

www.voltimum.de

ALLES was Sie zum Thema „Querschnittsbemessung“ wissen sollten



ALLES was Sie zum Thema „Querschnittsbemessung“ wissen sollten

Bei der Bemessung der Leiterquerschnitte von Kabeln und Leitungen muss eine Vielzahl von Kriterien berücksichtigt werden. Im nachfolgenden Beitrag wird im Wesentlichen auf Anwendungen und Querschnittsbereiche eingegangen, die für Kabel und Leitungen in Wohngebäuden relevant sind.

Bemessung der Querschnitte von Kabeln und Leitungen in Wohngebäuden

Einige der beschriebenen Verfahren und Kriterien zur Querschnittsbemessung, die wie die Häufung von Kabeln und Leitungen sowie eine erhöhte Umgebungstemperatur in Industrieanwendungen häufig vorkommen, treffen in Wohngebäuden nur relativ selten zu.

In Wohngebäuden wird deshalb häufig auf Erfahrungswerte bei der Querschnittsbemessung zurückgegriffen. Auch wenn solche Werte in den meisten Fällen zutreffend sind, wird es in Einzelfällen unumgänglich sein, eine detaillierte Bemessung der Querschnitte durchzuführen.

Bei der Bemessung und Auswahl der zu verlegenden Leiterquerschnitte müssen im Vordergrund stehen:

- die mechanische Festigkeit der Kabel und Leitungen,
- die Sicherstellung der Funktion der angeschlossenen Verbrauchsmittel durch eine ausreichende Versorgungsspannung,
- die Funktion der angewendeten Schutzmaßnahme und
- der Schutz der Kabel und Leitungen gegen unzulässige Erwärmungen im normalen und anormalen Betrieb (Fehlerfall) zur Sicherstellung des Brandschutzes.

In dem im Bild 1 gezeigten Flussdiagramm werden alle wesentlichen Schritte zur Bemessung von Leiterquerschnitten aufgezeigt. Nach dem im Schritt 1 der Bemessungsstrom festgelegt wurde, sind als nächstes die Querschnitte entsprechend der in den Schritten 2 bis 5 genannten Kriterien zu ermitteln.

Daraus ist im Schritt 6 der größte Querschnitt auszuwählen, bevor in den Schritten 7 und 8 der Überlast- und Kurzschlusschutz geprüft wird. Letztendlich ist im Schritt 9 der für die Verlegung erforderliche Querschnitt festzulegen. Durch Beachten des Flussdiagramms wird sichergestellt, dass bei der Querschnittsbemessung alle Kriterien berücksichtigt werden.

Normen für die Querschnittsermittlung von Kabeln und Leitungen:

- DIN 18015-1 „Elektrische Anlagen in Wohngebäuden - Teil 1: Planungsgrundlagen“
- DIN VDE 0100 Beiblatt 5 (VDE 0100 Beiblatt 5) „Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V - Maximal zulässige Längen von Kabeln und Leitungen unter Berücksichtigung des Schutzes bei indirektem Berühren, des Schutzes bei Kurzschluss und des Spannungsfalls“
- DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410) „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag“
- DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430) „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-43: Schutzmaßnahmen - Schutz bei Überstrom“
- DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520) „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Kapitel 52: Kabel- und Leitungsanlagen“
- DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2 (VDE 0100-520 Beiblatt 2) „Errichten von Niederspannungsanlagen - Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Teil 520: Kabel und Leitungsanlagen - Beiblatt 2: Schutz bei Überlast, Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen, maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen zur Einhaltung des zulässigen Spannungsfalls und der Abschaltzeiten zum Schutz gegen elektrischen Schlag“
- DIN VDE 0276-1000 (VDE 0276-1000) „ Starkstromkabel - Teil 1000: Strombelastbarkeit, Allgemeines, Umrechnungsfaktoren“

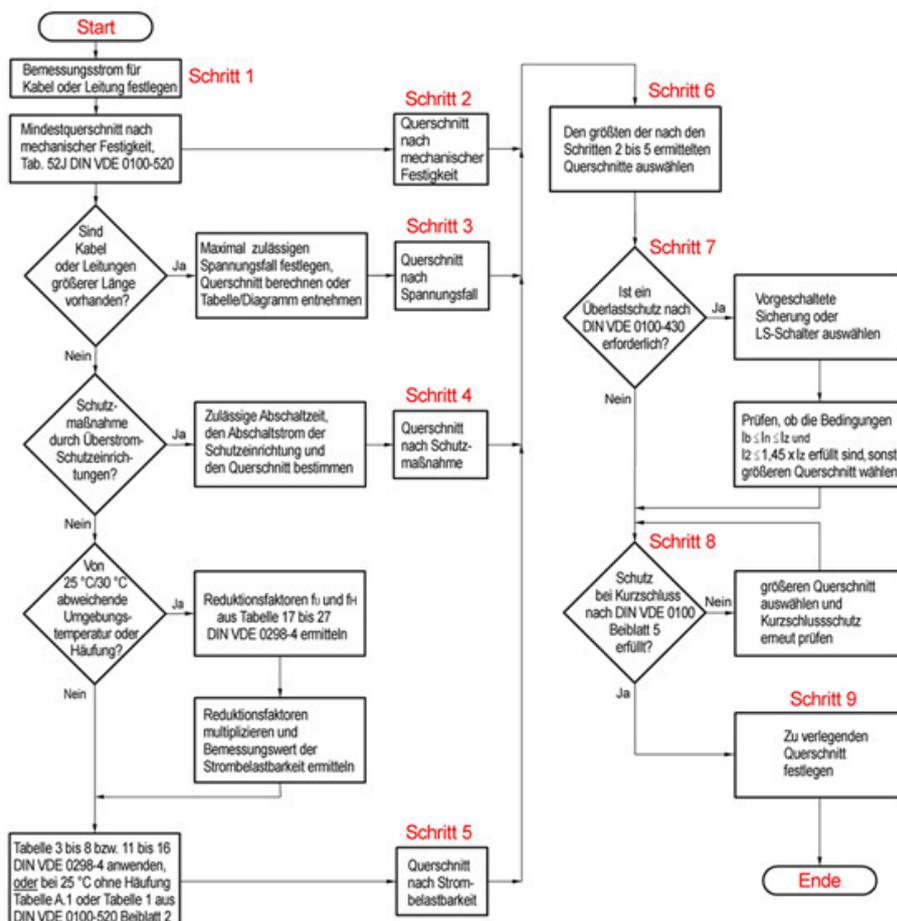


Bild 1: Flussdiagramm mit den wesentlichen Schritten zur Querschnittsbemessung von Kabeln und Leitungen

1. Schritt 1 - Festlegung des Bemessungsstroms für Kabel oder Leitungen

Bei Steckdosenstromkreisen muss der Bemessungsstrom der dem Kabel oder der Leitung vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung für die Querschnittsbemessung zugrunde gelegt werden, weil die angeschlossene Last im Voraus nicht bekannt ist und beliebig gewechselt werden kann.

Bei fest angeschlossenen Verbrauchsmitteln ist es möglich, den auf dem Leistungsschild angegebenen Bemessungsstrom oder den aus der Bemessungsleistung berechneten Strom für die Bemessung der Leiterquerschnitte heranzuziehen. Damit sind häufig, im Gegensatz zur Bemessung nach der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung, geringere Leiterquerschnitte möglich.

Bei Verteilerstromkreisen (Zuleitungen zu Verteilern) gelten die gleichen Kriterien wie bei Steckdosenstromkreisen, d. h. der Bemessungsstrom orientiert sich an der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung.

2. Schritt 2 - Querschnittsbemessung nach mechanischer Festigkeit

Kabel und Leitungen müssen, wie andere Betriebsmittel, den mechanischen Beanspruchungen denen sie bei der Errichtung und im Betrieb ausgesetzt sind, sicher standhalten. Aus diesem Grund sind in Tabelle der DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520) Mindestquerschnitte festgelegt, die nicht unterschritten werden dürfen.

3. Schritt 3 - Querschnittsbemessung nach zulässigem Spannungsfall

In der Regel sind die Betriebs- und Verbrauchsmittel entsprechend den Bestimmungen für die Hersteller so ausgelegt, dass deren einwandfreie Funktion bei Spannungsabweichungen von $\pm 10\%$ und mehr, bezogen auf die Bemessungsspannung, noch einwandfrei funktionieren.

