

Eine spannende Aufgabe

Zur Wahrung der Versorgungssicherheit von Energieverteilungen wird immer mehr volle Selektivität gefordert. Nachfolgend findet sich eine kurze Einführung zum besseren Verständnis dieser modernen Anwendung des Netzschutzes. Dessen Aufgabe ist es, Fehler zu erfassen und gestörte Netzteile selektiv aus dem Netz herauszutrennen (dank kurzen Abschaltzeiten sollen dabei die Fehlerenergie und die Auswirkungen von Störlichtbögen begrenzt werden).

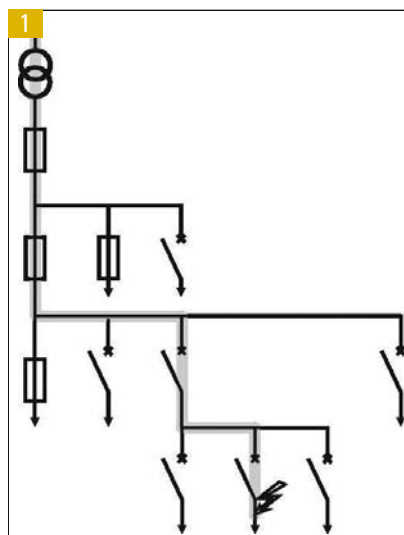
Peter Bryner*

Als selektiv wird ein Stromkreis bezeichnet, wenn beim Auftreten eines Fehlers nur die Schutzeinrichtung der in Serie geschalteten Schutzeinrichtung (Sicherung, Leistungsschalter) auslöst, das der Fehlerstelle unmittelbar vorgeschaltet ist.

Niederspannungsinstallationen werden meist von einem Punkt aus versorgt (Bild 1). Bei einer solchen strahlenförmigen Verteilung besteht der Vorteil der Selektivität darin, dass lediglich fehlerbehaftete Stromkreise vom Netz getrennt werden. Dadurch wird eine maximale Kontinuität des Betriebs der elektrischen Anlage gewährleistet, da alle intakten Stromkreise ungestört bleiben.

Die Selektivität begrenzt die Auswirkungen eines Fehlers sowohl räumlich wie zeitlich auf ein Minimum. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass eine fehlende oder mangelhafte Selektivität mehrere Schutzeinrichtungen auslösen kann (in diesem Fall kann ein einziger Fehler einen mehr oder weniger grossen Teil der Anlage abschalten). Das Ergebnis ist ein unerwünschter Verlust der Verfügbarkeit elektrischer Energie an den intakten Abgängen.

* Peter Bryner, dipl. Elektroinstallateur und MAS FHNW Energieexperte, bearbeitet bei Electro-suisse Projekte in den Bereichen Niederspannungs-Installationen und betreut den Fachbuchverlag.



Selektivität.

Sicherstellung der Selektivität

Bezüglich der Verfügbarkeit der Stromversorgung bzw. der Auswahl der Schutzeinrichtungen zur Sicherstellung der Selektivität sagt die Niederspannungs-Installationsnorm Folgendes: Jeder Stromkreis muss dahingehend beurteilt werden, ob die Aufrechterhaltung des Betriebes während der vorgesehenen Lebensdauer der elektrischen Anlage als notwendig angesehen wird oder nicht. Der Nachweis der Selektivität ist vorgeschrieben für medizinisch genutzte Bereiche.

Leistungsschalter (siehe ET 9/2014 Seite 66) werden eingesetzt, wenn eine

hohe Anlagenverfügbarkeit gewünscht wird, da Störungen schneller zu beheben sind und die Auslöser von Leistungsschaltern keiner Alterung unterliegen.

Bei der Wahl eines Anschluss-Überstromunterbrechers sind die Vorgaben der Netzbetreiberin einzuhalten. Sie bestimmt die Anforderungen an die Selektivität sowie das erforderliche Schaltvermögen.

