Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 7

Artikel: Neue Überlegungen zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen

Autor: Homberger, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904784

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: 09.12.2025

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

Neue Überlegungen zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen

E. Homberger

Durch den Einsatz von Überstromunterbrechern mit träger Ausschalt-Charakteristik lassen sich die Bedingungen zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen in den Niederspannungs-Verteilnetzen nicht mehr einhalten. In den Verbraucherinstallationen stehen hingegen verschiedene Schutzmittel zur Verfügung, um die angestrebte rasche Abschaltung zu erwirken oder die Berührungsspannungen abzusenken. Da die Unfallwahrscheinlichkeit in den Verteilnetzen und den Verbraucherinstallationen grundverschieden ist, wird vorgeschlagen, für die beiden Bereiche auch ungleich hohe Anforderungen an die Schutzmassnahmen gegen sog. indirektes Berühren zu stellen.

Par l'introduction de coupe-surintensité retardés, les conditions requises pour éviter l'apparition de tensions de contact dangereuses ne sont plus observées dans les réseaux de distribution basse tension. Dans les installations de consommation d'énergie, on dispose par contre de divers moyens de protection pour obtenir une coupure rapide ou abaisser les tensions de contact. Le risque d'accidents n'étant pas le même dans les réseaux de distribution que dans les installations de consommation d'énergie, on propose de poser également des exigences différentes concernant les dispositions de protection contre le contact dit «indirect».

Adresse des Autors

E. Homberger, Oberingenieur, Eidg. Starkstrominspektorat, Postfach, 8034 Zürich.

1. Überblick

Seit dem Inkrafttreten der heute noch gültigen Starkstromverordnung (StV) im Jahre 1933 [1] stützen sich die Schutzmassnahmen gegen gefährliche Berührungsspannungen im Niederspannungsbereich auf die Bestimmungen von Art. 26, Abs. 4 StV, die folgendes beinhalten:

Es ist dafür zu sorgen, dass beim Auftreten von Erdschlüssen keine Spannungen von mehr als 50 V gegenüber (neutraler) Erde an berührbaren Apparategehäusen, Metallumhüllungen von Leitern und dgl. auftreten oder länger als einige Sekunden bestehen können. Streng genommen gelten diese Bedingungen nur für sog. «genullte» Netze, doch mangels besonderer Vorschriften wendet man sie auch in den Hausinstallationen der «schutzgeerdeten» Netze an.

Bei Anwendung der «Nullung» sind die Bedingungen auch im Verteilnetz selbst einzuhalten, denn bei einer Berührung zwischen einem Polleiter und dem Netznulleiter (heute PEN-Leiter) übertragen sich die gegenüber Erde auftretenden Spannungen auf die genullten Apparate- und Motorengehäuse der Verbraucherinstallationen. Als schlimmster Fall gilt eine Berührung der beiden Leiter am Netzende, weil dabei die kleinsten Ströme auftreten, also bei Verwendung stromabhängiger Schutzmittel die längsten Ausschaltzeiten zu erwarten sind. Unter der Annahme, dass der PEN-Leiter je am Leitungsanfang und -ende betriebsmässig geerdet ist, ergibt sich der in Figur 1 gezeigte Verlauf der Erdungsspannung (Spannung zwischen dem PEN-Leiter und der neutralen Erde) zwischen der Speisestelle (Generator, Transformator) und dem Leitungsende. Eine Vermehrung der Erdungsstellen ändert das Bild nicht wesentlich. Man erkennt, dass der Spannungsverlauf stark vom Verhältnis des Erdungswiderstandes an der Speisestelle zu jenem am Leitungsende abhängt. Üblicherweise ist an der Speisestelle mit einem bedeutend kleineren Erdungswiderstand zu rechnen, als gemessen wird, denn die PEN-Leitererdungen der übrigen von einer Speisestelle ausgehenden Leitungen sind zur Erdung an der Speisestelle parallel geschaltet.

