

Behrends / Wessels

# **Formeln und Tabellen Elektrotechnik**

Die Meisterprüfung



Die Meisterprüfung

Dipl.-Ing. Peter Behrends  
Dipl.-Ing. Bernard Wessels

# Formeln und Tabellen Elektrotechnik

8., bearbeitete Auflage

Vogel Communications Group

---

## Weitere Informationen:

**[www.vogel-fachbuch.de](http://www.vogel-fachbuch.de)**



<http://twitter.com/vogelfachbuch>



[www.facebook.com/vogel-fachbuch](http://www.facebook.com/vogel-fachbuch)



[www.vogel-fachbuch.de/rss/buch.rss](http://www.vogel-fachbuch.de/rss/buch.rss)

---

ISBN: 978-3-8343-3439-8

8. Auflage. 2019

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 1991 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg.

---

# Vorwort

Diese Formel- und Tabellensammlung aus der Elektrotechnik ergänzt die Fachbuchgruppe «Die Meisterprüfung in der Elektrotechnik». Vorbild war die über vier Jahrzehnte weiterentwickelte «Hausformelsammlung» der Bundesfachlehranstalt für Elektrotechnik (bfe) in Oldenburg. Ihre kompakte und übersichtliche Form fand bei vielen Ausbildungsstätten und Prüfungskommissionen reges Interesse und führte zu der vorliegenden Fassung. Sie wurde absichtlich so kurz wie möglich gehalten, damit

- die Handhabung praktisch ist und
- sie auch in Prüfungen und Klausuren eingesetzt werden kann, in denen keine Unterlagen mit Musteraufgaben zugelassen sind.

Um den Überblick nicht zu verlieren, wurde bewusst darauf verzichtet, die Formeln für jede Größe umzustellen. Das «Internationale Einheitensystem (SI)» fand konsequent Anwendung.

Die Beschäftigten in den energietechnischen Elektroberufen mit den heute selbstverständlich dazugehörigen Elektronikanteilen sind die hauptsächliche Zielgruppe der Formelsammlung.

Oldenburg und Würzburg

Verfasser und Verlag

---

**In der Fachbuchreihe «Die Meisterprüfung in der Elektrotechnik» sind bisher erschienen:**

Böttle/Boy/Clausing: Elektrische Meß- und Regelungstechnik

Behrends/Wessels: Formeln und Tabellen Elektrotechnik

Böttle/Friedrichs: Mathematische und elektrotechnische Grundlagen

Boy/Bruckert/Wessels: Elektrische Steuerungs- und Antriebstechnik

Boy/Dunkhase: Elektro-Installationstechnik

Dugge/Eißner: Grundlagen der Elektronik

Fehmel/Behrends: Elektrische Maschinen

Folkerts/Baade: Hausgeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik

Böttle/Friedrichs/Janßen/Soboll: Aufgaben und Lösungen Elektrotechnik

Siegismund: Werkstoffkunde

**In der Vogel Communications Group sind vom bfe Oldenburg erstellte Lern-CDs erschienen:**

Beleuchtungstechnik

Soziale Netzwerke

Brennstoffzellen

SPS Einführung in speicherprogrammierbare Steuerungen

Datennetzwerktechnik

Steuerungstechnik mit Schaltungssimulator

Drehstromtechnik

Wechselstromtechnik

EIB/KNX Installationsbus

Elektrische Anlagen

Elektrische Maschinen

Elektromagnetismus

Elektronik 1

Elektronik 2

Elektro-Installationstechnik

Grundlagen der Elektrotechnik 1

Grundlagen der Elektrotechnik 2

Grundlagen der Elektrotechnik 3

Grundlagen der technischen Mathematik

IT-Sicherheit

Kabel und Leitungen

Leistungselektronik

Messtechnik

Regelungstechnik

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Größen, Formelzeichen und Einheiten</b> .....	11
1.1 Raumgrößen .....	11
1.2 Zeitgrößen – zeitabhängige Größen .....	11
1.3 Mechanische Größen .....	12
1.4 Wärmetechnik (Thermodynamik) .....	12
1.5 Elektrische Größen .....	13
1.6 Magnetische Größen .....	14
1.7 Lichtgrößen .....	15
<b>2 Mathematische und andere Zeichen</b> .....	16
2.1 Mathematische Zeichen .....	16
2.2 Vorsätze bei Einheiten .....	17
2.3 Griechisches Alphabet .....	18
<b>3 Flächen- und Körperberechnung</b> .....	19
<b>4 Winkelfunktionen am rechtwinkligen Dreieck</b> .....	22
<b>5 Mechanik</b> .....	23
5.1 Geometrische Addition von Kräften .....	23
5.2 Hebelgesetz, Drehmoment .....	23
5.3 Übersetzung, Getriebe .....	23
5.4 Masse (Gewicht), Dichte, Volumen .....	24
5.5 Drahtlänge einer Spule .....	24
5.6 Kinematik .....	25
5.7 Dynamisches Grundgesetz .....	26
<b>6 Grundbegriffe der Elektrotechnik</b> .....	27
<b>7 Schaltungen mit ohmschen Widerständen</b> .....	29
7.1 Gesetze der Parallelschaltung .....	29
7.2 Gesetze der Reihenschaltung .....	30
7.3 Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle .....	30
7.4 Spannungsteiler .....	31
7.5 Wheatstone-Brückenschaltung .....	32
<b>8 Temperaturbeiwerte des elektrischen Widerstands</b> .....	33
<b>9 Elektrisches Feld, elektrische Kapazität (Kondensator)</b> .....	34
<b>10 Magnetisches Feld, Induktivität (Spule)</b> .....	35
10.1 Magnetische Größen .....	35
10.2 Kraftwirkung des magnetischen Feldes .....	36
10.3 Magnetisierungskennlinien .....	37

