A}$$

$$y_s = C - \frac{B^2}{4 \cdot A}$$

## Parabelgleichung – Polynom

$$y = f_{(x)} = A \cdot x^2 + B \cdot x + C$$

## Nullstellen

$$x_{1/2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot AC}}{2 \cdot A}$$

keine reellen Nullstellen wenn  
 $B^2 - 4 \cdot AC < 0$

## Polynom aus Scheitelform

$$A = a$$

$$B = -2 \cdot a \cdot x_s$$

$$C = a \cdot x_s^2 + y_s$$

## Grundlagen

## Binomische Formeln

1. binomische Formel	$a$	1. Glied	$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$
	$b$	2. Glied	
2. binomische Formel			$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$
3. binomische Formel			$(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2$

## Quadratische Gleichung (Normalform) lösen

pq-Formel	$x$	Variable	Normalform $x^2 + p \cdot x + q = 0$
	$p$	Faktor beim $x$	
	$q$	konstantes Glied	Diskriminante $D = p^2 - 4 \cdot q$
	$x_{1/2}$	Lösungen der Normalform (Nullstellen)	
	$D$	Diskriminante (Wert unter Wurzel)	Lösungen $x_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$
	Fälle:		
	$D > 0$	es gibt 2 reelle Lösungen	
	$D = 0$	es gibt eine doppelte reelle Lösung	
	$D < 0$	keine reelle Lösung	

## Quadratische Gleichung (allgemeine Form) lösen

abc-Formel („Mitternachtsformel“)	$x$	Variable	Allgemeine Form $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$
	$a$	Faktor beim $x^2$	
	$b$	Faktor beim $x$	Diskriminante $D = b^2 - 4 \cdot ac$
	$c$	konstantes Glied	
	$x_{1/2}$	Lösungen der Normalform	Lösungen $x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot ac}}{2 \cdot a}$
	$D$	Diskriminante (Wert unter Wurzel)	
	Fälle:		
	$D > 0$	es gibt 2 reelle Lösungen	
	$D = 0$	es gibt eine doppelte reelle Lösung	
	$D < 0$	keine reelle Lösung	

## Grundlagen

### Gleichungssystem mit 2 Unbekannten

#### 2x2-Gleichungssystem:

$$a_1 \cdot x + b_1 \cdot y = L_1 \quad (1)$$

$$a_2 \cdot x + b_2 \cdot y = L_2 \quad (2)$$

#### Bezeichnungen

$x, y$	Unbekannte
$a_1, a_2$	Koeffizienten von $x$
$b_1, b_2$	Koeffizienten von $y$
$L_1, L_2$	Lösungen der Gleichungen

#### Einsetzungsverfahren

- (1) z. B. nach  $y$  auflösen:  $a_1 \cdot x + b_1 \cdot y = L_1$   

$$b_1 \cdot y = L_1 - a_1 \cdot x$$

$$y = \frac{L_1 - a_1}{b_1} \cdot x \quad (3)$$
- (3) in (2) einsetzen:  $a_2 \cdot x + b_2 \cdot \left( \frac{L_1 - a_1}{b_1} \cdot x \right) = L_2 \quad (4)$
- (4) ausmultiplizieren, nach  $x$  auflösen und  $x$  berechnen.
- Das berechnete  $x$  in die Gleichung (1) oder (2) einsetzen und  $y$  berechnen.

#### Gleichsetzungsverfahren

- (1) und (2) nach  $y$  auflösen:  

$$a_1 \cdot x + b_1 \cdot y = L_1 \quad b_1 \cdot y = L_1 - a_1 \cdot x$$

$$y = \frac{L_1 - a_1}{b_1} \cdot x \quad (3)$$

$$a_2 \cdot x + b_2 \cdot y = L_2 \quad b_2 \cdot y = L_2 - a_2 \cdot x$$

$$y = \frac{L_2 - a_2}{b_2} \cdot x \quad (4)$$
- Die beiden  $y$  aus (3) und (4) gleichsetzen, nach  $x$  auflösen und  $x$  berechnen.
- Das berechnete  $x$  in die Gleichung (1) oder (2) einsetzen und  $y$  berechnen.

#### Additionsverfahren

- (1) mit  $b_2$  und (2) mit  $-b_1$  multiplizieren, die beiden Gleichungen untereinander schreiben und addieren:  

$$\begin{array}{r} a_1 \cdot b_2 \cdot x + b_1 \cdot b_2 \cdot y = L_1 \cdot b_2 \\ + \quad -a_2 \cdot b_1 \cdot x - b_1 \cdot b_2 \cdot y = -L_2 \cdot b_1 \\ \hline (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) \cdot x = L_1 \cdot b_2 - L_2 \cdot b_1 \end{array}$$
- Das Ergebnis nach  $x$  auflösen und  $x$  berechnen.
- Das berechnete  $x$  in die Gleichung für  $y$  einsetzen und  $y$  berechnen.