Aufgrund der heutigen physio-pathologischen Kenntnisse über die Gefährlichkeit der Elektrizität für den Menschen müssen die sog. Nullungsbedingungen von Art. 26 StV als überholt gelten. Man weiss, dass ein Stromstoss durch den menschlichen Körper, der auf die Zeitspanne eines Herztaktes beschränkt bleibt, weit weniger gefährlich ist als eine länger dauernde Durchströmung. Eine Durchströmung von einigen Sekunden Dauer unter jeder beliebigen Spannung von mehr als 50 V, wie dies nach Art. 26 StV zulässig wäre, kann indessen gefährlich sein.

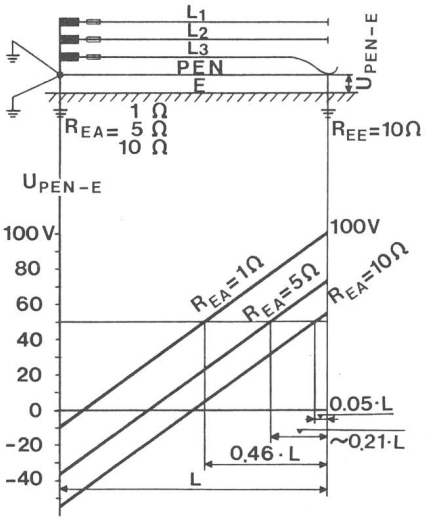

Fig. 1 Verlauf der Spannung zwischen PEN-Leiter und Erde (Erdungsspannung U_{PEN-E}) in Abhängigkeit der Leitungslänge L bei einer Polleiter-PEN-Leiter-Berührung am Ende eines 220/380-V-Leitungsstranges

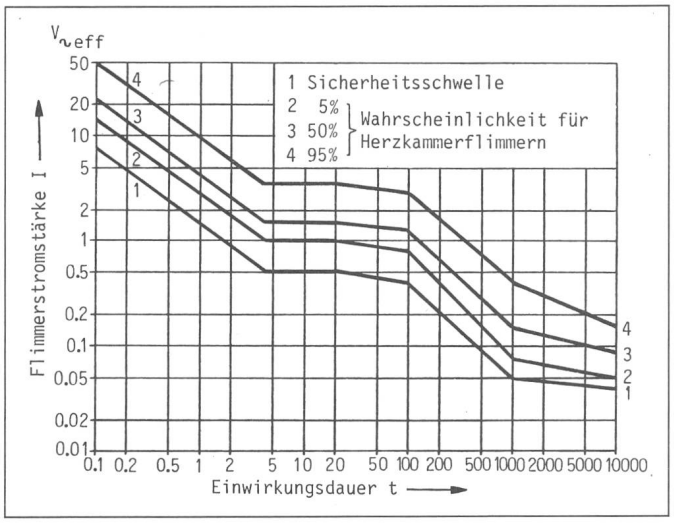

Fig. 2
Gefährlichkeit und Sicherheitsschwelle von Einwirkströmen auf den Menschen in Abhängigkeit der Einwirkzeit bei einer Durchströmung von Hand zu Hand

Festlegung einer Arbeitsgruppe des CE 64, Installations électriques des bâtiments, der CEI

Figur 2 vermittelt einen Überblick über die Gefährlichkeit der von einer Hand über den Körper zur andern Hand fliessenden Ströme in Abhängigkeit der Einwirkzeit. Sie enthält auch eine Grenzkurve, unter welcher die Auslösung des lebensgefährlichen Herzkammerflimmerns beim gesunden Menschen nicht mehr möglich erscheint. Wird eine Körperimpedanz von 1000 Ω in Betracht gezogen (mittlere Körperimpedanz bei einer Einwirkspannung von 200...300 V), so können die in Figur 2 angegebenen Grenzströme in mA eingesetzt als Spannungsgrenzwerte in V angesehen werden. Danach ist die Unzulänglichkeit von Art. 26 StV offenkundig. Allerdings hat sich noch nie ein tödlicher Unfall durch Berührungsspannungen an Orten ereignet, wo die Bedingungen nach Art. 26 StV eingehalten wurden. Es gibt offenbar Gründe, die die Gefährlichkeit wesentlich vermindern.

