

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 Freiheitsstrafen 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
Ohmsches Gesetz	35
Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes	36
Wärmewirkung des elektrischen Stromes	36
Erster Kirchhoffscher Satz	36
Zweiter Kirchhoffscher Satz	36
Parallelschaltung von Widerständen	37
Reihenschaltung von Widerständen	37
Spannungsteilerregel	37
Reihenschaltung von Spannungsquellen	38
Parallelschaltung von Spannungsquellen	38
Leerlaufspannung, Klemmenspannung	38
Vorwiderstand	38
Spannungsteiler, unbelastet	39
Spannungsteiler, belastet	39
Brückenschaltung, abgeglichen	39
Brückenschaltung, nicht abgeglichen	39
Messbereichserweiterung, Spannungsmesser	40
Messbereichserweiterung, Strommesser	40
Dreieck-Stern-Umwandlung	40

Elektrisches Feld

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

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

Wechselspannung, sinusförmig	46
Wechselgröße	46
Periodendauer und Frequenz	46

Kreisfrequenz	46
Effektivwerte	47
Formfaktor	47
Scheitelfaktor	47
Mischspannung	47
Rechteckspannung, unsymmetrisch	48
Leistung im Wechselstromkreis	48
Wechselstromkreis mit ohmschem Widerstand	48
Wechselstromkreis mit induktivem Blindwiderstand	49
Wechselstromkreis mit kapazitivem Blindwiderstand	49
RL-Reihenschaltung	49
RC-Reihenschaltung	50
RL-Parallelschaltung	51
RC-Parallelschaltung	52
Resonanzfrequenz	52

Drehstromtechnik (Dreiphasen-Wechselspannung)

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

Leitungsberechnung

Gleichstromleitung	55
Einphasen-Wechselstromleitungen	56
Dreiphasen-Wechselstromleitung	56

Blindleistungskompensation

Kapazitive Blindleistung	57
Kompensationskondensator	57

Elektrische Maschinen und Antriebe

Mittlere quadratische Leistung	58
Drehfeldrehzahl	58
Schlupfdrehzahl, Schlupf	58
Läuferfrequenz	58
Zugeführte elektrische Leistung	58
Wirkungsgrad	58
Drehmoment	59
Übertemperatur von Wicklungen	59

Drehstrommotor, Stromstärke	59
Einphasenmotor, Stromstärke.....	59
Gleichstrommotor, Ankerspannung	59
Gleichstrommotor, Ankerstrom	60
Gleichstrommotor, induzierte Ankerspannung..	60
Gleichstrommotor, Erregerstrom	60

Transformatoren..... 60

Übersetzungsverhältnis.....	60
Kurzschlussspannung	60
Kurzschlussstrom	61
Bemessungsleistung	61
Verluste und Wirkungsgrad	61
Spartransformator	61

Lichttechnik..... 61

Lichtstärke	61
Beleuchtungsstärke.....	62
Leuchtdichte	62
Lichtausbeute	62
Raumindex, direkte Beleuchtung	62
Beleuchtungswirkungsgrad.....	62
Wartungsfaktor	62
Lampenzahl.....	63

Logische Verknüpfungen 63

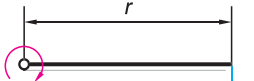
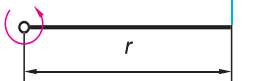
UND	63
NOR	63
ODER.....	63
Antivalenz.....	63
NICHT	63
Äquivalenz.....	63
NAND.....	63

Elektronik 64

Glättung und Siebung.....	64
Brummspannung, Effektivwert	64
Brummspannung, Spitze-Spitze	64
Siebfaktor.....	64
RC-Siebung	64
LC-Siebung	64
Impuls.....	65
Pulsfrequenz	65
Periodendauer	65
Tastverhältnis.....	65
Tastgrad	65
Flankensteilheit	65
Transistorverstärker.....	65
Emitterschaltung.....	65
Basisspannungsleiter, Querstromverhältnis.....	66
Basisspannungsleiter, Widerstandswerte	66
Emitterwiderstand	66
Operationsverstärker	66
Differenz-Eingangsspannung.....	66
Leerlauf-Ausgangsspannung	67
Gleichtaktunterdrückung.....	67
Invertierender Verstärker, Spannungsverstärkung	67
Nichtinvertierender Verstärker, Spannungsverstärkung	67
Impedanzwandler	67
Differenzierer.....	68
Integrierer	68