## Grundlagen

## Gleichungssystem mit 2 Unbekannten

## 2x2-Gleichungssystem:

$$a_1 \cdot x + b_1 \cdot y = L_1 \quad (1)$$

$$a_2 \cdot x + b_2 \cdot y = L_2 \quad (2)$$

## Bezeichnungen

$x, y$	Unbekannte
$a_1, a_2$	Koeffizienten von $x$
$b_1, b_2$	Koeffizienten von $y$
$L_1, L_2$	Lösungen der Gleichungen
$D, D_x, D_y$	Determinanten

## Determinantenverfahren

Determinante berechnen

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 \cdot b_2 - b_1 \cdot a_2$$

y-Determinante berechnen

$$D_y = \begin{vmatrix} a_1 & L_1 \\ a_2 & L_2 \end{vmatrix} = a_1 \cdot L_2 - L_1 \cdot a_2$$

x-Determinante berechnen

$$D_x = \begin{vmatrix} L_1 & b_1 \\ L_2 & b_2 \end{vmatrix} = L_1 \cdot b_2 - b_1 \cdot L_2$$

x und y berechnen

$$x = \frac{D_x}{D} \quad y = \frac{D_y}{D} \quad \text{für } D \neq 0$$

## Gleichungssystem mit 3 Unbekannten

## 3x3-Gleichungssystem:

$$a_1 \cdot x + b_1 \cdot y + c_1 \cdot z = L_1$$

$$a_2 \cdot x + b_2 \cdot y + c_2 \cdot z = L_2$$

$$a_3 \cdot x + b_3 \cdot y + c_3 \cdot z = L_3$$

## Bezeichnungen

$x, y, z$	Unbekannte
$a_1, a_2, a_3$	Koeffizienten von $x$
$b_1, b_2, b_3$	Koeffizienten von $y$
$c_1, c_2, c_3$	Koeffizienten von $z$
$L_1, L_2, L_3$	Lösungen der Gleichungen

Determinante berechnen

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

$$D = a_1 \cdot b_2 \cdot c_3 + b_1 \cdot c_2 \cdot a_3 + c_1 \cdot a_2 \cdot b_3 - (c_1 \cdot b_2 \cdot a_3 + a_1 \cdot c_2 \cdot b_3 + b_1 \cdot a_2 \cdot c_3)$$

x-Determinante berechnen

$$D_x = \begin{vmatrix} L_1 & b_1 & c_1 \\ L_2 & b_2 & c_2 \\ L_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

$$D_x = L_1 \cdot b_2 \cdot c_3 + b_1 \cdot c_2 \cdot L_3 + c_1 \cdot L_2 \cdot b_3 - (c_1 \cdot b_2 \cdot L_3 + b_1 \cdot L_2 \cdot c_3 + L_1 \cdot c_2 \cdot b_3)$$

y-Determinante berechnen

$$D_y = \begin{vmatrix} a_1 & L_1 & c_1 \\ a_2 & L_2 & c_2 \\ a_3 & L_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

$$D_y = a_1 \cdot L_2 \cdot c_3 + L_1 \cdot c_2 \cdot a_3 + c_1 \cdot a_2 \cdot L_3 - (c_1 \cdot L_2 \cdot a_3 + L_1 \cdot a_2 \cdot c_3 + a_1 \cdot c_2 \cdot L_3)$$

z-Determinante berechnen

$$D_z = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & L_1 \\ a_2 & b_2 & L_2 \\ a_3 & b_3 & L_3 \end{vmatrix}$$

$$D_z = a_1 \cdot b_2 \cdot L_3 + b_1 \cdot L_2 \cdot a_3 + L_1 \cdot a_2 \cdot b_3 - (L_1 \cdot b_2 \cdot a_3 + b_1 \cdot a_2 \cdot L_3 + a_1 \cdot L_2 \cdot b_3)$$

x, y und z berechnen:

$$x = \frac{D_x}{D} \quad y = \frac{D_y}{D} \quad z = \frac{D_z}{D} \quad \text{für } D \neq 0$$

Rechenweg: Haupt- minus Nebendiagonalen

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 - a_1 c_2 b_3 - b_1 a_2 c_3 - b_1 c_2 a_3 - c_1 a_2 b_3 - c_1 b_2 a_3$$

