

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 44 (1953)
Heft: 5

Artikel: Sicherungen und deren Normung
Autor: Widmer, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059924>

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: 16.01.2026

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

kalischen Experimentierkunst abzuzeichnen begonnen, die sowohl für die Landwirtschaft als auch für die allgemeine Wasser- und Elektrizitätsversorgung von massgebender Bedeutung sein können. Voraussetzung ist aber, dass man vorurteilsfrei, aber ausgerüstet mit der notwendigen fachtechnischen Kritik an die hier sich einstellenden neuen Probleme

und Aufgaben herantritt und sich mit ihnen verantwortungsbewusst auseinandersetzt, um zu einem klaren und sichern Urteil über die wirtschaftliche Nutzung der neuen Methoden der experimentellen Meteorologie zu gelangen.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. R. Sängler, ETH, Sternwartstrasse 7, Zürich 7/6.

Sicherungen und deren Normung

Von R. Widmer, Genf

621.389.6 : 621.316.923

Nach einem Überblick über die verschiedenen Arten von Sicherungen wird deren Arbeitsweise mathematisch untersucht und eine Normung auf rationaler Basis vorgeschlagen.

Exposé des divers genres de coupe-circuit, étude mathématique de leur fonctionnement. Proposition d'une normalisation sur une base rationnelle.

(Übersetzung)

Vorwort

Die Sicherungen sind ein einfaches und wirtschaftliches Mittel zum Schutz elektrischer Stromkreise.

Sie ermöglichen die Einrichtung eines sowohl der Leistung und den Spannungen der Stromkreise entsprechenden, als auch für kleine und grosse Überlastungen sowie Kurzschlüsse zweckmässigen und selektiven Schutzes.

Der Begriff der Normung muss sich auf Allgemeines, die Abmessungen und Schmelzcharakteristiken betreffend, beschränken. Die Normung selbst soll sich auf die physikalischen Gesetze, welchen die Sicherungen unterworfen sind, und auf die praktischen Ausführungen stützen.

Die verschiedenen Typen von Sicherungen

Die Sicherungen mit Schmelzeinsatz unterscheiden sich voneinander durch ihre Arbeitsweise, die äusseren Begleiterscheinungen, die konstruktiven Eigenschaften der Bauelemente, die Kontakte, die Befestigung der auswechselbaren Teile (Hochleistungspatronen oder Schmelzeinsätze), die Wirksamkeit des Schutzes sowie die elektrischen Eigenschaften.

Die übliche Einteilung erfolgt in folgende Kategorien:

Nach der Montageart:

1. Für Aufbau.
2. Für Einbau in fester Schalttafel.
3. Für Einbau hinter beweglicher Schalttafel.

Die verschiedenen Varianten des Einbaues in Kästen, Schränke sowie Abschirmungen entsprechen alle der einen oder der anderen der genannten drei Kategorien.

Nach der Ausführung

- a) Freier Schmelzdraht
- b) Stecksicherung
- c) Schraubversicherung
- d) Sicherung mit Kontaktmesser
- e) Stöpselsicherung

Auf dem Markt befinden sich viele Ausführungsvarianten dieser verschiedenen Systeme. Zur Beurteilung der Qualität von Sicherungen sind folgende Forderungen zu beachten:

Kontakte

Genügender Kontaktdruck, nur einen minimalen Spannungsabfall zulassend (sehr kleiner Spannungsabfall im Vergleich zu dem des Sicherungselementes).

Kein Einfluss der Lebensdauer auf die Qualität (Alterung der Kontakte vermieden durch deren Anfertigung aus massivem Silber oder mit Silberüberzug).

Nur geringer Beitrag zur Erwärmung (diese soll hauptsächlich durch die Sicherungselemente entstehen; sie ist unvermeidlich, da sie das Arbeitsprinzip der Sicherung darstellt).

Anschlussklemmen

Mit Rücksicht auf eine gute elektrische sowie thermische Leitfähigkeit reichlich bemessen. Dauerhafte Befestigung der Leiter.

