

**Tabelle: Berechnen von wichtigen Funktionswerten (Beispiele) mit dem ETR und in Excel**

In der Elektrotechnik müssen häufig Funktionswerte, z.B.  $\sin 45^\circ$ , mit dem elektronischen Taschenrechner (ETR) oder mithilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen, z.B. Excel, berechnet werden. Für die Tastatureingabe am ETR sind, je nach Hersteller und Typ, bestimmte Schritte einzuhalten (**Tabelle**). Grundsätzlich ist zu beachten:

- Bei gängigen Taschenrechnern erfolgt die Eingabe entsprechend der Schreibweise von links nach rechts (natürliches Display).
- Neben der ersten Tastenbelegung ist meist auch die Eingabe einer zweiten Tastenbelegung, die über der Taste steht und in der Regel auch andersfarbig gekennzeichnet ist, möglich. Die Zweitbelegung, z.B. die Funktion  $10^x$ , wird üblicherweise durch Drücken einer separaten Taste, z.B. "SHIFT" oder "2nd", aufgerufen.
- Zusammengehörige Rechenschritte, z.B. eine Addition unter der Wurzel, müssen in Klammern gesetzt werden.
- In Excel wird der Ausdruck zur Berechnung des Funktionswertes in einer Zelle, z.B. A1, eingetragen.

**Funktionsbeispiele mit zugehörigen Eingabeschritten\*** **Hinweise**

**2-te Wurzel und Quadrat, z.B.  $\sqrt{202^2 + 110^2} = ?$  (Seite 38)**

 ETR 1:  $\sqrt{\square} \left( \left[ 202 \right] \left[ x^2 \right] + \left[ 110 \right] \left[ x^2 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 230$   
 ETR 2:  $\left[ 2nd \right] \left[ x^2 \right] \left( \left[ 202 \right] \left[ x^2 \right] + \left[ 110 \right] \left[ x^2 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 230$   
 Excel:  $=WURZEL(202^2+110^2) \Rightarrow 230$

  $\sqrt{\square}$  über 1. Tastenbelegung  
  $\sqrt{\square}$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ 2nd \right] \left[ x^2 \right]$   
 Statt z.B.  $202^2$  auch  $Potenz(202;2)$

**Zehnerpotenz, z.B.  $2,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} = ?$  (Seite 30)**

 ETR 1:  $2,5 \left[ x \right] 8,85 \left[ x10^x \right] \left[ (-) \right] 12 \left[ = \right] \Rightarrow 2,2125 \times 10^{-11}$   
 ETR 2:  $2,5 \left[ x \right] 8,85 \left[ x \right] \left[ 2nd \right] \left[ LOG \right] \left[ (-) \right] 12 \left[ = \right] \Rightarrow 2,2125 \times 10^{-11}$   
 Excel:  $=2,5*8,85*1E-12 \Rightarrow 2,2125E-11$

  $x10^x$  über 1. Tastenbelegung  
 $10^x$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ 2nd \right] \left[ LOG \right]$   
 $1E-12$  bedeutet:  $10^{-12}$   
 Auch:  $=PRODUKT(2,5;8,85;1E-12)$

**Zehnerlogarithmus (lg), z.B.  $20 \cdot \lg \frac{48}{14} = ?$  (Seite 86)**

 ETR 1:  $20 \left[ x \right] \left[ SHIFT \right] \left[ (-) \right] \left( \left[ 48 \right] \left[ \div \right] \left[ 14 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 10,7$   
 ETR 2:  $20 \left[ x \right] \left[ LOG \right] \left( \left[ 48 \right] \left[ \div \right] \left[ 14 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 10,7$   
 Excel:  $=20*LOG10(48/14) \Rightarrow 10,7$

Der Zehnerlogarithmus (lg) hat die Zahl 10 als Basis.  
 $\lg$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ SHIFT \right] \left[ (-) \right]$   
 $\left[ LOG \right]$  über 1. Tastenbelegung  
 Bei Basis 10 ist die Basisangabe 10 nicht unbedingt erforderlich.

**Natürlicher Logarithmus (ln), z.B.  $-2,4 \cdot \ln \left( \frac{24,6}{125} \right) = ?$  (Seite 31)**

 ETR 1:  $\left[ (-) \right] 2,4 \left[ x \right] \left[ ln \right] \left( \left[ 24,6 \right] \left[ \div \right] \left[ 125 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 3,90$   
 ETR 2:  $\left[ (-) \right] 2,4 \left[ x \right] \left[ LN \right] \left( \left[ 24,6 \right] \left[ \div \right] \left[ 125 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 3,90$   
 Excel:  $=-2,4*LN(24,6/125) \Rightarrow 3,90$

Der natürliche Logarithmus (ln) hat die Zahl  $e = 2,71828...$  als Basis.  
 $\ln$  über 1. Tastenbelegung  
 $\left[ LN \right]$  über 1. Tastenbelegung

**Exponentialfunktion (e-Funktion), z.B.  $125 \cdot e^{-3,9/2,4} = ?$  (Seite 31)**

 ETR 1:  $125 \left[ x \right] \left[ SHIFT \right] \left[ ln \right] \left[ (-) \right] \left( \left[ 3,9 \right] \left[ \div \right] \left[ 2,4 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 24,6$   
 ETR 2:  $125 \left[ x \right] \left[ 2nd \right] \left[ LN \right] \left[ (-) \right] \left( \left[ 3,9 \right] \left[ \div \right] \left[ 2,4 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 24,6$   
 Excel:  $=125*EXP(-3,9/2,4) \Rightarrow 24,6$

Die e-Funktion ist eine Exponentialfunktion mit der Basis  $e = 2,71828...$   
 $e^x$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ SHIFT \right] \left[ ln \right]$   
 $e^x$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ 2nd \right] \left[ LN \right]$

**Trigonometrische Funktion (sin) a) im Gradmaß und b) im Bogenmaß, z.B. a)  $325 \cdot \sin 45^\circ = ?$  und b)  $325 \cdot \sin \frac{\pi}{4} = ?$  (Seite 36)**

**a) Einstellung: DEG bzw. D**  
 ETR 1:  $325 \left[ x \right] \left[ sin \right] 45 \left[ = \right] \Rightarrow 229,8$   
 ETR 2:  $325 \left[ x \right] \left[ SIN \right] 45 \left[ = \right] \Rightarrow 229,8$   
 Excel:  $=325*SIN(BOGENMASS(45)) \Rightarrow 229,8$

**b) Einstellung: RAD bzw. R**  
  $325 \left[ x \right] \left[ sin \right] \left( \left[ SHIFT \right] \left[ x10^x \right] \left[ \div \right] 4 \right) \left[ = \right] \Rightarrow 229,8$   
  $325 \left[ x \right] \left[ SIN \right] \left( \left[ \pi \right] \left[ \div \right] 4 \right) \left[ = \right] \Rightarrow 229,8$   
 Excel:  $=325*SIN(PI()/4) \Rightarrow 229,8$

Am ETR muss bei Winkelangaben im Gradmaß, z.B.  $45^\circ$ , DEG bzw. D und bei Winkelangaben im Bogenmaß, z.B.  $\pi/4$ , RAD bzw. R eingestellt werden. Die Einstellung erfolgt z.B. im SETUP-Menü.  
 $\pi$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ SHIFT \right] \left[ x10^x \right]$   
 Excel berechnet trigonometrische Funktionen immer im Bogenmaß. Winkel im Gradmaß werden mit der Funktion BOGENMASS( ) umgerechnet.

