

Querschnittsbemessung für Kabel- und Leitungsanlagen (3A)

ELEKTROINSTALLATION Nach dem in den ersten Teilen der Beitragsserie die Bemessung der Leiterquerschnitte nach der mechanischen Festigkeit und dem Schutz gegen elektrischen Schlag im Vordergrund standen, wird in diesem Teil auf die Querschnittsbemessung nach dem zulässigen Spannungsfall eingegangen.

HINWEIS DER REDAKTION

Sehr geehrte Leserinnen und Leser, durch ein Versehen wurde der vorliegende Teil der Serie »Querschnittsbemessung für Kabel- und Leitungsanlagen« leider nicht abgedruckt. Wir holen das an dieser Stelle nach. Inhaltlich gehört dieser Teil zwischen die Folgen 3 (»de« 10.2012) und 4 (»de« 11.2012). Wir entschuldigen uns für etwaige Unannehmlichkeiten.

Die Redaktion »de«

Für den störungsfreien Betrieb von elektrischen Betriebsmitteln ist eine Spannungsversorgung notwendig, bei der die Maximal- und Minimalwerte innerhalb bestimmter Grenzen liegen. In der Regel sind die Betriebs- und Verbrauchsmittel entsprechend den Herstellerbestimmungen so ausgelegt, dass deren einwandfreie Funktion bei Spannungsabweichungen von $\pm 10\%$ und mehr, bezogen auf die Nennspannung, noch einwandfrei funktionieren.

Damit an den Betriebs- und Verbrauchsmitteln immer eine ausreichende Spannung zur Verfügung steht sind für den Span-

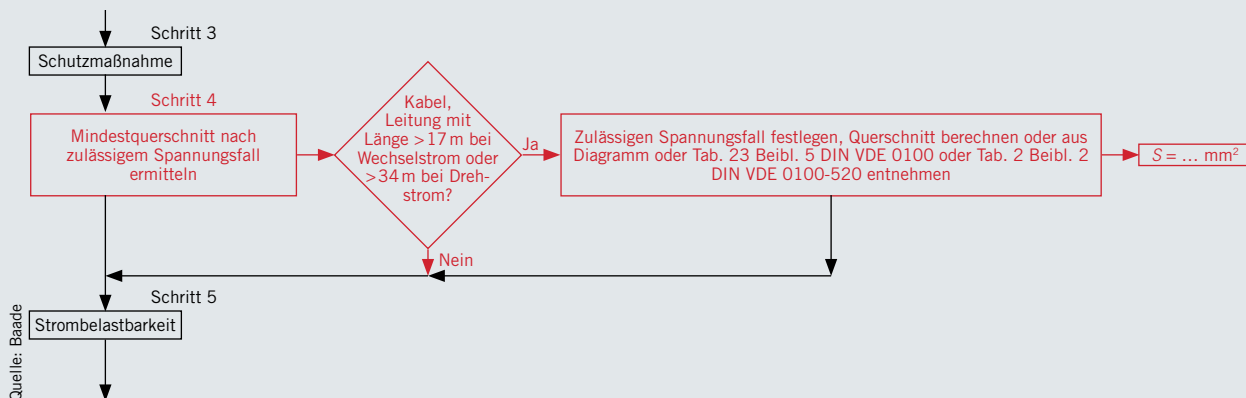


Bild 8: Details zum Schritt 4 aus dem Flussdiagramm in Bild 3 »de« 8.2012, S. 114

SPANNUNGSFALL

Art der Anlage oder des/der Betriebsmittel		Regelwerk	max. zulässiger Spannungsfall Δ_U
Hauptstromversorgungssysteme	bis 100kVA	TAB, Abschnitt 6.2.5	0,5%
	über 100kVA bis 250kVA		1%
	über 250kVA bis 400kVA		1,25%
	über 400kVA		1,5%
Elektrische Anlagen vom Hausanschluss bis zum Anschluss der Verbrauchsmittel	Beleuchtungs- und Steckdosenstromkreise, Verbrauchsmittel mit separatem Stromkreis	DIN VDE 0100-520, Abschnitt 525	4%
Elektrische Anlagen von der Messeinrichtung bis zum Anschluss der Verbrauchsmittel	Beleuchtungs- und Steckdosenstromkreise, Verbrauchsmittel mit separatem Stromkreis	DIN 18015-1, Abschnitt 5.2.1	3%
Kleinspannungs-Beleuchtungsanlagen	Stromkreise von der Stromquelle bis zur am weitesten entfernten Leuchte	DIN VDE 0100-715, Abschnitt 715.525	5%