Damit an den Betriebs- und Verbrauchsmitteln immer eine ausreichende Spannung zur Verfügung steht und die Leitungsverluste minimiert werden, sind für den Spannungsfall innerhalb von elektrischen Anlagen maximal zulässige Werte in verschiedenen Regelwerken festgelegt, die zum Teil voneinander abweichen (Tabelle 2 und Bild 2).

In Endstromkreisen von Wohngebäuden wird der Leiterquerschnitt in der Regel bei einem zulässigen Spannungsfall von 3% entsprechend Abschnitt 5.2.1 der DIN 18015-1 ermittelt. Dieses kommt der Installationspraxis am nächsten, weil die Endstromkreise von einem Stromkreisverteiler ausgehen, der im einfachsten Fall, z. B. in Einfamilienhäusern, direkt mit der Messeinrichtung im Zählerschrank kombiniert ist.

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 ausreichend sein, wenn für die Zuleitung vom Zähler zum Stromkreisverteiler, in Anlehnung an die Hauptstromversorgungssysteme, ein pauschaler Spannungsfall von $0,5\%$ zu Grunde gelegt wird. Für die Endstromkreise zwischen dem Stromkreisverteiler und den Anschlüssen für die Verbrauchsmittel resultiert daraus in solchen Anwendungen ein zulässiger Spannungsfall von $2,5\%$.

Art der Anlage oder des/der Betriebsmittel		Regelwerk	max. zulässiger Spannungsfall Δu
Hauptstromversorgungssysteme	bis 100 kVA	TAB, Abschnitt 6.2.5	0,5 %
	über 100 kVA bis 250 kVA		1 %
	über 250 kVA bis 400 kVA		1,25 %
	über 400 kVA		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 vom Zähler 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 2: Maximal zulässiger Spannungsfall in % nach verschiedenen Regelwerken in Abhängigkeit von der Art der Anlagen bzw. der Betriebsmittel

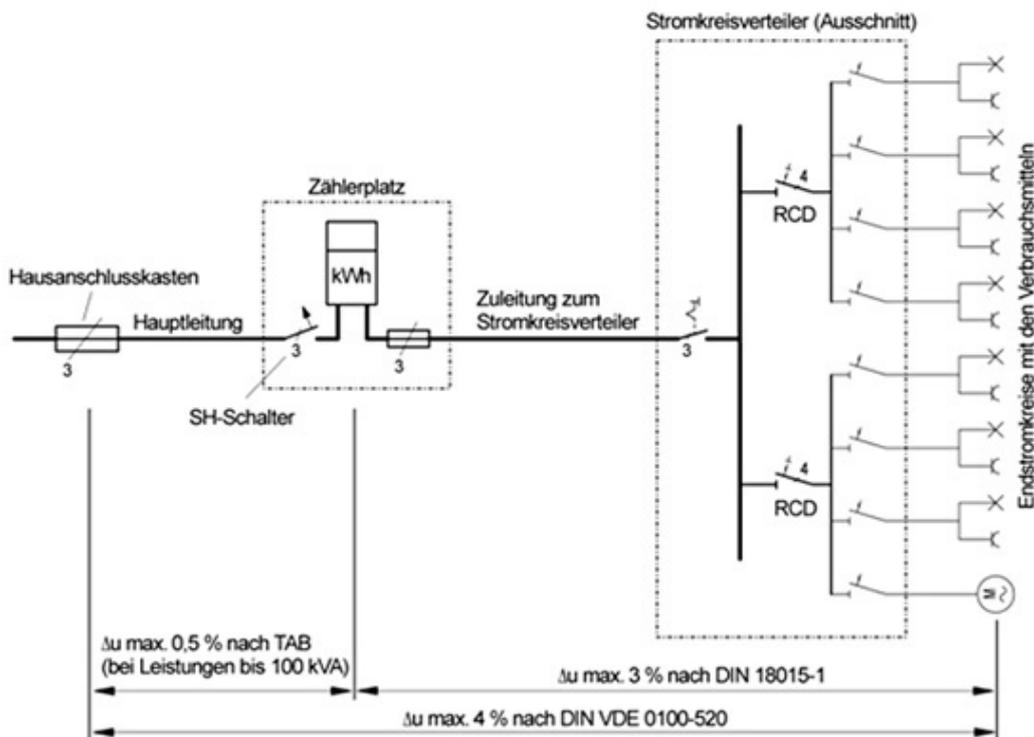


Bild 2: Zuordnung der zulässigen Spannungsfälle nach TAB, DIN 18015-1 und DIN VDE 0100-520 zu den Teilstrecken in einer Verteilungsanlage vom Hausanschlusskasten bis zu den Verbrauchsmitteln

3.1 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 3 angegebenen Formeln erfolgen. Verzweigte Stromkreise werden wegen ihrer geringen Bedeutung in Wohngebäuden nicht behandelt.

Wechselstromkreise		Drehstromkreise	
bei bekanntem Strom	bei bekannter Leistung	bei bekanntem Strom	bei bekannter Leistung
$A = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot U_V}$	$A = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\kappa \cdot U_V \cdot U}$	$A = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot U_V}$	$A = \frac{l \cdot P}{\kappa \cdot U_V \cdot U}$
A Leiterquerschnitt in mm ² l Leitungslänge in m I Bemessungsstrom der Überstrom-Schutzeinrichtung oder des fest angeschlossenen Verbrauchsmittels U _V Spannungsfall in V U Bemessungsspannung in V P Bemessungsleistung in W κ spezifischer Leitwert des Leitungsmaterials, z. B. 56 m/Ω x mm ² für Kupfer cosφ Leistungsfaktor			
Hinweis: Der Leistungsfaktor <u>cosφ</u> kann in Wohngebäuden in der Regel unberücksichtigt bleiben, weil die Stromkreise überwiegend mit ohmscher Last betrieben werden.			

Tabelle 3: Formeln für die Ermittlung des Spannungsfalls bzw. des erforderlichen Querschnitts

Neben der individuellen Berechnung kann der Spannungsfall oder notwendige Leiterquerschnitt bzw. die maximal zulässige Länge bei einem bestimmten Querschnitt aus Tabellen oder Diagrammen 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 (Tabelle 4 und Bild 3).

Querschnitt	Bemessungsstrom	zulässiger Spannungsfall		
		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

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

Tabelle 4: 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)

Von den Tabellen oder Diagrammen abweichende Spannungsfälle, z. B. 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 5).

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

Tabelle 5: Faktoren für die Umrechnung der Kabel- und Leitungslängen bei Spannungsfällen, die von $uV = 3\%$ nach DIN 18015-1 abweichen

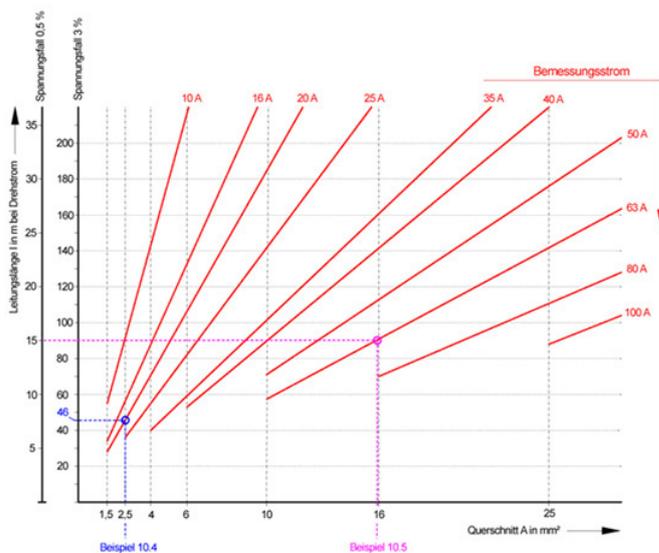


Bild 3: Diagramm zur Ermittlung des Spannungsfalles bzw. der maximal zulässigen Leitungslängen für Kupferkabel und -leitungen in Abhängigkeit vom Querschnitt und vom Bemessungsstrom.

Wichtiger Hinweis: Die angegebenen Längen gelten für Drehstromkreise mit 400 V - für Wechselstromkreise mit 230 V müssen die Längen halbiert werden

3.2 Beispiele für die Querschnittsermittlung aufgrund des Spannungsfall

Beispiel 1:

Für die Zuleitung zu einer Wechselstromsteckdose mit einer Länge von 22 m ist der Querschnitt nach dem Spannungsfall zu bestimmen. Der Spannungsfall soll 3 % nicht überschreiten. Die Steckdose wird mit einem Leitungsschutzschalter vom Typ B16 A gegen Überlast und Kurzschluss geschützt.