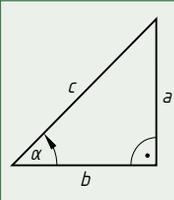
**Umkehrfunktion des Sinus (arc sin), z.B.  $\arcsin \left( \frac{230}{325} \right) = ?$  (Seite 36)**

 ETR 1:  $\left[ SHIFT \right] \left[ sin \right] \left( \left[ 230 \right] \left[ \div \right] \left[ 325 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 45 \text{ (} 45^\circ \text{)}$   
 ETR 2:  $\left[ 2nd \right] \left[ SIN \right] \left( \left[ 230 \right] \left[ \div \right] \left[ 325 \right] \right) \left[ = \right] \Rightarrow 45 \text{ (} 45^\circ \text{)}$   
 Excel:  $=GRAD(ARCSIN(230/325)) \Rightarrow 45 \text{ (} 45^\circ \text{)}$

Zu einem Sinuswert, z.B. 0,707, wird der zugehörige Winkel im Gradmaß, hier  $45^\circ$ , mit  $\sin^{-1}$  (= arc sin) berechnet.  
 $\sin^{-1}$  über 2. Tastenbelegung  $\left[ SHIFT \right] \left[ sin \right]$  bzw.  $\left[ 2nd \right] \left[ SIN \right]$   
 GRAD liefert den Winkel im Gradmaß.

\* Die Eingabeschritte am elektronischen Taschenrechner sind beispielhaft und können je nach Modell abweichen.

In der Elektrotechnik, insbesondere in der Wechselstromtechnik, sind Berechnungen mit Winkelfunktionen, z.B. der Sinusfunktion (**Seite 36**), wichtig. Die vier Winkelfunktionen Sinus, Cosinus, Tangens und Cotangens geben im rechtwinkligen Dreieck das Verhältnis zweier Seiten in Bezug auf den Winkel  $\alpha$  an.



**Dreiecksseiten:**  
 a: Gegenkathete zum Winkel  $\alpha$   
 b: Ankathete zum Winkel  $\alpha$   
 c: Hypotenuse

Winkel-funktion	Funktions-gleichung	Beispiel für $a = 0,707; b = 0,707; c = 1; \alpha = 45^\circ$
Sinus	$\sin \alpha = \frac{a}{c}$	$\sin 45^\circ = \frac{0,707}{1} = 0,707$
Cosinus	$\cos \alpha = \frac{b}{c}$	$\cos 45^\circ = \frac{0,707}{1} = 0,707$
Tangens	$\tan \alpha = \frac{a}{b}$	$\tan 45^\circ = \frac{0,707}{0,707} = 1$
Cotangens	$\cot \alpha = \frac{b}{a}$	$\cot 45^\circ = \frac{0,707}{0,707} = 1$

- Der Winkel  $\alpha$  kann im Gradmaß  $\alpha_G$ , z.B.  $\alpha_G = 45^\circ$ , oder im Bogenmaß  $\alpha_B$ , z.B.  $\alpha_B = 1/4 \cdot \pi \text{ rad} \approx 0,785 \text{ rad}$ , angegeben werden.
- Die Einheit des Winkels im Gradmaß ist ° (Grad), im Bogenmaß rad (Radiant).
- In einem Einheitskreis (Radius  $r = 1$ ) ist  $\alpha_B$  die Länge des Kreisbogens.

**Umrechnung Gradmaß  $\alpha_G$  in Bogenmaß  $\alpha_B$ :**

Bogenmaß $\alpha_B = \frac{\alpha_G \cdot \pi}{180^\circ}$			
Beispiele	$\alpha_G = 90^\circ$	$\alpha_G = 180^\circ$	$\alpha_G = 270^\circ$
$\alpha_B$ in rad	$\frac{1}{2} \cdot \pi \approx 1,57$	$\pi \approx 3,14$	$\frac{3}{2} \cdot \pi \approx 4,71$

**Umrechnung Bogenmaß  $\alpha_B$  in Gradmaß  $\alpha_G$ :**

Gradmaß $\alpha_G = \frac{\alpha_B \cdot 180^\circ}{\pi}$			
Beispiele	$\alpha_B = \frac{3}{4} \cdot \pi$	$\alpha_B = \frac{5}{4} \cdot \pi$	$\alpha_B = \frac{7}{4} \cdot \pi$
$\alpha_G$ in Grad	$135^\circ$	$225^\circ$	$315^\circ$

**Eingabe mit Taschenrechner:**

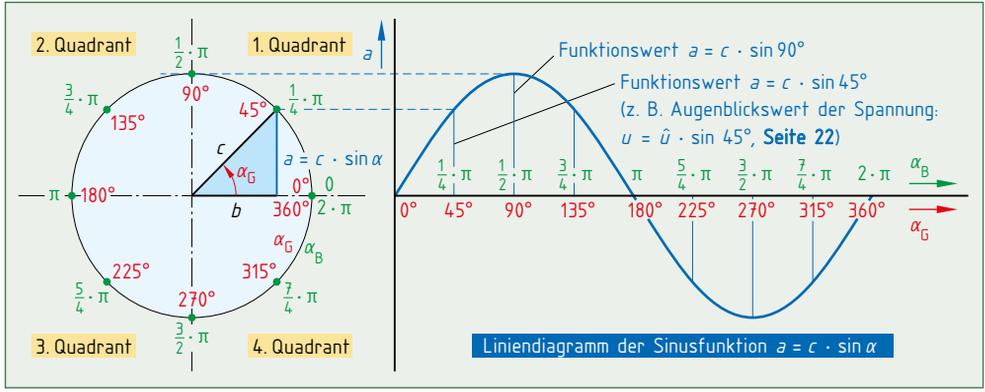
- Bei Gradmaß auf DEG oder D,
- bei Bogenmaß auf RAD oder R.

