

Dieser Beitrag beschäftigt sich im Detail mit der Wahl des richtigen Leiterquerschnitts, unter Beachtung aller beeinflussender Faktoren. Anhand mehrerer Beispiele wird der erforderliche Rechengang präzise demonstriert. Es empfiehlt sich, die im Beitrag erwähnten Normen beim Lesen bereitzuhalten, um die Ausführungen Schritt für Schritt nachvollziehen zu können.

Leitungen ohne heißen Draht

Kabel- und Leitungsanlagen richtig projektieren

Allzu oft wählen Anlagenerrichter für die Leiterquerschnitte bei Kabeln und Leitungen reine Faust- und Erfahrungswerte. Das führt bis zu solch absurden Behauptungen, man müsse z. B. für Waschmaschinenanschlüsse generell 2,5 mm² Querschnitt verwenden. Um eine Berechnung kommt die Elektrofachkraft nicht immer herum.

Um Leitungen fachgerecht zu installieren, müssen schon bei der Planung etliche Dinge berücksichtigt werden (**Kasten** auf S. 34). Neben

- den äußeren Einflüssen,
 - dem Schutz gegen Überlastung,
 - dem Schutz bei Kurzschluss,
 - dem Einhalten der Abschaltbedingungen sowie der
 - Verhinderung des Überschreitens des max. zulässigen Spannungsverlustes
- stellen sich dem Planer noch weitere Fragen, z. B.: Wie ermittelt man nun die Strombelastbarkeit einer Leitung? Werden Leitungen in einer Hohlwand, unter Putz, auf Putz, in Rohr oder im Kanal verlegt? Sind vielleicht auch Kabel im Erdreich zu berücksichtigen?

Verlegart hat enormen Einfluss

Die verschiedenen Verlegearten wirken sich auf die Strombelastbarkeit von Leitungen aus. Eine Leitung NYM-J 3 x 1,5 mm² in Rohr darf z. B. nach VDE 0298 Teil 4, Tabelle A.1 in einer wärmeisolierten Hohlwand (Verlegeart A2) in Deutschland mit 16,5 A belastet werden (hierbei ist Anhang C, Abschnitt C.3.3 zu beachten). Die gleiche Leitung im Elektroinstallationsrohr (Verlegeart B2) lässt sich sogar mit 17,5 A belasten. In der Tabelle A.2 kann man dann noch die Werte für die Verlegung auf einer Wand (Verlegeart C, 21 A) und für die Verlegung auf einer Wand mit einem Mindestabstand von der Wandfläche von 30 % des Leitungsdurchmessers (Verlegeart E, 23 A) ablesen. So ergibt sich z. B. die folgende Übersicht der Strombelastbarkeiten von NYM-J 3 x 1,5 mm² (Verlegearten laut VDE 0298 Teil 4, Tabelle A.1 und A.2 und einer Umgebungstemperatur von 25 °C):

- Verlegeart A2 in Rohr, in Hohlwand → 16,5 A
- Verlegeart B2 in Rohr, auf einer Wand → 17,5 A
- Verlegeart C auf einer Wand → 21 A
- Verlegeart E auf einer Wand auf Abstand → 23 A.

Der Vergleich dieser Belastbarkeitswerte zeigt, dass in Verlegeart E verlegte Leitungen mit 23 A am höchsten belastet werden können. Dies resultiert daraus, dass die entstehende Wärme am besten abgeführt wird. Den Ursprung der Verlegearten findet man in den Tabellen 52F, 52G und 52H in der VDE 0100 Teil 520.

Arbeiten mit Normentabellen

Aus der Tabelle 52F geht hervor, welche Leiter, Kabel und Mantelleitungen wo verlegt werden dürfen. Blanke Leiter darf man z. B. nur auf Isolatoren verlegen. Isolierte Aderleitungen dürfen in zu öffnenden Elektroinstallationskanälen verlegt werden, die mindestens der Schutzart IP 4X oder IP XXD entsprechen. Diese Kanäle dürfen nur mit Werkzeug oder durch Anwendung hoher Kräfte mit bloßen Händen zu öffnen sein. Aus dieser Tabelle geht auch hervor, dass Kabel- und Mantelleitungen mit jeder Verlegehilfe befestigt werden können.

