

# Anordnung, Verlegung und Schutz

In elektrischen Anlagen mit einer hohen Leistung kommt es vor, dass parallel geschaltete Leiter verlegt werden müssen. Die korrekte Leiterdimensionierung, Anordnung und Verlegeart sowie die empfohlenen Schutzeinrichtungen geben in diesem Zusammenhang Anlass zu Fragen, die der Fokus Elektrosicherheit in der letzten ET 2 und dieser Ausgabe beantwortet.

Peter Bryner\*

## 2.2 Einzeln geschützte Leiter

### 2.2.1 Zwei parallel geschaltete Leiter pro Pol (Bild 9)

**Schutz gegen Überlast:** Unter Überlast versteht man, wenn während längerer Zeit der Nennstrom bis zum ca. 4-fa-

chen Wert überschritten wird. Überlastungen können während Minuten, Stunden oder gar Tagen auftreten. Der Schutz gegen Überlast ist gewährleistet, wenn an der Stelle LA der Einspeisung in jeden Leiter eine Überstrom-Schutzeinrichtung eingebaut ist, dessen Bemessungsauslösestrom der Strombelastbarkeit der Leiter entspricht.

**Schutz gegen Kurzschluss:** Unter Kurzschluss versteht man eine impedanzlose Verbindung zwischen zwei oder mehreren aktiven Leitern. Der Schutz gegen Kurzschluss ist gewährleistet, wenn

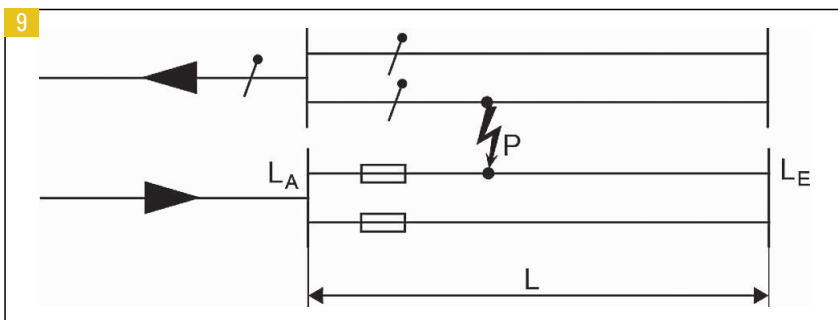
- die Leitungslänge L die Werte gemäss NIN Tabelle 5.2.3.5.2.1.2 nicht überschreitet,
- der Wert  $k^2 A^2$  des Leiters nicht kleiner ist als die Durchlassenergie  $I^2 t$  der Überstrom-Schutzeinrichtung beim Abschalten des maximalen Kurzschlussstromes.

Bei einem Kurzschluss bei P fliesst ein Strom, der etwa dem maximalen dreipoligen Kurzschlussstrom an der Stelle LA der Einspeisung der Leitung entspricht. Wird der Querschnitt für Schutzleiter PE-, PEN- bzw. N-Leiter reduziert, ist der Wert  $k^2 A^2$  auf den reduzierten Querschnitt zu beziehen (Bild 9).

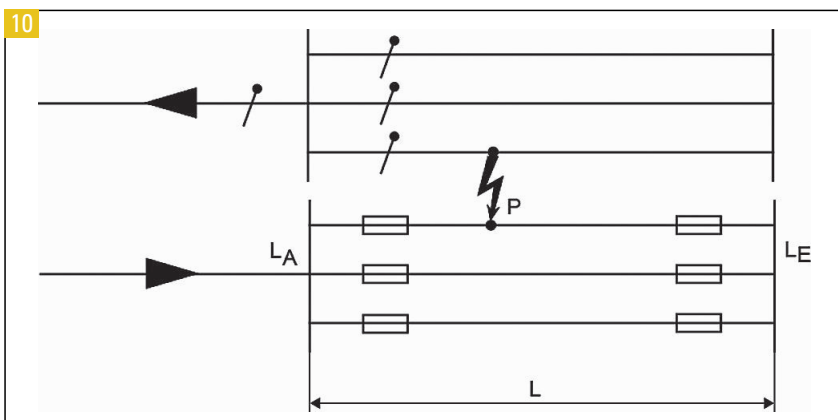
### 2.2.2 Drei oder mehr parallel geschaltete Leiter pro Pol (Bild 10)

**Schutz gegen Überlast:** Der Schutz gegen Überlast ist gewährleistet, wenn sowohl an der Stelle LA der Einspeisung als auch an der Stelle LE, an der die parallel geschalteten Leiter wieder verbunden sind, in jedem Leiter Überstrom-Schutzeinrichtungen eingebaut sind, deren Bemessungsauslösestrom der Strombelastbarkeit der Leiter entspricht. Bei dieser Anordnung besteht keine Selektivität der Überstrom-Schutzeinrichtungen untereinander. Sie hat aber den Vorteil, dass bei einem Isolationsdefekt oder einer Beschädigung eines Einzeleiters ein reduzierter Betrieb aufrechterhalten werden kann.