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

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot U_V} = \frac{2 \cdot 22 \text{ m} \cdot 16 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 6,9 \text{ V}} = 1,82 \text{ mm}^2 \text{ gewählt } A = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ nach Spannungsfall}$$

Beispiel 2:

Für die Drehstromzuleitung für einen Elektroherd mit einer Länge von 14 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. Die Herdzuleitung muss nach Abschnitt 5.2.5 der DIN 18015-1 für einen Bemessungsstrom von mindestens 20 A ausgelegt werden.

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

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot U_V} = \frac{\sqrt{3} \cdot 14 \text{ m} \cdot 20 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 10 \text{ V}} = 0,87 \text{ mm}^2 \text{ gewählt } A = 1,0 \text{ mm}^2 \text{ nach Spannungsfall}$$

Wichtig : Nach mechanischer Festigkeit ist mindestens $A = 1,5 \text{ mm}^2$ erforderlich!

Beispiel 3:

Im Rahmen eines E-Checks ist nach Tabelle 4 ein vorhandener Querschnitt von $A = 2,5 \text{ mm}^2$ für eine Wechselstromleitung mit einem Bemessungsstrom von 16 A auf Richtigkeit zu prüfen. Die Leitung vom Stromkreisverteiler in der Wohnung eines Mehrfamilienhauses zu der Steckdose für einen Waschautomat hat eine Länge von 18 m. Der Spannungsfall soll entsprechend Kapitel 4.1 einen Wert von 2,5 % (unter pauschaler Berücksichtigung der Zuleitung zum Stromkreisverteiler mit 0,5 %) nicht überschreiten.

Aus Tabelle 4 resultiert für eine Drehstromleitung mit $A = 2,5 \text{ mm}^2$ bei einem Bemessungsstrom von 16 A eine maximale Länge von 58 m bei 3 % Spannungsfall. Diese Länge muss für eine Wechselstromleitung auf 29 m halbiert werden. Zur Berücksichtigung des geringeren zulässigen Spannungsfalls von 2,5 % ist für die Länge zusätzlich der in Tabelle 5 genannte Faktor von 0,83 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 $A = 2,5 \text{ mm}^2$ bei einer Länge von 18 m in Ordnung ist.,

Beispiel 4:

Nach dem Diagramm im Bild 3 ist die maximale Länge für eine Drehstromleitung mit einem Querschnitt von $A = 2,5 \text{ mm}^2$ zu bestimmen, die mit einem Leistungsschutzschalter vom Typ B20 A 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 5:

Nach dem Diagramm im Bild 3 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 $A = 16 \text{ mm}^2$.

4. Schritt 4 - Querschnittsbemessung auf Grundlage der gewählten Schutzmaßnahme

Bei der Schutzmaßnahme „Fehlerschutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“ muss sichergestellt sein, dass bei einem Fehler zwischen einem Außenleiter und dem Körper eines Betriebsmittels oder zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter die Abschaltung innerhalb der maximal zulässigen Abschaltzeit erfolgt. Als Abschaltzeiten sind in 400/230 V-Wechselstromnetzen folgende Maximalwerte einzuhalten:

- **in Endstromkreisen mit einem Nennstrom $\leq 32 \text{ A}$**
 - in TN-Systemen: 0,4 s
 - in TT-Systemen: 0,2 s
- **in Verteiler- und Endstromkreisen mit einem Nennstrom $> 32 \text{ A}$**
 - in TN-Systemen: 5 s
 - in TT-Systemen: 1 s

Während das Einhalten der Abschaltzeiten beim Schutz mittels Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen immer als gegeben angesehen werden kann, darf bei einer Abschaltung durch Überstrom-Schutzeinrichtungen die maximal zulässige Schleifenimpedanz im Fehlerstromkreis nicht überschritten werden (Bild 4).

$$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a}$$

Z_s = Schleifenimpedanz

U_o = Außenleiterspannung gegen Erde

I_a = Abschaltstrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung

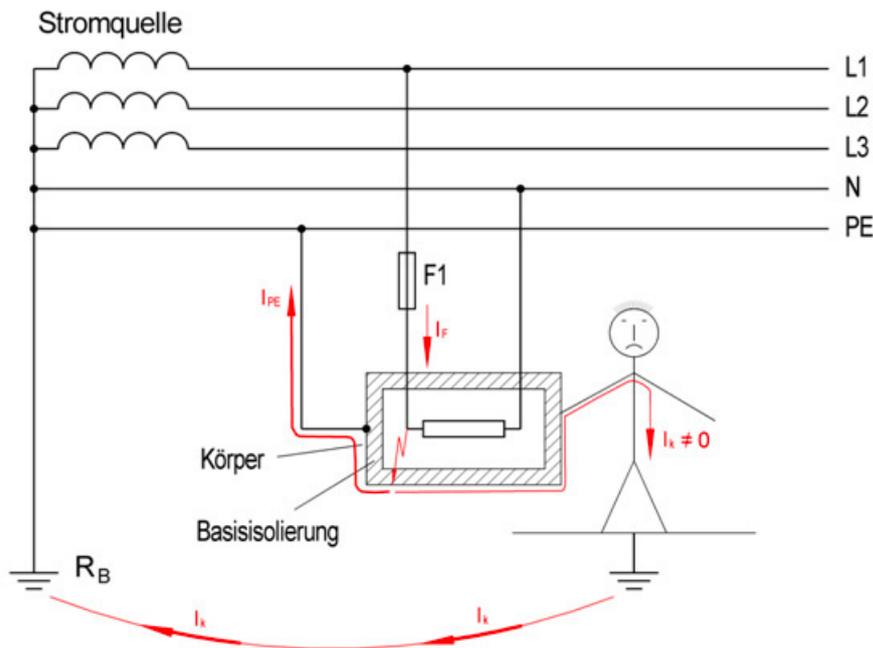


Bild 4: Fehlerschutz in einem TN-S-System durch eine Überstrom-Schutzeinrichtung

Wichtig:

In TT-Systemen werden in Wohngebäuden immer Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zur Sicherstellung des Schutzes durch automatische Abschaltung eingesetzt. Daraus folgt, dass die Schleifenimpedanz bei der Querschnittsbemessung von Kabeln und Leitungen

- im TN-Systemen berücksichtigt werden muss, und
- wenn zur automatischen Abschaltung im Fehlerfall keine Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sondern Überstrom-Schutzeinrichtungen eingesetzt werden.

Die Abschaltströme I_a von Überstrom-Schutzeinrichtungen und die maximal zulässigen Schleifenimpedanzen Z_{Schl} können in Abhängigkeit von den Abschaltzeiten der Tabelle NA.1 aus DIN VDE 0100-600 entnommen werden

5.1 Ermittlung des Querschnitts bzw. der maximal zulässigen Länge nach Schutzmaßnahme
Bei der Querschnittsbemessung von Kabeln und Leitungen bzw. der Bestimmung der maximal zulässigen Längen aufgrund der Schutzmaßnahme muss nicht nur die Leitungsimpedanz Z_{Leit} in den Endstromkreisen zwischen dem Stromkreisverteiler und den Verbrauchsmitteln berücksichtigt werden, sondern ebenso die Impedanz des Netzes Z_{Netz} von der Stromquelle bis zur Messeinrichtung (Zähler) bzw. bis zum Stromkreisverteiler (Bild 5).

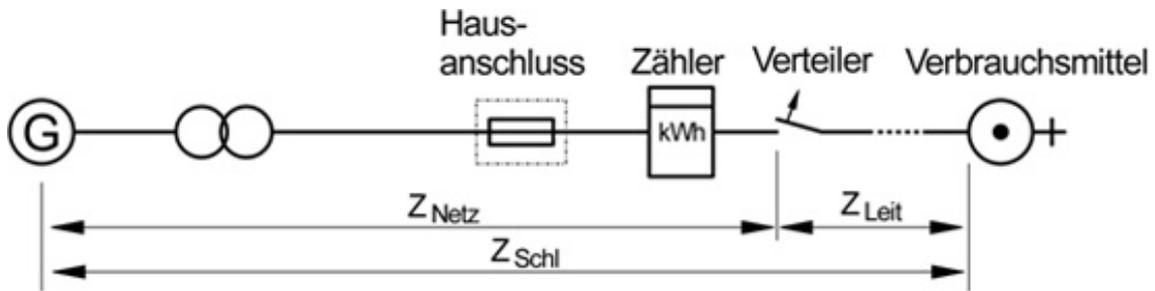


Bild 5: Impedanzen in einem Stromkreis von der Stromquelle (Stromerzeuger) bis zum Verbrauchsmittel

Die Impedanz des Netzes Z_{Netz} kann durch Messungen an der Messeinrichtung bzw. am Verteiler, oder bei noch nicht fertig gestellten Anlagen durch Befragen des Verteilungsnetzbetreibers (VNB) ermittelt werden. Die Netzimpedanz wird in der Regel zwischen 0,1 und 0,8 Ω liegen.

