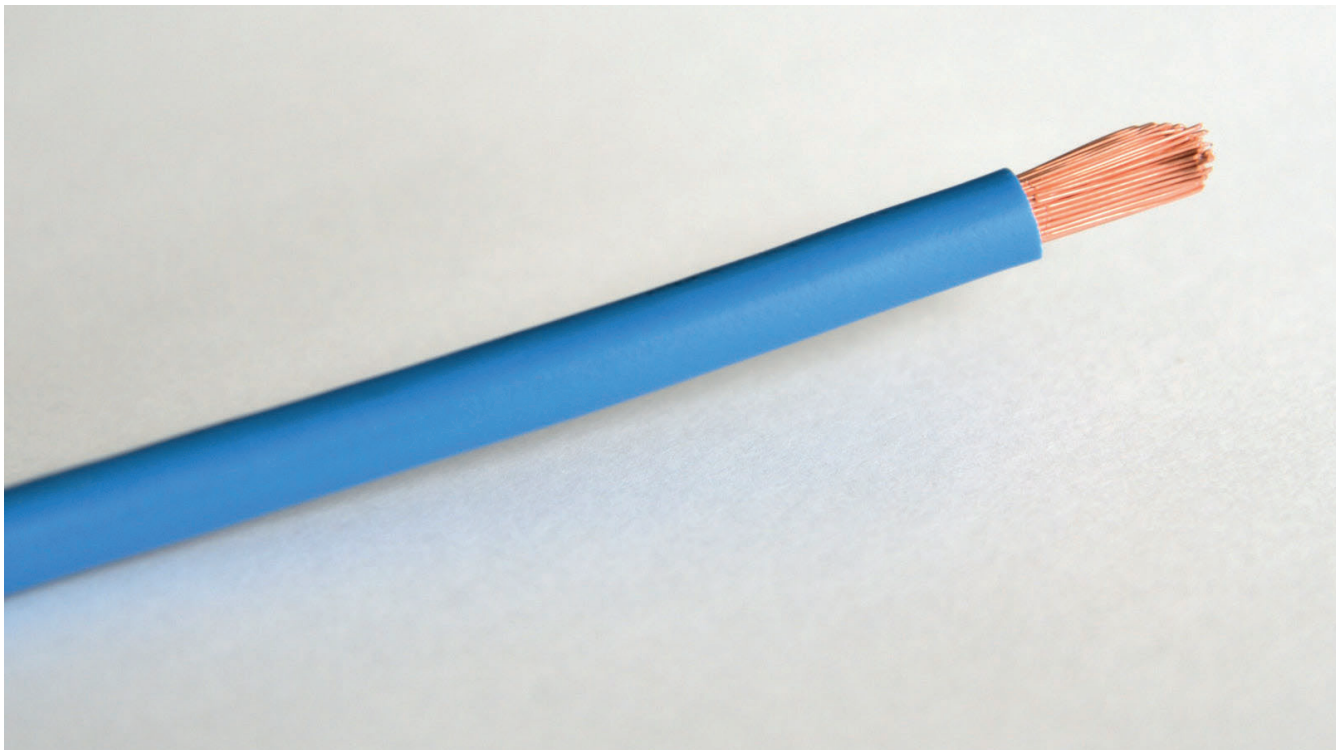

Wie bemisst man einen Neutralleiter?

Mindestquerschnitte in verschiedenen Situationen | Der richtige Querschnitt von Kabeln und Leitungen ist für das sichere Betreiben von elektrischen Anlagen enorm wichtig, denn er verhindert ein Überschreiten der maximal zulässigen Strombelastung und somit ein mögliches Überhitzen. Für eine korrekte Dimensionierung müssen die möglichen Belastungen in den Neutralleitern bekannt sein.

