

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 22 (1931)
Heft: 2

Artikel: Schutzmassnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen
Autor: Besag, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058559>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A., Zurich 4
Stauffacherquai 36/38

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXII^e Année

N^o 2

Vendredi, le 23 Janvier 1931

Compte-rendu de l'assemblée de discussion de l'ASE

Samedi, 15 novembre 1930, à 9 h, Hôtel Schweizerhof
à Olten.

(Suite de la page 18 et fin.)

614.8:621.316.99

Im folgenden wird das zweite Referat: Schutzmassnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen, von Herrn E. Besag, beratender Ingenieur, Baden-Baden, samt Diskussion publiziert.

Nous reproduisons ci-après, avec la discussion subséquente, la deuxième conférence, celle de M. E. Besag, ingénieur-conseil à Baden-Baden, sur les mesures de protection contre une tension de contact trop élevée dans les installations à basse tension.

Schutzmassnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen.

Referat von E. Besag, beratender Ingenieur, Baden-Baden.

614.8:621.316.99

Der Vortragende bespricht in kritischer Weise die Erdung und Nullung und deren Kombination als Schutz gegen lebensgefährliche Berührungsspannungen in Hausinstallationen und geht dann auf die Schutzschaltung nach Heinisch-Riedl ein, die im Netz des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes und in anderen grösseren und kleineren Ueberlandnetzen verwendet wird. Diese Schutzschaltung besteht darin, dass der Verteilungsanlage ein Schutzschalter vorgeschaltet ist, der die Verteilungsanlage abschaltet, sobald die berührbaren, normalerweise nicht stromführenden Teile eines angeschlossenen Stromverbrauchers infolge Isolationsfehler eine derartige Spannung gegen Erde annehmen, dass bei Berührung Gefahr besteht. Die Auslösung des Schalters erfolgt durch eine Spannungsspule. Der Unterschied gegenüber einer gewöhnlichen Erdungsanlage besteht darin, dass bei dieser die gefährlich gewordene Anlage nur dann durch den vorhandenen Ueberstromschutz abgeschaltet wird, wenn der Erdungswiderstand genügend klein, der entstehende Erdschlussstrom beim Ueberschreiten der zulässigen Berührungsspannung also genügend gross ist, um die Sicherungen zu schmelzen, was nicht immer zutrifft, während der Schutzschalter bei einem Erdschlussstrom von wenigen mA anspricht, so dass der Widerstand der Hilferdung einen sehr geringen Einfluss hat. Mit Hilfe eines Netzmodells, in welchem die nötigen Apparate installiert waren, führte der Referent die Wirkungsweise der verschiedenen Schutzmassnahmen an einer Reihe praktisch vorkommender Fälle vor.

Dem Referat folgt eine interessante Diskussion, die dem Vortragenden Gelegenheit zu weiteren Ausführungen gibt.

L'orateur examine le rôle et l'efficacité de la mise à la terre, éventuellement avec mise à terre du neutre du réseau, en vue de protéger les personnes contre des tensions de contact dangereuses dans les installations intérieures. Il passe ensuite au dispositif de protection Heinisch-Riedl, en service dans le réseau de la centrale d'électricité rhénane-westphalienne entre autres, et qui consiste en un interrupteur de protection, monté sur la ligne d'alimentation du réseau qu'il déclenche, actionné par une bobine de tension, dès que les parties accessibles et normalement neutres d'un appareil branché sur le réseau accusent, par suite d'un défaut d'isolation, une tension contre la terre pouvant mettre en danger celui qui viendrait en contact avec elle. La différence de ce système vis-à-vis d'une mise à la terre ordinaire, c'est que cette dernière provoque la mise hors-circuit de l'installation dangereuse, une fois la tension de contact admissible dépassée, par l'effet de la surintensité, qui n'entre en jeu que lorsque le courant est assez élevé pour fondre les fusibles, c'est-à-dire la résistance de la prise de terre suffisamment faible; tandis que l'interrupteur de protection fonctionne déjà pour un courant de terre de quelques mA, quasi indépendamment de la qualité de la prise de terre. A l'aide d'un modèle de réseau, muni des appareils et instruments nécessaires, le conférencier démontre ensuite le fonctionnement des différents modes de protection, dans une série de cas pratiques.

La discussion intéressante qui suivit a fourni à l'orateur l'occasion de compléter sa conférence.

Die Aufgabe, auch das entlegenste Haus mit elektrischer Energie zu versorgen, hat dazu geführt, als normale Betriebsspannung 380/220 V in weitestem Umfange einzuführen und mit dieser Spannung radiale Entfernungen bis zu 5 km von einer Transformatorenstation zu überwinden. In derartigen Netzen und in den zugehörigen An-

schlussanlagen sind im Laufe der Jahre Störungen aufgetreten, die für Mensch und Tier gefährlich geworden sind, so dass der Elektrotechniker im Interesse der Sicherheit Schutzmassnahmen aller Art einführen musste.

In den verschiedenen Ländern sind seitens der Fachverbände Schutzmassnahmen entwickelt wor-

den, um deren Notwendigkeit und Zweckmässigkeit heftige Kämpfe entbrannt sind. In Versorgungsgebieten, in denen man selten über einen elektrischen Unfall zu klagen hat, findet man scharfe Gegner aller Schutzmassnahmen, während in anderen Bezirken, in denen häufiger schwerste Unfälle aufgetreten waren, selbstverständlich der Ruf nach geeigneten Schutzmassnahmen besonders stark ist. Die Erfahrung zeigt nun, dass die Unfälle sich hauptsächlich in Gebieten mit alten, ausgedehnten Netzen häufen, insbesondere dann, wenn die Anschlusswerbung von grossem Erfolg begleitet war. Hauptsächlich sind es ortsveränderliche Geräte mit Metallumhüllung, die schlecht behandelt werden und die im Laufe der Zeit durch entstehende Isolationsfehler gefährlich geworden sind.

Die Schutzmassnahmen zerfallen grundsätzlich in zwei Gruppen, nämlich in den Schutz gegen «zufällige Berührung» der im Handbereich liegenden spannungsführenden Leiter und in den Schutz gegen «zu hohe Berührungsspannung». Das beste Schutzmittel gegen «zufällige Berührung» spannungsführender Leiter bleibt die zuverlässige Abdeckung, die am zweckmässigsten aus bestem Isolationsmaterial hergestellt wird, sofern die mechanischen Qualitäten des Isolationsmaterials der mechanischen Beanspruchung gewachsen sind.

Berührungsspannung tritt auf, wenn durch Schäden an Teilen der elektrischen Anlage oder andere Unregelmässigkeiten die der Berührung zugänglichen metallenen Teile der Einrichtungen eine Spannung gegen Erde annehmen. Es muss also verhindert werden, dass weder Mensch noch Tier an Metallteilen Schaden nehmen, die infolge eines Isolationsfehlers oder aus anderen Ursachen gefährliche Spannung gegen Erde erhalten haben.

In erster Linie sind demnach die Apparate und Geräte derart herzustellen und zu installieren, dass metallene Gehäuse und die mit ihnen in leitender Verbindung stehenden Körper überhaupt keine zu hohe Berührungsspannung annehmen können. Wo diese Sicherheit irgendwie bezweifelt werden muss, soll man andere Schutzmassnahmen anwenden.

Die Gefahrenklasse hängt von verschiedenen Umständen ab. Wechselspannung von 50 Per/s erweist sich bei den gleichen Bedingungen mehrmals gefährlicher als Gleichspannung. Personen, deren Durchgangswiderstand infolge Nässe, Hitze, Chemikalien usw. stark vermindert ist, sind bei der gleichen Spannung erheblich mehr gefährdet, weil die durchfliessende Stromstärke bei gleicher Spannung in solchem Falle naturgemäss höher wird. Die Versuche der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, die im Bulletin SEV 1929, Nr. 13, beschrieben sind, sagen deutlich, dass bei einer Stromstärke von mehr als 15 mA voll umfasste Elektroden nicht mehr freigegeben werden können und dass ein Mensch eine derartige Dauerelektrisierung nicht verträgt.

Die verschiedenen Fachverbände haben nun die verschiedensten Anschauungen über die Höhe der zuzulassenden Berührungsspannung zu erkennen gegeben. Man findet als zulässige Höchstgrenze

der Berührungsspannung Werte von 20 bis 100 V. Die Erbauer einer Anlage sowie der Abnahmebeamte müssen jedoch bestimmte Höchstwerte für die Berührungsspannungen angegeben bekommen, damit sie in der Lage sind, die Schutzmassnahmen und ihre Wirksamkeit zu berechnen und zu kontrollieren.

Wo die Möglichkeit besteht, dass ein Metallteil einer Anlage, trotz sorgfältiger Konstruktion und Installation, im Laufe der Zeit zu hohe Berührungsspannung annehmen kann, kommen in erster Linie Schutzmassnahmen, wie beispielsweise Isolation, Kleinspannung, Erdung, Nullung und Schutzschaltung in Betracht. Isolation und Kleinspannung sind «vorbeugende Schutzmassnahmen», während die drei letztgenannten Schutzmassnahmen sich als «abschaltende Schutzrichtungen» darstellen.

Die Schutzmassnahme der *Isolation* lässt sich beispielsweise erreichen, wenn man auf einem trockenen Fussboden Aufstellung nimmt, falls man ein verdächtiges Gerät berühren muss. Man kann zur Schutzmassnahme der «Isolation» alle Isolierstrecken zählen, die zwischen den Berührungsspannung annehmenden Gegenständen und dem Menschen oder zwischen Mensch und Erde eingeschaltet sind.

Da diese Massnahme jedoch in sehr vielen Fällen nicht durchführbar ist, muss man meistens von den anderen Schutzmassnahmen Gebrauch machen. Zur Erzeugung von *Kleinspannung* werden bekanntlich sogenannte Kleinspannungstransformatoren verwendet, deren Sekundärspannung in der Regel zwischen 20 und 50 V liegt. Die eigenartigen Konstruktionsbedingungen, denen diese Transformatoren unterworfen sind, ergeben jedoch einen relativ niedrigen Wirkungsgrad, so dass der Betrieb grosser Anschlussobjekte nicht wirtschaftlich genug erscheint, ganz abgesehen davon, dass in manchen Ländern die Installationen dieser Kleinspannungsanlagen wie normale 250-V-Anlagen ausgeführt sein müssen.

Die älteste der abschaltenden Schutzmassnahmen war die *Erdung*. Diese hat zunächst den Zweck, die Berührungsspannung auf das zulässige Mass abzusenken. Falls dies wegen der im Erd-schlussstromkreis liegenden Widerstände nicht möglich ist, muss beim Ueberschreiten der Gefahrspannung die Abschaltung durch Schmelzsicherungen oder Selbstschalter erfolgen. Damit bei Gefahr das Abschmelzen einer Sicherung schnell genug eintritt, hat man beispielsweise in Deutschland bestimmt, dass der $2\frac{1}{2}$ fache Strom der nächst vorgeschalteten Sicherung keine höhere Berührungsspannung als 42 V im Erdungswiderstand ergibt. Würde demnach ein Anschlussgerät eine 10-A-Sicherung benötigen, so dürfte der zugehörige

Erdungswiderstand nicht grösser als $\frac{42}{10 \cdot 2,5} = 1,68$

Ohm betragen. Bei einer 20-A-Sicherung dürfte der Erdungswiderstand nur noch 0,84 Ohm besitzen. Es ergibt sich hieraus ohne weiteres, dass es nur in

den allerseltensten Fällen möglich ist, die notwendigen niederen Widerstandswerte der Erdungsanlagen wirtschaftlich herzustellen. Diese Schwierigkeiten, die die Abhängigkeit von den höchst variablen Erdungswiderständen verursachen, haben schliesslich zur «Nullung» geführt.

