Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 4

Artikel: Die Erdung im modernen Hoch- und Niederspannungsnetz

Autor: Homberger, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915914

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: 14.12.2025

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

Die Erdung im modernen Hoch- und Niederspannungsnetz

Von *E. Homberger*, Zürich

746–751

621.316.1:621.316.99

1. Die Problematik des Erdens

Es ist nicht von ungefähr, dass das Thema «Erdung» an den Schluss der Vortragsreihe gesetzt wurde, denn jedes der bisher behandelten Stoffgebiete steht in einem direkten oder indirekten Zusammenhang mit dem Erden von elektrischen Anlagen. Es muss sich also um ein bedeutendes Betriebs- und Sicherheitsproblem handeln, das eigentlich längst hätte gelöst werden sollen. Tatsächlich hat man sich seit je damit beschäftigt, ohne jedoch zu einer überall anerkannten Lösung zu gelangen. Die Schwierigkeit besteht einfach darin, dass Strom von einem sehr gut leitenden Metall auf einen Stoff mit einem rund 10^6...10^8mal grösseren spezifischen Widerstand geleitet werden soll. Zwar stellt die Erde einen fast unbeschränkt grossen Querschnitt zur Verfügung, doch werden die Strombahnen an der Übergangsstelle vom Erder zur Erde doch ganz beträchtlich eingeengt, so dass es dort zu einem grossen Spannungsgefälle kommen muss. Dadurch ergibt sich bereits das erste Problem: Steuerung des Spannungsgefälles so, dass die Menschen und Tiere keinen gefährlichen Schritt- und Berührungsspannungen, sog. Gefährdungsspannungen, ausgesetzt sein können.

2. Die Gefährdung des Menschen durch elektrische Ströme

Vorerst muss die Grenze zwischen gefährlich und ungefährlich bekannt sein. Auch mit dieser Frage haben sich verschiedene Forscher seit Jahren befasst. Für den üblichen Fall einer Berührung oder Erfassung unter Spannung stehender Teile liegen denn auch die Grenzwerte mit einiger Sicherheit fest. Im In- und Ausland stützt man sich vor allem auf die Untersuchungen von *Ch. F. Dalziel*, Professor für Elektrotechnik in Berkley (USA), an Menschen und mittelschweren Tieren, vor allem Schafen. Nach seinen Feststellungen bewirkt ein länger dauernder Stromfluss durch Hände und Arme von etwa 10...20 mA bereits Erschöpfung, Atemnot und Bewusstlosigkeit. Bei nur wenig darüberliegenden Stromstärken kann das gefährliche Herzkammerflimmern eintreten. Im Zusammenhang mit dem Erden interessiert aber besonders der Einfluss der Einwirkdauer. *Dalziel* legte zwischen dem Einwirkstrom i_E und der Einwirkzeit t_E folgende Beziehung fest:

$$I_E = \frac{k}{\sqrt{t_E}}$$

Darin bedeutet k die Flimmerschwelle bei einer Einwirkzeit von 1 s. Unter der Annahme, dass 0,5 % aller Fälle zum Flimmern führen, ergibt sich nach *Dalziel* für einen 60-Hz-Strom ein k von 135. Bei einem Körperwiderstand von 1000 Ω, was einen mittleren Wert zwischen zwei Händen bei nasser Haut gemessen entspricht, beträgt somit die Grenzenergie etwa 18 Ws. In einer im Jahre 1967 erschienenen Veröffentlichung hegt Prof. *R. Hauf*, wissenschaftlicher Leiter der Ärztlichen Forschungsstelle in Freiburg i. Br., Bedenken gegen die Richtigkeit der Formel von *Dalziel* für Zeiten unter 1 s. Es handelt sich nun aber gerade um jene Einwirkzeiten, die, vor allem in starr geerdeten Netzen, bei Störungen in Frage kommen. In einer weiteren Veröffentlichung berichtet *Peter Osypka* von messtechnischen Untersuchungen über die Stromstärke und Einwirkdauer bei elektrischen Starkstromunfällen an Mensch und Tier. Dieser Autor kommt zum Schluss, dass bei Einwirkzeiten von weniger als 1 s die Elektrizitätsmenge massgebend ist. Nach seinen Feststellungen waren nur ganz vereinzelt tödliche Folgen mit Elektrizitätsmengen von weniger als 100 mAs zu verzeichnen. Aus Fig. 1 ist ersichtlich, dass bei sehr kurzen Einwirkzeiten ganz beträchtliche Einwirkspannungen nötig sind, um den Grenzwert von 100 mAs zu erreichen. Selbst bei der halben Elektrizitätsmenge ergeben sich noch ungewöhnlich hohe Einwirkspannungen.

