

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	65 (1974)
<b>Heft:</b>	13
<b>Artikel:</b>	Leitungsschutzschalter oder Sicherungen im Wohnungsbau : Überlegungen bei der Planung elektrischer Installationen
<b>Autor:</b>	Popper, W.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-915430">https://doi.org/10.5169/seals-915430</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Leitungsschutzschalter oder Sicherungen im Wohnungsbau

## Überlegungen bei der Planung elektrischer Installationen

Von W. Popper

Es werden die Kriterien der Selektivität zwischen Leitungsschutzschalter und vorgeschalteter Sicherung kurz zusammengefasst. Weiter wird auf die Bedeutung des maximalen Kurzschlussstromes 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.

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. Dem-

621.316.172 : 621.316.9  
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.

gegenüber 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 (Nullpunktłösung) und kann daher bei einer Netzfrequenz von 50 Hz eine Gesamtverzögerung von ca. 0,01 s verursachen.

Infolge unvermeidlicher Fabrikationstoleranzen des Bi-metalls 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]<sup>1)</sup>.

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.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

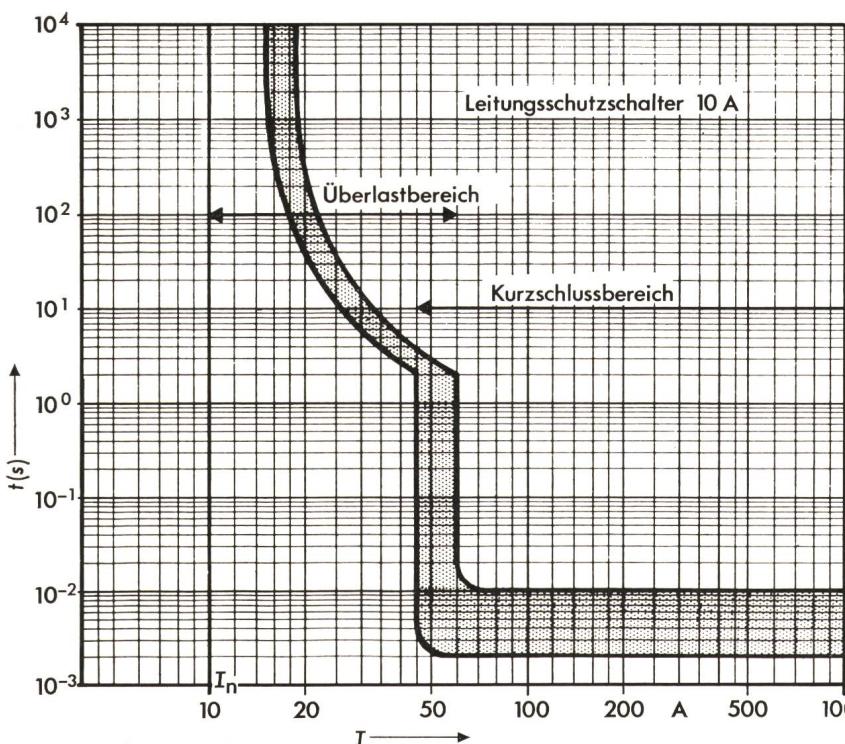


Fig. 1  
Charakteristik eines Leitungsschutzschalters

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.