Die *Nullung* besitzt den Vorteil, dass man nur mit voraus bestimmbareren Widerständen zu tun hat und dass ausserdem in Vierleiternetzen der Nullleiter gleichzeitig als Spannungsteiler in den meisten Installationen vorhanden ist. Ein Körperchluss schafft bei einem genullten Anschlussgerät in der Regel klare Verhältnisse. Bei vollständigem Phasenkörperchluss wird meistens die Schmelzsicherung abschmelzen, falls diese nicht vorschriftswidrig bemessen oder gar überbrückt ist. Die an sich ideale Nullung hat jedoch im Laufe der Jahre derart schwerwiegende Mängel gezeigt, dass es heute bereits eine grosse Anzahl bedeutender Elektrizitätswerke gibt, die ihre Nulleiter nicht mehr zu Schutzerdungszwecken zur Verfügung stellen. In Netzen, in denen genullt wird, können 3 Fehlerarten unterschieden werden:

1. Entsteht in einem Netz an einer Phase irgend ein schwerer Erdschluss (beispielsweise an einer nicht genullten Wasserleitung), so fliesst der Erdschlussstrom über die Nulleitererdungen zum Transformator-Nullpunkt zurück. Würde z. B. der kombinierte Nulleiter-Erdungswiderstand 10 Ohm haben und würde die besagte Wasserleitung gegen Erde nur 1 Ohm besitzen, so würde die Nullpunktspannung in einem 380-V-Netz auf 200 V gegen Erde ansteigen, wodurch alle mit dem Nulleiter direkt oder indirekt verbundenen Metallteile äusserst gefährlich werden würden. Es ist nicht voraus zu sagen, ob bei einem derartigen Erdschluss die vorgeschalteten Schmelzsicherungen oder Selbstschalter die Abschaltung herbeiführen.

2. Die zweite Gefahrenquelle liegt in der Unterbrechungsgefahr des Nulleiters. Würde eine einseitige Belastung zwischen Phasenleiter und dem abgetrennten Nulleiterende eines Freileitungsnetzes bestehen, so würden in Netzen von 380/220 V alle am abgetrennten Nulleiterende genullten Körper unter Umständen die volle Phasenspannung von 220 V erhalten. Ein derartiger Zustand ist schon häufig verhängnisvoll geworden. Hier kann durch zahlreiche Erdungen des Nulleiters, insbesondere durch gute Erdung des Nulleiterendes, eine erhebliche Absenkung dieser Berührungsspannung erzielt werden. Es wird auch empfohlen, den Nullleiter möglichst häufig an die Hauptwasserstränge der Wasserleitungsnetze anzuschliessen. Um die Gefahrenhöhe richtig einschätzen zu können, muss man sich vorstellen, dass auch die letzten ortsveränderlichen Geräte an solchen Nulleitern angeschlossen sind. Es geht nicht an, beispielsweise den Metallmantel eines Wasserkochers am Gerät selbst mit dem Nulleiter zu verbinden, da irgend ein schlechter Kontakt an der Steckvorrichtung oder eine sonstige Unterbrechung des Nulleiters innerhalb der Installation den Wasserkochermantel

sofort auf die volle Phasenspannung gegen Erde bringen würde. Die Gefahr ist auch nicht vollständig beseitigt, wenn man einen besonderen Schutzleiter von dem Wasserkochermantel an einen besonderen Nullungskontakt der Wandsteckvorrichtung führt und an der Dose die Verbindung mit dem Nulleiter macht. Es könnte nämlich immer noch eine Unterbrechung des Nulleiters an der nächsten vor der Steckdose sitzenden Abzweigdose oder an einer sonstigen Stelle innerhalb der Installation eintreten. Um sicher zu sein, bleibt nichts anderes übrig, als durch die gesamte Installation einen gesonderten Schutzleiter zu ziehen, mit dem sämtliche Schutzobjekte sorgfältig verbunden werden. Dieses besondere Schutzleiternetz müsste bereits an der Hausabzweigung an den Nullleiter des Netzes angeschlossen werden. Würde es sicher sein, dass das betreffende Haus eine tadellos geerdete Wasserleitungsanlage besitzt, so müsste an der Eintrittsstelle des Schutzleiters in das Haus diese noch einmal an der Wasserleitung angeschlossen werden.

Es ist jedoch irrig, anzunehmen, dass derartig ausgeführte Anlagen hieb- und stichfest sind. Bei einer Phasenspannung von 220 V gibt es immer Punkte in einem vielfach geerdeten Nulleiternetz, deren Spannung bei Unterbrechung auf mindestens 110 V, bei entsprechender einseitiger Belastung, ansteigen kann. Gesetzt der Fall, wir hätten eine Transformatorstation mit nur einem einzigen Ausläufer, der in gleichmässigen Abständen an 10 verschiedenen Stellen gleichwertig geerdet sei. Die Unterbrechung des Nulleiters kann dann sowohl in der Nähe der Station, als auch am Ende des Netzes eintreten. Die Rechnung ergibt in diesem Fall stets die Möglichkeit, dass das Stationsende oder das abgetrennte Ende des Nulleiters auf zu hohe Berührungsspannung kommt und diese Spannung wird in die Anschlussanlage eingeschleppt. Das Wasserleitungsnetz ist in grossen Ueberlandnetzen in keiner Weise als ein zusammenhängendes Netz aufzufassen. Man kann daher die einzelnen Wasserversorgungsstellen in der Regel nur als örtliche Erdungsstellen des Nulleiternetzes betrachten. Häufige Erdungsmessungen sind unvermeidlich.

3. Die dritte Gefahrenquelle in genullten Netzen entsteht bei Kurzschlüssen zwischen einem Phasenleiter und dem Nulleiter. Ein Beispiel soll diesen Fall veranschaulichen:

Ein 3 km langer Ausläufer eines Netzes 380/220 V habe 35 mm² starke Phasenleiter und einen 16 mm² starken Nulleiter. Ohne Berücksichtigung des induktiven Abfalles würde der Widerstand eines Phasenleiters ca. 1,5 Ohm und derjenige des Nulleiters ca. 3 Ohm bis zum Ausläuferende haben. Die Phasenleiter seien in der Station mit 60 A abgesichert. Entsteht nun am Ende dieses Ausläufers ein Kurzschluss zwischen einem Phasenleiter und dem Nulleiter, so wird der Kurzschlussstrom in den gegebenen Widerständen auf höchstens 50 A beschränkt bleiben. Da diese Stromstärke auf keinen Fall die 60-A-Sicherung zum Abschmelzen bringt,

bleibt dieser Kurzschlußstrom dauernd bestehen. In dem Nulleiter von 3 Ohm Widerstand entsteht jedoch ein Spannungsverlust von 150 V, der sich nach Massgabe der Erdungswiderstände als zu hohe Berührungsspannung in allen genullten Körpern auswirkt. Der geschilderte Fall kann leicht eintreten, wenn beispielsweise der Phasenleiter und der Nulleiter von einem herabhängenden Baumast zusammengedrückt werden.

Die bisher besprochenen Schutzmassnahmen und die unendliche Mühe, ihre Mängel zu beseitigen, hatten bisher nicht zu dem gewünschten Erfolg geführt. So kam es, dass die bekanntesten Ingenieure Heinisch und Riedl des ausgedehntesten europäischen Ueberlandnetzes, der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk Aktiengesellschaft in Essen (RWE), eine neue Schutzmethode entwickelt haben, die im Wesentlichen auf der Erdung fusst. Diese Schutzmassnahme ist unter dem Namen *Schutzschaltung* bekannt geworden.

Fig. 1 veranschaulicht das Prinzip dieser Schutzschaltung bei Anwendung ortsveränderlicher Geräte, wobei man sich ohne weiteres vorstellen kann, dass statt der Steckvorrichtungen auch feste Anschlüsse gemacht werden können.

Prinzip der Schutzschaltung.

Im Beispiel Figur 1 ist ein 4polig abschaltender Schutzschalter mit Freiauslösung *B* vorgesehen. Auf diese Freiauslösung wirkt bei Gefahr eine Fehlerstromspule *F*, die einerseits an der Klemme *H* mit dem Hilfserder *HE*, andererseits

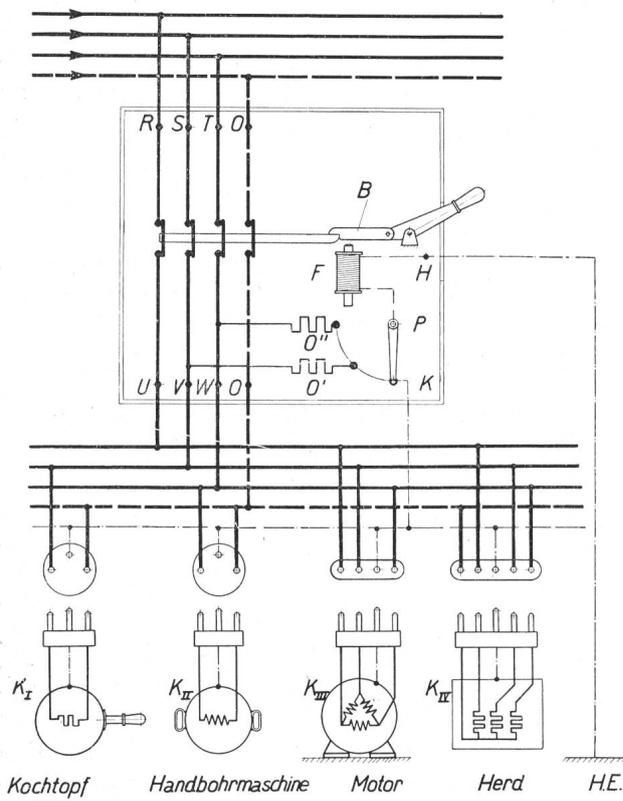


Fig. 1.
Prinzip der Schutzschaltung.

über den Prüfschalter *P* an den Kontakt *K* angeschlossen ist. Jeder Körper der zu schützenden Anschlussgeräte wird nun entweder fest, oder über die zugehörige Steckvorrichtung mittels einer Schutzleitung mit dem Kontakt *K* verbunden. Die Fehlerstromspule *F* ist als Spannungsspule ausgebildet und derart bemessen, dass sie bei ca. 20 V die Freiauslösung *B* auslöst, wodurch die gesamte Anlage abgeschaltet wird. Der Unterschied gegenüber der normalen Erdungsanlage besteht darin, dass bei der normalen Erdung bei einem in einem Anschlussgerät auftretenden Körperschluss ein so grosser Erdschlußstrom auftreten muss, dass der vorgeschaltete Ueberstromschutz abschaltet. Es wird also die normale Erdung mit relativ sehr hohen Strömen belastet, wodurch die Höhe dieses Erdungswiderstandes von ausserordentlichem Einfluss wird. Die Schutzspule *F* dagegen benötigt nur wenige mA, so dass der Einfluss des Hilfserdungswiderstandes äusserst gering ist. Die Spulen werden derart bemessen, dass bei einem Hilfserdungswiderstand von 200 Ohm die Spule zwischen 20 und 24 V auslöst. Bei einem Anwachsen des Hilfserdungswiderstandes bis 500 Ohm muss die Spule unterhalb 42 V auslösen.