Aus der Tabelle 52G ermittelt man die sogenannten Referenznummern. Benutzt der Errichter als Verlegehilfe Elektroinstallationsrohr und verlegt es auf einer Oberfläche, so ergibt sich hier die Referenznummer 3 gemäß Tabelle 52G.

Die Tabelle 52H stellt das passende Bild zur jeweiligen Verlegeart dar. Verlegt man jetzt in diesem Rohr z. B. Mantelleitung NYM-J 3 x 1,5 mm², so han-

delt es sich um die Referenznummer 3A. Hierfür sind alle weiteren zulässigen Kabel und Leitungen dieser Verlegeart aufgeführt. Um jetzt zu erfahren, um welche Referenzverlegeart zur Ermittlung der Strombelastbarkeit es sich handelt, schaut man in der Tabelle 9 der VDE 0298 Teil 4 nach.

Bei den dort grau markierten, eingeklammerten Zahlen, handelt es sich um die zuvor genannten Referenznummern aus der Tabelle 52H, VDE 0100 Teil 520. In der Zeile der Nr. 3a erscheint jetzt wieder das Bild von der Mantelleitung im Rohr und man liest die Referenzverlegeart B2 ab. Um die Strombelastbarkeit der Mantelleitung NYM-J 3 x 1,5 mm² jetzt feststellen zu können, sieht man in der Tabelle 3, VDE 0298 Teil 4 in der Spalte für die Verlegeart B2 nach. Da es sich bei einem NYM-J 3 x 1,5 mm² um zwei belastete Adern handelt, liest man in diesem Fall also 16,5 A ab. Die Tabelle 3 ist bezogen auf eine Umgebungstemperatur von 30 °C. Man kann für Deutschland aber mit einer Umgebungstemperatur von 25 °C rechnen. Hier gibt es in der VDE 0298 Teil 4, Tabelle 17 Umrechnungsfaktoren für die Umgebungstemperaturen abweichend von 30 °C.

Umgebungstemperaturen und Häufungen berücksichtigen

Um den Wert ablesen zu können, muss die zulässige Temperatur am Leiter bei NYM-Leitungen bekannt sein. Man liest ihn ab in der Tabelle 1a unter PVC Leitung, Bauartkürzzeichen NYM und stößt hier auf den Wert 70 °C. Zurück in der Umrechnungstabelle 17 liest man jetzt bei 70 °C (zulässige Temperatur am Leiter) und bei 25 °C (Umgebungstemperatur) den Faktor 1,06 ab. Die Lei-

EINFLÜSSE AUF LEITUNGEN UND KABEL

Äußere Einflüsse – VDE 0100 Teil 520

Ist die Leitung ständiger Sonneneinstrahlung, chemischen Einflüssen, Schwingungen, mechanischen Beanspruchungen oder hohen Temperaturen ausgesetzt?

Schutz gegen Überlastung – VDE 0100 Teil 430

Unter Berücksichtigung der Verlegeart und der Umgebungstemperatur muss der Leitungsquerschnitt so gewählt werden, dass sich die Leiter nicht über ihre zulässige Temperatur hinaus erhitzen. Somit wird vermeiden, dass die Isolierung nicht zerstört wird und die Umgebung entlang ihres gesamten Verlaufes keinen Schaden nimmt. Bei NYM-Leitungen liegt diese Temperatur z. B. bei 70°C.

Schutz bei Kurzschluss – VDE 0100 Teil 430

Werden Sicherungseinrichtungen verwendet, die für den jeweiligen Leitungsquerschnitt zu träge abschalten, kann durch das Überschreiten der zulässigen Grenztemperatur der Leitung ihre Isolierung sehr schnell zerstört werden. Dieses Problem besteht ebenso bei einem

zu großen Schleifenwiderstand, verursacht durch zu große Leitungslängen und zu kleine Leitungsquerschnitte.

Einhalten der Abschaltbedingungen – VDE 0100 Teil 410

In Stromkreisen, die nicht durch Fehlerstromschutzschalter geschützt werden, muss gewährleistet sein, dass im Fehlerfall der Kurzschlussstrom hoch genug ist, damit die Sicherungseinrichtung in der vorgeschriebenen Zeit abschaltet. Voraussetzung hierfür sind ausreichende Querschnitte und nicht zu große Leitungslängen – also ein kleiner Schleifenwiderstand.