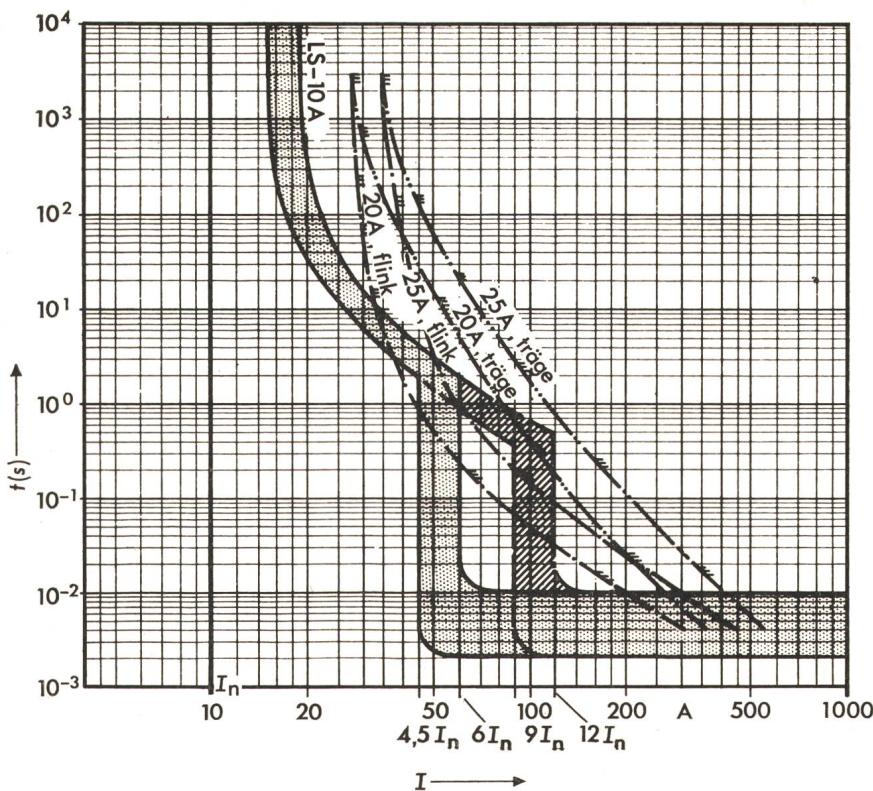


Fig. 2

#### Charakteristik eines Leitungsschutzschalters von 10 A

Die magnetische Auslösung ist sowohl für  $4,5 \dots 6 I_n$  als auch für  $9 \dots 12 I_n$  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 Überschreitung 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

Minimaler Abschaltstrom der Sicherungen nach 0,01 s

Tabelle I

Nennstrom der Sicherung A	Abschaltstrom nach 0,01 s			
	Typ: D-flink A	Typ: D-träg A	Typ: NHS-flink A	Typ: NHS-träg 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.

möglich, dass nur die vorgeschaltete Sicherung schmilzt und der LS eingeschaltet bleibt.

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, Drosselpulen	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

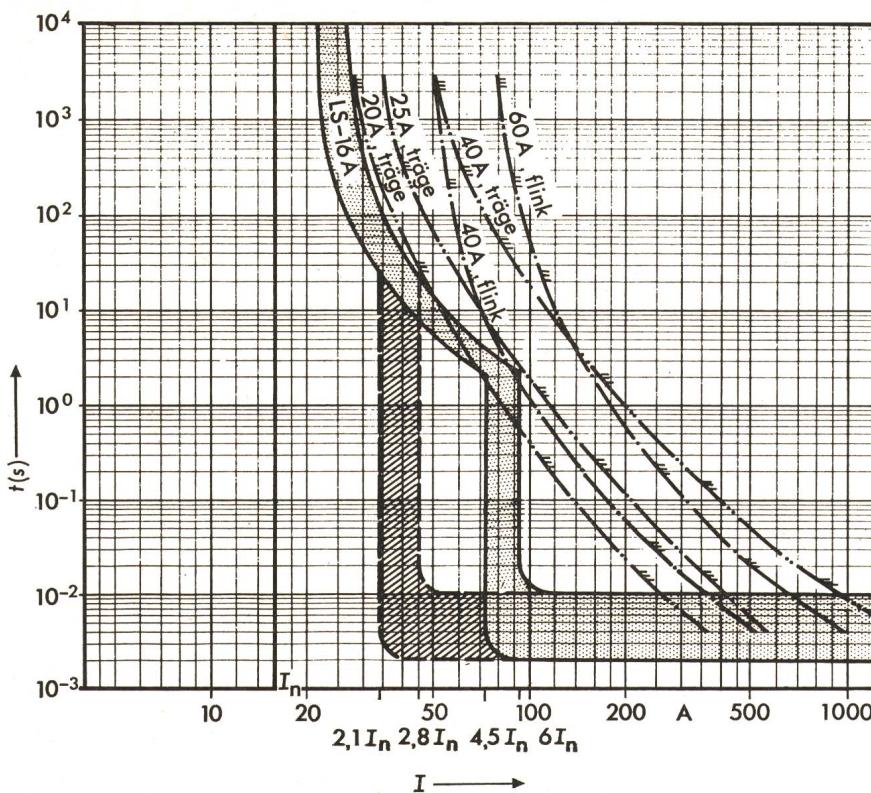


Fig. 3

**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:

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

worin

$I_{ee}$  Kurzschlußstrom in A

$U_{Ph}$  Spannung zwischen Phase und Nulleiter = 238 V (Klemmenspannung am unbelasteten Transformatoren)