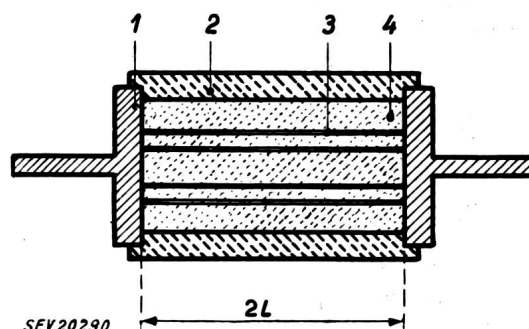


Fig. 1

Schnitt durch einen gekapselten Schmelzeinsatz

1 Messer-Anschlusskontakt; 2 Einsatzkörper;
3 Schmelzdraht; 4 Kieselsand

Untersätze oder Gehäuse

Robust und mit genügender elektrischer Isolation. Gleichmässige Ventilation, um ein identisches Verhalten der Sicherungselemente bei den verschiedenen Montagearten zu gewährleisten. (Eine träge Sicherung darf nicht zu einer flinken werden, bloss deshalb, weil sie in einem dicht schliessenden Kasten montiert ist.)

Auswechselbare Teile

Im folgenden ist die Rede von den Ersatzteilen, die wir im allgemeinen als Sicherungen bezeichnen. Wir unterscheiden bei diesen:

- A. Die Sicherungen in Luft auf einem Untersatz oder in einer offenen Fassung;
 B. Die gekapselten Sicherungen mit flüssigem Inhalt;
 C. Die gekapselten Sicherungen mit festem Inhalt.

A. Sicherungen in freier Luft

Diese Ausführung bildete die Grundlage der Idee des Schutzes durch Sicherungselemente. Sie wird heute, ausser vielleicht für Versuchszwecke, wegen ihrer Mängel nicht mehr verwendet (Begrenzte Abschaltleistung, Unfall-, Brandgefahr usw.). Abgesehen von der richtigen Wahl der Koeffizienten ist das Arbeitsprinzip identisch mit dem der gekapselten Sicherungen.

B. Gekapselte Sicherungen mit flüssigem Inhalt

Diese Bauart erlaubt eine Verwendung für sehr hohe Spannungen.

C. Gekapselte Sicherungen mit festem Inhalt

Allgemein übliche Ausführung mit weit ausgedehnten Anwendungsmöglichkeiten.

Arbeitsweise

Einer oder mehrere Schmelzdrähte parallel befinden sich in einer mit Lichtbogen löschendem Material ausgerüsteten Verschaltung. Die Drähte sind mit den Anschlussklemmen verbunden.

Der Querschnitt ist je nach Verwendung über die ganze Länge konstant oder veränderlich. Die allgemein verwendeten Materialien sind: Silber, Zink und Konstantan (dieses für das Schauzeichen).

Der Löschkörper besteht im allgemeinen aus mehr oder weniger feingekörntem Kieselsand.

Die Verschaltung enthält eine Kammer aus gegossenem Isoliermaterial oder Keramik, auf ihrer Aussenseite mit entsprechenden Anschlüssen versehen.

Schematische Betrachtung der Wirkungsweise der Sicherung

Erwärmung eines von einem elektrischen Strom durchflossenen Leiters

I	Strom
q	Leiterquerschnitt
u	Leiterumfang
α	Abkühlungskoeffizient an der Oberfläche des Leiters entsprechend dem umgebenden Mittel. (Ergibt sich aus der thermischen Leitfähigkeit des umgebenden Mittels, den Konvektions-, sowie Ausstrahlungsvorgängen.)
λ	Thermische Leitfähigkeit des Leiters
k	Spezifische Wärme des Leiters pro Volumeneinheit
ϱ	Spezifischer Widerstand des Leiters
Θ	Temperatur des Leiters
Θ_A	Umgebungstemperatur
$\vartheta = \Theta - \Theta_A$	Erwärmung des Leiters d. h. Unterschied zwischen seiner Temperatur und derjenigen der Umgebungstemperatur
x	Abszisse eines Querschnittes im Verhältnis zum Ursprung

dV	Volumenelement
t	Zeit
σ	Stromdichte

Die Energiebilanz eines Leiterelementes von gleichmässigem Querschnitt ergibt folgende allgemeine Differentialgleichung:

$$k q \frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{I^2 \varrho}{q} + \lambda q \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} - \alpha u (\Theta - \Theta_A)$$