Anderseits bestehen auch Anhaltspunkte dafür, dass die Gefährlichkeit mit der Zeit zunehmen könnte. In den für die Nullung eingerichteten Niederspannungs-Verteilnetzen lassen sich nämlich die Nullungsbedingungen nur einhalten, wenn den Leitungen «flinke» Sicherungs-Schmelzeinsätze vorgeschaltet werden. Seit einigen Jahren gelangen jedoch mehr und mehr sog. DIN-Sicherungen nach VDE 0636 [2], ferner Sicherungen nach den CEI-Publikationen 269-1 und -2 [3] mit Zusatzbestimmungen nach den SEV-Normen 1065 und 1066 (1977) [4] sowie auch Leistungsschalter, alle mit trägen Auslösecharakteristiken, zum Einsatz. Erschwerend kommt noch dazu, dass die CEI-Normen 269-1 und -2 ganz wesentlich breitere Streubänder als die bisher verwendeten flinken Sicherungen zulassen. Bei den in den Niederspannungsnetzen möglichen Fehlerströmen können deshalb Ausschaltzeiten von einigen Minuten anstatt von Sekunden eintreten, wobei gleichzeitig die zulässigen Erdungsspannungen weit überschritten werden (vgl. Fig. 3).

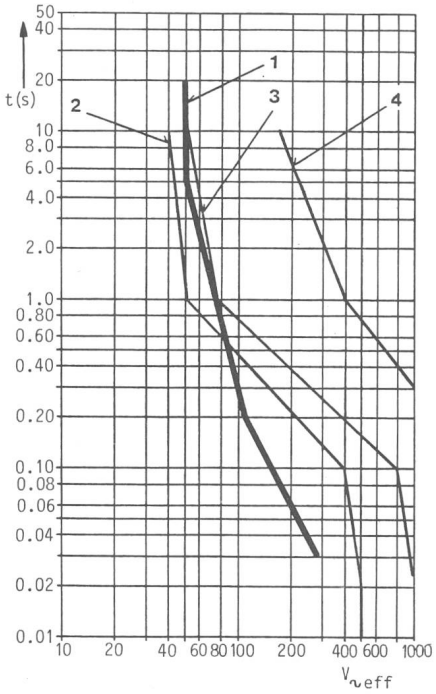

Fig. 3 Höchstzulässige Dauer der Berührungsspannung nach CENELEC HD 384.4.41, verglichen mit der Sicherheitsschwelle und Flimmerwahrscheinlichkeit gemäss Figur 2 bei einer Körperimpedanz von 1000 Ω

1 Höchstzulässige Dauer der Berührungsspannung gemäss CENELEC HD 384.4.41
2 Sicherheitsschwelle nach CEI
3 5% Flimmerwahrscheinlichkeit
4 95% Flimmerwahrscheinlichkeit

2. Die internationale Entwicklung

Im Februar 1980 ist das Harmonisierungsdokument HD 384.4.41 des CENELEC «Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung» [5] erschienen, das sich auf die CEI-Publikation 364 (1977) [6] stützt. Darin sind verschieden Massnahmen beschrieben, die den heutigen Gegebenheiten Rechnung tragen. Das Dokument unterscheidet zwischen dem Schutz gegen direktes Berühren (Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung im Normalbetrieb) und Schutz bei indirektem Berühren (Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung im Fehlerfall). Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf den Schutz gegen indirektes Berühren.

