Leitungsschutzschalter oder Sicherungen im Wohnungsbau : Überlegungen bei der Planung elektrischer Installationen

Autor(en): **Popper, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 13

PDF erstellt am: **30.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915430

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Leitungsschutzschalter oder Sicherungen im Wohnungsbau

Überlegungen bei der Planung elektrischer Installationen

Von W. Popper

621.316.172 : 621.316.9

Es werden die Kriterien der Selektivität zwischen Leitungsschutzschalter und vorgeschalteter Sicherung kurz zusammengefasst. Weiter wird auf die Bedeutung des maximalen Kurzschluss-Stromes hingewiesen, eine einfache Anleitung für dessen Berechnung gegeben und diese an zwei Beispielen aus der Praxis demonstriert. Gleichzeitig wird auch gezeigt, welchen Einfluss die örtlichen Verhältnisse auf die Entscheidung zwischen Leitungsschutzschaltern und Sicherungen haben. Schliesslich werden die mit der Hintereinanderschaltung von Leitungsschutzschaltern zusammenhängenden Probleme erörtert.

L'auteur indique brièvement les critères de la sélectivité entre disjoncteur de protection de canalisation et coupe-circuit en amont, puis montre l'importance du courant maximal de court-circuit, donne une simple méthode pour le calculer et en démontre l'application à deux exemples de la pratique. La décision à prendre entre disjoncteurs et coupe-circuit dépend des conditions locales. Enfin, l'auteur discute des problèmes en relation avec le couplage en série de disjoncteurs de protection de canalisation.

Dieser Artikel möchte auf die Überlegungen hinweisen, die beim Wohnungsbau in bezug auf die Entscheidung, ob Leitungsschutzschalter oder Sicherungen eingesetzt werden sollen, nötig sind.

Die Vorteile der Leitungsschutzschalter, wie kleiner Platzbedarf, einfache und gefahrlose Wiedereinschaltung nach Überlastung und Kurzschluss, sind allgemein bekannt. Die problematische Seite – die Selektivität zwischen Leitungsschutzschalter und Vorsicherung – zeigt sich aber meistens erst nach Inbetriebsetzung der Anlage.

Es ist hier nicht der Platz, um mit allen Details auf die Grundlagen der Selektivität zwischen Leitungsschutzschaltern (LS) und Sicherungen einzugehen, es soll nur das Hauptsächliche vereinfacht in Erinnerung gebracht werden.

Die Auslösecharakteristik eines LS setzt sich aus zwei Kurven zusammen (Fig. 1), und zwar aus der Auslösecharakteristik für den Überstrombereich, welche durch die Eigenschaften des Überstromauslösers gegeben ist, und aus der Auslösecharakteristik für den Kurzschlussbereich, welche von der Einstellung der magnetischen Auslösung abhängig ist.

Die Überstromauslösung ist stromabhängig verzögert, d.h., je grösser die Stromstärke, desto kürzer die Auslösezeit. Demgegenüber ist die Kurzschlussauslösung unverzögert, d.h., die Trennung der Kontakte wird, nur um die für die Massenbeschleunigung benötigte Zeit von ca. 0,001 s verzögert, nach dem Erreichen der vorgesehenen Stromstärke eingeleitet. Die Löschung des entstehenden Lichtbogens erfolgt normalerweise bei Nulldurchgang der Spannung (Nullpunktlöschung) und kann daher bei einer Netzfrequenz von 50 Hz eine Gesamtverzögerung von ca. 0,01 s verursachen.

Infolge unvermeidlicher Fabrikationstoleranzen des Bimetalls und des magnetischen Auslösers einerseits und der verschiedenen möglichen Phasenlagen im Moment des Kurzschlusses andererseits muss die Auslösecharakteristik des LS als Streuband dargestellt werden.

Die Auslösecharakteristik einer Sicherung ist hingegen eine kontinuierliche Kurve. Infolge fabrikationsbedingter Toleranzen muss diese ebenfalls als Streuband dargestellt werden [1][1]).

Die Selektivität zwischen einem LS und einer diesem vorgeschalteten Sicherung ist im Überstrombereich gegeben, wenn sich die Streubänder der Charakteristiken der Sicherung und des Überstrombereichs des LS weder schneiden noch sich gegenseitig berühren.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

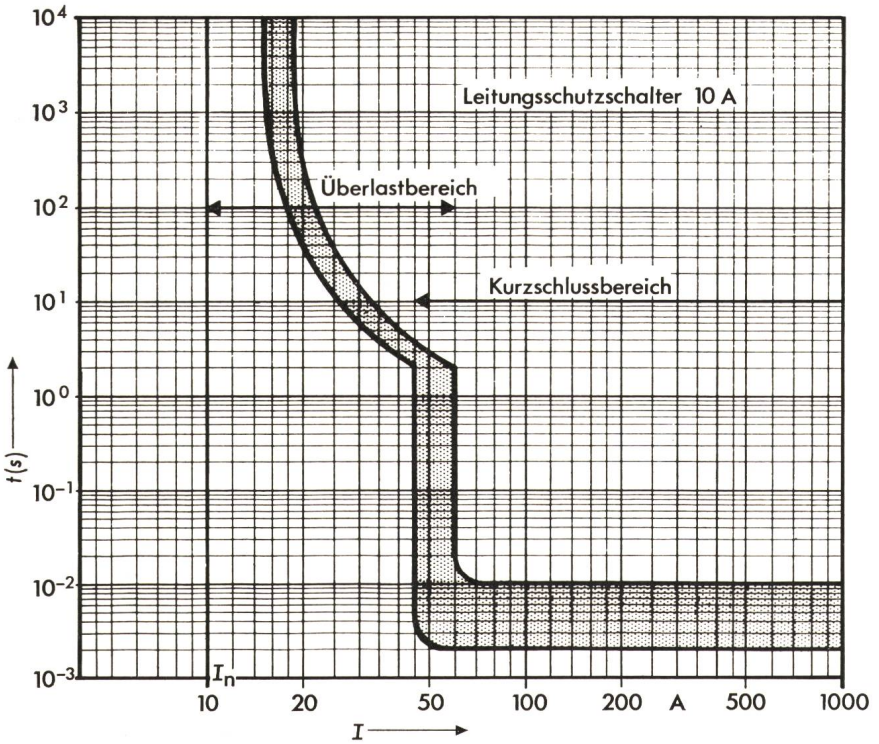

Fig. 1
Charakteristik eines Leitungsschutzschalters
Die Unterteilung in Überlastbereich und Kurzschlussbereich ist aus der Zeichnung ersichtlich.
Die dargestellten Charakteristiken der Leitungsschutzschalter haben keine allgemeine Gültigkeit und müssen für die verschiedenen Fabrikate den jeweils gültigen Katalogen entnommen werden.

