

Größen und Einheiten

Größe, Formelzeichen	SI-Einheit (sonst. Einh.)	Einheitenzeichen, Einheitengleichung	Größe, Formelzeichen	SI-Einheit (sonst. Einh.)	Einheitenzeichen, Einheitengleichung
Länge, Fläche, Volumen, Winkel			Elektrizität		
Länge l	Meter (Zoll, Inch) Seemeile Landmeile Quadratmeter (Ar) (Hektar)	m $1'' = 25,4 \text{ m}$ $1 \text{ sm} = 1852 \text{ m}$ $1 \text{ mi} = 1609,344 \text{ m}$ $1 \text{ a} = 100 \text{ m}^2$ $1 \text{ ha} = 100 \text{ a}$	elektr. Ladung Q elektr. Fluss Ψ Flächenladungsdichte σ , elektrische Flussdichte D Raumladungsdichte ρ	Coulomb Coulomb je Quadratmeter Coulomb je Kubikmeter Volt	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$ $= 1 \text{ As}$ C/m^2 C/m^3 $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
Fläche A			elektr. Spannung U , elektr. Potenzial ϕ , V elektr. Feldstärke E elektr. Kapazität C	Volt je Meter Farad	$1 \text{ V/m} = 1 \text{ N/C}$ $1 \text{ F} = 1 \text{ As/V}$ $= 1 \text{ C/V}$
Volumen V	Kubikmeter (Liter)	m^3 $1 \text{ l} = (1/1000) \text{ m}^3$		Ampere Ampere je Meter	$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ A/m
Winkel (ebener)	Radian (Grad)	rad $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$		Farad je Meter	$1 \text{ F/m} = 1 \text{ C/(Vm)}$ A/m^2
Raumwinkel Ω	Steradian	sr		Ohm	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Zeit, Frequenz, Geschwindigkeit, Beschleunigung				Siemens	$1 \text{ S} = 1/\Omega$
Zeit t	Sekunde (Minute) (Stunde, h von hour) (Tag, d von day)	s; $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 60 \text{ min}$ $= 3600 \text{ s}$ $1 \text{ d} = 24 \text{ h}$ $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$ $1/\text{s} = 60/\text{min}$ $(1/\text{min})$	elektr. Stromstärke I elektr. Strombelag A Permittivität, Dielektrizitätskonstante ϵ elektr. Stromdichte J elektr. Widerstand, Wirkwiderstand R , Blindwiderstand X , Scheinwiderstand Z el. Wirkleitwert G , Blindleitwert B , Scheinleitwert Y spezifischer elektr. Widerstand ρ Induktivität L elektrische Leitfähigkeit γ Leistung P Blindleistung Q Scheinleistung S Arbeit W , Energie E		
Frequenz f Drehzahl, Umdrehungsfrequenz n Kreisfrequenz ω Geschwindigkeit v	Hertz je Sekunde (je Minute) je Sekunde Meter je Sekunde	$1 \text{ s} = 60/\text{min}$ $1 \text{ km/h} = 1/3,6 \text{ m/s}$ rad/s		Henry	$1 \Omega \text{ m} = 100 \Omega \text{ cm}$ $1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} = 1 \mu\Omega \text{ m}$ $1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A}$ $1 \text{ Sm}/\text{mm}^2$ $= 1 \text{ MS/m}$ $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ $1 \text{ var} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ $1 \text{ VA} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ $1 \text{ Wh} = 3,6 \text{ kNm}$ $1 \text{ eV} = 0,1602 \text{ aJ}$
Winkelgeschwindigkeit ω Beschleunigung a Ruck j	Radian je Sekunde – –	m/s^2 m/s^3		Ohmmeter	
Mechanik				–	
Masse m	Kilogramm (Tonne)	kg $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$		Henry	
Dichte ρ	–	kg/dm^3		–	
Widerstandsmoment	–	m^3, cm^3		–	
Trägheitsmoment J	–	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$		–	
Kraft F	Newton	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$		–	
Kraftmoment, Drehmoment M	Newtonmeter	Nm		–	
Impuls p	Newtonsekunde	$1 \text{ Ns} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$		–	
Druck p	Pascal (Bar)	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa}$		–	
Flächenpressung p , Festigkeit R_p, R_e Elastizitätsmodul E Arbeit W , Energie E	–	N/mm^2 N/mm^2 N/mm^2		–	
Leistung P	Joule (Elektronvolt) Watt	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$ $= 1 \text{ Ws}$ $1 \text{ eV} = 0,1602 \text{ aJ}$ $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $= 1 \text{ Nm/s}$ $= 1 \text{ VA}$		–	
Wärme				–	
Temperatur ϑ thermodynamische Temperatur T Temperaturdifferenz ΔT Wärme Q Wärmestrom ϕ Wärmewiderstand R_{th} Wärmeleitfähigkeit λ Wärmeübergangskoeffizient h Wärmekapazität C , Entropie S spezifische Wärmekapazität c	Grad Celsius Kelvin Kelvin Joule Watt Kelvin je Watt – – Joule je Kelvin –	$^\circ\text{C}$ K $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ K/W $\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ $\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ J/K J/(kg · K)			
Ionisierende Strahlung					
radioaktive Aktivität A Energiedosis D	Becquerel Gray	$1 \text{ Bc} = 1/\text{s}$ $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$			
Magnetismus					
			mg. Durchflutung Θ magn. Feldstärke H magn. Fluss ϕ magn. Flussdichte B Induktivität L Permeabilität μ magn. Widerstand R_m magn. Leitwert Λ	Ampere Ampere je Meter Weber Tesla Henry Henry je Meter – Henry	A A/m $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$ $= 1 \text{ Vs}$ $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb}/\text{m}^2$ $= 1 \text{ Vs}/\text{m}^2$ $1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A}$ $1 \text{ H/m} = 1 \text{ Vs}/(\text{Am})$ $1/\text{H} = 1 \text{ A/Vs}$ $1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A}$
Akustik					
			Schalldruck p Schalldruckpegel L_p Lautstärkepegel L_s Schallgeschwindigkeit c_s	Pascal Dezibel Phon $\approx \text{db (A)}$ Meter je Sekunde	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ dB phon $\approx \text{dB (A)}$ m/s
Elektromagnetische Strahlung (außer Licht)					
			Strahlungsenergie Q_e Strahlungsleistung ϕ_e Strahlstärke I Strahldichte L Bestrahlungsstärke E	Joule Watt Watt je Steradian – –	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$ $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ W/sr $\text{W}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2)$ W/m^2
Licht, Optik					
			Lichtstärke I_v Leuchtdichte L_v Lichtstrom ϕ_v Lichtausbeute η_v Beleuchtungsstärke E_v	Candela Candela je m^2 Lumen Lumen je Watt	cd cd/m^2 lm lm/W $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Mechatronik

Formeln für Mechatroniker

nach den Büchern „Tabellenbuch Mechatronik“, „Fachkunde Mechatronik“, „Rechnen und Projektieren Mechatronik“

5. Auflage 2019
Druck 5 4 3 2 1

Autoren von „Formeln für Mechatroniker:“

Gregor Häberle	Dr.-Ing.	Tettmang
Verena Häberle	BSc ETH ETIT	Zürich
Bernd Schiemann	Dipl.-Ing.	Durbach
Siegfried Schmitt	staatl. geprüfter Techniker	Bad Bergzabern
Matthias Schultheiß	Dipl.-Gewerbelehrer, Dipl.-Ing.	Ummendorf, Biberach a.d. Riss

Leitung des Arbeitskreises: Dr.-Ing. Gregor Häberle

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Vorwort

Diese Formelsammlung dient zum Lösen von fachmathematischen Aufgaben in der beruflichen Praxis oder in der Aus- und Weiterbildung, z. B. bei Prüfungen oder Klausuren. Sie enthält komprimiert die dafür erforderlichen Formeln aus den Teilbereichen der Elektrotechnik, des Maschinenbaues und der Informationstechnik.

Die Formeln sind auf den Seiten nummeriert, sodass bei Gruppenarbeit oder im Unterricht eine Verständigung vereinfacht ist. Oft wurden die Formeln für andere Größen auch umgestellt. Die Formelzeichenerklärungen sind auf jeder Seite ganz oder gruppenweise zusammengefasst. Die zu verwendenden Einheiten sind durch Einheitengleichungen angegeben.

