

Paul Müller

Formelsammlung

Elektrotechnik

1. Auflage 2017

Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Hinweise auf DIN-Normen in diesem Werk entsprechen dem Stande der Normung bei Abschluss des Manuskriptes. Die Normen sind wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich ist.

Umschlaggestaltung: Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Umschlagfoto: © Dan Barnes bei istockphoto.com

Best.-Nr. 14330
ISBN 978-3-95863-247-9

1. Auflage 2017

© 2017 by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Alle Rechte, einschließlich der Fotokopie, Mikrokopie, Verfilmung, Wiedergabe durch Daten-, Bild- und Tonträger jeder Art und des auszugsweisen Nachdrucks, vorbehalten. Nach dem Urheberrechtsgesetz ist die Vervielfältigung urheberrechtlich geschützter Werke oder von Teilen daraus für Zwecke von Unterricht und Ausbildung nicht gestattet, außer nach Einwilligung des Verlages und ggf. gegen Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums. Nach dem Urheberrechtsgesetz wird mit Freiheitstrafen von bis zu einem Jahr oder mit einer Geldstrafe bestraft, wer „in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen ohne Einwilligung des Berechtigten ein Werk vervielfältigt ...“

Ein paar Worte ...

Die Formelsammlung Elektrotechnik ermöglicht einen raschen und präzisen Überblick über die wichtigen Formeln des Berufsfeldes Elektrotechnik.

Somit eignet sie sich sehr gut für den Einsatz in Facharbeiterprüfungen.

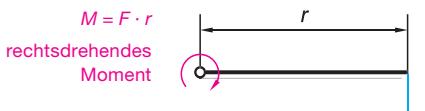
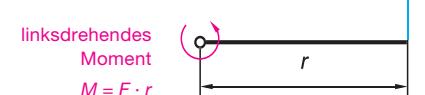
Wenn bei der Arbeit Zusatzinformationen benötigt werden, können Verweise auf die entsprechenden Tabellenbuchseiten sehr hilfreich und informativ sein.

Formelsammlung und Tabellenbuch sind eine unschlagbare Kombination in der Berufsbildung und im Berufsalltag.

Leitwert	35	Kreisfrequenz	46
Ohmsches Gesetz	35	Effektivwerte	47
Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes	36	Formfaktor	47
Wärmewirkung des elektrischen Stromes	36	Scheitelfaktor	47
Erster Kirchhoffscher Satz	36	Mischspannung	47
Zweiter Kirchhoffscher Satz	36	Rechteckspannung, unsymmetrisch	48
Parallelschaltung von Widerständen	37	Leistung im Wechselstromkreis	48
Reihenschaltung von Widerständen	37	Wechselstromkreis mit ohmschem Widerstand	48
Spannungsteilerregel	37	Wechselstromkreis mit induktivem Blindwiderstand	49
Reihenschaltung von Spannungsquellen	38	Wechselstromkreis mit kapazitivem Blindwiderstand	49
Parallelschaltung von Spannungsquellen	38	RL-Reihenschaltung	49
Leerlaufspannung, Klemmenspannung	38	RC-Reihenschaltung	50
Vorwiderstand	38	RL-Parallelschaltung	51
Spannungsteiler, unbelastet	39	RC-Parallelschaltung	52
Spannungsteiler, belastet	39	Resonanzfrequenz	52
Brückenschaltung, abgeglichen	39		
Brückenschaltung, nicht abgeglichen	39		
Messbereichserweiterung, Spannungsmesser	40		
Messbereichserweiterung, Strommesser	40		
Dreieck-Stern-Umwandlung	40		
Elektrisches Feld	40		
Elektrische Feldstärke	40		
Elektrische Feldstärke beim Plattenkondensator	40		
Kondensatorkapazität	41		
Reihenschaltung von Kondensatoren	41		
Parallelschaltung von Kondensatoren	41		
Kondensator, Lade- und Entladevorgang	42		
Zeitkonstante	42		
Magnetisches Feld	43		
Magnetischer Fluss	43		
Magnetische Flussdichte	43		
Magnetische Durchflutung	43		
Magnetische Feldstärke	43		
Magnetischer Kreis	44		
Permeabilität	44		
Induktivität	44		
Induktionsgesetz	44		
Kraftwirkung auf stromdurchflossenen Leiter	45		
Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern	45		
Schaltung von Spulen	45		
Spule, Ein- und Ausschaltvorgang	45		
Wechselstromtechnik	46		
Wechselspannung, sinustörmig	46		
Wechselgröße	46		
Periodendauer und Frequenz	46		
Drehstromtechnik (Dreiphasen-Wechselspannung)	53		
Sternschaltung, symmetrische Belastung	53		
Dreieckschaltung, symmetrische Belastung	53		
Leistung bei symmetrischer Stern- und Dreieckschaltung	53		
Umschaltung Stern-Dreieck	53		
Sternschaltung, unsymmetrische Belastung mit N-Leiter	54		
Sternschaltung, unsymmetrische Belastung ohne N-Leiter	54		
Sternschaltung, Ausfall eines Außenleiters	54		
Dreieckschaltung, unsymmetrische Belastung	54		
Dreieckschaltung, Ausfall eines Außenleiters	55		
Leistungsberechnung	55		
Gleichstromleitung	55		
Einphasen-Wechselstromleitung	56		
Dreiphasen-Wechselstromleitung	56		
Blindleistungskompensation	57		
Kapazitive Blindleistung	57		
Kompensationskondensator	57		
Elektrische Maschinen und Antriebe	58		
Mittlere quadratische Leistung	58		
Drehfelddrehzahl	58		
Schlupfdrehzahl, Schlupf	58		
Läuferfrequenz	58		
Zugeführte elektrische Leistung	58		
Wirkungsgrad	58		
Drehmoment	59		
Übertemperatur von Wicklungen	59		