Die zulässige Leitungsimpedanz Z_{Leit} für den Endstromkreis ergibt sich aus der maximal zulässigen Schleifenimpedanz Z_{Schl} des gesamten Stromkreises abzüglich der Impedanz des Netzes Z_{Netz} bis zur Einspeisung des Endstromkreises.

$$Z_{Schl} = Z_{Netz} + Z_{Leit} \qquad Z_{Leit} = Z_{Schl} - Z_{Netz}$$

Die notwendigen Querschnitte bzw. die maximal zulässigen Längen der Kabel und Leitungen können in Abhängigkeit von der Art der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung, der zulässigen Abschaltzeit und der Impedanz des Netzes Z_{Netz} vor der Schutzeinrichtung den Tabellen 3 bis 22 aus Beiblatt 5 zu DIN VDE 0100 entnommen werden (Tabelle 7).

Querschnitt in mm ²	Berechnungsstrom der Schutzein- richtung in A	Mündest- Kurzschlussstrom in A	Netzimpedanz Z_{Netz} vor der Schutzeinrichtung in Ω						
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
maximal zulässige Länge l in m									Beispiel 10.6
Zulässige Kabel- und Leitungslängen für PVC- oder Gummiisolierte Kupferleiter mit Schutz durch Sicherungen der Betriebsklasse gG (Abschaltung in 0,4 s)									
1,5	10	82	86	83	80	77	74	70	67
1,5	16	107	65	62	59	56	53	49	46
1,5	20	145	47	44	41	38	35	31	28
2,5	16	107	106	101	96	91	86	81	76
2,5	20	145	77	72	67	62	57	51	46
2,5	25	180	61	56	51	46	40	35	30
Zulässige Kabel- und Leitungslängen für PVC- oder Gummiisolierte Kupferleiter mit Schutz durch Leitungsschutzschalter Typ B (Abschaltung in 0,4 s oder 5 s)									
1,5	10	50	143	140	137	134	131	128	125
1,5	16	80	88	85	82	79	76	73	70
1,5	20	100	70	67	64	61	57	54	51
2,5	16	80	144	139	134	129	124	119	114
2,5	20	100	114	109	104	99	94	89	84
2,5	25	125	90	85	80	75	70	65	60

Hinweise:
Die angegebenen Längen gelten für eine Nennspannung von 400/230 V und für eine Betriebstemperatur der Leiter von 80 °C beim Kurzschluss.
Bei Leitungsschutzschaltern sind die Längen für die Abschaltzeiten von 0,4 s und 5 s identisch, bedingt durch die Schnellabschaltung innerhalb von 0,1 s.

Tabelle 7: Zulässige Kabel- und Leitungslängen in Abhängigkeit von der Überstrom-Schutzeinrichtung und vom Querschnitt (Auszug aus den Tabellen 4 und 5 aus Beiblatt 5 zu DIN VDE 0100)

Die in Tabelle 7 genannten Werte zeigen, dass bei den üblicherweise in Endstromkreisen von Wohngebäuden vorkommenden Kabel- und Leitungslängen und bei den verwendeten Querschnitten in der Regel keine Probleme beim Schutz gegen den elektrischen Schlag auftreten werden.

5.2 Beispiele für die Ermittlung des Querschnitts auf Grundlage der Schutzmaßnahme

Beispiel 6:

In einer Wohnung wird ein fest angeschlossener Warmwasserbereiter in einem TN-System mit Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtungen betrieben. Als Überstrom-Schutzeinrichtungen werden Leitungsschutzschalter vom Typ B16 A eingesetzt. Für die Impedanz des Netzes bis zum Verteiler wurde ein Wert von $Z_{\text{Netz}} = 0,6 \Omega$ gemessen.

Welche Länge darf die Leitung vom Stromkreisverteiler bis zum Warmwasserbereiter haben, wenn ein Querschnitt von $A = 1,5 \text{ mm}^2$ vorgesehen ist?

Aus Tabelle 7 kann eine maximale Länge von 73 m abgelesen werden.

Beispiel 7:

In einer Wohnung wird eine Wechselstromsteckdose in einem TN-System über eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit einem Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ (Zusatzschutz) betrieben. Die Leitung vom Stromkreisverteiler bis zur Steckdose mit $A = 1,5 \text{ mm}^2$ hat eine Länge von 14 m. Als Überstrom-Schutzeinrichtung wird ein Leitungsschutzschalter vom Typ B16 A eingesetzt und für die Impedanz des Netzes bis zum Verteiler wurde ein Wert von $Z_{\text{Netz}} = 0,6 \Omega$ gemessen.

Ist der Schutz der Steckdose durch automatische Abschaltung im Fehlerfall bei der vorhandenen Leitungslänge sichergestellt? Weil die Steckdose mittels einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung geschützt ist, entfällt die Betrachtung des Querschnitts bzw. der Leitungslänge nach der Schutzmaßnahme. Die automatische Abschaltung ist unabhängig von der Höhe der Schleifenimpedanz sichergestellt.

6. Schritt 5 - Querschnittsbemessung nach der Strombelastbarkeit

Wenn Kabel und Leitungen dauerhaft von einem Strom durchflossen werden, der oberhalb der maximalen Strombelastbarkeit liegt, wird die zulässige Betriebstemperatur am Leiter überschritten. Dieses führt einerseits zu Brandgefahren und andererseits zu nicht reparablen Schäden an der Isolierung.

Die Strombelastbarkeit ist abhängig von:

- der Leitfähigkeit,
- den Werkstoffen der Isolierung und Umhüllung (Wärmebeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit),
- der Verlegeart (Möglichkeit zur Wärmeabgabe),
- der Anzahl der strombelasteten Adern,
- der Umgebungstemperatur und Häufung sowie
- dem Oberschwingungsanteil des Stromes.

Der Oberschwingungsanteil (siehe DIN VDE 0298-4 Anhang B) hat in Wohngebäuden in der Regel keine Bedeutung und wird deshalb in diesem Beitrag nicht weiter berücksichtigt. Unterschieden wird bei der Belastbarkeit zwischen

- der Strombelastbarkeit I_r als Bemessungswert bei vereinbarten, idealisierten Betriebsbedingungen entsprechend den normativen Tabellenwerten, und
- der Strombelastbarkeit I_Z als Bemessungswert entsprechend der Belastung bei den tatsächlich vorhandenen Betriebsbedingungen.

6.1 Verlegearten von Kabeln und Leitungen

Die wichtigsten Verlegearten sind als Referenzverlegearten festgelegt und können unter anderem der Tabelle 9 aus DIN VDE 0298-4 entnommen werden.

Unterschieden wird zwischen folgenden Referenzverlegearten:

- A1 » Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in einer wärmeisolierten Wand oder Decke.
- A2 » Mehradrige Kabel oder mehradrige ummantelte Installationsleitung in einem Elektroinstallationsrohr in einer wärmeisolierten Wand oder Decke.
- B1 » Aderleitungen in einem Elektroinstallationsrohr in oder auf einer Wand.
- B2 » Mehradrige Kabel oder mehradrige ummantelte Installationsleitung in einem Elektroinstallationsrohr oder -kanal in oder auf einer Wand.
- C » Ein- oder mehradrige Kabel oder ein- oder mehradrige ummantelte Installationsleitung auf einer Wand, direkt im Mauerwerk, im Beton oder im und unter Putz.
- D » Mehradrige Kabel im Elektroinstallationsrohr oder Kabelschacht im Erdboden.

Die Referenzverlegearten E, F und G werden in Wohngebäuden nur selten, z. B. bei Kabelpritschen, angewandt und deshalb hier nicht weiter behandelt.