<b>11 Wechselstromtechnik</b> .....	38
11.1 Wechselstromgrößen .....	38
11.2 Zusammenschaltungen von Induktivitäten oder Kapazitäten .....	40
11.3 Wechselstromschaltungen .....	41
11.3.1 Reihenschaltungen von $R$ , $X_L$ und $X_C$ .....	41
11.3.2 Parallelschaltungen von $R$ , $X_L$ und $X_C$ .....	42
11.3.3 Blindleistungskompensation (Parallelkompensation) .....	43
11.3.4 Verbraucher am Dreiphasenwechselfeldspannungsnetz (Drehstrom) .....	44
11.4 Vierpole an sinusförmiger Wechselspannung .....	45
11.4.1 Kapazitiver Spannungsteiler .....	45
11.4.2 Frequenzkompensierter ohmsch-kapazitiver Spannungsteiler .....	45
11.4.3 Hochpässe und Tiefpässe .....	45
11.4.4 $RC$ -Glied als Phasenschieber .....	46
11.4.5 Siebglieder .....	47
11.4.6 Schwingkreis im Resonanzfall .....	48
<b>12 Elektrische Maschinen</b> .....	49
12.1 Transformator .....	49
12.2 Drehfeldmaschine .....	50
<b>13 Schaltvorgänge im Gleichstromkreis mit Kondensator</b> .....	51
13.1 Ladung/Entladung einer Kapazität mit konstantem Strom .....	51
13.2 Ladung/Entladung einer Kapazität an konstanter Spannung .....	51
13.3 Entladung einer Kapazität .....	52
13.4 Einschaltvorgang im Gleichstromkreis mit einer Induktivität .....	52
13.5 Normierte Exponentialfunktionen .....	53
<b>14 Effektivwerte und arithmetische Mittelwerte</b> .....	54
14.1 Von Wechsel- und Mischspannungen .....	54
14.2 Effektivwert nach Phasenanschnitt .....	56
14.3 Leistungsminderung durch Wellenpaketsteuerung .....	56
<b>15 Installationstechnik</b> .....	57
15.1 Schutzarten .....	57
15.2 Schutzmaßnahmen .....	57
15.3 Potentialausgleich .....	59
15.4 Leitungs-, Kabelbemessung .....	59
15.5 Verlegearten .....	62
15.6 Strombelastbarkeit .....	63
15.7 Antennenanlagen .....	71
<b>16 Pegel und Dämpfung</b> .....	74
<b>17 Wärmetechnik</b> .....	75
17.1 Wärmearbeit, Temperaturerhöhung .....	75
17.2 Wärmebedarf von Räumen .....	76
17.3 Wärmewiderstand, Verlustleistung, Kühlkörper .....	78
<b>18 Beleuchtungstechnik</b> .....	80

<b>19 Elektronik</b> .....	81
19.1 Halbleiterbauelemente .....	81
19.1.1 Veränderliche Widerstände .....	81
19.1.2 Dioden .....	82
19.1.3 Transistoren .....	83
19.1.4 Thyristoren .....	83
19.2 Gleichrichterschaltungen .....	86
19.2.1 Gleichrichterschaltungen mit Ladekondensator .....	86
19.2.2 Spannungsverdoppler und Vervielfacherschaltungen .....	87
19.2.3 Gleichrichterschaltungen mit ohmscher und induktiver Last .....	88
19.2.4 Steuerkennlinien u. Schaltungen gesteuerter Gleichrichterschaltungen .....	90
19.3 Spannungsstabilisierung .....	92
19.3.1 Mit Z-Diode und Vorwiderstand .....	92
19.3.2 Mit Z-Diode und Längstransistor .....	93
19.4 Bipolartransistor als Schalter .....	94
19.5 Linearverstärker mit Transistoren .....	94
19.5.1 Nf-Verstärker mit Bipolartransistor in Emitterschaltung .....	94
19.5.2 Impedanzwandler mit Bipolartransistor in Kollektorschaltung .....	96
19.5.3 Nf-Verstärker mit FET in Sourceschaltung .....	97
19.5.4 Sperrschicht-FET in Drainschaltung .....	98
19.6 Operationsverstärker .....	99
19.6.1 Kenndaten von Operationsverstärkern .....	99
19.6.2 Invertierender Verstärker .....	100
19.6.3 Nichtinvertierender Verstärker .....	100
19.6.4 Impedanzwandler (Spannungsfolger) .....	100
19.6.5 Summierender Verstärker (Addierer) .....	100
19.6.6 Subtrahierender Verstärker (Differenzverstärker) .....	101
19.6.7 Schmitt-Trigger (invertierend) .....	101
19.6.8 Integrierender Verstärker (Integrierer) .....	101
19.6.9 Differenzierender Verstärker (Differenzierer) .....	102
19.6.10 Konstantspannungsquelle .....	102
19.6.11 Konstantstromquelle .....	102
<b>20 Funktionssymbole der Digital- und Steuerungstechnik</b> .....	103
20.1 Verknüpfungsglieder .....	103
20.2 Bistabile Kippglieder .....	104
20.3 Monostabile Kippglieder, Verzögerungsglied .....	106
20.4 Zähler, Schieberegister (Beispiele) .....	107
20.5 Automatisierungstechnik (Befehlsdarstellung) .....	108
<b>21 Tabellen</b> .....	110
21.1 Materialkonstanten einiger Stoffe .....	110
21.2 Internationale Normreihen .....	111
21.3 Internationale Farb-Kennzeichnungen von Widerständen und Kondensatoren .....	111
21.4 Kennzeichnung von Kondensatoren .....	112
21.5 Bezeichnungsschema für Halbleiterbauelemente nach dem Proelektron-Typenschlüssel .....	112
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	115