Sachwortverzeichnis 70

Allgemeine Grundlagen								
Physikalische Gleichungen								
Größengleichung	Zugeschnittene Größengleichung	Einheitengleichung	Zahlenwertgleichung					
$n = \frac{f}{p}$	$n = \frac{f \cdot 60}{p}$	1 h = 3600 s 1 kg = 1000 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 µm = 0,001 mm	1 cm ² = 100 mm ²	1 ml = 0,001 l	1 mN = 0,001 N	1 µg = 0,001 mg				
1 mm = 0,001 m	1 m ² = 10 000 cm ²	1 cl = 0,01 l	1 daN = 10 N	1 mg = 0,001 g				
1 cm = 10 mm	1 m ² = 100 dm ²	1 l = 1000 ml	1 kN = 1000 N	1 kg = 1000 g				
1 dm = 10 cm	1 a = 100 m ²	1 hl = 100 l	1 MN = 1000 kN	1 Mg = 1000 kg				
1 m = 10 dm	1 ha = 100 a	1 dm ³ = 1000 cm ³		1 t = 1000 kg				
1 km = 1000 m	1 km ² = 100 ha	1 m ³ = 1000 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
Hinweis:								
Nach Möglichkeit nur Vorsätze verwenden, deren Zahlenwerte zwischen 0,1 und 1000 liegen.								
Vorsätze mit ganzzahliger Potenz von Tausend (10 ^{3·n}) sind zu bevorzugen.								

Allgemeine Grundlagen			
Formelzeichen und Einheiten			
Größe	Zeichen	Einheit	Hinweis
Arbeit, Energie	W, E	Joule J Newtonmeter Nm Wattsekunde Ws Kilowattstunde kWh	1 kcal = 4186,6 Ws 1 J = 1 Nm = 1 Ws = $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ 1 kWh = 3600000 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 <i>Fluiden</i> wird die Dichte in kg/l (Liter) angegeben.
Moment Drehmoment Biegemoment Torsionsmoment	M M_d M_b M_t, T	Nm Newtonmeter	1 N · m = 1 J $M = F \cdot r$ rechtsdrehendes Moment  $M = F \cdot r$ linksdrehendes Moment 
Drehzahl Umdrehungs- frequenz	n	$\frac{1}{\text{s}}, \frac{1}{\text{min}}$	1 min = 60 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 Pa = $1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,01 \text{ mbar}$ 1 bar = $10^5 \text{ Pa} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ 1 mbar = 1 h Pa $1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$
Energie	E, Q, W	Joule J Wattstunde Wh Wattsekunde Ws	1 J = 1 Nm = 1 Ws = $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ 1 kWh = 3600000 J
Feldstärke, elektrische	E	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$ Volt Meter	$E = \frac{F}{Q}$ F Kraft in N $Q = I \cdot t$ elektrische Ladung

