

Querschnittsbemessung von Leitungen und Kabeln - Teil 1

Teil 1 - Querschnittsermittlung nach unterschiedlichen Kriterien

Hinweise zur Querschnittsbemessung von Leitungen und Kabeln

Für die Querschnittsermittlung bei Leitungen und Kabeln sind mehrere Faktoren maßgebend. Der Anwender muss zunächst die für ihn gültigen Bedingungen ermitteln und danach gegebenenfalls mehrere Querschnittsberechnungen nach unterschiedlichen Kriterien und Regelwerken durchführen. Der größte der bei den Berechnungen ermittelten Querschnitte ist dann letztendlich auszuwählen.

Querschnittsermittlung				
nach der mechanischen Festigkeit	nach dem Spannungsfall	nach der gewählten Schutzmaßnahme zur automatischen Abschaltung bei indirektem Berühren	nach der Strombelastbarkeit	nach dem Überlastschutz und Kurzschlussschutz
DIN VDE 0100-520	DIN 18015-1 DIN VDE 0100-520 DIN VDE 0100 Beiblatt 5 DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2 TAB und AVBeltV	DIN VDE 0100 Beiblatt 5 DIN VDE 0100-410	DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2 DIN VDE 0298-4 DIN VDE 0276-603 DIN VDE 0276-1000	DIN VDE 0100 Beiblatt 5 DIN VDE 0100-430

Tabelle 1: Übersicht über die unterschiedlichen Kriterien zur Querschnittsermittlung und die dabei anzuwendenden Regelwerke

Querschnittsermittlung entsprechend der mechanischen Festigkeit

Aus mechanischen Gründen dürfen die in DIN VDE 0100-520 festgelegten Mindestquerschnitte nicht unterschritten werden.

Anwendung	Werkstoff	Mindestquerschnitt
Kabel, Mantelleitungen und Aderleitungen fest verlegt	Cu Al	1,5 mm ² 16 mm ²
Blanke Leiter als Leistungsstromkreis	Cu Al	10 mm ² 16 mm ²
Kabel, Mantelleitungen und Aderleitungen fest verlegt für Melde- und Steuerstromkreise	Cu	0,5 mm ² ^{*1}
Bewegliche Verbindung mit isolierten Leitern allgemein	Cu	0,75 mm ²
Bewegliche Verbindung für Schutz und Funktionskleinspannung	Cu	0,75 mm ²
^{*1} In Melde- und Steuerstromkreisen für elektronische Betriebsmittel ist ein Mindestquerschnitt von 0,1 mm zulässig.		

Tabelle 2: Mindestquerschnitte nach DIN VDE 0100-520 (Auszug aus Tabelle 52J)

Für die Ausrüstung von Industriemaschinen gelten nach DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) andere Mindestquerschnitte.

Querschnittsermittlung entsprechend dem zulässigen Spannungsfall

Für den zulässigen Spannungsfall werden in den unterschiedlichen Regelwerken verschiedene Werte genannt. In den "Allgemeinen Versorgungsbedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden (AVBeltV) ist der Spannungsfall für die Leitungen zwischen Übergabestelle des VNB (meist Hausanschlusskasten) und Messeinrichtung (meist Zählerverteiler) mit 0,5 % festgelegt. Diese 0,5 % werden in der DIN 18015-1 bestätigt. In den "Technischen Anschlussbedingungen (TAB 2000)" werden für größere Anschlussleistungen höhere Werte, z. B. 1,5 % bei einer Leistung von über 400 kVA, als zulässig angesehen.

Für Leitungen von der Messeinrichtung zum Verbraucher nennt die DIN 18015-1 einen zulässigen Spannungsfall von 3 %.

Die DIN VDE 0100-520 legt dagegen 4 % für den gesamten Spannungsfall zwischen der Übergabestelle des VNB bis zum Verbraucher fest.