Achtung:

Treffen auf Kabel oder Leitungen mehrere Verlegebedingungen zu, weil diese z. B. teilweise im Mauerwerk (Verlegeart C) und zum anderen Teil innerhalb einer wärmeisolierten Wand (Verlegeart A2) verlegt sind, müssen für die Querschnittsbemessung bzw. für die Strombelastbarkeit immer die ungünstigsten Betriebsbedingungen zugrunde gelegt werden.

6.2 Querschnittsbemessung nach Strombelastbarkeit bei normalen Betriebsbedingungen

- „Normale“ Betriebsbedingungen liegen vor, wenn
- die Kabel oder Leitungen einzeln verlegt sind,
- die Umgebungstemperatur nicht von 30 °C oder 25 °C bzw. 20 °C bei Erdverlegung abweicht und
- nicht mehr als 2 (Wechselstromkreise) oder 3 Leitungsadern (Drehstromkreise) belastet sind.

Von drei belasteten Leitungsadern ist in Drehstromkreisen in der Regel auch bei 4-Leiter-Systemen mit N-Leiter auszugehen. Bei symmetrischer Belastung der Außenleiter fließt im N-Leiter kein Strom - bei unsymmetrischer Belastung fließt im N-Leiter nur der Ausgleichsstrom, der in einem der Außenleiter fehlt. Dieses gilt in gleicher Weise für Drehstromsysteme mit PEN-Leiter. Ausnahmen gelten für eine Belastung mit Oberschwingungsströmen.

Der Schutzleiter (PE) ist immer als unbelastet anzusehen, weil er nur im Fehlerfall kurzzeitig Strom führt.

Bei normalen Betriebsbedingungen, d. h. keine abweichende Umgebungstemperatur und keine Häufung, sind die Strombelastbarkeiten I_r und I_Z identisch.

Referenzverlegeart	Verlegung in wärmege-dämmter Wand/Decke				Verlegung in Elektroinstalla-tionsrohren oder -kanälen auf oder in einer Wand				Verlegung auf oder in einer Wand		Verlegung in Rohr/Schacht in Erde	
	A1		A2		B1		B2		C		D	
Belastete Adern	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Querschnitt Cu in mm ²	Strombelastbarkeit in A											
1,5	15,5	13,5	15,5	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	18,5	15,5
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	25	21
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	32	27
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	40	34
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	54	45
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	69	59

Die angegebene Strombelastbarkeit gilt bei den Verlegearten A1, A2, B1, B2 und C für 30 °C Umgebungstemperatur, bei der Verlegeart D für 20 °C Umgebungstemperatur. Bei einer direkten Verlegung von Kabeln im Erdreich können die für die Verlegeart D genannten Werte für die Strombelastbarkeit mit dem Faktor 1,17 multipliziert werden.

Tabelle 8: Belastbarkeit von PVC-isolierten Kabeln und Leitungen mit einer zulässigen Leitertemperatur von 70 °C für feste Verlegung in und an Gebäuden

Eine Besonderheit stellt die Tabelle 1 aus DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2 dar, die ebenfalls für eine Umgebungstemperatur von 25 °C gilt. In dieser Tabelle werden keine Werte für die Strombelastbarkeit genannt, sondern der maximal zulässige Bemessungsstrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtungen (Tabelle 10). Voraussetzung ist, dass die Bedingungen für den großen Prüfstrom $I_2 \leq 1,45 \times I_Z$ erfüllt sind.

Referenzverlegeart	Verlegung in wärmege- dämmter Wand/Decke				Verlegung in Elektroinstalla- tionsrohren oder -kanälen auf oder in der Wand				Verlegung auf oder in einer Wand		Verlegung in direkt im Erdreich	
	A1		A2		B1		B2		C		D	
Belastete Adern	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Querschnitt Cu in mm ²	Zulässiger Bemessungsstrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung in A											
1,5	16	13	16	13	16	16	16	16	20	16	20	16
2,5	20	16	16	16	25	20	20	20	25	25	25	20
4	25	25	25	20	32	25	32	25	35	35	35	25
6	35	32	32	25	40	35	40	35	40	40	40	40
10	40	40	40	40	50	50	50	50	63	63	63	50
16	63	50	50	50	80	63	63	63	80	80	80	63
Die angegebenen Bemessungsströme gelten bei den Verlegearten A1, A2, B1, B2 und C für 25 °C Um- gebungstemperatur, bei der Verlegeart D für 20 °C Umgebungstemperatur												

Tabelle 10: Belastbarkeit von PVC-isolierten Kabeln und Leitungen mit einer zulässigen Leitertemperatur von 70 °C für feste Verlegung in und an Gebäuden

6.3 Beispiele für die Querschnittsbemessung unter Normalbedingungen

Beispiel 8:

In einem Wohngebäude in Holzrahmenbauweise soll die Zuleitung für einen Elektroherd einzeln als NYM-Leitung innerhalb einer wärmegeämmten Wand verlegt werden. Die Herdzuleitung muss nach Abschnitt 5.2.5 der DIN 18015-1 als Drehstromleitung für einen Bemessungsstrom von mindestens 20 A ausgelegt werden.

Die Verlegung der mehradrigen NYM-Leitung in einer wärmegeämmten Wand entspricht der Verlegeart A2. Für Wohngebäude kann in Deutschland eine Umgebungstemperatur von 25 °C zugrunde gelegt werden, so dass zur Festlegung des Querschnitts die Tabelle 9 oder 10 angewendet werden kann.

Nach Tabelle 9 ergibt sich bei der Verlegeart A2 und drei belasteten Adern für die nächst größere Strombelastbarkeit von $I_Z = 24$ A ein Querschnitt von $A = 4$ mm².

Nach Tabelle 10 ergibt sich bei einem Bemessungsstrom der Überstrom-Schutzeinrichtung von 20 A ebenfalls ein Querschnitt von $A = 4$ mm².

Beispiel 10.9:

Für einen Stromkreis mit einer Wechselstromsteckdose für einen Waschautomat wird eine 3ad-rige NYM-Leitung einzeln, zum Teil direkt in einer wärmegeämmten Wand verlegt (Verlegeart A2), und zum anderen Teil in ein in der Betondecke verlegtes Elektroinstallationsrohr eingezogen (Verlegeart B2).

Bei einer vorgesehenen Absicherung des Stromkreises mit einem Leitungsschutzschalter vom Typ B16A, zwei belasteten Adern und unter Berücksichtigung der ungünstigsten Verlegebedingung A2 innerhalb der wärmegeämmten Wand muss dafür nach den Tabellen 9 oder 10 ein Mindestquerschnitt von $A = 1,5$ mm² vorgesehen werden.

6.4 Querschnittsbemessung nach Strombelastbarkeit bei vom Normalfall abweichenden Betriebsbedingungen

Vom Normalfall abweichende Betriebsbedingungen liegen vor, wenn

- eine von 25 °C bzw. 30 °C abweichende Umgebungstemperatur zu erwarten ist und/oder
- mehrere Kabel und Leitungen gemeinsam in einem Rohr, Kanal oder Mauerschlitze verlegt sind, so dass diese sich gegenseitig berühren oder ein Abstand vom zweifachen Außendurchmesser unterschritten ist.

Bei den vorstehend genannten Betriebsbedingungen wird die Wärmeabgabe der Kabel und Leitungen verschlechtert. Daraus folgt, dass die Strombelastbarkeit reduziert oder der Querschnitt bei gleicher Belastung vergrößert werden muss. Die entsprechenden Reduktionsfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen sind den Tabellen 17 - 19 und für Häufungen den Tabellen 21 - 25 der DIN VDE 0298-4 zu entnehmen (Tabellen 11 und 12).

Bei geringeren Umgebungstemperaturen als 25 °C kann die Strombelastbarkeit erhöht werden. Davon sollte in der Praxis jedoch nur im Ausnahmefall Gebrauch gemacht werden.

Bezüglich der Häufung muss nicht jedes Kabel oder jede gemeinsam verlegte Leitung berücksichtigt werden, weil sich die Strombelastbarkeit und die Reduktionsfaktoren immer auf einen Dauerbetrieb mit konstantem Belastungsstrom beziehen.

Kabel und Leitungen, deren Belastung im Dauerbetrieb geringer als 30 % der maximal zulässigen Strombelastbarkeit ist, müssen bei der Häufung nicht berücksichtigt werden.

Ebenso ist es möglich einen individuellen Gleichzeitigkeitsfaktor anzuwenden. Weiter können Häufungen bis zu 1 m Länge, wie sie z. B. im Einführungsbereich von Verteilern auftreten, unberücksichtigt bleiben.

