

# Grundformeln Starkstromtechnik

## Leiterquerschnitt

- bei gegebenem **Strom**  
für Gleichstrom und Einphasen-Wechselstrom  
für Drehstrom
- bei gegebener **Leistung**  
für Gleichstrom und Einphasen-Wechselstrom  
für Drehstrom

$$q = \frac{2 \cdot I \cdot I}{\kappa \cdot U} \quad (\text{mm}^2)$$

$$q = \frac{1,732 \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot I}{\kappa \cdot U} \quad (\text{mm}^2)$$

$$q = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot U \cdot U} \quad (\text{mm}^2)$$

$$q = \frac{I \cdot P}{\kappa \cdot U \cdot U} \quad (\text{mm}^2)$$

## Spannungsabfall

Bei Niederspannungskabelnetzen im Normalbetrieb ist ein Spannungsabfall von 3–5% zu empfehlen.  
Höhere Werte (bis 7%) können nur in Ausnahmefällen, z. B. in Netzausläufern oder im Störungsfall zugelassen werden.

- bei gegebenem **Strom**  
für Gleichstrom  
für Einphasen-Wechselstrom  
für Drehstrom
- bei gegebener **Leistung**  
für Gleichstrom  
für Einphasen-Wechselstrom  
für Drehstrom

$$U = \frac{2 \cdot I \cdot I}{\kappa \cdot q} \quad (V)$$

$$U = \frac{2 \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot I}{\kappa \cdot q} \quad (V)$$

$$U = \frac{1,732 \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot I}{\kappa \cdot q} \quad (V)$$

$$U = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U} \quad (V)$$

$$U = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U} \quad (V)$$

$$U = \frac{I \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U} \quad (V)$$

u = Spannungsabfall (V)  
U = Betriebsspannung (V)  
P = Leistung in Watt (W)  
 $R_w$  = Wirkwiderstand ( $\Omega$ )/km  
L = Induktivität (mH/km)  
 $\omega L$  = induktiver Widerstand ( $\Omega$ )/km ( $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$   
bei 50 Hz = 314)

q = Leitungsquerschnitt ( $\text{mm}^2$ )  
I = Betriebsstrom (A = Ampere)  
l = einfache Länge der Leitungsstrecke in m  
 $\kappa$  (Kappa) = Leitfähigkeit des Leiters ( $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ )  
 $\kappa$ -Cu-Leiter : 58  
 $\kappa$ -Al-Leiter : 33

## Nennspannung

Die Nennspannung wird durch Angaben von zwei Wechselspannungswerten  $U_0/U$  in V ausgedrückt.  
 $U_0/U$  = Leiter-Erd/Leiter-Leiterspannung  
 $U_0$  : Spannung zwischen Leiter und Erde oder metallischer Umhüllung (Schirme, Bewehrung, konzentrischer Leiter)  
U : Spannung zwischen den Außenleitern  
 $U_0$  :  $U/\sqrt{3}$  für Drehstromsysteme  
 $U_0$  :  $U/2$  für Einphasen und Gleichstromsysteme  
 $U_0/U_0$  : Ein Außenleiter geerdet, für Einphasen und Gleichstromsysteme

## Nennstrom

I in (A)

## Wirkstrom

$$I_w = I \cdot \cos \varphi$$

## Blindstrom

$$I_0 = I \cdot \sin \varphi$$

## Scheinleistung (VA)

$$S = U \cdot I$$

$$S = 1,732 \cdot U \cdot I$$

## Wirkleistung (W)

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

$$P = 1,732 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = U \cdot I$$

## Blindleistung (var)

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

$$Q = 1,732 \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

(Voltampere reaktiv)

bei Einphasenstrom  
bei Drehstrom

bei Einphasenstrom  
bei Drehstrom  
bei Gleichstrom

bei Einphasenstrom  
bei Drehstrom  
 $Q = P \cdot \tan \varphi$

## Phasenwinkel

φ ist der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom

$$\cos \varphi = 1,0 \quad 0,9 \quad 0,8 \quad 0,7 \quad 0,6 \quad 0,5$$

$$\sin \varphi = 0 \quad 0,44 \quad 0,6 \quad 0,71 \quad 0,8 \quad 0,87$$

## Isolationswiderstand

$$R_{iso} = \frac{S_{iso}}{l} \cdot \ln \frac{D_a}{d} \cdot 10^{-8} \quad (\text{M}\Omega \cdot \text{km})$$