Beispiele:  
 $\alpha_G = 90^\circ \Rightarrow D \Rightarrow \boxed{\sin} \ 90 \ \boxed{=}$  (1)  
 $\alpha_B = \pi/2 \Rightarrow R \Rightarrow \boxed{\sin} \ \boxed{[ \pi ]} \ \boxed{\div} \ 2 \ \boxed{]} \ \boxed{=}$  (1)

**Wertebereiche der Winkelfunktionen bei einem Kreisumlauf in den vier Quadranten:**

Quadrant	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\tan \alpha$	$\cot \alpha$
1. (0° bis 90°)	0 bis +1	+1 bis 0	0 bis +∞	+∞ bis 0
2. (90° bis 180°)	+1 bis 0	0 bis -1	-∞ bis 0	0 bis -∞
3. (180° bis 270°)	0 bis -1	-1 bis 0	0 bis +∞	+∞ bis 0
4. (270° bis 360°)	-1 bis 0	0 bis +1	-∞ bis 0	0 bis -∞
<b>Beispiele</b>	$\sin 90^\circ = 1$ $\sin 225^\circ = -0,707$	$\cos 90^\circ = 0$ $\cos 180^\circ = -1$	$\tan 45^\circ = 1$ $\tan 89^\circ = 57,3$	$\cot 90^\circ = 0$ $\cot 359^\circ = -57,3$

**Darstellung der Sinusfunktion als Liniendiagramm für einen Kreisumlauf von  $\alpha_G = 0^\circ$  bis  $360^\circ$ :**



Formelzeichen*	Größe	Einheit, Einheitenname	Einheitenzeichen	Formelzeichen*	Größe	Einheit, Einheitenname	Einheitenzeichen
<b>1. Länge und ihre Potenzen</b>				<b>3. Mechanik</b>			
$l$	Länge, Abstand	Meter	m	$m$	Masse, Gewicht als Wäageergebnis	Kilogramm	kg
$\Delta l$	Längenänderung, Längendifferenz			$\rho, \rho_m$ Dichte, Massendichte, volumenbezogene Masse  $F$ $F_G, G$ Kraft Gewichtskraft  $M$ Kraftmoment, Drehmoment  $p$ Druck  $\epsilon$ Dehnung, relative Längenänderung  $\mu$ Reibungszahl  $W$ Arbeit, Energie  $P$ Leistung  $\eta$ Wirkungsgrad (Leistungsverhältnis) $\xi$ Arbeitsgrad** Nutzungsgrad (Arbeitsverhältnis, Energieverhältnis) Übersetzungsverhältnis  $i$	Kilogramm je Kubikmeter  Newton  Newtonmeter  Pascal  –  –  Joule  Watt  –  1	kg/m <sup>3</sup>  N  Nm  Pa  1  1  J  W  1	
$b$	Breite						
$h$	Höhe, Tiefe						
$d, \delta$	Dicke, Schichtdicke						
$r, R$	Radius, Halbmesser, Abstand						
$d, D$	Durchmesser						
$s$	Weglänge, Kurvenlänge						
$A, S$	Flächeninhalt, Fläche, Oberfläche	Quadratmeter	m <sup>2</sup>				
$S, q$	Querschnittsfläche, Querschnitt						
$V$	Volumen, Rauminhalt	Kubikmeter	m <sup>3</sup>				
$\Delta V$	Volumenänderung, Volumendifferenz						
$\alpha, \beta, \gamma$	ebener Winkel	Grad (DEG)	° (Grad)				
$\varphi$	Drehwinkel	Radian (RAD)	rad = $\frac{m}{m}$ = 1				
$\Omega, \omega$	Raumwinkel	Steradian	sr				
<b>2. Raum und Zeit</b>				<b>4. Wärme und Wärmeübertragung</b>			
$t$	Zeit, Dauer	Sekunde	s	$T, \theta$	thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
$\Delta t$	Zeitdifferenz, Zeitänderung						
$T$	Periodendauer, Schwingungsdauer						
$\tau, T$	Zeitkonstante						
$f, \nu$	Frequenz	Hertz	Hz = 1/s	$\Delta T, \Delta t, \Delta \theta$	Temperaturdifferenz		
$f_c$	Grenzfrequenz						
$f_r$	Resonanzfrequenz						
$\omega$	Kreisfrequenz, Pulsanz	–	rad/s = 1/s	$t, \vartheta$	Celsius-Temperatur	Grad Celsius	°C
$n$	Drehzahl, Umdrehungsfrequenz	–	1/s	$\alpha_l$	Längenausdehnungskoeffizient	je Kelvin	1/K
$\omega, \Omega$	Winkelgeschwindigkeit, Drehgeschwindigkeit	Radian je Sekunde	rad/s	$\alpha_v, \gamma$	Volumenausdehnungskoeffizient		
$\lambda$	Wellenlänge	Meter	m	$Q$	Wärme, Wärmemenge	Joule	J
$v, u, w$	Geschwindigkeit	Meter je Sekunde	m/s	$R_{th}$	thermischer Widerstand, Wärmewiderstand	Kelvin je Watt	K/W
$c$	Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle						
$a$	Beschleunigung, Verzögerung	Meter je Sekunde hoch zwei	m/s <sup>2</sup>	$C_{th}$	Wärmekapazität	Joule je Kelvin	J/K
$g$	örtliche Fallbeschleunigung						
* Sind für eine Größe mehrere Zeichen angeführt, so ist das an erster Stelle stehende (meist internationale) Zeichen zu bevorzugen.				$c$	spezifische Wärmekapazität	Joule je kg und Kelvin	J/(kg · K)
** $\xi$ griech. Kleinbuchstabe zeta				Fortsetzung siehe hintere Umschlag-Innenseite			



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Elektrotechnik

# Formeln Elektrotechnik *PLUS*<sup>+</sup>

## 2. Auflage

Bearbeitet von Ingenieuren und Lehrern  
an beruflichen Schulen (siehe Rückseite)

Lektorat: Klaus Tkotz

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

Europa-Nr.: 30289

**Autoren:** Isele, Dieter      Lauterach  
                 Klee, Werner      Mehlingen  
                 Tkotz, Klaus      Kronach  
                 Winter, Ulrich      Kaiserslautern

**Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:** Klaus Tkotz

**Bildbearbeitung:** Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

**Betreuung der Bildbearbeitung:** Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

**Bildentwürfe:** Die Autoren

Bildquellenverzeichnis:

Autorenfoto: 106

2. Auflage 2023, korrigierter Nachdruck 2023

Druck 5 4 3 2

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

ISBN 978-3-7585-3247-4

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

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Erwin Wodicka - [wodicka@aon.at](mailto:wodicka@aon.at); ©AA+W - [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com); Casio Europe GmbH

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

### 1.3 Potenzen, Wurzeln, Logarithmen

**Potenzen**  $a^n = c$   
 a Grundzahl (Basis)  
 n Hochzahl (Exponent)  
 c Potenzwert

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

$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$      $\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$      $\frac{1}{a^n} = a^{-n}$      $a^0 = 1$ ;     $a^1 = a$ ;     $3^1 = 3$ ;     $10^0 = 1$