TEXT PETER BRYNER

International resp. europaweit gültige Bestimmungen zur Auswahl der Leiterquerschnitte finden sich in der IEC 60364, Teil 5-52 «Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Kabel- und Leitungsanlagen», und in der EN 60228 «Leiter für Kabel und isolierte Leitungen». Die Schweizer Niederspannungs-Installationsnorm NIN lehnt sich eng an die IEC 60364 und die EN 60228 an. Für die Auslegung des Neutralleiters gelten die Mindestquerschnitte nach NIN.

Grundsatz

In den allermeisten Fällen gilt: Der Querschnitt des Neutralleiters darf nicht kleiner sein als der Querschnitt des Aussenleiters (NIN 5.2.4.2). Mögliche Oberschwingungen und unsymmetrische Belastungen sollten jedoch bei der Auslegung des Neutralleiters mitberücksichtigt werden. Die Mindestquerschnitte für Aussenleiter und andere stromführende Leiter sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Mindestleiterquerschnitte werden nicht nur wegen der maximal zulässigen Strombelastbarkeit (B+E 5.2.3) festgelegt. Bei den in **Tabelle 1** aufgeführten Querschnitten werden meistens auch die mechanischen Beanspruchungen berücksichtigt, die oft bei der Verlegung, dem Verdrahten und den Instandhaltungsarbeiten auftreten. Das Einhalten der Mindestquerschnitte gewährleistet somit auch die mechanische Festigkeit von elektrischen Leitungen.

In der NIN finden sich keine Angaben zu Leiterquerschnitten von Anschlussleitungen elektrischer Erzeugnisse. Hier wird auf die entsprechenden Erzeugnisnormen verwiesen. Bei Reparaturen, die eine Erneuerung der Anschlussleitung erforderlich machen, muss der in der Produktenorm festgelegte Leiterquerschnitt ausgewählt werden. In gewissen Fällen ist nicht nur ein Mindestquerschnitt, sondern auch ein Maximalquerschnitt definiert.

Bild: Radomir Novotný

Leitungen erwärmen sich im Betrieb

Jeder stromdurchflossene Leiter erwärmt sich. Seine Temperatur darf die unter NIN 5.2.3.1.1.4 aufgeführten höchstzulässigen Betriebstemperaturen nicht überschreiten. Um den Schutz der elektrischen Anlage vor Erwärmung nach NIN 1.3.1.3 zu gewährleisten, werden in Niederspannungs-Installationen alle Adern einer Leitung isoliert. Die Isolation dient nicht nur der galvanischen Trennung der Leiteradern, sondern auch der Reduktion der Oberflächentemperatur von Leitungen. In vielen Fällen kommt zur Aderisolation noch eine «Isolationsschicht» durch den Kabelmantel hinzu.

Die Wärmeisolationseigenschaften sind den elektrischen Isolationseigenschaften oft ähnlich. Die Leiterisolation muss deshalb so beschaffen sein, dass die in den Adern erzeugte Wärme nach aussen geleitet werden kann.

Wird eine Leitung in der Wärmedämmung einer Holzwand oder «gehäuft» mit anderen Leitungen im selben Kanal verlegt (Referenz-Verlegeart A1 resp. A2 nach B+E 5.2.3.1.1.7.1), beeinträchtigt dies die Wärmeabgabe stark. Die Tabelle unter B+E 5.2.3.1.1.9 trägt diesem Umstand Rechnung, wo die Referenz-Verlegearten unter Berücksichtigung der Umrechnungsfaktoren für die Häufung und die Umgebungstemperaturen aufgeführt sind.

Die «Geometrie» eines Kabels hat grossen Einfluss auf seine Wärmeabgabe. Die «Häufung» findet also auch innerhalb eines mehradrigen Kabels statt. Bei Flachkabeln, die z.B. als Schleppkabel für Kran- oder Liftanlagen oder in modernen Zweckbau-Installationen verwendet werden, ist der Anteil der Oberfläche in Bezug auf die einzelne Ader grösser. Dank ihrer grösseren Oberfläche (Umfang) erwärmen sich Flachkabel unter denselben Bedingungen weniger stark als runde Kabel.

