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: 76 (1985)

Heft: 6

Artikel: Schutzmassnahmen gegen indirektes Berühren

Autor: Homberger, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904580

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: 10.07.2025

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

Schutzmassnahmen gegen indirektes Berühren

E. Homberger

Dank hochwertiger und dauerhafter Isoliermaterialien, aber auch dank einer gereiften Schutztechnik haben die durch Isolationsfehler hervorgerufenen Unfälle und Schadenfälle im Laufe der Jahre stetig abgenommen. Der Zeitpunkt scheint gekommen, sich einmal Gedanken darüber zu machen, ob nicht die Sicherheitsvorschriften den neuen Gegebenheiten angepasst werden sollten. Es gilt vor allem, dem heutigen Sicherheitsbedürfnis, aber auch den neuesten physiopathologischen Erkenntnissen Rechnung zu tragen. Das Ziel hätte darin zu bestehen, nach einem einheitlichen Sicherheitsniveau ohne Spitzen und Senken zu trachten.

Grâce à un matériel d'isolation de haute qualité et durable, mais aussi grâce à une technique de protection avancée, le nombre des accidents et des dommages dus à une mauvaise isolation n'ont pas cessé de diminuer. Le moment est venu semble-t-il de se demander si les prescriptions en matière de sécurité ne doivent pas être adaptées aux conditions nouvelles. Il s'agit avant tout de tenir compte des besoins actuels en matière de sécurité mais aussi des dernières connaissances en physiopathologie. Le but serait d'obtenir un niveau de sécurité unique sans hauts et bas.

Vortrag, gehalten anlässlich des Technischen Kurses des VSE 1984

Adresse des Autors
Edwin Homberger, alt Oberingenieur des Eidg. Starkstrominspektorates, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich

1. Direktes und indirektes Berühren

Im Zuge der Internationalisierung der Schutzmassnahmen gegen Gefährdungen durch elektrische Ströme haben sich einige neue Begriffe eingeführt. So bedeutet *Schutz gegen direktes Berühren* den Schutz von Personen vor Gefahren, die sich aus einer direkten Berührung mit aktiven Teilen elektrischer Betriebsmittel oder Einrichtungen ergeben. Als aktive Teile gelten die im Normalbetrieb unter Spannung stehenden Pol- oder Phasenleiter sowie die damit verbundenen Neutralleiter von elektrischen Betriebsmitteln und Geräten.

Unter *Schutz gegen indirektes Berühren* hat man den Schutz von Personen und Nutztieren vor Gefahren zu verstehen, die sich aus einer Berührung von Körpern oder fremden leitfähigen Teilen ergeben können. Auch die Bezeichnung «Körper» ist hierzulande neu. Er bedeutet ein berührbares, leitfähiges Teil eines Betriebsmittels oder Gerätes, das im Normalfall von den aktiven Teilen isoliert ist. Als fremdes, leitfähiges Teil gilt jeder nicht zu einer elektrischen Einrichtung gehörende Bestandteil, der einen elektrischen Strom übertragen könnte, wie z.B. die Metallkonstruktion von Gebäuden, metallische Leitungsrohre, elektrisch leitende Fussböden und Wände.

Zusammenfassend löst also der Begriff «Schutz gegen indirektes Berühren» die bisherige Bezeichnungsweise «Schutz gegen gefährliche Berührungsspannungen» ab. Dass eine Ablösung richtig war, ergibt sich schon aus der Tatsache, dass der Mensch sowohl beim direkten als auch beim indirekten Berühren zwischen unterschiedlichen Körperteilen sogenannten Berührungsspannungen ausgesetzt sein kann.

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich grundsätzlich auf den Schutz gegen indirektes Berühren, doch beziehen sich einige allgemeine Betrachtungen auf die Gesamtheit der Schutzmassnahmen gegen die Gefahren elektrischer Einrichtungen. Im übrigen fällt auf, dass sowohl die alte als auch die neue Bezeichnungsweise nicht auf den Sachwertschutz Bezug nimmt. Dessen ungeachtet soll die Verhütung von Bränden und anderen Schädigungen durch die Elektrizität ebenfalls gebührend berücksichtigt werden.

2. Wahrscheinlichkeitsüberlegungen

Nach Art. 3 des Bundesgesetzes betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, ElG) hat der Bundesrat «die erforderlichen Vorschriften aufzustellen zur *tunlichsten* Vermeidung derjenigen Gefahren und Schädigungen, welche aus dem Bestande der Starkstromanlagen überhaupt und aus deren Zusammentreffen mit Schwachstromanlagen entstehen». Schon bei der Bearbeitung des im Jahre 1902 herausgegebenen ElG hatte man somit *keine absolute Sicherheit* anvisiert. Etwas bestimmter drückte sich hingegen die im Jahre 1933 in Kraft gesetzte Starkstromverordnung (StV) in Art. 4 aus (es handelt sich um eine der in Art. 3 des ElG erwähnten Vorschriften des Bundesrates). Danach sind bezüglich des Personenschutzes keinerlei Kompromisse zulässig, nur bezüglich des Sachwertschutzes werden gewisse Einschränkungen zugestanden:

Art. 4[1])

[1] Starkstromanlagen sind so zu erstellen und zu unterhalten, dass in allen Betriebsfällen eine Gefährdung von Personen und unter den vorauszusehenden Betriebsverhältnissen auch von Sachen vermieden ist.

[1]) Mit Wirkung ab 1. Februar 1985 wurde Art. 4 redaktionell geändert.

[2] Sind Starkstromanlagen allgemein zugänglich, so muss sowohl eine unmittelbare Berührung unter Spannung stehender Anlageteile, als auch eine solche mit Werkzeugen, Geräten des täglichen Gebrauchs u.dgl. selbst bei Unachtsamkeit ausgeschlossen sein.