# 1 Größen, Formelzeichen und Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheiten- zeichen	Erklärung
-------	---------------	-----------------------	-----------

## 1.1 Raumgrößen

Strecke, Länge, Durchmesser	$s; l; d$	m	Meter
Fläche	$A$	m <sup>2</sup>	Quadratmeter
Volumen	$V$	m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Winkel	$\alpha; \beta; \gamma; \varphi$	rad; °	Radian; Grad $1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$

## 1.2 Zeitgrößen – zeitabhängige Größen

Zeit, Zeitspanne	$t$	s	Sekunde
Periodendauer, Umlaufzeit	$T$	s	
Zeitkonstante	$\tau$	s	
Frequenz	$f$	1 Hz = s <sup>-1</sup>	Hertz, Schwingungen pro Sekunde
Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit	$\omega$	s <sup>-1</sup>	
Umdrehungsfrequenz (Drehzahl)	$n$	s <sup>-1</sup> (min <sup>-1</sup> )	Umläufe pro Sekunde 1 s <sup>-1</sup> = 60 min <sup>-1</sup>
Phasenverschiebungswinkel	$\varphi$	°	Grad
Geschwindigkeit	$v$	m/s	Meter pro Sekunde
Beschleunigung	$a$	m/s <sup>2</sup>	Meter pro Sekunde <sup>2</sup>

### 1.3 Mechanische Größen

Masse; Gewicht im Sinne einer Wägung	$m$	kg	Kilogramm
Kraft; Gewichtskraft	$F; G$	N	Newton
Dichte	$\rho$	kg/m <sup>3</sup> ; kg/dm <sup>3</sup>	1 kg/m <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> kg/dm <sup>3</sup> 1 t/m <sup>3</sup> = 1 kg/dm <sup>3</sup> = 1 g/cm <sup>3</sup>
Arbeit; Energie	$W; E$	J	Joule 1 J = 1 N · m = 1 W · s
Leistung	$P$	W	Watt 1 W = 1 J/s = 1 N · m/s
Trägheitsmoment	$J$	kg · m <sup>2</sup>	
Moment, Drehmoment	$M$	N · m	
Druck	$p$	Pa	Pascal 1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> = 10 <sup>-5</sup> bar

### 1.4 Wärmetechnik (Thermodynamik)

Wärmemenge, Wärmearbeit	$Q$	J	Joule 1 J = 1 N · m = 1 W · s
spezifische Wärmemenge	$c$	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	
Temperatur, thermodynamische Temperatur	$\vartheta$ $T$	°C K	Grad Celsius Kelvin
Temperaturdifferenz	$\Delta \vartheta$	K	Kelvin
Längenausdehnungskoeffizient	$\alpha_l$	K <sup>-1</sup>	K <sup>-1</sup> = 1 $\frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
elektrischer Widerstands-Temperaturkoeffizient	$\alpha$	K <sup>-1</sup>	K <sup>-1</sup> = 1 $\frac{\Omega}{\Omega \cdot \text{K}}$