Minimale Leiterquerschnitte

In Wechselstromkreisen (zwei Leiter) und in mehrphasigen Wechselstromkreisen (Drehstrom) mit einem Aussenleiterquerschnitt bis 16 mm² Cu müssen Neutralleiter denselben Querschnitt wie die Aussenleiter aufweisen (NIN 5.2.4.2).

Die in **Tabelle 1** aufgeführten Grenzwerte für die Leiterquerschnitte in Drehstromkreisen sind per Vereinbarung festgelegt worden. Dabei wurden auch weitere Gegebenheiten in der Kabel- und Leitungstechnik berücksichtigt. Voraussetzung für einen Neutralleiter mit reduziertem Querschnitt ist das Vorhandensein von Kabel und Leitungen mit Aussenleiterquerschnitten von mehr als 16 mm² Cu. Zusätzlich wurden weitere Gesichtspunkte hinsichtlich der Strombelastung des Neutralleiters infolge von Unsymmetrie und Oberschwingungsgehalt im Stromkreis berücksichtigt.

Arten von Leitungen		Anwendung des Stromkreises	Leiter
			Mindestquerschnitt Cu mm²
Feste Verlegung	isolierte Leiter und Kabel	Hausleitungen	6
		Leistungs- und Lichtstromkreise	1,5
		Melde- und Steuerstromkreise für elektronische Betriebsmittel	0,5
			0,1
Bewegliche Leitungen mit isolierten Leitern und Kabeln		Bewegliche Leitungen mit isolierten Leitern und Kabeln	gemäss entsprechender Norm
		für andere Anwendungen	0,75
		für besondere Anwendung von Schutz- und Funktionskleinspannung	0,75

Tabelle 1 Mindestquerschnitte (Ausschnitt NIN 2015 5.2.4.3).

Oberschwingung 3. Ordnung Anteil am Polleiterstrom	Reduktionsfaktor	
	Auswahl des Querschnitts nach dem Polleiterstrom	Auswahl des Querschnitts nach dem Neutralleiterstrom
0–15 %	1,0	–
15–33 %	0,86	–
33–45 %	–	0,86
> 45 %	–	1,0

Tabelle 2 Reduktion der Strombelastbarkeit bei Oberschwingungsströmen in 4- und 5-adrigen Kabeln (NIN 5.2.3.4.2.1).

Der Neutralleiter in 2-Leiter-Wechselstromkreisen muss denselben Querschnitt wie der Aussenleiter aufweisen, da er als Rückleiter den Betriebsstrom zur Stromquelle führen muss. Anders verhält es sich in Drehstromkreisen: Hier ist eine Reduktion des Leiterquerschnitts unter folgenden Voraussetzungen möglich (NIN 5.2.4.3):

- Der zu erwartende maximale Strom, einschliesslich des im ungestörten Betrieb durch Oberschwingungen auf dem Neutralleiter hervorgerufenen Stroms, darf nicht grösser als die Strombelastbarkeit des reduzierten Leiters sein. Dabei geht man von symmetrischen Belastungen aus.
- Die Aussenleiter sind mit einer Überlast-Schutzeinrichtung versehen. In diesem Fall weisen die Neutralleiter in der Regel keine Überlast-Schutzeinrichtung auf.
- Der Querschnitt des Neutralleiters ist mindestens 16 mm².

Eine Reduktion des Neutralleiter-Querschnitts ist nicht empfehlenswert, sowohl aufgrund der mechanischen Beanspruchung als auch wegen der Strombelastung – vor allem wenn diese unsymmetrisch ist und Oberschwingungen aufweist.