Die am meisten der Veränderung unterworfenen Teile dieser Schutzanlage liegen erfahrungsgemäss in der Hilfserdungsanlage und im Schalter selbst. Aus diesem Grunde hat sich eine besondere Prüfeinrichtung für die beiden Anlagenteile als sehr zweckmässig erwiesen. Ueber zwei an den Phasen angeschlossenen Reduktionswiderstände *O'* und *O''* kann mittels des Umschalters *P* ein künstlicher Fehlerstrom von einer Phase über die Spule *F* nach der Hilfserdung erzeugt werden. Bei der Betätigung des Prüfschalters muss der Schalter zur Auslösung kommen. Selbstverständlich sorgt eine kräftige Rückzugsfeder dafür, dass der Prüfschalter *P* selbsttätig auf den Kontakt *K* zu liegen kommt.

Es gibt 2-, 3- und 4polige Schutzschalter für die verschiedensten Zwecke. Das Vorhandensein eines

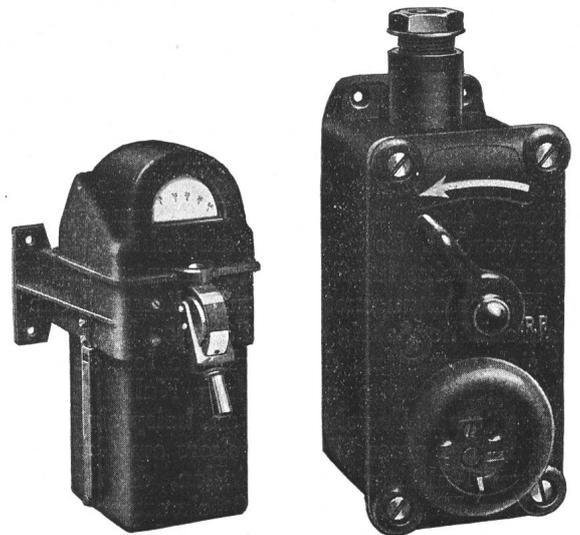


Fig. 2.
Motorschutzschalter.

Fig. 3.
Automatische Steckdose.

guten Automaten hat dazu geführt, durch Einbau von Ueberstromauslösern den Automaten gleichzeitig als Ueberstromschalter verwendbar zu machen. In solchen Fällen sind sämtliche Nachteile vermieden, die sonst mit Schmelzsicherungen verknüpft sind.

In wichtigen Anlagen wird man natürlich nicht die gesamte Installation durch einen einzigen Schalter abschalten lassen, sondern man wird die Schutzschaltung unterteilen. Es befinden sich auf dem Markte Motorschutzschalter mit eingebauter Fehlerstromspule, die bewirken, dass nur derjenige Motor abgeschaltet wird, der infolge eines Isolationsfehlers zu hohe Berührungsspannung erhält (Fig. 2), ferner automatische Steckdosen (Fig. 3).

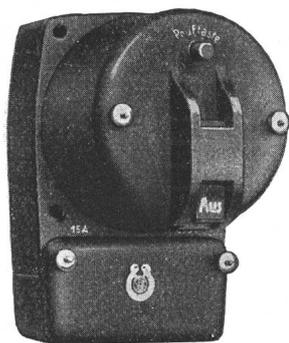


Fig. 4.
Automatischer
Hausanschlusskasten.

zungsweise 90 % Fabrikate der Firma Schiele & Bruchsaler-Industriewerke A.-G., Baden-Baden, sind.

In Fig. 5 ist ein Stationsschalter der gleichen Firma abgebildet, der in mehreren tausend Exemplaren in Transformatorenstationen zum Schutz der Transformatoren oder der Freileitungen verwendet wurde.

Er besitzt einstellbare thermische Auslöser in den drei Phasen, sowie einen thermischen Nullleiterauslöser. Ausserdem ist eine sehr genau arbeitende Fehlerstromspule angeordnet, die bei mehr als 42 V Nullpunktspannung gegen Erde zur Auslösung führt. Die Kurzschlussleistung dieser Schalter beträgt bei 380 V zwischen 10 000 und 20 000 A.

Zusammenfassend kann man sagen:

Wer isoliert, muss sorgfältigst installieren, ohne dass er bei dem derzeitigen Isoliermaterial das Leben der Stromabnehmer in gefährlichen Räumen gesichert weiss. Ausserdem lassen sich die meisten Stromverbrauchsapparate und Maschinen nicht aus Isoliermaterial herstellen.

Wer Kleinspannung will, kann diese nur in den seltensten Fällen benutzen und muss ausserdem sorgfältigst installieren. Bei grösseren Stromverbrauchern kommt er bald zu unwirtschaftlichen Abmessungen. Ausserdem unterliegt er denselben Gefahren wie bei Anwendung von reiner Isolation.

Wer erdet, muss nicht nur in der Installation und im Netz eine sichere und teure Erdung herstellen, sondern er muss die Erdung auch ständig

kontrollieren, weil die Erdung dauernder Veränderung unterliegt. Bei grösseren Stromverbrauchern ist die vorschriftsmässige Erdung meistens unerreichtbar.

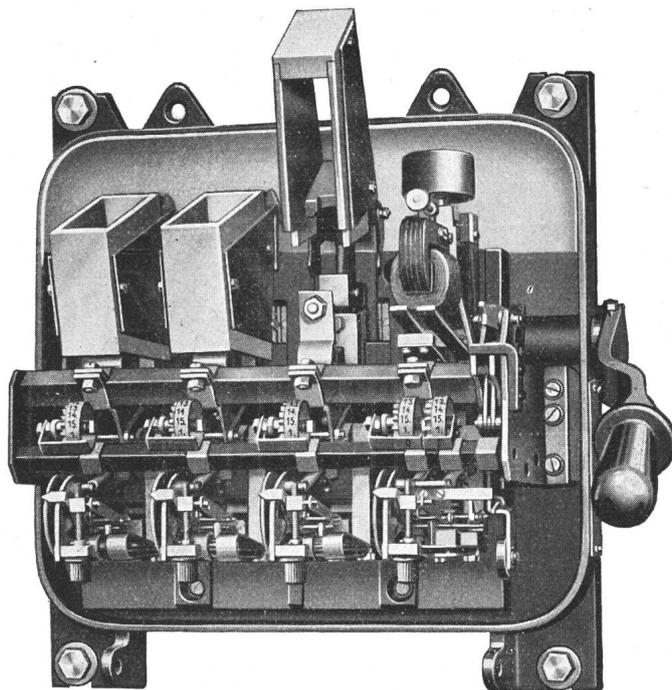


Fig. 5.
Stationsschutzschalter.

Wer nullt, muss dauernd genaue Berechnungen anstellen, muss in den meisten Fällen unwirtschaftlich grosse Querschnitte einbauen, muss im Netz erstklassige teure Erdungen haben und kontrollieren und ist trotzdem der Sorge nicht enthoben, dass der Nulleiter reisst oder sonst an einer Klemmverbindung unterbrochen wird. Ausserdem muss auch er sorgfältigst installieren.

Wer schutzschaltet, braucht nicht für eine gute Erdung zu sorgen, sondern kann eine einfache und billige Erdung in bequemster Weise kostenlos beliebig oft prüfen.

Die Schutzschaltung verlangt geeignete, bewährte Apparate, die aber ohne Schwierigkeiten installiert werden können.

Mit solchen Apparaten ist ausserdem in einfachster Weise ein selbsttätiger Ueberstromschutz zu kombinieren, wodurch die bekannten Nachteile der Schmelzsicherung in Fortfall kommen und in vielen Fällen eine bedeutend wirtschaftlichere Ausnutzung der Leitungen möglich ist. Wie bei allen Schutzeinrichtungen, muss auch bei der Schutzschaltung die Installation sorgfältig ausgeführt werden.

Mit Hilfe eines grösseren Netzmodells, das die verschiedensten praktisch vorkommenden Fälle experimentell vorzuführen und zu untersuchen gestattet, erläuterte der Referent seine Ausführungen:

Das mit künstlichen Widerständen ausgerüstete Netzmodell entsprach einer Länge von 3 km, $3 \times 35 \text{ mm}^2$ Cu in den Phasen und $1 \times 16 \text{ mm}^2$ im Nulleiter (Fig. 6).

Dieses Netz konnte von der Sekundärseite eines Transformators *A* entweder über drei Schmelzsicherungen zu 60 A oder über den Stationsschutzschalter *B* gespeist werden. In dem Netz war als

Lichtbilder zeigte der Referent zuerst die Ursachen verschiedener Berührungsspannungen und demonstrierte an Hand des Modells experimentell die verschiedenen Gefahrenmöglichkeiten.

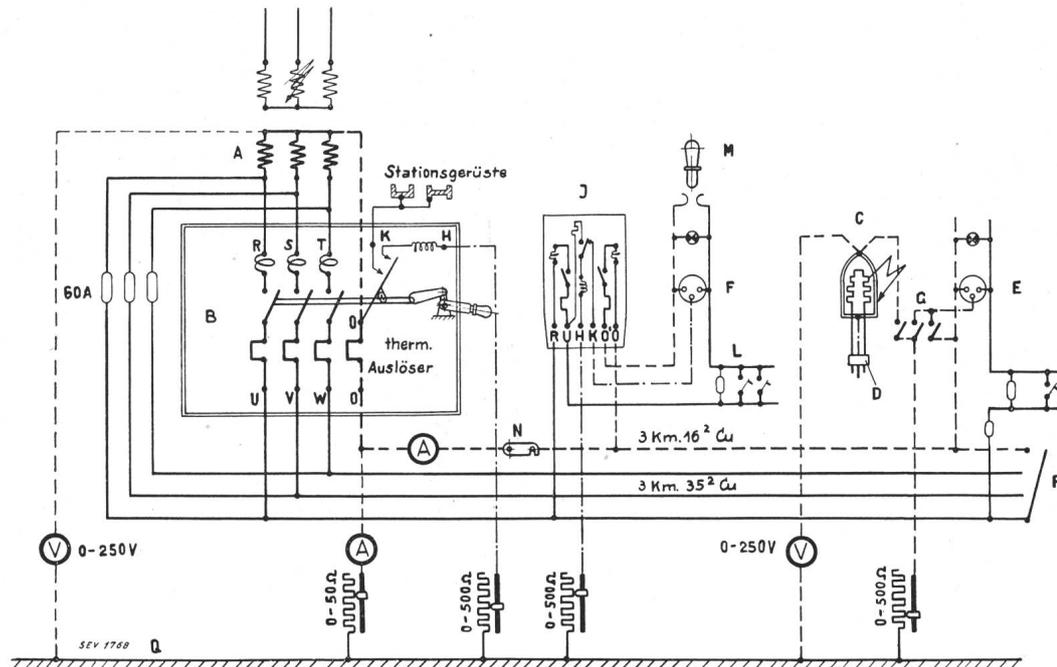


Fig. 6.
Schema des Netzmodells.