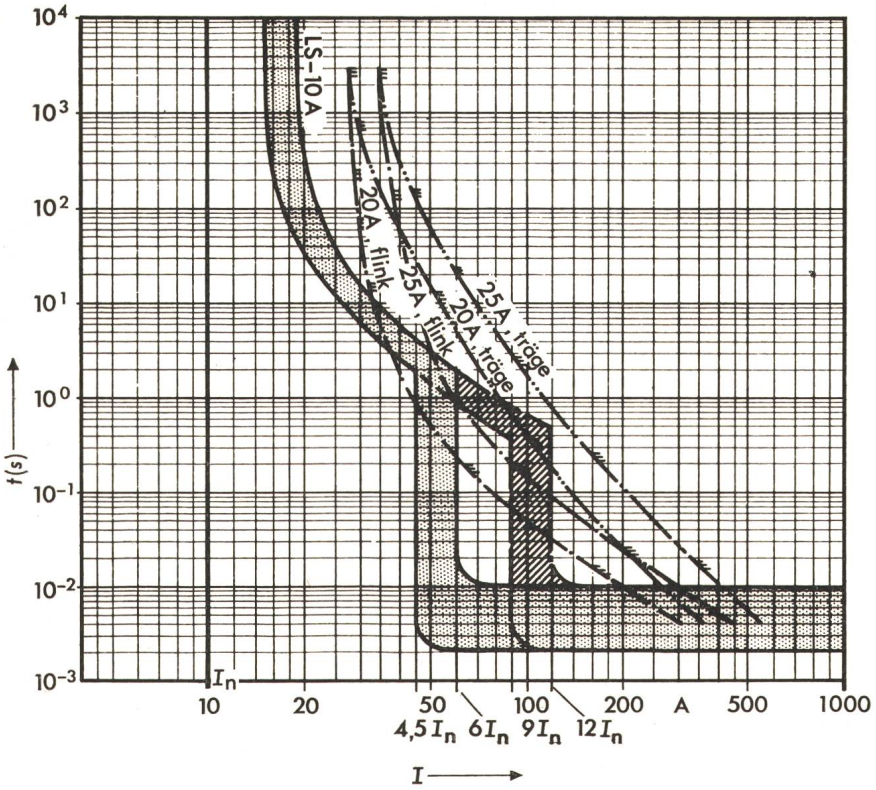

Fig. 2

Charakteristik eines Leitungsschutzschalters von 10 A

Die magnetische Auslösung ist sowohl für 4,5...6 I_n als auch für 9...12 I_n dargestellt. Zur Veranschaulichung der Selektivität sind die unteren Begrenzungslinien der Streubandcharakteristiken flinker und träger Sicherungen von 20 A und 25 A eingezeichnet (Siehe auch Legende zu Fig. 1)

Im Kurzschlussbereich schneidet die Charakteristik der Sicherungen in jedem Fall die des Kurzschlussbereichs des LS in deren waagrechtem Teil, dessen oberste Begrenzung eine Ordinate von 0,01 s besitzt. Der Strom, bei welchem diese Überschneidung stattfindet, entspricht demnach dem kleinsten Strom, bei welchem die vorgeschaltete Sicherung innert 0,01 s abschaltet, und ist für die Selektivität im Kurzschlussbereich eine wichtige Grösse (Fig. 2 und 3).

Ist der grösste mögliche Kurzschlußstrom des zu begutachtenden Stromkreises kleiner als der kleinste Abschaltstrom der vorgeschalteten Sicherung bei 0,01 s, so kann auch im Falle eines Kurzschlusses im ungünstigsten Zeitpunkt die Selektivität als gesichert gelten. Ist der Kurzschlußstrom grösser als der Ausschaltstrom bei 0,01 s, so spricht zwar im Falle eines Kurzschlusses der LS an, aber gleichzeitig kann auch die vorgeschaltete Sicherung schmelzen. Im Extremfall ist es sogar möglich, dass nur die vorgeschaltete Sicherung schmilzt und der LS eingeschaltet bleibt.

Minimaler Abschaltstrom der Sicherungen nach 0,01 s Tabelle I

Nennstrom der Sicherung	Abschaltstrom nach 0,01 s			
	Typ: D-flink	Typ: D-träg	Typ: NHS-flink	Typ: NHS-träg
A	A	A	A	A
10	–	130	–	–
15	140	200	–	–
20	200	260	–	–
25	300	410	–	–
35	470	660	–	–
40	360	950	–	–
50	520	980	–	–
60	660	1450	–	–
75	–	–	500	1000
80	1000	2400	–	–
100	1350	2700	650	1500

Zu beachten ist, dass der Abschaltstrom der flinken D35-A-Sicherung grösser ist als jener der flinken D40-A-Sicherung und der verhältnismässig kleine Abschaltstrom der Hochleistungssicherungen (NHS). Die in der Tabelle angegebenen Ströme sind Näherungswerte.

Die kleinsten Ausschaltströme der gebräuchlichen Sicherungen bei 0,01 s sind in Tabelle I zusammengefasst.

Auf die Selektivität des LS gegenüber der vorgeschalteten Sicherung hat auch die Einstellung der magnetischen Auslösung Einfluss. Wie aus Fig. 2 und 3 ersichtlich, kann die vorgeschaltete Sicherung um so kleiner sein, je kleiner das Verhältnis zwischen dem Ansprechstrom der magnetischen Auslösung und dem Nennstrom des LS ist.

Nach Publ. 181 des SEV (Vorschriften für Leitungsschutzschalter), § 20-B-c (Qualitätszeichen), muss die Auslösung bei 6fachem Nennstrom innert einer Sekunde erfolgen. Die Einhaltung dieser Bedingung ist nur mit einer auf maximal 6 I_n eingestellten magnetischen Auslösung möglich. In der Praxis werden jedoch LS in den Handel gebracht, bei welchen die magnetische Auslösung auf 12 I_n und bei Spezialausführungen noch höher eingestellt ist. In diesen Fällen wird der 6fache Nennstrom gemäss den Vorschriften für Leitungsschutzschalter (Sicherheitszeichen) (Publ. SEV 1008.1959, Art. 4.4.2.c) innert 2 s abgeschaltet.