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

Zahl	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000	1000000
Zehnerpotenz	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$

**Wurzeln**  $\sqrt[n]{c} = a$   
 a Wurzelwert  
 n Wurzelexponent  
 c Radikand

$c = \underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ Faktoren}} \Rightarrow \sqrt[n]{c} = a$   $\sqrt[n]{c} = c^{\frac{1}{n}}$

$\sqrt[n]{c \cdot d} = \sqrt[n]{c} \cdot \sqrt[n]{d}$      $\sqrt[n]{\frac{c}{d}} = \frac{\sqrt[n]{c}}{\sqrt[n]{d}} = \left(\frac{c}{d}\right)^{\frac{1}{n}}$      $\sqrt[n]{c^m} = c^{\frac{m}{n}}$      $a^2 = c \Rightarrow a = \pm \sqrt{c}$

**Logarithmen**

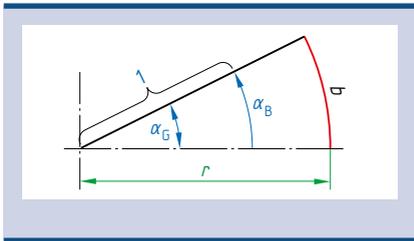
$n$  Logarithmus     $a$  Basis  
 $c$  Numerus

Eingabemodus:  
 Taste **LOG**  $c = a^n \Rightarrow$   $\log_a c = n$

- Zehnerlogarithmus (dekadischer Logarithmus):  $\log_{10} c = \lg c$   
 Beispiel:  $\lg 2 = 0,301\dots$
- Natürlicher Logarithmus ( $e = 2,718\dots$ ):  $\log_e c = \ln c$   
 Beispiel:  $\ln 2 = 0,694\dots$
- Zweierlogarithmus (binärer Logarithmus):  $\log_2 c = \text{lb } c$   
 Beispiel:  $\text{lb } 2 = 1$

$\log_a c + \log_a d = \log_a (c \cdot d)$      $\log_a c - \log_a d = \log_a \left(\frac{c}{d}\right)$      $-\log_a d = \log_a \left(\frac{1}{d}\right)$   
 $k \cdot \log_a c = \log_a (c^k)$      $\frac{1}{n} \cdot \log_a c = \log_a (\sqrt[n]{c})$      $\log_b c = \frac{\log_a c}{\log_a b} = \log_a c \cdot \log_b a$

### 1.4 Winkel, Winkleinheiten, Umrechnung Bogenmaß $\Leftrightarrow$ Gradmaß

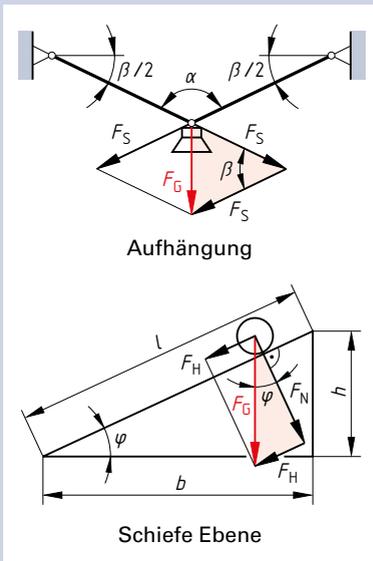


$\alpha_B$  Winkel im Bogenmaß, Einheit Radiant (rad)  $\alpha_B = \frac{b}{r} \text{ rad} = \frac{m}{m} = 1$   
 $\alpha_G$  Winkel im Gradmaß, Einheit Grad ( $^\circ$ )  $\alpha_B = \frac{\alpha_G}{180^\circ} \cdot \pi$   
 $b$  Bogenlänge  $\alpha_G = \frac{\alpha_B}{\pi} \cdot 180^\circ$   
 $r$  Radius

Winkel $\alpha_G$ im Gradmaß	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$270^\circ$	$360^\circ$
Winkel $\alpha_B$ im Bogenmaß	0	$\frac{\pi}{6} = 0,52$	$\frac{\pi}{4} = 0,79$	$\frac{\pi}{3} = 1,05$	$\frac{\pi}{2} = 1,57$	$\pi = 3,14$	$\frac{3}{2} \cdot \pi = 4,71$	$2 \cdot \pi = 6,28$



### Zerlegen einer Kraft in zwei Teilkraften (Komponenten)



$$\beta = 180^\circ - \alpha \quad \Rightarrow \quad \alpha = 180^\circ - \beta$$

$$F_S = \frac{F_G}{\sqrt{2 \cdot (1 - \cos \beta)}} \quad \Rightarrow \quad F_G = F_S \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \beta)}$$

$$\cos \beta = 1 - \frac{F_G^2}{2 \cdot F_S^2}$$

$$F_H = F_G \cdot \sin \varphi \quad \Rightarrow \quad F_G = \frac{F_H}{\sin \varphi}$$

$$\sin \varphi = \frac{h}{l} \quad F_H = F_G \cdot \frac{h}{l}; \quad F_G = \frac{F_H \cdot l}{h}$$

$$F_N = F_G \cdot \cos \varphi \quad \Rightarrow \quad F_G = \frac{F_N}{\cos \varphi}$$

$$\cos \varphi = \frac{b}{l} \quad F_N = F_G \cdot \frac{b}{l}; \quad F_G = \frac{F_N \cdot l}{b}$$

$$F_H = F_N \cdot \tan \varphi \quad \Rightarrow \quad F_N = \frac{F_H}{\tan \varphi}; \quad \tan \varphi = \frac{F_H}{F_N}$$

$$\tan \varphi = \frac{h}{b} \quad F_H = F_N \cdot \frac{h}{b}; \quad F_N = \frac{F_H \cdot b}{h}$$

$F_G$  Gewichtskraft

$F_S$  Seilkräfte

$\alpha$  Winkel zwischen den Seilkräften

$\beta$  Winkel im Krafteck

$F_H$  Hangabtriebskraft

$F_N$  Normalkraft

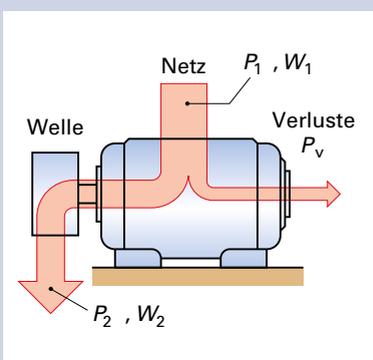
$l$  Länge der schiefen Ebene

$h$  Höhenunterschied

$b$  Basislänge der schiefen Ebene

$\varphi$  Neigungswinkel der schiefen Ebene

## 4.2 Wirkungsgrad, Arbeitsgrad



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \Rightarrow \quad P_1 = \frac{P_2}{\eta}; \quad P_2 = \eta \cdot P_1$$

$$P_v = P_1 - P_2 \quad \Rightarrow \quad P_1 = P_2 + P_v;$$

$$P_2 = P_1 - P_v$$

$$\zeta = \frac{W_2}{W_1} \quad \Rightarrow \quad W_1 = \frac{W_2}{\zeta};$$

$$W_2 = \zeta \cdot W_1$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots \quad \Rightarrow \quad \eta_1 = \frac{\eta}{\eta_2 \cdot \eta_3 \dots}$$

