

Grundformeln Starkstromtechnik

Leiterquerschnitt

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

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

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

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

$$q = \frac{1 \cdot P}{\kappa \cdot U \cdot U} \quad (\text{mm}^2)$$

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 Störfall zugelassen werden.

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

$$u = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\kappa \cdot q} \quad (\text{V})$$

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

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

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

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

$$u = \frac{1 \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U} \quad (\text{V})$$

u = Spannungsabfall (V)
 U = Betriebsspannung (V)
 P = Leistung in Watt (W)
 R_w = Wirkwiderstand (Ω/km)
 L = Induktivität (mH/km)
 ωL = induktiver Widerstand (Ω/km) (ω = 2 · π · f bei 50 Hz = 314)

q = Leitungsquerschnitt (mm²)
 I = Betriebsstrom (A = Ampere)
 l = einfache Länge der Leitungsstrecke in m
 κ (Kappa) = Leitfähigkeit des Leiters (m/Ω · mm²)
 κ-Cu-Leiter : 58
 κ-Al-Leiter : 33

Nennspannung

Die Nennspannung wird durch Angaben von zwei Wechselspannungswerten U₀/U in V ausgedrückt.
 U₀/U = Leiter-Erd/Leiter-Leiterspannung
 U₀ : Spannung zwischen Leiter und Erde oder metallischer Umhüllung (Schirme, Bewehrung, konzentrischer Leiter)
 U : Spannung zwischen den Außenleitern
 U₀ : U/√3 für Drehstromsysteme
 U₀ : U/2 für Einphasen und Gleichstromsysteme
 U₀/U₀ : 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)

$$S = U \cdot I$$

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

bei Einphasenstrom
 bei Drehstrom

Wirkleistung (W)

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

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

$$P = U \cdot I$$

bei Einphasenstrom
 bei Drehstrom
 bei Gleichstrom

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
 Q = P · tan φ

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

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

D_a = Außen-Ø über Isolierung (mm)

d = Leiter-Ø (mm)

d_i = Innen-Ø der Isolierung (mm)

l = Länge (m)

S_{iso} = Spez. Widerstand d. Isolierstoffe (Ω · cm)

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

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

Induktivität

für Wechselstrom 0,4 · (ln $\frac{D_a}{r}$ + 0,25) mH/km

für Drehstrom 0,2 · (ln $\frac{D_a}{r}$ + 0,25) mH/km

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

r = Radius des Leiters (mm)

ξ_r = relative Dielektrizitätskonstante

0,25 = Faktor für niedrige Frequenzen

Erdkapazität/Gürtelkabeln

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

Ladestrom (nur bei Drehstrom)

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

Ladeleistung

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

Ableitung und Verlustfaktor

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

$$\omega = 2 \pi f$$

C = Kapazität

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

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

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

Dielektrische Verluste

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

f bei 50 Hz

tan δ 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 Strombelastbarkeitstabelle zu berücksichtigen.

Bei isolierten Leitungen und Kabeln mit größeren Leiterquerschnitten 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:

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

Drehstrom:

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