Maximal zulässiger Spannungsverlust – DIN 18015, VDE 0100 Teil 520, TAB 2007

Jede Leitung hat einen elektrischen Widerstand, der abhängt von der Länge, dem Querschnitt und dem Werkstoff, z. B. Cu oder Al. An diesem Widerstand fällt eine Spannung ab, die am Ende der Leitung dann fehlt. Man spricht von einem Spannungsabfall bzw. Spannungsfall auf der Leitung oder auch von einem Spannungsverlust.

tung verträgt also bei 25°C 6% mehr Strom als bei 30°C Umgebungstemperatur. Der Wert 16,5A multipliziert mit 1,06 ergibt also eine Strombelastbarkeit von 17,5A für ein NYM-J 3 x 1,5mm² in Rohr, welches auf einer Wand verlegt wird.

Im Anhang A der VDE 0298 Teil 4 die Tabellen A.1 und A.2 wurden die 30°C-Werte bereits mit dem Faktor 1,06 multipliziert. Somit liest man dort den Wert 17,5A ab, unter: zwei belastete Adern und Verlegeart B2. Angenommen diese Leitung soll z. B. durch eine Eisengießerei verlegt werden, in der eine ständige Umgebungstemperatur von 40°C herrscht, so muss der Grundwert aus Tabelle 3 (30°C Tabelle) von 16,5A mit dem Umrechnungsfaktor aus Tabelle 17 für 40°C multipliziert werden. Die Strombelastbarkeit beträgt hiermit also nur noch 87% vom Grundwert 16,5A, d. h. 14,35A.

Eine Absicherung mit einem Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) eines Nennstroms von 16A dürfte hier schon nicht mehr erfolgen. Weiterhin ist zu ermitteln, ob noch weitere Leitungen in dem verwendeten Rohr liegen. Hier gibt es Umrechnungsfaktoren für eine Häufung (Tabelle 21 der VDE 0298 Teil 4). Liegt nur eine andere Leitung mit in dem Rohr, liest man unter Anzahl der Leitungen

(zwei Leitungen) den Umrechnungsfaktor 0,8 ab. Somit reduzieren sich die vorher – unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur – ermittelten 14,35A noch einmal auf 80%. Die zulässige Strombelastbarkeit reduziert sich auf den Wert von 11,48A.

Die Leitung darf jetzt nur noch mit 10A abgesichert werden. Möglicherweise denken einige Leser jetzt, dass sie Häufungen in dieser Art und Weise noch nie berücksichtigt haben. Hierzu muss erwähnt werden, dass bei Leitungen, die im Betrieb nicht mehr als 30% ihrer Belastbarkeit unterliegen, die Ermittlung des Verrechnungsfaktors für Häufung vernachlässigt werden darf (VDE 0298 Teil 4, Abschnitt 5.3.3.2).

Verlegt man Leitungen in zu öffnenden Installationskanälen, kommt man ebenfalls auf die Verlegeart B2. Hierfür sei die Vorgehensweise noch einmal zusammengefasst:

- VDE 0100 Teil 520, Tabelle 52G, Zeile Kabel Kanal, Spalte »zu öffnender Elektroinstallationskanal« → Referenznummer 31
- VDE 0100 Teil 520, Tabelle 52H, Referenznummer 31A → NYM-Leitung im Elektroinstallationskanal
- VDE 0298 Teil 4, Tabelle 9, Referenznummer 31A → Verlegeart B2.

Es gibt aber noch kompliziertere Fälle.

Beispiel: Kabel durch Hohlraum

Ein Kabel NYY-J 5 x 6mm² soll durch einen nicht zugänglichen baulichen Hohlraum ($h = 16,5\text{cm}$, $b = 21,5\text{cm}$) lose verlegt werden. Es sind schon zwei Leitungen (über 30% Belastung) vorhanden. Die Umgebungstemperatur im Hohlraum beträgt ständig 43°C.

Schritt 1

In der Tabelle 52 G werden unter »nicht zugänglichen baulichen Hohlräumen« bei »Verlegung ohne Befestigungsmittel« die Referenznummern 21, 25, 73, 74 abgelesen. In dem Beispiel handelt es sich um einen kanalähnlichen Schacht. Man wählt also aus der Tabelle 52H aufgrund der passenden bildlichen Darstellung die Referenznummer 21. Die Tabelle VDE 0298 Teil 4 gibt jetzt den Hinweis, dass es sich um die Verlegeart B2 handelt, wenn die Höhe des baulichen Hohlraums mehr als 1,5-mal und weniger als fünfmal so groß ist, wie der Kabeldurchmesser.