[P] = W (Watt)

[W] = Ws (Wattsekunde)

$\eta^*$  Wirkungsgrad (Leistungsverhältnis)

$P_1$  zugeführte Leistung (statt  $P_1$  auch:  $P_{zu}$ )

$P_2$  abgegebene Leistung (statt  $P_2$  auch:  $P_{ab}$ )

$P_v$  Verlustleistung

$\zeta^{**}$  Arbeitsgrad, Nutzungsgrad (Arbeits-, Energieverhältnis)

$W_1$  zugeführte Energie

$W_2$  abgegebene Energie

$\eta$  Gesamtwirkungsgrad

$\eta_1, \eta_2 \dots$  Einzelwirkungsgrade

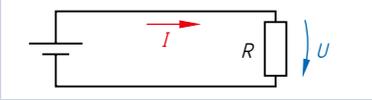
\* $\eta$  griech. Kleinbuchstabe eta

\*\* $\zeta$  griech. Kleinbuchstabe zeta

## 6 Elektrotechnische Grundlagen

### 6.1 Grundgesetze

#### Ohmsches Gesetz

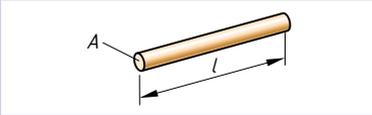


$U$  Spannung  
 $I$  Stromstärke  
 $R$  Widerstand

$$I = \frac{U}{R} \quad \Rightarrow U = R \cdot I; \quad R = \frac{U}{I}$$

$[U] = \text{V}$   
 $[I] = \text{A} \quad 1 \text{ A} = 1 \frac{\text{V}}{\Omega}$   
 $[R] = \Omega$

#### Leiterwiderstand



$R$  Leiterwiderstand  
 $A$ \* Leiterquerschnitt  
 $l$  Leiterlänge  
 $\gamma$ \* elektr. Leitfähigkeit  
 $\rho$  spezifischer Widerstand  
 $1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \text{m} = 10^{-4} \Omega \text{cm}$

\* Nach DIN 1304:

Für Querschnitt auch  $S$  oder  $q$ , für elektr. Leitfähigkeit auch  $\sigma$  oder  $\chi$ .

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \Rightarrow l = \frac{R \cdot A}{\rho}; \quad A = \frac{\rho \cdot l}{R}$$

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A} \quad \Rightarrow l = R \cdot \gamma \cdot A; \quad A = \frac{l}{\gamma \cdot R}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad \Rightarrow \rho = \frac{1}{\gamma}$$

Leiterwerkstoff	elektr. Leitfähigkeit $\gamma$	spez. Widerstand $\rho$
Kupfer	$56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	$0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Aluminium	$36 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	$0,0278 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

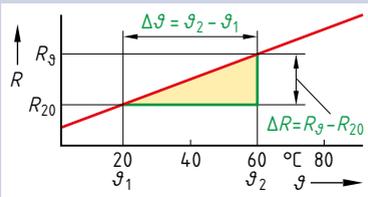
#### Widerstand und Leitwert

$R$  Widerstand (Widerstandswert)  
 $G$  Leitwert

$$G = \frac{1}{R} \quad \Rightarrow R = \frac{1}{G}$$

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = \text{S}$$

#### Widerstand und Temperatur



$\Delta R$  Widerstandsänderung  
 $R_\theta$  Widerstand bei der Temperatur  $\theta$   
 $R_{20}$  Widerstand bei der Temperatur  $20^\circ\text{C}$   
 $\theta$  Temperatur  
 $\theta_1$  Anfangstemperatur  
 $\theta_2$  Endtemperatur  
 $\Delta\theta$  Temperaturdifferenz  
 $\alpha$  Temperaturkoeffizient (Temperaturbeiwert)

Weitere Werte für  $\alpha$ ,  $\gamma$  und  $\rho$ :  
 Seite 117.

$$\Delta R = \alpha \cdot R_{20} \cdot \Delta\theta \quad \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta R}{R_{20} \cdot \Delta\theta}$$

$$R_\theta = R_{20} + \Delta R \quad \Rightarrow R_{20} = R_\theta - \Delta R;$$

$$R_\theta = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \quad \Rightarrow R_{20} = \frac{R_\theta}{1 + \alpha \cdot \Delta\theta}$$

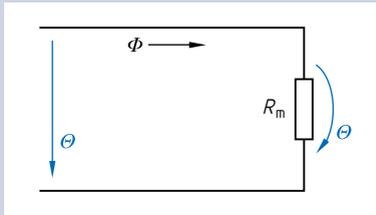
$$\Delta\theta = \frac{R_\theta - R_{20}}{\alpha \cdot R_{20}} \quad \Rightarrow R_\theta = R_{20} + \alpha \cdot R_{20} \cdot \Delta\theta$$

$[\Delta R] = \Omega; \quad \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$   
 $[\Delta\theta] = \text{K} = ^\circ\text{C}; \quad [\alpha] = \frac{1}{\text{K}} = \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Metall	$\alpha$ in 1/K	Metall	$\alpha$ in 1/K
Kupfer	0,0039	Nickelin	0,00015
Aluminium	0,004	Konstantan	0,00004



### Magnetischer Widerstand



$$R_m = \frac{\Theta}{\Phi}$$

$$\Rightarrow \Theta = R_m \cdot \Phi; \quad \Phi = \frac{\Theta}{R_m}$$

$$R_m = \frac{l_m}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

$$\Rightarrow l_m = R_m \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A;$$

$$A = \frac{l_m}{R_m \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}$$

$$[R_m] = \frac{A}{V_s} = \frac{1}{H} = \frac{1}{\Omega s}$$

$R_m$  magnetischer Widerstand  
 $\Theta$  Durchflutung  
 $\Phi$  magnetischer Fluss