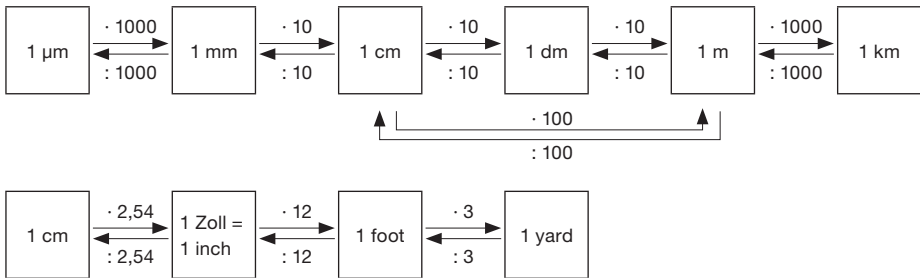
Allgemeine Grundlagen

Formelzeichen und Einheiten

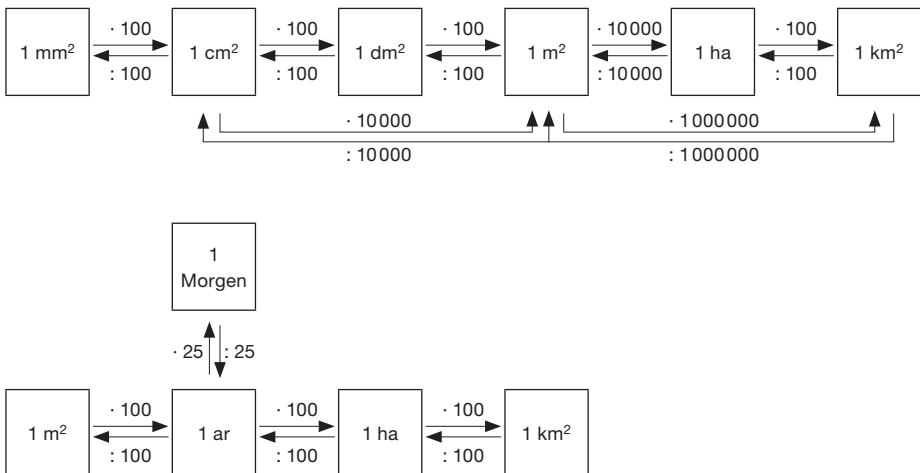
Größe	Zeichen	Einheit	Hinweis
Winkel, Phasenverschiebung	φ	rad ° Radiant Grad	In <i>Wechselstromkreisen</i> mit <i>induktiven</i> und/oder <i>kapazitiven</i> Widerständen.
Winkelgeschwindigkeit	ω	$\frac{1}{s}$	$\omega = 2 \pi n$ In der Elektrotechnik <i>Kreisfrequenz</i> genannt.
Zeit Periodendauer	t T	d h min s Tag Stunden Minuten Sekunden	1 d = 24 h = 1440 min = 86 400 s 1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s

Umrechnung von Einheiten

Längeneinheiten



Flächeneinheiten



Allgemeine Grundlagen	
Dreisatzrechnung	
<p>Einfacher, direkter Dreisatz</p> <p>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>	<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 $\frac{60 \text{ Euro} \cdot 30}{12} = \underline{150 \text{ Euro}}$ <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 $\triangleq \frac{5 \text{ l} \cdot 10 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} = \underline{2 \text{ l}}$
<p>Einfacher, indirekter Dreisatz</p> <p>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</i> (umgekehrt) <i>proportional</i>.</p>	<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 h \cdot 5 SS 7 Monteure benötigen $\frac{70 \text{ h} \cdot 5}{7} = \underline{50 \text{ h}}$ <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 Tage \cdot 10 SS 6 Monteure benötige $\frac{12 \text{ Tage} \cdot 10}{6} = \underline{20 \text{ Tage}}$
<p>Zusammengesetzter Dreisatz</p> <p>Es sind mehr als drei Größen gegeben. Deshalb sind mehrere Folge- und Schlussätze erforderlich.</p>	<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 $\frac{18 \text{ kg} \cdot 1,2 \cdot 1,5}{4,0 \cdot 1,6} = \underline{5,1 \text{ kg}}$

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?

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

Beispiel 2: Prozentsatz P gesucht

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

Wie viel Prozent sind das?

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

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?

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

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

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

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

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

Zifferschreibweise im Dezimalsystem	Potenzschreibweise	Zahl gesprochen	Vorsilbe – ihre Abkürzung in Verbindung mit Einheiten (DIN 1301)
0,000000000001	10^{-12}	Billionstel	Pico- (p)
0,000000001	10^{-9}	Milliardstel	Nano- (n)
0,000001	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

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

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

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

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

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

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

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

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.	$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$ $\frac{\varrho \cdot l}{A} = R$ $l = \frac{R \cdot A}{\varrho}$	$P = \frac{F \cdot s}{t}$ $\frac{F \cdot s}{t} = P$ $F = \frac{P \cdot t}{s}$
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.) 	$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$ $\frac{l}{\gamma \cdot A} = R$ $\frac{\gamma \cdot A}{l} = \frac{1}{R}$ $A = \frac{l}{\gamma \cdot R}$	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ $\frac{1}{\omega \cdot C} = X_C$ $\frac{\omega \cdot C}{1} = \frac{1}{X_C}$ $C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$
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. 	$I = \sqrt{A}$ $\sqrt{A} = I$ $A = I^2$	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $\sqrt{R^2 + X_L^2} = Z$ $R^2 + X_L^2 = Z^2$ $R^2 = Z^2 - X_L^2$ $R = \sqrt{Z^2 - X_L^2}$