Drehstrommotor, Stromstärke	59	Elektronik	64
Einphasenmotor, Stromstärke.....	59	Glättung und Siebung.....	64
Gleichstrommotor, Ankerspannung	59	Brummspannung, Effektivwert	64
Gleichstrommotor, Ankerstrom	60	Brummspannung, Spitze-Spitze.....	64
Gleichstrommotor, induzierte Ankerspannung..	60	Siebfaktor.....	64
Gleichstrommotor, Erregerstrom	60	RC-Siebung	64
Transformatoren	60	LC-Siebung	64
Übersetzungsverhältnis.....	60	Impuls.....	65
Kurzschlussspannung	60	Pulsfrequenz	65
Kurzschlussstrom	61	Periodendauer	65
Bemessungsleistung	61	Tastverhältnis.....	65
Verluste und Wirkungsgrad	61	Tastgrad	65
Spartransformator	61	Flankensteilheit	65
Lichttechnik	61	Transistorverstärker.....	65
Lichtstärke	61	Emitterschaltung.....	65
Beleuchtungsstärke.....	62	Basisspannungsleiter, Querstromverhältnis.....	66
Leuchtdichte	62	Basisspannungsleiter, Widerstandswerte	66
Lichtausbeute	62	Emitterwiderstand	66
Raumindex, direkte Beleuchtung.....	62	Operationsverstärker	66
Beleuchtungswirkungsgrad.....	62	Differenz-Eingangsspannung.....	66
Wartungsfaktor	62	Leerlauf-Ausgangsspannung	67
Lampenanzahl.....	63	Gleichtaktunterdrückung.....	67
Logische Verknüpfungen	63	Invertierender Verstärker, Spannungsverstärkung	67
UND	63	Impedanzwandler	67
NOR.....	63	Differenzierer.....	68
ODER.....	63	Integrierer.....	68
Antivalenz.....	63	Sachwortverzeichnis	70
NICHT.....	63		
Äquivalenz.....	63		
NAND.....	63		

Allgemeine Grundlagen																	
Physikalische Gleichungen																	
Größengleichung		Zugeschnittene Größengleichung	Einheitengleichung			Zahlenwertgleichung											
$n = \frac{f}{p}$		$n = \frac{f \cdot 60}{p}$	$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$			$v = 3,6 \cdot \frac{s}{t}$	v in km/h s in m t in s										
Basiseinheiten																	
Physikalische Größe		Formelzeichen		Einheit		Kennzeichen der Einheit											
Länge		l		Meter		m											
Masse		m		Kilogramm		kg											
Zeit		t		Sekunde		s											
Stromstärke		I		Ampere		A											
Temperatur ¹⁾		T		Kelvin		K											
Stoffmenge		n		Mol		mol											
Lichtstärke		I_V		Candela		cd											
¹⁾ Thermodynamische Temperatur																	
Umrechnung von Einheiten																	
Längen		Flächen		Volumen		Kräfte		Massen									
$1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$		$1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$		$1 \text{ ml} = 0,001 \text{ l}$		$1 \text{ mN} = 0,001 \text{ N}$		$1 \mu\text{g} = 0,001 \text{ mg}$									
$1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$		$1 \text{ m}^2 = 10000 \text{ cm}^2$		$1 \text{ cl} = 0,01 \text{ l}$		$1 \text{ daN} = 10 \text{ N}$		$1 \text{ mg} = 0,001 \text{ g}$									
$1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$		$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2$		$1 \text{ l} = 1000 \text{ ml}$		$1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$		$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$									
$1 \text{ dm} = 10 \text{ cm}$		$1 \text{ a} = 100 \text{ m}^2$		$1 \text{ hl} = 100 \text{ l}$		$1 \text{ MN} = 1000 \text{ kN}$		$1 \text{ Mg} = 1000 \text{ kg}$									
$1 \text{ m} = 10 \text{ dm}$		$1 \text{ ha} = 100 \text{ a}$		$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$				$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$									
$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$		$1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha}$		$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$													
Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten																	
Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen	Vorsatz	Faktor	Zeichen									
Piko	10^{-12}	p	Zenti	10^{-2}	c	Kilo	10^3	k									
Nano	10^{-9}	n	Dezi	10^{-1}	d	Mega	10^6	M									
Mikro	10^{-6}	μ	Deka	10^1	da	Giga	10^9	G									
Milli	10^{-3}	m	Hekto	10^2	n	Tera	10^{12}	T									

