

Korrekturfaktoren

zur Strombelastbarkeit

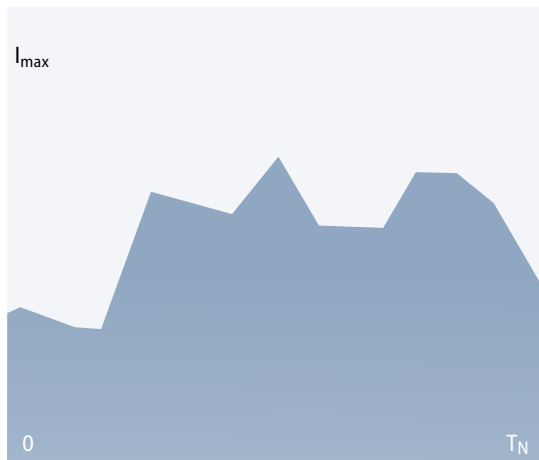
Berechnungsgrundlagen der Datenblätter

- Betriebsart Industrielast (10 h, 100%, 14 h, 60%):
Belastungsgrad $m = 0,767$
- Bodentemperatur 20 °C, spezifischer thermischer Widerstand des Bodens $1 \text{ K} \times \text{m/W}$, Verlegetiefe 1 m
- Lufttemperatur 30 °C, ohne direkte Sonneneinstrahlung
- Bei abweichenden Bedingungen errechnet sich der zulässige Betriebsstrom, wenn alle für den betreffenden Fall anwendbaren Korrekturfaktoren mit dem Stromwert aus der Kabeltabelle multipliziert werden.

Belastungsgrad

Der Belastungsgrad entspricht dem Verhältnis von Tagesablauf-Belastung zu möglicher Dauerlast. Es wird berechnet nach der Formel:

$$m = \frac{1}{24 \times I_{\max}} \times \int_0^{24} I(t) dt$$



$$m = \frac{\text{Fläche unter der Belastungsganglinie}}{\text{Fläche des gesamten Rechtecks}}$$

I_{\max} = Übertragener Strom, welcher im Kabel zu einer Leitertemperatur von 60 °C, bzw. 90 °C führt

T_N = Gewählte Zeitperiode, z. B. 24 Stunden

Korrekturfaktor Belastungsgrad

	Belastungsgrad				
	0,50 m	0,60 m	0,70 m	0,825 m	1,00 m
in Erde	1,11	1,08	1,05	1,00	0,97
in Erde in Rohr	1,07	1,04	1,01	1,00	0,99
in Luft	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Korrekturfaktor spezifischer thermischer Bodenwiderstand

Bodenbeschaffenheit						
Lehmhaltige Erde, Sand	feucht		trocken			
	0,50	0,70	1,00	1,50	2,00	2,50
Schweizer Mittelland (typisch)		feucht		trocken		
Kies						trocken
$K \times m/W$	0,50	0,70	1,00	1,50	2,00	2,50
in Erde	1,18	1,10	1,00	0,88	0,78	0,73
in Erde in Rohr	1,12	1,06	1,00	0,91	0,85	0,80

Korrekturfaktor bei Umgebungstemperatur

in Erde in Rohr	Leitertemperatur	Bodentemperatur			
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
	60 °C	1,12	1,00	0,87	0,71
	90 °C	1,07	1,00	0,92	0,84
in Luft	Leitertemperatur	Lufttemperatur			
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
	60 °C	1,22	1,12	1,00	0,87
	90 °C	1,15	1,09	1,00	0,91