In der **5. Auflage neu aufgenommen** wurden Rechnen mit komplexen Zahlen, Grundsaltungen L und C , Reihen- und Parallelschaltungen mit R , L , C , Kennzahlen der Produktion, betriebswirtschaftliche Kalkulationen, Gleichstromantriebe sowie Datenübertragung, Datenspeicherung. *Aktualisiert* wurden: Größen und Einheiten, elektrische Leistung, elektrisches Feld, Statistische Berechnungen und Prozesslenkung, Hauptnutzungszeiten.

Über Verbesserungsvorschläge von Benutzern freuen wir uns. Diese können auch mit E-Mail gerichtet sein an lektorat@europa-lehrmittel.de.

Herbst 2019

Die Autoren

Europa-Nr.: 45515
ISBN 978-3-8085-4557-7

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

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten, Düsseldorfstr. 23
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagfoto: Siemens-Pressebilder www.siemens.com/presse
Druck: UAB BALTO print, 08217 Vilnius (LT)

Mathematik

Größen und Einheiten	U2
Rechenregeln	3
Rechnen mit Excel	6
Zahlensysteme, Rechenregeln bei Dualzahlen, Umrechnungen	7
Prozentrechnung, Dreisatzrechnung, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit	8
Vorsätze, Zehnerpotenzen, Logarithmen	9
Rechnen mit Größen	10
Rechtwinkliges Dreieck, Winkelfunktionen, Steigung	11
Beziehungen zwischen den Winkelfunktionen	12
Rechnen mit komplexen Zahlen	13
Längen	14
Flächen	15
Volumen, Oberflächen, Massen	17

Technische Physik

Kräfte, Hebel, Drehmoment	18
Drehmoment, Fliehkraft, Rollen, Keile, Schrauben	19
Winden, Bewegungslehre	20
Wärmetechnik	21
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	22
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand, elektrische Arbeit	23
Elektrische Leistung, elektrisches Feld	24
Magnetisches Feld, Spule, Strom im Magnetfeld, Induktion	25
Grundschaltungen, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler	26
Grundschaltungen von Induktivitäten L und Kapazitäten C	27
Reihenschaltung von R , L , C	28
Parallelschaltung von R , L , C	29
Sinuswechselspannung, Impuls	30
Schalten von Kondensatoren und Spulen	31
Drehstrom, Kompensation der Blindleistung	32
Transformator, Temperaturkoeffizient	33
Zahnradberechnungen, Übersetzungen	34
Druck, Reibung	35
Zug, Druck, Flächenpressung, Abscherung	36
Knickung, Biegung, Torsion	37
Berechnungen zur Pneumatik	38
Berechnungen zur Hydraulik	39
Licht und Optik	40

Werkstoffe, Fertigung

Werkstoffprüfung	41
Drehzahlnomogramm	42
Kräfte und Leistungen beim Zerspanen	43
Schnittgeschwindigkeiten beim Zerspanen	44

Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln

Widerstände, Kondensatoren, Kennzeichnung	46
Transistoren als Schalter	47
Operationsverstärker	48
Regelungstechnik	49
Schaltungen zur Widerstandsbestimmung, Messbereichserweiterung	50
Messen mit Oszilloskop und PC	51
Gleichrichter, Wechselwegschaltung	52

Elektrische Antriebe und Anlagen

Prüfen elektrischer Maschinen, Schritt- motoren	53
Antriebstechnik	54
Gleichstromantriebe	55
Schutz von Leitungen, Mindest- Leiterquerschnitte	56
Überstrom-Schutzeinrichtungen	57
Feinsicherungen, Strombelastbarkeit von wärmefesten oder flexiblen Leitungen	58
Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für 70°C bei $\vartheta_U = 30^\circ\text{C}$	59
Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für 90°C bei $\vartheta_U = 30^\circ\text{C}$	60
Umrechnungsfaktoren für die Strombelastbarkeit	61
Leitungsberechnung	62
Fehlerschutz gegen elektrischen Schlag	64
Messungen zur Prüfung der Schutz- maßnahmen gegen elektrischen Schlag	65

Digitaltechnik, Informationstechnik

Binäre Verknüpfungen, Schaltalgebra	66
Wertetabelle und KV-Diagramme	67
Sequenzielle Schaltungen, DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	68
Datenübertragung	69
Koordinaten und Arbeitsbewegungen bei CNC-Maschinen	70

Verbindungstechnik

Gewinde	71
ISO-System für Grenzmaße und Passungen	72
Statistische Berechnungen und Prozess- lenkung	73

Betrieb, Anhang

Kosten, Preise, Kennzahlen	74
Betriebswirtschaftliche Kalkulation	75
Kennzahlen der Produktion	76
Hauptnutzungszeiten	77
Arbeitsvorbereitung	78
Rechenregeln anwenden beim Formeln Umstellen	U3

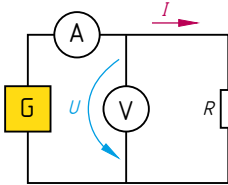
Hinweise für die Benutzer

Die oben aufgeführten Seitenüberschriften enthalten nicht die einzelnen, auf den Seiten vorkommenden Begriffe. Finden Sie also hier nicht das Gesuchte, so schauen Sie bitte im Sachwortverzeichnis nach.

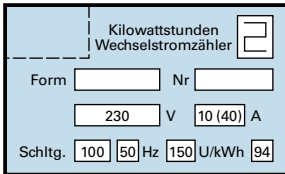
Rechenregeln

Vorzeichenregeln	(Fortsetzung Regeln der Bruchrechnung)	(Fortsetzung Regeln d. Klammerrechnung)
Positives Produkt $a \cdot b = a \cdot b = b \cdot a = ba$ $(-a) \cdot (-b) = a \cdot b = ab = ba$ $(+) \cdot (+) = (+)$ 1 $(-) \cdot (-) = (+)$ 2 Das Produkt ist positiv, wenn beide Faktoren das gleiche Vorzeichen besitzen. Der Multiplikationspunkt vor Buchstaben darf entfallen, nicht aber vor Zahlen.	Addition, Subtraktion ungleichnamiger Brüche $\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = \frac{xb + ya}{ab}$ Hauptnenner: ab Der Hauptnenner muss gebildet werden. Durch Erweitern der Brüche werden diese auf den Hauptnenner gebracht. Anschließend kann addiert bzw. subtrahiert werden.	Multiplizieren von Klammerausdrücken $(a + b) \cdot (c - d) = ac - ad + bc - bd$ $(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - ab + ab - b^2 = a^2 - b^2$ Jedes Glied der Klammer wird mit jedem Glied der anderen Klammer multipliziert.
Negatives Produkt $a \cdot (-b) = -a \cdot b = -ab$ $(-a) \cdot b = -a \cdot b = -ab$ $(+) \cdot (-) = (-)$ 3 Das Produkt ist negativ, wenn beide Faktoren ungleiche Vorzeichen besitzen. Der Multiplikationspunkt vor Buchstaben darf entfallen, nicht aber vor Zahlen.	Multiplikation von Brüchen $\frac{x}{a} \cdot \frac{y}{b} = \frac{xy}{ab}$ 7 Zähler und Nenner werden jeweils getrennt multipliziert.	Quadrieren von Klammerausdrücken $(a + b)^2 = (a + b) \cdot (a + b) = a^2 + ab + ab + b^2$ $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ 8 $(a - b)^2 = (a - b) \cdot (a - b) = a^2 - ab - ab + b^2 = a^2 - 2ab + b^2$ $(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$ 9 Beim Quadrieren von Klammerausdrücken ist auf die richtige Berechnung der Zeichen Plus und Minus zu achten (siehe Vorzeichenregeln).
Positiver Quotient $\frac{-a}{-b} = \frac{a}{b}$ $(+) : (+) = (+)$ 4 $(-) : (-) = (+)$ 5 Der Quotient ist positiv, wenn Dividend (Zähler) und Divisor (Nenner) gleiche Vorzeichen besitzen.	Division von Brüchen $\frac{x}{a} : \frac{y}{b} = \frac{x/a}{y/b} = \frac{x \cdot b}{a \cdot y}$ Der Dividend $\frac{x}{a}$ wird mit dem Kehrwert des Divisors $\frac{y}{b}$ multipliziert.	Dividieren eines Klammerausdruckes $(a + b) : c = \frac{a + b}{c} = \frac{a}{c} + \frac{b}{c}$ $\frac{a - b}{a} = \frac{a}{a} - \frac{b}{a} = 1 - \frac{b}{a}$ Jedes Glied der Klammer wird durch den Divisor dividiert.
Negativer Quotient $\frac{-a}{b} = -\frac{a}{b} \quad \frac{a}{-b} = -\frac{a}{b}$ $(+) : (-) = (-)$ 6 Der Quotient ist negativ, wenn Dividend (Zähler) und Divisor (Nenner) ungleiche Vorzeichen besitzen.	Kürzen, Erweitern von Brüchen $\frac{a}{b} = \frac{a \cdot d}{b \cdot d}$ $\frac{a \cdot c}{b \cdot c} = \frac{a}{b}$ Der Wert eines Bruches bleibt unverändert, wenn Zähler und Nenner mit derselben Zahl multipliziert oder dividiert werden.	Klammerauflösung, Punktrechnung, Strichrechnung $a \cdot (2x - x) + b \cdot (5y + 2y)$ $= ax + b \cdot 7y = ax + 7by$ Die Klammerauflösung ist vor der Punktrechnung, diese wiederum vor der Strichrechnung auszuführen.
Punktrechnungen, Strichrechnungen $2a \cdot b - 4c \cdot 2d = 2ab - 8cd$ Punktrechnungen ($\cdot$ und $:$) müssen vor Strichrechnungen ($+$ und $-$) ausgeführt werden.	Regeln der Klammerrechnung Pluszeichen vor Klammer $a + (b - c) = a + b - c$ Ein Pluszeichen vor einer Klammer erlaubt das Weglassen der Klammer.	Regeln beim Potenzieren Multiplizieren von Potenzen gleicher Basis $a^2 \cdot a^3 = a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a = a^5$ $a^2 \cdot a^3 = a^{(2+3)} = a^5$ Die Exponenten werden addiert.
Regeln der Bruchrechnung Addition, Subtraktion gleichnamiger Brüche $\frac{x}{a} + \frac{y}{a} - \frac{z}{a} = \frac{x + y - z}{a}$ Bei gleichnamigen Brüchen werden die Zähler addiert bzw. subtrahiert.	Minuszeichen vor Klammer $a - (b - c) = a - b + c$ Ein Minuszeichen vor einer Klammer bewirkt, dass bei Weglassen der Klammer aus Pluszeichen in der Klammer Minuszeichen und aus Minuszeichen Pluszeichen werden.	Dividieren von Potenzen gleicher Basis $\frac{a^4}{a^2} = \frac{a \cdot a \cdot a \cdot a}{a \cdot a} = a^2$ $a^4 : a^2 = \frac{a^4}{a^2} = a^{(4-2)} = a^2$ Die Exponenten werden subtrahiert.
	Multiplikation eines Faktors mit einem Klammerausdruck $a \cdot (b + c) = ab + ac$ Jedes Glied der Klammer wird mit dem Faktor multipliziert.	(Fortsetzung nächste Seite)