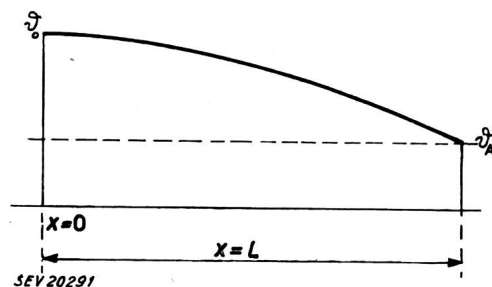


Fig. 2

Erwärmung eines Leiters bestimmter Länge $2L$
 $x = 0$ Abszisse des Mittelpunktes

Beharrungszustand

Bei Beharrung ist: $\frac{\partial \Theta}{\partial t} \equiv 0$

Die Lösung der Differentialgleichung ist bei:

$$\Theta - \Theta_A = \vartheta \quad \beta^2 = \frac{\alpha u}{\lambda q} \quad \xi = \frac{I^2 \varrho}{\lambda q^2}$$

$$\vartheta = \frac{\xi}{\beta^2} \left(1 - \frac{\cosh \beta x}{\cosh \beta L} \right) + \vartheta_A \frac{\cosh \beta x}{\cosh \beta L}$$

wobei ϑ_A die Erwärmung des Endpunktes des Leiters ist, d. h. $x = L$.

Am Ursprung $x = 0$ haben wir:

$$\vartheta_{x=0} = \frac{\xi}{\beta^2} \left(1 - \frac{1}{\cosh \beta L} \right) + \vartheta_A \frac{1}{\cosh \beta L}$$

Wenn die Länge des Leiters unendlich oder zumindest sehr gross ist im Vergleich zum Querschnitt, so erhalten wir eine gleichmässige Erwärmung mit:

$$\left(\frac{1}{\cosh \beta L} \rightarrow 0 \right)$$

$$\vartheta = \vartheta_0 = \frac{\xi}{\beta^2} = \frac{I^2 \varrho}{\alpha u q}$$

Wenn die Erwärmung vorgeschrieben ist, ist es ein leichtes, die maximale Strombelastung festzustellen.

Diese ist: $I_0^2 = \frac{\alpha u q \vartheta_0}{\varrho}$

Für einen Leiter mit rundem Querschnitt:

$$\vartheta = I^2 \frac{4 \varrho}{\pi^2 \alpha d^3} = \frac{\varrho d}{4 \alpha} \sigma^2$$

Wenn $\vartheta = 20 \dots 25^\circ \text{C}$ für Kupfer

$$I^2 \approx 40 d^3$$

Für einen dünnen Streifen von rechteckigem Querschnitt erhalten wir mit genügender Annäherung:

$$\vartheta_0 \approx I^2 \frac{\varrho}{2 \alpha a b^2} = \frac{\sigma^2 \varrho a}{2 \alpha}$$

und für Kupfer mit $\vartheta = 20 \dots 25^\circ \text{C}$ $I^2 \approx 25 a b^2$

Rasche Erwärmung

Die Erwärmung ist gleichmässig (unabhängig von x) $\partial \vartheta / \partial x = 0$

Die Lösung der Differentialgleichung ist dann:

$$\vartheta = \frac{I^2 \varrho}{\alpha u q} \left[1 - e^{-\frac{\alpha u}{k q} t} \right] = \vartheta_0 \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right]$$

τ_0 Zeitkonstante des Leiters

$$\tau_0 = \frac{k q}{\alpha u} = \frac{k V}{\alpha S}$$

wo V Volumen des Leiters
 S Leitermantelfläche

für $t = \tau_0$ erreicht die Erwärmung 63 % des Wertes des Beharrungszustandes

Nehmen wir an, dass eine konstante Erwärmung festgelegt wird ($\vartheta = \vartheta_0$), und suchen wir die Zeit, welche benötigt wird, um diese Erwärmung mit einem Strom $I > I_0$ zu erhalten.