Bei der Bestimmung des Auslösestroms im Kurzschlussbereich sind die maximalen Stromspitzen (Scheitelwerte) der nachgeschalteten Verbraucher zu berücksichtigen, wobei mit folgenden Werten gerechnet werden kann [2]:

Motoren	12...14 I_n
Kleintransformatoren	bis 30 I_n
Magnete, Drosselspulen	bis 20 I_n
Fluoreszenzröhren	16...22 I_n
Glühlampen	20...25 I_n
Farbfernsehgeräte	Einschaltspitze ca. 50...60 A

Berechnung der Kurzschlußströme

Wie schon erwähnt, ist die Selektivität zwischen LS und vorgeschalteter Sicherung im Kurzschlussbereich direkt abhängig von der Grösse des maximalen Kurzschlußstromes in

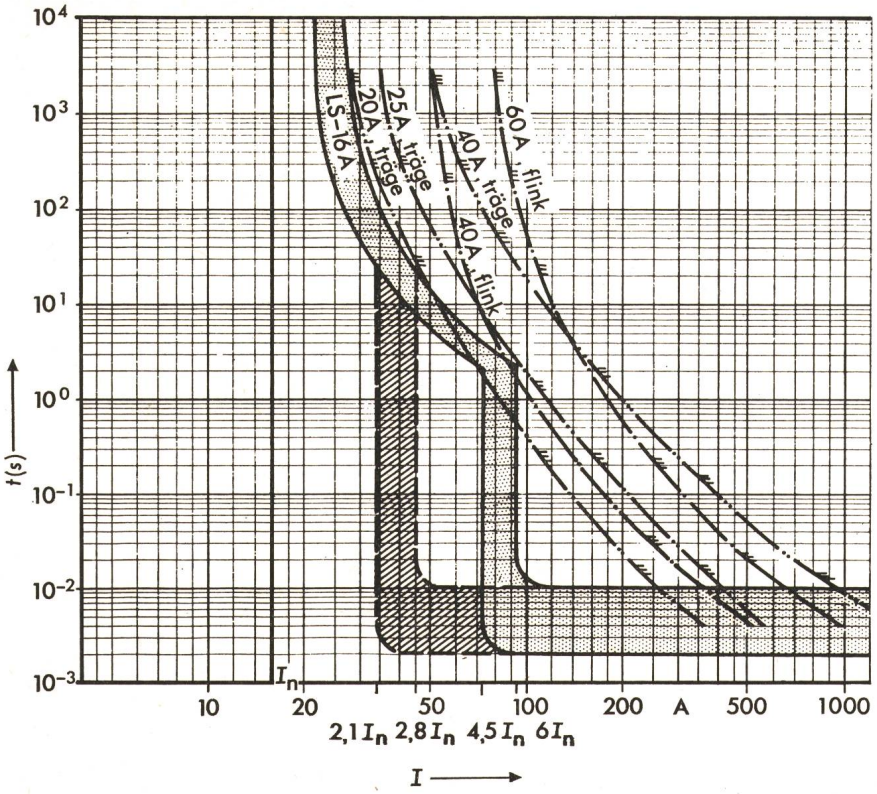

Fig. 3
Charakteristik eines Leitungsschutzschalters 16 A
Die magnetische Auslösung ist sowohl für 4,5...6 I_n als auch für 2,1...2,8 I_n dargestellt. Zur Veranschaulichung der Selektivität sind die unteren Begrenzungslinien der Streubandcharakteristiken flinker Sicherungen von 40 und 60 A sowie träger Sicherungen von 20, 40 und 60 A eingezeichnet
(Siehe auch Legende bei Fig. 1)

dem betreffenden Stromkreis. Als Methode für die Berechnung dieses maximalen Kurzschlußstromes eignen sich am besten die Bestimmungen des VDE-0102 «Leitsätze für die Berechnung der Kurzschlußströme – Teil 2 – Drehstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 Volt», wobei die dort angegebenen Formeln dem Verwendungszweck entsprechend modifiziert wurden.

Im weiteren werden die für die Berechnung nötigen Formeln direkt angeführt, ohne auf deren Ableitung näher einzugehen.

a) Für die Berechnung des maximalen Kurzschlußstromes in einem einphasigen Stromkreis gilt:

$$I_{cc} = \frac{U_{Ph} \cdot 10^3}{\sqrt{(R_{Ta} + \Sigma R_L + \Sigma R_{LN} + \Sigma R_S + R_A)^2 + (X_{Ta} + \Sigma X_{La})^2}} \quad (1)$$

worin

I_{cc} Kurzschlußstrom in A
U_{Ph} Spannung zwischen Phase und Nulleiter = 238 V (Klemmenspannung am unbelasteten Transformator)
R_{Ta} Asymmetrischer Ersatzwiderstand je Phase des Netztransformators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)
ΣR_L Summe der Widerstände eines Phasenleiters zwischen Netztransformator und nächstliegendem Verbraucher, welchem der zu untersuchende LS vorgeschaltet ist (Tab. III)
ΣR_{LN} Summe der Widerstände des Nulleiters zwischen Netztransformator und Verbraucher wie ΣR_L (Tab. III)
ΣR_S Summe der Widerstände aller Sicherungen einer Phase zwischen Netztransformator und Verbraucher. Sicherungen grösser als 125 A werden vernachlässigt (Tab. IV)
R_A Widerstand des zu untersuchenden LS nach Angabe des Erzeugers. Informative, aber nicht allgemeingültige Werte siehe Tab. V
X_{Ta} Asymmetrische Ersatzreaktanz je Phase des Netztransformators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)
ΣX_{La} Summe der asymmetrischen Ersatzreaktanzen zwischen Netztransformator und Hausanschlusskasten in Kabel und Freileitung (Tab. III)

Sämtliche Widerstände und Reaktanzen sind in mΩ einzusetzen.

Die asymmetrischen Ersatzwiderstände und Ersatzreaktanzen berücksichtigen die asymmetrische Belastung des 3phasigen Systems bei einem Kurzschluss zwischen Phase und Nulleiter. Die entsprechenden Koeffizienten in Tab. II und III wurden mittels der Methode der symmetrischen Komponenten bestimmt.

b) Für die Berechnung des maximalen Kurzschlußstromes in einem 2phasigen Stromkreis gilt:

$$I_{cc} = \frac{U_\Delta \cdot 10^3}{2\sqrt{(R_T + \Sigma R_L + \Sigma R_S + R_A)^2 + (X_T + \Sigma X_L)^2}} \quad (2)$$