Symbol eines Stromverbrauchers der Bügeleisenwiderstand *C* angeordnet, der durch einen Erdungsstecker *D* an den Steckdosen *E* und *F* angeschlossen werden konnte. Der Körper des Bügeleisens *C* konnte nun mittels der verschiedenen Schalter *G* entweder geerdet oder genullt oder geerdet und genullt werden. Bei Benützung der Steckdose *F* war der Körper *C* des Bügeleisens durch den Schutzschalter *J* geschaltet. Die Verteilungsgruppe *L* bestand aus Schmelzsicherungen bzw. Stöpsel- oder Sockelautomaten und diente zum Nachweis der Selektivität zwischen Stromkreischutz *L* und Hausanschlussautomat *J*. Es konnten mittels Stöpsel *M* die zu diesem Nachweis notwendigen Kurzschlüsse hergestellt werden. Mittels der Lasche *N* wurden die Vorgänge nachgeahmt, die bei Unterbrechung des Nulleiters eintreten. Der Schalter *P* gestattet, einen Kurzschluss zwischen Phasenleiter und Nulleiter am Ende des Netzes herzustellen. Die Schiene *Q* führte das Erdpotential = 0 V. Zwei an dieser Schiene angeschlossene Voltmeter gestatteten, bei jedem Experiment die Spannung des Transformator-Nullpunktes und des Körpers *C* gegen Erde abzulesen. Der Erdungswiderstand der Station und des Körpers *C* bzw. des Netznullleiters war durch zwei Schiebewiderstände bis 50 Ohm ersetzt. Die Uebergangswiderstände der Fehlerstromspulen im Stationsschalter *B* und im Hausanschlussautomaten *J* wurden durch zwei Schiebewiderstände zu je 500 Ohm dargestellt. Mit Hilfe anschaulicher

Der *Vorsitzende* dankt dem Referenten für seinen Vortrag sowie dem Elektrizitätswerk Olten für seine Mithilfe bei der Aufstellung der Demonstrationsapparate. Er eröffnet sodann die

Diskussion ¹⁾.

Schiesser, BBC, Baden, führt folgendes aus: Wenn ich zu dem Vortrag von Herrn Besag das Wort ergreife, so tue ich dies nicht als Konstrukteur, sondern weil ich seinerzeit in einer SEV-Kommission für die Revision der Bundesvorschriften die Erdungsfragen behandelte ²⁾. Es ist die von Herrn Besag in sehr interessanter Weise beschriebene Schutzschaltung unbedingt in das Gebiet der Erdungsfragen einzureihen.

Die Behandlung irgend einer Erdungsfrage ist immer ein sehr heikles Thema und schliesst fast immer eine Gewissensfrage in sich. Je mehr man sich in diese Fragen vertieft, um so klarer sieht man die Schwierigkeiten.

Ich kann mir vorstellen, dass Betriebsleute, Installateure usw., fast nach einer klaren und eindeutigen Richtlinie für den Berührungsschutz lechzen müssen.

Ein guter und zuverlässiger Berührungsschutz soll im wesentlichen die Bedingungen erfüllen, dass im Augenblick der Störung eine möglichst rasche Abschaltung erfolgt und dass damit im Bereiche von menschlichen oder tierischen Extremitäten das Bestehenbleiben von gefährlichen Spannungsdifferenzen an in normalem Betrieb nicht stromführenden Teilen so rasch wie möglich zum Verschwinden kommt. Der Heinisch-Riedl-Schutz erfüllt im allgemeinen diese Bedingung und basiert auf der an und für sich äusserst interessanten Tatsache, dass er direkt abhängig von der Grösse der Spannung an der Erdelektrode arbeitet. Ich bin aber doch nicht überzeugt, dass der Heinisch-Riedl-Schutz nur allein und in allen Fällen in absoluter Weise das erreicht, was wünschenswert wäre. Ich gehe mit Herrn Besag einig, dass die Schutzzerdung für sich allein oder die

¹⁾ Die Voten wurden nachträglich von den betreffenden Autoren schriftlich formuliert.

²⁾ Siehe Bull. SEV 1923, No. 7, S. 370.

Nullung für sich allein in gewissen Fällen grosse Gefahr in sich schliessen kann, aber ich gehe mit Herrn Besag gar nicht einig betreffend Kombination der Schutzerdung und Nullung zusammen, und ich glaube, dass diese Kombination Schutzerdung und Nullung im Vortrag von Herrn Besag viel zu schlecht weggekommen ist. Entgegen den von Herrn Besag geäusserten Ansichten bin ich der festen Ueberzeugung, dass für gewisse Verhältnisse die Kombination Schutzerdung und Nullung einen fast absoluten Schutz gegen das Auftreten von gefährlichen Spannungen ergibt. Es ist dabei nötig, dass, wie in der SEV-Kommission seinerzeit beraten wurde, die Schutzerdung an möglichst vielen Stellen mit der Nullung zusammen erfolgt und dass als Schutzerde die Wasserleitung in vorgeschriebener Weise hinzugezogen wird.

Für die Beurteilung der Güte und Zweckmässigkeit einer Erdung in Niederspannungsanlagen muss man folgende Fälle gesondert betrachten: Ortsfeste und ortsveränderliche Anlagen, Verteilanlagen in Städten, geschlossenen Wohnkolonien, Fabriken und z. B. von der Transformatorstation weit abgelegene kleine Häusergruppen oder einzelne Häuser.

Für Städte, geschlossene Wohnkolonien, Fabriken und ortsfeste Anlagen scheint mir, wie bereits angeführt, die Nullung, verbunden mit gleichzeitiger und häufiger Schutzerdung, das sicherste und absoluteste Mittel, um einen guten Erdungsschutz darzustellen. Mit dieser Erdungsform wird bei einem Isolationsdefekt unbedingt immer ein so grosser Kurzschlussstrom entstehen, dass die nächstgelegene Sicherung sofort schmilzt. Diese Erdungsform ergibt durch die häufige Schutzerdung an die Wasserleitung in Verbindung mit der Nullung gleichsam eine ausserordentliche Querschnittsverstärkung für den Schutzleiter, d. h. sehr kleinen Widerstand, grosse Kurzschlussstromstärke. Bricht bei dieser Anordnung der Nulleiter an irgend einer Stelle, so wird dadurch praktisch gar keine Gefahr entstehen, weil die zu diesem Bruch parallel geschaltete Wasserleitung die denkbar grösste Sicherheit zur Aufrechterhaltung des Schutzes bietet.

Für ortsveränderliche Anlagen scheint mir persönlich das Problem einer absolut zuverlässigen Erdung fast unlösbar zu sein, und die Schutzschaltung, wie sie Herr Besag beschrieben hat, ist der Nullung, verbunden mit Schutzerdung, ganz bestimmt in keiner Weise überlegen. Wenn der Schutzdraht bricht, so ist in jeder Form, Nullung mit Schutzerdung oder Schutzschaltung, der Gefährzustand genau der gleiche. Herr Besag hat erwähnt, dass die Schutzschaltung den Vorteil in sich schliesse, einen Prüftaster zu haben, mit welchem man in einfacher Weise den richtigen Schutzzustand ermitteln könne. Dies trifft nur in beschränkter Weise zu, indem durch diesen Prüftaster nur der Anlageteil geprüft wird, der zwischen dem Prüftaster und der Hilfserde liegt, d. h. der besonders gefährliche Bruch des Schutzdrahtes der ortsveränderlichen Anlage wird durch die Betätigung der Prüftaste nicht aufgedeckt. Durch die Prüftaste wird die ganze Sache nach meiner Ansicht nur noch verschlimmert, indem deren Betätigung alles als in Ordnung befindlich anzeigen kann und der Prüfende dadurch in Sicherheit gewiegt wird, es sei alles in Ordnung, während in Wirklichkeit ein ganz gefährlicher Betriebszustand besteht. Dieses Beispiel hat jedenfalls solange seine Richtigkeit, als nur ein einfacher Schutzdraht vom festen Anschluss zum ortsveränderlichen Gegenstand benutzt wird. Diesem Fehler könnte durch einen doppelten Schutzdraht, der vom festen Anschluss zum ortsveränderlichen Gegenstand geht, begegnet werden. Dies würde in diesem Falle besondere Stecker zur Voraussetzung haben.

Bei der Versorgung eines relativ weit abgelegenen Hauses mit elektrischem Strom kann tatsächlich der Fall eintreten, wo die Nullung mit Schutzerdung zusammen kombiniert nicht mehr zu einer Lösung führt. Der grosse Widerstand der langen Zuleitung begrenzt bei einem Isolationsdefekt den entstehenden Kurzschlussstrom in solchem Masse, dass die Sicherungen nicht mehr zum Durchschmelzen kommen, und es bleibt der Gefährzustand in diesem Falle unbestimmt lange Zeit bestehen. Die Schutzschaltung ist in diesem Falle unbedingt viel günstiger, weil sie nicht auf den Strom abstellt, sondern auf das Spannungsgefälle gegen Erde. Es wäre aber interessant, vom Vortragenden zu vernahmen, ob er für diesen Sonderfall die Schutzschaltung für alle Fälle wirklich als absolut sicher bezeichnen darf.

Ich könnte mir folgenden Fall vorstellen, wo die Schutzschaltung auch versagen könnte: Es wird ein einzelnes Haus angenommen, das mit einer Zuleitung von mehreren Kilometern Länge mit Elektrizität versorgt wird. Der Ausgangspunkt dieser Leitung (Transformatorstation) sei mit einem Heinisch-Riedl-Schutzschalter versehen, ebenso das Ende der Leitung in dem einzelnen Haus. Im Schutzschalter des Hauses entstehe vor oder bei der Schaltereinführung ein Isolationsdefekt gegen das Schutzschaltergehäuse oder gegen das Stahlpanzerrohr der Zuleitung oder gegen die Befestigungsunterlage des Schutzschalters. Ist der Erdungswiderstand in diesem Hause sehr gross, z. B. 25 Ohm, und der Erdungswiderstand in der Transformatorstation sehr klein, z. B. 2 Ohm, ein Fall, wie er mit Leichtigkeit vorkommen kann, so fliesst z. B. bei 220 V und unter Vernachlässigung des Leitungswiderstandes durch die Erde ein Strom von ca. 8 A. Das Spannungsgefälle des Schaltergehäuses oder die Befestigungsunterlage des Schalters oder des Stahlpanzerrohres der Leitung zum Schalter wird damit gegen Erde ca. 205 V betragen und das Spannungsgefälle in der Transformatorstation ca. 15 V. Der Schutzschalter im einzelnen Haus wird auf diese 205 V Berührungsspannung sofort ansprechen und den Schalter auslösen. Der Fehler bleibt aber damit nach wie vor bestehen, wenn der Isolationsdefekt vor oder an den Einführungsklemmen zu diesem Schutzschalter erfolgt ist. Der Schutzschalter in der Transformatorstation wird nicht zum Ansprechen kommen, weil dort die Gefährspannung nicht erreicht wird, und der grosse Gefährzustand bleibt in dem weit abgelegenen Haus ohne weiteres und für unbestimmt lange Zeit bestehen. Genau das gleiche würde bei der kombinierten Schutzerdung eintreten. Es scheint mir also, dass auch der Schutzschalter, wie er uns heute beschrieben wurde, ein nicht in allen Fällen absoluter, eindeutiger Schutz ist, und es zeigt auch diese Ueberlegung wieder, wie ausserordentlich schwierig das gesamte Erdungsproblem hauptsächlich für Niederspannungsanlagen ist.

Es war von Herrn Besag sicher eine sehr verdienstvolle Arbeit, uns neuerdings wieder anzuregen, über diese schwierigen und ersten Fragen nachzudenken.

E. Boder, Elektrizitäts- und Wasserversorgung Olten, führt folgendes aus: Der sehr interessante Vortrag des Herrn Besag und die Einladung des Generalsekretariates im Bulletin zu reger Beteiligung an der Diskussion bieten Gelegenheit, einen weitem Beitrag über die Frage der Verhütung von Unfällen und Sachschäden zur Sprache zu bringen, der m. E. in erster Linie abgeklärt werden sollte, vorgängig der Entscheidung über Schutzschaltung und Nullung. Er betrifft die *Nullpunkt- und Nulleiter-Erdung an der metallenen Ortswasserleitung*.

Die nachfolgenden, ganz elementar gehaltenen Erörterungen zeigen, dass in den meisten Niederspannungsanlagen zwischen Erde und einer Phase des Netzes Spannungsdifferenzen in Höhe der verketteten Spannung auftreten und oft während langer Dauer fortbestehen können. Ihr Wert schwankt in den Grenzen zwischen Phasen- und verketteter Spannung.