## 1.5 Elektrische Größen

Elektrizitätsmenge, elektrische Ladung	$Q$	C	Coulomb; $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
elektrische Spannung: Potentialdifferenz; Potential für Momentanwerte	$U$ $u$	V	Volt
elektrische Stromstärke für Momentanwerte	$I$ $i$	A	Ampere
elektrische Leistung: Wirkleistung Blindleistung  Scheinleistung	$P; P_p$ $Q; P_q$  $S; P_s$	W W oder var  W oder VA	Watt Watt oder Voltampere reaktiv Watt oder Voltampere
elektrischer Widerstand: ohmscher Widerstand (Resistanz) Blindwiderstand induktiver Widerstand kapazitiver Widerstand Scheinwiderstand (Impedanz)	$R$  $X$ $X_L$ $X_C$ $Z$	$\Omega$  $\Omega$  $\Omega$	Ohm; $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
elektrischer Leitwert: Wirkleitwert Blindleitwert induktiver Leitwert kapazitiver Leitwert Scheinleitwert	$G$ $B$ $B_L$ $B_C$ $Y$	S S  S	Siemens; $1 \text{ S} = \Omega^{-1}$
spezifischer elektrischer Widerstand	$\rho$	$\frac{\Omega \cdot \text{m};}{\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}}$	$1 \Omega \cdot \text{m} = 10^4 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
spezifischer elektrischer Leitwert; elektrische Leitfähigkeit	$\gamma; \kappa$	$\frac{\text{S/m};}{\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}}$	$1 \text{ S/m} = 10^{-4} \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$

elektrische Stromdichte	$J; S$	A/m <sup>2</sup> ; A/mm <sup>2</sup>	1 A/m <sup>2</sup> = 10 <sup>-6</sup> A/mm <sup>2</sup>
Induktivität; Selbstinduktivität	$L$	H	Henry; 1 H = 1 $\frac{V \cdot s}{A}$
elektrische Kapazität	$C$	F	Farad; 1 F = 1 $\frac{A \cdot s}{V}$
elektrische Feldstärke	$E$	V/m; V/mm	1 V/m = 10 <sup>-3</sup> V/mm
Permittivität (früher Dielektrizitäts- konstante) elektrische Feldkonstante Permittivitätszahl (früher Dielektrizitäts- zahl)	$\varepsilon$  $\varepsilon_0$  $\varepsilon_r$	F/m  $\approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m 1	1 F/m = 1 $\frac{A \cdot s}{V \cdot m}$

## 1.6 Magnetische Größen

elektrische Durch- flutung, magnetische Spannung	$\mathcal{O}$	A	Ampere
magnetische Feldstärke	$H$	A/m	Ampere pro Meter
magnetische Flussdichte, Induktion	$B$	T	Tesla; 1 T = 1 $\frac{V \cdot s}{m^2}$
magnetischer Fluss	$\Phi$	Wb	Weber; 1 Wb = 1 V · s
magnetischer Widerstand	$R_m$	H <sup>-1</sup>	1 $\frac{A}{V \cdot s} = H^{-1}$
magnetischer Leitwert	$\Lambda$	H	Henry; 1 H = 1 $\frac{V \cdot s}{A}$
Permeabilität (magn. Leitfähigkeit) magnetische Feldkonstante Permeabilitätszahl	$\mu$  $\mu_0$  $\mu_r$	H/m  $\approx 1,257 \cdot 10^{-6}$ H/m 1	Henry pro Meter
Windungszahl	$N; w$	1	im allgemeinen $N$ ; bei elektr. Maschinen $w$ , wenn $N$ für Nutenzahl

## 1.7 Lichtgrößen

Lichtstärke	$I_V$	cd	Candela
Lichtstrom	$\Phi_V$	lm	Lumen; 1 lm = 1 cd · sr
Beleuchtungsstärke	$E_V$	$\text{lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$	Lux
Leuchtdichte	$L_V$	$\frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ od. $\frac{\text{cd}}{\text{cm}^2}$	
Lichtausbeute	$\eta$	$\frac{\text{lm}}{\text{W}}$	Lumen pro Watt
Absorptionsgrad	$a$	1	
Reflexionsgrad	$\rho$	1	
Transmissionsgrad	$\tau$	1	
Raumwinkel	$\Omega, \omega$	sr	steradian



**d) Geometrische Zeichen**

$\parallel$	parallel
$\nparallel$	nicht parallel
$\perp$	rechtwinklig auf
$\sphericalangle$	Winkel
$\rightangle$	rechter Winkel
$\overline{AB}$	Strecke von A nach B
$\widehat{AB}$	Bogen von A nach B
$\text{arc } a$	Bogenmaß zum Winkel $a$ ; $\text{arcus } a$

**2.2 Vorsätze bei Einheiten**

Atto	=	a	=	$10^{-18}$
Femto	=	f	=	$10^{-15}$
Piko	=	p	=	$10^{-12}$
Nano	=	n	=	$10^{-9}$
Mikro	=	$\mu$	=	$10^{-6}$
Milli	=	m	=	$10^{-3}$
Zenti	=	c	=	$10^{-2}$
Dezi	=	d	=	$10^{-1}$
Deka	=	da	=	$10^1$
Hekto	=	h	=	$10^2$
Kilo	=	k	=	$10^3$
Mega	=	M	=	$10^6$
Giga	=	G	=	$10^9$
Tera	=	T	=	$10^{12}$