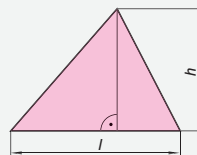
Flächenberechnung

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, gleichschenkelig ($\alpha = \beta$)

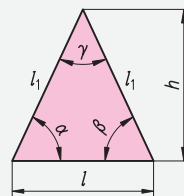
$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

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

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

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

A	Flächeninhalt	m ²
l	Grundseite	m
l ₁	Schenkellänge	m
γ	Spitzenwinkel	Grad
h	Höhe	m
U	Umfang	m



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

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

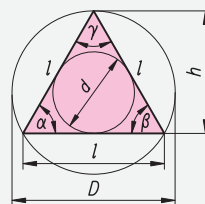
$$h = \frac{l}{2} \cdot \sqrt{3} \approx 0,866 \cdot l$$

$$U = 3 \cdot l$$

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

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

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



Trapez

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

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

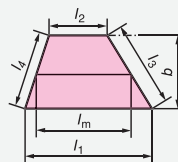
$$l_2 = 2 \cdot l_m - l_1$$

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

$$A = l_m \cdot b$$

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

A	Flächeninhalt	m ²
l ₁	große Seitenlänge	m
l ₂	kleine Seitenlänge	m
l _m	mittlere Seitenlänge	m
b	Breite	m



Dreieck

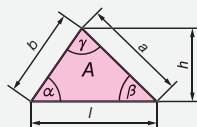
$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

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

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

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

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



Gleichstromtechnik

Spannungsteiler, unbelastet

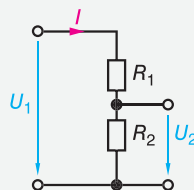
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

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

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

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

U_1	Eingangsspannung	V
U_2	Ausgangsspannung	V
R_1, R_2	Teilerwiderstände	Ω
I	Stromstärke	A



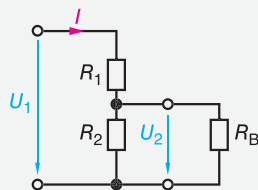
Spannungsteiler, belastet

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

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

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

U_1	Eingangsspannung	V
U_2	Ausgangsspannung	V
R_1, R_2	Teilerwiderstände	Ω
R_B	Belastungswiderstand	Ω
I	Stromstärke	A



Brückenschaltung, abgeglichen

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

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

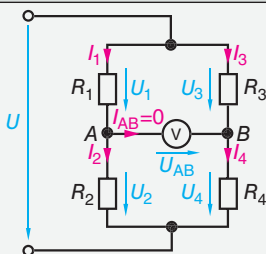
$$R_3 = R_4 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad R_4 = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

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

$$I_1 = I_2 \quad I_3 = I_4$$

$$U_1 = U_3 \quad U_2 = U_4$$

R	Widerstände	Ω
U	Spannungen	V
I	Ströme	A



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

Brückenschaltung, nicht abgeglichen

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

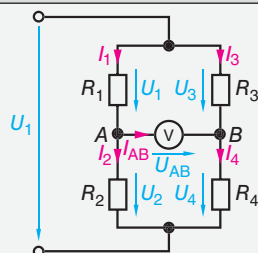
$$U_{AB} = U_2 - U_4$$

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

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

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

U	Spannungen	V
I	Ströme	A



Wechselstromtechnik

Wechselstromkreis mit induktivem Blindwiderstand

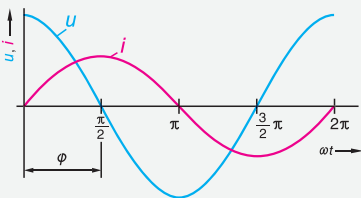
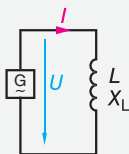
$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot L} = \frac{U}{\omega \cdot L}$$