Widerstände und Reaktanzen der Transformatoren 16500/412 V
Tabelle II

Scheinleistung kVA	Schaltung	R_T mΩ	X_T mΩ	R_{Ta} mΩ	X_{Ta} mΩ
63	Yz	50	96	41	67
100	Yz	27	62	22	43
160	Yz	16	39	13	27
250	Dy	9	27	9	25
400	Dy	5	18	5	17
630	Dy	3	12	3	11
1000	Dy	2	8	2	7

$$R_T = P_{Cu} \cdot \frac{U^2}{S^2} \cdot 10^{-3} \quad [\text{m}\Omega, \text{W}, \text{V}, \text{kVA}]$$

$$Z_T = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U^2}{S} \quad [\text{m}\Omega, \%, \text{V}, \text{kVA}]$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad [\text{m}\Omega, \text{m}\Omega, \text{m}\Omega]$$

$R_{Ta} = 0{,}83\ R_T$
$X_{Ta} = 0{,}7\ X_T$
} Bei der Schaltung Yz

$R_{Ta} = R_T$
$X_{Ta} = 0{,}93\ X_T$
} Bei der Schaltung Dy

P_{Cu} Kupferverluste des Transformators laut Prüfprotokoll bei 75 °C
U_k Kurzschlußspannung in %
U verkettete Netzspannung – Leerlaufspannung
S Scheinleistung des Transformators (Nennwert)
Z_T Impedanz des Transformators
R_T Widerstand je Phase, bezogen auf die Unterspannungsseite
X_T Reaktanz je Phase, bezogen auf die Unterspannungsseite
R_{Ta} asymmetrischer Ersatzwiderstand je Phase, bezogen auf die Unterspannungsseite
X_{Ta} asymmetrische Ersatzreaktanz je Phase, bezogen auf die Unterspannungsseite

worin

I_{cc} Kurzschlußstrom in A

U_Δ Spannung zwischen zwei Phasenleitern (verkettete Spannung) = 412 V (Klemmenspannung am unbelasteten Transformator)

R_T Wirkwiderstand je Phase des Netztransformators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)

ΣR_L Summe der Widerstände eines Phasenleiters zwischen Netztransformator und nächstliegendem Verbraucher, welchem der zu untersuchende LS vorgeschaltet ist (Tab. III)

ΣR_S Summe der Widerstände aller Sicherungen einer Phase zwischen Netztransformator und Verbraucher. Sicherungen grösser als 125 A werden vernachlässigt (Tab. IV)

R_A Widerstand des zu untersuchenden LS in einer Phase nach Angabe des Erzeugers. Informative, aber nicht allgemeingültige Werte siehe Tab. V

X_T Reaktanz je Phase des Netztransformators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)

ΣX_L Summe der Reaktanzen zwischen Netztransformator und Hausanschlusskasten in Kabel und Freileitung (Tab. III)

c) Für Netze, die durch zwei parallelgeschaltete Transformatoren gespiesen werden, gilt:

$$R_{T\,1+2} \approx \frac{R_{T1} \cdot R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} \qquad R_{Ta\,1+2} \approx \frac{R_{Ta1} \cdot R_{Ta2}}{R_{Ta1} + R_{Ta2}} \qquad (3)$$

$$X_{T\,1+2} \approx \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_{T2}} \qquad X_{Ta\,1+2} \approx \frac{X_{Ta1} \cdot X_{Ta2}}{X_{Ta1} + X_{Ta2}} \qquad (4)$$

worin

R_{T1+2}, X_{T1+2}, R_{Ta1+2}, X_{Ta1+2}: Kombination der 2 Transformatoren

R_{T1}, X_{T1}, R_{Ta1}, X_{Ta1}: Transformator Nr. 1

R_{T2}, X_{T2}, R_{Ta2}, X_{Ta2}: Transformator Nr. 2

d) Einschränkung des Geltungsbereiches

Die angeführten Berechnungsunterlagen gelten nur, wenn die Energieversorgung durch einen oder mehrere Transformatoren, welche aus einem übergeordneten Netz gespiesen werden, nicht aber durch einen eigenen Alternator (Selbstversorger) erfolgt.

e) Vereinfachungen

Bei den Berechnungen der Kurzschlußströme wurde die Impedanz des Hochspannungsnetzes vernachlässigt. Ferner wurden auch die dem Netznulleiter parallelgeschalteten Widerstände, welche durch die Erdungen des Nulleiters und den Kabelmantel bei Bleimantelkabel gebildet werden, zwecks Vereinfachung ausgeklammert.

Widerstände der Kupferleiter und Reaktanzen der Kabelleitungen für Niederspannung Tabelle III

Dimension mm²	R mΩ/m	Dimension mm²	R mΩ/m
0,5	35,09	25	0,70
0,75	23,39	35	0,50
1,0	17,54	50	0,35
1,5	11,70	70	0,25
2,5	7,02	95	0,18
4	4,39	120	0,14
6	2,92	150	0,12
10	1,75	185	0,09
16	1,10	240	0,07

Nach Publ. SEV 1004.1959: $\varrho = 1/57\ \Omega \cdot mm^2/m$.

Die Reaktanzen der Niederspannungskabel können mit guter Näherung für die verschiedenen Kabeltypen und einheitlich für alle Dimensionen angegeben werden.

4-Leiter-Bleimantelkabel $X_L = 0{,}085$ mΩ/m, $X_{La} = 0{,}142$ mΩ/m

4-Leiter-Kunststoffmantelkabel $X_L = 0{,}080$ mΩ/m, $X_{La} = 0{,}134$ mΩ/m

Ceander-Kabel (3 Leiter + Mantel) $X_L = 0{,}072$ mΩ/m, $X_{La} = 0{,}120$ mΩ/m

X_L Reaktanz

X_{La} asymmetrische Ersatzreaktanz für Kabel = 1,67 X_L

(Für Freileitungen: $X_{La} = 2\ X_L$)

Widerstände von Sicherungen Tabelle IV

Nennstrom des Schmelzeinsatzes A	Widerstand R_S der ganzen Sicherung mΩ
6	30
10	20
15... 20	10
25... 35	5
40... 60	3
75...125	1

Innenwiderstand von Leitungsschutzschaltern für Hausinstallationen Tabelle V

Nennstrom A	Innenwiderstand R_A des Leitungsschutzschalters mΩ
6	17
10	12
16	7

Die angegebenen Grössen der Innenwiderstände sind nur informativ. Die genauen Werte müssen den Fabrikangaben entnommen werden.

Als weitere Vereinfachung kann bei vorgeschalteten Sicherungen bis einschliesslich 20 A, träg, bzw. 40 A, flink, auf das Rechnen mit Reaktanzen verzichtet werden, wodurch sich die Formeln (1) und (2) vereinfachen auf:

Für den Kurzschlußstrom zwischen Phase und Nulleiter

$$I_{cc} = \frac{U_{Ph} \cdot 10^3}{R_{Ta} + \Sigma R_L + \Sigma R_{LN} + \Sigma R_S + R_A} \qquad (1a)$$

Für den Kurzschlußstrom zwischen zwei Phasen

$$I_{cc} = \frac{U_\Delta \cdot 10^3}{2\,(R_T + \Sigma R_L + \Sigma R_S + R_A)} \qquad (2a)$$

Die entsprechenden Werte der Widerstände sind in den Tabellen II...V angeführt.