Korrekturfaktor bei parallelen Installationen

Verlegung	Anzahl paralleler Systeme				
	1	2	3	4	5
Verlegung im selben Rohr	1,00	0,84	0,73	0,66	
	1,00	0,90	0,84	0,80	0,76
Verlegung in mehreren parallelen Rohren (Rohrblöcke) mit je 1 Kabelsystem pro Rohr	1,00	0,90	0,84	0,80	0,76
	1,00	0,90	0,84	0,80	0,76
Verlegung parallel in Erde	1,00	0,85	0,75	0,70	0,66
	1,00	0,85	0,75	0,70	0,66
Verlegung parallel in Luft	1,00	0,98	0,96	0,95	0,94
	1,00	0,98	0,96	0,95	0,94

Kabeldimensionierung

Für die Dimensionierung von Kabelanlagen sind folgende Angaben notwendig:

- **Betriebsspannung**
- **Max. Übertragungsleistung oder max. Betriebsstrom**
- **Betriebszyklus bzw. Belastungsdauer**
- **Kurzschluss-Strom und -dauer**
- **Art der Verlegung**
- **Kabellänge**

Vorgehen im Drehstromnetz

Für die einfache Bestimmung praxisgerechter Richtwerte können die folgenden vereinfachten Formeln eingesetzt werden.

1. Bestimmen des Betriebsstroms

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_V} = \frac{\text{kVA}}{\text{kV}} = \text{A}$$

S = Scheinleistung in kVA

U_V = Netzspannung verkettet in kV

2. Bestimmen des Kurzschluss-Stromes

Insbesondere für Mittelspannungsanlagen

$$I_K = \frac{P_K (S_A)^*}{\sqrt{3} \times U_V}$$

P_K = Kurzschlusswechselstromleistung

S_A = Ausschaltleistung des speisenden Schalters

* Wenn die Kurzschlussleistung nicht bekannt ist, kann als Alternative nach dem Abschaltvermögen der speisenden Anlage dimensioniert werden.

3. Bestimmen des Leiterquerschnittes Strombelastbarkeit

- Auswahl des Kabels mit den Strombelastungswerten für 60 °C auf den entsprechenden Katalogseiten.
- Überprüfen und eventuell Anpassen der Auswahl aufgrund besonderer Betriebsbedingungen anhand der Korrekturfaktoren in den folgenden Tabellen
- Die Werte für 90 °C Leitertemperatur sind Grenzwerte und sollten nicht für die Standarddimensionierung verwendet werden.

Kurzschluss-Festigkeit

- Bei Mittelspannung, Kontrolle des Leiterquerschnittes anhand der Tabellen zulässiger Kurzschluss-Strom

4. Bestimmen des Spannungsabfalls

- Bei gegebenem Strom:

$$\Delta u = \frac{I \times \sqrt{3} \times L \times 100 \times (R_{30} \times \cos\varphi + X_L \times \sin\varphi)}{U_V} \text{ in \%}$$

- Bei gegebener Leistung:

$$\Delta u = \frac{P \times L \times (R_{30} \times \cos\varphi + X_L \times \sin\varphi)}{U_V^2 \times \cos\varphi \times 10} \text{ in \%}$$

P = Übertragungsleistung in kW

I = Betriebsstrom in A

L = einfache Länge der Leitung in km

R₃₀ = Wirkwiderstand bei 30 °C in Ω/km

X_L = Reaktanz in Ω/km

U_V = Verkettete Netzspannung in Volt

φ = Phasenwinkel der Last

Bei Niederspannungsanlagen sind 3 ... 5 % vernünftige Werte.

Verteilkabinen zum Anschluss weiterer Leitungen sollen max. 4 % aufweisen.