Ist im Bereiche der Elektrizität überhaupt eine absolute Sicherheit denkbar? Besteht nicht schon Unsicherheit, alle Gefährdungsmöglichkeiten zum voraus aufzulisten? Nur allzuoft vermögen erst bestimmte Vorfälle, echte Gefahren erkennen zu lassen. Aber selbst aus Vorfällen werden falsche Schlüsse gezogen, indem die Umstände, die den Vorfall ermöglichten, nicht genügend genau abgeklärt werden. Beispielsweise ist es in bezug auf die Vermeidung weiterer Unfälle unerheblich zu wissen, dass ein Arbeiter infolge eines Isolationsfehlers an einer Maschine tödlich verunfallte. Vielmehr sollte man sich dafür interessieren, weshalb ein Isolationsfehler entstanden ist, wie die Durchströmung durch den Verunfallten erfolgte und wie lange sie gedauert hat. Solche Angaben ergeben Hinweise auf Material- und Konstruktionsfehler, aber auch auf Fehlverhalten der Menschen. Sie ermöglichen auch abzuschätzen, ob sich der gleiche Vorfall wiederholen könnte oder ob es sich um einen Einzelfall handelt.

Wäre es demnach nicht vernünftig, die Gefährdung zu werten, bevor eine Massnahme getroffen wird? Unter Umständen wäre so mit weniger Aufwand ein höheres Sicherheitsniveau zu erreichen als beim Streben nach absoluter Sicherheit. Hohe Investitionen für wenig oder nur äusserst selten wirksame Schutzvorkehren liessen sich weitgehend vermeiden [1].

Solchen Grundsätzen folgte die Erdungskommission des SEV bei der Überarbeitung der Erdungsartikel der Starkstromverordnung. Mit Rücksicht auf die stark unterschiedliche Leitfähigkeit von Metallen und dem Erdreich kann ja durch das «Erden» von Anlageteilen zum vornherein keine absolute Sicherheit erreicht werden. Hingegen liess sich aufgrund in- und ausländischer Störungsstatistiken die Zahl der Erdschlüsse für bestimmte Anlageteile abschätzen und daraus eine *Vorfallswahrscheinlichkeit* errechnen [2]. Die Anzahl der Erdschlüsse ist aber allein noch nicht massgebend für die zu treffenden Schutzmassnahmen. Vielmehr ist die wahrscheinliche Anwesenheit von Personen während des Vorfalles mit zu berücksichtigen. Erst das Produkt dieser *Anwesenheitswahrscheinlichkeit* mit der davon unabhängigen Vorfallswahrscheinlichkeit liefert eine Entscheidungsbasis.

In die statistischen Erhebungen für Wahrscheinlichkeitsüberlegungen dürfen indessen immer nur *gleichartige Anlagen* einbezogen werden. Nun ergibt sich aber bei elektrischen Anlagen stets die gleiche Schwierigkeit: Die Anzahl Vorfälle ist gering, und zwar selbst wenn eine Zeitspanne von einigen Jahren in Betracht gezogen wird. Um zu einem Resultat zu gelangen, muss somit doch von einem grösseren Verband ungleicher Anlageteile ausgegangen werden. Eine Analyse der einzelnen Vorfälle liefert indessen meist Hinweise dafür, dass sich an bestimmten Anlageteilen oder zu bestimmten Jahres- oder Tageszeiten die Vorfälle häufen. Durch gesonderte Behandlung der Häufungen lässt sich eine ohnehin geringe Wahrscheinlichkeit noch weiter vermindern.

Wahrscheinlichkeitsüberlegungen eignen sich für Hoch- und Niederspannungsanlagen, für die Beurteilung von möglichen Personenunfällen und Sachschäden. Oft ist aber die Wahrscheinlichkeit allein nicht massgebend für die Wahl der Schutzmassnahme. Es müssen noch andere Kriterien miteinbezogen werden.

3. Gefährlichkeit der Elektrizität für Mensch, Tier und Sachwerte

Ein für die Wahl der Schutzmassnahmen zu berücksichtigendes Kriterium ist die Kenntnis der physiologischen und physikalischen Grenzwerte.

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen an Tieren, an Menschen und seinen Organen besteht heute weitgehend Klarheit über die Auswirkungen des elektrischen Stromes beim Durchfluss durch den menschlichen Körper. Es ist hauptsächlich Herrn Prof. Gottfried Biegelmeier, Wien, zu verdanken, dass die Versuchsresultate kritisch gewertet, zusammengestellt und publiziert wurden [3]. Widersprüchliche und mangelhafte Ergebnisse hat er durch eigene Versuche, teils mit grossem Risiko, geklärt und ergänzt. Hier sollen nur die wichtigsten Folgerungen wiedergegeben werden, die für die Massnahmen gegen indirektes Berühren von Bedeutung sind, nämlich:

- Herzkammerflimmern bildet die Hauptursache des Todes durch Elektrizität im Niederspannungsbereich.
- Ob Herzkammerflimmern möglich ist, hängt von der Stärke und von der Einwirkzeit des durch den menschlichen Körper fliessenden Stromes, ferner vom Stromweg ab.
- Sowohl Wechsel- als auch Gleichströme, ferner impulsförmige, von der Sinuskurve abweichende und überlagerte Ströme können zum Herzkammerflimmern führen.
- Elektrische Ströme vermögen die Skelettmuskulatur zu reizen und deshalb die Muskulatur zusammenzuziehen.
- Die Impedanz des menschlichen Körpers besteht hauptsächlich aus Resistanzen und Kapazitanzen, wobei als Stromwege vorwiegend die Blutbahnen und Muskeln (Membranen) in Frage kommen.
- Die Impedanz des menschlichen Körpers kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, wie Stromstärke, Stromart, Zeit, Länge und Art des Stromweges, Kontaktfläche, Kontaktdruck usw.

Bei der Vielfalt der Einflussgrössen ist es ausserordentlich schwierig, Grenzwerte für bestimmte Empfindungen oder gar Gefahren anzugeben. Die nachstehend aufgeführten Werte beziehen sich auf den gesunden erwachsenen Menschen unter normalen Umweltbedingungen (Zimmertemperatur, trockene Umgebung) bei einem Stromweg von einer Hand zur anderen Hand oder von einer Hand zu den Füssen.

Dauernd fliessende *Gleich- und Wechselströme* von weniger als 1 mA von Hand über den Körper zur anderen Hand sind kaum wahrnehmbar. Bei gleicher Durchströmung empfindet der Mensch Ströme von einigen wenigen mA als angenehmes Kribbeln. Ströme von mehr als 10 mA reizen die Muskeln bereits so stark, dass viele Menschen erfasste, im Stromkreis liegende Teile nicht mehr loslassen können. Bei 20 mA kann kaum jemand mehr loslassen. Über etwa 40 mA ist bereits mit Herzkammerflimmern zu rechnen (Fig. 1).