Ist die Höhe des baulichen Hohlraums mehr als fünfmal und weniger als 50-mal so groß wie der Kabelquerschnitt, handelt es sich um die Verlegeart B1. Das Kabel kann in diesem Fall höher belastet werden als bei Verlegeart B2. Die Höhe unseres Beispiels beträgt 16,5cm, der Außendurchmesser des Kabels NYY-J 5 x 6mm² somit 18mm. Die Höhe dieses Kanals ist also über neunmal so groß wie der Außendurchmesser des Kabels – somit gilt Verlegeart B1.

Um jetzt die Strombelastbarkeit dieses Kabels berechnen zu können, benötigt man mehrere Werte aus den Tabellen der VDE 0298 Teil 4. Zunächst zur Tabelle 1a: In deren Spalte »Kabel mit Isolierung und Mantel aus thermoplastischem PVC mit Nennspannung 0,6/1KV«, Bauartkennzeichen NYY, liest man eine zulässige Temperatur am Leiter von 70°C ab. Dies ist also die gleiche Temperatur wie bei NYM. Die Tabelle 3 gibt nun an, mit welcher Stromstärke das Kabel bei einer Umgebungstemperatur von 30°C belastet werden darf, damit seine Leiter sich nicht über 70°C erhitzen. Die Spalte für die Verlegeart B1 gibt für drei belastete Adern eine Strombelastbarkeit von 36A an. Bevor man z. B. eine Maschine (Betriebsstrom $I_b = 29\text{A}$) an das Kabel NYY-J 5 x 6mm² anschließt und mit LS-Schaltern des Nennstroms von 32A absichert, gilt es noch die Umrechnungsfaktoren für die Umgebungstemperatur und die Häu-

fung im Kanal zu berücksichtigen. In der Tabelle 17 (Umrechnungsfaktoren für Umgebungstemperatur abweichend von 30°C) liest man bei 43°C (nächste Stufe 45°C gewählt), bei 70°C Leitertemperatur, den Faktor 0,79 ab.

Aus der Tabelle 21 (Umrechnungsfaktoren für Häufung) ermittelt man den Faktor 0,7. Es ergibt sich also für dieses Kabel eine Strombelastbarkeit von 19,9A. Man könnte jetzt diese Leitung nur mit einem LS-Schalter mit einem maximalen Nennstrom von 16A absichern. Natürlich muss hier der Querschnitt erhöht werden. Dazu geht man wie folgt vor.

Sortierung der Größen

- I_b = Der Betriebsstrom, mit dem die Leitung belastet werden soll
- I_r = Der Bemessungsstrom, der aus der Tabelle 3, VDE 0298 Teil 4 (30°C) bei einer bestimmten Verlegeart bei zwei oder drei belasteten Adern abgelesen wird. In dem vorgenannten Fall waren das 36A.
- f_1 = Der Faktor, der aus der Tabelle 17, VDE 0298 Teil 4 (Umrechnungsfaktoren für Umgebungstemperaturen abweichend von 30°C) unter Berücksichtigung der zulässigen Temperatur am Leiter abgelesen wird. In dem vorgenannten Fall war der Faktor bei 43°C (Ablesestufe 45°C) also 0,79. Die Leitung darf also bei 45°C nur noch mit 79% belastet werden. Bei 30°C wären 100% möglich.
- f_2 = Der Faktor, der aus der Tabelle 21, VDE 0298 Teil 4 (Umrechnungsfaktoren für Häufung) ermittelt wird. In diesem Fall darf die Leitung nur noch mit 70% belastet werden. Läge sie alleine in dem Kanal, wären es 100%.
- I_z = Die Strombelastbarkeit bei tatsächlichen Betriebsbedingungen und unter Berücksichtigung der äußeren Einflüsse.
- $I_{z\text{neu}}$ = Die neu ermittelte Strombelastbarkeit einer Leitung, nachdem man aufgrund von genormten, vorgegebenen Leitungsquerschnitten zwangsweise in eine höhere Querschnittsstufe wechseln musste. Dadurch entstehen natürlich auch höhere Belastbarkeitsreserven.
- I_n = Nennstrom des LS-Schalters bzw. der Sicherung.