Koordination von Überstrom-Schutzeinrichtungen untereinander

Für eine optimale Selektivität müssen die verschiedenen Schutzeinrichtungen sorgfältig ausgewählt und aufeinander abgestimmt sein. Ebenso sind die von den Herstellern veröffentlichten Kennlinien der Schutzeinrichtungen zu beachten, damit eine hohe Netzverfügbarkeit und Betriebssicherheit unter gleichzeitiger Gewährleistung des Personen- und Sachschutzes garantiert werden können.

Um die richtige Koordination von Überstrom-Schutzeinrichtungen sicherzustellen, sind sowohl die Eigenschaften der Einzelgeräte als auch ihr Zusammenwirken zu berücksichtigen. Diesbezügliche Angaben wie auch hinsichtlich des höchsten unbeeinflussten Kurzschlussstroms, für den die Kombination bei der angegebenen Betriebsspannung ausgelegt ist, sind den technischen Unterlagen der Hersteller zu entnehmen.

Selektivität

Die Selektivität kann auch theoretisch ermittelt werden, beispielsweise mittels eines Vergleichs der Ausschaltkennlinien: Sie liegt vor, wenn die Ansprechennlinien von zwei oder mehreren Überstrom-Schutzeinrichtungen so koordiniert sind, dass beim Auftreten von Überströmen nur die der Fehlerstelle unmittelbar vorgeschaltete Überstrom-Schutzeinrichtung ausschaltet.

Der Schnittpunkt der vollständigen Zeit-/Strom-Kennlinie der übergeordneten Schutzeinrichtung mit der Ansprechennlinie (bei einem Schmelzeinsatz) oder der Auslösekennlinie (bei einem Leitungsschutzschalter oder Leistungsschalter) der nachgeschalteten Schutzeinrichtung stellt den Grenzstrom IS der Selektivität dar. Bis zu diesem Grenzstrom IS ist Selektivität vorhanden.

Ziel einer optimalen Selektivität ist es, dass die nachgeschaltete Schutzeinrichtung alle Überströme bis zur Grenze ihres Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögens allein abschaltet.

Im Folgenden werden die Anforderungen beschrieben bezüglich der Selektivität und des Back-up-Schutzes von Leitungsschutzschaltern und Leistungsschaltern. Diese werden kombiniert mit einer der übergeordneten Überstrom-Schutzeinrichtungen im selben Stromkreis, in Form eines Schmelzeinsatzes, eines Leitungsschutzschalters oder eines Leistungsschalters.

Back-up-Schutz

Unter dem Back-up-Schutz versteht man das Zusammenwirken von zwei aufeinander abgestimmten in Serie geschalteten Überstrom-Schutzeinrichtungen an Stellen, an denen ein Gerät im Schadensfall den zu erwartenden Kurzschlussstrom allein nicht zu schalten vermag.

Eine geeignete Schutzeinrichtung als Back-up-Schutz muss zusätzlich vorhanden sein, wenn der unbeeinflusste Kurzschlussstrom am Einbauort das Bemessungsschaltvermögen der nachgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung übersteigt. Die Grenzwerte für den Back-up Schutz wie auch für die Selektivität sind den Herstellerangaben zu entnehmen.

Tritt ein entsprechend hoher Kurzschlussstrom auf, entlastet die vorgeschaltete Überstrom-Schutzeinrichtung die nächstliegende nachgeschaltete und verhindert so deren übermässige Beanspruchung. Die vorgeschaltete Schutz-einrichtung muss über ein ausreichendes Schaltvermögen verfügen. Dieses wird gewährleistet, indem

1. die nachgeschaltete Überstrom-Schutz-einrichtung die Anforderungen an das Kurzschlussverhalten bei allen Überströmen bis zum Kurzschlussausschaltvermögen der Kombination erfüllt
2. und indem der Übernahmestrom IB nicht grösser ist als das Bemessungsschaltvermögen der Schutz-einrichtung,

für die der Back-up-Schutz erforderlich ist.