Mit nachstehenden Formeln kann unter Berücksichtigung des Spannungsfalls der Querschnitt berechnet werden:

Über den Strom berechnet:		Über die Leistung berechnet:	
Leitungen betrieben mit			
Wechselstrom	Drehstrom	Wechselstrom	Drehstrom
$A = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{x \cdot U_v}$	$A = \frac{l \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos \varphi}{x \cdot U_v}$	$A = \frac{2 \cdot l \cdot P}{x \cdot U_v \cdot U}$	$A = \frac{l \cdot P}{x \cdot U_v \cdot U}$

Tabelle 3: Formelübersicht für die Berechnung des Spannungsfalls

Bei Steckdosenstromkreisen und Verteilerzuleitungen ist als Strom immer der Bemessungsstrom der Sicherungen zu berücksichtigen, sonst der Bemessungsstrom des(r) angeschlossenen Verbrauchsmittel(s). Die Berechnungen des Spannungsfalls sollten nicht für jede Leitung durchgeführt werden, sondern nur bei größeren Leitungslängen, z. B. bei mehr als 18 m Leitungslänge für Wechselstromleitungen oder 36 m für Drehstromleitungen mit einem Querschnitt von 1,5 mm². Eine Zeitersparnis bringt die Anwendung von Diagrammen oder Tabellen, z. B. nach DIN VDE 0100 Beiblatt 5 oder DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2. Zu beachten ist, dass hierbei in der Regel Längen für Drehstromleitungen genannt sind. Diese Längen müssen für Wechselstromleitungen halbiert werden.

Leiternennquerschnitt in mm ²	Bemessungsstrom <i>I</i> _r in A	Spannungsfall Δ <i>u</i> in %				
		3	4	5	8	10
		Zulässige Länge <i>l</i> _{max} in m				
1,5	6	95	127	159	254	318
1,5	10	57	76	95	152	190
1,5	16	35	47	59	95	119

Tabelle 4: Querschnitte bzw. zulässige Leitungslängen nach Spannungsfall für Drehstromleitungen (Auszug aus Beiblatt 5 zu DIN VDE 0100)

Querschnittsermittlung entsprechend der gewählten Schutzmaßnahme

Zum Schutz gegen indirektes Berühren (Schutz im Fehlerfall) durch automatisches Abschalten mittels Überstromschutzeinrichtungen in TN- oder TT-Systemen müssen die nachstehenden Abschaltzeiten sichergestellt werden:

- 0,4 s für Steckdosenstromkreise bis 32 A und für fest angeschlossene, ortsveränderliche Betriebsmittel, die während des Betriebes in der Hand gehalten werden sowie
- 5 s für fest angeschlossene, ortsfeste Betriebsmittel und Steckdosenstromkreise über 32 A.

Um diese Zeiten einzuhalten, dürfen die Schleifenimpedanzen (Schleifenwiderstände) in Abhängigkeit von der gewählten Schutzeinrichtung bestimmte Maximalwerte nicht überschreiten. Bei Schutz durch automatische Abschaltung mittels Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ist eine Querschnittsermittlung auf Grundlage der Schutzmaßnahme nicht notwendig! Folgende Bedingung ist zu erfüllen:

$$Z_{Schl} \cdot I_{\Delta N} \leq \frac{U_0}{I_A}$$

Z_{Schl} bzw. R_{Schl} = Schleifenimpedanz bzw. Schleifenwiderstand U_0 = Außenleiterspannung gegen Erde I_A = Abschaltstrom der vor geschalteten Überstromschutzeinrichtung

Die genauen Abschaltströme können der DIN VDE 0100-610 entnommen werden. Für die Praxis kann in ausreichender Genauigkeit mit nachstehenden Faktoren gerechnet werden:

Überstrom-Schutzeinrichtungen	zulässige Abschaltzeit t_A	
	$\leq 0,4 \text{ s}$	$\leq 5 \text{ s}$
Schmelzsicherungen Typ gG	$\leq 50 A = 8 \times I_N$	$\leq 40 A = 5 \times I_N$
Schmelzsicherungen Typ gG	$50 A = 10 \times I_N$	$40 A = 6 \times I_N$
Leitungsschutzschalter Typ B	$5 \times I_N$	$5 \times I_N$
Leitungsschutzschalter Typ C	$10 \times I_N$	$10 \times I_N$