Elektrische Leistung



Ermitteln der Leistung mit Strommesser und Spannungsmesser



Leistungsschild eines Zählers

$$P = U \cdot I$$

1

$$[P] = V \cdot A = AV$$

$$= W = J/s$$

$$[n] = 1/h$$

$$[C_2] = 1/kWh$$

Leistungsmessung mit Zähler

$$[t] = h$$

elektrische Leistung

$$P = I^2 \cdot R$$

2

$$P = \frac{U^2}{R}$$

3

elektr. Leistung bei gleichem Lastwiderstand

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$$

4

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2}$$

5

Indizes 1 und 2 gelten für verschiedene Betriebsfälle.

elektrische Leistung

$$P = \frac{n}{C_z}$$

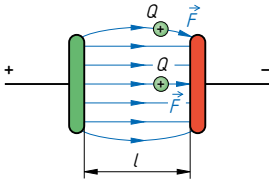
6

$$P = \frac{\text{Zahl der Umdrehungen}}{t \cdot C_z}$$

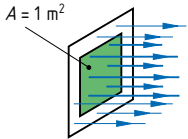
 C_z Zählerkonstante in Umdr./kWh I Stromstärke n Umdrehungsfrequenz, Drehzahl P Leistung R Lastwiderstand t Zeit U Spannung

Die Bedeutung weiterer Formelzeichen ist aus den Bildern erkennbar.

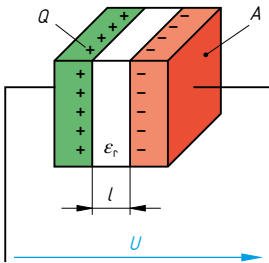
Elektrisches Feld



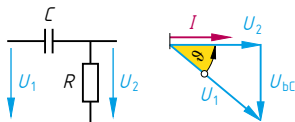
Elektrische Feldstärke



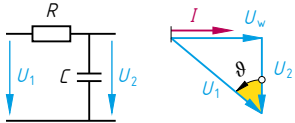
Elektrische Flussdichte



Kapazität



Hochpass



Tiefpass

Die elektrische **Feldstärke** E gibt die Kraft an, die auf die Ladung $Q = 1 \text{ As}$ im elektrischen Feld wirkt.Die elektrische **Flussdichte** D gibt an, wie groß die Ladung je Quadratmeter ist.

$$[F] = N$$

$$D = \frac{Q}{A} \quad [D] = \frac{\text{As}}{\text{m}^2}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot \frac{\text{pAs}}{\text{Vm}} = 8,85 \text{ pF/m}$$

$$[C] = \frac{\text{As}}{\text{V}} = F \text{ (Farad)}$$

$$[Q] = V \cdot A = \text{var}$$

var = Volt-Ampere-reaktiv (reaktiv = rückwirkend)

$$w = \frac{W}{V}$$

$$[W] = \frac{\text{As}}{\text{V}} \cdot \text{V}^2 = \text{Ws} = \text{J} \quad (\text{Joule})$$

$$[w] = \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

$$[R] = \Omega = \text{V/A}$$

$$[f_c] = \text{Hz} = 1/\text{s} = \frac{1}{\text{V/A} \cdot \text{As/V}}$$

Anziehungskraft
Plattenkondensator

$$F = \frac{1}{2} \cdot E \cdot Q$$

7

elektrische Flussdichte

$$D = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$$

9

Kapazität

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{l}$$

11

Ladung

$$Q = I \cdot t$$

13

$$\Delta Q = i \cdot \Delta t$$

Energiedichte

$$w = \frac{1}{2} \cdot D \cdot E$$

15

Hochpass und Tiefpass

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_c/f)^2}}$$

17

elektrische Feldstärke

$$E = \frac{F}{Q}$$

8

beim homogenen Feld

$$E = \frac{U}{l}$$

10

Ladung

$$Q = C \cdot U$$

12

$$\Delta Q = C \cdot \Delta u$$

$$i = C \cdot \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

14

Energie

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

16

Impedanz

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

18

Grenzfrequenz

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

19

 A Plattenfläche gleicher

Ladung

 C Kapazität D elektrische Flussdichte E elektrische Feldstärke f Frequenz F Kraft f_c Grenzfrequenz (c von cut) I, i Stromstärke Q Ladung t Zeit U, u Spannung V Volumen w Energiedichte W Arbeit, Energie X Blindwiderstand Δ Differenz (Delta) ϵ Permittivität ϵ_0 elektrische Feld-

konstante

 ϵ_r Permittivitätszahl**Indizes:**

1 Eingang

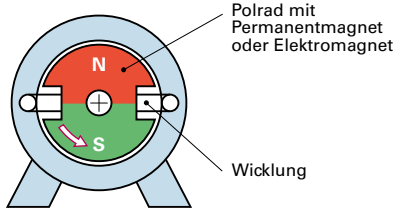
2 Ausgang

b Blind-

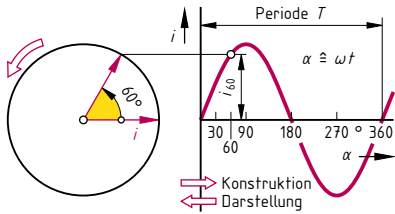
A kapazitiv

w Wirk-

Die Bedeutung weiterer Formelzeichen ist aus den Bildern und Formelüberschriften erkennbar.