Basisformeln zum Rechengang

Gemäß VDE 0298 Teil 4, Abschnitt 5.3 gilt:

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$$

Die maximale zulässige Strombelastbarkeit I_z der Leitung wird also errechnet aus dem Bemessungsstrom I_r , multipliziert mit den beiden Umrechnungsfaktoren f_1 und f_2 für Umgebungstemperatur und Häufung. Gemäß VDE 0100 Teil 430, Abschnitt 5.2 gilt:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Der tatsächliche Betriebsstrom muss kleiner sein als der Nennstrom der Sicherung, damit sie den Strom führen kann. Der Nennstrom der Sicherung muss wiederum kleiner sein als die Strombelastbarkeit der Leitung unter tatsächlichen Betriebsbedingungen, damit die Isolierung nicht durch Überhitzung zerstört wird und die Umgebung nicht durch Brand gefährdet wird.

Beispiel: Maschinenanschluss

Es soll eine Maschine mit einer Stromaufnahme von 29A am Ende einer Produktionshalle angeschlossen werden. Die Entfernung vom Stromkreisverteiler beträgt 35m. Die Leitung wird durch den baulichen Hohlraum verlegt, in der ständig eine Temperatur von 43°C herrscht. Zwei andere Leitungen, deren Belastung über 30% liegt, sind schon vorhanden.

Eigentlicher Rechengang

Wir benutzen die obige Gleichung:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad \text{oder konkret:} \\ 29A \leq 32A \leq 32A$$

Der Betriebsstrom der Maschine beträgt 29A, die nächsthöhere Überspannungseinrichtung beträgt 32A. Die Strombelastbarkeit des Kabels muss also mindestens 32A betragen oder mehr. Es gilt nun die Bedingung:

$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$. Gefragt ist aber I_r , also der Bemessungsstrom, den das Kabel bei einer Umgebungstemperatur von 30°C vertragen muss, wenn es alleine in dem baulichen Hohlraum verlegt ist – in diesem Fall Verlegeart B1. Mit diesem Bemessungsstrom I_r wird dann der Querschnitt ermittelt. Man stellt die Formel hierzu nach I_r um:

$$I_r = \frac{I_z}{f_1 \cdot f_2} \\ = \frac{32A}{0,79 \cdot 0,7} = \underline{\underline{57,87A}}$$

Demzufolge muss ein Kabelquerschnitt verlegt werden, der ohne Häufung mit anderen Kabeln und Leitungen bei einer Umgebungstemperatur von 30°C bei Verlegeart B1 mindestens 57,87A verträgt. Nur dann kann er mit Häufung (Faktor 0,7) und abweichender Umgebungstemperatur von 30°C (Faktor 0,79) einen Strom von 32A sicher führen. Dieser Kabelquerschnitt lässt sich der Tabelle 3 (VDE 0298 Teil 4) ablesen. Hierzu verwendet man den zuvor errechneten Bemessungsstrom $I_r = 57,87A$. Der nächste Kabelquerschnitt liegt bei 16mm² und ließe sich bei 30°C ohne Häufung mit 68A belasten. Es wäre also ein Kabel NYY-J 5 x 16mm² nötig.

Jetzt ergibt sich eine neue tatsächliche Strombelastbarkeit $I_{z\text{neu}}$, da man den für diesen Fall ausreichenden I_r von 57,87A um 10,13A überschreitet:

$$I_{z\text{neu}} = I_r \cdot f_1 \cdot f_2 \\ = 68A \cdot 0,79 \cdot 0,7 = \underline{\underline{37,6A}}$$

Hiermit ist die folgende Bedingung aus der VDE 0100 Teil 430, Abschnitt 5.2 erfüllt:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \\ \hat{=} 29A \leq 32A \leq 37,6A$$

Weil der Querschnitt wegen der Umrechnungsfaktoren jetzt bei 16mm² liegt (ohne Faktoren wären es 6mm²), wird es mit dem Spannungsverlust voraussichtlich kaum Probleme geben. Die Entfernung vom Stromkreisverteiler beträgt 35m. Es wird mit dem Betriebsstrom $I_b = 29A$ gerechnet, da die Maschine fest angeschlossen ist. Wäre hier eine Steckdose installiert worden, müsste man den Nennstrom des LS-Schalters – in diesem Fall 32A – einsetzen, da dieser tatsächlich über die Leitung fließen könnte und damit einen dementsprechenden Spannungsverlust verursachen würde.