Die Reaktanzen der Leitungen ab Hausanschlusskasten, die Widerstände von Zählern, Nulleitertrennern und Klemmen können bei Kurzschlussberechnungen normalerweise vernachlässigt werden.

Beispiele

Anhand von zwei Beispielen, einem Hochhaus und einer Überbauung, soll im weiteren gezeigt werden, wie bei der Beurteilung, ob Leitungsschutzschalter oder Sicherungen in den Wohnungsverteilern eingesetzt werden sollen, vorzugehen ist. Dabei wird von der Voraussetzung ausgegangen, dass die Wohnungsverteiler einheitlich ausgestattet und wenn möglich mit LS ausgerüstet werden sollen. (Die im weiteren verwendeten Angaben für die Selektivität der LS im Überstrombereich haben keine allgemeine Gültigkeit und müssen für die verschiedenen Fabrikate den jeweils gültigen Katalogen entnommen werden.)

1. Hochhaus

Das Schema der Stromversorgung der Wohnungen ist in Fig. 4 vereinfacht dargestellt. Auf die Darstellung der Anspeisung der übrigen Verbraucher (Treppenhausbeleuchtung, Einstellhalle, Ventilation, Kesselhaus, Waschmaschinen, Liftanlage usw.) wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Transformatorenstation, welche auch für die Versorgung der umliegenden Gebäude dient, ist im Untergeschoss des Hochhauses untergebracht. Die Messeinrichtungen und Bezügersicherungen für alle Wohnungen sind ebenfalls im Untergeschoss in einem eigenen Raum unter Verschluss.

Bei Verwendung von 10- und 15-A-Sicherungen in den Wohnungsverteilern ist die Selektivität gesichert, wenn als Bezügersiche-

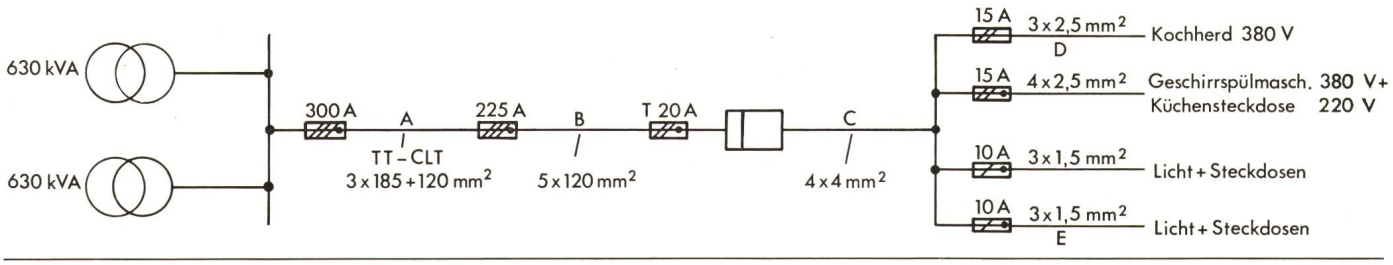

Fig. 4 Beispiel 1: Hochhaus
Vereinfachtes Schema der Stromversorgung der Wohnungen
Leitungslängen:
$A = 50$ m $\quad C_{max} = 83{,}3$ m
$B = 6$ m $\quad D = 5$ m
$C_{min} = 37{,}4$ m $\quad E = 4$ m

rungen träge 20-A-Sicherungen eingesetzt werden (Tab. VI), welchen Bezügerleitungen mit einem Querschnitt von 4 mm² entsprechen. Bei Bestückung der Wohnungsverteiler mit LS würden, bei Ersatz nur der 10-A-Sicherungen für Beleuchtung und Steckdosen durch LS, im Überlastbereich die trägen 20-A-Bezügersicherungen und damit die 4-mm²-Bezügerleitungen ebenfalls entsprechen. Bei Ersatz auch der 15-A-Sicherungen für den Kochherd und die Geschirrspülmaschine durch LS würde dies im Überlastbereich Bezügersicherungen 25 A, träg, und dementsprechend Bezügerleitungen 6 mm² erfordern (Fig. 2 und 3).

Ein Verschieben des Ansprechpunktes der magnetischen Auslösung des LS 10 A in Richtung kleinerer Werte bringt keinen Vorteil und ist auch nicht möglich, weil mit Farbfernsehgeräten in den Wohnungen und somit mit Einschaltspitzen von ca. 60 A gerechnet werden muss: Die magnetische Auslösung eines normalen LS von 10 A spricht bei einem Strom (Effektivwert) zwischen 45 und 60 A an (Fig. 2). Die zulässige Stromspitze ist demnach $45 \times \sqrt{2} = 63{,}5$ A. Das Einschalten eines Farbfernsehempfängers bei eingeschalteter Beleuchtung ist somit gesichert. Ein kleinerer Ansprechstrom der magnetischen Auslösung könnte Fehlauslösungen verursachen.

Bei den LS 16 A für Kochherd, Kühlschrank und Küchensteckdose ist eine Verkleinerung des Ansprechstromes der magnetischen Auslösung möglich, da der Kochherd keine Einschaltspitzen verursacht.

Aus Fig. 3 ist ersichtlich, dass, um die Selektivität gegenüber einer trägen 20-A-Bezügersicherung zu gewährleisten, die obere Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung bei höchstens 45 A liegen dürfte. Dem entspräche eine ca. 25% kleinere untere Ansprechgrenze von $0{,}75 \times 45 \approx 34$ A ($2{,}1...2{,}8\ I_n$), bei welcher das einwandfreie Funktionieren des Kochherdes mit 7 kW (≈ 18 A) gesichert ist.

Es verbleibt noch die Kontrolle der LS 16 A, an welchen sowohl die Geschirrspülmaschine als auch die Küchensteckdose angeschlossen sind. Um die Zusammenhänge näher zu erläutern, sollen die Verhältnisse bei Anschluss einer Küchenmaschine von 500 W an der Küchensteckdose untersucht werden.