Durch Umstellung der Gleichung

$$t = \tau_0 \log \frac{I^2}{I_0^2 - I_0^2} \quad \text{mit} \quad \vartheta_0 = \frac{I_0^2 \varrho}{\alpha u q}$$

wenn $t \ll \tau_0$ $I \gg I_0$

erhalten wir:

$$I^2 t = I_0^2 \tau_0 = \frac{k q^2 \vartheta_0}{\varrho} = \text{konstant}$$

Übergangszustand

Dies ist der Zwischenzustand zwischen dem Auftreten rascher Erwärmung und dem Beharrungszustand. Seine mathematische Analyse kann nach Belieben ausgedehnt werden. Dennoch ist eine solche nur von kleinem praktischem Interesse. In der Tat sind Parameter wie α , k , ϱ veränderlich mit der Erwärmung oder der Zeit, was zur Folge hat, dass die Berechnungen, wenn auch ausführbar, äusserst kompliziert werden. Ausserdem sind praktische Schlüsse nur mit Vorsicht daraus abzuleiten. Eine solche Analyse fällt aus dem Rahmen dieses Aufsatzes.

Leiter bestimmter Länge

Besondere Aufmerksamkeit muss den Bedingungen an den Enden gewidmet werden, um sicher zu

gehen, dass eine Deutung der Berechnungen auch zu brauchbaren praktischen Schlüssen führt.

Leiter veränderlichen Querschnittes oder mit besonderen Vorrichtungen ausgestattet

Es genügt, die neu hinzukommenden Bedingungen zu berücksichtigen, um zu einer auf neuer Basis stehenden Differentialgleichung zu gelangen, welche dann nach gleichem Schema analysiert werden kann.

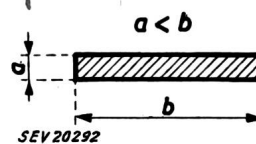


Fig. 3
Dünner Streifen rechteckigen Querschnittes

Allgemeine Anwendungen der erhaltenen Resultate

Die erhaltenen Formeln sind anwendbar auf alle Stromleiter und andere Elemente elektrischer Apparate. Je nachdem das betrachtete Verhältnis stabil ist oder sich zu stabilisieren sucht — schwache oder starke Erwärmung — muss die Zahl der Parameter sorgfältig festgestellt werden, dies im besonderen um sicher zu gehen, dass das Ganze auch der praktischen Wirklichkeit entspricht.

Anwendung der Ergebnisse auf die Sicherungen

Das Verhalten eines Schmelzeinsatzes im Betrieb hängt von seiner Schmelzcharakteristik ab. Praktisch erfüllt die Sicherung ihre Bestimmung (Stromunterbrechung) im Moment, da der Schmelzeinsatz durchschmilzt. (Bei Silber beträgt ϑ_0 ungefähr $900 \dots 960^\circ \text{C}$.) Die Schmelzcharakteristik wird im allgemeinen in rechtwinkligen Koordinaten unter Verwendung eines logarithmischen Maßstabes aufgezeichnet.

I_0 Nichtschmelz-Grenzstrom, d. h. asymptotischer Wert der untersten Grenze des Schmelzstromes
 I_1 Grenzwert des 1-Stunden-Schmelzstromes

Für sehr kurze Zeitspannen ergibt das Gesetz $I^2 t = \text{konstant}$ mit den gewählten Maßstäben eine lineare Charakteristik.

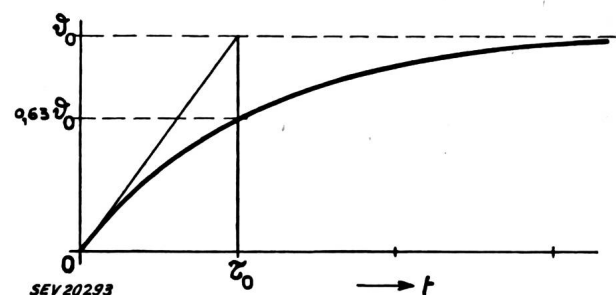


Fig. 4
Die Erwärmung ϑ als Funktion der Zeit t

Betrachten wir einen Punkt i der Schmelzcharakteristik: Die Tangente an die Kurve bei diesem Punkt kann an ihrem Schnittpunkt mit der Asymptote I_0 eine scheinbare Zeitkonstante τ_i definieren; diese entspricht den Verhältnissen am Punkt i , welcher die Zeitkonstante τ_0 des Drahtes sowie einen Teil des den Draht umgebenden Kieselsandes einschliesst. Je mehr sich der Punkt i den längeren Zeitspannen

nähert, um so mehr nimmt diese scheinbare Zeitkonstante zu. Wenn hierauf das Stabilitätsverhältnis eintritt, entspricht sie der Gesamtheit des Schmelzeinsatzes, möglicherweise sogar unter Einbezug eines Teiles der gesamten Sicherung sowie der Anschlüsse.