Der Übernahmestrom IB ist der Strom im Schnittpunkt der jeweils oberen Ausschaltstromkennlinie von zwei Überstrom-Schutz-einrichtungen in Reihe.

Wenn für die Kombination ein Schaltvermögen angegeben wird, welches grösser ist als das Schaltvermögen der Schutz-einrichtung für den Back-up-Schutz, muss durch geeignete Massnahmen die Gefahr eines Kurzschlusses in der Verbindung zwischen den Geräten durch eine kurzschluss-sichere Verlegung auf ein Minimum reduziert werden.

Selektivität bei Überströmen

Die verlegten Querschnitte sind häufig nach den vorgeschalteten Überstrom-Schutz-einrichtungen dimensioniert. Sie können auch im Zuge der Leitung gegen Überlast geschützt werden. Dabei befindet sich die Kurzschluss-Schutz-einrichtung immer am Anfang der Leitung. Die folgenden Überströme werden unterschieden:

- Kurzschluss
- Überlast
- Einschaltstromspitzen

Die Selektivität bei Überströmen (Überlast und Kurzschluss) zeigt sich vereinfacht im Ansprechen mehrerer hintereinander geschalteter Überstrom-Schutz-einrichtungen. Zwei Arten von Selektivität werden unterschieden:

1. *Vollständige Selektivität:* Die Selektivität ist vollständig selektiv, wenn unabhängig vom Wert des Überstroms an der Einbaustelle nur die unmittelbar vorgeschaltete Schutz-einrichtung anspricht.
2. *Teilelektivität:* Eine Teilelektivität wird dann erreicht, wenn das selektive Abschalten von der Grösse des Kurzschlussstroms IK am Einbauort und von der Grösse des Überstroms abhängt. Sie liegt vor, wenn die Selektivität bis zu einem bestimmten Wert des Kurzschluss- und Überstroms gewährleistet ist. Teilelektivität heisst, dass die betreffende Gerätekombination (vor- und nachgeordnet) nicht bis zu dem maximalen Kurzschlussstrom selektiv ist.

Selektivitätsbereiche

In einer elektrischen Anlage sind zwei Arten von Überstromfehlern möglich, Überlast und Kurzschluss. Als Überlast werden im Allgemeinen Überströme zwischen dem 1,1-fachen und dem klei-

Informations- tagung



Forum für Elektrofachleute

Das Forum beschäftigt sich mit Themen der elektrischen Sicherheit, der Energieeffizienz, der praxisnahen Anwendung neuer Techniken und dem Erfahrungsaustausch unter Fachleuten.

Zielgruppe:

- _ Elektroinstallateure
- _ Ingenieure
- _ Planer
- _ Sicherheitsberater
- _ Chefmonteure

Termine:

- _ 04. November 2014 in Bern
- _ 13. November 2014 in Landquart
- _ 20. November 2014 in Luzern
- _ 26. November 2014 in Zürich

In Zusammenarbeit mit:

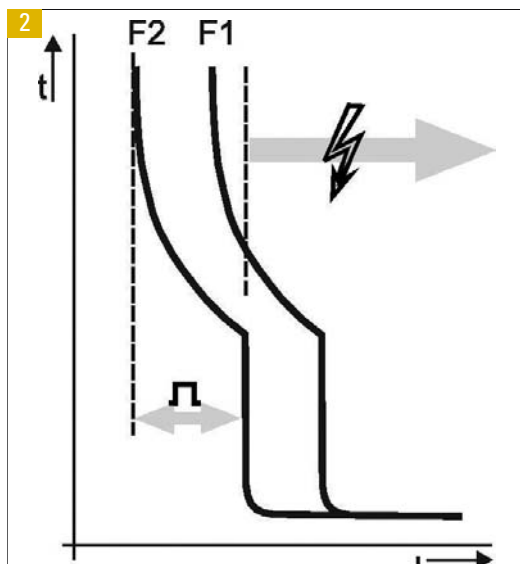
VSEI Ideen verbinden
USIE Idées branchées
Idee in rete