Innenpolmaschine mit einem Polpaar

Konstruktion und Darstellung einer Sinuslinie durch einen Zeiger bei $\varphi_0 = 0^\circ$

$$[f] = 1/s = \text{Hz}$$

$$[n] = 1/s$$

Frequenz

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = p \cdot n$$

Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Effektivwert bei Sinusform

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

Augenblickswerte

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$i = \hat{i} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Scheinleistung

$$U = S/I$$

$$S = U \cdot I$$

Wirkleistung

$$P = U_w \cdot I_w$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Blindleistung

$$Q = U_b \cdot I_b$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Scheinleistung

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Hinweis:
Den Wirkungskfaktor $\cos \varphi$ darf man nicht mit dem Wirkungsgrad η verwechseln (Seite 22, Formel 16).

$$[U_b] = \text{V}$$

$$[I_b] = \text{A}$$

$$[Z] = [R] = [X] = \Omega$$

$$[L] = \text{As/V} = \text{H (Henry)}$$

$$[C] = \text{Vs/A} = \text{F (Farad)}$$

Wirkfaktor

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Blindfaktor

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

Impedanz (Scheinwiderstand)

$$Z = \frac{U}{I}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Wirkwiderstände (Resistenzen)

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

$$R = \frac{U_w}{I_w}$$

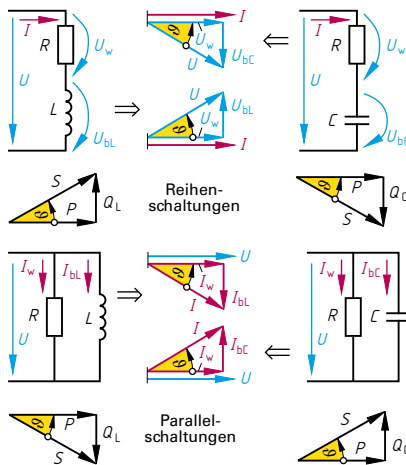
$$R = \sqrt{Z^2 - X^2}$$

Blindwiderstände (Reaktanzen)

$$X_L = \omega \cdot L$$

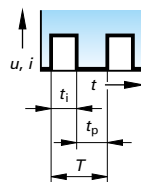
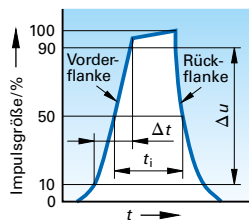
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X = Z \cdot \sin \varphi$$



Schaltungen und Zeigerbilder

Impuls



$$[S_\Delta] = \frac{\text{V}}{\text{s}} \text{ oder } \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

Steilheit

$$S_\Delta = \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

$$S_\Delta = \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Periodendauer

$$T = t_i + t_p$$

Frequenz

$$f = \frac{1}{T}$$

Tastgrad

$$g = \frac{t_i}{T}$$

$$[T] = [t_i] = [t_p] = \text{s};$$

$$[f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}; [g] = \frac{\text{s}}{\text{s}} = 1$$

$$T = t_i/g$$

Kenngrößen beim Impuls

Impulsvorgang

i	Augenblickswert des Stromes
I	Effektivwert des Stromes
n	Umdrehungsfrequenz des Polrades
T	Periodendauer
U	Effektivwert der Spannung
p	Polpaarzahl, halbe Polzahl

S_Δ	Steilheit
φ_0	Nullphasenwinkel (Winkel ωt vor dem 1. Nulldurchgang von u bzw. i)
ω	Kreisfrequenz (Omega)
$\sim$	Scheitelwert, z.B.
$\hat{i}$	Stromscheitelwert

Indizes:

b	Blind-	p	Pause
C	kapazitiv	w	Wirk-
L	induktiv	Δ	Differenz (Delta), z.B. Δt Zeitdauer
i	Impuls		

Die Bedeutung weiterer Formelzeichen ist aus den Bildern und Formelüberschriften erkennbar.

Kräfte und Leistungen beim Zerspanen

Spezifische Schnittkraft für Hartmetallwerkzeuge

Werkstoff	Spezifische Schnittkraft k_c in N/mm ² bei h in mm									m_c
	0,08	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	0,80	$k_{c1,1}$ 1,00	1,50	
235JR	2735	2633	2458	2340	2184	2003	1850	1780	1661	0,17
E295	3838	3621	3258	3024	2721	2383	2108	1990	1791	0,26
C35	2998	2823	2531	2341	2098	1828	1612	1516	1359	0,27
C60	3356	3224	2996	2846	2645	2413	2215	2130	1980	0,18
11SMnPb30	1891	1816	1688	1603	1490	1359	1250	1200	1116	0,18
16MnCr5	4050	3821	3438	3191	2872	2515	2227	2100	1890	0,26
20MnCr5	3949	3734	3373	3140	2838	2497	2219	2100	1898	0,25
18CrMo4	3518	3387	3162	3011	2810	2576	2381	2290	2137	0,17
42CrMo4	4821	4549	4092	3799	3419	2994	2650	2500	2250	0,26
50CrV4	4281	4040	3635	3374	3036	2658	2354	2220	1998	0,26
X210CrW12	3510	3312	2981	2766	2489	2179	1931	1820	1638	0,26
X5CrNi18-10	3994	3811	3500	3295	3026	2718	2462	2350	2158	0,21
X30Cr13	3510	3312	2981	2766	2489	2179	1931	1820	1638	0,26
GJL-200	1918	1814	1638	1525	1378	1213	1081	1020	922	0,25
GJL-400	2835	2675	2408	2234	2010	1760	1558	1470	1323	0,26
GJS-600	2274	2189	2042	1946	1816	1665	1538	1480	1381	0,17
GJS-800	3439	3118	2608	2298	1923	1536	1250	1132	947	0,44
AlCuMg1	1484	1410	1285	1202	1095	973	873	830	756	0,23
AlMg3	1394	1325	1208	1129	1029	915	819	780	711	0,23
CuZn40Pb2	1229	1181	1096	1042	969	884	812	780	725	0,18

Spezifische Schnittkraft

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^{m_c}}$$

Korrekturfaktor C_1 für Schneidstoff

Schnellarbeitsstahl	1,2
Hartmetall	1,0
Schneidkeramik	0,9

Korrekturfaktor C_2 für Schneidenverschleiß

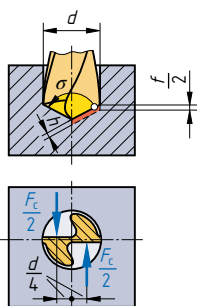
arbeitsstumpf	1,0
abgestumpft	1,3

Spanwinkel γ_0 für aus-gewählte Werkstoffe

Stähle	+6°
Gusseisen	+2°
Kupferlegierungen	+8°

Das Abtrennen eines Spanes mit dem Querschnitt 1 mm² erfordert die **spezifische Schnittkraft k_c** . Sie ist abhängig von **Werkstoff, Spanungsdicke h und Vorschub**. Eine Erhöhung der Spanungsdicke vermindert k_c . Folgerung: **Spanungsdicke und Vorschub so weit wie möglich erhöhen.**

Kräfte und Leistungen



Bohren Schnittleistung

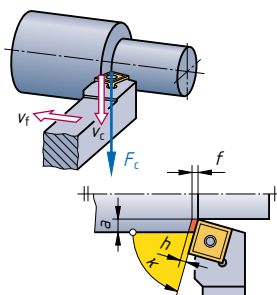
$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2} = Q \cdot k_c$$

Zeitspanungsvolumen

$$Q = \frac{A \cdot v_c}{2}$$

Schnittkraft

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2$$



Drehen Schnittleistung

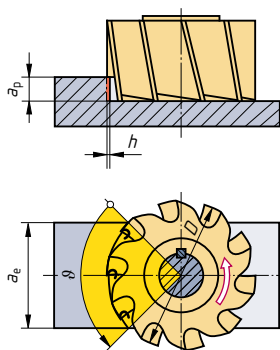
$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

Zeitspanungsvolumen

$$Q = A \cdot v_c = a \cdot f \cdot v_c$$

Schnittkraft

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2$$



Fräsen Schnittleistung

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

Zeitspanungsvolumen

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

Schnittkraft

$$F_c = A \cdot k_c \cdot C_1 \cdot C_2$$

Spanungsdicke

$$h \approx f_z$$

Drehzahl

$$n = \frac{v_c}{d \cdot \pi}$$

Vorschubgeschwindigkeit

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n$$

Spanungsquerschnitt

$$A = a_p \cdot h \cdot z_e$$

Schneidzahl im Eingriff

$$z_e = z \cdot \frac{\varphi}{360^\circ}$$

[A]	= mm ²	[h]	= mm
[a]	= mm	[k _c]	= N/mm ²
[a _e]	= mm	[n]	= 1/min
[a _p]	= mm	[P _c]	= W
[d, D]	= m	[Q]	= mm ³ /min
[f]	= mm	[v _c]	= m/min
[f _z]	= mm	[v _f]	= mm/min
[F _c]	= N		

abweichend davon sind einzusetzen:

Formeln 2, 5, 8:

[v_c] = m/s

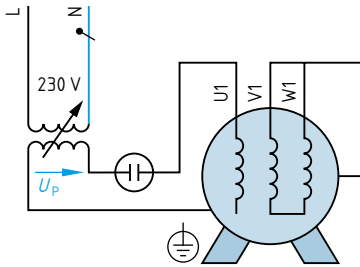
Formeln 3, 6:

[v_c] = mm/min

A	Spanungsquerschnitt	C ₁	Korrekturfaktor Schneidstoff	k _{c1,1}	Basiswert spez. Schnittkraft	z _e	Schneidzahl im Eingriff
a _e	Arbeitseingriff (Fräsbreite)	C ₂	Korrekturfaktor Schneidenverschleiß	m _c	Werkstoffkonstante	z	Schneidenzahl
a _p , a	Schnitttiefe		Spanungsdicke	n	Drehzahl	α	Winkel zwischen Fräserintritt und Fräseraustritt
d, D	Durchmesser	h	Umrechnungsfaktor	P _c	Schnittleistung	φ	Eingriffswinkel
f	Vorschub/Umdrehung	h ^{m_c}	spezifische Schnittkraft	Q	Zeitspanungsvolumen		
f _z	Vorschub/Schneide	k _c		v _c	Schnittgeschwindigkeit		
F _c	Schnittkraft			v _f	Vorschubgeschwindigkeit		

Prüfen elektrischer Maschinen, Schrittmotoren

Prüfen elektrischer Maschinen



Prüfschaltung

Prüfdauer nach Erreichen von U_p bzw. U_{PT}

- 1 min bei Stückprüfung
- 5 s oder 1 s bei Serienprüfung

Man beginnt mit $U_p/2$ bzw. $U_{PT}/2$ oder weniger und steigert dann innerhalb von $t \geq 10$ s allmählich auf die volle Prüfspannung.

Alle Wicklungen (außer den unten genannten):

für < 1 kW bzw. < 1 kVA, < 100 V

für < 10 MW bzw. 10 MVA

Schleifringläuferwicklung:

mit Drehfeldumkehr

ohne Drehfeldumkehr

Erregerwicklung von Synchronmaschinen:

1,5 kV, höchstens 3,5 kV

Fremderregte Gleichstrom-Erregerwicklung:

für 1,5 kV

Teilweise erneuerte Wicklungen:

alte Wicklungsteile reinigen und trocknen

Wicklungen bei Maschinenrevision:

nach Reinigung und Trocknung $U_N < 100$ V

für mindestens 1 kV

Prüfspannungen

$$U_p = 2 U_N + 500 \text{ V}$$

$$U_p = 2 U_N + 1000 \text{ V}$$

$$U_p = 4 U_{L0} + 1000 \text{ V}$$

$$U_p = 2 U_{L0} + 1000 \text{ V}$$

$$U_p = 10 U_e$$

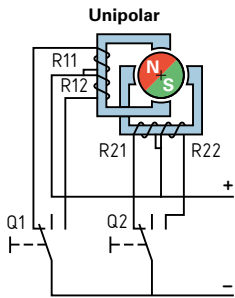
$$U_p = 2 U_e + 1000 \text{ V}$$

$$U_{PT} = 0,75 U_p$$

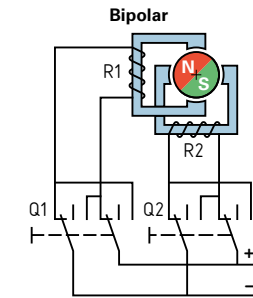
$$U_p = 500 \text{ V}$$

$$U_p = 1,5 U_N$$

Schrittmotoren



Zweistrang-Schrittmotoren



Die Schalter Q1 und Q2 sind z.B. Leistungstransistoren.

Halbschrittbetrieb

Schrittinkel

$$\alpha = \frac{180^\circ}{2p \cdot m}$$

Schrittzahl

$$z_u = 2 \cdot 2p \cdot m$$

Drehzahl

$$n = \frac{f_{sch}}{2 \cdot 2p \cdot m}$$

$$2p = f_{sch} / (2 \cdot n \cdot m)$$

Vollschrittbetrieb

Schrittinkel

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2p \cdot m}$$

Schrittzahl

$$z_u = 2p \cdot m$$

Drehzahl

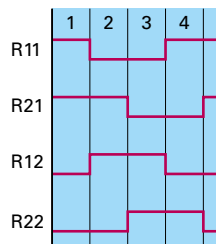
$$n = \frac{f_{sch}}{2p \cdot m}$$

$$2p = f_{sch} / (n \cdot m)$$

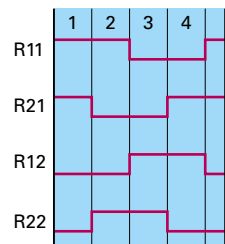
Taktfolge für einen Zweistrang-Schrittmotor

Schritt-Nr., Reihenfolge		Vollschrittbetrieb schwarz Halbschrittbetrieb zusätzl. rot	
Linkslauf	Rechtslauf	Schalter Q1	Schalter Q2
4 $\triangleq$ 0	0 $\triangleq$ 4	←	←
3 1/2	1 1/2	←	Mitte
3	1	←	→
2 1/2	1 1/2	Mitte	→
2	2	→	→
1 1/2	2 1/2	→	Mitte
1	3	→	←
1/2	3 1/2	Mitte	←
0	4	←	←

Linkslauf



Rechtslauf



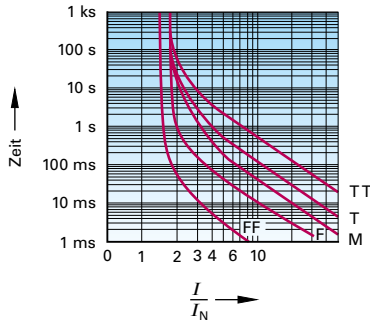
Zeitablaufdiagramm der Strangsignale für Linkslauf und für Rechtslauf

$2p$ Polzahl
 p Polpaarzahl
 f_{sch} Schrittfrequenz
 m Strangzahl, Phasenzahl
 n Drehzahl (Umdrehungsfrequenz)

U_e Erregerspannung (Nennerregerspannung bzw. höchste Erregerspannung)
 U_{L0} Läuferstillstandsspannung
 U_N Bemessungsspannung, Nennspannung

U_p Prüfspannung
 U_{PT} Prüfspannung bei teilweise erneuerter Wicklung
 z_u Schrittzahl/Umdrehung
 α Schrittinkel
 $\rightrightarrows$ Schalterstellungen

Feinsicherungen



Auslösekennlinien

Größter Abschaltstrom von Feinsicherungen

Kennbuchstabe	DC 250 V in A	AC 250 V in A
B	12,5	50
C	20	80
D	75	300
E	250	1000
G	750	1500

Abschaltung durch Feinsicherungen

Benennung (Kennzeichen)	Abschaltung innerhalb 10 ms bei	Anwendungsbeispiel
Superflink (FF)	$I_a \leq 3 I_N$	Kurzschlusschutz von Halbleiterbauelementen
Flink (F)	$I_a \leq 10 I_N$	Geräte ohne Einschaltstromstöße
Mittelträge (M)	$I_a \leq 20 I_N$	bei kleiner Betriebsspannung
Träge (T)	$I_a \leq 30 I_N$	bei hohen Einschaltströmen
Superträge (TT)	$I_a \leq 60 I_N$	bei sehr hohen Einschaltströmen, z. B. Transformatoren

Der Bemessungsstrom der Sicherung wird etwa so groß wie der Bemessungsstrom der Last gewählt, aber nicht kleiner. Das Einschaltverhalten der Last wird durch die Wahl des Abschaltverhaltens der Sicherung berücksichtigt.