Symmetrie

In ungestörten Drehstromkreisen mit 100 % symmetrischer Strombelastung in den Aussenleitern und ohne Oberschwingungen fliesst über den Neutralleiter kein Strom. Symmetrie liegt vor, wenn die übertragene Leistung gleichmässig auf die Aussenleiter aufgeteilt wird. Für die Praxis: Die Summe der Leistungsaufnahme von den zwischen Aussenleitern und Neutralleiter angeschlossenen Erzeugnissen wie Leuchten und Steckdosen ist sehr viel kleiner als die gesamte im Stromkreis übertragene Leistung. Da dies in der Praxis jedoch kaum zu realisieren ist, ist der Neutralleiter in der Regel strombelastet. In «guten» Installationen ist die Belastung der Neutralleiter aber gering.

TN-C-System

Theoretisch gelten die gleichen Bedingungen für das TN-C-System wie für das oben beschriebene TN-System.

Praktisch darf der PEN-Leiter jedoch unter keinen Umständen geschaltet oder unterbrochen werden, da er sowohl als Schutzleiter als auch als Neutralleiter dient.

Überstrom-Schutzeinrichtung

Bei einer Reduzierung des Querschnitts der Neutralleiter muss:

- Klarheit über die Gesamtstrombelastung des Neutralleiters bestehen und
- eine auf diesen Strom bzw. den reduzierten Leiterquerschnitt abgestimmte Überstrom-Schutzeinrichtung vorhanden sein (NIN 4.3.1.2.1).

Die Stromerfassung kann z.B. mittels eines Leitungsschutzschalters erfolgen. Diese Überstrom-Schutzeinrichtung stellt den Schutz sowohl bei Überlast als auch bei Kurzschluss sicher. Bei der Wahl einer Überstrom-Schutzeinrichtung zur Stromerfassung im Neutralleiter ist darauf zu achten, dass diese auch bei oberschwingungsbehaftetem Überstrom Schutz bietet. Die in der Niederspannungstechnik üblichen Überstrom-Schutzeinrichtungen sind lediglich für Ströme und Spannungen mit Netzfrequenz ausgelegt. Bezüglich des oberschwingungsbehafteten Überstroms sollte man sich deshalb beim Hersteller der entsprechenden Schutzeinrichtung erkundigen.

Auf eine solche Schutzeinrichtung kann verzichtet werden, wenn der reduzierte Neutralleiter auch durch die Schutzeinrichtungen in den Aussenleitern geschützt wird. Dies ist praktisch nur dann möglich, wenn die Schutzeinrichtungen in den Aussenleitern der Strombelastbarkeit im reduzierten Neutralleiter entsprechen. Die Aussenleiter sind in einem solchen Anwendungsfall untersichert.

Oberschwingungsreiche Anlagen

Selbst bei Symmetrie im Drehstromkreis bleibt in der Praxis meistens das Problem der Strombelastung durch Oberschwingungen bestehen. Diese werden verursacht durch elektronische Geräte wie Computer, EVGs für Leuchtstofflampen, Treiber für LED-Leuchten, Umrichter mit nichtlinearem Verbrauch. Dabei werden der sinusförmigen Grundschwingung der Netzspannung Oberschwingungen überlagert, was zu einem höherfrequenten Strom auf dem Neutralleiter führt.

Die tatsächliche Strombelastung durch Oberschwingungen kann mit geeigneten Messgeräten, d.h. Echteffektiv-Messgeräten, ermittelt werden. Sie werden von verschiedenen Firmen angeboten.

Da sich Oberschwingungsströme linear im Neutralleiter überlagern, entstehen Neutralleiterströme, die deutlich höher sind als die zugehörigen Aussenleiterströme. Gerade in Anlagen mit vielen Geräten, auch «nicht lineare Verbraucher» genannt, die Oberschwingungen erzeugen, ist deshalb ein besonderes Augenmerk auf die Neutralleiter-Dimensionierung zu legen. Zur Berechnung der Strombelastbarkeit eines Kabels oder einer Leitung mit drei stromführenden Leitern wird dringend empfohlen, Reduktionsfaktoren für Oberschwingungsströme in vier- und fünfadrigen Leitungen anzuwenden **(Tabelle 2)**.