Allgemeine Grundlagen				
Formelzeichen und Einheiten				
Größe	Zeichen	Einheit	Hinweis	
Arbeit, Energie	W, E	Joule Newtonmeter Wattsekunde Kilowattstunde	J Nm Ws kWh	$1 \text{ kcal} = 4186,6 \text{ Ws}$ $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ $1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$
Beschleunigung	a, g	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$		Fallbeschleunigung $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Dichte	ϱ	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$		$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,001 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$ $1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ Bei Fluiden wird die Dichte in kg/l (Liter) angegeben.
Moment Drehmoment Biegemoment Torsionsmoment	M M_d M_b M_t, T	Nm Newtonmeter		$1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J}$  
Drehzahl Umdrehungs- frequenz	n	$\frac{1}{\text{s}}, \frac{1}{\text{min}}$		$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1460 \frac{1}{\text{min}} = \frac{1460}{60} \frac{1}{\text{s}} = 24,3 \frac{1}{\text{s}}$
Druck absoluter Druck Athmosphären- druck Überdruck	p p_{abs} p_{amb} p_e	Pa Pascal		$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,01 \text{ mbar}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$ $1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$
Energie	E, Q, W	Joule Wattstunde Wattsekunde	J Wh Ws	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ $1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}$
Feldstärke, elektrische	E	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$	$\frac{\text{Volt}}{\text{Meter}}$	$E = \frac{F}{Q}$ F Kraft in N $Q = I \cdot t$ elektrische Ladung

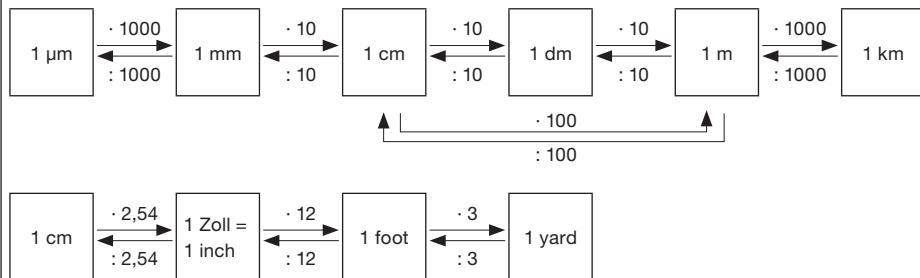
Allgemeine Grundlagen

Formelzeichen und Einheiten

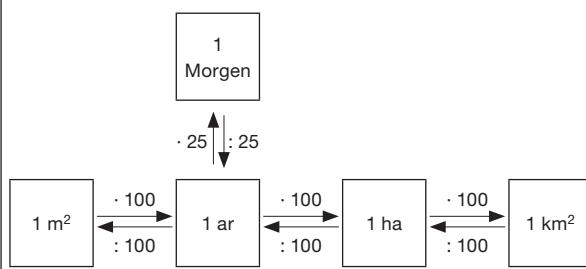
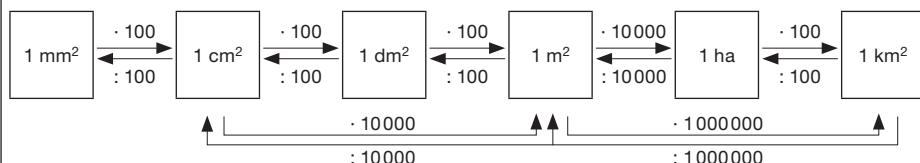
Größe	Zeichen	Einheit	Hinweis
Winkel, Phasenverschiebung	ϕ	rad ° Grad	In Wechselstromkreisen mit <i>induktiven</i> und/oder <i>kapazitiven</i> Widerständen.
Winkelgeschwindigkeit	ω	$\frac{1}{s}$	$\omega = 2 \pi n$ In der Elektrotechnik <i>Kreisfrequenz</i> genannt.
Zeit Periodendauer	t T	d h min s	Tag Stunden Minuten Sekunden $1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} = 86400 \text{ s}$ $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$