MEHR INFOS

Buch zum Thema

Schmolke, H.: Auswahl und Bemessung von Kabeln und Leitungen, 2. Aufl. 2007, 120 S., 18,00 €, ISBN 978-3-8101-0263-8, Hüthig & Pflaum Verlag, www.de-online.info/shop

Fachbeitrag zum Thema

Zweiteiliger Fachbeitrag des Autors zur Struktur des VDE-Vorschriftenwerkes in den »de«-Ausgaben 11/2008, S. 36ff. und 12/2008, S. 35ff.

Links zum Thema

Internetseite des Autors: www.bildungundberuf.biz

de

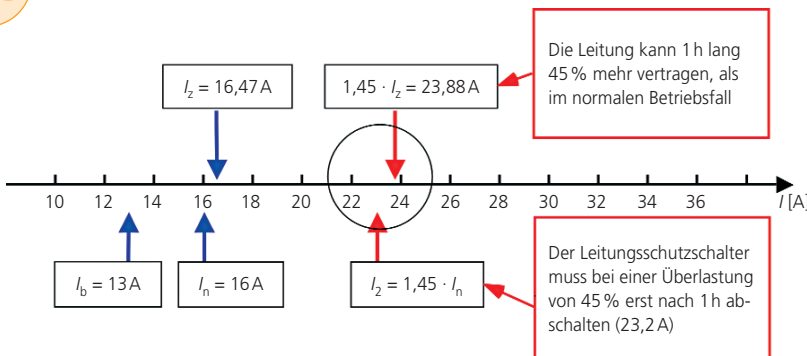


Bild 1: Darstellung für einen LS-Schutzschalter mit B-Charakteristik. Gemäß VDE 0100 Teil 430 Abschnitt 5.2, sagt aus, dass der Nennstrom der Sicherung gleich der Strombelastbarkeit sein darf, wenn I_2 der Sicherung $1,45 \cdot I_n$ beträgt

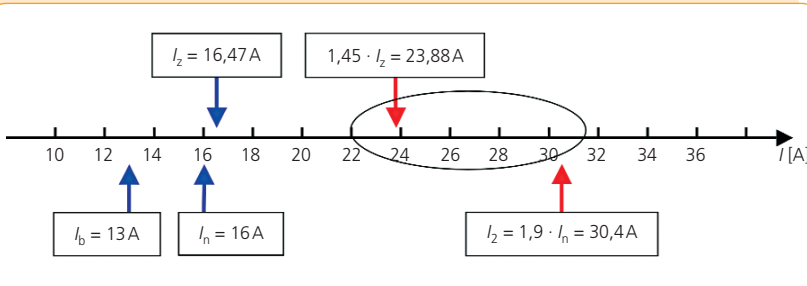


Bild 2: Verhältnisse an einem Leitungsschutzschalter H 16 A

$$\Delta U = \frac{I \cdot l \cdot \sqrt{3}}{\gamma \cdot A}$$

$$= \frac{29 \text{ A} \cdot 35 \text{ m} \cdot \sqrt{3}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm}^2}$$

$$= \underline{\underline{1,96 \text{ V}}}$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U}$$

$$= \frac{1,96 \text{ V} \cdot 100\%}{400 \text{ V}} = \underline{\underline{0,49\%}}$$

Bei einer fest angeschlossenen Maschine darf auf eine RCD verzichtet und der Schutz bei indirektem Berühren durch automatische Abschaltung mit Überstromschutzeinrichtungen realisiert werden (VDE 0100 Teil 410, Abschnitt 411.3.3). Die Abschaltzeit beträgt in diesem Fall bei Stromkreisen bis 32 A im hier vorliegendem TN-System 0,4s (VDE 0100-410 Abschnitt 411.3.2. Tabelle 41.1).

Um diese Zeit nicht zu überschreiten, benötigt der LS-Schalter einen bestimmten Auslöserstrom I_a . Bei Leitungsschutzschaltern der Charakteristik B beträgt er: $I_a = 5 \cdot I_n$, bei C-Charakteristik beträgt er hingegen sogar: $I_a = 10 \cdot I_n$.