Anmeldung unter:


electro
suisse

Weiterbildung
T +41 44 956 12 96
weiterbildung@electrosuisse.ch

Electrosuisse
Luppenstrasse 1
CH-8320 Fehraltorf
www.electrosuisse.ch



Selektivitätsbereich

nen ganzzahligen vielfachen Wert des Nennstroms bezeichnet. Überlast und Kurzschlüsse müssen in möglichst kurzer Zeit mittels magnetischer Schnellauslöser oder Auslöser mit kurzer Verzögerung abgeschaltet werden (Bild 2). Zwei Arten von Selektivitätsbereichen werden unterschieden:

1. Überlastbereich: Für einen beliebigen Wert des Überstroms ist die

6	10	16	25	40	63	100	160	250	400	A
8	13	20	32	50	80	125	200	315	500	A

Tabelle 1: Normierte Nennströme für Überstrom-Schutzeinrichtungen

Selektivität bei Überlast gewährleistet, wenn die maximale Abschaltzeit der nachgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung F2 kürzer ist als die minimale Ansprechzeit der vorgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung F1. Die Bedingung der Überlastselektivität wird in der Praxis erfüllt, wenn der Nennstrom der vorgeschalteten Überstrom-Schutz-

einrichtung $\geq 1,6 (5\sqrt{10})$ grösser ist als der Nennstrom der nachgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung (Tabelle 1).

2. Kurzschlussbereich: Durch Vergleichen der Kennlinien der vor- und nachgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtungen kann die Selektivität im Kurzschlussfall beurteilt werden. Selektivität im Kurzschlussfall besteht nur dann, wenn sich die Auslösekennlinien nicht überschneiden.

Selektivität zwischen zwei Überstrom-Schutzeinrichtungen

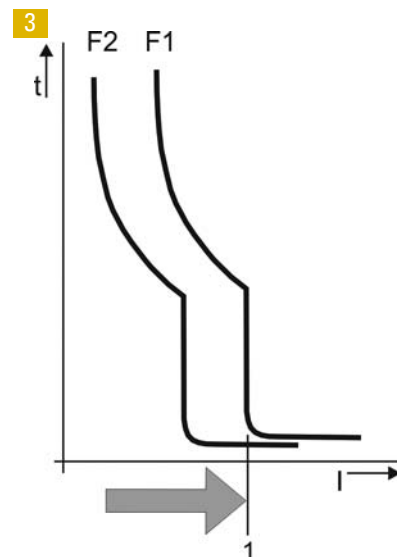
Leistungsschalter und/oder Auslöser unterschiedlicher Art oder mit verschiedenen Einstellungen erzielen eine Selektivität zwischen zwei Überstrom-Schutzeinrichtungen und verhindern ein Überdecken der Kennlinien. Für die selektive Arbeitsweise der in Reihe liegenden Schutzgeräte sind folgende Kriterien anwendbar:

- nur der Stromunterschied der Ansprechwerte (Stromselektivität)
- nur der Zeitunterschied der Ansprechwerte (Zeitselektivität)
- die Kombination aus Zeit- und Stromstaffelung (Energieselektivität)

Stromselektivität

Unter Stromselektivität wird das selektive Abschalten durch Staffelung der Ansprechströme

der unverzögerten magnetischen Schnellauslöser oder von Schmelzeinsätzen verstanden. Der Selektivitätsbereich ist umso grösser, je grösser der Abstand zwischen den Ansprechkurven der beiden Überstrom-Schutzeinrichtungen ist und je kleiner der Kurzschlussstrom ist (lange Leitung an der nachgeschalteten Überstrom-Schutzeinrichtung) (Bild 3).