## Spez. Isolationswiderstand

$$R_s = \frac{R \cdot 2\pi \cdot 1 \cdot 10^8}{\ln \frac{D_a}{d}}$$

$D_a$  = Außen-Ø über Isolierung (mm)

d = Leiter-Ø (mm)

di = Innen-Ø der Isolierung (mm)

l = Länge (m)

$S_{iso}$  = Spez. Widerstand d. Isolierstoffe ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

## Betriebskapazität ( $C_B$ ) für Einleiter, Dreimantel und H-Kabel

$$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{18 \ln \frac{D_a}{r}} \quad (\text{nF}/\text{km})$$

## Induktivität

für Wechselstrom

$$0,4 \cdot (\ln \frac{D_a}{r} + 0,25) \text{ mH}/\text{km}$$

für Drehstrom

$$0,2 \cdot (\ln \frac{D_a}{r} + 0,25) \text{ mH}/\text{km}$$

$D_a$  = Abstand – Leitermitte zu Leitermitte  
bzw. Außen-Ø über Isolierung (mm)

r = Radius des Leiters (mm)

$\xi r$  = relative Dielektrizitätskonstante

0,25 = Faktor für niedrige Frequenzen

## Erdkapazität/Gürtelkabeln

$$E_C = 0,6 \cdot C_B$$

## Ladestrom (nur bei Drehstrom)

$$I_{lad} = U \cdot 2 \pi f \cdot C_B \cdot 10^{-6} \text{ A}/\text{km} \text{ je Ader bei } 50 \text{ Hz}$$

## Ladeleistung

$$P_{lad} = I_{lad} \cdot U$$

## Ableitung und Verlustfaktor

$$G = \tan \delta \cdot \omega C \quad (\text{S})$$

$$\omega = 2 \pi f$$

$$\tan \delta = \frac{G}{\omega C}$$

$$C = \text{Kapazität}$$

$$\tan \delta = \text{Verlustfaktor}$$

$$S = \text{Siemens} = \frac{1}{1 \Omega}$$

## Dielektrische Verluste

$$D_V = U^2 \cdot 2 \pi f \cdot C_B \cdot \tan \delta \cdot 10^{-6} \quad (\text{W}/\text{km})$$

f bei 50 Hz

$\tan \delta$  PE/VPE Kabeln ~0,0005

EPR ~0,005

Papier-Einleiter, Dreimantel, H-Kabel ~0,003

Öl- und Druckkabeln ~0,003

PVC-Kabeln ~0,05

Als Hinweis der Strombelastbarkeiten von isolierten Leitungen des gewählten Leitungsquerschnitts, ist die Strombelastbarkeits-tabelle zu berücksichtigen.

Bei isolierten Leitungen und Kabeln mit größeren Leiterquer-schnitten für Wechsel- und Drehstrom-Freileitungen ist zur Berechnung des Spannungsabfalls neben dem Wirkwiderstand auch der induktive Widerstand der Leiter zu berücksichtigen. Die Berechnungsformel für Einphasen-Wechselstrom:

$$U = 2 \cdot I \cdot (R_w \cdot \cos \varphi + \omega L \cdot \sin \varphi) \cdot 10^{-3} \quad (V)$$

Drehstrom:

$$U = 1,732 \cdot I \cdot (R_w \cdot \cos \varphi + \omega L \cdot \sin \varphi) \cdot 10^{-3} \quad (V)$$