Umrechnung von Einheiten

Längeneinheiten



Flächeneinheiten



Allgemeine Grundlagen	
Dreisatzrechnung	
Einfacher, direkter Dreisatz Nimmt eine Größe zu, dann wächst auch die andere Größe. Nimmt eine Größe ab, dann wird auch die andere Größe kleiner. Die Größen sind <i>direkt proportional</i> .	<p><i>Beispiel 1: Die Größen nehmen zu</i></p> <p>12 Spiralbohrer kosten 60 Euro. Was kosten dann 30 Bohrer?</p> <ol style="list-style-type: none"> BS 12 Bohrer kosten 60 Euro FS 1 Bohrer kostet $\frac{60 \text{ Euro}}{12}$ SS 30 Bohrer kosten $\frac{60 \text{ Euro} \cdot 30}{12} = 150 \text{ Euro}$ <p><i>Beispiel 2: Die Größen nehmen ab</i></p> <p>Eine Lackdose enthält bei einer Füllhöhe von 25 cm 5 l Lack. Nach Arbeitsende ist sie noch 15 cm hoch gefüllt. Wie viel Liter Lack wurden für die Arbeit verbraucht?</p> <ol style="list-style-type: none"> BS 25 cm \triangleq 5 l FS 1 cm \triangleq $\frac{5 \text{ l}}{25 \text{ cm}}$ SS 15 cm \triangleq $\frac{5 \text{ l} \cdot 10 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} = 2 \text{ l}$
Einfacher, indirekter Dreisatz Nimmt eine Größe zu, dann nimmt die andere Größe ab. Wird eine Größe kleiner, dann nimmt die andere Größe zu. Die Größen sind <i>indirekt (umgekehrt) proportional</i> .	<p><i>Beispiel 1: Die erste Größe nimmt zu</i></p> <p>5 Monteure benötigen für eine Arbeit 70 Stunden. Wie viele Stunden würden dann 7 Monteure benötigen?</p> <ol style="list-style-type: none"> BS 5 Monteure benötigen 70 h FS 1 Monteur benötigt $70 \text{ h} \cdot 5$ SS 7 Monteure benötigen $\frac{70 \text{ h} \cdot 5}{7} = 50 \text{ h}$ <p><i>Beispiel 2: Die erste Größe nimmt ab</i></p> <p>Für eine Baustelle, die in 12 Tagen eingerichtet und in Betrieb genommen werden soll, sind 10 Monteure vorgesehen. Um wie viele Tage würde sich die Inbetriebnahme verzögern, wenn nur 6 Monteure zur Verfügung stehen?</p> <ol style="list-style-type: none"> BS 10 Monteure benötigen 12 Tage FS 1 Monteur benötigt $12 \text{ Tage} \cdot 10$ SS 6 Monteure benötigen $\frac{12 \text{ Tage} \cdot 10}{6} = 20 \text{ Tage}$
Zusammengesetzter Dreisatz Es sind mehr als drei Größen gegeben. Deshalb sind mehrere Folge- und Schlussätze erforderlich.	<p><i>Beispiel:</i></p> <p>Ein 4,0-m²-Blech von 1,6 mm Dicke wiegt 18 kg. Wie viel kg wiegt ein 1,5-m²-Blech von 1,2 mm Dicke?</p> <ol style="list-style-type: none"> BS 4,0 m²; 1,6 mm wiegen 18 kg FS 1 1,0 m²; 1,6 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg}}{4}$ FS 2 1,0 m²; 1,0 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg}}{4 \cdot 1,6}$ SS 1 1,0 m²; 1,2 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg} \cdot 1,2}{4 \cdot 1,6}$ SS 2 1,5 m²; 1,2 mm wiegen $\frac{18 \text{ kg} \cdot 1,2 \cdot 1,5}{4,0 \cdot 1,6} = 5,1 \text{ kg}$

Allgemeine Grundlagen

Prozentrechnung

Prozentrechnung ist eine Dreisatzrechnung, bei der alle Größen auf den **Grundwert 100** bezogen sind.

Grundformel:

$$W = \frac{G \cdot P}{100 \ \%}$$

W: Prozentwert

G: Grundwert

P: Prozentsatz

Beispiel 1: Prozentwert W gesucht

Ein Facharbeiter erhält auf seinen Stundenlohn von 17,50 Euro eine Lohnerhöhung von 3 %.