5. Bestimmen der Wirtschaftlichkeit

Jahreskosten: Die Jahreskosten ergeben sich aus dem Kapitaldienst K_d und den Jahresverlustkosten K_v

K = K_d + K_v

Der Kapitaldienst beträgt

$$K_d = \frac{K_a (T + T_R)}{100} \text{ in CHF / Jahr}$$

K_a = Anschaffungskosten

T_R = Tilgungszuschlag für Wartung/Reparatur ca. 0,5 %

T = Tilgungssatz (Amortisation)

Zins	Tilgungsdauer in Jahren					
	10	15	20	25	30	35
0,00	10,00	6,67	5,00	4,00	3,33	2,86
3,00	11,73	8,38	6,72	5,74	5,10	4,65
3,25	11,83	8,53	6,88	5,90	5,27	4,83
3,50	12,02	8,68	7,04	6,07	5,44	5,00
3,75	12,18	8,84	7,20	6,23	5,61	5,18
4,00	12,33	8,99	7,36	6,40	5,78	5,36
4,25	12,48	9,15	7,52	6,57	5,96	5,54
4,50	12,64	9,31	7,69	6,74	6,14	5,73
4,75	12,80	9,47	7,86	6,92	6,32	5,92
5,00	12,95	9,63	8,02	7,10	6,50	6,11
5,50	13,27	9,96	8,37	7,46	6,88	6,50
6,00	13,59	10,30	8,72	7,82	7,27	6,90
7,00	14,24	10,98	9,44	8,58	8,06	7,72
8,00	14,90	11,68	10,19	9,37	8,88	8,58

Verlustkosten pro Jahr

K_v = L × n × (K_E × T_B × P_V) in CHF / Jahr

L = Leitungslänge in m

n = Anzahl stromführender Adern

K_E = Energiekosten CHF / Wh (kWh/1000)

T_B = Jahresbetriebszeit

P_V = Verlustleistung in W/m

Betriebsart	Belastungsgrad	Stunden/Jahr
EVU	0,70	3000
	0,85	4300
Industrie	0,85	4700
	1,00	6300

Verlustleistung pro Ader

$$P_V = I^2 \times R \quad \text{in VA}$$

R = Wirkwiderstand (siehe Kabeldatenblatt)

Die weiteren Verluste sind derart gering, dass die Rechnung mit dem Wirkwiderstand genügt.

Beispiel

- Kabel 95 mm², Länge 350 m
- Strom 165 A
- EVU-Betrieb mit 70 % Belastung
- Anschaffungskosten CHF 11.830,00
- Amortisation in 20 Jahren, Zins 4,0 %
- Energiekosten CHF 0,12 / kWh

Kapitaldienst

$$K_D = \frac{11830 (7,36 + 0,5)}{100} = 929,85 \text{ CHF / Jahr}$$

Verluste

$$P_V = 165^2 \times 0,225 / 10^3 = 6,125 \text{ W/m}$$

Verlustkosten

$$K_V = 350 \times 3 (0,12 / 10^3 \times 3000 \times 6,125) = \text{CHF } 2315,25$$

Jahreskosten

$$K = 929,85 + 2315,25 = \text{CHF } 3245,10$$

Durch den Vergleich verschiedener Querschnitte kann der Wirtschaftlichste ermittelt werden.

Stromkräfte

Für die Berechnung der elektromagnetischen Auswirkungen des Kurzschluss-Stromes liegen nur wenige geeignete Projektierungsregeln vor. Verseilte Mehrleiterkabel beherrschen die auftretenden Kräfte. 1-Leiterkabel müssen jedoch in kurzen Abständen fixiert werden. Die tangentielle Zugspannung einer die Adern umgebende Hülle (F_{Band}) beträgt:

$$F_B = \beta \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_{KS}^2}{s} \text{ kN/m}$$

β = Faktor für tangenciales Band = 0,5

→ Faktor für radiale Kräfte = 0,866

$$\mu_0 = \text{Induktionskonstante } 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

s = Distanz zwischen den Leitern → Kabel-Ø in mm

I_{KS} = Scheitelwert des Kurzschluss-Stromes

$$= 2,2 \times \text{Kurzschluss-Strom } I_K$$

$$\text{Faktor } 2,2 = 1,8 \times \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \text{Scheitelwert für Drehstromnetze}$$