Tabelle 5: Abschaltfaktoren in Anlehnung an DIN VDE 0100-610 Tabelle NA.1

Da bei der Schleifenimpedanz nicht nur der Leitungswiderstand auf der Verbraucherseite, sondern auch der Netz Widerstand zu berücksichtigen ist, muss dieser vor der Querschnittsberechnung ermittelt werden. Dies kann durch eine Messung der Schleifenimpedanz an einem vorhandenen oder benachbarten Zählverteiler oder durch Befragung des Versorgungsnetzbetreibers (VNB) erfolgen.

Beispiel: Eine Schutzkontaktsteckdose soll in 40 m Entfernung vom Zählerverteiler installiert werden und mit einem Leitungsschutzschalter Type C 16 A geschützt werden. Die Netzimpedanz wurde am Zählerverteiler mit 0,7 Ω festgestellt. Welcher Querschnitt ist zu wählen, damit die Abschaltbedingungen erfüllt sind?

Referenzverlegeart	A1	A2	B1	B2
--------------------	----	----	----	----

$$I_A = 10 \cdot I_N = 10 \cdot 16 \text{ A} = 160 \text{ A}$$

$$Z_{Schl} \leq \frac{U_0}{I_A} \leq \frac{230 \text{ V}}{160 \text{ A}} = 1,44 \text{ } \Omega$$

$$R_{Lg} = Z_{Schl} - Z_{Netz} = 1,44 \text{ } \Omega - 0,7 \text{ } \Omega = 0,74 \text{ } \Omega$$

$$A = \frac{2 \cdot l}{\chi \cdot R_{Lg}} = \frac{2 \cdot 40 \text{ m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 0,74 \text{ } \Omega} = 1,94 \text{ mm}^2 \text{ gew. } 2,5 \text{ mm}^2$$

Alternativ können die maximal zulässigen Längen dem Beiblatt 5 zu DIN VDE 0100 oder dem Beiblatt 2 zu DIN VDE 0100-520 entnommen werden.

Querschnittsermittlung entsprechend der Strombelastbarkeit

Die Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln ist abhängig von der

- Art des Materials,
- Verlegeart,
- Umgebungstemperatur und
- Häufung.

Die Basistabellen beziehen sich nach DIN VDE 0298-4 auf eine Umgebungstemperatur von 30 °C bei einer Verlegung in Luft bzw. 20 °C bei einer Verlegung in Erde. Die maximal zulässige Betriebstemperatur am Leiter beträgt z. B. für:

- übliches EPR (Ethylen-Propylen-Gummi) - 60 °C,
- übliches PVC (Polyvinylchlorid) - 70 °C,
- VPE (vernetztes Polyethylen) - 90 °C.

Die nachfolgenden Tabellen enthalten Werte für die Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln in Abhängigkeit von der Verlegeart für eine Umgebungstemperatur von 30 °C und für eine Betriebstemperatur von 70 °C am Leiter. Generell unterscheidet sich die Strombelastbarkeit nach der Anzahl der belasteten Adern und der unterschiedlichen Wärmeabgabe bei den verschiedenen Verlegearten.

Beschreibung	Aderleitungen im Elektro-Installationsrohr in einer wärmegeprägten Wand		Mehradriges Kabel oder mehradrige ummantelte Installationsleitung in einem Elektro-Installationsrohr in einer wärmegeprägten Wand		Aderleitungen im Elektro-Installationsrohr auf einer Wand		Mehradriges Kabel oder mehradrige ummantelte Installationsleitung in einem Elektro-Installationsrohr auf einer Wand	
Anzahl der belasteten Adern	2	3	2	3	2	3	2	3
Nennquerschnitt, Kupferleitung in mm ²	Belastbarkeit in A							
1,5	15,5	13,5	15,5	13	17,5	15,5	16,5	15
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20
4	26	24	25	23	32	28	30	27