Stromselektivität.

Zeitselektivität

Unter Zeitselektivität wird das selektive Abschalten durch Staffelung der einstellbaren Auslösezeiten der Kurzschlussauslöser verstanden. Um eine vollständige Selektivität erreichen zu können, dürfen sich die Auslösekennlinien der beiden Überstrom-Schutzeinrichtungen – unabhängig vom Wert des voraussichtlichen Kurzschlussstroms – an keiner Stelle überdecken. Für hohe Fehlerströme ist die vollständige Selektivität gewährleistet, wenn sich auch die beiden horizontalen Teile der Kennlinien voneinander unterscheiden.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden zwei Methoden angewendet:

Bei der «klassischen Lösung» kommen vorgeschaltete Überstrom-Schutzeinrichtungen mit magnetischen Auslösern zum Einsatz, die mit einer Verzögerungseinrichtung ausgestattet sind. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass hier nur nachgeschaltete Überstrom-Schutzeinrichtungen mit genü-

gend grosser Abschaltleistung verwendet werden dürfen, die einen Kurzschlussfall thermisch und dynamisch unbeschadet überstehen können.

Eine weitere Lösung besteht darin, auf der untersten Ebene einer Anlage Überstrom-Schutzeinrichtungen einzusetzen, welche eine stark strombegrenzende Wirkung haben.

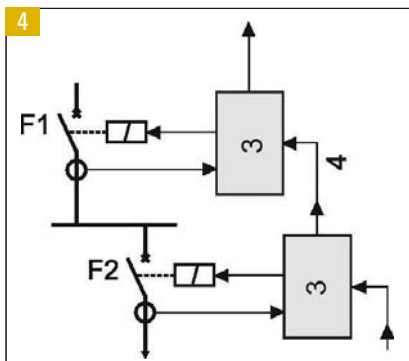
Energieselektivität

Strombegrenzende Leistungsschalter und «Pseudo-Zeitselektivität»: Die Energieselektivität basiert auf der Betrachtung der Durchlassenergie des nachgeordneten Geräts und der Auslöseenergie der vorgeordneten Schutzeinrichtung. Dieser Schaltmechanismus zeichnet sich dadurch aus, dass seine Kontaktöffnung sehr schnell erfolgt und durch hohe Lichtbogenspannung den Strom stark begrenzt. Er wirkt umso schneller, desto grösser der voraussichtliche Kurzschlussstrom ist.

Durch den Einsatz von strombegrenzenden Leistungsschaltern wird eine «Pseudo-Zeitselektivität» zwischen zwei Schutzebenen erreicht. Dank der sehr schnellen Kontaktöffnung wird die Anlage einer geringeren thermischen und elektrodynamischen Beanspruchung ausgesetzt.

Logische Selektivität

Die logische Selektivität erfordert eine Informationsübermittlung zwischen den Leistungsschalter-Auslösern auf den



Logische Selektivität.

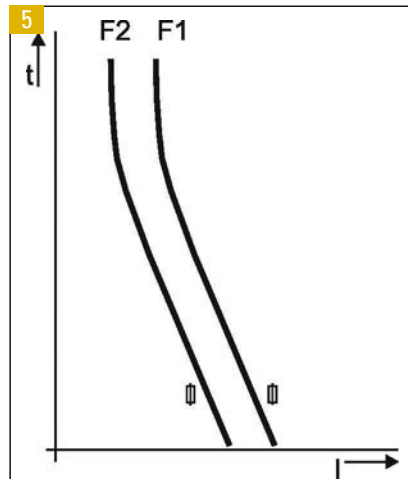
verschiedenen Ebenen der strahlenförmigen Verteilung.