Wie viel Euro sind das?

$$W = \frac{G \cdot P}{100 \ \%} = \frac{17,50 \text{ Euro} \cdot 3 \ \%}{100 \ \%} = 0,53 \text{ Euro}$$

Beispiel 2: Prozentsatz P gesucht

Die Spannung eines Netzes sinkt von 230 V auf 215 V.

Wie viel Prozent sind das?

$$P = \frac{W \cdot 100 \ \%}{G} = \frac{15 \ V \cdot 100 \ \%}{230 \ V} = 6,5 \ \%$$

Beispiel 3: Grundwert G gesucht

Der Verkaufspreis einer Bohrmaschine wird um 15 % gesenkt, das sind 35 Euro, die gegenüber dem Listenpreis gesenkt wurden. Wie groß ist der Listenpreis?

$$G = \frac{W \cdot 100 \ \%}{P} = \frac{35 \text{ Euro} \cdot 100 \ \%}{15 \ \%} = 233 \text{ Euro}$$

Potenzrechnung

Ein Produkt gleicher Faktoren kann als Potenz geschrieben werden.

Eine Potenz besteht aus

- Basis
- Exponent
- Potenzwert

$$4^2 = 16$$

Basis 4, Exponent 2, Potenzwert 16

$$a \cdot a \cdot a = a^3$$

$$4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 = 4^4$$

$$10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3$$

Ziffernschreibweise im Dezimalsystem	Potenzschreibweise	Zahl gesprochen	Vorsilbe – ihre Abkürzung in Verbindung mit Einheiten (DIN 1301)
0,000 000 000 001	10^{-12}	Billionstel	Pico- (p)
0,000 000 001	10^{-9}	Milliardstel	Nano- (n)
0,000 001	10^{-6}	Millionstel	Mikro- (μ)
0,001	10^{-3}	Tausendstel	Milli- (m)
0,01	10^{-2}	Hundertstel	Zenti- (c)
0,1	10^{-1}	Zehntel	Dezi- (d)
1	10^0	(Ausgangs)-Eins	
10	10^1	Zehn	Deka- (da)
100	10^2	Hundert	Hekto- (h)
1000	10^3	Tausend (Tsd)	Kilo- (k)
1 000 000	10^6	Million (Mio)	Mega- (M)
1 000 000 000	10^9	Milliarde (Mrd)	Giga- (G)
1 000 000 000 000	10^{12}	Billion (Bio)	Tera- (T)

Formelumstellung

1. Die gesuchte Größe steht in einer Summengleichung.
 - Seiten vertauschen.
 - Nicht gesuchte Glieder mit verändertem Vorzeichen auf die rechte Seite bringen.

$$U = U_0 - I \cdot R$$

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$U_0 - I \cdot R = U$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_E}$$

$$U_0 = U + I \cdot R$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_E} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3}$$

Allgemeine Grundlagen		
Formelumstellung		
2. Die gesuchte Größe steht in einer Faktorengleichung. <ul style="list-style-type: none"> • Seiten vertauschen. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite unter den Bruchstrich bringen. 	$P = U \cdot I \cdot t$ $U \cdot I \cdot t = P$ $I = \frac{P}{U \cdot t}$	$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ $2\pi \cdot f \cdot L = X_L$ $f = \frac{X_L}{2\pi \cdot L}$
3. Die gesuchte Größe steht in einer Quotientengleichung auf dem Bruchstrich. <ul style="list-style-type: none"> • Seiten vertauschen. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite bringen. Was links auf dem Bruchstrich steht, kommt rechts unter den Bruchstrich. Was links unter dem Bruchstrich steht, kommt rechts auf den Bruchstrich. 	$R = \frac{\varrho \cdot I}{A}$ $\frac{\varrho \cdot I}{A} = R$ $I = \frac{R \cdot A}{\varrho}$	$P = \frac{F \cdot s}{t}$ $\frac{F \cdot s}{t} = P$ $F = \frac{P \cdot t}{s}$
4. Die gesuchte Größe steht in einer Quotientengleichung unter dem Bruchstrich. <ul style="list-style-type: none"> • Seiten vertauschen. • Seiten umkehren. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite bringen (wie bei 3.) 	$R = \frac{I}{\gamma \cdot A}$ $\frac{I}{\gamma \cdot A} = R$ $\frac{\gamma \cdot A}{I} = \frac{1}{R}$ $A = \frac{I}{\gamma \cdot R}$	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ $\frac{1}{\omega \cdot C} = X_C$ $\frac{\omega \cdot C}{1} = \frac{1}{X_C}$ $C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$
5. Die gesuchte Größe steht als Potenz in einer Gleichung. <ul style="list-style-type: none"> • Seiten vertauschen. • Nicht gesuchte Glieder auf die rechte Seite bringen. • Auf beiden Seiten die Wurzel ziehen. Auf der linken Seite heben sich Wurzel und Exponent auf. 	$P = I^2 \cdot R$ $I^2 \cdot R = P$ $I^2 = \frac{P}{R}$ $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$	$P = \frac{U^2}{R}$ $\frac{U^2}{R} = P$ $U^2 = P \cdot R$ $U = \sqrt{P \cdot R}$
6. Die gesuchte Größe steht als Wurzel in einer Gleichung. <ul style="list-style-type: none"> • Seiten vertauschen. • Beide Seiten quadrieren. Auf der linken Seite heben sich Wurzel und Exponent auf. • Nicht gesuchte Größe auf die rechte Seite bringen. • Auf beiden Seiten die Wurzel ziehen. 	$I = \sqrt{A}$ $\sqrt{A} = I$ $A = I^2$	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $\sqrt{R^2 + X_L^2} = Z$ $R^2 + X_L^2 = Z^2$ $R^2 = Z^2 - X_L^2$ $R = \sqrt{Z^2 - X_L^2}$