In Wohngebäuden sind von 25 °C abweichende Umgebungstemperaturen und Häufungen von Kabeln und Leitungen aus den vorstehenden Gründen nur im Ausnahmefall zu berücksichtigen. Die meisten Kabel und Leitungen werden nur kurzzeitig oder mit geringen Strömen im Teillastbereich bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C betrieben.

Umgebungstemperatur in °C	Umrechnungsfaktor f_g
25	1,06
30	1,00
35	0,94
40	0,87

Hinweis: Die Faktoren sind nur auf die Belastbarkeitstabellen 3 und 4 aus DIN VDE 0298-4 anwendbar (Umgebungstemperatur 30 °C, maximale Leiterbetriebstemperatur 70 °C) (siehe Tabelle 8).

Tabelle 11: Umrechnungsfaktoren f_g für die Strombelastbarkeit von PVC-isolierten Kabeln und Leitungen bei von 30 °C abweichenden Umgebungstemperaturen

Anordnung der Kabel und/oder Leitungen	Anzahl der mehradrigen Kabel und Leitungen bzw. der Wechsel- und Drehstromkreise					
	1	2	4	6	8	10
	Umrechnungsfaktoren f_H					
Gebündelte Verlegung direkt auf oder in der Wand, auf dem Fußboden, im Elektro-Installationsrohr oder -kanal auf oder in der Wand	1,00	0,80	0,65	0,57	0,52	0,48
Einlagig auf der Wand oder auf dem Fußboden mit gegenseitiger Berührung	1,00	0,85	0,75	0,72	0,71	0,70
Hinweis: Die Faktoren sind nur auf die Belastbarkeitstabellen aus DIN VDE 0298-4 anwendbar (siehe Tabelle 8).						

Tabelle 12: Umrechnungsfaktoren f_H für Häufung von Kabeln und Leitungen

Bei abweichender Umgebungstemperatur und/oder Häufung muss die tatsächlich zulässige Strombelastbarkeit I_Z unter Anwendung der Reduktionsfaktoren aus den Tabellenwerten berechnet werden. Grundsätzlich sind die Reduktionsfaktoren auf die Grundtabellen aus DIN VDE 0298-4 anzuwenden.

$$I_Z = I_r \cdot f_{\vartheta} \cdot f_H \quad \text{oder} \quad I_r = \frac{I_Z}{f_{\vartheta} \cdot f_H}$$

I_Z Tatsächliche Strombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen wie Umgebungstemperatur und Häufung

I_r Bemessungswert oder fiktive Strombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung bei vereinbarten, idealisierten Betriebsbedingungen ohne Berücksichtigung von Umgebungstemperatur und Häufung

f_{ϑ} Reduktionsfaktor für abweichende Umgebungstemperatur

f_H Reduktionsfaktor für Häufung

7. Schritt 6 - Größen der ermittelten Querschnitte auswählen

Bei den Querschnittsermittlungen entsprechend Bild 1 nach

- Schritt 2 - mechanischer Festigkeit,
- Schritt 3 - maximal zulässigem Spannungsfall,
- Schritt 4 - Schutzmaßnahme und
- Schritt 5 - Strombelastbarkeit

ergeben sich häufig unterschiedliche Querschnitte. Aus den Ergebnissen ist für die weiteren Betrachtungen zunächst der größte der ermittelten Querschnitte auszuwählen, um danach in den Schritten 7 und 8 den Überlast- und Kurzschlusschutz zu prüfen.

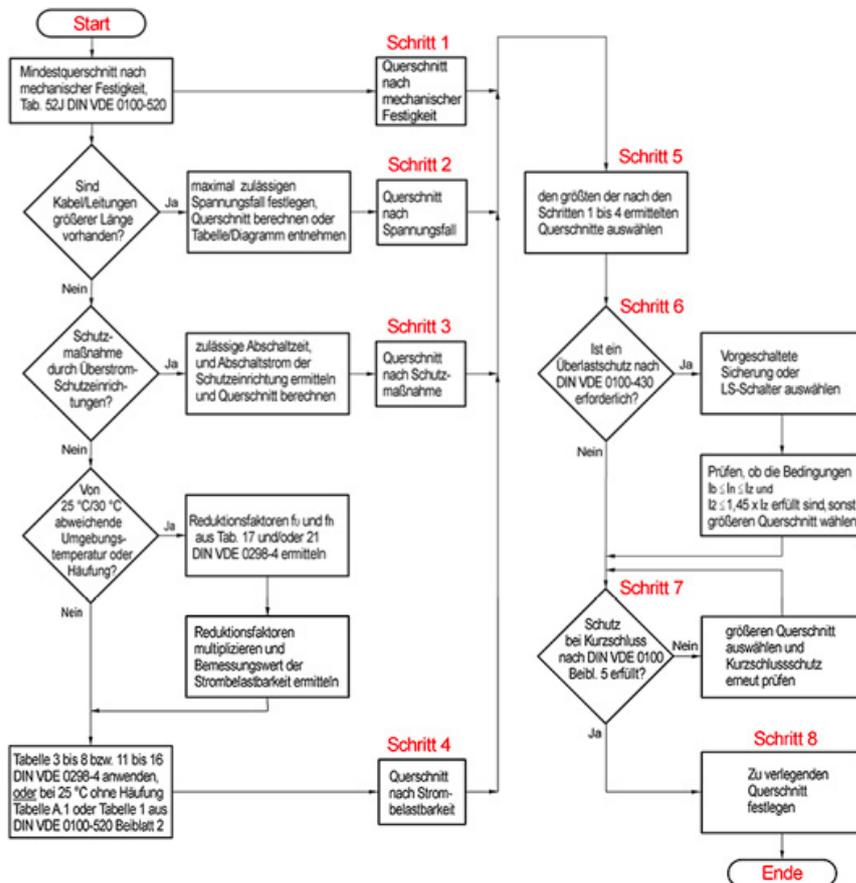


Bild 6: Flussdiagramm mit den wesentlichen Schritten zur Querschnittsbemessung von Kabeln und Leitungen

Beispiel 12:

Für einen elektronisch geregelten Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 24 kW zur Warmwasserversorgung einer Wohnung ist eine 18 m lange Zuleitung zu planen. Die Leitung soll als Mantelleitung vom Typ NYM einzeln in einem Mauerschlitze unter Putz verlegt werden.

Der Stromkreisverteiler ist mit dem Zählerplatz kombiniert. Alle Endstromkreise sind zum Fehler- und Zusatzschutz (Schutz gegen elektrischen Schlag) mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen im TN-System geschützt. Als Überstrom-Schutzeinrichtungen werden Leitungsschutzschalter vom Typ B eingesetzt.

a.

Schritt 1 - Ermittlung des Bemessungsstroms des Durchlauferhitzers:

Alternativ kann der Bemessungsstrom bei ohmschen Drehstrom-Verbrauchern (Wärmegeräten) überschlägig mit hinreichender Genauigkeit nach folgender Faustformel berechnet werden:

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{24 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 34,6 \text{ A}$$

Als Überstrom-Schutzeinrichtung wird ein 3poliger Leitungsschutzschalter vom Typ B40 A gewählt.

$$I_B \approx P \text{ in kW} \cdot 1,5 \frac{\text{A}}{\text{kW}} = 24 \text{ kW} \cdot 1,5 \frac{\text{A}}{\text{kW}} \approx 36 \text{ A}$$

b.

Schritt 2 - Ermittlung des Mindestquerschnitts nach mechanischer Festigkeit aus Tabelle 1:

$$A = 1,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$$

c.

Schritt 3 - Ermittlung des Mindestquerschnitts bei einem zulässigen Spannungsfall von 3 % unter Berücksichtigung des Bemessungsstroms bei fest angeschlossenem Verbrauchsmittel:

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

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l}{\kappa \cdot U_V} = \frac{\sqrt{3} \cdot 18 \text{ m} \cdot 34,6 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2} \cdot 12 \text{ V}} = 1,61 \text{ mm}^2 \text{ gewählt } A = 2,5 \text{ mm}^2$$

Alternativ können die Tabelle 4 oder das Diagramm aus Bild 3 genutzt werden. Aus dem Diagramm ergibt sich bei einem Bemessungsstrom von 35 A und einem Querschnitt $A = 4 \text{ mm}^2$ eine maximal zulässige Leitungslänge von ca. 40 m.

d.