\*Peter Bryner, dipl. Elektroinstallateur/MAS FHNW Energieexperte, ist bei Electrosuisse verantwortlich für Projekte im Bereich Niederspannungs-Installationen und den Fachbuchverlag.



LA: Leitungsanfang, LE: Leitungsende.



*Schutz gegen Kurzschluss:* Der Schutz gegen Kurzschluss ist gewährleistet, wenn:

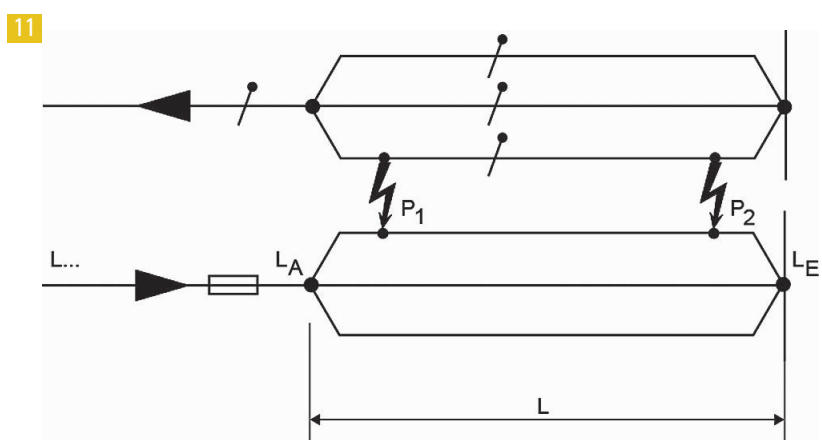
- die Leitungslänge  $L$  die Werte gemäss NIN Tabelle 5.2.3.5.2.1.2 nicht überschreitet,
- der Wert  $k^2A^2$  des Leiters nicht kleiner ist als die Durchlassenergie  $I^2t$  der Überstrom-Schutzeinrichtung beim Abschalten des maximalen Kurzschlussstromes.

ebenso vielen parallel geschalteten Einzelleitern wie der Aussenleiter besteht, jedoch nur den halben Querschnitt aufweist,

- der Wert  $k^2A^2$  des Leiters mit dem kleinsten Querschnitt (PE-, PEN- bzw. N-Leiter beachten) nicht kleiner ist als die Durchlassenergie  $I^2t$  der Überstrom-Schutzeinrichtung beim Abschalten des maximalen Kurzschlussstromes.

Bei einem Kurzschluss bei P (Bild 15) fliesst ein Strom, der etwa dem maximalen dreipoligen Kurzschlussstrom an der Stelle  $L_A$  der Einspeisung der Leitung entspricht. Wird der Querschnitt

Bei einem Kurzschluss bei  $P_1$  fliesst über einen PE-, PEN- bzw. N-Leiter ein Strom, der etwa dem maximalen dreipoligen Kurzschlussstrom an der



für PE-, PEN- bzw. N-Leiter reduziert, so ist der Wert  $k^2A^2$  auf den reduzierten Querschnitt zu beziehen (Bild 10).

### 2.3 Gemeinsam geschützte Leiter

Der Schutz von Leitungen, die aus parallel geschalteten Einzelleitern bestehen, durch eine gemeinsame Überstrom-Schutzeinrichtung setzt eine ausgeglichene Stromführung der einzelnen Leiter voraus.

*Schutz gegen Überlast:* Der Schutz gegen Überlast ist gewährleistet, wenn der Bemessungsauslösestrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung nicht grösser ist als die Strombelastbarkeit der Einzelleiter pro Pol, multipliziert mit der Anzahl parallel geschalteter Einzelleiter.