sichere Auslöseströme

bei FF:

$$I_a = 3 \cdot I_N \quad 1$$

bei F:

$$I_a = 10 \cdot I_N \quad 2$$

bei M:

$$I_a = 20 \cdot I_N \quad 3$$

bei T:

$$I_a = 30 \cdot I_N \quad 4$$

bei TT:

$$I_a = 60 \cdot I_N \quad 5$$

Zu wählende Feinsicherung

$$I_N \geq I_n \text{ mit } I_N \approx I_n \quad 6$$

Strombelastbarkeit wärmefester oder flexibler Leitungen

Umrechnungsfaktoren k wärmefester Leitungen

Anzahl Stromführender Leiter Verlegeanordnung	ϑ_B in °C Isolierwerkstoff	Bauart-Kurzzeichen Beispiele	Umrechnungsfaktoren bei ϑ_u in °C						
			50	60	70	80	90	100	110
1, 2 oder 3 V1, V2	90 Polyvinylchlorid	NYFAFW NYPLYW	1,00	0,87	0,71	0,50	–	–	–
1 V1	110 Ethylen-Vinylacetat-Copolymer	N4GA N4GAF	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,58	–
1 V1	135 Ethylen-Tetrafluorethylen	N7YA N7YAF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,79

Übersteigt die Umgebungstemperatur die Bemessungstemperatur 50°C von wärmefesten Leitungen, so ist die Strombelastbarkeit geringer.

reduzierte Strombelastbarkeit

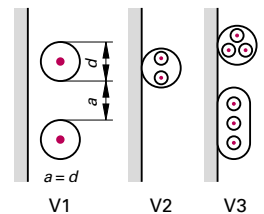
$$I_Z = k \cdot I_{50} \quad 7$$

Tabellenwert zur Querschnittswahl

$$I_{50} \geq I_Z/k \quad 8$$

Belastbarkeit flexibler Leitungen mit $U_N \leq 1000$ V bei Umgebungstemperatur $\vartheta_u = 30^\circ\text{C}$

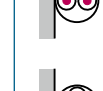
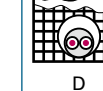
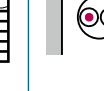
Anzahl Stromführender Leiter Verlegeanordnung	ϑ_B in °C Isolierwerkstoff	Bauart-Kurzzeichen Beispiele	Belastung I_Z in A bei einem Bemessungsquerschnitt A in mm ²													
			0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50			
1 V1	70 Polyvinylchlorid	H05V-U H07V-U H07V-K	15	19	24	32	42	54	73	98	129	158	198			
2 oder (3) V2, V3	60 Gummi	H05RN-F H07RN-F NMHVÖU	6 (6)	10 (10)	16 (16)	25 (20)	32 (25)	40 –	63 –	–	–	–	–			
3 ≤ 6 kV/10 kV V2	80 Ethylenpropylen-Kautschuk	NSSHÖU	30	41	53	74	99	131	162	202	250	301	352			
2 oder 3 V2, V3	70 Polyvinylchlorid	H05VVH6-F F07VVH6-F MYMH11YÖ	12	15	18	26	34	44	61	82	108	135	168			



Verlegeanordnungen V

a Leiterabstand
AC Wechselstrom, Wechselspannung (von alternating current)
 d Leiterdurchmesser
DC Gleichstrom, Gleichspannung (von direct current)
 I_a Auslösestrom (Abschaltstrom) der Sicherung
 I_N Bemessungsstrom der Sicherung
 I_n Nennstrom der Last

I_Z Belastbarkeit des Leiters
 I_{50} Bemessungsstromstärke der Leitung bei 50°C
 k Umrechnungsfaktor
 ϑ_B Bemessungsbetriebstemperatur des Leiters (Theta)
 ϑ_u Umgebungstemperatur der Leitung (Theta)
 U_N Bemessungsspannung der Leitung

Strombelastbarkeit I_T in A bei maximaler Betriebstemperatur am Leiter von $\vartheta_B = 90^{\circ}\text{C}$ und bei $\vartheta_U = 30^{\circ}\text{C}$																	
Bemessungsstrom der Überstrom-Schutzeinrichtung in A																	
Verlegeart, Anzahl der stromführenden Leiter																	
Nennquerschnitt A der Leiter in mm^2	in wärme-gedämmter Wand A2		in Elektroinstallations-rohren		auf Wand		in Erde mit Rohr		mit Ab-stand		in Luft mit Berührung		in Luft mit Abstand				
																	
	B1		B2		C		D		E		F		G				
Adern	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2	3		
Kupferleitungen, Kupferkabel																	
Cu	1,5	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	22	18	22	18,5	–	–	–	–
		16	16	20	20	20	16	20	20	20	16	20	16				
	2,5	25	22	31	28	30	26	33	30	29	24	30	25	–	–	–	–
		25	20	25	25	25	25	32	25	25	20	25	25				
	4	33	30	42	37	40	35	45	40	37	30	40	34	–	–	–	–
		32	25	40	35	40	32	40	40	35	25	35	32				
	6	42	38	54	48	51	44	58	52	46	38	51	43	–	–	–	–
		40	35	50	40	50	40	50	50	40	35	50	40				
	10	57	51	75	66	69	60	80	71	78	64	94	80	–	–	–	–
		50	50	63	63	63	50	80	63	63	63	80	80				
Cu	16	76	68	100	88	91	80	107	96	78	64	94	80	–	–	–	–
		63	63	100	80	80	80	100	80	63	63	80	80				
	25	99	89	133	117	119	105	138	119	99	82	119	101	131	114	146	130
		80	80	100	100	100	100	125	100	80	80	100	100	125	100	125	125
	35	121	109	164	144	146	128	171	147	119	98	148	126	162	143	181	162
		100	100	160	125	125	125	160	125	100	80	125	125	116	125	160	160
	50	145	130	198	175	175	154	209	179	140	116	180	153	196	174	219	197
		125	125	160	160	160	125	200	160	125	100	160	125	160	160	200	160
	70	183	163	253	222	221	194	269	229	173	143	232	196	251	225	281	254
		160	160	250	200	200	160	250	224	160	125	200	160	250	224	250	250
Cu	95	220	197	306	269	265	233	328	278	159	132	210	183	235	212	265	241
		200	160	250	250	250	224	315	250	125	125	200	160	224	200	250	224
	120	253	227	354	312	305	268	382	322	180	150	244	212	273	247	308	282
		250	224	315	250	250	250	355	315	160	125	224	200	250	224	300	250
Aluminiumleitungen, Aluminiumkabel																	
Al	25	58	53	79	70	71	62	83	73	77	64	89	78	98	87	112	99
		50	50	63	63	63	50	80	63	63	63	80	63	80	80	100	80
	35	71	65	97	86	86	77	103	90	93	77	111	96	122	109	139	124
		63	63	80	80	80	63	100	80	80	63	100	80	100	100	125	100
	50	86	78	118	104	104	92	125	110	109	91	135	117	149	133	169	152
		80	63	100	100	100	80	125	100	100	80	125	100	125	125	160	125

- Einteilung der Verlegung siehe auch vorhergehende Seite.
- Für A1 können die Werte von A2 verwendet werden, da bei A1 die Belastbarkeit nur wenig größer ist als bei A2.
- Bei E liegen z. B. mehradrige Kabel oder Mantelleitungen vor, deren Abstand von der Wand mindestens $0,3 \times D$ beträgt (D Kabel-durchmesser).
- Bei F liegen z. B. einadrige Kabel oder Mantelleitungen mit gegenseitiger Berührung vor, bei denen der Wandabstand min-des-tens D beträgt (D Kabeldurchmesser).
- Bei G liegen z. B. einadrige Kabel oder Mantelleitungen vor, bei denen der gegenseitige Abstand und der Wandabstand min-des-tens D beträgt (D Kabeldurchmesser).

Strombelastbarkeit und Bemessungsströme der Überstrom-Schutzeinrichtungen höherer Querschnitte in DIN VDE 0298-4.