$R_{Ta}$  Asymmetrischer Ersatzwiderstand je Phase des Netztransformators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)

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

$\sum R_{LN}$  Summe der Widerstände des Nulleiters zwischen Netztransformator und Verbraucher wie  $\sum R_L$  (Tab. III)

$\sum R_S$  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 Ersatzreaktanze je Phase des Netztransformators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)

$\sum X_{La}$  Summe der asymmetrischen Ersatzreaktanzen zwischen Netztransformator und Hausanschlusskasten in Kabel und Freileitung (Tab. III)

Sämtliche Widerstände und Reaktanzen sind in  $m\Omega$  einzusetzen.

Die asymmetrischen Ersatzwiderstände und Ersatzreaktanzen berücksichtigen die asymmetrische Belastung des 3phasigen Systems bei einem Kurzschluss zwischen Phase und Nulleiter. Die entspre-

chenden 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:

$$I_{ee} = \frac{U_{\Delta} \cdot 10^3}{\sqrt{(R_T + \sum R_L + \sum R_S + R_A)^2 + (X_T + \sum X_{La})^2}} \quad (2)$$

**Widerstände und Reaktanzen der Transformatoren 16500/412 V**

Tabelle II

Scheinleistung kVA	Schaltung	$R_T$ m $\Omega$	$X_T$ m $\Omega$	$R_{Ta}$ m $\Omega$	$X_{Ta}$ m $\Omega$
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

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

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

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

$$R_{Ta} = 0,83 R_T \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Bei der Schaltung Yz}$$

$$X_{Ta} = 0,7 X_T \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Bei der Schaltung Dy}$$

$$R_{Ta} = R_T \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Bei der Schaltung Dy}$$

$$X_{Ta} = 0,93 X_T \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Bei der Schaltung Dy}$$

$P_{Cu}$  Kupferverluste des Transformators laut Prüfsprotokoll 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 Ersatzreaktanze je Phase, bezogen auf die Unterspannungsseite

worin

$I_{cc}$  Kurzschlußstrom in A

$U_\Delta$  Spannung zwischen zwei Phasenleitern (verkettete Spannung) = 412 V (Klemmspannung am unbelasteten Transfator)

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

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

$\Sigma R_S$  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 Netztransfators, bezogen auf die Unterspannungsseite (Tab. II)

$\Sigma X_L$  Summe der Reaktanzen zwischen Netztransformator und Hausanschlusskästen in Kabel und Freileitung (Tab. III)

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

$$R_{T1+2} \approx \frac{R_{T1} \cdot R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} \quad R_{Ta1+2} \approx \frac{R_{Ta1} \cdot R_{Ta2}}{R_{Ta1} + R_{Ta2}} \quad (3)$$

$$X_{T1+2} \approx \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_{T2}} \quad X_{Ta1+2} \approx \frac{X_{Ta1} \cdot X_{Ta2}}{X_{Ta1} + X_{Ta2}} \quad (4)$$

worin

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

$R_{T1}, X_{T1}, R_{Ta1}, X_{Ta1}$ : 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 Transfatores, 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 mm <sup>2</sup>	$R$ mΩ/m	Dimension mm <sup>2</sup>	$R$ 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:  $\rho = 1/57 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

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

4-Leiter-Bleimantelkabel

$$X_L = 0,085 \text{ mΩ/m}, \\ X_{La} = 0,142 \text{ mΩ/m}$$

4-Leiter-Kunststoffmantelkabel

$$X_L = 0,080 \text{ mΩ/m}, \\ X_{La} = 0,134 \text{ mΩ/m}$$

Ceander-Kabel (3 Leiter + Mantel)

$$X_L = 0,072 \text{ mΩ/m}, \\ X_{La} = 0,120 \text{ mΩ/m}$$

$X_L$  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, träge, 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

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

Für den Kurzschlußstrom zwischen zwei Phasen

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

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

Die Reaktanzen der Leitungen ab Hausanschlusskästen, 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-