Schritt 4 - Ermittlung des Mindestquerschnitts nach Schutzmaßnahme:

Entfällt, weil der Fehlerschutz mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen realisiert wird.

e.

Schritt 5 - Ermittlung des Mindestquerschnitts nach Strombelastbarkeit:

Bei der Verlegeart C mit drei belasteten Adern und einer Umgebungstemperatur von 25 °C ergibt sich aus Tabelle 9 oder Tabelle 10 ein Querschnitt von $A = 6 \text{ mm}^2$.

f.

Schritt 6 - Auswahl des größten der nach den Schritten 2 bis 5 ermittelten Querschnitte:

Querschnitt $A = 6 \text{ mm}^2$ nach der Strombelastbarkeit aus Schritt 5

8. Schritt 7 - Überlastschutz von Kabeln und Leitungen

Um unzulässigen Erwärmungen vorzubeugen, müssen Kabel und Leitungen nach DIN VDE 0100-430 Abschnitt 433 durch entsprechend bemessene Schutzeinrichtungen gegen Überlastung geschützt werden.

Die Schutzeinrichtungen sind an allen Stellen einzubauen, an denen die Strombelastbarkeit, z. B. durch eine Verringerung des Leiterquerschnitts oder Änderung der Verlegeart, reduziert wird. Üblicherweise werden die Überstrom-Schutzeinrichtungen am Anfang der Kabel und Leitungen eingesetzt und so bemessen, dass sie den Überlastschutz für den gesamten Stromkreis und den Kurzschlusschutz sicherstellen.

Der Überlastschutz darf entfallen, wenn keine Überlastung auftreten kann und keine Abzweige oder Steckvorrichtungen vorhanden sind. In Ausnahmefällen, die für Wohngebäude kaum in Betracht kommen, muss auf den Überlastschutz verzichtet werden.

Die Überstrom-Schutzeinrichtungen, die zum Schutz gegen Überlast von Kabeln und Leitungen eingesetzt werden, müssen folgende Bedingungen erfüllen:

1. $I_B \leq I_n \leq I_Z$
2. $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$

I_B Betriebsstrom des Stromkreises

I_n Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung

I_Z Strombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung im Dauerbetrieb

I_2 Strom, der die Abschaltung des Schutzorgans in einer festgelegten Zeit sicherstellt

Werden als Schutzeinrichtungen Niederspannungssicherungen vom Typ gG oder Leitungsschutzschalter vom Typ B oder C eingesetzt, ist eine Abschaltung beim 1,45fachen Bemessungsstrom (großer Prüfstrom) innerhalb einer Stunde sichergestellt. Daraus folgt, dass die zweite Bedingung $I_2 \leq 1,45 \times I_Z$ beim Überlastschutz nicht berücksichtigt werden muss, wenn solche Schutzeinrichtungen zur Anwendung kommen.

Weil Schutzeinrichtungen mit anderen Prüfströmen in Wohngebäuden nur selten eingesetzt werden, wird darauf im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter eingegangen.

Problematisch ist der Überlastschutz von Kabeln und Leitungen wenn lang andauernde Überströme auftreten, die geringer sind als der Strom I_2 der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung. Solche Ströme können zu einer unzulässigen Erwärmung der Leiter führen, ohne dass es zu einer rechtzeitigen Abschaltung der Schutzeinrichtung kommt. Wenn solche Belastungsfälle zu erwarten sind, sollte ein größerer Querschnitt für das Kabel oder die Leitung gewählt werden.

Wichtige Hinweise:

Bei Anwendung von Tabelle 1 aus DIN VDE 0100-520 Beiblatt 2 (Tabelle 10) zur Zuordnung von Überstrom-Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast von Kabeln und Leitungen ohne Häufung bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C ist der Überlastschutz in jedem Fall gewährleistet.

Bei abweichender Umgebungstemperatur und/oder Häufung, d. h. bei vom Normalfall abweichenden Betriebsbedingungen, ist der Überlastschutz zu prüfen.

8.1 Beispiele für die Prüfung des Überlastschutzes - Beispiel 13:

Im Beispiel 10 werden für die Steckdosenstromkreise (Wechselstrom) für eine Waschmaschine und einen Wäschetrockner zwei Mantelleitungen vom Typ NYM-J zusammen in einem gemeinsamen Mauerschlitz unter Putz verlegt. Die Verlegung entspricht der Verlegeart C. Als Überstrom-Schutzeinrichtungen werden Leitungsschutzschalter vom Typ B16 A eingesetzt.

Für Leitungen sind die Häufung und die Umgebungstemperatur von 25 °C bei der Querschnittsbemessung zu berücksichtigen.

a. Ermittlung der anzuwendenden Faktoren:

Faktor für die Umgebungstemperatur von 25 °C aus Tabelle 11: $f_{\theta} = 1,06$

Faktor für die Häufung von zwei parallelen Leitungen aus Tabelle 12: $f_H = 0,8$

b. Berechnung des Bemessungswertes der Strombelastbarkeit I_r für die Leitungen unter Berücksichtigung der ermittelten Faktoren:

$$I_r = \frac{I_Z}{f_{\theta} \cdot f_H} = \frac{16 \text{ A}}{1,06 \cdot 0,8} = 18,9 \text{ A}$$

c. Ermittlung des Querschnitts bei zwei belasteten Adern und Verlegeart C aus Tabelle 8:

$A = 1,5 \text{ mm}^2$ mit einer zulässigen Strombelastbarkeit von $I_Z = 19,5 \text{ A}$ bezogen auf die Einzelverlegung bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C.

d. Prüfung des Überlastschutzes nach der ersten Bedingung:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z =$$

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \cdot f_{\theta} \cdot f_H = 16 \text{ A} \leq 16$$

Damit ist nachgewiesen, dass der Überlastschutz entsprechend der ersten Bedingung erfüllt ist. Die zweite Bedingung entfällt wegen der eingesetzten Leitungsschutzschalter vom Typ B16 A. Beispiel 14 Im Beispiel 12 wird für die 18 m lange Zuleitung für einen elektronisch geregelten Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 24 kW nach Tabelle 9 ein Leitungsquerschnitt von $A = 6 \text{ mm}^2$ mit einem I_Z von 43 A bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C ermittelt.

a. Ermittlung des Bemessungsstroms des Durchlauferhitzers:

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{24 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 34,6 \text{ A}$$

Als Überstrom-Schutzeinrichtung wird ein 3poliger Leitungsschutzschalter vom Typ B40 A gewählt.

b. Überprüfung des Überlastschutzes nach der ersten Bedingung:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z = 34,6 \text{ A} \leq 40 \text{ A} \leq 43 \text{ A}$$

Damit ist nachgewiesen, dass die erste Bedingung und der Überlastschutz erfüllt sind.

9. Schritt 8 - Kurzschlusschutz von Kabeln und Leitungen

Beim Kurzschluss kommt es in einem Leiter zu einem schnellen Temperaturanstieg infolge des im Gegensatz zum normalen Betriebsstrom um ein Vielfaches höheren Kurzschlussstroms. Die Abschaltung des Kurzschlusses muss erfolgen, bevor sich der Leiter auf eine unzulässige Temperatur erwärmt.

Im Allgemeinen wird von einer maximal zulässigen Abschaltzeit von 5 s ausgegangen. Damit diese Abschaltzeit sichergestellt ist, darf eine bestimmte Impedanz zwischen der Stromquelle und der Fehlerstelle nicht überschritten werden (siehe auch Schritt 4 - Querschnittsbemessung auf Grundlage der gewählten Schutzmaßnahme).

Die Bestimmung der maximal zulässigen Leitungslänge bei einem bestimmten Querschnitt kann unter Berücksichtigung von Netzimpedanz und eingesetzter Überstrom-Schutzeinrichtung nach Tabellen, z. B. aus DIN VDE 0100 Beiblatt 5 erfolgen (siehe Tabelle 13).