Wie im schweizerischen Vorschriftenwerk steht auch im erwähnten CENELEC-Dokument die automatische Abschaltung im Vordergrund. In einer tabellarischen und bildlichen Darstellung ist die höchstzulässige Dauer der Berührungsspannung festgelegt. Aus Figur 3 gehen die Festlegungen hervor. Sie wurden zusammen mit den in Figur 2 gezeigten Gefahrenkurven wiedergegeben, die jedoch über einen Körperwiderstand von 1000 Ω auf Einwirkspannungen umgerechnet wurden. Aus dieser Darstellung ist erkennbar, dass man auch auf internationaler Ebene eine gewisse Gefahr in Kauf nimmt. Allerdings sollen die veröffentlichten Werte nochmals überprüft werden, doch ist kaum anzunehmen, dass sie noch wesentliche Änderungen erfahren.

Eingehende Untersuchungen, die das Starkstrominspektorat in verschiedenen Niederspannungsnetzen und Hausinstallationen unter Einbezug aller bekannten Überstromunterbrecher vorgenommen hat, zeigten, dass die vom CENELEC festgelegten Ausschaltzeiten in den Hausinstallationen mit wenig Ausnahmen gut, in den Verteilnetzen hingegen *nicht* eingehalten werden können. Indessen beschränkt sich ja das erwähnte CENELEC-Dokument grundsätzlich auf die elektrischen Anlagen in Häusern, obschon gelegentlich auch Hinweise auf Freileitungen zu finden sind.

Bekanntlich gehören Deutschland und Österreich zu den klassischen «Nullungsländern». Gespräche mit Vertretern der zuständigen Normenkommissionen der beiden Länder haben ergeben, dass man auch dort zu ähnlichen Ergebnissen wie in der

Schweiz gelangte. In einem von der Deutschen Kommission im DIN und VDE (DKE) herausgegebenen Entwurf VDE O100, Teil 410/...82 [7] wurden deshalb die Ausschaltbedingungen des CENELEC übernommen, jedoch für die Verteilungsnetze und die Haupt-(Steig-)Leitungen der Installationen längere Abschaltzeiten zugebilligt. Nach dem VDE-Entwurf soll im übrigen der Gesamtwiderstand aller betriebsmässigen Erdungen im Verteilungsnetz in der Regel 2 Ω, ausnahmsweise 5 Ω nicht übersteigen. Damit soll bei Erdschluss eines Polleiters die Erdungsspannung des PEN- bzw. Schutzleiters begrenzt werden. Es handelt sich hier um eine Bedingung, die im deutschen Vorschriftenwerk schon seit langem verankert ist, in den schweizerischen Vorschriften jedoch fehlt. Aufgrund der Erfahrungen besteht jedoch keine Veranlassung, eine solche Bestimmung aufzunehmen.

Hingegen wurde vor kurzem der Potentialausgleich nach den CENELEC-Grundsätzen in die Hausinstallationsvorschriften (HV) des SEV [8] eingefügt. Aus CENELEC-HD 384.4.41 erkennt man, dass der Potentialausgleich nebst seinem eigentlichen Zweck des Zusammenschlusses aller leitenden Konstruktionsteile auch eine Verminderung der Erdungswiderstände im Netz anstrebt.

3. Die Unfallwahrscheinlichkeit in den Niederspannungs-Verteilnetzen

Es wurde gezeigt, dass mit der Verbreitung träger Überstromunterbrecher, die im übrigen wesentliche Vorteile aufweisen, die geltenden Bedingungen nach Art. 26 StV in den Verteilnetzen nicht mehr einzuhalten sind. Es stellt sich somit die Frage, ob nicht gesonderte Bedingungen für das Netz und die Verbraucherinstallationen aufgestellt werden könnten.