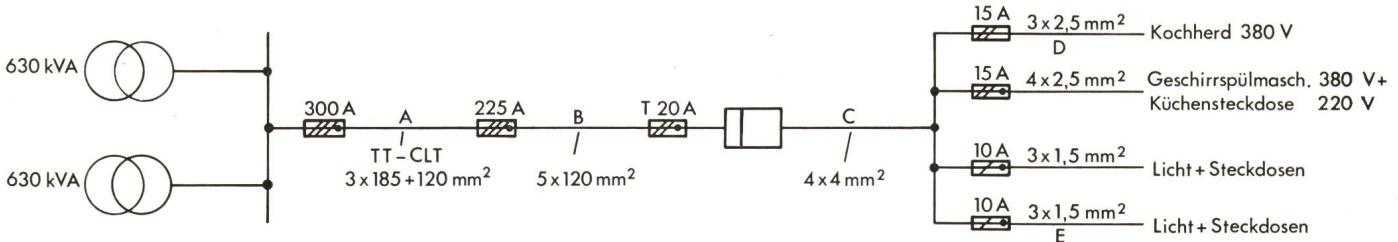


Fig. 4 Beispiel 1: Hochhaus

Vereinfachtes Schema der Stromversorgung der Wohnungen

Leitungslängen:

$$\begin{array}{ll} A = 50 \text{ m} & C_{\max} = 83,3 \text{ m} \\ B = 6 \text{ m} & D = 5 \text{ m} \\ C_{\min} = 37,4 \text{ m} & E = 4 \text{ m} \end{array}$$

rungen träge 20-A-Sicherungen eingesetzt werden (Tab. VI), welchen Bezügerleitungen mit einem Querschnitt von  $4 \text{ mm}^2$  entsprechen. Bei Bestückung der Wohnungverteiler 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  $4 \text{ mm}^2$ -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, träge, und dementsprechend Bezügerleitungen  $6 \text{ mm}^2$  erfordern (Fig. 2 und 3).

Ein Verschieben des Ansprechpunktes der magnetischen Auslösung des LS 10A 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  $45 \times \sqrt{2} = 63,5 \text{ A}$ . Das Einschalten eines Farbfernsehempfängers bei eingeschalteter Beleuchtung ist somit gesichert. Ein kleinerer Ansprechstrom der magnetischen Auslösung könnte Fehlauslösungen verursachen.

Bei den LS 16A 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  $0,75 \times 45 \approx 34 \text{ A}$  ( $2,1 \dots 2,8 I_n$ ), bei welcher das

einwandfreie Funktionieren des Kochherdes mit 7 kW ( $\approx 18 \text{ A}$ ) gesichert ist.

Es verbleibt noch die Kontrolle der LS 16A, 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  $I_{n \text{ mot}} = 3,5 \text{ A}$ . Die maximale Einschaltstromspitze ist ca.  $14 I_{n \text{ mot}} = 49 \text{ A}$  und der Effektivstrom  $49 : \sqrt{2} = 34,75 \text{ A}$ . Bei einer Vorbelastung durch die Geschirrspülmaschine mit 4 kW entsprechend 10,5 A muss die untere Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung grösser als  $34,75 + 10,5 \approx 45 \text{ A}$  sein; eine Verschiebung der unteren Ansprechgrenze auf 34 A ist daher nicht möglich. Bei der normalen Ausführung ist der magnetische Auslöser auf  $4,5 \dots 6 I_n$  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:

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

Selektivität der flinken und trägen Sicherungen Typ D ( $S_2$ ) gegenüber der vorgeschalteten Sicherung ( $S_1$ )

Tabelle VI

Nennstrom der Sicherung $S_2$ Typ D	Kleinster Nennstrom der Sicherung $S_1$					Nennstrom der Sicherung $S_2$ Typ D	Kleinster Nennstrom der Sicherung $S_1$					
	Typ D		Typ NHS				Typ D		Typ NHS			
	flink	flink	träge	flink	träge		flink	träge	flink	träge	flink	
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.

$$R_{Ta} \approx \frac{R_{Ta1} \cdot R_{Ta2}}{R_{Ta1} + R_{Ta2}}$$

für  $R_{Ta1} = R_{Ta2}$ :

$$R_{Ta} = \frac{R_{Ta1}^2}{2 R_{Ta1}} = \frac{1}{2} R_{Ta1} = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ m}\Omega$$