Der beim Körperschluss fließende Kurzschlussstrom I_k muss größer sein als der geforderte Abschaltstrom I_a . Der Kurzschlussstrom wird getrieben von der Spannung $U_0 = 230 \text{ V}$ und begrenzt vom Schleifenwiderstand Z_s am Verteiler zzgl. der Leitungswiderstände:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s + R_{Ltg}}$$

Bei unserem Beispiel der Maschine kommen Leitungsschutzschalter der Charakteristik C zum Einsatz. Also benötigt man den zehnfachen Nennstrom, also 320 A. Der Z_s wird am Stromkreisverteiler mit z.B. 350 mΩ gemessen. Hinzu kommt jetzt das Kabel NYY-J 5 x 16 mm². Der Kurzschlussstrom fließt bei einem Körperschluss z.B. über L2 zur Maschine hin und über den PE zurück. Daraus resultiert die Formel:

$$R_{Ltg} = \frac{2 \cdot l}{\gamma \cdot A}$$

$$= \frac{2 \cdot 35 \text{ m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm}^2}$$

$$= \underline{\underline{78,1 \text{ m}\Omega}}$$

Jetzt gilt:

$$I_k = \frac{U_0}{Z_s + R_{Ltg}}$$

$$= \frac{230 \text{ V}}{350 \text{ m}\Omega + 78,1 \text{ m}\Omega}$$

$$= \underline{\underline{537,26 \text{ A}}}$$

Der Kurzschlussstrom ist also weitaus größer, als der geforderte Abschaltstrom von 320 A. Die Abschaltbedingung ist damit erfüllt.

Eine Kurzschlussberechnung nach VDE 0100 Teil 430, Abschnitt 6.3.2.1 soll in diesem Fall zeigen, dass das Kabel gegen Überhitzung ausreichend geschützt ist. Es wird zuerst die Zeit ausgerechnet, die das Kabel dem maximalen Kurzschlussstrom von 537,26 A standhält, ohne dass die Isolation Schaden nimmt. Der k-Faktor für PVC beträgt:

$$k = 115 \frac{\text{A} \cdot \sqrt{\text{s}}}{\text{mm}^2}$$

$$t = \left(\frac{k \cdot s}{I} \right)^2$$

$$= \left(\frac{115 \frac{\text{A} \cdot \sqrt{\text{s}}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm}^2}{537,26 \text{ A}} \right)^2$$

$$= \underline{\underline{3,42 \text{ s}}}$$

Das Kabel könnte also 3,42s einen Strom von 537,26 A vertragen, bevor die Grenztemperatur der Isolierung erreicht würde. Der LS-Schalter löst hier bei einem gut 16-fachen Nennstrom unverzüglich aus:

$$\frac{532,26 \text{ A}}{32 \text{ A}} \hat{=} 16,79 \cdot I_n$$

Weitere Beispiele und Berechnungen

Stromkreisleitung in industriellem Umfeld

In einer Fabrikationshalle soll eine Stromzuleitung zu einem 3-kW-Klimagerät in das Meisterbüro gelegt werden. Die Leitung wird mithilfe von Nagelschellen direkt auf der Wand befestigt. Der Betriebsstrom des Klimageräts beträgt 13 A. Die ständige Umgebungstemperatur beträgt 55°C. Es soll ein LS-Schalter B 16 A verwendet werden. Die Leitung muss mindestens den Nennstrom I_n des LS-Schalters vertragen können:

$$I_n \leq I_{zmin} \hat{=} 16 \text{ A} \leq 16 \text{ A}$$

Jetzt wird mithilfe des Umrechnungsfaktors ermittelt, wie viel Strom die Lei-

tung bei 30°C aushalten müsste, damit sie bei 55°C 16A verträgt:

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot I_r = \frac{I_z}{f_1}$$

$$= \frac{16A}{0,61} = \underline{\underline{26,23A}}$$

Die nächste Querschnittsstufe liegt bei 2,5mm² mit dem Bemessungsstrom $I_r = 27A$. Es muss also eine Leitung NYM-J 3 x 2,5mm² verlegt werden. Die neue Strombelastbarkeit I_z wird jetzt aus dem neuen $I_r = 27A$ für die Leitung NYM-J 3 x 2,5mm² ermittelt:

$$I_{z\text{neu}} = I_r \cdot f_1$$

$$= 27A \cdot 0,61 = \underline{\underline{16,47A}}$$

Die Strombelastbarkeit I_z liegt beim Leitungsquerschnitt 2,5mm² bei 16,47A. Die Leitung wird mit einem LS-Schalter $I_n = 16A$ abgesichert. Der Betriebsstrom des Klimageräts beträgt $I_b = 13A$. Die Bedingung aus der VDE 0100 Teil 430 wird eingehalten (Bild 1):

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$\hat{=} \underline{\underline{13A \leq 16A \leq 16,47A}}$$

Verwendet der Errichter jetzt versehentlich einen LS-Schalter H 16A statt B 16A, so ist die Leitung bei Überlastungen bis zu 90% bis zu 1h lang nicht geschützt (Bild 2).