Nach den heutigen Bestimmungen der Eidg. Starkstromverordnung (St. V.) darf nur in den Niederspannungsanlagen der Einwirkdauer Rechnung getragen werden, indem bei Einwirkzeiten von weniger als einigen Sekunden theoretisch jede beliebige Einwirkspannung zulässig ist (vergl. St. V. Art. 26, Ziff. 4). Diese Fassung kann allerdings nicht medizinisch begründet werden. Auf Grund der heutigen Erkenntnisse darf es aber wohl verantwortet werden, in den Anlagen aller Spannungsbereiche erhöhte Einwirkspannungen bei entsprechend verkürzter Einwirkzeit zuzulassen. Immerhin

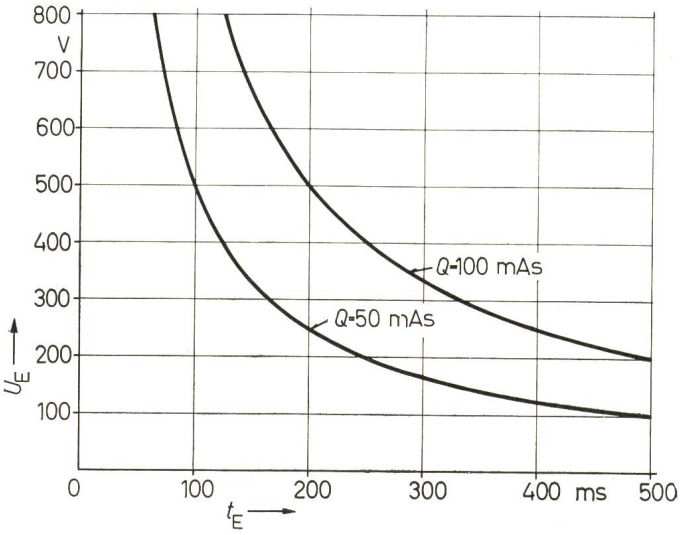

Fig. 1
Schritt- und Berührungsspannungen
(Einwirkspannungen) in Abhängigkeit der Einwirkzeit bei Elektrizitätsmengen von 50 und 100 mAs. Körperwiderstand 1000 Ω
U_E Einwirkspannung; t_E Einwirkzeit; Q Elektrizitätsmenge

hat sich die Ärztekommission des VSE hiezu noch nicht abschliessend ausgesprochen. Der höchstzulässige Dauerwert soll aber weiterhin bei 50 V belassen werden.

Grössere Tiere wie Pferde, Rinder usw. ertragen dauernd Einwirkspannungen von höchstens etwa 20 V. Mit Rücksicht auf die eingangs beschriebenen Schwierigkeiten dürften aber auch inskünftig keine so tiefen Werte vorgeschrieben werden.

3. Die Störungshäufigkeit und -wahrscheinlichkeit

Es erscheint bereits nicht mehr zeitgemäss, die Gefährlichkeit von Erdschlüssen allein von der Höhe der Einwirkspannung und der Einwirkzeit abhängig zu machen. Die Häufigkeit oder besser die Seltenheit der Erdschlüsse spielt je länger je mehr eine entscheidende Rolle. Leider besteht in der Schweiz keine umfassende Störungsstatistik, so dass man auf Angaben aus Deutschland oder Österreich angewiesen ist. Da die sog. Sternpunktbehandlung in der Schweiz eine andere Entwicklung nahm als in Deutschland und Österreich, wo die Hochspannungsnetze bis und mit 110-kV-Betriebsspannung vorwiegend «gelöscht» betrieben werden, dürfen die Störungsstatistiken nicht vorbehaltlsos für unsere Verhältnisse angewendet werden. Nach vorsichtigen Schätzungen muss in unseren «isolierten» Mittelspannungs-Freileitungsnetzen mit etwa 10...15 mehrheitlich einpoligen Erdschlüssen pro Jahr und 100 km Leitungslänge gerechnet werden. In den starr oder niederohmig geerdeten 50-kV-Netzen sind etwa 6...10 und in den Höchstspannungsnetzen etwa 2,5...3 solcher Vorkommnisse zu erwarten. Aus diesen Zahlen lassen sich bezüglich der Erdung bereits etwelche Schlüsse ziehen:

In den «isolierten» oder «gelöschten» Mittelspannungsnetzen bleibt ein Grossteil der Erdschlüsse stehen. Die Anlageerdungen sind somit so zu bemessen, dass unter Berücksichtigung des einpoligen, d. h. kapazitiven Erdschlußstromes die Einwirkspannungen in und um die Stationen 50 V nicht überschreiten. Werden hingegen die einpoligen Erdschlüsse innert Bruchteilen einer Sekunde weggeschaltet, wie dies bereits von einem grösseren Überland-Elektrizitätswerk durch Anwendung des Schnelldistanzschutzes kombiniert mit der Schnellwiedereinschaltung geschieht, dürften Einwirkspannungen von 200...300 V kaum gefährlich sein. Doppel- oder mehrpolige Erdschlüsse sollten möglichst innert Bruchteilen einer Sekunde weggeschaltet werden. Ausserdem scheint es nach wie vor zweckmässig, Massnahmen zu treffen, um einen möglichst kleinen Teil der Erdungsspannung (Gesamtspannung an der Erdung) in bewohnte Häuser zu verschleppen.