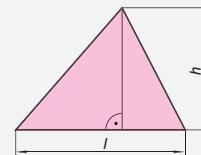
Flächenberechnung

Dreieck, spitzwinklig

$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$l = \frac{2 \cdot A}{h} \quad h = \frac{2 \cdot A}{l}$$

A	Flächeninhalt	m^2
l	Grundseite	m
h	Höhe	m



Dreieck, gleichschenklig ($\alpha = \beta$)

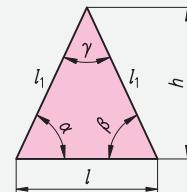
$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$l_1 = \frac{l}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$$

$$h = \sqrt{l_1^2 - \frac{l^2}{4}}$$

$$U = l + 2 \cdot l_1$$

A	Flächeninhalt	m^2
l	Grundseite	m
l_1	Schenkellänge	m
γ	Spitzenwinkel	Grad
h	Höhe	m
U	Umfang	m



Dreieck, gleichseitig ($\alpha = \beta = \gamma$)

$$A = \frac{l^2}{4} \cdot \sqrt{3} \approx 0,433 \cdot l^2$$

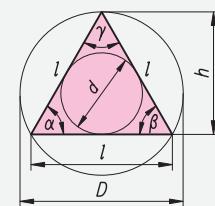
$$h = \frac{l}{2} \cdot \sqrt{3} \approx 0,866 \cdot l$$

$$U = 3 \cdot l$$

$$D = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot l = 2 \cdot d$$

$$d = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot l = \frac{D}{2}$$

A	Flächeninhalt	m^2
l	Grundseite	m
d	Innenkreis-durchmesser	m
D	Umkreis-durchmesser	m
h	Höhe	m



Trapez

$$I_m = \frac{l_1 + l_2}{2}$$

$$l_1 = 2 \cdot I_m - l_2$$

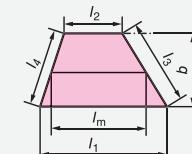
$$l_2 = 2 \cdot I_m - l_1$$

$$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$$

$$A = I_m \cdot b$$

$$U = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

A	Flächeninhalt	m^2
l_1	große Seitenlänge	m
l_2	kleine Seitenlänge	m
I_m	mittlere Seitenlänge	m
b	Breite	m



Dreieck

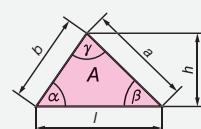
$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$l = \frac{2 \cdot A}{h} \quad h = \frac{2 \cdot A}{l}$$

$$A = \frac{a \cdot b \cdot \sin \gamma}{2}$$

$$a + \beta + \gamma = 180^\circ$$

A	Flächeninhalt	m^2
l	Grundseite	m
h	Höhe	m
a, b, l	Seitenlängen	m
α, β, γ	Winkel	Grad



Gleichstromtechnik

Spannungsteiler, unbelastet

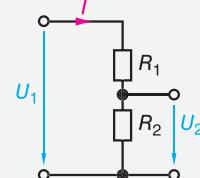
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I = \frac{U_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad R_1 = R_2 \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_2}$$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{U_2}{U_1 - U_2}$$

U_1	Eingangs- spannung	V
U_2	Ausgangs- spannung	V
R_1, R_2	Teilerwiderstände	Ω
I	Stromstärke	A