Tangentiale Stromkraft

Vereinfachte Formel:

$$F_B = \frac{200 \times (2,2 \times I_K)^2}{\text{Kabel-Ø}} \text{ in } \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tangentiale Stromkraft

$$I_K^2 \text{ in kA } \quad \text{Ø in mm}$$

Befestigungsabstand

Die in Versuchen ermittelte zulässige Belastung ergibt einen Faktor. Damit und mit den Werten für den Kurzschluss-Stromscheitelwert und dem Leiterabstand bzw. dem Kabel-Durchmesser lässt sich der maximale Bündelungsabstand ermitteln.

$$L_{\text{Max}} = 280 \times \frac{d^2}{I_{KS}} \text{ in cm}$$

d = Kabel-Ø in cm

I_{KS} = Kurzschluss-Strom-Scheitelwert in kA

Anzahl Lagen mit Befestigungsband 45 BK

Die notwendige Anzahl Lagen ist abhängig von der auftretenden Stromkraft, dem Befestigungsabstand und der Bruchkraft des Befestigungsbandes. Für das Scotch 45 Bk beträgt diese 700 N/cm. Mit den bisherigen Formeln lässt sich errechnen:

$$n = \frac{I_{KS} \times L_{\text{Max}}}{700 \times d \times b} + 1$$

I_{KS} = Kurzschluss-Stromscheitelwert in kA

L_{Max} = Befestigungsabstand in cm

d = Kabel-Ø in cm

b = 1,9 (Breite des Bandes in cm)

Beispiel

- Kabel XDMZ, 1 × 240 / 39 Al, Ø 38 mm
- Kurzschluss-Strom 13,5 kA

Tangentiale Stromkraft

$$F_B = \frac{200 \times (2,2 \times 13,5)^2}{38} = 4,64 \text{ kN/m}$$

Befestigungsabstand

$$L_{\text{Max}} = 280 \times \frac{3,8^2}{(2,2 \times 13,5)} = 136 \text{ cm}$$

Anzahl Lagen des Befestigungsbandes

$$N = \frac{(2,2 \times 13,5)^2 \times 136}{7000 \times 3,8 \times 1,9} + 1 = 3,37 \rightarrow 4 \text{ Lagen}$$

Standarddimensionierung mit EVU-Last



Leistung bei 400 V $\cos \varphi 0.92$	Nennstrom Sicherung NHS	Nennquerschnitt nom. Leiter < 60 °C im Rohrblock	max. Kabellänge		min. Querschnitt	
			$\Delta U < 4\%$	Schutz < 5 s	Leiter $\leq 70\text{ °C}$	Leiter $\leq 90\text{ °C}$
kW	A	mm ²	m	m	mm ²	mm ²
→ 1	→ 2	→ 3	→ 4	→ 5	→ 6	→ 7
40	63	16	100	250	16	10
52	80	25	120	330	16	16
65	100	25	100	260	25	16
80	125	50	150	360	35	25
105	160	70	150	380	50	35
130	200	95	160	400	70	50
145	224	120	180	280	95	70
160	250	150	200	270	120	95
200	315	185	190	250	150	120
230	355	240	200	280	185	150

Ausgangspunkt ist ...

... **entweder** die zu übertragende Wirkleistung → 1

... **oder** die gegebene Vorsicherung, bzw. der Nennstrom für die gegebene Leistung → 2

Bestimmt wird ...

... der Kabelquerschnitt → 3

... die max. Kabellänge für Spannungsabfall < 4 % bei Volllast → 4

... die max. Kabellänge unter Einhaltung der Schutzbestimmungen aus $t_{\text{aus}} < 5\text{ s}$ → 5

Weitere Informationen ohne Berücksichtigung der Nullungsbedingungen

- Nennstrom für die Leistung → 2
- min. Kabelquerschnitt für Normalbetrieb (Leiter $\leq 70\text{ °C}$) → 6
- min. Kabelquerschnitt für Notbetrieb (Leiter $\leq 90\text{ °C}$) → 7