Einer Leistung von 500 W entspricht bei 220 V und einem $\cos\varphi = 0{,}65$ ein Strom von $I_{n\,mot} = 3{,}5$ A. Die maximale Einschaltstromspitze ist ca. $14\ I_{n\,mot} = 49$ A und der Effektivstrom $49 : \sqrt{2} = 34{,}75$ A. Bei einer Vorbelastung durch die Geschirrspülmaschine mit 4 kW entsprechend 10,5 A muss die untere Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung grösser als $34{,}75 + 10{,}5 \approx 45$ A sein; eine Verschiebung der unteren Ansprechgrenze auf 34 A ist daher nicht möglich. Bei der normalen Ausführung ist der magnetische Auslöser auf 4,5...6 I_n eingestellt, entsprechend einer unteren Ansprechgrenze von 72 A.

Die Kontrolle der Selektivität im Kurzschlussbereich erfordert eine Berechnung der maximalen Kurzschlußströme, welche bei einem Kurzschluss im Verbraucher bzw. dessen Anschlusskabel auftreten können. Die entsprechenden Längen und Querschnitte der Leitungen sind aus Fig. 4 ersichtlich, wobei immer die kürzesten Leitungen berücksichtigt wurden.

a) Berechnung des maximalen Kurzschlußstromes für einen Kurzschluss Phase–Nulleiter und einen LS von 10 A im 1. Stock; Bezügersicherung 20 A, träge:

$$I_{cc} = \frac{U_{Ph} \cdot 10^3}{R_{Ta} + \Sigma R_L + \Sigma R_{LN} + \Sigma R_S + R_A} \qquad (1a)$$

Selektivität der flinken und trägen Sicherungen Typ D (S_2) gegenüber der vorgeschalteten Sicherung (S_1) **Tabelle VI**

Nennstrom der Sicherung S_2	Kleinster Nennstrom der Sicherung S_1				Nennstrom der Sicherung S_2	Kleinster Nennstrom der Sicherung S_1			
Typ D	Typ D		Typ NHS		Typ D	Typ D		Typ NHS	
flink	flink	träg	flink	träg	träg	flink	träg	flink	träg
6	10	10	–	–	6	15	10	40	–
10	15	15	40	–	10	25	15	50	–
15	25	20	50	–	15	35	20	60	–
20	25	25	60	40	20	40	25	60	40
25	50	35	75	50	25	60	35	75	50
35	60	50	100	60	35	80	50	125	60
40	60	50	125	75	40	100	60	150	75
50	80	60	150	75	50	100	60	150	100
60	100	80	200	100	60	160	80	200	125
80	125	100	200	125	80	200	125	300	200
100	160	125	250	150	100	–	160	300	200
125	200	160	300	200	125	–	200	400	250
160	200	200	400	250	160	–	–	500	300
200	–	–	500	300	200	–	–	600	400

Die Werte wurden der Mitteilung der Materialprüfanstalt des SEV im Bull. SEV 40(1949)6, S. 150...151, entnommen und explizit für S_2 dargestellt.

$$R_{Ta} \approx \frac{R_{Ta1} \cdot R_{Ta2}}{R_{Ta1} + R_{Ta2}} \qquad (3)$$

für $R_{Ta1} = R_{Ta2}$:

$$R_{Ta} = \frac{R^2_{Ta1}}{2\,R_{Ta1}} = \frac{1}{2} R_{Ta1} = 0{,}5 \cdot 3 = 1{,}5\ \text{m}\Omega \qquad \text{(Tab. II)}$$

ΣR_L: (Tab. III)

50 m	185 mm²	50	×	0,09 =	4,5
6 m	120 mm²	6	×	0,14 =	0,84
37,4 m	4 mm²	37,4	×	4,39 =	164,19
4 m	1,5 mm²	4	×	11,70 =	46,80
				ΣR_L =	216,33

ΣR_{LN}: (Tab. III)

50 m	120 mm²	50	×	0,14 =	7,00
6 m	120 mm²	6	×	0,14 =	0,84
37,4 m	4 mm²	37,4	×	4,39 =	164,19
4 m	1,5 mm²	4	×	11,70 =	46,80
				ΣR_{LN} =	218,83 m

ΣR_S: (Tab. IV)

1 St.	300 A	1 ×	0 =	0
1 St.	225 A	1 ×	0 =	0
1 St.	20 A	1 ×	10 =	10 mΩ
			ΣR_S =	10 mΩ

$R_A = 12\ \text{m}\Omega$ (Tab. V)

$$I_{cc} = \frac{238 \cdot 10^3}{1{,}5 + 216{,}33 + 218{,}83 + 10 + 12} \approx 519\ \text{A}$$

Dieser Kurzschlußstrom ist weit grösser als der kleinste Ausschaltstrom einer trägen 20-A-Sicherung bei 0,01 s (260 A).

b) Bei einer Sicherung 25 A, träg, und einer Bezügerleitung von 6 mm² wäre der Kurzschlußstrom:

$$I_{cc} = \frac{238 \cdot 10^3}{\sqrt{(R_{Ta} + \Sigma R_L + \Sigma R_{LN} + \Sigma R_S + R_A)^2 + (X_{Ta} + \Sigma X_{La})^2}} \qquad (1)$$

worin:

$R_{Ta} = 1{,}5\ \text{m}\Omega$ (siehe oben)

ΣR_L: (Tab. III)

50 m	185 mm²	50	×	0,09 =	4,5
6 m	120 mm²	6	×	0,14 =	0,84
37,4 m	6 mm²	37,4	×	2,92 =	109,21
4 m	1,5 mm²	4	×	11,70 =	46,80
				ΣR_L =	161,35 mΩ

ΣR_{LN}: (Tab. III)

50 m	120 mm²	50	×	0,14 =	7,00
6 m	120 mm²	6	×	0,14 =	0,84
37,4 m	6 mm²	37,4	×	2,92 =	109,21
4 m	1,5 mm²	4	×	11,70 =	46,80
				ΣR_{LN} =	163,85 mΩ

$\Sigma R_S = 5\ \text{m}\Omega$

$R_A = 12\ \text{m}\Omega$ (wie oben)

$$X_{Ta} \approx \frac{X_{Ta1} \cdot X_{Ta2}}{X_{Ta1} + X_{Ta2}} \qquad (4)$$

für $X_{Ta1} = X_{Ta2}$:

$X_{Ta} = 0{,}5\ X_{Ta1} = 0{,}5 \times 11 = 5{,}5\ \text{m}\Omega$ (Tab. II)

$\Sigma X_{La} = 50 \cdot 0{,}134 = 6{,}7\ \text{m}\Omega$

$$I_{cc} = \frac{238 \cdot 10^3}{\sqrt{(1{,}5 + 161{,}35 + 163{,}85 + 5 + 12)^2 + (5{,}5 + 6{,}7)^2}} \approx 692\ \text{A}$$

wobei dieser Wert ebenfalls grösser ist als der Ausschaltstrom einer trägen 25-A-Sicherung bei 0,01 s (410 A) und somit eine Selektivität im Kurzschlussbereich weder bei einer trägen 20-A- noch bei einer trägen 25-A-Bezügersicherung gewährleistet ist.