Bekanntlich gibt es in den Verteilnetzen nur relativ wenig berührbare Teile, die bei Fehlern unter Spannung geraten könnten. Zu diesen gehören beispielsweise die Masten der öffentlichen Beleuchtung, die jedoch meist mit besonderen, rasch schaltenden Überstromunterbrechern geschützt sind. Aus der Störungsstatistik des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) [9] geht hervor, das in den Niederspannungs-Verteilnetzen pro Jahr und 100 km Netzausdehnung etwa 9...10 Störungen, die einen Unterbruch bewirken, eintreten. In reinen Freileitungsnetzen beträgt die Zahl der Störungen mit Unterbruch 20...25. Nimmt man an, dass zwei Drittel aller Störungen durch Berührungen zwischen einem Pol- und dem PEN-Leiter verursacht werden, so ist also pro km Leitungslänge etwa alle 15 Jahre (in reinen Freileitungsnetzen alle 6...8 Jahre) mit einer eine Berührungsspannung hervorrufenden Störung zu rechnen. Somit ist bereits die Vorfallswahrscheinlichkeit relativ klein. Aber es besteht noch eine weit geringere Wahrscheinlichkeit, dass gleichzeitig mit dem Auftreten eines Fehlers jemand einen mit dem PEN- oder Schutzleiter verbundenen Anlageteil berührt. Ob die Ausschaltzeit Sekunden oder einige Minuten beträgt, beeinflusst die Berührungs-Wahrscheinlichkeit nur wenig. Sollte aber gleichwohl eine Berührung stattfinden, so beschränken sich die Berührungsspannungen im allgemeinen auf nicht lebensgefährliche Werte. Es bleibt noch zu berücksichtigen, dass hauptsächlich gegen das Ende genullter Netze hin eine Verschleppung von Erdungsspannungen von mehr als 50 V in die Hausinstallationen hinein möglich ist (vgl. Fig. 1). Wird indessen der Potentialausgleich sorgfältig ausgeführt, so gelangen nur geringe Berührungsspannungen zur Wirkung. Die seit einigen Jahren verlangte Erdung des PEN-Leiters bei jeder Hauseinführung senkt die möglichen Erdungs- und Berührungsspannungen noch weiter ab.

4. Ein Lösungsvorschlag

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass *im Verteilnetz* sowohl die Vorfalls- als auch die Anwesenheitswahrscheinlichkeit klein sind und deshalb nur eine geringe Unfallwahrscheinlichkeit besteht. Dies erklärt auch, weshalb trotz den theoretisch ungenügenden Nullungsbedingungen nie schwere Unfälle eingetreten sind. Es lässt sich deshalb verantworten, die Bedingungen noch etwas abzuschwächen, d.h. eine Erdungsspannung bis zu 100 V zuzulassen, um die ungehinderte Verbreitung der trägen Überstromauslöser und damit die Ausserkraftsetzung alter Normen zu ermöglichen. Wichtig ist nur, dass jeder Fehler zu einer sicheren Abschaltung führt, dass also an jedem Netzpunkt wenigstens der sog. Prüfstrom 2 erreicht wird.

Bekanntlich trachtete man bis anhin danach, eine Abschaltzeit von 5 s nicht zu überschreiten. Mit flinken Schmelzeinsätzen lässt sich dieser Grenzwert meist einhalten, in schwachen Netzen allerdings nur durch den Einbau von Zwischensicherungen mit geringerem Nennstrom. Wie aus Figur 4 erkennbar ist, muss bei den trägen Schmelzeinsätzen nach CEI 269-1 und -2 bei gleichem Strom mit einer Ausschaltzeit von etwa 2 min gerechnet werden. Bei gleicher Leitungsdimensionierung wie heute wäre also eine sichere Ausschaltung gewährleistet. Könnte noch die Nennwert-Abstufung von 1:2 auf 1:1,6 - wie bei den DIN-Sicherungen - reduziert und damit das Streuband von Nennwert zu Nennwert geschmälert werden, so liessen sich die Abschaltzeiten noch weiter verkürzen (Fig. 5). Entsprechende Anträge sind in der zuständigen internationalen Normenkommission bereits gestellt worden.

In den «schutzgeerdeten» Netzen misst man bekanntlich der Abschaltung nicht die gleiche Bedeutung zu wie in den «genullten». Theoretisch spielt die Abschaltzeit in bezug auf die Sicherheit auch nur eine untergeordnete Rolle. Mit Rücksicht auf den Tier- und Sachwertschutz sollte jedoch auch in den schutzgeerdeten Netzen in allen Störungsfällen eine sichere Abschaltung angestrebt werden. Eine Begrenzung der Spannungen an den Erdungen im Verteilnetz wäre ebenfalls nötig. Mit dem zunehmenden Verlust von elektrisch leitenden Wasserleitungen werden sich indessen den Betreibern schutzgeerdeter Netze mehr und mehr Probleme im Erdschlussfall ergeben.