Lässt sich die *Durchströmungsdauer* auf weniger als die Dauer einer Herzperiode (etwa 0,8 s) beschränken, so bedarf es höherer Ströme, um das gefährliche Herzkammerflimmern anzuregen. Während der Dauer einer halben Herzperiode sind bei Wechselstrom bereits 150...200 mA und während 100 ms 500...800 mA nötig, um

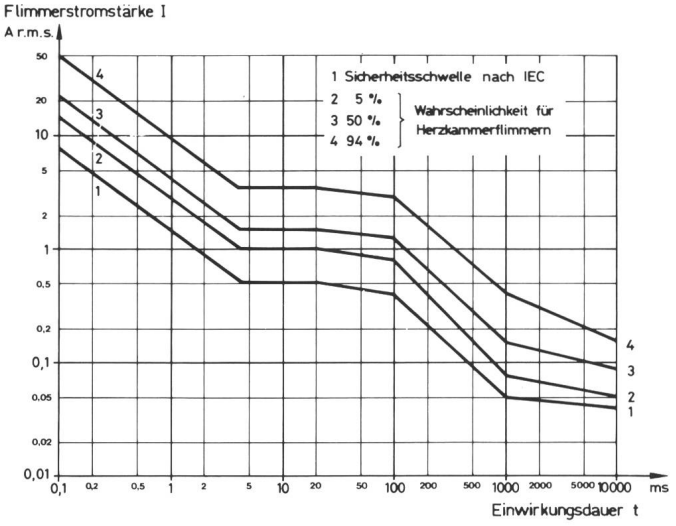

Fig. 1 Gefährlichkeit und Sicherheitsschwelle von Einwirkströmen auf den Menschen

mit 5% Wahrscheinlichkeit Flimmern zu erzeugen. Bei noch kürzerer Einwirkzeit bis etwa 5 ms bleibt die Gefahrenschwelle etwa gleich hoch. Erst bei noch kürzeren Zeiten steigt der Flimmer-Grenzstrom kontinuierlich weiter an [3; 4].

Bei *reinem Gleichstrom* liegen die Flimmer-Grenzströme bei Einwirkzeiten unter einer halben Herzperiode etwas tiefer und bei längerer Einwirkzeit bedeutend höher als die Grenzwerte des Wechselstromes. Die weitverbreitete Meinung, Gleichstrom sei weniger gefährlich als Wechselstrom, gilt also nur für lange Einwirkzeiten [5].

Die Kenntnis der *Impedanzen der üblichen Durchströmungswege* ist sehr wichtig für die Wahl von Schutzmassnahmen. Aus der Betriebsspannung müssen ja Rückschlüsse auf die zulässigen Körperströme gezogen werden, was nur über die Impedanz des Stromkreises möglich ist. Die Impedanz des menschlichen Körpers bildet einen Bestandteil des Stromkreises. Beim indirekten Berühren sind vorab die Durchströmungswege Hand-Körper-Hand oder Hände-Körper-Füsse in Betracht zu ziehen, wobei die Impedanz des Stromweges Hände-Füsse als etwa halb so hoch wie beim Stromweg Hand-Hand gilt (Parallelschaltung). Wertmässig ist zu berücksichtigen, dass die Körperimpedanz von der Spannung abhängt, d.h. mit zunehmender Spannung abnimmt und erst über etwa 500 V allmählich in einen konstanten Wert einmündet [6]. Weiter ist zu bedenken, dass die Haut einen wesentlichen Anteil der Körperimpedanz bildet, welcher von Mensch zu Mensch stark variiert. Als Richtwert kann für den Durchströmungsweg Hand-Hand bei 50 V eine Impedanz von etwa 3000 Ω und bei 220 V etwa 2000 Ω angenommen werden.

Die aus den als nicht lebensgefährlich angesehenen Körperströmen und den Impedanz-Richtwerten errechneten zulässigen Berührungsspannungen dürfen mit Rücksicht auf die vielen möglichen Einflussgrössen nicht als ungefährlich gelten. Nur die Unfallwahrscheinlichkeit ist relativ klein (Fig. 2).

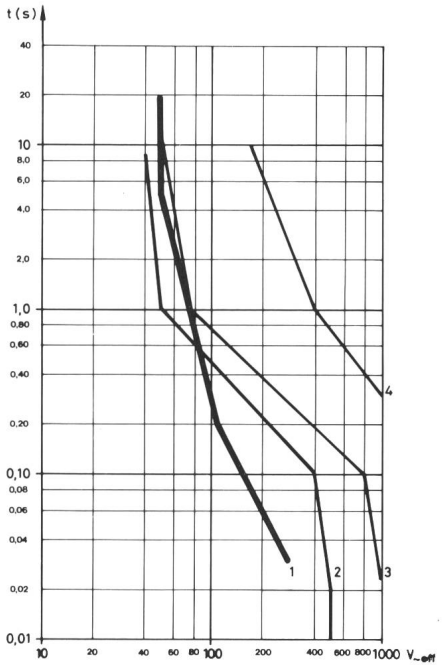

Fig. 2 Höchstzulässige Dauer der Berührungsspannung nach CENELEC HD 384.4.41, verglichen mit der Sicherheitsschwelle und Flimmerwahrscheinlichkeit gemäss Figur 1 bei einer Körperimpedanz von 1000 Ohm.

1 Höchstzulässige Dauer der Berührungsspannung gemäss CENELEC HD 384.4.41.
2 Sicherheitsschwelle nach CEI
3 5% Flimmerwahrscheinlichkeit
4 95% Flimmerwahrscheinlichkeit, Annahme für Kurven 2-4: Körperwiderstand 1000 Ohm.

Die vorstehenden Angaben geben eine Erklärung dafür, dass unter gleichen Umständen ein Unfall das eine Mal tödlich und das andere Mal ohne Folgen verlaufen kann. Nimmt man beispielsweise eine Einwirkspannung von 220 V und eine Körperimpedanz samt Zusatzwiderständen von 2000 Ω an, so fliesst ein Strom von 110 mA. Bei einer Einwirkzeit von der Dauer einer halben Herzperiode ist kaum Herzkammerflimmern zu erwarten. Dauert die Einwirkzeit jedoch länger als eine ganze Herzperiode, so ist der Todesfall fast sicher.