*Schutz gegen Kurzschluss:* Der Schutz gegen Kurzschluss ist gewährleistet, wenn:

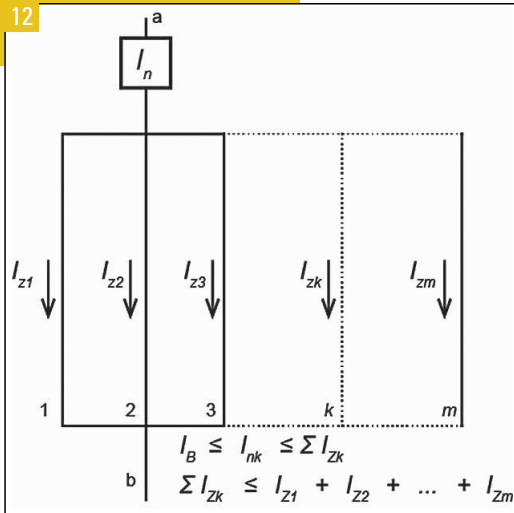
- die Leitungslänge  $L$  die Werte der NIN Tabellen 5.2.3.5.2.1.2 bis 3 nicht überschreitet. Die Tabellenwerte gelten unter der Annahme, dass der PE-, PEN- bzw. N-Leiter aus

Stelle  $L_A$  der Einspeisung der Leitung entspricht. Bei einem Kurzschluss bei  $P_2$  ist der Kurzschlussstrom minimal. Die Leitungslängen in der NIN sind so berechnet, dass beim minimalen Kurzschlussstrom die Überstrom-Schutzeinrichtung innerhalb von 5 s abschaltet, wenn:

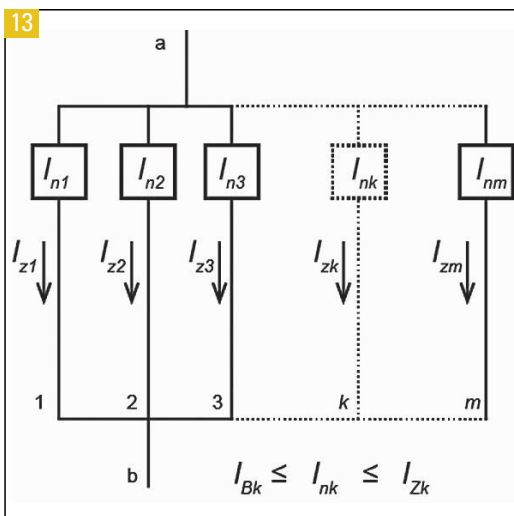
- es sich um einen Schmelzeinsatz handelt,
- es sich um einen Leistungsschalter handelt, dessen Kurzschlussauslöser nicht höher eingestellt ist als auf den 5-fachen Wert des Bemessungsauslösestroms der Überstrom-Schutzeinrichtung.

Die genaue Lage von  $P_2$ , bei welcher der Kurzschlussstrom minimal wird, ist abhängig von der Anzahl parallel geschalteter Einzelleiter pro Pol. Für zwei, drei oder vier parallele Einzelleiter pro Pol sind die maximalen Leitungslängen den NIN Tabellen 5.2.3.5.2.2.2.1 bis 3 zu entnehmen (Bild 11).





Stromkreis mit einer einzigen Einrichtung zum Schutz bei Überlast von parallel geschalteten  $m$  Leitern.



Stromkreis mit einer Einrichtung zum Schutz bei Überlast in jedem der parallel geschalteten  $m$  Leiter.

#### 2.4 Gleichmässige Stromaufteilung zwischen parallel geschalteten Leitern

Tritt eine Überlast in einem Stromkreis auf, der parallel geschaltete Leiter von Mehrleiterkabeln/-leitungen enthält, wird der Strom in jedem Leiter im gleichen Verhältnis ansteigen. Eine gemeinsame Einrichtung zum Schutz aller Leiter setzt eine gleichmässige Stromaufteilung zwischen den parallel geschalteten Leitern voraus. Die Strombelastbarkeit der parallel geschalteten Leiter ( $I_Z$ ) ist die Summe der Strombelastbarkeit der einzelnen Leiter unter Beachtung des Faktors für Häufung und anderer Faktoren. Parallel geschaltete Leiter sollten für die Häufung mitberücksichtigt werden (Bild 12).

Die Stromaufteilung zwischen den parallel geschalteten Kabeln/Leitungen ist abhängig von deren Impedanz. Bei langen Einleiterkabeln/-leitungen ist der Blindanteil der Impedanz grösser

als der Wirkanteil. Dies wirkt sich massgeblich auf die Stromaufteilung aus. Die örtliche Lage der Kabel/Leitungen zueinander beeinflusst wiederum den Blindanteil der Impedanz.

Ein Stromkreis besteht z. B. aus zwei langen Kabeln/Leitungen pro Aussenleiter mit gleicher Länge, Aufbau und Querschnitt. Diese liegen jedoch örtlich ungünstig, indem die Kabel/Leitungen mit gleichen Aussenleitern zusammengebunden sind. Eine ungleiche Stromaufteilung von 70/30 Prozent ist die Folge.