Die gelöschten 50-kV-Netze wären gleich zu behandeln wie die Mittelspannungsnetze, doch sollte man sich rechtzeitig überlegen, ob nicht später der Übergang auf starre oder niederohmige Nullpunkterdung in Frage kommt. Da ja in diesem Fall jeder Erdschluss zum Erdkurzschluss wird, ist eine Begrenzung der Einwirkspannung auf einige hundert Volt bei entsprechend kurzer Abschaltzeit nicht ohne bedeutenden Aufwand möglich. Die Schwierigkeiten ergeben sich oft im sog. Übergangsbereich, d. h. am Rande der Anlagen wo die Erdungsspannung in der Regel auf kurze Distanz rasch abfällt. Metallene Zäune, Wasserleitungen, Beleuchtungsanlagen usw., die in den Übergangsbereich hineingreifen, tragen das hohe Potential nicht selten bis in den neutralen Bereich hinaus und können so zu gefährlichen Zuständen führen. Man ist deshalb versucht, den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit Rechnung zu tragen. Nun ist aber im 50-kV-Bereich die Störanfälligkeit noch nicht so gering, dass mit gutem Gewissen die physiologischen Grenzspannungen vollständig ausser acht gelassen werden könnten. Immerhin scheint es möglich, bis an die Grenze des todesgefährlichen Bereiches zu gehen. Etwas anders verhält es sich bei den Anlagen der Höchstspannungsnetze, die bei uns alle starre Nullpunkterdung aufweisen. Die Störanfälligkeit ist in diesem Bereich gering, weil offenbar die Isolation den atmosphärischen Einwirkungen besser gewachsen ist. Man kann sich deshalb fragen, ob sich der grosse Aufwand zur Absenkung der Einwirkspannung auf die vollständig ungefährlichen Werte noch lohnt. In Deutschland überlegt man sich denn auch bereits, ob nicht überhaupt auf die Festlegung höchst zulässiger Einwirkspannungen verzichtet werden könnte. Es zeigte sich nämlich, dass in starr geerdeten Netzen die Wahrscheinlichkeit eines Todesfalles durch Spannungsdifferenzen an Erdungsanlagegen gegen Null absinkt. Da die Erdungskommission des SEV, die sich gegenwärtig mit der Revision der Erdungsartikel der St. V. befasst, mit den entsprechenden Kommissionen in Deutschland und Österreich in engem Kontakt steht, wird sie sich wohl ebenfalls mit dieser Problematik befassen müssen.

Übrigens hat die Erdungskommission in bezug auf die Erdung der Masten bereits Wahrscheinlichkeitsüberlegungen angestellt. Sie kam zum Schluss, dass nur bei Masten an Orten möglicher grösserer Menschenansamm-