In den meisten Netzen lässt sich diese Gefahr auf einfache Weise dauernd auf Phasenspannung herabsetzen durch *Nullpunkterdung der Transformatoren an der Wasserleitung* und durch *Erden des Nulleiters an verschiedenen Punkten des Netzes ebenfalls an der Ortswasserleitung*. Obwohl diese Gefahrenverminderung schon von vielen Werken in Erwägung gezogen wurde, findet sie wohl vielfach aus Rücksicht auf die Wasserversorgungen nur wenig Anwendung. In Wirklichkeit aber bildet diese Erdungsart von Nullpunkt und Nulleiter bei den meisten Netzen gerade für das Personal und die Anlagen der Wasserversorgungen einen viel grösseren Schutz als jede andere Erdungsart.

Fig. 7 und 8 stellen die heute vielfach übliche und Fig. 9 die anzustrebende Erdungsart dar.

Fig. 7 zeigt, bei Erdschluss einer Phase in der Nähe der Wasserleitung, die möglichen Berührungs- und Schrittspannungen bei der Stations-Hilfserde und in den nächstgelegenen Häusern (Berühren von Wasserbahnen in Kellern und Waschküchen und von Eisenkonstruktionen aller Art) einerseits, und die Gefahren im ganzen Gebiet dieses Kreises zwischen der Wasserleitung (Erde) und einer beliebigen zweiten Phase andererseits.

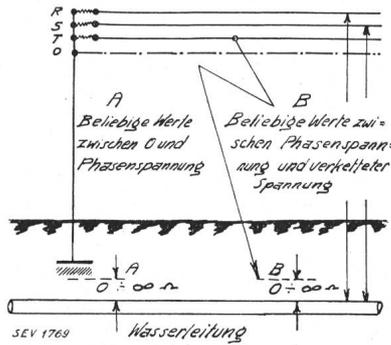


Fig. 7.

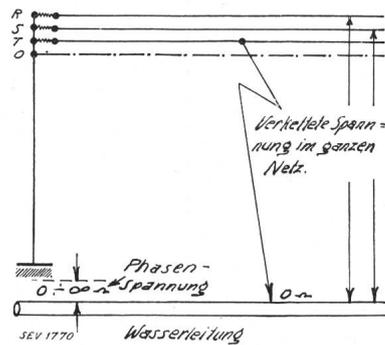


Fig. 8.

Zwischen Wasserleitung und Erdplatte tritt durch den Erdschluss eine Schritt- oder Berührungsspannung entsprechend der Phasenspannung auf.

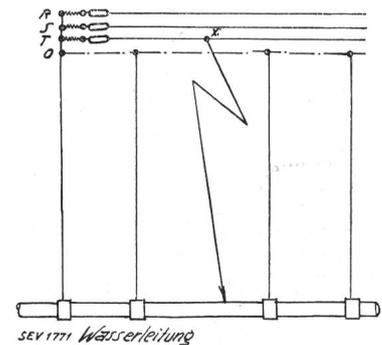


Fig. 9.

1. Die kleinste der Fehlerstelle x vorgeschaltete Sicherung in Phase T schaltet die Fehlerstelle sofort ab.
2. Zwischen den Leitern RST gegen Nulleiter und gegen die Wasserleitung besteht unverändert die Phasenspannung.

In Fig. 8 ist ein direkter Erdschluss dargestellt zwischen einem Phasenleiter und der Wasserleitung. Hier entstehen ebenfalls Gefahren im ganzen Netz in Höhe der verketteten Spannung.

Aus Fig. 9 und den nachstehenden Erläuterungen geht nun hervor, dass bei dieser Erdungsart des Nullpunktes und Nulleiters tatsächlich die Gefahr im ganzen Netz um das $\sqrt{3}$ fache, d. h. von verketteter Spannung auf Phasenspannung vermindert werden kann.

Nullung, Erdung oder Schutzschaltung von Hausinstallationen.

a) in Ortschaften mit metallener Ortswasserleitung und einer maximalen Stranglänge von je etwa 500 m. Jede Art des Berührungsschutzes von Verbrauchsapparaten — Nullung, Erdung oder Schutzschaltung — erfordert zu ihrer Betätigung einen Hilfsleiter, eine Erdanschlussklemme an dem Metallgehäuse des zu schützenden Apparates und, bei ortsveränderlichen Anlagen, einen Steckkontakt mit besonderem Erdkontakt. Je nach Anwendung des einen oder andern Schutzsystems führt dieser an der Erdanschlussklemme befestigte Hilfsleiter entweder zum Nulleiter, oder zur Wasserleitung, oder über die Fehlerstromspule eines Schutzschalters zur Hilfserde. Sein Querschnitt muss bei den ersten beiden Ausführungsarten der vorgeschalteten Sicherung entsprechend wesentlich grösser bemessen sein, als bei der Schutzschaltung. Da eine Unterbrechung des Hilfsleiters jedes dieser Schutzsysteme ausser Tätigkeit setzt, so ist ein Vergleich zunächst wohl nur möglich unter der Annahme einer einwandfreien Installation.

Unter diesen Voraussetzungen sollen die Verhältnisse bei Gehäuseschluss an einem Motor in nassem Raume untersucht werden in 500 m Distanz von der Transformatorstation, unter Verwendung eines Querschnittes für die Uebertragungsleitung von 12 mm², 200 m vom Verbrauchsort entfernt sei der Nulleiter mit der Ortswasserleitung verbunden. Der Schmelzeinsatz in der Motorzuleitung betrage 35 A. (In Wirklichkeit wird die Belastungsmöglichkeit bei dieser Entfernung des grossen Spannungsabfalles wegen kleiner ausfallen.) Ferner ist die Klemmenspannung an der Station als konstant vorausgesetzt und der induktive Spannungsabfall nicht berücksichtigt.

Bei einem Ohmschen Widerstand von 1,3 Ohm für Hin- und Rückleitung entsteht eine Kurzschlussstromstärke zwischen Nulleiter und Gehäuse von ungefähr $\frac{220}{1,3} = 170$ A.

Die Sicherung wird aber schon bei einem Strom von $1,6 \cdot 35 = 56$ A innerhalb einer Stunde durchschmelzen³⁾. In 200 m Entfernung herrscht zwischen Nulleiter und Wasserleitung das nämliche Potential. Die Berührungsspannung am Motorgehäuse beträgt demnach bei 0,29 Ω Leitungswiderstand $0,29 \cdot 40 = 11,6$ V.

Ein zweites Beispiel mit je 50 mm² Querschnitt für die

Phasenleiter und 35 mm² für den Nulleiter ergibt unter sonst gleichen Verhältnissen folgende Werte:

Leitungswiderstand eines Phasenleiters . . . = 0,25 Ω

Leitungswiderstand des Nulleiters = 0,31 Ω

Hieraus ergibt sich eine Kurzschlussstromstärke von $\frac{220}{0,25 + 0,31} = 400$ A. Bei einem höchstzulässigen Spannungsverlust von 10 % wird die maximale Belastungsstromstärke $\frac{38}{\sqrt{3} \cdot 0,25} = 90$ A. Der Schmelzeinsatz betrage 100 A.

Die Stromstärke, welche diese Sicherung innerhalb einer Stunde zum Schmelzen bringt, beträgt $1,6 \cdot 100 = 160$ A³⁾. Die Berührungsspannung am Motorgehäuse wird demnach, bei einem Widerstand des Nulleiters bis zu der nächst gelegenen Erdung an der Wasserleitung in Höhe von 0,124 Ohm, $0,124 \cdot 160 = 20$ V.

Wird die Sicherung der betreffenden Hausinstallation überbrückt und entsteht tatsächlich ein Kurzschlussstrom von etwa 400 A, so nimmt die Berührungsspannung den Wert $400 \cdot 0,124 = 50$ V an. Diese Gefahr lässt sich auf einfache Weise vermeiden durch Erdung des Nulleiters in der Nähe des Verbrauchsortes in Abständen von je etwa 50 bis 100 m, zwecks Verminderung des Nulleiter-Widerstandes und der Berührungsspannung.

Aus diesem Beispiel geht hervor, dass diese Art der Nullung genau dem Wortlaut des § 27 der Vorschriften für Hausinstallationen entspricht. Die Nullpunkterdung an der Ortswasserleitung vermindert tatsächlich die Berührungsspannung im ganzen Netz um das $\sqrt{3}$ fache. Diese Erdungsart an der Station ist deshalb eng verknüpft mit dem Abschnitt III vorgenannter Vorschriften.

Für die Verwaltungen von Wasserversorgungen ist zunächst die Feststellung wesentlich, dass jede Erdableitung einer Einzelanlage, zufolge der guten Leitfähigkeit der Wasserleitungsnetze, sich über das ganze Gebiet des betreffenden Transformatorkreises ausbreitet und dadurch in allen, auch in den einwandfrei isolierten Installationen desselben, bedeutend grössere Gefahren hervorruft, als in Ortschaften ohne metallene Ortswasserzuleitungen. Diese Gefahren bestehen auch in jenen Netzen, in denen seitens der Werke keine Erdleitungen erstellt werden, wie beispielsweise bei Nullung ohne Nullpunkterdung und ohne Erdung des Nulleiters oder der Verbrauchsapparate. Sie werden bei dieser Anordnung sogar um das $\sqrt{3}$ fache grösser und in der Regel erst nach langer Dauer bemerkt. Nullung und Erdung an der Wasserleitung in vorgenannter Ausführung bieten somit tatsächlich auch für das Personal und die Anlagen der Wasserversorgungen den grössten Schutz.

b) in Ortschaften ohne metallene Wasserleitung. In Netzen ohne Ortswasserleitung können, auch bei Anwendung der Nullung, zwischen den Apparategehäusen und Erde, örtliche Spannungsdifferenzen auftreten. Hier ist die Schutzschaltung der Nullung überlegen, gute Instandhaltung der Schutzschalter vorausgesetzt.

³⁾ Siehe Sicherungsnormalien des SEV, § 17.

c) *Drehstromnetze ohne Nulleiter*. Es handelt sich hier meistens um Anlagen höherer Spannung ohne nachgezogenen Nulleiter. Zur Begrenzung des Stromes in der Erdleitung der Apparategehäuse lassen sich mit Vorteil automatische Motorschaltkasten mit Schutzschaltung verwenden. Die Gefahren werden auch in diesem Falle am geringsten, wenn diese Erdleitung — möglichst vor dem Wassermesser — und der Nullpunkt bei der Station mit der Wasserleitung verbunden wird.

Zusammenfassend ergeben m. E. folgende Lösungen den besten Schutz:

a) Bei Drehstromanlagen mit nachgezogenem Nulleiter, in Ortschaften mit metallener Ortswasserleitung: *Die gut ausgeführte Nullung*. Der Nulleiter ist in der Station und im Netz an der Wasserleitung zu erden.

b) und c) Sowohl in Drehstromanlagen mit Nulleiter in Ortschaften ohne metallene Wasserleitung, wie bei Drehstromanlagen höherer Spannung ohne Nulleiter, ist vielfach die Begrenzung des in der Erdleitung von Metallgehäusen auftretenden Stromes mittels *Schutzschalter der Nullung oder Erdung überlegen*.

H. Strobel, E. W. Basel, spricht als Vertreter eines städtischen Elektrizitätswerkes: Die Ausführungen des Referenten haben gezeigt, dass die Anwendung der Schutzschaltung in Netzen mit geerdetem Nulleiter im allgemeinen bequem durchgeführt werden kann. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Schutzschaltung entwickelt worden ist aus Verhältnissen, welche wir in städtischen Betrieben wohl kaum in gleicher Art antreffen werden.