$l_m$  mittlere Feldlinienlänge  
 $\mu_0$  magnet. Feldkonstante

$\mu_r$  Permeabilitätszahl  
 $A$  Kernquerschnitt

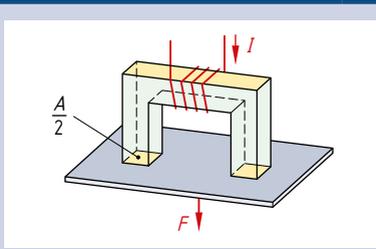
### Magnetischer Leitwert

$\Lambda$  magnetischer Leitwert\*  
 $R_m$  magnetischer Widerstand  
 \* griech. Großbuchstabe Lambda

$$\Lambda = \frac{1}{R_m}$$

$$[\Lambda] = \frac{V_s}{A} = H = \Omega s$$

## 8.2 Haltekraft von Elektromagneten



$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0}$$

$$\Rightarrow A = \frac{2 \cdot F \cdot \mu_0}{B^2}; \quad B = \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot \mu_0}{A}}$$

$$[F] = \frac{T^2 \cdot m^2}{\frac{Vs}{Am}} = \frac{VAs}{m} = \frac{Nm}{m} = N$$

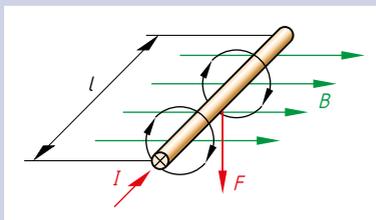
$F$  Haltekraft, Tragkraft  
 $B$  magnetische Flussdichte

$A$  Gesamte Polfläche  
 (wirksame Fläche)

$\mu_0$  magnet. Feldkonstante  
 $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$

## 8.3 Magnetische Feldkräfte

### Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld



$$F = B \cdot I \cdot l \cdot z$$

$$\Rightarrow B = \frac{F}{I \cdot l \cdot z}; \quad I = \frac{F}{B \cdot l \cdot z};$$

Bei Drehspulen:

$$l = \frac{F}{B \cdot I \cdot z}; \quad z = \frac{F}{B \cdot I \cdot l}$$

$$z = 2 \cdot N$$

$$[F] = \frac{Vs}{m^2} \cdot A \cdot m = \frac{Vs}{m} = \frac{Nm}{m} = N$$

$F$  Ablenkkraft  
 $B$  magnetische Flussdichte

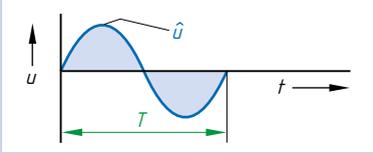
$l$  Leiterlänge im Magnetfeld  
 $I$  Stromstärke im Leiter

$z$  Zahl der stromdurchflossenen  
 Leiter im Feld  
 $N$  Windungszahl



## 9.6 Sinus- und nichtsinusförmige Spannungen\*

## Sinusspannung



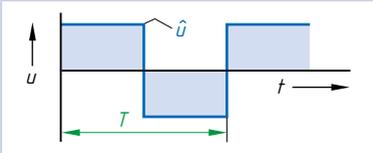
$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

$$\bar{u} = 0$$

$$F_C = \sqrt{2}$$

$$\Rightarrow \hat{u} = \sqrt{2} \cdot U$$

## Rechteckwechselfspannung

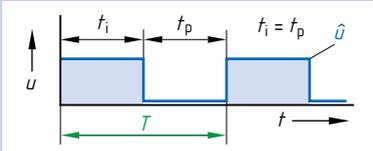


$$U = \hat{u}$$

$$\bar{u} = 0$$

$$F_C = 1$$

## Rechteckimpuls (1)



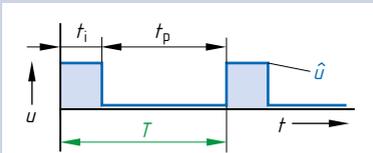
$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

$$\bar{u} = \frac{\hat{u}}{2}$$

$$F_C = \sqrt{2}$$

$$\Rightarrow \hat{u} = \sqrt{2} \cdot U$$

## Rechteckimpuls (2)



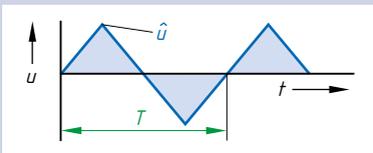
$$U = \sqrt{\frac{t_i}{T}} \cdot \hat{u}$$

$$\bar{u} = \frac{t_i \cdot \hat{u}}{T}$$

$$F_C = \sqrt{\frac{T}{t_i}}$$

$$\Rightarrow \hat{u} = \frac{U}{\sqrt{\frac{t_i}{T}}}$$

## Dreieckspannung



$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}}$$

$$\bar{u} = 0$$

$$F_C = \sqrt{3}$$

$$\Rightarrow \hat{u} = \sqrt{3} \cdot U$$

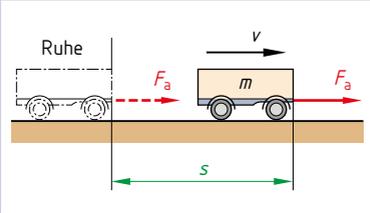
$U$  Effektivwert  
 $\hat{u}$  Scheitelwert

$\bar{u}$  arithmetischer Mittelwert  
 $F_C$  Crestfaktor

$t_i$  Impulsdauer  
 $t_p$  Pausendauer



### Beschleunigungsarbeit, kinetische Energie



$F_a$  beschleunigende Kraft  
 $m$  beschleunigte Masse  
 $s$  Weg  
 $a$  Beschleunigung  
 $v$  erreichte Geschwindigkeit  
 $W_a$  Beschleunigungsarbeit  
 $W_k$  kinetische Energie,  
 Bewegungsenergie

$$F_a = m \cdot a \quad \Rightarrow m = \frac{F_a}{a}; \quad a = \frac{F_a}{m}$$

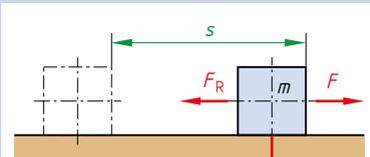
$$W_a = F_a \cdot s \quad \Rightarrow F_a = \frac{W_a}{s}; \quad s = \frac{W_a}{F_a}$$

$$W_a = m \cdot a \cdot s \quad \Rightarrow m = \frac{W_a}{a \cdot s}; \quad a = \frac{W_a}{m \cdot s}$$