Der Kurzschlußstrom ist im grossen Masse vom Moment des Eintritts des Kurzschlusses in bezug auf den Spannungsverlauf und von dem Widerstand des den Kurzschluss verursachenden Kontaktes abhängig. Er muss daher nicht in jedem Fall den berechneten Wert erreichen. Da jedoch die Bezügersicherungen im Souterrain unter Verschluss angeordnet sind, ist eine möglichst 100prozentige Selektivität wünschenswert. Aus diesem Grunde sollte in diesem Falle die Bestückung des Wohnungsverteilers mit Sicherungen durchgeführt werden.

Zur Information über die Abhängigkeit des Kurzschlußstromes von der Leitungslänge sei noch erwähnt, dass der Kurzschlußstrom für das 18. Stockwerk und eine Bezügerleitung von 4 mm² zwischen Phase und Nulleiter 276 A beträgt.

2. Überbauung

Die Überbauung besteht aus 6 Blöcken von Reihenhäusern. Die Messeinrichtungen und Bezügersicherungen befinden sich im zur Wohnung gehörigen Untergeschoss und sind direkt aus der Wohnung zugänglich.

Die Versorgung der ganzen Überbauung wird durch eine Transformatorenstation mit einem Transformator von 160 kVA besorgt. Die Speiseleitung besteht aus einem Kabel 4 × 50 mm² Cu, von welchem zu den einzelnen Blöcken Anschlusskabel 4 × 25 mm² Cu abzweigen (Fig. 5).

Entsprechend der Leistung der angeschlossenen Apparate ist als Bezügersicherung eine 25-A-Sicherung erforderlich. Die Bezügerleitung muss daher eine Dimension von 6 mm² haben.

Die Installation in den Wohnungen ist auf 3 einphasige Stromkreise von 10 A für Beleuchtung und Steckdosen und 3 Stromkreise von 15 A, 380 V, für Kochherd, Geschirrspülmaschine und Waschmaschine aufgeteilt.

Für den Wohnungsverteiler sind LS vorgesehen. Wie aus Fig. 2 und Fig. 3 ersichtlich, bestehen bei der normalen Ausführung von LS 10 und 16 A mit der elektromagnetischen Auslösung zwischen 4,5...6 I_n keine Schwierigkeiten in bezug auf die Selektivität mit einer trägen 25-A-Sicherung im Überstrombereich.

Um die Selektivität im Kurzschlussbereich beurteilen zu können, müssen die entsprechenden Kurzschlußströme bekannt sein.

Berechnung des maximalen Kurzschlußstromes zwischen 2 Phasen:

$$I_{cc} = \frac{U_\Delta \cdot 10^3}{2\sqrt{(R_T + \Sigma R_L + \Sigma R_S + R_A)^2 + (X_T + \Sigma X_L)^2}} \qquad (2)$$

$R_T = 16\ \text{m}\Omega$ (Tab. II)

ΣR_L: (Tab. III)

10 m	50 mm²	10	×	0,35 =	3,50
8 m	25 mm²	8	×	0,70 =	5,60
1 m	16 mm²	1	×	1,10 =	1,10
7 m	6 mm²	7	×	2,92 =	20,44
6 m	2,5 mm²	6	×	7,02 =	42,12
				ΣR_L =	72,76 mΩ

ΣR_S: (Tab. IV)

1 St.	300 A	1 ×	1 =	1 mΩ
1 St.	60 A	1 ×	3 =	3 mΩ
1 St.	25 A	1 ×	5 =	5 mΩ
			ΣR_S =	9 mΩ

$R_A = 7\ \text{m}\Omega$ (Tab. V)

$X_T = 39\ \text{m}\Omega$ (Tab. II)

$\Sigma X_L = (10 + 8) \cdot 0{,}085 = 1{,}53\ \text{m}\Omega$ (Tab. III)

$$I_{cc} = \frac{412 \cdot 10^3}{2\sqrt{(16 + 72{,}76 + 9 + 7)^2 + (39 + 1{,}53)^2}} \approx 1834\ \text{A}$$

Der Kurzschlußstrom zwischen Phase und Nulleiter:

$$I_{cc} = \frac{U_{Ph} \cdot 10^3}{\sqrt{(R_{Ta} + \Sigma R_L + \Sigma R_{LN} + \Sigma R_S + R_A)^2 + (X_{Ta} + \Sigma X_{La})^2}} \qquad (1)$$

$R_{Ta} = 13\ \text{m}\Omega$ (Tab. II)

ΣR_L: (Tab. III)

10 m	50 mm²	10	×	0,35 =	3,50
8 m	25 mm²	8	×	0,70 =	5,60
1 m	16 mm²	1	×	1,10 =	1,10
7 m	6 mm²	7	×	2,92 =	20,44
6 m	1,5 mm²	6	×	11,70 =	70,20
				ΣR_L =	100,84 mΩ

$\Sigma R_{LN} = 100{,}84\ \text{m}\Omega$ (in diesem Fall $\Sigma R_{LN} = \Sigma R_L$)

$R_S = 9\ \text{m}\Omega$ (siehe oben)

$R_A = 12\ \text{m}\Omega$ (Tab. V)

$X_{Ta} = 27\ \text{m}\Omega$ (Tab. II)

$\Sigma X_{La} = (10 + 8) \cdot 0{,}142 = 2{,}56\ \text{m}\Omega$ (Tab. III)

$$I_{cc} = \frac{238 \cdot 10^3}{\sqrt{(13 + 100{,}84 + 100{,}84 + 9 + 12)^2 + (27 + 2{,}56)^2}} = 1002\ \text{A}$$

Nach der gleichen Berechnung für die am weitesten von der Transformatorenstation entfernte Wohnung (Fig. 5) beträgt der