In grossen Ueberlandnetzen kann der Spannungsabfall im Nulleiter bei Erdschlüssen wohl so gross werden, dass am Nulleiter geerdete Metallteile gefährliche Berührungsspannungen gegen Erde annehmen können.

In städtischen Verhältnissen liegen jedoch die Bedingungen für Erdung und Nullung vollkommen anders. Die Verteilung erfolgt durch ein Kabelnetz. Der Querschnitt des Nulleiters wird in der Regel gleich stark gewählt wie derjenige der Phasenleiter. Ausserdem wird in jeder Transformatorstation der Nulleiter mit der Hauptwasserleitung durch eine kräftige Erdleitung verbunden. Auch bieten die vielen gusseisernen Hausanschlusskästen, ebenso die gusseisernen Verteilkästen, welche im Erdboden eingelassen werden, eine gute Erdung, weil alle diese Teile mit dem Nulleiter in Verbindung stehen und somit durch den Nulleiter geerdet werden.

Es ist für einen einzeln stehenden Bauernhof wahrscheinlich nicht von allzu grosser Bedeutung, wenn infolge Erdschluss z. B. eines Futterkochkessels die ganze Anlage ausser Betrieb gesetzt wird.

In einem städtischen Geschäftshaus hingegen liegen die Verhältnisse ganz anders. Hier haben wir es im gleichen Hause mit einer Reihe verschiedener Abonnenten zu tun, welche alle davon betroffen würden, wenn bei einem einzelnen Abonnenten ein Isolationsdefekt an einem geschalteten Apparat auftritt, sofern in dieser Anlage ein einziger Schutzschalter an der Hausanschlußstelle angebracht würde.

Es kann aus diesem Grunde die Anwendung eines Hausanschlusskastens mit Schutzschalter, unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, nicht in Frage kommen, sondern es müsste bei jedem einzelnen Abonnenten ein Schutzschalter nach dem Zähler eingebaut werden. Bedenkt man jedoch die vielseitige Anwendung der Elektrizität, so kommt man dazu, dass jeder einzelne Abonnent eine ganze Reihe von Schutzschaltern benötigen würde, weil sonst bei einem Defekt in der Lichtanlage die Kraft- oder Heisswasseranlage oder z. B. das elektrische Giesswerk einer Druckerei oder dergleichen ausser Betrieb gesetzt würde.

Tritt in einer solchen Anlage ein Erdschluss auf, welcher infolge guter Erdung der Apparate keine gefährliche Spannung des Nulleiters gegen Erde hervorruft, so wird der Schutzschalter nicht anders in Funktion treten als irgend eine Sicherung, welche im Stromkreise liegt und die bei Ueberlastung oder Kurzschluss, hervorgerufen durch einen Erdschluss, ebenfalls durchschmilzt. Wir kämen also dazu, an Stelle der Sicherungen Schutzschalter mit Ueberstromauslösung in jedem Stromkreise einbauen zu müssen. Ausserdem müsste für jeden einzelnen Schutzschalter eine Schutz-

leitung zu den zu schützenden Apparaten gezogen werden. Ich glaube ohne weiteres behaupten zu dürfen, dass eine solche Anordnung in der Erstellung teurer zu stehen kommt als eine zuverlässige, offen verlegte Erdleitung, welche die zu schützenden Verbraucher nach Schema I der SEV-Vorschriften verbindet.

Es ist nicht ausser acht zu lassen, dass das Verlegen des Schutzdrahtes mit äusserster Sorgfalt zu geschehen hat und dass alle Verbindungsstellen unbedingt zuverlässig hergestellt werden müssen. Wir wissen jedoch aus unsern Erfahrungen bei der Nullung, dass das Monteurpersonal gerade den Verbindungsstellen von Leitungen häufig zu wenig Aufmerksamkeit schenkt und dass hier mit Versagern genau so gut zu rechnen wäre wie in einer genullten Anlage.

Der Laie kann ohne weiteres den Schutzschalter auf seine Funktion hin prüfen; es ist ihm jedoch nicht ohne weiteres möglich, festzustellen, ob der Schutzdraht auf seiner ganzen Ausdehnung vollkommen intakt ist, weil er dem zu schützenden Apparatteil durch Herstellen einer provisorischen Verbindung für einen Moment Phasenspannung geben müsste. Dabei läge die Gefahr nahe, dass er durch diese Manipulation sich selbst grösster Gefahr aussetzt. Die Kontrolle könnte also nur durch einen Fachmann geschehen. Muss man jedoch den Fachmann schon beiziehen, so kann er auch eine Erdleitung nach Schema I zuverlässig und bequem kontrollieren. Eine offen verlegte Erdleitung kann auf ihrem ganzen Verlauf schon von blossem Auge auf ihren einwandfreien Zustand hin verfolgt werden und bietet mit ziemlicher Sicherheit den Vorteil grösster Billigkeit.

Für städtische Verhältnisse wird somit meines Erachtens die Schutzschaltung nur für einzelne transportable Stromverbraucher in nassen oder schmutzigen Räumen in Frage kommen. Solche Apparate liegen häufig am Ende weitverbreiteter Hausinstallationen, so dass es denkbar wäre, dass im extremen Falle am genullten Stromverbraucher eine gefährliche Berührungsspannung auftreten könnte. Hier könnten Schutzschalter aus Isoliermaterial in wasserdichter Ausführung, sofern solche für rohe mechanische Beanspruchung geschaffen sind, wertvolle Dienste leisten, weil hier die Zuführung einer besonderen Erdleitung, z. B. nach Schema I, hohe Kosten verursachen würde, wobei infolge der grossen Drahtlänge die Möglichkeit irgend eines Unterbruches nicht von der Hand zu weisen wäre.

Es wäre deshalb interessant, von Herrn Besag zu erfahren, ob solche Apparate bereits geschaffen wurden oder ob Aussicht besteht, dass dieselben in absehbarer Zeit erhältlich sein werden.

Germiquet, Inspektor der Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern, äussert sich wie folgt: Die Zahl der der Brandversicherungsanstalt angemeldeten Brandfälle und Blitzschäden hat seit dem Kriege eine starke Vermehrung erfahren. Laut unserer Statistik ist die mittlere Zahl der Fälle für die Jahre 1924 bis 1928 um ca. 60 % höher als der Mittelwert der fünf Kriegsjahre 1914 bis 1918. Für das Jahr 1929 ist diese Zahl noch höher gestiegen. Mehrere Momente, die wir hier nicht erörtern können, spielen bei dieser Zunahme eine Rolle. Ich möchte hier erwähnen, dass die Entladungen atmosphärischen Ursprungs, welche Beschädigungen an Leitungen und Apparaten verursachen, als Blitzschäden angesehen und als solche in unserer Statistik aufgenommen werden. Sie erreichen nun eine ansehnliche Zahl. Diese Schäden kommen eigentlich nur in Landnetzen vor. In früheren Zeiten, wo diese Netze fast ausschliesslich zur Speisung von Lichtinstallationen dienten (besonders als die Hausleitung offen, d. h. die Drähte auf Porzellanrollen verlegt waren), waren die Beschädigungen durch Entladungen eine Seltenheit. Mit der Installation der Kraft- und Wärmeeinrichtungen kommen die Entladungen erst recht vor. Dabei ist zu konstatieren, dass das Vorhandensein von Schutzerdleitungen in Hausinstallationen die Entladungen begünstigen. Hausinstallationen mit Erdleitungen oder bei welchen die Metallarmierungen der Leitungen mit Wasser- und Gasleitungen, Zentralheizungsrohren oder mit Telephon- und Radioerdleitungen in Berührung sind, werden am meisten von diesen Entladungen betroffen und beschädigt. Seit einigen Jahren werden die in unserem Kanton am meisten verbreiteten Verteilungsnetze von 2×125 und 3×125 V für die Normalspannung von $3 \times 220/380$ V mit Nulleiter um-

gebaut. Eine beträchtliche Zahl derselben ist schon umgebaut worden. In den Hausinstallationen werden nun keine Schutzerdungen mehr angebracht, die Apparategehäuse werden genullt. In den landwirtschaftlichen Gebäuden wird immer mehr darauf geachtet, dass die Metallarmierungen der Leitungen weder geerdet noch in Berührung mit Baubestandteilen aus Metall gebracht werden. Unser Inspektorat macht die Beobachtung, dass diese Netze, trotz der grossen Ausdehnung ihrer Leitungen, zu wenigen Schäden durch Ueberspannungen Anlass geben. Wir haben also den Eindruck, dass sie in dieser Beziehung eine grössere Sicherheit bieten.

Mit der Einführung der Schutzschaltung kommen wir wieder zu den früheren Zuständen. Erdleitungen werden in Hausinstallationen wieder gemacht, und die Zahl der Schäden durch Entladungen werden durch diesen Umstand wieder eine Zunahme erfahren. Die Schutzschalter werden in Gewitterperioden durch die gleiche Ursache beschädigt und sie werden ihren Zweck nicht mehr erfüllen können.

Der *Vortragende* beantwortet in seinem Schlusswort die verschiedenen Voten wie folgt: Die überaus interessanten und anregenden Diskussionsbeiträge beweisen, welch grossen Wert die Elektrotechnik der Pflege des Vertrauens beimisst, das bisher der Konsument allen elektrischen Einrichtungen zu schenken gewohnt ist. Meine Ausführungen sollten keineswegs besagen, dass die früheren Sicherheitsvorkehrungen ihren damaligen Zweck nicht erfüllten. Es sollte vielmehr dargetan werden, wie die ungeahnte Entwicklung und Anwendung der elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung uns stets vor neue Probleme stellt, um überraschenden Rückschlägen des Stromkonsums rechtzeitig vorzubeugen.

In den immer noch zahlreichen Netzen ohne geerdeten Nulleiter kommt naturgemäss die Nullung nicht in Betracht. Praktisch bleibt uns in diesem Falle nur die Schutzerdung oder die Schutzschaltung. Es scheint wohl die einstimmige Meinung aus den Diskussionsbeiträgen hervorzugehen, dass die Schutzerdung allein in nur seltenen Fällen in wirtschaftlicher Weise so hergestellt werden kann, dass sie dauernd zuverlässig ihren Zweck erfüllt.

Die Nullung allein scheint die Herren Diskussionsredner ebenfalls nicht restlos befriedigt zu haben. Diese Meinung ist auch in den anderen Ländern zu finden. Ich verweise hier auf das neuerdings in England erschienene Buch «Rural Electrification Safety Devices in connection with Low-Tension Distribution», by Alfred Ekstroem, D. Sc., MIEE and Vidar Ekstroem, C. E., London Made and printed in England by the Premier Linotyping & Printing Co., Ltd. Figgins Buildings, Ray Street, Farringdon Road, E.C1, 1930, in welchem alle diese Verhältnisse in höchst lehrreicher Weise auseinandergesetzt sind. Die Herren Schiesser, Strobel und Boder stellen sich auf den Standpunkt, dass die Nullung, verbunden mit möglichst vielen Schutzerdungen, jegliche Sicherheit bietet. Es muss anerkannt werden, dass die Hausinstallationsvorschriften des SEV nach den im § 18 gegebenen Schematas tatsächlich einen hohen Grad der Sicherheit gewähren und dass die Schöpfer dieser Vorschläge ohne Zweifel das Beste fanden, was zu jener Zeit möglich war. Es wurde in meinen Ausführungen keineswegs bestritten, dass in sorgfältig konstruierten Kabelnetzen die Nullung, verbunden mit zahlreichen Schutzerdungen, für ortsfeste Anschlussobjekte sehr wohl ihren Zweck zu erfüllen vermag. Es sei jedoch darauf aufmerksam gemacht, dass die Verbindungsstellen der einzelnen Wasserrohre nicht immer so zuverlässig leiten, dass sie selbst nach Jahren bei einem Nulleiterbruch grössere Ströme ohne unzulässige Spannungsverluste zu führen vermögen. Es sind mir eine Anzahl Fälle bekannt, bei denen die Gefahren sofort auftraten, als Wasserinstallateure zum Zwecke neuer Anschlüsse oder Auswechslungen die Rohre trennten.