Hinweise: Für die Berechnung des Spannungsfalls bzw. des erforderlichen Querschnitts muss in Steckdosen- und Verteilerstromkreisen der Bemessungsstrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung zu Grunde gelegt werden. Bei Endstromkreisen mit fest angeschlossenen Verbrauchsmitteln, wie z. B. bei Warmwasserbereitern oder Motoren, kann die Bemessungsleistung oder der Bemessungsstrom des Verbrauchsmittels für die Querschnittsbestimmung herangezogen werden.

Tabelle 5: Maximal zulässiger Spannungsfall in % in Abhängigkeit von der Art der Anlagen bzw. der Betriebs- und Verbrauchsmittel nach verschiedenen Regelwerken

FORMELN

Einphasen-Wechselstromkreise		Drehstromkreise	
bei bekanntem Strom	bei bekannter Leistung	bei bekanntem Strom	bei bekannter Leistung
$S = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \cos \phi}{\kappa \cdot U_V}$	$S = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot U_V \cdot U}$	$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \cos \phi}{\kappa \cdot U_V}$	$S = \frac{I \cdot P}{\kappa \cdot U_V \cdot U}$

- S Leiterquerschnitt in mm²
- l Leitungslänge in m
- l Bemessungsstrom der Überstrom-Schutzeinrichtung oder des fest angeschlossenen Verbrauchsmittels
- U_V Spannungsfall in V
- U Nennspannung in V
- P Bemessungsleistung in W
- κ spezifischer Leitwert des Leitungsmaterials, z. B. 56 m/Ω x mm² für Kupfer
- cosφ Leistungsfaktor

Hinweis: Die Formeln sind nach Abschnitt 4.2 DIN VDE 0100 Beiblatt 5 nur für Querschnitte S ≤ 16 mm² anwendbar. Für genaue Ergebnisse muss bei größeren Querschnitten zusätzlich der induktive Widerstand der Leiter berücksichtigt werden.

Tabelle 6: Formeln zur Berechnung des Spannungsfalls bzw. des erforderlichen Querschnitts

nungsfall innerhalb von elektrischen Anlagen maximal zulässige, zum Teil voneinander abweichende Werte in verschiedenen Regelwerken festgelegt.

Daneben kommt der Begrenzung des Spannungsfalls jedoch auch eine wirtschaftliche Bedeutung zu, weil jeder Spannungsfall an einem Leiter auch einen vom Strom abhängigen Leistungsverlust zur Folge hat.

Beispiel 6

Wie groß ist der Leistungsverlust an der Zuleitung für eine Wechselstromsteckdose, die bei einer Nennspannung von 230V und einem Spannungsfall von 3% mit einem Strom von I = 16A betrieben wird?

$$U_V = \frac{\Delta_U \cdot U}{100\%} = \frac{3\% \cdot 230V}{100\%} = 6,9V$$

$$P_{VLeit} = U_V \cdot I = 6,9V \cdot 16A = 110,4W$$

Beispiel 7

a) Wie groß ist der Leistungsverlust an einer Drehstromleitung, die bei einer Nennspannung von 230/400V und einem Spannungsfall von 3% mit einem Strom von I = 32A betrieben wird?

$$U_V = \frac{\Delta_U \cdot U}{100\%} = \frac{3\% \cdot 400V}{100\%} = 12V$$

$$P_{VLeit} = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I = \sqrt{3} \cdot 12V \cdot 32A = 665W$$

b) Welche Kosten verursachen die Leistungsverluste an der vorstehenden Drehstromleitung, wenn diese ca. 2000h pro Jahr betrieben wird und die Energiekosten mit k = 0,23€/kWh angegeben werden?

$$W_{Jahr} = P_{VLeit} \cdot t = 665W \cdot \frac{2000h}{Jahr} = 1330 \frac{kWh}{Jahr}$$

$$K = W_{\text{Jahr}} \cdot k = 1330 \frac{\text{kWh}}{\text{Jahr}} \cdot 0,23 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 305,90 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}$$

Die Beispiele 6 und 7 zeigen, dass die in einer elektrischen Anlage an den Leitungen und Kabeln auftretenden Leistungsverluste eine nicht unerhebliche Größenordnung erreichen können. Durch einen geringeren Spannungsfall, d. h. durch eine angemessene Vergrößerung der Leiterquerschnitte, bietet sich hier eine einfache Möglichkeit zur Energieeinsparung und Reduzierung der Kosten, die es nur zu nutzen gilt.