### 2.3 Griechisches Alphabet

Alpha	$A$	$a$	Ny	$N$	$\nu$
Beta	$B$	$\beta$	Xi	$\Xi$	$\xi$
Gamma	$\Gamma$	$\gamma$	Omikron	$O$	$o$
Delta	$\Delta$	$\delta$	Pi	$\Pi$	$\pi$
Epsilon	$E$	$\varepsilon$	Rho	$P$	$\rho$
Zeta	$Z$	$\zeta$	Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Eta	$H$	$\eta$	Tau	$T$	$\tau$
Theta	$\Theta$	$\vartheta$	Ypsilon	$Y$	$\upsilon$
Jota	$I$	$\iota$	Phi	$\Phi$	$\varphi$
Kappa	$K$	$\kappa$	Chi	$X$	$\chi$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$	Psi	$\Psi$	$\psi$
My	$M$	$\mu$	Omega	$\Omega$	$\omega$

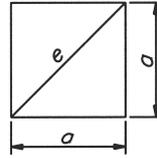
### 3 Flächen- und Körperberechnung

Quadrat

$$A = a^2$$

$$U = 4 \cdot a$$

$$e = \sqrt{2} \cdot a$$

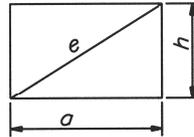


Rechteck

$$A = a \cdot h$$

$$U = 2(a + h)$$

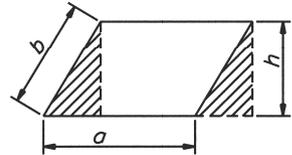
$$e = \sqrt{a^2 + h^2}$$



Verschobenes Viereck

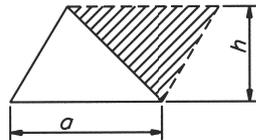
$$A = a \cdot h$$

$$U = 2(a + b)$$



Dreieck

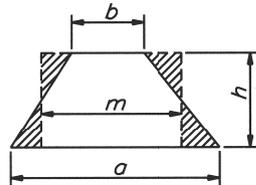
$$A = \frac{a \cdot h}{2}$$



Trapez

$$A = \frac{a + b}{2} \cdot h$$

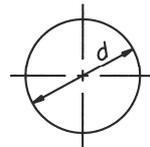
$$A = m \cdot h$$



Kreis

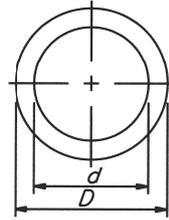
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$U = d \cdot \pi$$



## Kreisring

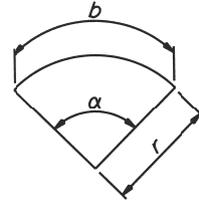
$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$



## Kreisausschnitt

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot \alpha}{4 \cdot 360^\circ}$$

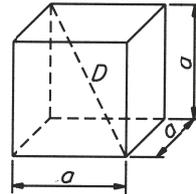
$$b = \frac{d \cdot \pi \cdot \alpha}{360^\circ}$$



## Würfel

$$V = a^3$$

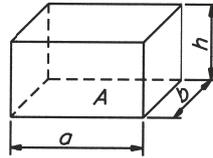
$$D = \sqrt{3} \cdot a$$



## Prisma

$$V = a \cdot b \cdot h$$

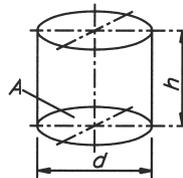
$$V = A \cdot h$$



## Zylinder

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h$$

$$V = A \cdot h$$

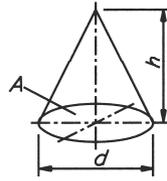


Körper mit gleichem Querschnitt:  
Volumen = Querschnittsfläche · Höhe

Kegel

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot h}{12}$$

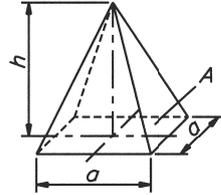
$$V = \frac{A \cdot h}{3}$$



Pyramide

$$V = \frac{a^2 \cdot h}{3}$$

$$V = \frac{A \cdot h}{3}$$



Kugel

$$V = \frac{d^3 \cdot \pi}{6}$$

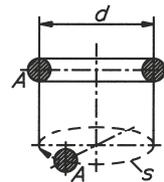
$$A = d^2 \cdot \pi$$



Guldinsche Regel

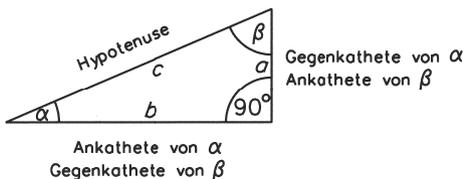
$$V = A \cdot s$$

$$V = A \cdot d \cdot \pi$$



Volumen = Querschnittsfläche · Schwerpunktsweg

## 4 Winkelfunktionen am rechtwinkligen Dreieck



Sinusfunktion gleich Gegenkathete durch Hypotenuse

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \sin \beta = \frac{b}{c}$$

Cosinusfunktion gleich Ankathete durch Hypotenuse

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}; \quad \cos \beta = \frac{a}{c}$$

Tangensfunktion gleich Gegenkathete durch Ankathete

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}; \quad \tan \beta = \frac{b}{a}$$

### Lehrsatz des Pythagoras:

Die Fläche des Hypotenusenquadrats ist gleich der Summe der beiden Kathetenquadrate.

$$a^2 + b^2 = c^2$$

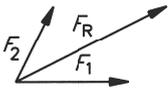
## 5 Mechanik

### 5.1 Geometrische Addition von Kräften

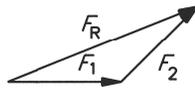
Grundgesetz der Statik:

Die Summe aller horizontalen und aller vertikalen Kräfte an einem Körper ist gleich null.