Wie Herr Schiesser ganz richtig bemerkt, erhöhen sich die Gefahren erheblich bei ortsveränderlichen Geräten und bei längeren Freileitungsnetzen, insbesondere, wenn eine Berührungsspannung in sogenannten gefährlichen Räumen auftritt. Die Ansicht, dass bei Bruch des Schutzdrahtes die Nullung mit Schutzerdung oder die Schutzschaltung genau gleichen Gefahrenzustand ergeben, halte ich nicht für ganz korrekt. Bricht bei der Schutzschaltung die Schutzleitung, so tritt eine Gefahr erst dann auf, wenn ausserdem ein

Isolationsfehler in der Anlage vorhanden ist. Bei der Nullung muss nun der Nulleiter des Freileitungsnetzes gleichfalls als Schutzleiter betrachtet werden. Wenn jedoch, beispielsweise durch Schnee und Eislast, durch Frost, Sturm, herunterfallende Baumäste usw., der Freileitungsnullleiter zu Bruch geht, entsteht in einer grossen Anzahl von Installationen *sofort* die grösste Gefahr, *auch wenn sonst die Anlagen vollständig in Ordnung sind*. In Ueberlandnetzen hängen die Wasserleitungen der isoliert stehenden Bauernhöfe selten untereinander in metallischem Zusammenhang. Bei Nulleiterbruch treten daher die verschiedensten Möglichkeiten auf. Beispielsweise kann das abgetrennte Nullleiterende auf einen Phasenleiter fallen. In solchem Falle würden stets eine Anzahl Anschlussanlagen mindestens 110 V Berührungsspannung annehmen; und zwar je nach Massgabe des Verhältnisses der Erdungswiderstände im abgetrennten Nulleiter zu den Erdungswiderständen des mit dem Transformator verbundenen Nulleiterzweiges. In diesem gar nicht so seltenen Fall hat bisher die in jeder Anschlussanlage durchgeführte Schutzschaltung sich glänzend bewährt.

Bei ortsveränderlichen Anschlussgeräten kommt es bei der Nullung oder der Erdung in höherem Grade auf gute Uebergangswiderstände in den Steckvorrichtungen an, als bei der Schutzschaltung. Ein tödlicher Unfall gab Veranlassung, die Uebergangswiderstände der Schutzkontakte in Steckvorrichtungen zu messen. Dabei wurde festgestellt, dass diese Uebergangswiderstände bei neuen Steckvorrichtungen zwischen 0,052 und 0,058 Ohm liegen, wogegen bei Steckvorrichtungen, die längere Zeit, besonders bei ungünstigen Verhältnissen, installiert waren, Uebergangswiderstände von mehreren Ohm, in einem Fall sogar von 680 Ohm, gemessen wurden. Da bei der Nullung oder reinen Erdung bei Körperschluss der über die Steckvorrichtung gehende Fehlerstrom so stark sein muss, dass die vorgeschaltete Sicherung abschmilzt, so spielen natürlich wenige Ohm Uebergangswiderstände eine ausschlaggebende Rolle. Bei der Schutzschaltung haben diese Steckkontakte nur wenige mA zu führen, so dass der Widerstand der Steckvorrichtung schon einen verhältnismässig hohen Wert annehmen darf, ehe der Schutzwert beeinträchtigt wird.

Auch bei Kurzschlüssen zwischen Phasenleiter und Nulleiter am Ende längerer Freileitungsstrecken können, trotz mehrfacher Erdung des Nulleiters, in gefährliche Räume unzulässig hohe Berührungsspannungen eingeschleppt werden. Es fragt sich, ob es wirtschaftlicher ist, gegen diese ganz bekannten Möglichkeiten die Nulleiterquerschnitte zu überdimensionieren oder die Nulleiterbelastung durch sogenannte Stationsschalter zu überwachen. Man kann leicht errechnen, von welchen Netzlängen ab die eine oder die andere Methode die wirtschaftlichere ist, wobei man bei Anwendung guter Automaten die bekannten Nachteile der Schmelzsicherungen vermeidet.

Herr Schiesser beanstandet bei der Schutzschaltung die unzuverlässige Prüfung durch die Prüftaste. An sich wäre bei der Schutzschaltung eine Prüftaste ebenso wenig notwendig wie bei den anderen Schutzmassnahmen. Die Prüftaste bildet den grossen Vorteil, wenigstens den Automaten selbst und die Hilfserdungsanlage zu prüfen. Dabei muss bemerkt werden, dass der Hilfserder einige 100 Ohm besitzen darf, ohne den Schutzwert unzulässig zu verringern. Aus dem Vorhandensein der Prüftaste hat bisher jeder Benutzer den Schluss gezogen, dass in elektrischen Anlagen Störungsmöglichkeiten bestehen und dass daher eine gewisse Vorsicht, wie bei jeglicher Energieform, geboten erscheint. Trifft dieser von Herrn Schiesser der Schutzschaltung gemachte Vorwurf nicht in besonderer Masse die Nullung, wenn ein Konsument durch Sachkenner seine Installation stets in bester Ordnung halten liess und trotzdem über eine vom Netz eingeschleppte fremde Berührungsspannung in seiner vorbildlichen Anlage äusserst gefährdet wurde?

Die von Herrn Schiesser aufgeworfene Frage, wie die Schutzschaltung sich verhält, wenn vor dem Schutzschalter einer Anschlussanlage ein Schluss gegen das Gehäuse des Schalters auftritt, falls dieses Gehäuse einen Erdungswiderstand von ca. 25 Ohm und der Netznulleiter einen Erdungswiderstand von 2 Ohm besitzt, möchte ich wie folgt beantworten:

Bisher wurden sämtliche Schutzschaltungsanlagen derart ausgeführt, dass eine strenge Trennung zwischen Zu- und Ableitungsrohren vorgesehen wurde. Sofern es sich um Hausanschlussautomaten aus Metall handelt, sind solide Isoliereinführungen zum Schalter selbst vorgesehen worden. Die neueren Schalter bestehen jedoch vollständig aus gutem Isoliermaterial, so dass die Isolationsstrecke ohne weiteres in der Konstruktion gegeben ist. Selbstverständlich hat das Werk darauf zu achten, dass die Zuleitungsrohre zum Schalter nicht unmittelbar metallische Verbindung mit den Ableitungsrohren bekommen. Man pflegt den Schutzschalter stets in unmittelbarer Nähe der Einführung zu setzen, damit eben der vollendete Schutz der dahinter liegenden Anlage gegeben ist. Bei dieser Ausführungsform kann der von Herrn Schiesser aufgeworfene Fall überhaupt nicht auftreten. Er bliebe demnach nur auf die kombinierte Schutz-erdung beschränkt.

Ein besonderer Vorteil der Schutzschaltung sei noch in folgendem Beispiel gegeben: Ein elektrischer Heizkörper von 40 Ohm, dessen Gehäuse genullt sei, erhalte in einer Widerstandsentfernung von ca. 10 Ohm von der Nulleiterklemme einen Körperschluss. Da der Heizkörper normal 5,5 A aufnimmt, so würde er nach Eintritt des Schlusses ca. 7 A aufzunehmen haben. Diese erhöhte Belastung würde eine vorgeschaltete 6-A-Sicherung unter Umständen lange Zeit aushalten. Der Heizkörper selbst würde aber nach und nach verbrennen und könnte dadurch selbst brandgefährlich werden. Bei Anwendung eines Schutzschalters würde die Fehlerstromspule sofort ansprechen, wodurch unter Umständen der Heizkörper mit geringen Mitteln gerettet werden könnte.

Die Ausführungen des Herrn Inspektor Germequet kommen zu dem Schluss, dass bei atmosphärischen Entladungen Brandfälle in genullten Anlagen seltener sind als in Anlagen, in denen örtlich geerdet wird, und er folgert daraus, dass bei der örtlichen Schutzschaltung, die ja ebenfalls eine Erdung besitzt, die Störungsfälle sich wieder vermehren müssten. Sehr aufschlussreich ist in dieser Hinsicht seine Schrift: «Die Feuersgefahr in den elektrischen Hausinstallationen».

Die Erfahrung zeigt jedoch, dass eine atmosphärische Entladung in nicht vorher zu bestimmender Weise heute in die Phasenleiter und morgen in den geerdeten Nulleiter schlägt. Im ersten Fall sucht sich die Entladung einen Weg nach der nächstbesten Erdungsstelle. In genullten Anlagen bildet der in den Isolierrohren oder Apparaten neben den Phasenleitern herführende Nulleiter die beste Uebertrittsstelle zur Erde. Innerhalb der Geräte oder Rohre treten dabei in der Tat Isolationszerstörungen auf, die mitunter erst nach langer Zeit zu direkten Schlüssen führen. Auch bei den Schutzschaltern haben sich zu Anfang die von Herrn Germequet befürchteten Erscheinungen gezeigt. Die Schutzspule bildet naturgemäss für hochfrequente Entladungen einen so hohen Induktivwiderstand, dass sie beinahe wie ein Isolator wirkt; d. h., der in der Schrift des Herrn Germequet geäusserte Wunsch, die Anlagen im Hinblick auf Feuersgefahr möglichst zu isolieren, ist durch die Fehlerstromspule besser erfüllt als durch Erdung oder Nullung. Es hängt also lediglich von der Konstruktion der Schutzspule ab, sie entsprechend durchschlagsicher zu gestalten. Während nun die im ersten Jahre eingebauten Schutzschalter verhältnismässig häufig unter Gewitterstörungen litten, sind Störungen der in den letzten drei Jahren eingebauten Schutzschalter, trotz schwerster Gewitterperioden, zur grossen Seltenheit geworden. Auch heute zeigt sich noch deutlich der Unterschied zwischen den Schaltern der ersten Epoche und denen, die nach den gemachten Erfahrungen neu konstruiert wurden, obwohl bei der inzwischen stark vermehrten Anzahl der geschalteten Anlagen die ältere Form relativ selten angetroffen wird. Es gibt heute Bezirke, in denen ein Landwirt keine elektrische Anlage ohne Schutzschaltung ausführen lässt.

Die Ausführungen des Herrn Strobel entsprechen im wesentlichen den bisher gemachten Erfahrungen in städtischen Netzen. Es geht in der Tat nicht an, ein Großstadthaus von einem einzigen Schutzschalter abhängig zu machen. Ja, es ist praktisch kaum durchführbar, die gesamte Stromversorgung einer grossen Etagenwohnung durch einen einzigen

Etagen-Schutzschalter überwachen zu lassen. Aus diesem Grunde wurden Schutzschalter entwickelt, die einen gefährlichen Stromkreis allein überwachen. Selbstverständlich bestehen diese Schutzschalter aus guten Isoliergehäusen. Auch in Berlin und anderen Städten hatte man sich zu dieser Erkenntnis durchgerungen. Es ist zwar wirtschaftlich selten möglich, nachträglich Großstadthäuser schutzschalten. Aber man hat im Hinblick auf mehrere Unglücksfälle eine strenge Unterscheidung zwischen gefährlichen und ungefährlichen Räumen vorgenommen. Als gefährlichen Raum kann man ohne Zweifel eine Waschküche oder eine Küche bezeichnen und als gefährliche Objekte in diesen Räumen können beispielsweise ortsveränderliche elektrisch betriebene Waschmaschinen und Kocheinrichtungen betrachtet werden. Auf Veranlassung der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke wurde daher eine automatisch ausschaltende Steckdose aus Isoliermaterial entwickelt, die überall sehr grossen Anklang findet, da es mit ihrer Hilfe möglich ist, die Schutzschaltung rein örtlich anzuwenden und einen Fehler vollständig zu lokalisieren.