Schritt 4: Ermittlung des Querschnitts nach zulässigem Spannungsfall

Bei der Querschnittsbemessung nach zulässigem Spannungsfall ist zunächst festzustellen, ob die einfache Länge des Kabels oder

der Leitung bei Wechselstrom $\geq 17\text{m}$ oder bei Drehstrom $\geq 34\text{m}$ ist (**Bild 8**). Bei diesen Längen kann davon ausgegangen werden, dass ein Spannungsfall von 3 % eingehalten ist, wenn ein Leiterquerschnitt entsprechend der zulässigen Strombelastbarkeit gewählt wurde. Dieses gilt nicht für die Bemessung von Hauptstromversorgungssystemen, für die ein geringerer Spannungsfall gilt.

Die zum Teil voneinander abweichenden Werte für den maximal zulässigen Spannungsfall können **Tabelle 5** und **Bild 9** entnommen werden.

In Endstromkreisen wird der Leiterquerschnitt, entsprechend dem Abschnitt 5.2.1 der DIN 18015-1, in der Regel für einen zulässigen Spannungsfall von 3 % zwischen der Messeinrichtung und dem Verbrauchsmittel ermittelt. Diese Norm gilt zwar eigentlich nur für elektrische Anlagen in Wohngebäuden, jedoch kommt diese Vorgehensweise der Installationspraxis häufig am nächsten.

Bei einer getrennten Anordnung von Messeinrichtung (Zählerplatz) und Stromkreisverteiler muss zusätzlich der Spannungsfall zwischen dem Zähler und dem Stromkreisverteiler berücksichtigt werden. In den meisten Fällen wird es in der Praxis ausreichen wenn für die Zuleitung von der Messeinrichtung zum Stromkreisverteiler, in Anlehnung an die Hauptstromversorgungssysteme, ein pauschaler Spannungsfall von 0,5 % zugrunde gelegt wird. Für die Endstromkreise zwischen dem Stromkreisverteiler und den Anschlüssen für die Verbrauchsmittel resultiert daraus in solchen Anwendungen ein zulässiger Spannungsfall von 2,5 %.

Bestimmung des Querschnitts bzw. des Spannungsfalls

In Stromkreisen ohne Abzweige kann die Bestimmung des Spannungsfalls bzw. des erforderlichen Querschnitts aufgrund des Spannungsfalls nach den in **Tabelle 6** angegebenen Formeln erfolgen. Verzweigte Stromkreise oder Ringleitungen werden in dieser Beitragsfolge nicht behandelt, um den Umfang nicht zu sprengen.

Neben der individuellen Berechnung kann der Spannungsfall oder notwendige Leiterquerschnitt bzw. die maximal zulässige Länge bei einem bestimmten Querschnitt aus Tabellen (**Tabelle 7**) oder Diagrammen (**Bild 10**) entnommen werden. Beispielsweise können dafür die Tabelle 23 aus DIN VDE 0100 Beiblatt 5 oder die Tabelle 2 aus DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2 genutzt werden.

Von den Tabellen oder Diagrammen abweichende Spannungsfälle, z. B. bei 2,5 % für Endstromkreise an einem Stromkreisverteiler unter pauschaler Berücksichtigung der Verteilerzuleitung mit 0,5 %, können bei der Bestimmung der zulässigen Längen durch Umrechnungsfaktoren berücksichtigt werden (**Tabelle 8**).