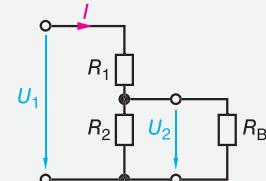
Spannungsteiler, belastet

$$U_2 = I \cdot \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B}$$

$$I = \frac{U_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B}}$$

$$R_B = \frac{U_2 \cdot R_2}{I - U_2} \quad R_2 = \frac{U_2 \cdot R_B}{R_B - U_2}$$

U_1	Eingangs- spannung	V
U_2	Ausgangs- spannung	V
R_1, R_2	Teilerwiderstände	Ω
R_B	Belastungs- widerstand	Ω
I	Stromstärke	A



Brückenschaltung, abgeglichen

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad R_2 = R_1 \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad R_4 = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_{AB} = 0$$

$$I_{AB} = 0$$

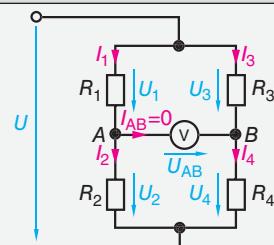
$$I_1 = I_2$$

$$I_3 = I_4$$

$$U_1 = U_3$$

$$U_2 = U_4$$

R	Widerstände	Ω
U	Spannungen	V
I	Ströme	A



Bei abgeglicherener Brückenschaltung ist die Brückendiagonale (A – B) stromlos.

Brückenschaltung, nicht abgeglichen

$$U_{AB} \neq 0 \quad I_{AB} \neq 0$$

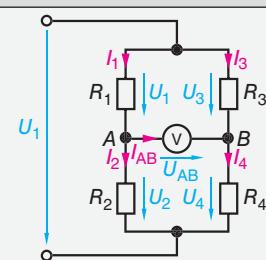
$$U_{AB} = U_2 - U_4$$

$$U_{AB} = U_3 - U_1$$

$$I_{AB} = I_1 - I_2$$

$$I_{AB} = I_4 - I_3$$

U	Spannungen	V
I	Ströme	A



Wechselstromtechnik

Wechselstromkreis mit induktivem Blindwiderstand

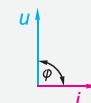
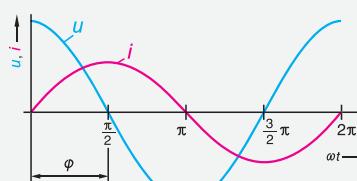
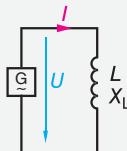
$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot L} = \frac{U}{\omega \cdot L}$$

$$Q_L = U \cdot I$$

Induktiver Blindwiderstand

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

X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
ω	Kreisfrequenz	$\frac{1}{\text{s}}$
L	Induktivität	H
f	Frequenz	Hz
Q_L	induktive Blindleistung	var



Wechselstromkreis mit kapazitivem Blindwiderstand

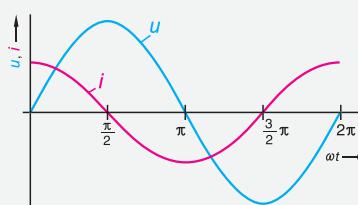
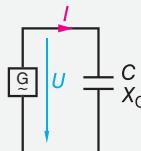
$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}} = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C = U \cdot \omega \cdot C$$

$$Q_C = U \cdot I$$

Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
ω	Kreisfrequenz	$\frac{1}{\text{s}}$
C	Kondensatorkapazität	F
f	Frequenz	Hz
Q_C	kapazitive Blindleistung	var



RL-Reihenschaltung

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

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \quad \cos \varphi = \frac{U_R}{U} \quad \sin \varphi = \frac{U_L}{U}$$

$$U_R = \sqrt{U^2 - U_L^2}$$

$$U_R = U \cdot \cos \varphi$$

$$U_L = \sqrt{U^2 - U_R^2}$$

$$U_L = U \cdot \sin \varphi$$

I	Stromstärke	A
U	anliegende Spannung	V
Z	Scheinwiderstand	Ω
U_R	Spannung am ohmschen Widerstand	V
U_L	Spannung am induktiven Widerstand	V

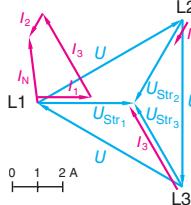
Fortsetzung nächste Seite

Drehstromtechnik (Dreiphasen-Wechselspannung)

Sternschaltung, unsymmetrische Belastung mit N-Leiter

$$U_{\text{Str}} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$I_1 = \frac{U_{\text{Str}}}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_{\text{Str}}}{R_2} \quad I_3 = \frac{U_{\text{Str}}}{R_3}$$

 U_{Str}

Strangspannung

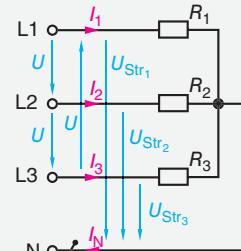
V

 U Außenleiter-
spannung

V

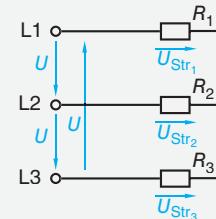
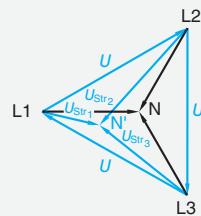
 I_1, I_2, I_3 Außenleiter-
ströme

A

 R_1, R_2, R_3 Strang-
widerstände Ω Strom I_N kann durch ein
maßstäbliches Zeigerbild
ermittelt werden.