Querschnitt in mm ²	Bemessungsstrom der Schutzlein- richtung in A	Mindest- Kurzschlussstrom in A	Netzimpedanz Z_{Stetz} vor der Schutzeinrichtung in Ω						
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
maximal zulässige Länge l in m									
Zulässige Kabel- und Leitungslängen für PVC- oder Gummiisolierte Kupferleiter mit Schutz durch Sicherungen der Betriebsklasse gG (Abschaltung nach 5 s)									
1,5	10	47	152	149	146	143	140	137	134
1,5	16	65	109	106	103	100	97	94	91
1,5	20	126	55	52	49	46	43	40	36
2,5	16	65	178	173	169	164	159	154	148
2,5	20	85	135	130	125	120	115	110	105
2,5	25	110	103	98	93	88	83	78	73
4	32	150	121	113	105	96	88	79	71
6	40	190	141	129	116	104	91	77	64
Zulässige Kabel- und Leitungslängen für PVC- oder Gummiisolierte Kupferleiter mit Schutz durch Leitungsschutzschalter Typ B									
1,5	10	50	143	140	137	134	131	128	125
1,5	16	80	88	85	82	79	76	73	70
1,5	20	100	70	67	64	61	57	54	51
2,5	16	80	144	139	134	129	124	119	114
2,5	20	100	114	109	104	99	94	89	84
2,5	25	125	90	85	80	75	70	65	60
4	32	160	113	105	96	88	80	71	62
6	40	200	133	121	109	96	83	70	56

Hinweise:
Die angegebenen Längen gelten für eine Nennspannung von 400/230 V.
Bei Leitungsschutzschaltern vom Typ B ist eine Abschaltung, bedingt durch die Schnellabschaltung, innerhalb von 0,1 s sichergestellt, wenn der 5fache Bemessungsstrom erreicht wird.

Tabelle 13: Zulässige Kabel- und Leitungslängen zur Sicherstellung des Kurzschlusschutzes in Abhängigkeit von der Überstrom-Schutzeinrichtung und vom Querschnitt (Auszug aus den Tabellen 3 und 5 aus DIN VDE 0100 Beiblatt 5)

Die in Tabelle 13 angegebenen Werte zeigen, dass bei den üblicherweise in den Endstromkreisen von Wohngebäuden vorhandenen Kabel- und Leitungslängen und den verwendeten Querschnitten keine Probleme hinsichtlich des Kurzschlusschutzes auftreten.

Beim Kurzschlusschutz ist es unerheblich, ob es sich um ein TN- oder TT-System handelt und ob der Schutz gegen elektrischen Schlag durch automatische Abschaltung der Stromversorgung mittels Überstrom- oder Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen erfolgt. Der Kurzschlusschutz muss nicht nur bei einem Kurzschluss zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter, sondern ebenso bei Kurzschlüssen zwischen einem Außenleiter und dem Neutraleiter bzw. zwischen den Außenleitern wirksam sein.

9.1 Beispiele für die Prüfung des Kurzschlusschutzes - Beispiel 15

In den Beispielen 10 und 13 werden für die Steckdosenstromkreise (Wechselstrom) für eine Waschmaschine und einen Wäschetrockner zwei Mantelleitungen vom Typ NYM-J mit einer Länge von je 16 m verlegt. Als Überstrom-Schutzeinrichtungen werden Leitungsschutzschalter vom Typ B16 A eingesetzt. Die Netzimpedanz wurde am Stromkreisverteiler gemessen und ein Wert von 0,6 Ω festgestellt.

Für die Leitungen wurde unter Berücksichtigung von Häufung, Umgebungstemperatur und Überlastschutz ein Querschnitt von $A = 1,5 \text{ mm}^2$ gewählt.

Prüfung des Kurzschlusschutzes:

Nach Tabelle 13 darf eine Leitung mit einem Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ und vorgeschaltetem Leitungsschutzschalter B16 A bei einer Netzimpedanz von $0,6 \Omega$ eine maximale Länge von 73 m haben.

Damit ist nachgewiesen, dass bei der tatsächlich vorhandenen Leitungslänge von 16 m der Kurzschlusschutz erfüllt ist.

Beispiel 16:

In den Beispielen 10.12 und 10.14 wird für die 18 m lange Zuleitung für einen elektronisch geregelten Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 24 kW ein Leitungsquerschnitt von $A = 6 \text{ mm}^2$ ermittelt. Die Netzimpedanz wurde am Stromkreisverteiler gemessen und ein Wert von $0,6 \Omega$ festgestellt.

Prüfung des Kurzschlusschutzes:

Nach Tabelle 13 darf eine Leitung mit einem Querschnitt von $A = 6 \text{ mm}^2$ und vorgeschaltetem Leitungsschutzschalter B40 A bei einer Netzimpedanz von $0,6 \Omega$ eine maximale Länge von 70 m aufweisen.

Damit ist nachgewiesen, dass bei der tatsächlich vorhandenen Leitungslänge von 18 m der Kurzschlusschutz erfüllt ist.

10. Schritt 9 - Festlegung des zu verlegenden Querschnitts

Nach der Querschnittsermittlung anhand der Schritte 1 bis 8 (siehe Bild 10.6) ist der zu verlegende Querschnitt festzulegen.

Beispiel 17:

Für eine Wechselstromsteckdose im Garten, die über ein 28 m langes 3adriges Kabel vom Typ NYY-J versorgt wird, ist der Querschnitt festzulegen.

Das Kabel wird zum Teil direkt in der Erde (ohne Rohr) und zum anderen Teil innerhalb des Gebäudes in einer wärmedämmenden Wand verlegt. Die Schleifenimpedanz am Stromkreisverteiler, der mit dem Zähler im Zählerschrank zusammengefasst ist, beträgt $0,5 \Omega$. Als Überstrom-Schutzeinrichtung wird ein Leitungsschutzschalter B16 A eingesetzt.

a.

Schritt 1 - Festlegung des Bemessungsstroms für das Kabel:

$$I = 16 \text{ A}$$

b.

Schritt 2 - Festlegung des Mindestquerschnitts nach mechanischer Festigkeit aus Tabelle 1:

$$A = 1,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$$

c.

Schritt 3 - Ermittlung des Mindestquerschnitts nach zulässigem Spannungsfall:

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

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot U_V} = \frac{2 \cdot 28m \cdot 16A}{56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 6,9V} = 2,32 mm^2 \text{ gewählt } A = 2,5 mm^2$$

Alternativ können die Tabelle 4 oder das Diagramm aus Bild 3 genutzt werden. Zu beachten ist, dass die darin angegebenen Längen für Drehstromkreise gelten und für Wechselstromkreise halbiert werden müssen.

d.

Schritt 4 - Ermittlung des Mindestquerschnitts nach Schutzmaßnahme:

Entfällt, weil für die Steckdose ein Zusatzschutz mittels einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit einem Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ zwingend gefordert ist.

e.

Schritt 5 - Ermittlung des Mindestquerschnitts nach Strombelastbarkeit:

Für die Strombelastbarkeit des Kabels ist die ungünstigste Verlegeart entscheidend. Daraus folgt, dass in diesem Fall die Verlegung in der wärmedämmenden Wand mit der Verlegeart A2 zu berücksichtigen ist.

Bei der Verlegeart A2, zwei belasteten Adern und einer Umgebungstemperatur von 25 °C ergibt sich aus Tabelle 9 ein Querschnitt von $A = 1,5 \text{ mm}^2$ mit einem $I_Z = 16,5 \text{ A}$.

Alternativ kann die Tabelle 10 angewendet werden.

f.

Schritt 6 - Der größte der nach den Schritten 2 bis 5 ermittelten Querschnitte ist auszuwählen.

Er resultiert aus dem Querschnitt nach zulässigem Spannungsfall mit $A = 2,5 \text{ mm}^2$

g.

Schritt 7 - Prüfung des Überlastschutzes nach der ersten Bedingung:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z = 16 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 16,5 \text{ A}$$

Damit ist nachgewiesen, dass die erste Bedingung und damit der Überlastschutz erfüllt sind. Bei einer Festlegung des Querschnitts nach Tabelle 10.10 wäre der Überlastschutz in jedem Fall gewährleistet.

h.

Schritt 8 - Prüfung des Kurzschlussschutzes:

Nach Tabelle 10.13 darf ein Kabel mit einem Querschnitt von 2,5 mm² und vorgeschaltetem Leitungsschutzschalter B16 A bei einer Netzimpedanz von 0,5 Ω eine maximale Länge von 76 m haben.

Damit ist nachgewiesen, dass bei der tatsächlichen Kabellänge von 28 m der Kurzschlusschutz erfüllt ist.

i.

Schritt 9 - Festlegung des zu verlegenden Querschnitts:

Unter Berücksichtigung aller Kriterien zur Querschnittsbemessung wird für die Steckdose ein Kabel mit einem Querschnitt von $A = 2,5 \text{ mm}^2$ ausgewählt.

voltimum



Mehr dazu bei:
www.voltimum.de