Man erkennt, dass eine *rasche Abschaltung eine äusserst wirksame Schutzmassnahme* bedeutet. Selbst der in die Badewanne gefallene Fön braucht nicht unbedingt Ursache eines Todesfalles zu sein, wenn es gelingt, sehr rasch abzuschalten. Auch ist der Wert isolierter Griffe an Elektrogeräten offensichtlich. Man bedenke, dass die Reaktionszeit bei einer Elektrisierung in der Grössenordnung von 100 bis 200 ms liegt. Verhindert man eine Umfassung, so dass nur eine blosse Berührung eines unter Spannung geratenen Gegenstandes stattfinden kann, gelingt die Befreiung meist, bevor ein lebensgefährlicher Zustand eintritt. Anders beim Ergreifen elektrisierender Teile. Die Muskulatur zieht sich dermassen rasch zusammen, dass eine Befreiung innert der kritischen halben Herzperiode nur in wenigen Fällen möglich ist.

4. Statistik der Elektrounfälle

Statistische Unterlagen sollten dazu dienen, *Gefahren zu erkennen, geeignete Schutzmassnahmen vorzubereiten und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen zu überprüfen.* Wer schon immer in nationalen oder internationalen Kommissionen, die sich mit Sicherheitsproblemen befassen, mitgearbeitet hat, konnte feststellen, dass der Statistik oder - noch etwas präziser ausgedrückt - der Erfahrung nur ein relativ kleiner Stellenwert beigemessen wird. Was sich gefühlsmässig ereignen könnte, die potentielle Gefahr, steht viel stärker im Vordergrund.

Das Eidgenössische Starkstrominspektorat registriert und analysiert seit seiner Gründung die ihm von den Elektrizitätswerken und der SUVA gemeldeten Unfälle durch Elektrizität. Es berichtet hierüber periodisch im Bulletin SEV/VSE in der Absicht,

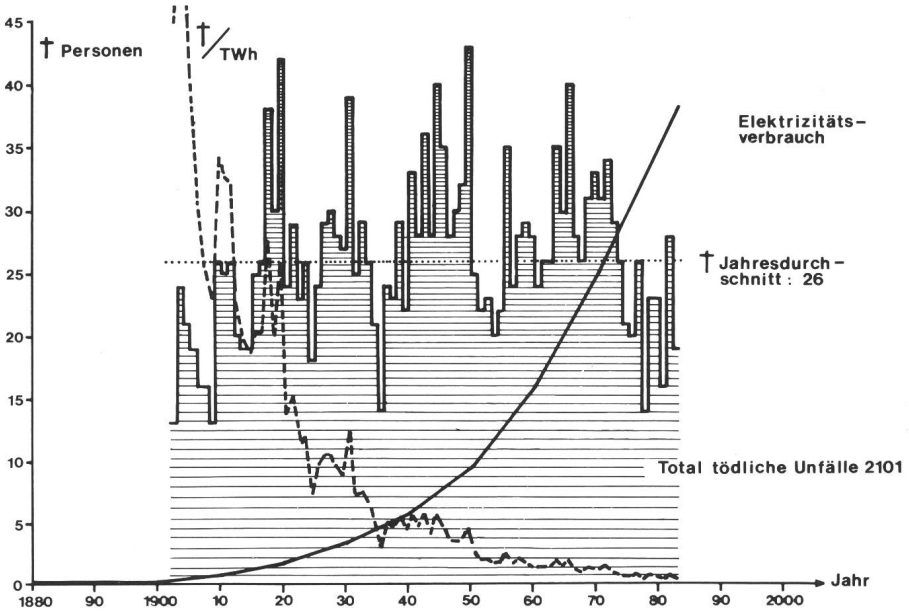

Fig. 3 Todesfälle durch Einwirkung von Elektrizität seit der Jahrhundertwende, verglichen mit dem Elektrizitätskonsum

Entwicklung des Unfallgeschehens Tabelle I

Zeitabschnitt	unfall- und schadenfördernd	unfall- und schadenhemmend
Vorkriegsjahre	Ungereifte Technologie Ungenügende Sicherheitsvorschriften Ungenügender Schutz gegen Berührungsspannungen (Schutzerdung)	Wenig tragbare Geräte Kleine Betriebsspannungen (220/125 V und 250/145 V) Allmähliche Einführung der «Nullung»
Kriegsjahre	Mangelhaftes Material	Stagnierender Elektrizitätskonsum
Nachkriegsjahre	Nachwirkungen alternder Isolierstoffe (vorab Gummi) Auswirkungen der «Nullung Schema III» Fremdarbeiter (Verständigungsschwierigkeiten) Ungenügende Steckkontaktsysteme Einfarbige Schutzleiter	Entwicklung der Kunststoffe als Isolier- und Konstruktionsmaterial (Isoliergehäuse) Einführung «Nullung Schema I» Schaffung «Sonderisolierung» Förderung Gerätenormen Einführung der Prüf- und Bewilligungspflicht für Hausinstallations-Material
Ab sechziger Jahre	Überbeschäftigung Zunahme der Kurzschlussströme	Einführung zweifarbiger Schutzleiter Verbesserte Personalinstruktion (Kurse VSE) Einführung FI-Schalter Obligatorische Anwendung FI-Schalter auf Baustellen (Aktion SUVA/STI) Aufkommen der Kapselung für Hoch- und Niederspannungsanlagen Breite Publizität (Blätter für Arbeitssicherheit, Zeitschrift «Elektrizität» usw.) Neue Erdungsvorschriften

einen Beitrag zur Unfallverhütung zu leisten [7]. Bei der Analyse der Vorfälle ergeben sich gelegentlich Zweifel der Zuordnung. Beispielsweise sind noch lange nicht alle Unfälle an Hochspannungsanlagen «Hochspannungsunfälle», sondern haben den Charakter typischer «Niederspannungsunfälle» (keine oder nur geringfügige Brandwunden). Es fragt sich auch, ob Unfälle durch Flammbogeneinwirkung ohne Stromdurchgang durch den Körper überhaupt zu den Elektrounfällen zählen. Eine Zuordnung nach Ursachen ist besonders heikel. Nur allzuoft sind Unfälle nur durch Verkettung verschiedener Umstände möglich.