Rechenweg: Haupt- minus Nebendiagonalen

$$\begin{vmatrix} L_1 & b_1 & c_1 \\ L_2 & b_2 & c_2 \\ L_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = L_1 b_2 c_3 - L_1 c_2 b_3 - b_1 L_2 c_3 - b_1 c_2 L_3 - c_1 L_2 b_3 - c_1 b_2 L_3$$

Rechenweg: Haupt- minus Nebendiagonalen

$$\begin{vmatrix} a_1 & L_1 & c_1 \\ a_2 & L_2 & c_2 \\ a_3 & L_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 L_2 c_3 - a_1 c_2 L_3 - L_1 a_2 c_3 - L_1 c_2 a_3 - c_1 a_2 L_3 - c_1 L_2 a_3$$

Rechenweg: Haupt- minus Nebendiagonalen

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & L_1 \\ a_2 & b_2 & L_2 \\ a_3 & b_3 & L_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 L_3 - a_1 L_2 b_3 - b_1 a_2 L_3 - b_1 L_2 a_3 - L_1 a_2 b_3 - L_1 b_2 a_3$$

## Anwendungen

## Größen und Einheiten

## SI-Basisgrößen und Basiseinheiten

Basisgröße	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

## Dezimale Vielfache oder Teile von Einheiten

Vorsatz		Zehnerpotenz	Vorsatz		Zehnerpotenz
Zeichen	Name		Zeichen	Name	
T	Terra	$10^{12}$	d	Dezi	$10^{-1} = 0,1$
G	Giga	$10^9$	c	Zenti	$10^{-2} = 0,01$
M	Mega	$10^6 = 1000\,000$	m	Milli	$10^{-3} = 0,001$
k	Kilo	$10^3 = 1000$	$\mu$	Mikro	$10^{-6} = 0,000001$
h	Hekto	$10^2 = 100$	n	Nano	$10^{-9}$
da	Deka	$10^1 = 10$	p	Piko	$10^{-12}$

## Umrechnungsfaktoren für Einheiten (Auszug)

Größe	Umrechnungsfaktoren, z.B.
Längen	$1 = \frac{10\text{ mm}}{1\text{ cm}} = \frac{1000\text{ mm}}{1\text{ m}} = \frac{1\text{ m}}{1000\text{ mm}} = \frac{1\text{ km}}{1000\text{ m}}$
Flächen	$1 = \frac{100\text{ mm}^2}{1\text{ cm}^2} = \frac{100\text{ cm}^2}{1\text{ dm}^2} = \frac{1\text{ cm}^2}{100\text{ mm}^2} = \frac{1\text{ dm}^2}{100\text{ cm}^2}$
Volumen	$1 = \frac{1000\text{ mm}^3}{1\text{ cm}^3} = \frac{1000\text{ cm}^3}{1\text{ dm}^3} = \frac{1\text{ cm}^3}{1000\text{ mm}^3} = \frac{1\text{ dm}^3}{1000\text{ cm}^3}$
Zeit	$1 = \frac{60\text{ min}}{1\text{ h}} = \frac{3600\text{ s}}{1\text{ h}} = \frac{60\text{ s}}{1\text{ min}} = \frac{1\text{ min}}{60\text{ s}}$
Winkel	$1 = \frac{60'}{1^\circ} = \frac{60''}{1'} = \frac{3600''}{1^\circ} = \frac{1^\circ}{60\text{ s}}$
Zoll	$1\text{ inch} = 25,4\text{ mm}; 1\text{ mm} = \frac{1}{25,4}\text{ inch}$



## Anwendungen

## Größen und Einheiten

Größe		Formelzeichen		Einheitenname		Einheitenzeichen	
Länge							
Länge		$l$		Meter		m	
Beziehung	m	$\mu\text{m}$	mm	cm	dm	km	
1 m =	1	$10^6$ 1 000 000	$10^3$ 1000	$10^2$ 100	$10^1$ 10	$10^{-3}$ 0,001	
1 $\mu\text{m}$ =	$10^{-6}$ 0,000001	1	$10^{-3}$ 0,001	$10^{-4}$ 0,0001	$10^{-5}$ 0,00001	$10^{-9}$	
1 mm =	$10^{-3}$ 0,001	$10^3$ 1000	1	$10^{-1}$ 0,1	$10^{-2}$ 0,01	$10^{-6}$ 0,000001	
1 cm =	$10^{-2}$ 0,01	$10^4$ 10 000	$10^1$ 10	1	$10^{-1}$ 0,1	$10^{-5}$ 0,00001	
1 dm =	$10^{-1}$ 0,1	$10^5$ 100 000	$10^2$ 100	$10^1$ 10	1	$10^{-4}$ 0,0001	
1 km =	$10^3$ 1000	$10^9$	$10^6$ 1 000 000	$10^5$ 100 000	$10^4$ 10 000	1	