Etwas anders verhält es sich in den *Hausinstallationen*. Bei den dort verwendeten transportablen Elektrogeräten sind trotz Potentialausgleich Berührungsspannungen möglich. Auch ist die Fehlerwahrscheinlichkeit grösser als in den Verteilnetzen. Es handelt sich vornehmlich um umfassbare Geräte, bei denen das Loslassen im Fehlerfalle schwerer möglich ist als bei berührbaren.

In den Verbraucherinstallationen sollten deshalb die ausgewogeneren Bedingungen des CENELEC vollumfänglich angewendet werden. Die CENELEC-Normen tragen dem Anwendungsbereich und der Art der Geräte Rechnung. Sie beschränken die höchstzulässige Berührungsspannung bei unbegrenzter Einwirkzeit, die sog. konventionelle Spannungsgrenze U_L, auf 50 V. Bleiben die Fehler-Abschalt-

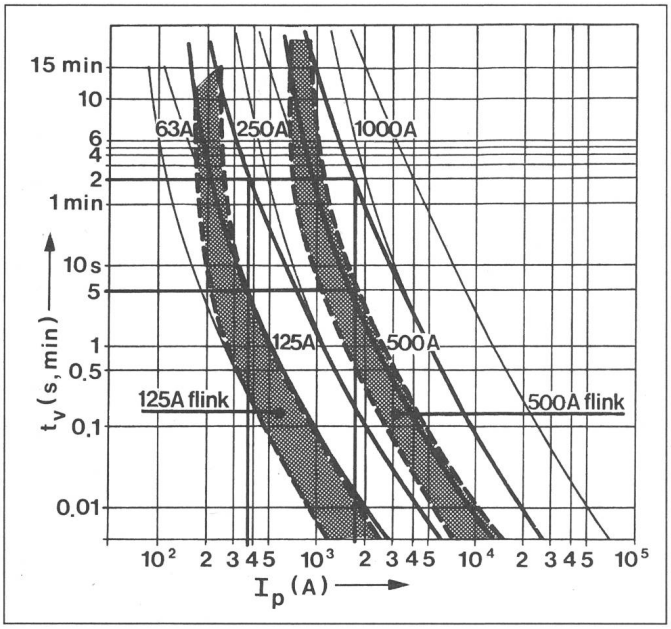

Fig. 4 Auswahl von Ausschalt-Kennlinien für träge Sicherungen nach CEI 269-1 und -2 und flinke Sicherungen nach SEV 0182

Vergleich der Ausschaltzeit 5 s von flinken Schmelzeinsätzen mit der Ausschaltzeit bei gleichem Strom von trägen Sicherungen
Starke Striche: 125 A bzw. 50 A träge und flink
Schwache Striche: 63 A, 250 A, 1000 A träge