Sternschaltung, unsymmetrische Belastung ohne N-Leiter

Strangspannungen sind abhängig von den Strangwiderständen unterschiedlich groß. Der Sternpunkt wird verschoben.



Sternschaltung, Ausfall eines Außenleiters

$$I_2 = \frac{U_{\text{Str}}}{R_2} \quad I_3 = \frac{U_{\text{Str}}}{R_3}$$

$$I_2 = I_3 = \frac{U}{R_2 + R_3}$$

$$P' = \frac{2}{3} \cdot P$$

 P Leistung bei
Normalbetrieb

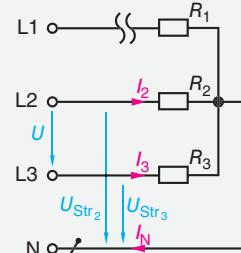
W

 P' Leistung bei Ausfall
eines Außenleiters

W

Bei Ausfall von zwei Außenleitern reduziert sich die Leistung auf

$$P'' = \frac{1}{3} \cdot P$$



Dreieckschaltung, unsymmetrische Belastung

$$I_{\text{Str}1} = \frac{U}{R_1} \quad I_{\text{Str}2} = \frac{U}{R_2} \quad I_{\text{Str}3} = \frac{U}{R_3}$$

Die Außenleiterströme können aus den Strangströmen mithilfe eines maßstäblichen Zeigerbildes ermittelt werden.

 I_{Str}

Strangstrom

A

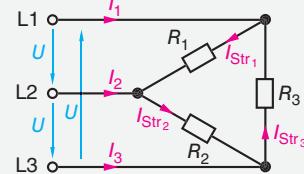
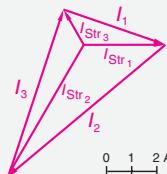
 U

Außenleiterspannung

V

 R

Strangwiderstand

 Ω 

Lichttechnik

Lampenanzahl

$$n = \frac{E_m \cdot A}{WF \cdot \eta_B \cdot \Phi_L}$$

$$E_m = \frac{n \cdot WF \cdot \eta_B \cdot \Phi_L}{A}$$

$$A = \frac{n \cdot WF \cdot \eta_B \cdot \Phi_L}{E_m}$$

$$\eta_B = \frac{E_m \cdot A}{WF \cdot n \cdot \Phi_L}$$

n Lampenanzahl

E_m Wartungswert Beleuchtungsstärke

A Grundfläche des Raumes

WF Wartungsfaktor

η_B Beleuchtungswirkungsgrad

Φ_L Lichtstrom je Lampe

lx

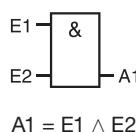
m²

lx: Lux

lm: Lumen

Logische Verknüpfungen

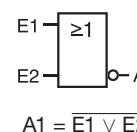
UND



$$A1 = E1 \wedge E2$$

E1	E2	A1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

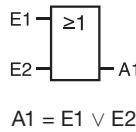
NOR



$$A1 = E1 \vee E2$$

E1	E2	A1
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

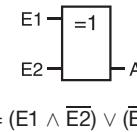
ODER



$$A1 = E1 \vee E2$$

E1	E2	A1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

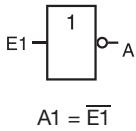
Antivalenz



$$A1 = (E1 \wedge \overline{E2}) \vee (\overline{E1} \wedge E2)$$

E1	E2	A1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

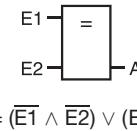
NICHT



$$A1 = \overline{E1}$$

E1	A1
0	1
1	0

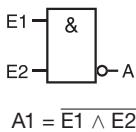
Äquivalenz



$$A1 = (\overline{E1} \wedge \overline{E2}) \vee (E1 \wedge E2)$$

E1	E2	A1
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

NAND



$$A1 = \overline{E1 \wedge E2}$$

E1	E2	A1
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Mithilfe von NAND- bzw. NOR-Gliedern lassen sich sämtliche logische Grundverknüpfungen (UND, ODER, NICHT) realisieren.

Notizen