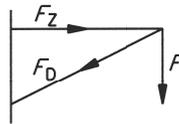
Resultierende Kraft:  $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$  Addition nach Betrag und Richtung



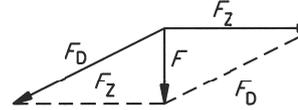
Zeigerbild



Additionsbild



Aufbauzeichnung

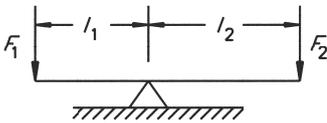


Kräftediagramm

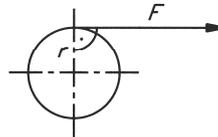
### 5.2 Hebelgesetz, Drehmoment

Die Summe der rechtsdrehenden Momente ist gleich der Summe der linksdrehenden Momente.

Drehmoment:



$$M = F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$



$$M = F \cdot r$$

N · m

### 5.3 Übersetzung, Getriebe

Die Umfangsgeschwindigkeit der Räder ist gleich.

Übersetzungsverhältnis:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Index 1 treibendes Rad  
Index 2 getriebenes Rad

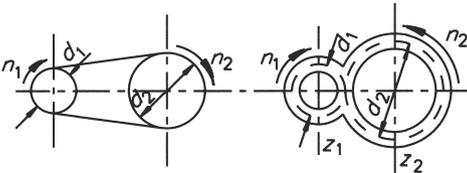
Übersetzung mit  
Schneckengetriebe:

$$\frac{n_S}{n_R} = \frac{Z_R}{g_S}$$

$n_S$  Umdrehungsfrequenz  
der Schnecke

$n_R$  Umdrehungsfrequenz  
des Schneckenrades

$g_S$  Gangzahl der Schnecke  
 $Z_R$  Zähnezahle des  
Schneckenrades



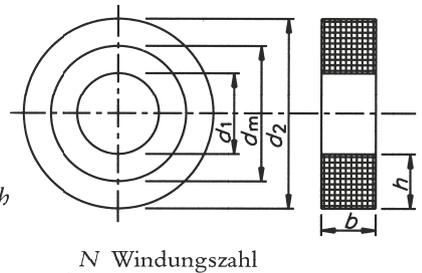
## 5.4 Masse (Gewicht), Dichte, Volumen

Masse (Gewicht) eines Körpers:	$m = V \cdot \rho$	kg V Volumen in $\text{dm}^3$ $\rho$ Dichte in $\text{kg}/\text{dm}^3$
Gewichtskraft:	$G = m \cdot g = V \cdot \rho \cdot g$	N $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ Erdbeschleunigung
Drahtmasse (Drahtgewicht):	$m = A \cdot l \cdot \rho \cdot 10^{-3}$	kg; A Drahtquerschnitt in $\text{mm}^2$ l Drahtlänge in m $\rho$ Dichte in $\text{kg}/\text{dm}^3$

## 5.5 Drahtlänge einer Spule

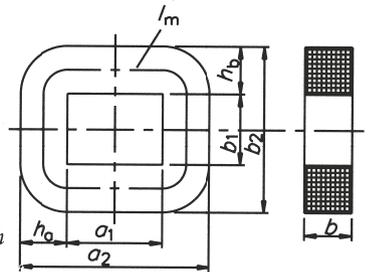
### Rundspule

Wickelhöhe:	$h = \frac{d_2 - d_1}{2}$
mittlerer Windungsdurchmesser:	$d_m = \frac{d_2 + d_1}{2} = d_1 + h$
mittlere Windungslänge:	$l_m = \pi \cdot d_m$
Drahtlänge:	$l = l_m \cdot N$



### Rechteckspule (symmetrisch)

Wickelhöhe:	$h_a = h_b = h = \frac{a_2 - a_1}{2} = \frac{b_2 - b_1}{2}$
mittlere Windungslänge:	$l_m = 2 \cdot (a_1 + b_1) + \pi \cdot h$
Drahtlänge:	$l = l_m \cdot N$
Leiterquerschnitt:	$A_1 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
gesamte Leiterquerschnittsfläche:	$A_L = A_1 \cdot N$
Wickelfläche:	$A_w = b \cdot h$
Füllfaktor:	$f = \frac{A_L}{A_w}$



## 5.6 Kinematik

Geschwindigkeit:  $v = \frac{s}{t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$   $\frac{\text{m}}{\text{s}}; \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$   
 $s, \Delta s$  Wegstrecke in m  
 $t, \Delta t$  Zeitspanne in s