Damit wäre die Problematik der Statistik eigentlich dargetan. Und dennoch vermag sie zahlreiche Hinweise zu vermitteln, wie Unfälle vermieden werden könnten. Vor allem zeigen sich bei einer stets nach gleichen Grundsätzen geführten Statistik Häufungen ähnlicher Ursachen und Abläufe, aber auch Auswirkungen getroffener Massnahmen oder einer neuen Technologie.

Betrachtet man die Aufzeichnungen über die Elektrounfälle, so fällt auf, dass die Zahl der Todesfälle seit der Jahrhundertwende im Jahresmittel etwa gleich hoch geblieben ist (Fig. 3). Anders verlief die Gesamtzahl der Unfälle. Sie stieg bis in die Nachkriegsjahre kontinuierlich an, stabilisierte sich alsdann bis Mitte der sechziger Jahre, um dann stetig abzufallen. Es scheint nun, dass in den achtziger Jahren wieder ein Anstieg bevorsteht. Welches ist die Ursache dieser Entwicklung?

Zieht man den Zeitmassstab etwas auseinander, so erkennt man gewisse Wendepunkte der Kontinuität, und zwar sowohl bei der Gesamtzahl der Unfälle als auch bei den Todesfällen. Es müssen sich also gewisse Einflüsse unfallfördernd und andere unfallvermindernd ausgewirkt haben. Wenn auch die folgende Zusammenstellung (Tab. I) unvollständig erscheinen mag, vermittelt sie doch einige Anhaltspunkte über die Entwicklung des Unfallgeschehens.

Im Verlauf der Kurve über die Anzahl der Elektrounfälle pro konsumierte Terawattstunde elektrischer Energie erscheinen die Erfolge der Unfallverhütungsmassnahmen am eindrücklichsten. Während um die Jahrhundertwende mit rund hundert Verunfallten pro TWh zu rechnen war, sank die Zahl der Verunfallten pro TWh in den letzten Jahren auf 2...3 (Fig. 4).

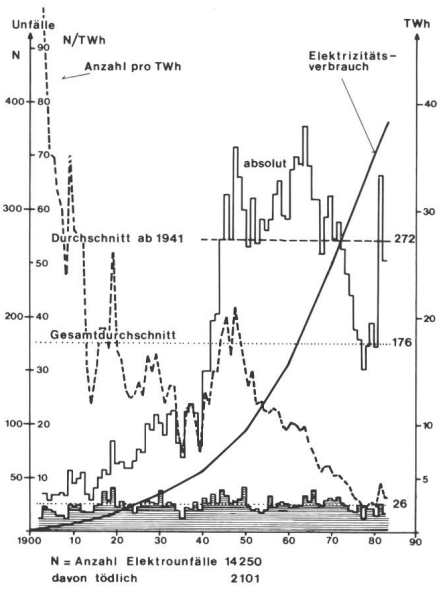

Fig. 4 Gesamtzahl der Elektrounfälle seit der Jahrhundertwende

5. Das Schutzbedürfnis gestern und heute

Das Schutzbedürfnis hat sich im Laufe der Zeit gewandelt. Diese Feststellung trifft allgemein und nicht nur für die Elektrizität zu. Während früher die Risikobereitschaft grossgeschrieben wurde, sichert und versichert man sich heute bis aufs äusserste. Besonders hohe Sicherheitsansprüche werden dort gestellt, wo «die andern zu zahlen haben». Das Kernkraftwerk gilt als Schulbeispiel.

Was nun die Elektrizität anbetrifft, vertraut wohl der grösste Teil der Bevölkerung darauf, dass die elektrischen Einrichtungen sicher hergestellt und erstellt sind. Die Kennzeichnung mit einem Sicherheitszeichen spielt eher für den Verkäufer als für den Käufer eine Rolle. Beim Gebrauch hegt der Laie schon eher Zweifel, ob er sicher sei. Wenn hingegen über eine längere Zeitspanne alles ordnungsgemäss verlaufen ist, so weichen, ganz wider die Vernunft, die Bedenken. Einen ganz besonderen Stellenwert besitzen die abstrakten Gefahrenquellen, wie beispielsweise die elektrischen und elektromagnetischen Felder. Es ist unglaublich, wie viele Menschen diesbezüglich der Angstmacherei erliegen.

Es soll hier nicht der Sorglosigkeit gehuldigt werden. Ganz im Gegenteil. Nebst der materiellen Versicherung besteht ja auch die Verantwortung seinen Nächsten, seinen Untergebenen, seinen Arbeitskollegen gegenüber. Bei der Wahl von Sicherheitsmassnahmen ist ganz einfach dem heutigen gesteigerten Sicherheitsbedürfnis Rechnung zu tragen. Dabei darf aber die *Verhältnismässigkeit* nicht ausser acht gelassen werden. Es ist, wie bereits erwähnt, ein gleichmässig hohes Sicherheitsniveau anzustreben.

6. Beurteilung der heute gebräuchlichen Schutzmassnahmen gegen indirektes Berühren

Nach den allgemeinen Betrachtungen zur Gestaltung von Sicherheitsmassnahmen sollen nachfolgend die bekannten Schutzdispositive zur Vermeidung gefährlicher Berührungs- und Schrittspannungen etwas kritisch betrachtet werden [8; 9; 10].

6.1 Die Erdung

Nach den bisherigen Erdungsbestimmungen der Starkstromverordnung war die *Erdungsspannung* (Spannung zwischen der Erdungsstelle und neutraler Erde im Erdschlussfall) im Hoch- und Niederspannungsbereich auf 50 V zu beschränken. Mit Rücksicht auf die heute auftretenden hohen Erdschlussströme ist eine solche Bedingung mit vertretbaren Mitteln nicht mehr einzuhalten. Die Erdungskommission des SEV hat deshalb schon vor einigen Jahren eine vollständige Umgestaltung des Abschnittes «Erdung» des StV eingeleitet. Ihre Vorschläge haben sich in einer ausgedehnten Versuchsphase gut bewährt.