Beispiele für die Ermittlung des Querschnitts nach Spannungsfall

Beispiel 8

Für die Zuleitung zu einer Wechselstromsteckdose mit einer Länge von $l = 22\text{m}$ ist der Querschnitt nach dem Spannungsfall zu bestimmen. Der Spannungsfall soll 3 % nicht überschreiten. Die Steckdose wird mit einem Leitungsschutzschalter vom Typ B16A gegen Überlast und Kurzschluss geschützt.

$$U_v = \frac{\Delta_u \cdot U}{100\%} = \frac{3\% \cdot 230\text{V}}{100\%} = 6,9\text{V}$$

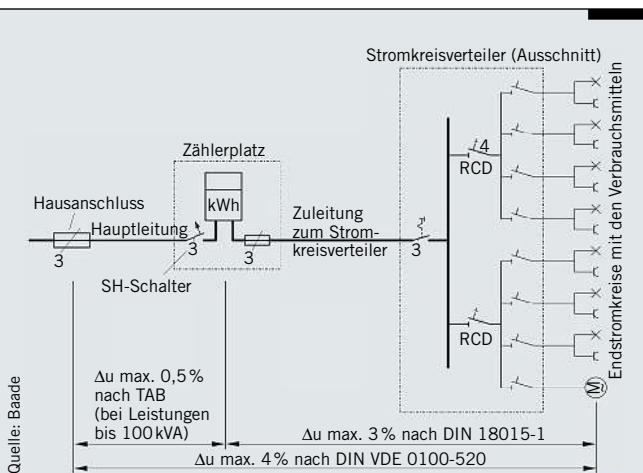


Bild 9: Zuordnung der zulässigen Spannungsfälle nach TAB, DIN 18015-1 und DIN VDE 0100-520 zu den Teilstrecken in einer Verteilanlage vom Hausanschluss bis zu den Verbrauchsmitteln

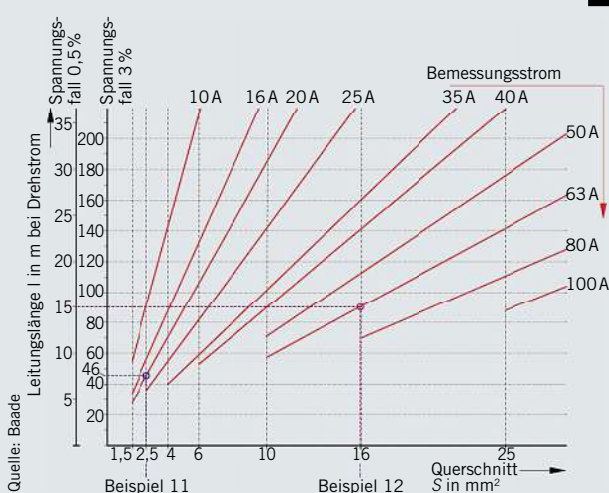


Bild 10: Diagramm zur Ermittlung des Spannungsfalls bzw. der maximal zulässigen Leitungslängen für Kupferkabel und -leitungen in Abhängigkeit vom Querschnitt und vom Bemessungsstrom. Wichtig: Die angegebenen Längen gelten für Drehstromleitungen mit 400V Nennspannung, für Wechselstromleitungen mit 230V Nennspannung müssen die Längen halbiert werden

ZULÄSSIGE LÄNGEN

Querschnitt	Bemessungsstrom	zulässiger Spannungsfall Δ_U		
		3%	4%	5%
1,5 mm ²	10 A	57 m	76 m	95 m
1,5 mm ²	16 A	35 m	47 m	59 m
1,5 mm ²	20 A	28 m	38 m	47 m
2,5 mm ²	16 A	58 m	77 m	97 m
2,5 mm ²	20 A	46 m	62 m	77 m
2,5 mm ²	25 A	37 m	49 m	62 m
4 mm ²	25 A	60 m	81 m	101 m
4 mm ²	32 A	47 m	63 m	79 m
4 mm ²	40 A	37 m	50 m	63 m

Hinweise: Die in Abhängigkeit vom Spannungsfall und vom Bemessungsstrom genannten maximalen Leitungslängen gelten für Drehstromleitungen mit einer Nennspannung von 400V bei einer Frequenz von 50Hz. Für Wechselstromleitungen mit einer Nennspannung von 230V müssen die Leitungslängen halbiert werden.