Beschleunigung (gleichförmig aus dem Ruhezustand,  $v_1 = 0$ ):

$$a = \frac{v_2}{t} = \frac{2 \cdot s}{t^2} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$v_2$  Endgeschwindigkeit in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

mittlere Geschwindigkeit:

$$v_m = \frac{v_2}{2} = \frac{a \cdot t}{2} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$t$  Beschleunigungsdauer in s  
 $s$  Beschleunigungsstrecke in m

Beschleunigung von Anfangsgeschwindigkeit  $v_1$  auf  $v_2$ :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Endgeschwindigkeit nach freiem Fall ( $v_1 = 0$ ):

$$v_2 = g \cdot t = \frac{2 \cdot h}{t} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$g \approx 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  Erdbeschleunigung  
 $h$  Fallhöhe in m

Drehende Bewegung

Winkelgeschwindigkeit:  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$   $\text{s}^{-1} = \text{Hz}$   
 $n$  Umdrehungsfrequenz in  $\text{s}^{-1} = \text{Hz}$

Umfangsgeschwindigkeit:  $v = d \cdot \pi \cdot n = \omega \cdot r$   $\frac{\text{m}}{\text{s}}$   
 $d$  Durchmesser in m  
 $r$  Radius in m

Winkelbeschleunigung:  $\varepsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$   $\text{s}^{-2}$

## 5.7 Dynamisches Grundgesetz

Kraft, Trägheitskraft  $F = m \cdot a$

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$m$  Masse des Körpers in kg

$a$  Beschleunigung in  $\text{m/s}^2$

Drehende Bewegung

Trägheitsmoment:  $J = m \cdot r^2$

$$\text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$r$  Trägheitsradius in m

Fliehkraft:  $F = m \cdot r \cdot \omega^2$

N

Drehmoment:  $M = J \cdot \varepsilon$

$\omega$  Winkelgeschwind. in  $\text{s}^{-1} = \text{Hz}$

$\text{N} \cdot \text{m}$

Energie der Bewegung, kinetische Energie

geradlinige Bewegung (translatorische Bewegung):

$$W_{\text{K}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

drehende Bewegung (rotatorische Bewegung):

$$W_{\text{K}} = \frac{J \cdot \omega^2}{2}$$

$\varepsilon$  Winkelbeschleunigung in  $\text{s}^{-2}$

Energie der Lage, potentielle Energie:

$$W_{\text{p}} = F \cdot s = G \cdot \Delta h$$

$m$  Masse in kg

$v$  Geschwindigkeit in  $\text{m/s}$

$J$  Trägheitsmoment in  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$\omega$  Winkelgeschwind. in  $\text{s}^{-1} = \text{Hz}$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$G$  Gewichtskraft in N

$\Delta h$  Höhendifferenz in m

mechanische Leistung geradlinige Bewegung:

$$P = F \cdot v = \frac{F \cdot s}{t}$$

$$1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

drehende Bewegung:

$F$  Antriebskraft in N

$v$  Geschwindigkeit in  $\text{m/s}$

$s$  Wegstrecke in m

$t$  Zeit in s

$\omega$  Winkelgeschw. in  $\text{s}^{-1} = \text{Hz}$

$M$  Drehmoment in  $\text{N} \cdot \text{m}$

$n$  Umdrehungsfrequenz

in  $\text{s}^{-1} = \text{Hz}$

$$P = M \cdot \omega = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot n$$

$$P = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot M \cdot n = \frac{M \cdot n}{9,55}$$

mit  $n$  in  $\text{min}^{-1}$

## 6 Grundbegriffe der Elektrotechnik (Gleichstromtechnik)

Berechnete Größe	Formel	Einheit, Erklärung
------------------	--------	--------------------

elektrische Ladung  
Elektrizitätsmenge:

$$Q = I \cdot t = I_{AV} \cdot t$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s} \text{ (Coulomb)}$$

linearer elektrischer Widerstand,  
ohmscher Widerstand:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{u}{i}$$

$$I_{AV} = \text{arithmetischer Mittelwert bei Mischstrom}$$

$$1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \text{ (Ohm)}$$

differentieller elektrischer Widerstand  
(bei nichtlinearem Widerstand):

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

$$1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \text{ (Ohm)}$$

elektrischer Leitwert:

$$G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R}$$

$$1 \text{ S} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}} \text{ (Siemens)}$$

Spannung am ohmschen Widerstand (linearer Widerstand)  
(Ohmsches Gesetz):

$$U = I \cdot R = \frac{I}{G}$$

$$\text{V (Volt)}$$

Strom im ohmschen Widerstand  
(Ohmsches Gesetz):

$$I = \frac{U}{R} = U \cdot G$$

$$\text{A (Ampere)}$$

elektrische Leistung:

$$P = U \cdot I = U_{\text{RMS}} \cdot I_{\text{RMS}}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \text{ (Watt)}$$

$$U_{\text{RMS}}, I_{\text{RMS}} = \text{Effektivwerte}$$

$$\text{bei Wechsel- und Mischstrom}$$

Leistung am linearen Widerstand:

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

Leistung nach Spannungsänderung  
bei  $R = \text{konstant}$ :

$$P_2 = P_1 \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2$$

Leistung nach Stromänderung  
bei  $R = \text{konstant}$ :

$$P_2 = P_1 \cdot \left( \frac{I_2}{I_1} \right)^2$$

elektrische Arbeit bei Gleichstrom:  $W = U \cdot I \cdot t = U \cdot Q$   $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$  (Joule)

allgemein:  $W = P \cdot t$

spezifischer elektrischer Widerstand:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l}$$

bei metallischen Werkstoffen (Drähten):  
Länge  $l$  in m; Querschnitt  $A$  in  $\text{mm}^2$

$$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

bei anderen Stoffen:

Länge  $l$  in cm (m); Querschnitt  $A$  in  $\text{cm}^2$  ( $\text{m}^2$ )

$$1 \frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}} = 1 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

elektrische Leitfähigkeit:

Länge  $l$  in m; Querschnitt  $A$  in  $\text{mm}^2$

$$\gamma \text{ oder } \kappa = \frac{l}{R \cdot A}$$

$$1 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} = 1 \frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2}$$

Leiterwiderstand

Länge  $l$  in m;

Querschnitt  $A$  in  $\text{mm}^2$

(Tabelle 21.1)

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{l}{\kappa \cdot A}$$

Stromdichte:

$$J \text{ oder } S = \frac{I}{A}$$

$$1 \text{ A/m}^2 = 10^{-6} \text{ A/mm}^2$$

Von einem Gleichstrom  
in einem Elektrolysebad  
ausgeschiedene Stoffmenge

$$m = I \cdot t \cdot c$$

g (mg)

$I$  Gleichstrom in A

(bei Mischstrom arithmetischer Mittelwert  $I_{AV}$ )

$t$  Zeit in s

$c$  elektrochemisches  
Äquivalent

$$\text{in } \frac{\text{g}}{\text{A} \cdot \text{s}} \text{ oder } \frac{\text{mg}}{\text{A} \cdot \text{s}}$$

(Tabelle 21.1)

# 7 Schaltungen mit ohmschen Widerständen

## 7.1 Gesetze der Parallelschaltung

Kirchhoffsches Knotenpunkt- oder Stromverzweigungsgesetz allgemein:

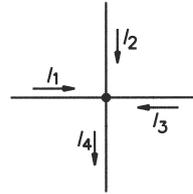
In jedem Stromverzweigungspunkt (Knotenpunkt) ist die Summe aller Ströme in jedem Augenblick gleich null.

Anmerkung:

Unterliegen die Ströme zeitlichen Änderungen, gilt dieses nur für die Augenblickswerte oder, bei sinusförmigen Strömen gleicher Frequenz, wenn die Addition nach Betrag und Richtung erfolgt.

Bei Gleichströmen:  $I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0$

oder allgemein:  $i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$



**In einer Parallelschaltung von Widerständen gilt:**

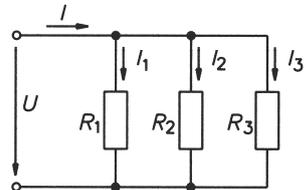
Die Summe aller zufließenden Ströme ist gleich der Summe aller abfließenden Ströme.

Gesamtstrom:  $I = I_1 + I_2 + I_3$

Ersatzwiderstand: 
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Ersatzleitwert:  $G = G_1 + G_2 + G_3$

Verhältnisse: 
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$



## 7.2 Gesetze der Reihenschaltung

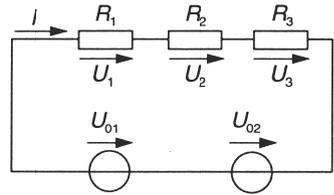
Kirchhoffsches Maschengesetz allgemein:

In jeder Masche (Stromkreis) ist die Summe aller Spannungen in jedem Augenblick gleich null.

Anmerkung:

Unterliegen diese Spannungen zeitlichen Änderungen, gilt dieses nur für die Augenblickswerte oder, bei sinusförmigen Spannungen gleicher Frequenz, wenn die Addition nach Betrag und Richtung erfolgt.

Bei Gleichspannungen:  $U_1 + U_2 + U_3 - U_{01} - U_{02} = 0$   
 oder allgemein:  $u_1 + u_2 + u_3 - u_{01} - u_{02} = 0$



### In einer Reihenschaltung von Widerständen gilt:

Gesamtspannung:  $U = U_1 + U_2 + U_3$

Ersatzwiderstand:  $R = R_1 + R_2 + R_3$

Verhältnisse:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

## 7.3 Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle

mit linearem Innenwiderstand  $R_i$  und Urspannung  $U_0$

Innenwiderstand:  $R_i = \frac{U_0 - U_Q}{I_L} = \frac{\Delta U_Q}{\Delta I_L}$

Kurzschlussstrom:  $I_K = \frac{U_0}{R_i}$

Ausgangsspannung:  $U_Q = U_0 - I_L \cdot R_i$

maximale Leistungsabgabe bei *Leistungsanpassung*:

$$R_L = R_i$$

$$P_{Q \max} = \frac{U_0^2}{4 \cdot R_i}$$