Auf den 1. Februar 1985 hat nun der Bundesrat neue Erdungsbestimmungen in Kraft gesetzt. Anstelle der Erdungsspannung sind jetzt die bei einpoligem Erdschluss möglichen *Berührungs- und Schrittspannungen* einzuschränken. Die zulässigen Werte richteten sich nach den heutigen physiopathologischen Erkenntnissen, wonach die Gefährlichkeit der Elektrizität von der Einwirkungszeit abhängt (vgl. Abschnitt 3). Indessen dürfen die als zulässig erklärten Werte nicht rundweg als ungefährlich angesehen werden. Es handelt sich vielmehr um Werte, die unter Berücksichtigung verschiedener Einflussgrössen als *risikoarm* gelten. Deshalb wurden für die drei hauptsächlichsten Anlagearten: Hochspannungsanlagen, Niederspannungs-Verteilnetze und Niederspannungs-Installationen (nicht nur Hausinstallationen) unterschiedliche Bedingungen festgelegt.

Dem aufmerksamen Leser der neuen Erdungsbestimmungen wird wohl auffallen, dass das erwähnte Prinzip zulässiger Berührungs- und Schrittspannungen für *Niederspannungs-Verteilnetze* durchbrochen ist, indem wiederum eine Erdungsspannung, und zwar von 100 V, als zulässig erklärt wurde. Praktisch zielte man aber auch in diesem Bereich auf eine Beschränkung der Berührungs- und Schrittspannungen ab. Lediglich Gründe des Nachweises führten zur Festlegung einer Erdungsspannung, die übrigens an die Bedingung geknüpft ist, dass im Fehlerfall eine sichere Abschaltung zu erfolgen hat [11].

Zusammenfassend lässt sich wohl erkennen, dass der *Steuerung des Spannungsgefälles* an der Erdoberfläche grössere Bedeutung zufällt als der Verkleinerung der Erdungsimpedanzen. Verkleinerte Erdungsimpedanzen verringern allerdings auch die Berührungs- und Schrittspannungen. Mit dem Zusammenschluss verschiedener Einzelerdungen lässt sich beides, geringe Erdungsimpedanz und flaches Spannungsgefälle, erreichen. Die metallenen Mäntel der Kabelleitungen spielen deshalb eine wichtige Rolle als Verbindungsglieder, und zwar auch dann, wenn die Kabel nicht erdfühlig verlegt sind.

Übrigens sind auch unsere Nachbarländer BRD und Österreich daran, ihre Erdungsvorschriften in ähnlicher Weise zu ändern [12].

6.2 Schutzerdung im Niederspannungsbereich (neu TT-Netz)

Diese ursprünglichste, auf die sog. Spannungswaage ausgerichtete Schutzmassnahme muss grundsätzlich als überholt gelten. Sie konnte sich bis anhin nur deshalb halten, weil durchgehend verbundene metallische Wasserleitungen zur Verfügung standen. Mehr und mehr werden nun die Wasserleitungen mit Kunststoffrohren durchsetzt, so dass der Schutz gegen Berührungsspannungen nicht mehr gewährleistet ist. Wohl lässt sich die Schutzwirkung in den Hausinstallationen durch den Einbau von FI-Schaltern beibehalten, doch gibt es kaum durchführbare Schutzvorkehren für das Verteilnetz. In der BRD wird zwar die Schutzerdung (TT-Netz) unter Verwendung von FI-Schaltern weiter propagiert, um die Elektrizitätswerke von ihrer Erdungsverantwortung in den Häusern zu entlasten. Indessen wird im Verteilnetz bei einer Berührung eines Polleiters mit dem Neutralleiter

auf eine sichere Ausschaltung geachtet (in der Schweiz sog. Thurgauer-Nullung) [12].

6.3 Nullung im Niederspannungsbereich (neu TN-Netz)

Die genullten Netze sind in der Schweiz weitverbreitet. Sie haben eine befriedigende Schutzwirkung erbracht, sofern in den angeschlossenen Installationen die Nullung nach Schema I (neu TN-S-Netz) oder nach Schema II (neu TN-C-S-Netz) angewendet worden ist. Einzig in Sonderfällen, wie beispielsweise bei ins Bad gefallenen Verbrauchern oder bei der Verwendung von Verbrauchern im Freien, konnte sie nicht oder nicht voll wirksam werden. Ferner bietet die Nullung einen ungenügenden Schutz gegen die Bildung von Bränden infolge von Isolationsdefekten. Durch den zusätzlichen Einbau von FI-Schaltern an bestimmten Stellen sollen nun die noch bestehenden Mängel beseitigt werden. Dem heutigen Schutzbedürfnis wird nun voll Rechnung getragen.

6.4 Fehlerstrom-Schutzschaltung (FI-Schaltung)

Lange Zeit galt der FI-Schalter nicht als zuverlässig. Von den Herstellern sind jedoch grosse Anstrengungen unternommen worden, um die Konstruktionen zu verbessern, so dass sie auch nach jahrelangem Nichtgebrauch noch ansprechen und gegen äussere Einflüsse weitgehend unempfindlich bleiben. Der FI-Schalter darf heute in bezug auf Zuverlässigkeit den Schmelzsicherungen und LS-Schaltern als gleichwertig gelten. Fehlanschlüsse oder Beschädigungen im Laufe der Zeit können jedoch nicht ganz ausgeschlossen werden. Mit Rücksicht darauf, dass die ganze Infrastruktur genullter oder schutzgeerdeter Netze zur Verfügung steht, darf der vorgesehene zusätzliche Einbau von FI-Schaltern als eine gute Lösung gelten.

In andern Ländern, beispielsweise in Österreich, wird die Hintereinanderschaltung von FI-Schaltern propagiert [13]. Danach wären in die Bezügerleitung ein FI-Schalter mit etwa 100...300 mA Nennansprechstrom und einer Ausschaltverzögerung von etwa $1/10$-Sekunde und in die Gruppenleitungen unverzögerte FI-Schalter grösserer Empfindlichkeit einzubauen. Bei dieser Lösung wäre somit ebenfalls eine erhöhte Sicherheit und dazu noch die Unabhängigkeit vom Verteilnetz zu erreichen. Die im Verteilnetz zu treffenden Schutzmassnahmen bleiben natürlich offen.

FI-Schalter können unter Umständen die Rettung vor dem Schlimmsten bei einer direkten Berührung bedeuten. Nullung und Schutzerdung vermögen diesbezüglich keinen Schutz zu erbringen [14].