1 inch = 1 Zoll = 25,4 mm

## Fläche

Fläche	$A, S$		Quadratmeter Ar Hektar		$\text{m}^2$ a ha	
Beziehung	$\text{m}^2$	$\text{mm}^2$	$\text{cm}^2$		$\text{dm}^2$	
1 $\text{m}^2$ =	1	$10^6$ 1 000 000	$10^4$ 10 000		$10^2$ 100	
1 $\text{mm}^2$ =	$10^{-6}$ 0,000001	1	$10^{-2}$ 0,01		$10^{-4}$ 0,0001	
1 $\text{cm}^2$ =	$10^{-4}$ 0,0001	$10^2$ 100	1		$10^{-2}$ 0,01	
1 $\text{dm}^2$ =	$10^{-2}$ 0,01	$10^4$ 10 000	$10^2$ 100		1	

1 a = 100  $\text{m}^2$ ; 1 ha = 100 a = 10 000  $\text{m}^2$ ; 100 ha = 1  $\text{km}^2$ 

## Volumen

Volumen	$V$		Kubikmeter Liter		$\text{m}^3$ l, L	
Beziehung	$\text{m}^3$	$\text{mm}^3$	$\text{cm}^3 = \text{ml}$		$\text{dm}^3 = \text{l}$	
1 $\text{m}^3$ =	1	$10^9$	$10^6$ 1 000 000		$10^3$ 1000	
1 $\text{mm}^3$ =	$10^{-9}$	1	$10^{-3}$ 0,001		$10^{-6}$ 0,000001	
1 $\text{cm}^3 = 1 \text{ ml}$ =	$10^{-6}$ 0,000001	$10^3$ 1000	1		$10^{-3}$ 0,001	
1 $\text{dm}^3 = 1 \text{ l}$ =	$10^{-3}$ 0,001	$10^6$ 1 000 000	$10^3$ 1000		1	

## Anwendungen

## Größen und Einheiten

Größe	Formel- zeichen	Einheit		Beziehung
		Name	Zeichen	
Mechanik				
Masse	$m$	Kilogramm Gramm  Megagramm Tonne Karat	kg g  Mg t	1 kg = 1000 g 1 g = 1000 mg  1 t = 1000 kg = 1 Mg 0,2 g = 1 Kt
längen- bezogene Masse	$m'$	Kilogramm pro Meter	kg/m	1 kg/m = 1 g/mm
flächen- bezogene Masse	$m''$	Kilogramm pro Meter hoch zwei	kg/m <sup>2</sup>	1 kg/m <sup>2</sup> = 0,1 g/cm <sup>2</sup>
Dichte	$\varrho, \rho$	Kilogramm pro Meter hoch drei	kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup> = 1 t/m <sup>3</sup> = 1 kg/dm <sup>3</sup> = 1 g/cm <sup>3</sup> = 1 g/ml = 1 mg/mm <sup>3</sup>
Kraft  Gewichtskraft	$F$  $F_G, G$	Newton	N	1 N = 1 $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ = 1 $\frac{\text{J}}{\text{m}}$ 1 MN = 10 <sup>3</sup> kN = 1 000 000 N
Drehmoment Biegemoment Torsionsmoment	$M$ $M_b$ $M_T, T$	Newton mal Meter	N · m	1 N · m = 1 $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Druck  mechanische Spannung	$p$  $\sigma, \tau$	Pascal  Newton pro Millimeter hoch zwei	Pa  N/mm <sup>2</sup>	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> = 0,01 mbar 1 bar = 100 000 N/m <sup>2</sup> = 10 N/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> Pa 1 mbar = 1 hPa 1 N/mm <sup>2</sup> = 10 bar = 1 MN/m <sup>2</sup> = 1 MPa 1 daN/cm <sup>2</sup> = 0,1 N/mm <sup>2</sup>
Flächen- moment 2. Grades	$I$	Meter hoch vier Zentimeter hoch vier	m <sup>4</sup> cm <sup>4</sup>	1 m <sup>4</sup> = 100 000 000 cm <sup>4</sup>
Energie, Arbeit, Wärmemenge	$E, W$ $Q$	Joule	J	1 J = 1 N · m = 1 W · s = 1 kg · m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Leistung, Wärmestrom	$P$ $\Phi$	Watt	W	1 W = 1 J/s = 1 N · m/s = 1 V · A = 1 m <sup>2</sup> · kg/s <sup>3</sup> 1 PS = 0,7355 kW