Der Winkel ψ ist folglich konstant und charakterisiert das Material, aus dem der Schmelzdraht besteht.

Der Winkel β hat mit ψ seinen minimalen Wert, nimmt zu mit t und nimmt den Wert $\pi/2$ an, während t ins Unendliche geht.

Wenn man den Kurzschlußstrom I_c für eine sehr kurze Zeitspanne t_c , welche man praktisch gleich 0,001 s annehmen kann, festlegt, ergibt sich die Schmelzcharakteristik aus folgenden Hauptelementen:

- I_0 Nichtschmelz-Grenzstrom
- I_1 Grenzwert des 1-Stunden-Schmelzstromes
- I_c Kurzschlußstrom
- t_c Zeitspanne, welche dem Kurzschlußstrom I_c entspricht
- τ_0 Zeitkonstante des Schmelzeinsatzes
- ψ Charakteristik des Schmelzdrahtmaterials

Diese Elemente müssen jeweils auf den Nennstrom des gegebenen Schmelzeinsatzes bezogen werden; sie sind daher dessen Funktion.

Variation der Schmelzcharakteristik und deren Normung

Eine derartige Normung kann auf den mittleren Werten der für eine bestimmte Kategorie Apparate

rücksichtigung der physikalischen Grundgesetze, welchen die betreffenden Apparate unterworfen sind. Für den Fall der Schmelzeinsätze genügt es,

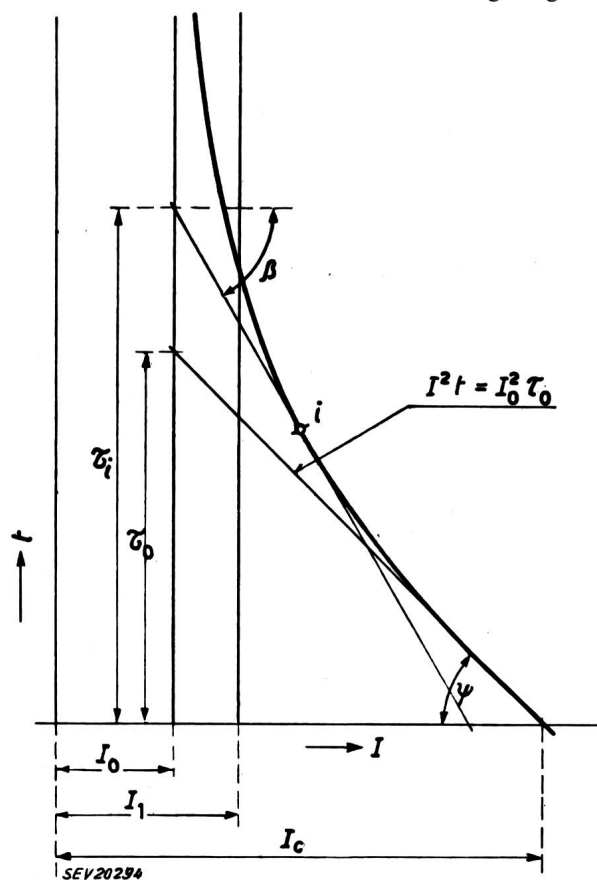


Fig. 5
Schmelzcharakteristik in logarithmischen Koordinaten
(Erklärung siehe im Text)

jeweils I_n veränderlich anzunehmen, um die von verschiedenen Gesichtspunkten aus gesehen rationalen Schmelzcharakteristiken zu erhalten.