Die grundlegende Berechnung einer Leitung betrifft nur Leitungen mit drei stromführenden Leitern, d.h. in denen der Neutralleiter keinen Strom führt. Aufgrund der Oberschwingung 3. Ordnung fliesst jedoch ein Strom durch den Neutralleiter und erwärmt ihn entsprechend. Dadurch werden auch die drei aktiven Aussenleiter indirekt erwärmt. Deshalb ist die Anwendung eines Reduktionsfaktors für die Berechnung der Strombelastbarkeit der Aussenleiter nötig. Die Erwärmung der Aussenleiter durch den Oberschwingungsstrom ist in den Reduktionsfaktoren berücksichtigt.

Werden die Reduktionsfaktoren auf die Strombelastbarkeit einer Leitung mit drei stromführenden Leitern angewendet, so ergibt sich die Strombelastbarkeit einer Leitung mit vier stromführenden Leitern, wobei der Strom im vierten Leiter durch die Oberschwingungsanteile entsteht. Da in diesem Fall der Neutralleiter belastet wird, ohne dass die drei Aussenleiter entsprechend entlastet werden, muss der Neutralleiter bei der Festlegung der Strombelastbarkeit des Stromkreises mitberücksichtigt werden.

Folgendes ist bei einem symmetrischen Drehstromsystem zu beachten, in dem der Neutralleiter Strom führt:

- Wird im Neutralleiter eine höhere Stromstärke als im Aussenleiter erwartet, ist der Nennquerschnitt der Leitung auf Basis des Neutralleiterstroms zu bestimmen.
- Basiert die Auswahl der Leitung auf einem Neutralleiterstrom, der den Aussenleiterstrom nicht wesentlich übersteigt, ist es auch nötig, den für drei stromführende Leiter tabellierten Wert der Strombelastbarkeit zu reduzieren (B+E 5.2.3.4.2).
- Beträgt der Neutralleiterstrom mehr als 135 % des Aussenleiterstroms und wurde die Leitung anhand des Neutralleiterstroms ausgewählt, werden die drei Aussenleiter nicht voll belastet. Die geringere Erwärmung durch die Aussenleiter gleicht die Erwärmung durch den Neutralleiter so weit aus, dass es nicht nötig ist, den Wert der Strombelastbarkeit für die drei stromführenden Leiter mit einem Reduktionsfaktor zu verringern. (B+E 5.2.3.4.2).

Fazit

Die korrekte Bestimmung der erforderlichen Querschnitte von Leitern ist anspruchsvoll. Eine den Regeln der Technik (NIN) entsprechende Dimensionierung ist eine wichtige Voraussetzung für die Betriebssicherheit und den Schutz von Personen, Nutztieren und Sachwerten beim Betreiben von elektrischen Anlagen nach Art. 4 Abs. 1 StV. Für die Auslegung von Neutralleitern werden in der NIN Mindestquerschnitte definiert. Grundsätzlich sollte der Neutralleiter keinen kleineren Querschnitt als der Aussenleiter aufweisen. So kann eine Gefährdung durch unzulässig hohe Ströme und somit durch Wärme verhindert werden.

Literatur

→ EN 60228 «Leiter für Kabel und isolierte Leitungen».
→ IEC 60364, Teil 5-52 «Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Kabel- und Leitungsanlagen».
→ NIN SN 411000:2015 Niederspannungs-Installationsnorm (NIN 2015).
→ Adalbert Hochbaum, Bernhard Hof, Kabel- und Leitungsanlagen – Auswahl und Errichtung nach DIN VDE 0100-520, VDE-Schriftenreihe – Normen verständlich Band 68, 2003.
→ Planungskompendium Wiki Schneider Electric (Zugriff 21.02.2017).

Autor

Peter Bryner ist dipl. Elektroinstallateur und MAS FHNW Energieexperte, Er bearbeitet bei Electrosuisse Projekte in den Bereichen Niederspannungs-Installationen.
→ Electrosuisse, 8320 Fehraltorf
→ peter.bryner@electrosuisse.ch