## Anwendungen

## Größen und Einheiten

Größe	Formel- zeichen	Einheit		Beziehung
		Name	Zeichen	
Zeit				
<b>Zeit</b> , Zeitspanne, Dauer	$t$	<b>Sekunde</b> Minute Stunde Tag Jahr	s min h d a	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86 400 s
Frequenz	$f, \nu$	Hertz	Hz	1 Hz = 1/s
Drehzahl, Umdrehungs- frequenz	$n$	1 pro Sekunde 1 pro Minute	1/s 1/min	1/s = 60/min = 60 min <sup>-1</sup> 1/min = 1 min <sup>-1</sup> = $\frac{1}{60}$ s
Geschwindig- keit	$v$	Meter pro Sekunde Meter pro Minute Kilometer pro Stunde	m/s m/min km/h	1 m/s = 60 m/min = 3,6 km/h 1 m/min = $\frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}}$ 1 km/h = $\frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}$
Winkel- geschwindig- keit	$\omega$	1 pro Sekunde Radiant pro Sekunde	1/s rad/s	$\omega = 2 \pi \cdot n$
Beschleuni- gung	$a, g$	Meter pro Sekunde hoch zwei	m/s <sup>2</sup>	1 m/s <sup>2</sup> = $\frac{1 \text{ m/s}}{1 \text{ s}}$
Thermodynamik und Wärmeübertragung				
<b>Thermo- dynamische Temperatur</b> Celsius- Temperatur	$T, \Theta$ $t, \vartheta$	<b>Kelvin</b> Grad Celsius	K °C	0 K = - 273,15 °C 0 °C = 273,15 K 0 °C = 32 °F 0 °F = - 17,77 °C
Wärme- menge	$Q$	Joule	J	1 J = 1 W · s = 1 N · m 1 kW · h = 3600 000 J = 3,6 MJ 1 kcal = 4,1868 kJ 1 kcal = 4186,8 Ws 1 kcal = 1,166 Wh
Spezifischer Heizwert	$H_u$ $H_i$	Joule pro Kilogramm Joule pro Meter hoch drei	J/kg J/m <sup>3</sup>	1 MJ/kg = 1000 000 J/kg 1 MJ/m <sup>3</sup> = 1000 000 J/m <sup>3</sup>

## Anwendungen

## Größen und Einheiten

Größe	Formel- zeichen	Einheit		Beziehung
		Name	Zeichen	
Elektrizität und Magnetismus				
<b>Elektrische Stromstärke</b>	<i>I</i>	<b>Ampere</b>	A	
Elektr. Spannung	<i>U</i>	Volt	V	1 V = 1 W/1 A = 1 J/C
Elektr. Widerstand	<i>R</i>	Ohm	Ω	1 Ω = 1 V/1 A
Elektr. Leitwert	<i>G</i>	Siemens	S	1 S = 1 A/1 V = 1/Ω
Spezifischer Widerstand	<i>ρ</i>	Ohm mal Meter	Ω · m	10 <sup>-6</sup> Ω · m = 1 Ω · mm <sup>2</sup> /m
Leitfähigkeit	<i>γ, κ</i>	Siemens pro Meter	S/m	
Frequenz	<i>f</i>	Hertz	Hz	1 Hz = 1/s 1000 Hz = 1 kHz
Elektr. Arbeit	<i>W</i>	Joule	J	1 J = 1 W · s = 1 N · m 1 kW · h = 3,6 MJ 1 W · h = 3,6 kJ
Phasenver- schiebungs- winkel	<i>φ</i>	–	–	für Wechselstrom gilt: $\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$
Elektr. Feldstärke	<i>E</i>	Volt pro Meter	V/m	
Elektr. Ladung	<i>Q</i>	Coulomb	C	1 C = 1 A · 1 s; 1 A · h = 3,6 kC
Elektr. Kapazität	<i>C</i>	Farad	F	1 F = 1 C/V
Induktivität	<i>L</i>	Henry	H	1 H = 1 V · s/A
Leistung Wirkleistung	<i>P</i>	Watt	W	1 W = 1 J/s = 1 N · m/s = 1 V · A
Winkel				
<b>ebener Winkel</b> (Winkel)	<i>α, β, γ ...</i>	<b>Radiant</b>	rad	1 rad = 1 m/m = 57,2957...° = 180°/π
		Grad	°	1° = $\frac{\pi}{180}$ rad = 60'
		Minute	'	1' = 1°/60 = 60"
		Sekunde	"	1" = 1'/60 = 1°/3600