Alle Auslöser, die einen Strom feststellen, der höher ist als ihr Ansprechstrom, senden an den unmittelbar vorgeschalteten Auslöser einen Wartebefehl. Der Auslöser der unmittelbar vor dem Kurzschluss angeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung kann keinen Wartebefehl erhalten und spricht sofort an. Somit bleiben die Abschalt-

zeiten kurz auf allen Ebenen der Anlage. Die logische Selektivität wird vor allem in industriellen, leistungsstarken Niederspannungsanlagen angewendet (Bild 4).

Selektivität in Strahlennetzen

Verschiedene Anordnungen von Überstrom-Schutzeinrichtungen: In der Praxis



Schmelzeinsatz hinter Schmelzeinsatz.

werden oft unterschiedliche Überstrom-Schutzeinrichtungen in Serie geschaltet. Bei ungünstiger Anordnung der Anlage kann es zu Fehlauselösungen kommen, indem bei Überlastungen oder Kurzschlüssen die Schutzeinrichtungen an verschiedenen Stellen der Anlage ansprechen (Bild 5).

Schmelzeinsatz hinter Schmelzeinsatz

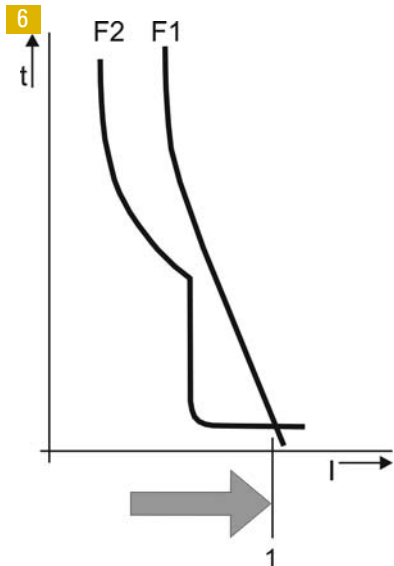
Schmelzeinsätze werden heutzutage nur noch als Anschluss-Überstromunterbrecher und Bezügersicherungen (Zählervorsicherungen) im Wohnungsbau eingesetzt. In grösseren Anlagen und für grössere Ströme werden meist NH-Schmelzeinsätze verwendet.

Diese Anordnung erweist sich als «problemlos», sofern die Abstände der beiden Nennströme der Schmelzeinsätze genügend gross sind.

Leitungsschutzschalter hinter Schmelzeinsatz

In Endstromkreisen werden heute meistens Leitungsschutzschalter ver-

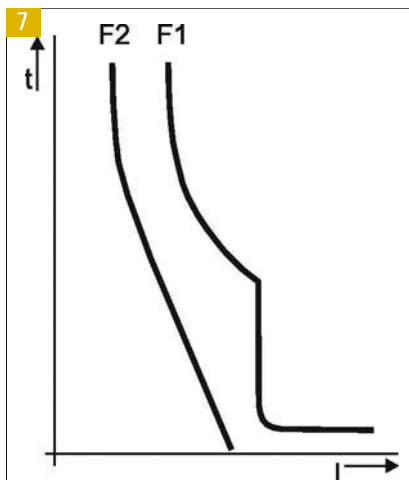
- 1 NIN 2015: 3.6 Verfügbarkeit der Versorgung. Die neue NIN tritt am 01.01.2015 in Kraft.
- 2 NIN 2015: 7.1 Elektrische Anlagen in medizinisch genutzten Räumen
- 3 NIN 2015: 4.3.2.5 Anschlussüberstromunterbrecher
- 4 NIN 2015: 5.3.6.1 Koordination von Überstrom-Schutzeinrichtungen untereinander.
- 5 NIN 2015: 5.3.6.1.2 Selektivität.
- 6 NIN 2015: 5.3.6.1.3 Back-up Schutz.
- 7 Positive Temperature Coefficient-Widerstand.



Leitungsschutzschalter hinter Schmelzeinsatz.

wendet. In der Praxis ist diese Anordnung im Wohnungsbau häufig anzutreffen, sie ist jedoch nur bis zu einem bestimmten Kurzschlussstrom selektiv.