Tabelle 7: Zulässige Kabel- und Leitungslängen für Kupferkabel und -leitungen in Abhängigkeit vom Querschnitt und vom Bemessungsstrom bei gegebenem Spannungsfall (in Anlehnung an Tabelle 23 aus DIN VDE 0100 Beiblatt 5)

$$S = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot U_V} = \frac{2 \cdot 22 \text{ m} \cdot 16 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 6,9 \text{ V}} = 1,82 \text{ mm}^2$$

gewählt $S = 2,5 \text{ mm}^2$ nach Spannungsfall

Beispiel 9

Für die Drehstromzuleitung für einen Elektroherd mit einer Länge von $l = 14 \text{ m}$ ist der Querschnitt nach dem zulässigen Spannungsfall zu bestimmen. Der Spannungsfall zwischen dem Stromkreisverteiler und dem Herdanschluss soll unter pauschaler Berücksichtigung der Verteilerzuleitung 2,5% nicht überschreiten. Nach Abschnitt 5.2.5 der DIN 18015-1 muss die Herdzuleitung für einen Bemessungsstrom von mindestens $I = 20 \text{ A}$ ausgelegt werden.

$$U_V = \frac{\Delta_U \cdot U}{100\%} = \frac{2,5\% \cdot 400 \text{ V}}{100\%} = 10 \text{ V}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot U_V} = \frac{\sqrt{3} \cdot 14 \text{ m} \cdot 20 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 10 \text{ V}} = 0,87 \text{ mm}^2$$

gewählt $S = 1,0 \text{ mm}^2$ nach Spannungsfall

Achtung: Nach mechanischer Festigkeit ist mindestens

$S = 1,5 \text{ mm}^2$ erforderlich!

Beispiel 10

Im Rahmen eines E-Checks in einem Industriebetrieb ist der vorhandene Querschnitt von $S = 2,5 \text{ mm}^2$ für eine Wechselstromlei-

tung zu einer Steckdose mit einer Länge von 22 m und einem Bemessungsstrom von 16 A nach Tabelle 7 auf Richtigkeit zu prüfen. Der Spannungsfall zwischen Verteiler und Steckdose soll 2,5% nicht überschreiten (unter pauschaler Berücksichtigung der Zuleitung zum Stromkreisverteiler mit 0,5%).

Aus Tabelle 7 ergibt sich für eine Drehstromleitung mit $S = 2,5 \text{ mm}^2$ bei einem Bemessungsstrom von 16 A eine maximale Länge von 58 m bei 3% Spannungsfall. Diese Länge muss für die Wechselstromleitung auf 29 m halbiert werden. Aufgrund des geringeren Spannungsfalls von 2,5% ist zusätzlich der in Tabelle 8 genannte Faktor von 0,83 für die Länge zu berücksichtigen.

$$l_{\text{max}} = l \cdot 0,83 = 29 \text{ m} \cdot 0,83 = 24,1 \text{ m}$$

bei einem Spannungsfall = 2,5 %

Daraus folgt, dass der vorhandene Leitungsquerschnitt mit $S = 2,5 \text{ mm}^2$ bei einer Länge von 22 m ausreicht.

Beispiel 11

Nach dem Diagramm im **Bild 10** ist die maximale Länge für eine Drehstromleitung mit einem Querschnitt von $S = 2,5 \text{ mm}^2$ zu bestimmen, die mit einem Leistungsschutzschalter vom Typ B20A gegen Überlast und Kurzschluss geschützt ist. Der Spannungsfall soll 3% nicht überschreiten. Aus dem Diagramm ergibt sich eine maximale Länge von etwa 46 m.

Beispiel 12

Nach dem Diagramm im Bild 10 ist der Mindestquerschnitt für eine 15 m lange Hauptleitung (Leitung zwischen Hausanschluss und Zählerplatz) mit einem Bemessungsstrom von 63 A zu bestimmen. Der Spannungsfall für Hauptleitungen mit Leistungen bis 100 kVA ist laut TAB auf maximal 0,5% festgelegt.

Aus dem Diagramm ergibt sich ein Querschnitt von fast 16 mm^2 . Gewählt werden muss der nächst größere Normquerschnitt, d. h. mindestens $S = 16 \text{ mm}^2$. **(Fortsetzung folgt)**

UMRECHNUNGSFAKTOREN

Spannungsfall	Faktor
1 %	0,33
1,5 %	0,5
2 %	0,67
2,5 %	0,83
3 %	1,0
4 %	1,33

Tabelle 8: Faktoren für die Umrechnung der Kabel- und Leitungslängen bei Spannungsfällen, die von $\Delta_U = 3\%$ nach DIN 18015-1 abweichen

AUTOR

Werner Baade,
Fachjournalist, Bad Zwischenahn