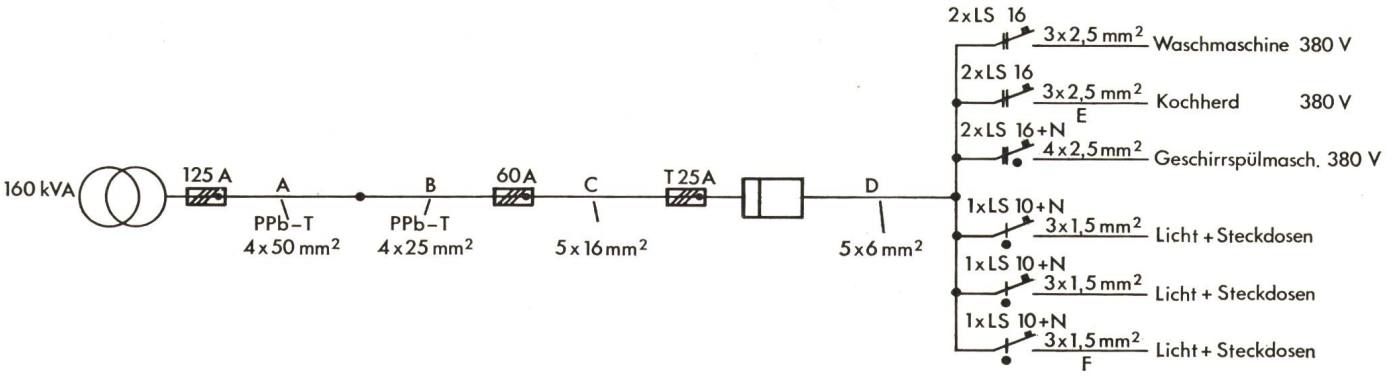

Fig. 5 Beispiel 2: Überbauung
Vereinfachtes Schema der Stromversorgung der Wohnungen
Leitungslängen:

Min.	Max.
A = 10 m	A = 131 m
B = 8 m	B = 32 m
C = 1 m	C = 16 m
D = 7 m	D = 7 m
E = 6 m	E = 6 m
F = 6 m	F = 6 m

Kurzschlußstrom zwischen zwei Phasen 1096 A und zwischen Phase und Nulleiter 610 A.

Aus diesen Werten ist ersichtlich, dass eine Selektivität im Kurzschlussbereich nicht erzielt werden kann. Da nach HV 43.220.3 die Selektivität im Überstrombereich genügt und die Bezügersicherungen leicht zugänglich sind, ist das Auswechseln einer geschmolzenen Sicherung im Extremfall zumutbar und durch die Vorteile der Leitungsschutzschalter als kompensiert zu betrachten. Die Wohnungsverteiler können daher mit Leitungsschutzschaltern ausgerüstet werden. Es wäre allerdings ratsam, durch eine Aufschrift auf den Bezügersicherungen darauf hinzuweisen, dass nur *träge* Sicherungen zu verwenden sind.

Einsatz von Leitungsschutzschaltern als Bezügersicherung

Diese Verwendung von LS stösst auf gewisse Schwierigkeiten dadurch, dass zwar die Charakteristiken der Bimetallauslöser von LS mit verschiedenen Nennströmen fast parallellaufen, die Charakteristiken der magnetischen Auslöser jedoch in ihrem waagrechten Teil zusammenfallen. Dadurch lässt sich eine ideale Selektivität im Überlastbereich erzielen. Im Kurzschlussbereich ist dies jedoch nicht so einfach. Um die Selektivität im Kurzschlussbereich zu erzielen, gibt es zwei hauptsächliche Möglichkeiten:

1. Staffelung der Ansprechströme der Kurzschlussauslöser in Abhängigkeit vom grössten möglichen Kurzschlußstrom. Diese Methode ist nur bei verhältnismässig kleinen Kurzschlußströmen anwendbar. Ausserdem muss darauf geachtet werden, dass die Selektivität zwischen Bezüger-LS und Anschlußsicherung in jedem Falle gewährleistet ist. Bei Änderungen im Netz kann durch eine eventuelle Vergrösserung des Kurzschlußstromes die Selektivität jedoch gefährdet werden.

2. Verzögerung der magnetischen Auslösung durch eine mechanische oder elektronische Einrichtung. Die Verwendung derartiger LS setzt in den meisten Fällen eine durchgehende Ausrüstung der ganzen Leitung zwischen Transformator und Verbraucher mit LS anstelle von Sicherungen voraus, wobei die magnetischen Auslöser der einzelnen LS gegeneinander zeitlich gestaffelt werden.

Auf Grund dieser Unsicherheiten hinsichtlich der Selektivität im Kurzschlussbereich wurde der Art. 41.123.2 der HV erlassen, welcher die Verwendung einer Schmelzsicherung als Anschlußsicherung eindeutig vorschreibt. Der Zweck dieser Vorschrift ist es, die Selektivität zwischen Anschlußsicherung und Strangsicherung des Elektrizitätswerkes (EW) bestmöglich zu garantieren und somit zu verhindern, dass durch einen von der Anschlußsicherung nicht selektiv abgeschalteten Kurzschluss die übrigen Abnehmer durch Abschalten der Strangsicherung in Mitleidenschaft gezogen werden.

Die Versorgungsbetriebe wiederum, ausgehend von der Verpflichtung für eine möglichst unterbruchlose Stromversorgung, erachten eine mit Sicherungen bestückte Bezügersicherung als derzeit besten Schutz Unbeteiligter vor einem Stromausfall, verursacht durch einen anderen Abnehmer.

Um die Interessen der Energieabnehmer bestmöglich zu wahren, wird für die Verwendung von LS als Bezügersicherung ebenso wie für Ausnahmen von dem Art. 41.123.2 der HV ein eindeutiger Nachweis der Selektivität des gesamten Systems auch im Kurzschlussbereich, unabhängig von eventuellen Netzverstärkungen, zu erbringen sein.

Schlussfolgerungen

Um die unzweifelhaften Vorteile der Leitungsschutzschalter eindeutig zur Geltung zu bringen, ist es bei deren Einsatz angezeigt, nicht nur die Selektivität im Überstrombereich, sondern auch die im Kurzschlussbereich zu beachten und im Falle, dass diese nicht gewährleistet ist, grösstes Gewicht auf die leichte Zugänglichkeit der vorgeschalteten Sicherung zu legen. Es ist daher im Interesse der Lieferanten von Leitungsschutzschaltern, ausführliche Unterlagen zur Verfügung zu stellen. Die Aufgabe der Stromversorgungsbetriebe wäre es, sich darauf vorzubereiten, auf Anfrage die Kurzschlußströme in den Sekundärnetzen angeben zu können.

Literatur

[1] *F. Fankhauser:* Abschmelzcharakteristik von Schmelzsicherungen. Bull. SEV 38(1947)15, S. 425...428.

[2] *R. Bächtold:* Aufbau von Leitungsschutzschaltern und Erfahrungen in der praktischen Anwendung. Elektromonteur 23(1972)6, S. 21...28, Nr. 7, S. 29...31 + Nr. 8, S. 35...36.

Adresse des Autors:
Wilhelm Popper, Bernische Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25.