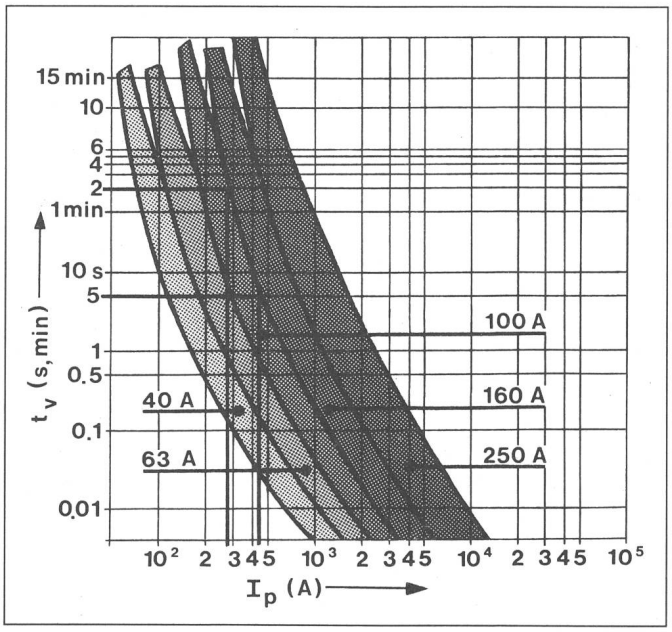

Fig. 5 Streubänder von Sicherungen nach CEI 261-1-2, wenn Nennwertstufung 1:1,6 eingeführt würde

zeiten auf weniger als 5 s begrenzt, so sind, wie aus Figur 3 hervorgeht, mit abnehmender Zeit zunehmend höhere Berührungsspannungen zulässig. Es wurden somit die modernen Erkenntnisse berücksichtigt, und es werden die Mängel des heutigen Art. 26 StV behoben. Nebst der Abschaltung kommen auch die übrigen bekannten Schutzmassnahmen gegen indirektes Berühren wie Schutzschaltung, Schutztrennung, Schutzisolierung usw. zur Geltung. Schliesslich werden nicht nur für «genullte Netze» (nach CENELEC TN-Netze), sondern auch für «schutzgeerdete Netze» (nach CENELEC TT-Netze) Massnahmen umschrieben, die im Gegensatz zur heutigen Praxis vom Erdungswiderstand an der Speisestelle unabhängig sind.

Unterschiedliche Schutzbestimmungen gegen indirektes Berühren in den Verteilnetzen und in den Verbraucherinstallationen dürfen somit als tragbar, ja sogar als sinnvoll und zweckmässig gelten. Sie würden gesamthaft gesehen den Schutzwert erhöhen.

Literatur

[1] Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen (Starkstromverordnung) vom 7. Juli 1933. In: Sammlung der bundesrechtlichen Vorschriften über «Elektrische Anlagen». Bern, EDMZ, 1980.

[2] VDE-Bestimmung für Niederspannungssicherungen bis 1000 V Wechselspannung und bis 3000 V Gleichspannung. Allgemeine Festlegungen. DIN 57636 Teil 1/VDE 0636 Teil 1/8.76.

[3a] Coupe-circuit à fusibles à basse tension. Première partie: Règles générales. Publication de la CEI 269-1, 1968.

[3b] Coupe-circuit à fusibles à basse tension. Deuxième partie: Règles supplémentaires pour les coupe-circuits pour usages industriels. Publication de la CEI 269-2, 1973.

[4a] Sicherheitsvorschriften des SEV, Niederspannungs-Sicherungen. Publikation des SEV 1065.1977 (SNV 411065).

[4b] Sicherheitsvorschriften des SEV, Niederspannungs-Sicherungen. 2. Teil: Ergänzende Bestimmungen für Sicherungen für industrielle Anwendungen. Publikation des SEV 1066.1977 (SNV 411066).

[5] Elektrische Anlagen von Gebäuden. Teil 4: Schutzmassnahmen. Kapitel 41: Schutz gegen zu hohe Berührungsspannung. CENELEC Harmonisierungs-Dokument HD 384.4.41, 1980.

[6] Installations électriques des bâtiments. Quatrième partie: Protection pour assurer la sécurité. Chapitre 41: Protection contre les chocs électriques. Publication de la CEI 364-4-41, 1977.

[7] Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V; Schutzmassnahmen; Schutz gegen gefährliche Körperströme (VDE-Bestimmung). DIN 57100 Teil 410/VDE 0100 Teil 410/...82, Entwurf 1.

[8] Hausinstallationsvorschriften des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins. 2. Auflage. Publikation des SEV 1000.1974/1981 (SNV 411000).

[9] Schweizerische Störungsstatistik VSE 1979. Statistik über Nichtverfügbarkeit, Störungen und Schäden elektrischer Netze. Zürich, VSE, 1980.