Für die gleiche Art Schmelzeinsatz haben wir daher jeweils: $\psi = \text{konstant}$

$$\frac{I_0 I_1 I_c \tau_0 \beta_i}{(t=t_c) (t=t_i)} = f(I_n)$$

Die schweizerischen Normen für NH-Schmelzeinsätze gemäss Publi-

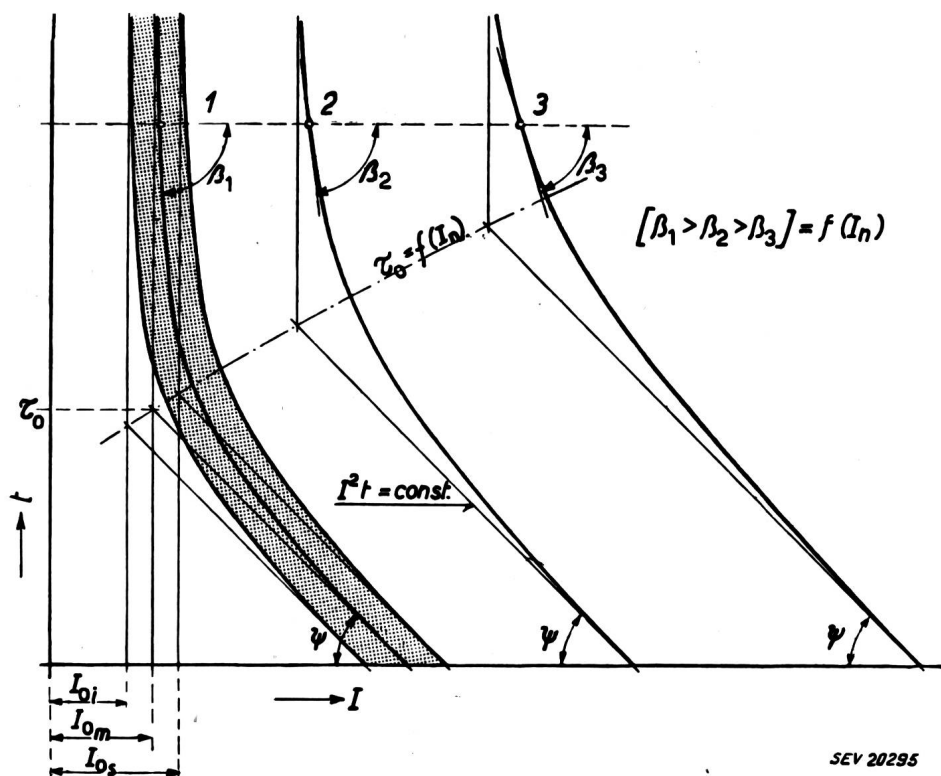


Fig. 6
Abschmelzkurven und -gebiete
Index i unterster Grenzwert
Index m mittlerer Grenzwert
Index s oberer Grenzwert

durch verschiedene Konstrukteure gesammelten Erfahrungen basieren. Es muss indessen systematisch vorgegangen werden unter gleichzeitiger Be-

kation Nr. 182 des SEV, obwohl nicht absolut rational, entsprechen doch ziemlich genau folgenden Gleichungen:

$$I_0 = I_n (1 + a e^{-b I_n})$$

$$I_c = I_n \left(C + \frac{I_n}{d} \right)$$

$t_c = 0,001 \text{ s}$

Durch Änderung der Parameter a, b, c, d ist es möglich, Schmelzeinsätze, welche während längerer Zeit mehr oder weniger grosse Überströme aushalten können, oder solche, welche während einer kurzen Zeitspanne mehr oder weniger flink oder träge sind, zu erhalten. Derartige Funktionen ergeben ein Bündel rationaler Charakteristiken auf solider Grundlage; sie sind relativ leicht durch den Konstrukteur realisierbar.

Normen der Publikation Nr. 182:

$$\left. \begin{array}{l} a_i = 0,3 \\ a_m = 0,45 \\ a_s = 0,6 \\ b = 0,002 \\ \psi = \pi/4 \end{array} \right\} \text{Schmelzeinsätze der Typen 1 und 2}$$

$$\left. \begin{array}{l} c = 30 \\ d = 20 \end{array} \right\} \text{Schmelzeinsätze des Typs 1} \quad \left. \begin{array}{l} c = 50 \\ d = 12 \end{array} \right\} \text{Schmelzeinsätze des Typs 2} \quad \left. \begin{array}{l} \text{für } t = \\ 0,001 \text{ s} \end{array} \right\}$$

Streuung der Sicherungseigenschaften

Der Aufbau und die Arbeitsweise der Sicherungen bedingen eine gewisse Toleranz in ihrem Verhalten. Die praktischen Möglichkeiten und die Ausführungskosten sind eine direkte Funktion dieser Toleranz.