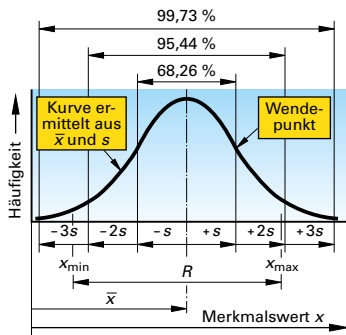
Ablauf der Leitungsberechnung

Leitungslänge	Bedingung	Bemessungsgrundlage	Beispiel
kurz	Leitungslänge ≤ 10 m, Bemessungsstrom der Last ≤ 6 A.	Bemessung nach mechanischer Festigkeit, Mindestquerschnitt nach Seite 56. Im Zweifelsfall wie bei normaler Leitungslänge verfahren.	Handgerät mit $I_N = 2$ A, Leitungslänge 2 m
normal	Bei AC und DC Leitungslänge etwa ≤ 50 m, bei 3AC etwa ≤ 80 m, Bemessungsstrom beliebig.	Bemessung nach zulässiger Erwärmung durch den Strom, Strombelastbarkeit nach Seite 59, 60. Im Zweifelsfall siehe Leitung normal bis lang.	Beleuchtungsanlage mit $I_N = 16$ A, Leitungslänge 30 m
normal bis lang	Leitungslänge zwischen normal und lang.	Bemessung nach Strombelastbarkeit wie bei normaler Leitungslänge, dann auf Spannungsfall prüfen, siehe unten und folgende Seite.	3AC-Motor mit $I_N = 16$ A, Leitungslänge 80 m
lang	Bei AC und DC Leitungslänge > 50 m, bei 3AC Leitungslänge > 80 m.	Berechnung des zulässigen Spannungsfalls Δu . Bemessung nach dem Querschnitt beim zulässigen Spannungsfall, siehe unten und folgende Seite.	3AC-Motor mit $I_N = 16$ A, Leitungslänge 150 m

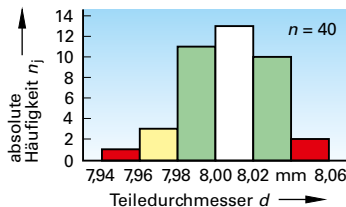
Jede Leitungsanlage muss bemessen sein nach den Mindestquerschnitten, der Strombelastbarkeit und dem Spannungsfall.

Leitungsberechnung bei normaler oder normaler bis großer Leitungslänge

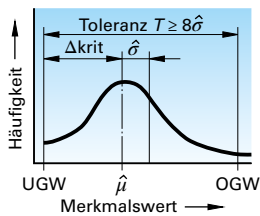
Struktogramm	Schritte bei der Berechnung	Bemerkungen, Formeln
$I_N \leq I_Z$ und l ermitteln A für I_r aus Seiten 59, 60 ermitteln Häufung? Abweichende Temperatur? ja nein Faktoren k_1 und k_2 aus vorhergehender Seite entnehmen $I_Z = I_r \cdot k_1 \cdot k_2$ wenn $I_Z < I_N$, dann A von Seiten 59, 60 um 1 Stufe höher und neues I_r wiederholen bis $I_Z \geq I_N$ A ist richtig	Rechengang bei normaler Leitungslänge 1. Ermittlung des Bemessungsstromes I_N der Last, der Länge der Leitung und der Umgebungstemperatur ϑ_U (in Deutschland meist 25°C). 2. Liegen Leitungshäufungen nicht vor, wird bei einer Umgebungstemperatur von 30°C der Leiterquerschnitt direkt aus den Tabellen der Seiten 59 bzw. 60 entnommen. 3. Liegt eine von 30°C abweichende Umgebungstemperatur vor, so übernimmt man den Faktor k_1 für diese Umgebungstemperatur aus vorhergehender Seite und berechnet I_Z . Ist $I_N \leq I_Z$, so ist A richtig. Ist aber $I_Z < I_N$, so nimmt man den nächsthöheren Querschnitt A und prüft dessen Belastbarkeit I_Z mittels k_1 . A ist richtig, wenn $I_N \leq I_Z$. Andernfalls erhöht man den Querschnitt nochmals und wiederholt den Vorgang. Beachte auch Seite 58. 4. Bei Leitungshäufung entnimmt man den Faktor für Leitungshäufung von vorhergehender Seite. Man bildet daraus und aus k_1 das Produkt $k_1 \cdot k_2$ für die Belastbarkeit I_Z . Für 30°C ist $k_1 = 1$. Ist $I_Z \leq I_N$, so nimmt man den nächsthöheren Querschnitt und prüft dessen Belastbarkeit I_Z mittels $k_1 \cdot k_2$. Dabei muss sein $I_N \leq I_r$.	Bedingung für Leiterquerschnitt $I_N \leq I_r$ 1 Strombelastbarkeit bei $\vartheta_U \neq 30^\circ\text{C}$ $I_Z = I_r \cdot k_1$ 2 Strombelastbarkeit bei $\vartheta_U \neq 30^\circ\text{C}$ und Leitungshäufung $I_Z = I_r \cdot k_1 \cdot k_2$ 3
A mit I_Z nach Schritte 1 bis 4 Ermitteln von Δu, berechnen von ΔU ΔU zu groß? ja nein A von Seiten 59, 60 um 1 Stufe erhöhen neues ΔU berechnen nach Formeln Seite 63 wiederholen bis ΔU nicht zu groß ist A ist richtig	Rechengang bei normaler bis großer Leitungslänge Von 1. bis 4. vorgehen wie bei normaler Leitungslänge. A und I_N festhalten. 5. Bei AC und 3AC ist der $\cos \varphi$ zu ermitteln und zu klären, mit welcher Leitertemperatur gerechnet werden soll (folgende Seite, für überschlägige Berechnung ist das meist 20°C). 6. Feststellen, wie groß Δu sein darf (folgende Seite) und daraus ΔU berechnen. 7. Prüfen, ob ΔU beim ermittelten A zu groß ist. Wenn nicht zu groß, dann stimmt A . 8. Wenn zu groß, dann nächstgrößeren Querschnitt von Seiten 59, 60 nehmen. Das neue ΔU berechnen und auf Zulässigkeit prüfen. Wenn ΔU nicht zu groß ist, dann stimmt A . 9. Wenn ΔU zu groß ist, dann 8. wiederholen, bis A stimmt.	Siehe Formeln 1 bis 3 Spannungsfall in V $\Delta U = \frac{\Delta u \cdot U_N}{100\%}$ 4 Δu siehe folgende Seite. Benötigte Seiten 58 bis 61.
Rechengang bei normaler bis großer Leitungslänge A Leiterquerschnitt k_1 Faktor wegen Temperaturabweichung k_2 Faktor wegen Leitungshäufung l Leitungslänge I_N Bemessungsstrom der Last	I_Z Strombelastbarkeit des Leiters I_r Tabellenwert der Strombelastbarkeit bei 30°C U_N Bemessungsspannung des Netzes (meist bei AC 230 V, bei 3AC 400 V)	ΔU Spannungsfall in V Δu Spannungsfall in % der Netz-Bemessungsspannung $\cos \varphi$ Leistungsfaktor der Last ϑ_U Umgebungstemperatur



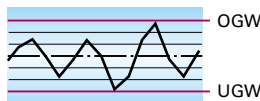
Normalverteilung



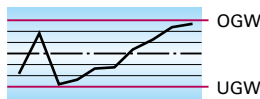
Histogrammdarstellung



Verteilung bei Analyse der Prozessfähigkeit
(bei Maschinenfähigkeit:
 $\hat{\mu} \rightarrow \bar{x}, \hat{\sigma} \rightarrow s$)



Natürlicher Prozessverlauf



Trend-Prozessverlauf

Wahrscheinlichkeit: Verhältnis einer Anzahl z.B. fehlerhafter Teile zu einer Gesamtanzahl von Teilen.

Normalverteilung: Charakteristische Verteilung von Merkmalswerten, z.B. Messwerte, zugeordnet zu Klassen, z.B. Teildurchmesser.

Arithmetischer Mittelwert: Summierte Einzelmesswerte einer Stichprobe dividiert durch die Anzahl der Messwerte.

Medianwert: Mittlerer Wert der nach der Größe geordneten Messwerte ($\bar{x}$).

Absolute Häufigkeit: Anzahl der Stichprobenwerte einer Klasse.

Relative Häufigkeit: Absolute Häufigkeit im Verhältnis zur Anzahl von z.B. Messwerten.

Standardabweichung: 68,26% aller Messwerte liegen zwischen den Grenzen $\pm s$ (Streuung).

Spannweite: Differenz zwischen größtem Messwert und kleinstem Messwert.

Histogramm: Grafische Darstellung der Häufigkeit der Messwerte als absoluter Wert oder relativer Wert in Form eines Balkendiagrammes.

Maschinenfähigkeit: Bewertung einer Maschine hinsichtlich ihrer Fähigkeit, innerhalb vorgegebener Grenzwerte fertigen zu können.