Ich möchte noch darauf aufmerksam machen, dass in Kabelnetzen häufig der Fall gegeben ist, dass zwei oder mehrere Transformatoren in räumlich getrennten Stationen auf ein Kabelnetz parallel arbeiten. Es muss nun geprüft werden, ob auch bei einem Kurzschluss zwischen den Phasenleitern oder zwischen Phasenleiter und dem Nulleiter alle Sicherungen des betreffenden Phasenleiters abschmelzen, so dass an der Kurzschlussstelle tatsächlich keine Spannung mehr bestehen bleibt.

Angenommen, die von drei Stationen, A, B und C, abgehenden Leitungen sind parallel geschaltet, dann müssen bei einem Kurzschluss zwischen einem Phasenleiter und dem Nulleiter, z. B. in der Station A, auch die entsprechenden Phasensicherungen in den Stationen B und C abschmelzen, sofern nicht auf der Strecke noch Sicherungskästen angebracht sind, in denen die betreffenden Phasensicherungen dann abschmelzen müssten. Auch gegen diese Möglichkeiten haben die 4poligen Stationsschalter ihre Ueberlegenheit bewiesen.

Den sehr dankenswerten Ausführungen des Herrn Boder wird man wohl, wenn auch mit einem kleinen Vorbehalt, restlos zustimmen dürfen. Gerade seine Voraussetzung, dass zu einem Vergleich der Schutzmassnahmen eine einwandfreie Installation angenommen werden müsse, verwischt leicht den bereits behandelten Unterschied zwischen Nullung einerseits und Erdung bzw. Schutzschaltung andererseits. Es sind mehrere Fälle bekannt geworden, bei denen ein Nulleiterbruch lange Zeit unbemerkt blieb, weil die Ausgleichsströme über die mit dem Nulleiter vielfach verbundene Wasserleitung gehen. Bei Vornahme von Wasserleitungsanschlüssen wurde das abgetrennte Ende sofort unter gefährliche Spannung gesetzt und diese teilte sich sämtlichen genullten Körpern des Bezirks mit. Bei reinen Erdungs- oder Schutzschaltungsanlagen würde im analogen Fall ausser der Unterbrechung des Schutzleiters ein Körperschluss hinzukommen müssen, um eine Gefahr heraufzubeschwören, und diese würde lokalisiert bleiben, ohne sich sofort auf viele Anlagen auszubreiten. Es soll nochmals betont werden, dass die Schutzschaltung ursprünglich für ländliche Verhältnisse entwickelt worden war und dass ihr nützlichstes Anwendungsgebiet bisher überwiegend in ländlichen Anlagen gelegen ist. In städtischen Netzen wurde sie hauptsächlich in älteren Anlagen mit 3×220 V ohne geerdeten Nullpunkt mit grossem Erfolg benutzt.

Zum Schluss meiner Ausführungen möchte ich noch eine weitere Schutzmassnahme empfehlen, die die naheliegendste ist und den Vorteil hat, fast nichts zu kosten: Die sinnvolle Aufklärung des Publikums. Aber aus einer ganz unangebrachten Besorgnis einiger ängstlicher Gemüter, die — zu Unrecht — befürchten, es könne dadurch die weitere Verbreitung bzw. die Anwendung der Elektrizität vermindert werden, wird dieser einfache und natürliche Ausweg bekämpft, zum Schaden nicht nur der Allgemeinheit, sondern auch der Elektrotechnik selbst. Andere Zweige der Technik befolgen diese Massnahme ausnahmslos, ohne dadurch ihr Absatzgebiet zu schmälern.

So weiss z. B., dank der uralten Aufklärung seitens der Gasindustrie, schon das kleine Kind, dass Leuchtgas giftig,

feuer- und explosionsgefährlich ist, und es holt Hilfe, wenn seine Nase die Anwesenheit unverbrannten Leuchtgases wittert.

Die tägliche Unfallziffer wäre bei der Gefährlichkeit des Gases ohne Zweifel um ein Vielfaches grösser ohne diese Aufklärung.

Oder betrachten wir das Verkehrswesen: Welche Sicherheitsaufwendungen werden selbst am kleinsten Kraftwagen vorgeschrieben und welche Gelder werden der Sicherheit des Strassenverkehrs geopfert! Würde jedoch der Presse die Meldung der täglichen Verkehrsunfälle untersagt werden, so würde es zweifellos mehr Verkehrsunfälle geben. Niemand wird aber behaupten wollen, dass durch diese Meldungen der Verkehr abgeschwächt wird; ebenso wenig wird er zurückgehalten durch die Belehrung über die Verkehrsgefahren, die der künftige Autolenker vor Aushändigung seines Führerscheines erhält.

Wenn die Frauen wüssten, welchen Gefahren sie bei Benützung einer Heissluftdusche in der Badewanne ausgesetzt sind, so würden sie diese Apparate nicht mehr in Baderäumen anschliessen; sie würden andererseits bestimmt nicht auf den wundervollen elektrischen Haartrockner verzichten, sondern sie würden diese Apparate nur in ungefählichen Räumen verwenden. Sicherlich hätten gar manche

der vorgekommenen elektrischen Unfälle bequem durch bessere Aufklärungsarbeit vermieden werden können. Die unverständige Behauptung von der absoluten Gefahrlosigkeit der Elektrizität zwingt aber zur hundertprozentigen Erfüllung dieses Versprechens und drängt damit zu endlosen Schutzmassnahmen.

Natürlich gibt es viele Fälle, wo die aus der Aufklärung resultierende Vorsicht allein nicht genügt und wo der Benutzer sich plötzlich unerwarteten Gefahren gegenüber sieht. Und hier muss die Belehrung erreichen, dass der Verbraucher selbst geeignete Schutzmassnahmen verlangt, von denen ja der Elektrotechnik, wie wir gesehen haben, glücklicherweise genügend zu Gebote stehen.

Die Elektrizität hat sich im Verlaufe zweier Generationen, dank ihrer immer weiter entwickelten Vorsichtsmassnahmen, millionen- und milliardenfach so glänzend bewährt, dass uns vor einer wahrheitsgemässen Aufklärung des Publikums längst nicht mehr bange sein sollte.

Würde mit unseren Ausführungen ein Schritt im Sinne dieser Aufklärungen vorwärts gemacht worden sein, so gereicht diese interessante Diskussion ohne Zweifel der weiteren Entwicklung unserer Elektrotechnik und der Elektrowirtschaft zu bleibendem Segen.

Die zukünftige Gestaltung der Energieverteilung in New York.

Von F. W. Aemmer,

Electrical Engineering Department, New York Edison Company.

621.311(73)

Abgesehen vom bestehenden Gleichstromnetz, das nicht mehr wesentlich erweitert, aber vorläufig auch nicht ersetzt werden soll, erfolgt die Energieversorgung New Yorks mittels Einphasen- resp. Dreiphasenstrom von 60 Per/s und 120/208 V. Das hiefür vorhandene «radiale» Verteilungsnetz ist nun teilweise (Anfang 1930: ca. 140 000 kVA) durch ein sogenanntes «Vielfachgespeistes Wechselstrom-Niederspannungsnetz» ersetzt worden; dieses Netz soll nach und nach allgemein eingeführt werden.

Beidseitig jeder Strasse werden in je einem Eisenrohr 3 Einleiterkabel und ein blanker Nulleiter verlegt. An jeder Strassenkreuzung treffen somit 8 Stränge zusammen, die alle ohne Einbau irgendwelcher Sicherungen verspleisst sind, so dass sich das Netz als ein engmaschiger Kupferrost darstellt. Jeder Abonnent wird von den beiden nächstliegenden Strassenkreuzungen her gespiesen. Das Löschen von Kurzschlüssen erfolgt ausschliesslich durch Ausbrennen der Fehlerstelle. Eine Unterbrechung der Energielieferung tritt deshalb als Folge von Kurzschlüssen normalerweise nicht ein; nur wenn ein ganzer Verteilstrang zwischen zwei Strassenkreuzungen ausbrennt, was äusserst selten vorkommen soll, können einige Abonnenten in Mitleidenschaft gezogen werden. Die Auswechslung eines ausgebrannten Kabels soll in wenigen Stunden möglich sein.

Der Autor gibt eine detaillierte Beschreibung dieses interessanten Netzes, dessen Speisung und Schutzeinrichtungen.

Abstraction faite du réseau à courant continu existant, qui ne va plus être notablement agrandi mais dont on n'entrevoit pas encore la suppression non plus, la ville de New-York est alimentée par courant mono- et triphasé de 60 pér/s et 120/208 V. Le réseau de distribution «radial» destiné à cet usage a été remplacé en partie (début 1930: 140 000 kVA env.) par un réseau alternatif à basse tension alimenté en plusieurs points, qui sera peu à peu étendu à toute la ville.

Des deux côtés de chaque rue, 3 câbles à un conducteur ainsi qu'un fil neutre non-isolé sont placés dans un tube en fer. A chaque croisement de rues, 8 conducteurs se rencontrent donc, qui sont épissés deux à deux sans l'intermédiaire de coupe-circuit, de sorte que le réseau consiste en un grillage en cuivre à mailles serrées. Chaque abonné reçoit le courant des deux croisements de rues voisins. Avant qu'un court-circuit s'éteigne, il faut que la place défectueuse brûle complètement; c'est pourquoi les courts-circuits ne provoquent pas, normalement, une interruption de la fourniture d'énergie, sauf si toute la ligne comprise entre deux croisements est détruite, cas très rare et qui n'affecte que quelques abonnés. Le remplacement de câbles brûlés est réalisable en quelques heures.

L'auteur décrit en détail ce réseau intéressant, son alimentation et ses dispositifs de sécurité.

Wie die meisten Städte, die mit dem Bau von elektrischen Verteilsystemen schon vor dem Aufschwung der Wechselstromtechnik begonnen haben, besitzt auch New York ein ausgedehntes Gleichstromnetz, das gewisse Stadtteile mit elektrischer Energie versorgt. Diese Stadtteile umfassen heute die am dichtesten bebauten Geschäftsquartiere, für die in bezug auf die Zuverlässigkeit der Versorgung mit elektrischer Energie die höchsten erreichbaren Anforderungen gestellt werden müssen. Das bekannte Gleichstrom-Dreileitersystem, gespeist von Unterstationen mit Akkumulatorenbatterien als Hilfsstromquellen bei Störungen, hat sich in jahr-

zehntelangem Betrieb ausgezeichnet bewährt, da es diesen Anforderungen in vollem Masse genügen konnte.

Mit der Erkenntnis der Vorteile des Wechselstromes, insbesondere des kleineren Kapitalbedarfes und der grösseren Wirtschaftlichkeit der Verteilanlagen, wurde für die Versorgung der sich neu entwickelnden Gebiete zur Speisung mit Wechselstrom übergegangen. Dabei wurde das sogenannte radiale Verteilsystem eingeführt, wobei gemäss Fig. 1 jede von einer Unterstation ausgehende Speiseleitung ein elektrisch vollständig abgetrenntes Versorgungsgebiet mit Energie beliefert. Bei