Das Problem des Selektivschutzes

Die Selektivität kann ohne grosse Schwierigkeiten durch entsprechende Wahl der Parameter für die verschiedenen Sorten Sicherungen, d. h. für:

Niederspannungs-Schwachstromanlagen
Niederspannungs-Starkstromanlagen
Hochspannungsanlagen

erzielt werden.

Unter anderem müssen die verschiedenen Varianten der Stromkreisschaltungen und der gewünschte Flinkheits- oder Trägheitsgrad berücksichtigt werden.

Schlussfolgerungen

Wir haben in diesem Rahmen die Arbeitsbedingungen der Sicherungen besprochen und den Weg zur Normung der Schmelzcharakteristiken in seinen Grundlinien dargelegt. Es wird selbstverständlich vorweggenommen, dass das Abschaltvermögen entlang der ganzen Schmelzcharakteristik gewährleistet ist. Die Dimensionierung der Sicherungen hängt von den Spannungen und den Nennströmen ab. Eine Normung dieser Abmessungen muss auf ähnlicher Basis vorgenommen werden. Wir haben angenommen, dass die Behandlung dieser Frage aktuell sei, da die Anforderungen des Installierens und des Ersatzes die Fachleute auf regionalem, nationalem und sogar internationalem Gebiet beschäftigt.

Adresse des Autors:

R. Widmer, Dipl. Ing. EPL, Chef des Studienbureaus der Gardy S. A., Case postale 13-Jonction, Genève.

Diskussionsversammlung des VSE über den Bau von Transformatorenstationen¹⁾

Einführungsreferat (gekürzte Fassung), gehalten an der Diskussionsversammlung des VSE vom 6. März 1952 in Bern, von E. Binkert, Luzern

621.316.262

Der Verfasser gibt einen Überblick über die verschiedenen Arten von Transformatorenstationen und streift kurz die sich stellenden Bau- und Rechtsfragen.

L'auteur donne un aperçu sur les différentes sortes de stations de transformation et touche brièvement les questions de construction et de droit qui se posent.

Einleitung

Über die Bedeutung des Baues von Transformatorenstationen wird man orientiert, wenn man deren Kosten aus den Bauaufwendungen für ein Verteilnetz ausscheidet. Für das Versorgungsgebiet der Stadt Luzern z. B. betragen die Aufwendungen für den Bau von Transformatorenstationen bis Ende 1950 rund 2,7 Millionen Franken, was mehr als den vierten Teil der Gesamtaufwendungen für die Verteilanlagen ausmacht. Der gerechnete Mittelwert pro Station (inkl. Transformatoren) beläuft sich auf Fr. 26 000. Die Kosten der einzelnen Anlagen sind sehr verschieden und betragen z. B. in Luzern bei den zuletzt ausgeführten Anlagen (inkl. Ausrüstung):

Stangenstation	Fr. 10 800
Kabinestation	Fr. 16 500
eingeschossige oberirdische Anlage	Fr. 28 700
halbunterirdische Anlage	Fr. 42 500
unterirdische Anlage	Fr. 49 000

¹⁾ vgl. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 3, S. 97...101.

²⁾ Statistik der Elektrizitätswerke der Schweiz, nach dem Stand auf Ende 1948 (Ausgabe August 1950), bearbeitet vom Starkstrominspektorat des SEV.

Nach der Statistik des Starkstrominspektorates²⁾ bestanden Ende 1948 in der Schweiz über 13 000 Transformatorenstationen. Das in sämtlichen Stationen der Schweiz investierte Kapital dürfte auf rund 200 Millionen Franken zu schätzen sein. Diese Zahl zeigt mit aller Deutlichkeit, dass dem Stationsbau alle Sorgfalt gewidmet werden muss.

A. Stangenstationen

Besonders die Überlandwerke besitzen zahlreiche Stangenstationen, während sie bei städtischen Werken beinahe ganz verschwunden sind. So weisen z. B. die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) als ein typisches Überlandwerk bei insgesamt 767 Stationen nicht weniger als 447 Stangenstationen (58 %) auf; im Gebiet der Stadt Luzern dagegen besteht nur eine einzige solche Station, wobei aber auch dort der Boden für ein Gebäude bereits gekauft ist.

Die einfachste Lösung mit nur einem Betonmast zeigt Fig. 1. Es handelt sich um eine Station von