Maschinenfähigkeit bedeutet, dass 99,994% der Merkmalswerte (Messwerte) innerhalb der Grenzwerte liegen und der Mittelwert $\bar{x}$ mindestens um die Größe $3s$ von den Toleranzgrenzen entfernt liegt.

Prozessfähigkeit: Bewertung des Fertigungsprozesses hinsichtlich des Erfüllens festgelegter Forderungen.

Natürlicher Prozessverlauf: 2/3 aller Messwerte liegen im Bereich $\pm s$, und alle Werte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen.

Trend-Prozessverlauf: 7 oder mehr aufeinander folgende Werte zeigen eine steigende oder fallende Tendenz.

Wahrscheinlichkeit

$$P = \frac{g}{m_T} \cdot 100\%$$

$$g = \frac{P \cdot m_T}{100\%}$$

Arithmetischer Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Gesamtmittelwert

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

Relative Häufigkeit

$$h_i = \frac{n_i}{n} \cdot 100\%$$

Standardabweichung

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Mittelwert der Standardabweichungen

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m}$$

Spannweite

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Mittlere Spannweite

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Standardabweichung

$$s \approx 0,4 \cdot \bar{R}$$

Maschinenfähigkeitsindizes

$$C_m = \frac{T}{6 \cdot s}$$

$$C_{mk} = \frac{\Delta_{\text{krit}}}{3 \cdot s}$$

Eine Maschinenfähigkeit gilt üblicherweise als nachgewiesen, wenn z.B.

- $C_m \geq 1,33$ und
- $C_{mk} \geq 1,0$.

Prozessfähigkeitsindizes

$$C_p = \frac{T}{6 \cdot \hat{\sigma}}$$

$$C_{pk} = \frac{\Delta_{\text{krit}}}{3 \cdot \hat{\sigma}}$$

Eine Prozessfähigkeit gilt üblicherweise als nachgewiesen, wenn z.B.

- $C_p \geq 1,33$ und
- $C_{pk} \geq 1,0$.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{(s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_m^2)/m}$$

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$$

Δ_{krit}	kleinster Abstand zwischen Mittelwert und Toleranzgrenze
C_m, C_{mk}	Maschinenfähigkeitsindizes
C_p, C_{pk}	Prozessfähigkeitsindizes
g	Anzahl z.B. fehlerhafter Teile
h_i	relative Häufigkeit in %
m	Anzahl der Stichproben
m_T	Gesamtanzahl der Teile
n	Anzahl der Einzelwerte (Stichprobenumfang)

n_j	absolute Häufigkeit
P	Wahrscheinlichkeit in %
R	Spannweite
$\bar{R}$	mittlere Spannweite
s	Standardabweichung
$\bar{s}$	Mittelwert der Standardabweichungen
T	Toleranz
x_i	Wert des messbaren Merkmals, z.B. Einzelmesswert

$x_{\max}$	größter Messwert
$x_{\min}$	kleinster Messwert
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert
$\bar{\bar{x}}$	Gesamtmittelwert
UGW	unterer Grenzwert
OGW	oberer Grenzwert
$\hat{\sigma}$	geschätzte Prozess-Standardabweichung
$\hat{\mu}$	geschätzter Prozessmittelwert

Die Bedeutung weiterer Formelzeichen ist aus den Bildern und Formelüberschriften erkennbar.

Kalkulation von Kosten und Preisen

Fertigungs-Materialkosten <i>FMK</i>	Kosten für das Produktmaterial.	Materialkosten $MK = FMK + MGK$ 1	Herstellkosten $HK = MK + FL + FGK$ 2
Materialbedingte Gemeinkosten <i>MGK</i>	Kosten, die wegen des Materials anfallen, ohne Fertigungs-Materialkosten zu sein.	Selbstkosten $SeK = HK + VwGK + VtGK$ 3	Provisionsfreier Barverkaufspreis $BVP = SeK + G$ 4
Fertigungslöhne <i>FL</i>	Löhne für die Fertigung eines Produktes.	Skontozuschlag $S = \frac{SS \cdot BVP}{100\% - SS - PS}$ 5	Provisionszuschlag $P = \frac{PS \cdot BVP}{100\% - SS - PS}$ 6
Fertigungsbedingte Gemeinkosten <i>FGK</i>	Kosten, die wegen der Fertigung anfallen, ohne Fertigungslöhne oder materialbedingte Gemeinkosten zu sein.	Rabattfreier Rechnungspreis $RP = BVP + S + P$ 7	Rabattzuschlag $R = \frac{RS \cdot RP}{100\% - RS}$ 8
Verwaltungsbedingte Gemeinkosten <i>VwGK</i>	Gemeinkosten (allgemeine Kosten), die wegen der Verwaltung des Betriebes anfallen.	Nettoverkaufspreis $NVP = RP + R$ 9	Bruttoverkaufspreis $BRVP = NVP + MwSt$ 10
Vertriebsbedingte Gemeinkosten <i>VtGK</i>	Gemeinkosten (allgemeine Kosten), die wegen des Vertriebs entstehen.	Herstellkosten je Mengeneinheit $HKM = \frac{HK}{M}$ 11	

Gemeinkostensätze und Kennzahlen

Material-Gemeinkostensatz <i>MGKS</i>	materialbedingte Gemeinkosten je Fertigungs-Materialkosten.	Material-Gemeinkostensatz $MGKS = \frac{MGK \cdot 100\%}{FMK}$ 12	Fertigungs-Gemeinkostensatz $FGKS = \frac{FGK \cdot 100\%}{FL}$ 13
Fertigungs-Gemeinkostensatz <i>FGKS</i>	fertigungsbedingte Gemeinkosten je Fertigungslöhne.	Verwaltungs-Gemeinkostensatz $VwGKS = \frac{VwGK \cdot 100\%}{HK}$ 14	Vertriebs-Gemeinkostensatz $VtGKS = \frac{VtGK \cdot 100\%}{HK}$ 15
Verwaltungs-Gemeinkostensatz <i>VwGKS</i>	verwaltungsbedingte Gemeinkosten je Herstellkosten.	Rentabilität Eigenkapital $RdE = \frac{GG \cdot 100\%}{E}$ 16	Rentabilität Umsatz $RdU = \frac{GG \cdot 100\%}{U}$ 17
Vertriebs-Gemeinkostensatz <i>VtGKS</i>	vertriebsbedingte Gemeinkosten je Herstellkosten.		
Rentabilität des Eigenkapitals <i>RdE</i>	Gesamtgewinn bezogen auf das eingesetzte Eigenkapital.		
Rentabilität des Umsatzes <i>RdU</i>	Gesamtgewinn bezogen auf den erzielten Umsatz.		

<i>BRVP</i>	Bruttoverkaufspreis	<i>MGK</i>	materialbedingte Gemeinkosten	<i>S</i>	Skonto
<i>BVP</i>	provisionsfreier Barverkaufspreis	<i>MGKS</i>	Material-Gemeinkostensatz	<i>SeK</i>	Selbstkosten
<i>E</i>	Eigenkapital	<i>MwSt</i>	Mehrwertsteuer	<i>SS</i>	Skontosatz (Skonto in %)
<i>FGK</i>	fertigungsbedingte Gemeinkosten	<i>NVP</i>	Nettoverkaufspreis	<i>U</i>	Umsatz
<i>FGKS</i>	Fertigungs-Gemeinkostensatz	<i>P</i>	Provision, z.B. des Vertreters	<i>VtGK</i>	vertriebsbedingte Gemeinkosten
<i>FL</i>	Fertigungslöhne	<i>PS</i>	Provisionssatz (Provision in %)	<i>VtGKS</i>	Vertriebs-Gemeinkostensatz
<i>FMK</i>	Fertigungs-Materialkosten	<i>R</i>	Rabatt	<i>VwGK</i>	verwaltungsbedingte Gemeinkosten
<i>G</i>	kalkulatorischer Gewinn	<i>RdE</i>	Rentabilität Eigenkapital	<i>VwGKS</i>	Verwaltungs-Gemeinkostensatz
<i>GG</i>	Gesamtgewinn	<i>RdU</i>	Rentabilität Umsatz		
<i>HK</i>	Herstellkosten	<i>RP</i>	Rechnungspreis		
<i>HKM</i>	mengenbezogene Herstellkosten	<i>RS</i>	Rabattsatz (Rabatt in %)		% bedeutet „in Prozent“