$$Q_L = U \cdot I$$

Induktiver Blindwiderstand

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

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



Wechselstromkreis mit kapazitivem Blindwiderstand

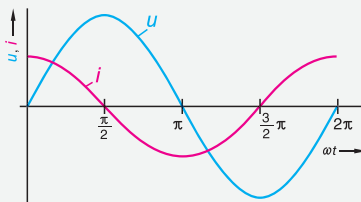
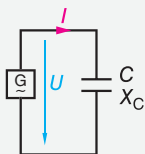
$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}} = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C = U \cdot \omega \cdot C$$

$$Q_C = U \cdot I$$

Kapazitiver Blindwiderstand

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

X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
ω	Kreisfrequenz	$\frac{1}{s}$
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

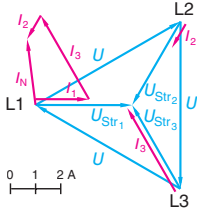
Fortsetzung nächste Seite

Drehstromtechnik (Dreiphasen-Wechselspannung)

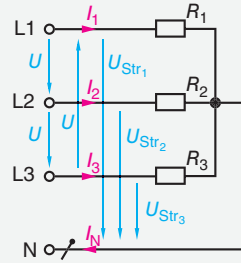
Sternschaltung, unsymmetrische Belastung mit N-Leiter

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

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

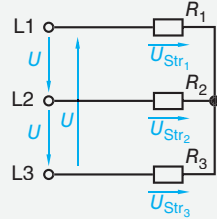
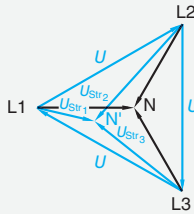


U_{Str}	Strangspannung	V
U	Außenleiterspannung	V
I_1, I_2, I_3	Außenleiterströme	A
R_1, R_2, R_3	Strangwiderstände	Ω
Strom I_N kann durch ein maßstäbliches Zeigerbild ermittelt werden.		



Sternschaltung, unsymmetrische Belastung ohne N-Leiter

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



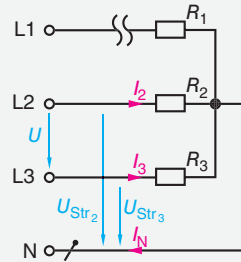
Sternschaltung, Ausfall eines Außenleiters

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

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

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

P	Leistung bei Normalbetrieb	W
P'	Leistung bei Ausfall eines Außenleiters	W
Bei Ausfall von zwei Außenleitern reduziert sich die Leistung auf		
$P'' = \frac{1}{3} \cdot P$		

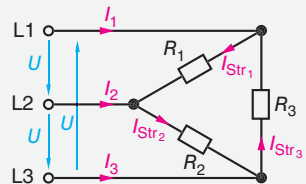
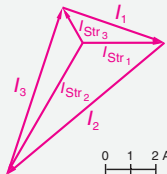


Dreieckschaltung, unsymmetrische Belastung

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

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

I_{Str}	Strangstrom	A
U	Außenleiterspannung	V
R	Strangwiderstand	Ω



Lichttechnik

Lampenanzahl

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

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

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

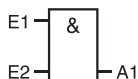
$$\eta_B = \frac{E_m \cdot A}{WF \cdot n \cdot \Phi_L}$$

n	Lampenanzahl	
E_m	Wartungswert Beleuchtungsstärke	lx
A	Grundfläche des Raumes	m ²
WF	Wartungsfaktor	
η_B	Beleuchtungs- wirkungsgrad	
Φ_L	Lichtstrom je Lampe	lm

lx: Lux
lm: Lumen

Logische Verknüpfungen

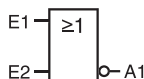
UND



$$A1 = E1 \wedge E2$$

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

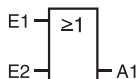
NOR



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

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

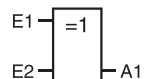
ODER



$$A1 = E1 \vee E2$$

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

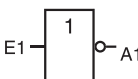
Antivalenz



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

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

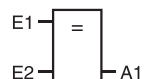
NICHT



$$A1 = \overline{E1}$$

E1	A1
0	1
1	0

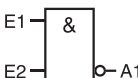
Äquivalenz



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

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.