6.5 Schutztrennung

Im Hochspannungsnetz wird die Schutztrennung seit langem mit Erfolg in Sonderfällen angewendet (Transformierung Hoch-Niederspannung mit Sondererdung auf Niederspannungsseite, Spannungs- und Stromwandler, Niederspannungstransformatoren mit Übersetzung 1:1). Die Ortstransformatoren mit Sondererdung auf der Niederspannungsseite ergeben jedoch Isolierprobleme am Einbauort, so dass gelegentlich mit Isolations-Überschlägen zu rechnen ist. Sie sollen somit auf wirkliche Sonderfälle beschränkt bleiben.

In den Niederspannungs-Installationen dient insbesondere die Schutztrennung als Schutzmassnahme bei der Verwendung tragbarer Geräte an Orten erhöhter Gefahr. Ironischerweise hat sie aber gerade hier schon verschiedentlich versagt. Hinter einem Trenntransformator werden nämlich üblicherweise stets die gleichen Geräte angeschlossen. Es fällt also nicht auf, wenn bei einem solchen Gerät ein Isolationsdefekt eintritt. Weist dann noch die Geräte-Anschlussschnur eine entblösste Aderstelle auf, die in eine Wasserlache oder an einen geerdeten Gegenstand zu liegen kommt, so ist der Unfall perfekt. Zudem sind universelle Trenntransformatoren schwer und unhandlich, so dass sie oft nicht benützt werden. Vor Steckdosen fest eingebaute Transformatoren müssen, um der Entwicklung Rechnung zu tragen, überdimensioniert werden, sind also kostspielig. Aus diesen Gründen erachtet das Starkstrominspektorat die Vorschaltung von FI-Schaltern als die bessere Lösung gegenüber der Vorschaltung von Trenntransformatoren.

6.6 IT-Netze (bisher in der Schweiz keine Bezeichnung)

Wie bei der Schutztrennung gelangen Transformatoren mit getrennten Wicklungen zum Einsatz (aber keine Trenntransformatoren). Die Bezeichnung «IT» kennzeichnet eigentlich nicht das Schutzsystem, sondern gibt lediglich an, dass der Transformator-Nullpunkt von Erde isoliert und die Gehäuse der hinter dem Transformator verwendeten Verbraucher geerdet werden können. Als eigentliches Schutzorgan dient die Isolationsüberwachung der einzelnen Leiter durch eine dauernde Gleichstrommessung. IT-Netze gelangen dort zur Anwendung, wo Ausschaltungen durch Ansprechen von Schutzorganen verpönt sind. Ein Isolationsfehler wird also im IT-Netz nur signalisiert. Erst der Kurzschluss führt zur Ausschaltung.

In der Schweiz besteht noch relativ wenig Erfahrung mit diesem Schutzsystem. Es gelangt nun mehr und mehr in Operationssälen zur Anwendung. Dort hat es sich als relativ kostspielig erwiesen (in der Regel werden mehrere Transformatoren benötigt). Rein theoretisch kann das IT-Netz mit Isolationsüberwachung als gute, zuverlässige Schutzmassnahme gelten. Bei grösserer Netz-Ausdehnung beeinträchtigen kapazitive Ableitströme die Schutzwirkung.

6.7 Schutzisolierung

An und für sich könnte die Schutzisolierung als Sonderschutzmassnahme im Hoch- und Niederspannungsbereich zur Anwendung gelangen. Man muss dabei nicht nur an Zusatz- oder Sonderisolierung von Geräten denken, sondern auch die Isolierung der Umgebung elektrischer Einrichtungen und von Trennstrecken in Betracht ziehen. Im Hochspannungsbereich ergeben sich aber meist Probleme mit Ladeströmen, da mit der Isolierung Orte unbestimmten Potentials geschaffen werden. Im Hochspannungsbereich ist diese Schutzart deshalb meist ungeeignet oder wenigstens nur beschränkt anwendbar. Im Niederspannungsbereich trifft man jedoch schutzisolierte Geräte immer häufiger an.

Auch schutz- oder sonderisolierte Geräte haben schon versagt. Selbst sorgfältig konstruierte Geräte können je nach Verwendungsart und Einsatzdauer mit der Zeit ungenügende Kriechwegstrecken aufweisen, so dass sie elektrisieren. Reparaturen und Revisionen müssen praktisch vom Gerätehersteller vorgenommen werden, damit die Schutzwirkung erhalten bleibt. Im grossen und ganzen hat sich aber das Schutzsystem bewährt und wesentlich zur Verminderung der Unfälle bei der Verwendung tragbarer Geräte beigetragen.

Zur Verbesserung der Schutzwirkung ist schon vorgeschlagen worden, den Blechkörper motorischer Geräte mit einem Schutzleiter zu verbinden. Dadurch würden Beschädigungen der Betriebsisolierung festgestellt. Allerdings ginge der Vorteil der schutzleiterlosen Massnahme wenigstens teilweise verloren. Wohl aus diesem Grunde gelangte diese Idee nie zum eigentlichen Durchbruch.

7. Vorschriften und Normen

Nur wenige Länder kennen ein Elektrizitätsgesetz in der Art des schweizerischen, das der Exekutive die Aufstellung von Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen überträgt. Meist bestehen allgemein gültige Unfallverhütungs-Gesetze, die bezüglich der Ausführung auf die Regeln der Technik verweisen. Kontrollstellen nach schweizerischem Muster gibt es nur vereinzelt. Die ausländischen Gesetzgebungen sind meist «repressiv» aufgebaut, d.h. sie stellen hohe Strafen in Aussicht, sollten durch Nichtbeachtung der Regeln der Technik Unfälle oder Schadenfälle eintreten. Private Organisationen befassen sich mit der Umschreibung der Regeln der Technik.