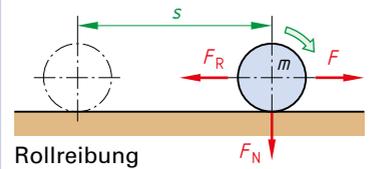
$$W_k = \frac{m}{2} \cdot v^2 \quad \Rightarrow m = \frac{2 \cdot W_k}{v^2};$$

$$W_k = W_a \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot W_k}{m}}$$

### Reibungsarbeit



Gleitreibung



Rollreibung

$$F = F_R$$

$$F_R = F_N \cdot \mu \quad \Rightarrow F_N = \frac{F_R}{\mu}; \quad \mu = \frac{F_R}{F_N}$$

$$F_N = F_G \quad \Rightarrow F_G = m \cdot g$$

$$W_R = F_R \cdot s \quad \Rightarrow F_R = \frac{W_R}{s}; \quad s = \frac{W_R}{F_R}$$

$$W_R = \mu \cdot F_N \cdot s \quad \Rightarrow F_N = \frac{W_R}{\mu \cdot s}; \quad s = \frac{W_R}{\mu \cdot F_N}$$

$$W_R = \mu \cdot m \cdot g \cdot s \quad \Rightarrow m = \frac{W_R}{\mu \cdot g \cdot s}; \quad s = \frac{W_R}{\mu \cdot g \cdot m}$$

$F$  Antriebskraft

$F_R$  Reibungskraft

$F_N$  Normalkraft

$\mu$  Reibungszahl

$s$  Weg

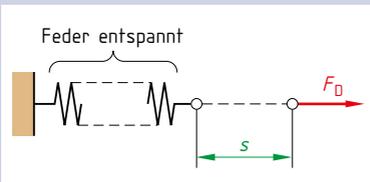
$W_R$  Reibungsarbeit

$F_G$  Gewichtskraft

$m$  Masse

$g$  Fallbeschleunigung ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

### Verformungsarbeit



$F_D$  verformende Kraft

$s$  Verlängerung, Verkürzung

$D$  Richtgröße der Feder

$W_D$  Verformungsarbeit

$W_p$  potentielle Energie,  
Verformungsenergie

$$F_D = D \cdot s \quad \Rightarrow D = \frac{F_D}{s}; \quad s = \frac{F_D}{D}$$

$$[D] = \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

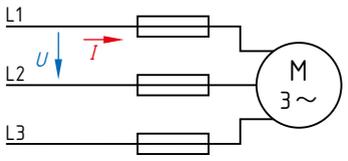
$$W_D = \frac{F_D}{2} \cdot s \quad \Rightarrow F_D = \frac{2 \cdot W_D}{s}; \quad s = \frac{2 \cdot W_D}{F_D}$$

$$W_p = \frac{D}{2} \cdot s^2 \quad \Rightarrow D = \frac{2 \cdot W_p}{s^2}; \quad s = \sqrt{\frac{2 \cdot W_p}{D}}$$

$$W_D = W_p$$



## 10.3.2 Drehstrommotoren



Hersteller		CE	
D-Mot 1234	Nr. 2022EL123		
11 kW	1475 1/min		
Δ 400 V	20,5 A	50 Hz	
cos φ 0,84	IP 55	Is-KI F	S1
IE 3 - 92,2 %			
DIN EN 60034			

- $P_1$  zugeführte Leistung  
 $P_2$  abgegebene Leistung  
 $P_v$  Verlustleistung  
 $U$  Leiterspannung  
 $I$  Leiterstrom  
 $\cos \varphi$  Wirkfaktor  
 $\eta$  Wirkungsgrad  
 $\omega$  Winkelgeschwindigkeit  
 $n$  Läuferdrehzahl  
 $n_s$  synchrone Drehzahl, Drehfeldfrequenz  
 $s$  Schlupf (in %)  
 $f_L$  Frequenz der Läuferdrehzahl  
 $f$  Netzfrequenz  
 $p$  Polpaarzahl  
 $M$  Drehmoment



- Datenblatt Drehstromasynchronmotoren: Seite 123
- Begrenzung des Anlaufstromes: Seite 123

Umrechnung der Drehzahl  $n$ 

von	nach	
$\frac{1}{\text{min}}$	$\frac{1}{\text{s}}$	$n_{\text{sec}} = \frac{n_{\text{min}}}{60}$
$\frac{1}{\text{s}}$	$\frac{1}{\text{min}}$	$n_{\text{min}} = n_{\text{sec}} \cdot 60$

Polpaarzahl  $p$  (Beispiele)

2-polige Maschine	$p = 1$
4-polige Maschine	$p = 2$
6-polige Maschine	$p = 3$

## Drehstromasynchronmotor und Drehstromsynchronmotor

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow I = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta \Rightarrow I = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta}; P_2 = \eta \cdot P_1$$

$$P_v = P_1 - P_2$$

$$\Rightarrow P_1 = P_v + P_2; P_2 = P_1 - P_v$$

$$P = M \cdot \omega$$

$$\Rightarrow M = \frac{P}{\omega}; \omega = \frac{P}{M}$$

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

$$\Rightarrow M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n};$$

$$n = \frac{P}{M \cdot 2 \cdot \pi}$$

Von Praktikern verwendet:

$$P = \frac{M \cdot n}{9549}$$

$$\Rightarrow M = \frac{P \cdot 9549}{n};$$

$P$  in kW,  $M$  in Nm,  $n$  in  $\frac{1}{\text{min}}$

$$n = \frac{P \cdot 9549}{M}$$

## Drehstromasynchronmotor

$$n_s = \frac{f}{p}$$

$$\Rightarrow p = \frac{f}{n_s}; f = n_s \cdot p$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \%$$

$$\Rightarrow n_s = \frac{n}{1 - \frac{s}{100 \%}}$$

$$f_L = \frac{f \cdot s}{100 \%}$$

$$\Rightarrow s = \frac{f_L \cdot 100 \%}{f}$$

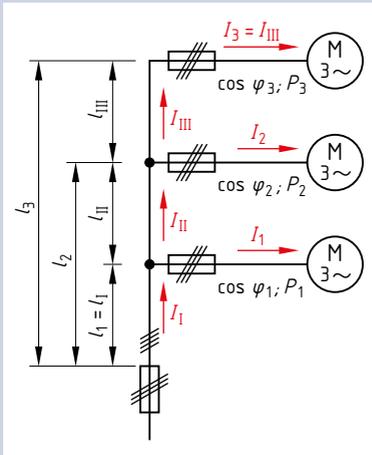
$$f_L = f \cdot \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$\Rightarrow n = n_s \left( 1 - \frac{f_L}{f} \right)$$

## Drehstromsynchronmotor

$$n = n_s$$

### Leitung für Drehstrom (verzweigte Leitung)



$U_1$	Spannung am Leitungsanfang
$U_2$	Spannung am Leitungsende
$\Delta U$	Spannungsfall* in V bis zum Ende der Leitung
$U$	Netz-Nennspannung
$\gamma$	elektrische Leitfähigkeit
$A^{**}$	Leiterquerschnitt
$I_1$	Gesamtstrom im ersten Leitungsabschnitt
$\Sigma^{***}$	Zeichen für Summe
$I_1, I_2 \dots$	Zweigströme
$l_1, l_2 \dots$	Leitungslängen bis zu den Abzweigen
$I_I, I_{II} \dots$	Gesamtströme in den Hauptleitungsabschnitten
$l_I, l_{II} \dots$	Längen der Hauptleitungsabschnitte
$P_1, P_2 \dots$	Zweigleistungen
$P_I, P_{II} \dots$	Gesamtleistungen in den Leitungsabschnitten
$P_v$	Leistungsverlust in W
$P_{v\%}$	Leistungsverlust in %
$\cos \varphi_1, \cos \varphi_2 \dots$	Wirkfaktoren der Zweige
$\cos \varphi_m$	mittlerer Wirkfaktor (geschätzt)
$g$	Gleichzeitigkeitsfaktor

\* Zur Berechnung des maximal zulässigen Spannungsfalls  $\Delta U$  nach DIN 18015 muss in jedem Leitungsabschnitt der Bemessungsstrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung eingesetzt werden.