Bei einer ungleichen Stromaufteilung aufgrund unterschiedlicher Impedanzen zwischen parallel geschalteten Leitern sollten der Betriebsstrom und die Anforderungen an die Einrichtung zum Schutz bei Überlast für jeden Leiter getrennt in die Planung miteinbezogen werden (Bild 13).

Basierend auf der Gesamtbelastung und der Impedanz eines jeden Leiters kann der Betriebsstrom für jeden Leiter berechnet werden. Für eine Gesamtzahl von  $n$  parallel geschalteten Leitern ist der Betriebsstrom  $I_{Bk}$  für den Leiter  $k$  gegeben durch:

$$I_{Bk} = \frac{I_B}{\left( \frac{Z_k + Z_k + \dots + Z_k}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_k + Z_k + Z_k + \dots + Z_k}{Z_{k-1} + Z_k + Z_{k+1}} + \frac{Z_k}{Z_m} \right)}$$

Dabei ist

$I_B$ : der Betriebsstrom,

$I_{Bk}$ : der Betriebsstrom für den Leiter  $k$ ,

$Z_k$ : die Impedanz des Leiters  $k$  und

sind

$Z_1$  und  $Z_m$ : die Impedanzen des Leiters 1 beziehungsweise des Leiters  $m$ .

Bei parallel geschalteten Leitern bis einschliesslich  $120 \text{ mm}^2$  ist der Betriebsstrom  $I$  für den Leiter  $k$

$B_k$ : gegeben durch:

$$I_{Bk} = I_B \frac{S_k}{(S_1 + S_2 + \dots + S_m)}$$

Dabei ist

$S_k$ : der Querschnitt des Leiters  $k$ ,

$S_1 \dots S_m$ : der Querschnitt der Leiter.

Bei einadrigen Kabeln/Leitungen ist die Impedanz abhängig von der Lage der Kabel/Leitungen zueinander und deren Aufbau, z. B. ob armiert oder nicht armiert. Methoden für die Berechnung der Impedanz finden sich in der IEC 60287-1-3. Die Stromaufteilung zwischen parallel geschalteten Leitern sollte durch eine Messung überprüft werden.

Der Betriebsstrom wird anstelle von  $I_B$  für die Bedingung wie folgt verwendet:

$$I_{Bk} \leq I_n \leq I_{Zk}$$

oder: die Summe der dauernd zulässigen Strombelastbarkeit aller Leiter, wenn eine einzelne Einrichtung zum Schutz bei Überlast für die parallel geschalteten Leiter vorgesehen ist. Daraus folgt:

$$I_B \leq I_n \leq \sum I_{Zk}$$

Dabei ist

$I_{nk}$ : der Nennstrom der Schutzeinrichtung für den Leiter  $k$ ,

$I_{Zk}$ : die dauernd zulässige Strombelastbarkeit des Leiters  $k$ ,

$I_n$ : der Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung,

#### 2.5 Ungleichmässige Stromaufteilung zwischen parallel geschalteten Leitern (theoretische Variante)

Wenn die Verwendung eines Leiters pro Phase nicht praktikabel ist und der Strom in den parallelen Leitern ungleichmässig ist, müssen der Betriebsstrom und die Anforderungen zum Schutz bei Überlast für jeden Leiter getrennt betrachtet werden.

Der Strom in den parallelen Leitern wird als ungleich betrachtet, wenn die Differenz zwischen den einzelnen Strömen mehr als 10 Prozent des Betriebsstroms für jeden Leiter beträgt.

#### 2.6 Zusammenfassung

Folgende Punkte sollten beim Schutz von parallel geführten Leitern berücksichtigt werden:

1. gleichen Kabelquerschnitt verwenden
2. gleiche Leitungslänge der parallel geschalteten Leiter
3. passende und sorgfältig gepresste Kabelschuhe verwenden
4. EMV-gerechte Verlegung
5. unterschiedliche Schutzanforderungen bei einzeln oder gemeinsam verlegten Leitern beachten
6. Schutz von parallel geschalteten Leitern bei Kurzschluss ist besonders wichtig.

#### Quellen:

- Electrosuisse (2015). Niederspannungs-Installationsnorm (NIN) SN 411000.
- Bryner Peter, Schmucki Josef (2013). Sicherheit in elektrischen Anlagen. Verlag Electrosuisse.
- IEC 60287-1-3:2003-10-15. Kabel - Berechnung der Strombelastbarkeit.