Die mechanische Ansprechzeit und der Kurzschlussstrom bestimmen die Selektivitätsgrenze (Bild 6).



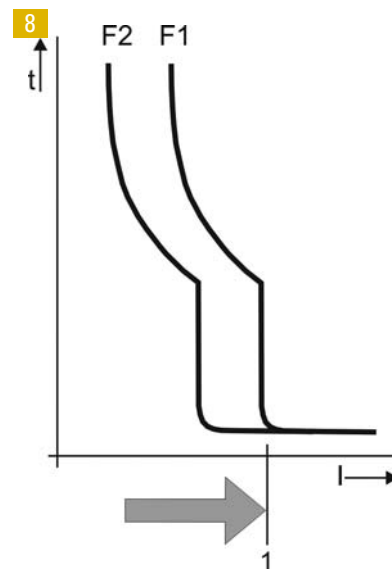
Schmelzeinsatz hinter Leitungsschutzschalter.

Schmelzeinsatz hinter Leitungsschutzschalter

Diese Anordnung ist «eigentlich» problemlos. Sie findet in der Praxis Anwendung, wenn Schmelzeinsätze hinter «grössere» Leistungsschalter installiert werden. Wird der Ansprechstrom des magnetischen Schnellauslösers wegen der strombegrenzenden Wirkung des Schmelzeinsatzes nicht erreicht, ist eine «vollständige» Selektivität gewährleistet (Bild 7).

Leitungsschutzschalter hinter Leitungsschutzschalter

Werden Leitungsschutzschalter in Serie geschaltet, liegt die Selektivitätsgrenze



Leitungsschutzschalter hinter Leitungsschutzschalter.

im Bereich des unteren Ansprechstroms des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters. Infolge der mechanischen Ansprechzeit kann die Selektivität nur «zeitlich» oder über eine «Logik» erreicht werden. Dabei muss jedoch auch der nachgeschaltete Leitungsschutz-

schalter über ein entsprechendes Abschaltvermögen verfügen, weil aufgrund der «Verzögerungszeit» eine grosse Energiemenge kontrolliert werden muss (siehe Zeitselektivität) (Bild 8).

Erhöhung der Selektivität

Auf der untersten Verteilebene eines Strahlnetzes kann die Selektivität wie folgt durch eine Erhöhung der Impedanz im Kurzschlussfall verbessert bzw. erhöht werden:

- Kabelimpedanz zwischen den Überstrom-Schutzeinrichtungen: hohe Netzimpedanz durch grosse Kabellängen und/oder geringe Leitungsquerschnitte
- Einsatz von nichtlinearen Widerständen (PTC)

Fazit

Neben den primären Einsatzkriterien eines Schutzgeräts-Bemessungsstroms und -Bemessungsschaltvermögen ist für eine bestmögliche Versorgungssicherheit und einen effizienten Netzschutz die Selektivität ein wesentliches Kriterium. Um eine optimale Selektivität zu erreichen, müssen die verschiedenen Schutzeinrichtungen sorgfältig ausgewählt und aufeinander abgestimmt sein. Eine hohe Betriebssicherheit unter gleichzeitiger Gewährleistung des Personen- und Sachschutzes kann erreicht werden, wenn die von den Herstellern veröffentlichten Kennlinien der Schutzeinrichtungen beachtet werden. ■

Literatur

- Bryner, Peter; Schmucki, Josef; Sicherheit in elektrischen Anlagen, Fehrltorf 2013.
 Niederspannungs-Installationsnorm SN 411000:2015 (NIN 2015).
 Schneider Electric. Energetische Selektivität in Niederspannungsnetzen. Technisches Heft Nr. 167. 1994.
 Siemens AG. Grundlagen der Niederspannungsschalttechnik. 2008. Kap. 4 Netzschutz, S. 6 bis S. 17.