(3) für das 18. Stockwerk und eine Bezügerleitung von 4 mm<sup>2</sup> zwischen Phase und Nulleiter 276 A beträgt.

$$\begin{array}{lll} \Sigma R_L: & 50 \text{ m} & 185 \text{ mm}^2 \\ & 6 \text{ m} & 120 \text{ mm}^2 \\ & 37,4 \text{ m} & 4 \text{ mm}^2 \\ & 4 \text{ m} & 1,5 \text{ mm}^2 \end{array} \begin{array}{lll} 50 \times 0,09 = & 4,5 \\ 6 \times 0,14 = & 0,84 \\ 37,4 \times 4,39 = & 164,19 \\ 4 \times 11,70 = & 46,80 \end{array} \Sigma R_L = 216,33$$

(Tab. II)

(Tab. III)

$$\begin{array}{lll} \Sigma R_{LN}: & 50 \text{ m} & 120 \text{ mm}^2 \\ & 6 \text{ m} & 120 \text{ mm}^2 \\ & 37,4 \text{ m} & 4 \text{ mm}^2 \\ & 4 \text{ m} & 1,5 \text{ mm}^2 \end{array} \begin{array}{lll} 50 \times 0,14 = & 7,00 \\ 6 \times 0,14 = & 0,84 \\ 37,4 \times 4,39 = & 164,19 \\ 4 \times 11,70 = & 46,80 \end{array} \Sigma R_{LN} = 218,83 \text{ m}$$

(Tab. III)

$$\begin{array}{lll} \Sigma R_S: & 1 \text{ St. } 300 \text{ A} & 1 \times 0 = 0 \\ & 1 \text{ St. } 225 \text{ A} & 1 \times 0 = 0 \\ & 1 \text{ St. } 20 \text{ A} & 1 \times 10 = 10 \text{ m}\Omega \end{array} \Sigma R_S = 10 \text{ m}\Omega$$

(Tab. IV)

$$R_A = 12 \text{ m}\Omega$$

(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, träge, und einer Bezügerleitung von 6 mm<sup>2</sup> wäre der Kurzschlußstrom:

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

worin:

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

$$\begin{array}{lll} \Sigma R_L: & 50 \text{ m} & 185 \text{ mm}^2 \\ & 6 \text{ m} & 120 \text{ mm}^2 \\ & 37,4 \text{ m} & 6 \text{ mm}^2 \\ & 4 \text{ m} & 1,5 \text{ mm}^2 \end{array} \begin{array}{lll} 50 \times 0,09 = & 4,5 \\ 6 \times 0,14 = & 0,84 \\ 37,4 \times 2,92 = & 109,21 \\ 4 \times 11,70 = & 46,80 \end{array} \Sigma R_L = 161,35 \text{ m}\Omega$$

(Tab. III)

$$\begin{array}{lll} \Sigma R_{LN}: & 50 \text{ m} & 120 \text{ mm}^2 \\ & 6 \text{ m} & 120 \text{ mm}^2 \\ & 37,4 \text{ m} & 6 \text{ mm}^2 \\ & 4 \text{ m} & 1,5 \text{ mm}^2 \end{array} \begin{array}{lll} 50 \times 0,14 = & 7,00 \\ 6 \times 0,14 = & 0,84 \\ 37,4 \times 2,92 = & 109,21 \\ 4 \times 11,70 = & 46,80 \end{array} \Sigma R_{LN} = 163,85 \text{ m}\Omega$$

(Tab. III)

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

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

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

für  $X_{Ta1} = X_{Ta2}$ :

$$\begin{array}{lll} X_{Ta} = 0,5 X_{Ta1} = 0,5 \times 11 = 5,5 \text{ m}\Omega \\ \Sigma X_{La} = 50 \cdot 0,134 = 6,7 \text{ m}\Omega \end{array} \quad (Tab. II)$$

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

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 Massen 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

## 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 mm<sup>2</sup> Cu, von welchem zu den einzelnen Blöcken Anschlusskabel 4 × 25 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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<sub>n</sub> 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:

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

$$R_T = 16 \text{ m}\Omega$$

(Tab. II)

$$\Sigma R_L: 10 \text{ m } 50 \text{ mm}^2 \quad 10 \times 0,35 = 3,50$$

(Tab. III)

$$8 \text{ m } 25 \text{ mm}^2 \quad 8 \times 0,70 = 5,60$$

$$1 \text{ m } 16 \text{ mm}^2 \quad 1 \times 1,10 = 1,10$$

$$7 \text{ m } 6 \text{ mm}^2 \quad 7 \times 2,92 = 20,44$$

$$6 \text{ m } 2,5 \text{ mm}^2 \quad 6 \times 7,02 = 42,12$$

$$\Sigma R_L = 72,76 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma R_S: 1 \text{ St. } 300 \text{ A} \quad 1 \times 1 = 1 \text{ m}\Omega$$

(Tab. IV)

$$1 \text{ St. } 60 \text{ A} \quad 1 \times 3 = 3 \text{ m}\Omega$$

$$1 \text{ St. } 25 \text{ A} \quad 1 \times 5 = 5 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma R_S = 9 \text{ m}\Omega$$

$$R_A = 7 \text{ m}\Omega$$

(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:

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

$$R_{Ta} = 13 \text{ m}\Omega$$

(Tab. II)

$$\Sigma R_L: 10 \text{ m } 50 \text{ mm}^2 \quad 10 \times 0,35 = 3,50$$

(Tab. III)

$$8 \text{ m } 25 \text{ mm}^2 \quad 8 \times 0,70 = 5,60$$

$$1 \text{ m } 16 \text{ mm}^2 \quad 1 \times 1,10 = 1,10$$

$$7 \text{ m } 6 \text{ mm}^2 \quad 7 \times 2,92 = 20,44$$

$$6 \text{ m } 1,5 \text{ mm}^2 \quad 6 \times 11,70 = 70,20$$

$$\Sigma R_L = 100,84 \text{ m}\Omega$$

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

(siehe oben)

$$R_S = 9 \text{ m}\Omega$$

(Tab. V)

$$R_A = 12 \text{ m}\Omega$$

(Tab. II)

$$X_{Ta} = 27 \text{ m}\Omega$$

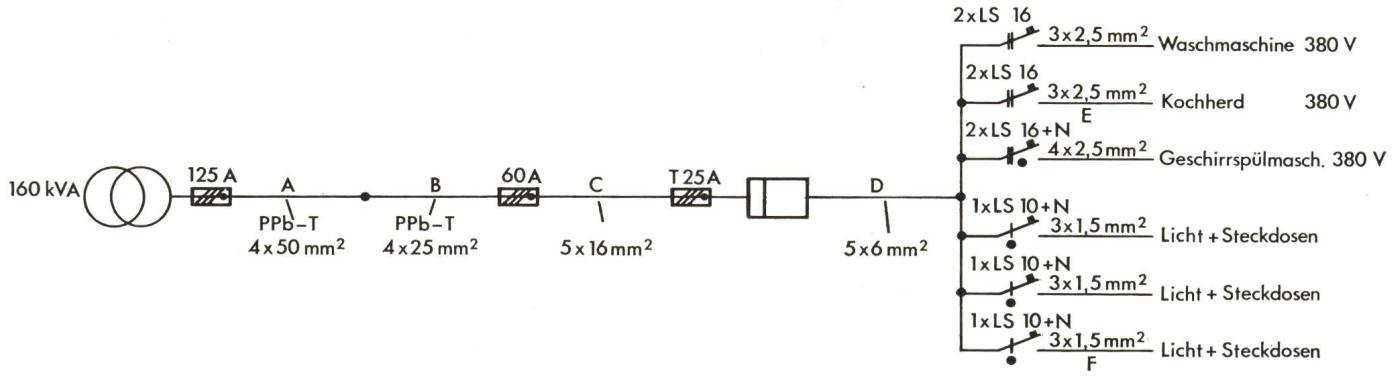
(Tab. III)

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

(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.
$A = 10 \text{ m}$	$A = 131 \text{ m}$
$B = 8 \text{ m}$	$B = 32 \text{ m}$
$C = 1 \text{ m}$	$C = 16 \text{ m}$
$D = 7 \text{ m}$	$D = 7 \text{ m}$
$E = 6 \text{ m}$	$E = 6 \text{ m}$
$F = 6 \text{ m}$	$F = 6 \text{ m}$

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 parallel laufen, 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 abgesetzten 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 vorgesetzten 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.