Tabelle 6: Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln (Auszug aus DIN VDE 0298-4, Tabelle 3)

Referenzverlegeart	C		E		F			G	
Beschreibung	Ein- oder mehradriges Kabel oder ein- oder mehradrige ummantelte Installationsleitung auf der Wand oder unter Putz		Mehradriges Kabel mit Abstand von mindestens 0,3 x Durchmesser zur Wand		Einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 x Durchmesser (D) zur Wand				
					mit Berührung			mit Abstand D zu einander	
Anzahl der belasteten Adern	2	3	2	3	2	3			
Nennquerschnitt, Kupferleiter in mm ²	Belastbarkeit in A								
25	112	96	119	101	131	114	110	146	130
35	138	119	148	126	162	143	137	181	162
50	168	144	180	153	196	174	167	219	197

Tabelle 7: Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln (Auszug aus DIN VDE 0298-4, Tabellen 3 und 4)

Beispiel: Wie hoch darf eine Drehstromleitung vom Typ NYM 5 x 1,5 mm² belastet werden?

- a) Bei Verlegung in wärmedämmender Wand, Verlegeart A2; 3 belastete Adern = 13 A
b) Bei Verlegung in einem Elektroinstallationskanal, Verlegeart B2; 3 belastete Adern = 15 A

Abweichende Umgebungstemperaturen

Bei erhöhten Umgebungstemperaturen (über 30 °C) würde bei andauerndem Vollastbetrieb eine Leitertemperatur erreicht werden, die auf Dauer für die Isolation schädlich ist. Deshalb muss bei erhöhten Umgebungstemperaturen die Strombelastung gesenkt oder der Querschnitt entsprechend erhöht werden. Bei niedrigeren Temperaturen verbessert sich die Wärmeabfuhr und so können die Leitungen und Kabel höher belastet werden, z. B. PVC-isolierte Leitungen bei 25 °C um 6 % (Faktor 1,06).

Isolierwerkstoff	NR/SR	PVC
zulässige Betriebstemperatur	60 °C	70 °C
Umgebungstemperatur in °C	Umrechnungsfaktoren	
25	1,08	1,06

30	1,00	1,00
35	0,91	0,94
40	0,82	0,87

Tabelle 8: Umrechnungsfaktoren für von 30 °C abweichende Umgebungstemperaturen (Auszug aus DIN VDE 0298-4, Tabelle 17)

Häufung von Leitungen und Kabeln

Werden mehrere Leitungen oder Kabel zusammen verlegt, so ergibt sich eine gegenseitige Erwärmung. Um Isolationsschäden oder gar Brände zu vermeiden, muss mit Reduktionsfaktoren die Belastung gesenkt oder der Querschnitt entsprechend erhöht werden. Wenn bei Leitungen und Kabeln die tatsächliche Belastung kleiner ist als 30 %, z. B. in Steuerstromkreisen, brauchen diese bei der Häufung nicht berücksichtigt werden.

Anordnung					Anzahl der Stromkreise aus einadrigen Leitungen oder Anzahl der mehradrigen Leitungen					
					1	2	3	4	5	6
Gebündelt direkt auf der Wand, dem Fußboden, im Elektroinstallationsrohr oder -kanal, auf oder in der Wand					1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57

Tabelle 9: Reduktionsfaktoren für Häufung (Auszug aus DIN VDE 0298-4, Tabelle 21)

Beispiel: In einem Elektroinstallationskanal liegen 5 Leitungen NYM 5 x 1,5 mm². Die Umgebungstemperatur beträgt 40 °C. Mit welchem Strom dürfen die Leitungen belastet werden?

f_D lt. Tabelle 8 = 0,87 (PVC); f_H lt. Tabelle 9 = 0,60

Verlegeart B2; 3 bel. Adern

I_z lt. Tabelle 6 = 15 A

$$I_{Z_{\text{eff}}} = I_{Z30} \cdot f_D \cdot f_H = 15 \text{ A} \cdot 0,87 \cdot 0,6 = 7,83 \text{ A}$$