\*\* Nach DIN 1304 auch  $S$  oder  $q$ .

\*\*\*  $\Sigma$  griech. Großbuchstabe Sigma.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m}{\gamma \cdot A}$$

$$\Rightarrow A = \frac{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m}{\Delta U \cdot \gamma}; \quad \cos \varphi_m = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l)}$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m}{\Delta U \cdot A}$$

$$\Sigma (I \cdot l) = I_I \cdot l_I + I_{II} \cdot l_{II} + \dots = I_1 \cdot l_1 + I_2 \cdot l_2 + \dots$$

$$\Delta U = \frac{\Sigma (P \cdot l)}{\gamma \cdot A \cdot U}$$

$$\Rightarrow A = \frac{\Sigma (P \cdot l)}{\Delta U \cdot \gamma \cdot U}; \quad \gamma = \frac{\Sigma (P \cdot l)}{\Delta U \cdot A \cdot U}; \quad U = \frac{\Sigma (P \cdot l)}{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}$$

$$\Sigma (P \cdot l) = P_I \cdot l_I + P_{II} \cdot l_{II} + \dots = P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + \dots$$

$$P_v = \frac{3 \cdot (I_I^2 \cdot l_I + I_{II}^2 \cdot l_{II} + \dots)}{\gamma \cdot A}$$

$$\Rightarrow (I_I^2 \cdot l_I + I_{II}^2 \cdot l_{II} + \dots) = \frac{P_v \cdot \gamma \cdot A}{3};$$

$$\gamma = \frac{3 \cdot (I_I^2 \cdot l_I + I_{II}^2 \cdot l_{II} + \dots)}{P_v \cdot A};$$

$$A = \frac{3 \cdot (I_I^2 \cdot l_I + I_{II}^2 \cdot l_{II} + \dots)}{P_v \cdot \gamma}$$

$$I_1 = I_I + I_2 + I_3 + \dots$$

$$I_{II} = I_2 + I_3 + \dots$$

$$I_{III} = I_3 + \dots$$

$$P_I = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

$$P_{II} = P_2 + P_3 + \dots$$

$$P_{III} = P_3 + \dots$$

$$P_{v\%} = \frac{P_v \cdot 100\%}{P_1 + P_2 + \dots}$$

$$\Rightarrow P_v = \frac{P_{v\%} \cdot (P_1 + P_2 + \dots)}{100\%}; \quad (P_1 + P_2 + \dots) = \frac{P_v \cdot 100\%}{P_{v\%}}$$

Hauptleitungen beim Gleichzeitigkeitsfaktor  $g$ :

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m \cdot g}{\gamma \cdot A}$$

$$\Rightarrow \Sigma (I \cdot l) = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi_m \cdot g}; \quad \cos \varphi_m = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot g}$$

$$g = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m};$$

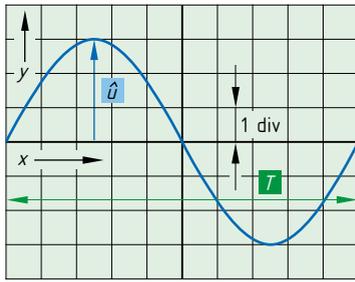
$$\gamma = \frac{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m \cdot g}{\Delta U \cdot A};$$

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \Sigma (I \cdot l) \cdot \cos \varphi_m \cdot g}{\Delta U \cdot \gamma}$$



## 15.3 Messwertbestimmung sinusförmiger Größen mit dem Oszilloskop

## Bestimmen der Spannung, der Periodendauer und der Frequenz



- $x$  waagerechte Ablenkung in div
- $y$  senkrechte Ablenkung in div
- $A_x$  waagerechter Ablenkoeffizient, z. B. in ms/div
- $A_y$  senkrechter Ablenkoeffizient, z. B. in V/div
- $\hat{u}$  Scheitelwert der Spannung
- $U$  Effektivwert der Spannung
- $T$  Periodendauer
- $f$  Frequenz

$$\hat{u} = A_y \cdot y$$

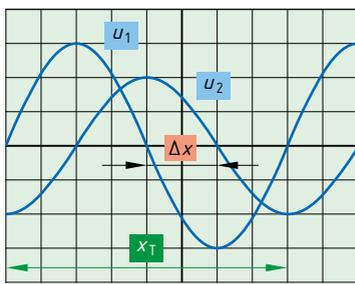
$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \hat{u} = \sqrt{2} \cdot U$$

$$T = A_x \cdot x$$

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

**i** div, Abk. für division (engl.) = Teilung, hier Rastereinheit des Bildschirms

## Bestimmen der Phasenverschiebung zwischen zwei Spannungen



- $\varphi$  Phasenverschiebungswinkel
- $\Delta x$  Phasenverschiebung in div
- $x_T$  Periodendauer in div

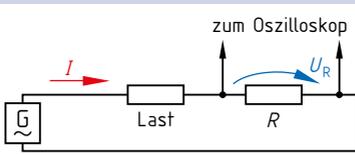
$$\varphi = \frac{\Delta x \cdot 360^\circ}{x_T}$$

Hier, siehe Bild:

$$\varphi = \frac{2 \text{ div} \cdot 360^\circ}{8 \text{ div}} = 90^\circ$$

**i** Die Phasenverschiebung  $\varphi$  wird mithilfe eines Zweikanal-Oszilloskops, welches gleichzeitig zwei Spannungen anzeigt, dargestellt.

## Bestimmen des Stromes



- $R$  Messwiderstand, z. B.  $1 \Omega$
- $\hat{U}_R$  Scheitelwert der Spannung an  $R$
- $\hat{i}$  Scheitelwert des Stromes
- $I$  Effektivwert des Stromes

$$\hat{i} = \frac{\hat{U}_R}{R}$$

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

**i** Zur Bestimmung des Stromes misst man die Spannung an einem bekannten Widerstand, z. B.  $1 \Omega$ . Dann berechnet man den Strom mithilfe des ohmschen Gesetzes.