Mit der anders gearteten schweizerischen Lösung (präventiv) finden sich selbst zahlreiche einheimische Fachleute nicht zurecht. Viele beachten nicht, dass die vom Bundesrat erlassenen Sicherheitsverordnungen (Schwachstromverordnung, Starkstromverordnung, Verordnung über Parallelführungen und Kreuzungen usw.) Bestandteile der schweizerischen Gesetzessammlung bilden. An drei Stellen der Starkstromverordnung wird auf die Regeln der Technik verwiesen, und es werden die vom SEV herausgegebenen sicherheitstechnischen Vorschriften als die Regeln der Technik bezeichnet (StV Art. 120bis, Art. 121 und neuerdings Art. 4). Dem SEV wurde die Aufstellung der Vorschriften für elektrische Hausinstallationen und für die zugehörigen Installationsmaterialien und Apparate übertragen. Neuerdings ist nicht mehr die Rede von Vorschriften, sondern von *Normen des SEV*. Inskünftig erscheint deshalb in den bundesrätlichen Verordnungen der Wortlaut: «Als Regeln der Technik gelten insbesondere die Normen des SEV.» Das Wort «insbesondere» bedeutet, dass die Normen des SEV *nicht als absolut* zu betrachten sind. Abweichungen sind somit möglich, doch gilt das vom SEV vorgezeichnete Sicherheitsniveau als wegleitend. Unter bestimmten Voraussetzungen können übrigens auch Abweichungen von den Bestimmungen der Starkstromverordnung bewilligt werden (StV Art. 1, Abs. 3).

Natürlich ist der hohe Bundesrat nicht in der Lage, selbst Sicherheitsvorschriften aufzustellen. Er wird die Vorschriftenentwürfe auch weiterhin durch ausgewählte Elektrofachleute ausarbeiten lassen, wobei der *internationalen Normung* Rechnung getragen werden kann.

8. Ausblick

Wie bereits dargelegt, dürfen sich Entscheide über die Schaffung, Ergänzung oder auch Aufhebung von Schutzmassnahmen nicht nur auf einen Pfeiler stützen. Das Gefühlsmässige sollte mehr in den Hintergrund treten und Fakten Platz machen. Hierfür braucht es zuverlässige, aussagekräftige Unterlagen. Der Verfasser hat bereits vor rund zehn Jahren vorgeschlagen, die Sicherheitsfragen behandelnden Kommissionen sollten sich vermehrt damit befassen, welche Erfahrungen zu sammeln sind, als sich mit wenig präzisen Unterlagen um die redaktionelle Gestaltung von Vorschriften zu streiten [15]. Einige Ansätze sind vorhanden, doch wird diesbezüglich noch viel zu wenig getan.

Wäre eine solide Basis vorhanden, so liesse sich der *Schutzwert und damit auch die Verhältnismässigkeit* von Schutzmassnahmen ermitteln. Aufgrund mühsam zusammengetragener Unterlagen hat 1974 F. Lauerer für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung in Dortmund den Schutzwert der Nullung nach Schema I gegenüber der Nullung nach Schema III errechnet [16]. Auf schweizerische Verhältnisse angewendet, hätte sich danach etwa alle sechs bis acht Jahre ein tödlicher Elektrounfall weniger ereignen sollen. Das Resultat ist eher etwas besser ausgefallen als erwartet, obschon noch immer eine grosse Zahl nach Schema III genullter Anlagen besteht. Wenigstens in der Grössenordnung hat sich jedoch die Berechnung von Lauerer bestätigt.

Es ist zu hoffen, dass die Bemühungen, die Schutzmassnahmen auf eine solidere Basis zu bringen, zielbewusst weitergehen. Nach dem Muster der neuen Erdungsvorschriften sind zweifellos weitere sinnvolle Änderungen und Streichungen bestehender Vorschriftenbestimmungen möglich. Niemand hätte mehr Grund, über das Überborden gesetzlicher Einschränkungen auf dem Gebiet der Elektrizitätsanwendungen zu schimpfen.

Literatur

[1] *E. Homberger:* Wahrscheinlichkeitsüberlegungen bei der Wahl von Sicherheitsvorkehren in elektrischen Verteilnetzen. Bull. SEV/VSE 65(1974)12, S. 892...895.

[2] *E. Homberger:* Neue Überlegungen zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen. Bull. SEV/VSE 74(1983)7, S. 338...341.

[3] *G. Biegelmeier:* Quantitative und qualitative Bemerkungen zum Stand des Wissens über das Herzkammerflimmern nach elektrischen Durchströmungen mit Wechselstrom 50/60 Hz. Elektrotechnik und Maschinenbau (E und M) 97(1980)5.

[4] *G. Biegelmeier* und *E. Homberger:* Über die Wirkungen von unipolaren Impulsströmen auf den menschlichen Körper. Bull. SEV/VSE 73(1982)18, S. 958...967.

[5] *H. Antoni* und *G. Biegelmeier:* Über die Wirkung von Gleichstrom auf den Menschen. Elektrotechnik und Maschinenbau (E und M) 96(1979)2.

[6] *G. Biegelmeier:* Über die Körperimpedanzen lebender Menschen bei Wechselstrom 50 Hz. ETZ-Archiv (1979)5, S. 145...150.

[7] *O. Büchler:* Unfälle an elektrischen Starkstromanlagen in der Schweiz in den Jahren 1977 bis 1981. Bull. SEV/VSE 74(1983)7, S. 329...337.

[8] *U. Meyer:* Schutzmassnahmen gegen indirektes Berühren. Bull. SEV/VSE 68(1977)13, S. 629...632.

[9] *E. Homberger:* Probleme der Schutzmassnahmen in Niederspannungsnetzen aus der Sicht des Starkstrominspektorates. Bull. SEV/VSE 68(1977)13, S. 626...629.

[10] *E. Homberger:* Schutzmassnahmen in elektrischen Anlagen. Buchverlag «Elektrotechnik» Aarau, 1983.

[11] *P.D. Panchaud:* Fusibles et disjoncteurs dans les réseaux de distribution en basse tension. Bull. SEV/VSE 68(1977)13, S. 645...650.

[12] *K.J. Oehms:* Auswirkungen von DIN 57100/VDE 0100 Teil 410 auf die Niederspannungsnetze der EVU. Elektrizitätswirtschaft 83(1984)2, S. 69...72.

[13] *G. Biegelmeier:* Die langsame «Schnelle Nullung». Bull. SEV/VSE 75(1984)23, S. 1413...1417.

[14] *G. Biegelmeier, E. Hönnunger* und *P. Dürr:* Das Prinzip der dreifachen Sicherheit für die Schutzmassnahme beim indirekten Berühren. OeZE 34(1981)6, S. 185...193.

[15] *E. Homberger:* Sicherheit oder Schutzwert elektrischer Anlagen. Der Elektromonteur (1975)2, S. 23...24.

[16] *F. Lauerer,* Bundesamt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, 1974. Forschungsbericht Nr. 119. Bull. SEV/VSE 66(1975)4, S. 226.