Zuleitung zu Drehstrommotor – Fall 1

Ein 7,5-kW-Drehstrommotor (Stromaufnahme 15,5A) soll über eine Leitung versorgt werden (Umgebungstemperatur 40°C). Diese Leitung wird mit zwei anderen Leitungen gebündelt direkt auf die Wand gelegt. Als Absicherung dient ein dreipoliger LS-Schalter B 16A.

$$I_n \leq I_{z\text{min}} \hat{=} \underline{\underline{16A \leq 16A}}$$

$$I_{z\text{neu}} = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$$

$$I_r = \frac{I_{z\text{min}}}{f_1 \cdot f_2} = \frac{16A}{0,87 \cdot 0,7}$$

$$= \underline{\underline{26,27A}}$$

Für die Mindeststrombelastbarkeit von 26,27A wird jetzt der Querschnitt ermittelt. Es wird eine Leitung NYM-J 5 x 4mm² verlegt. Die neue Strombelastbarkeit I_z ergibt sich aus dem neuen $I_r = 32A$ für NYM-J 5 x 4mm²:

$$I_{z\text{neu}} = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$$

$$= 32A \cdot 0,87 \cdot 0,7 = \underline{\underline{19,49A}}$$

Die Strombelastbarkeit liegt mit dem gewählten Leitungsquerschnitt 4mm² bei $I_z = 19,49A$. Die Leitung wird mit einem LS-Schalter $I_n = 16A$ abgesichert. Der Betriebsstrom des Drehstrommotors beträgt $I_b = 15,5A$.

Folgende Bedingung aus der VDE 0100 Teil 430 wird eingehalten:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$\hat{=} \underline{\underline{15,5A \leq 16A \leq 19,49A}}$$

Zuleitung zu Drehstrommotor – Fall 2

Ein 30-kW-Drehstrommotor und eine Stromaufnahme von 58A soll über eine Leitung, die durch einen Raum mit einer Umgebungstemperatur von 35°C verläuft, versorgt werden. Diese Leitung soll neben einer anderen Leitung in einem Installationskanal verlegt werden. Als Stromkreisabsicherung kommt ein dreipoliges Neozedelement mit 63-A-Neozed-Sicherungen zum Einsatz. Es ergibt sich also:

$$I_n \leq I_{z\text{min}} \hat{=} \underline{\underline{63A \leq 63A}}$$

$$I_{z\text{min}} = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$$

$$I_r = \frac{I_{z\text{min}}}{f_1 \cdot f_2}$$

$$= \frac{63A}{0,94 \cdot 0,8} = \underline{\underline{83,77A}}$$

Für die Mindeststrombelastbarkeit von 83,77A wird jetzt der Querschnitt

ermittelt. Es wird eine Leitung NYM-J 5 x 35mm² verlegt.

Die neue Strombelastbarkeit I_z wird jetzt aus dem neuen $I_r = 99A$ für die Leitung NYM-J 5 x 35mm² ermittelt:

$$I_{z\text{neu}} = I_r \cdot f_1 \cdot f_2$$

$$= 99A \cdot 0,94 \cdot 0,8 = \underline{\underline{74,45A}}$$

Die Strombelastbarkeit liegt beim gewählten Leitungsquerschnitt von 35mm² bei $I_z = 74,45A$. Die Leitung wird mit Neozedsicherungen $I_n = 63A$ abgesichert. Der Betriebsstrom des Drehstrommotors beträgt $I_b = 58A$.

Folgende Bedingung aus der VDE 0100 Teil 430 wird eingehalten:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$\hat{=} \underline{\underline{58A \leq 63A \leq 74,45A}}$$

Fazit

Die Berechnungsbeispiele in diesem Beitrag zeigten, dass Leitungsquerschnitte häufig nicht ohne Berechnung ausgewählt werden können.

Matthias Braun, Sachverständiger für das Elektrohandwerk, Lippstadt