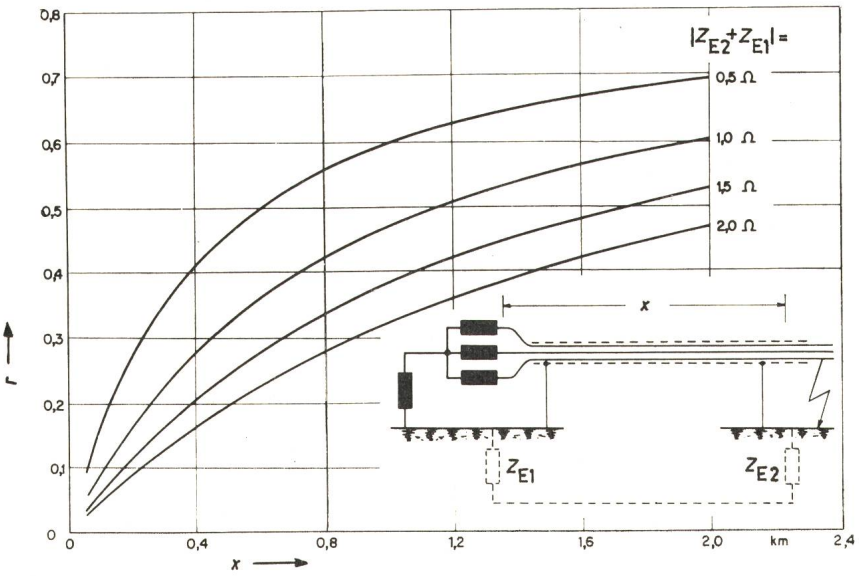

Fig. 2
Reduktionsfaktor eines Mittelspannungskabels
in Abhängigkeit der Kabellänge bei verschiedenen Erdungswiderständen der verbundenen Anlagen
Z_{E1} Erdungswiderstand in der speisenden Anlage; Z_{E2} Erdungswiderstand am Erdschlussort; r Reduktionsfaktor; x Kabellänge zwischen der speisenden Anlage und dem Erdschlussort

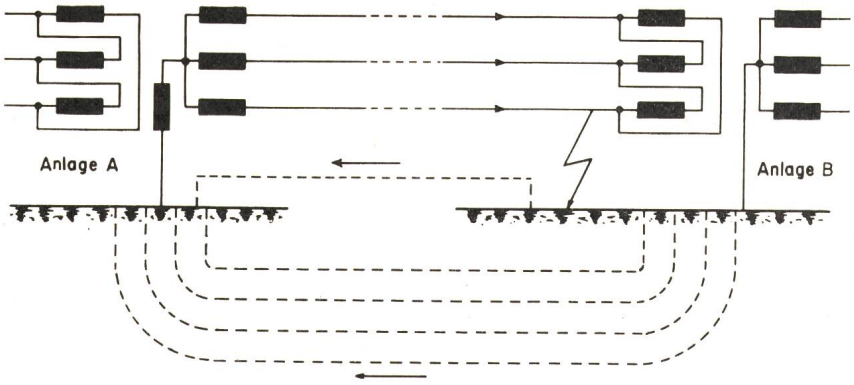

Fig. 3
Stromverlauf im Erdschlussfall
zwischen zwei über Nebenpfade metallisch verbundene Anlagen

lungen Vollschutzmassnahmen zu treffen sind. Nebst einer möglichst wirksamen Erdung kann in solchen Fällen auch die Isolierung um den Mast oder die Überisolierung der Leiterseile in Frage kommen.

Bei Masten in den übrigen besiedelten Gebieten wäre es nach Ansicht der Erdungskommission nur noch nötig, dass spätestens 2 s nach Eintritt eines Erdschlusses die Abschaltung erfolgt und an den im freien Feld stehenden Masten würden an die Erdung überhaupt keine Anforderungen mehr gestellt. Hingegen sollten bei Mastschaltern die Schutzmassnahmen gegenüber der heute üblichen Praxis verstärkt werden. Hier ist insbesondere in den isolierten Mittelspannungsnetzen die Wahrscheinlichkeit von doppelpoligen Erdschlüssen beim Schalten gross.

4. Ausführung der Erdungen

Nach diesen Überlegungen allgemeiner Art stellt sich nun die Frage, wie die beste Wirkung erzielt werden kann. Mit Rücksicht auf die hohen Erdschlußströme in der Grössenordnung von 20...40 kA scheint es auf den ersten Blick aussichtslos, in den starr geerdeten Netzen des oberen Spannungsbereiches eine wirksame Erdung erzielen zu können. Man bedenke aber, dass die Anlagen meist untereinander über Erdseile, Kabelmäntel, Wasserleitungen, Bahngeleise usw. verbunden werden können, wodurch sich eine beträchtliche Entlastung der Erdungen erreichen lässt. Allerdings ist die Verteilung der Ströme nicht so ganz einfach zu überblikken. Die Impedanzen hängen ja nicht nur vom Material und dem Querschnitt der einzelnen Pfade, sondern auch von ihrem Aufbau und von ihrer gegenseitigen Lage ab. Die entlastende Wirkung auf die Erdung wird durch den Reduktionsfaktor der beeinflussenden oder beeinflussten Anlage ausgedrückt. Nach der VDE-Publikation 0228 ist der beeinflussende Reduktionsfaktor als Quotient «Erdrückstrom zu Hauptleiterstromsumme» definiert. In Fig. 2 ist der Reduktionsfaktor eines Mittelspannungs-Kabels (Thermoplast-Kabel mit abgeschirmten Adern) in Abhängigkeit der Kabellänge für verschiedene Erdungswiderstände der beiden eingezeichneten Anlagen wiedergegeben. Die reduzierende Wirkung ist somit bereits bei einem Kabel beträchtlich. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass der Reduktionsfaktor komplexen Grössen Rechnung trägt und sich deshalb mit der Zahl und der Lage der Kabel ändert. Für die Anlage B in Fig. 3 gilt: Erdungsspannung ist gleich dem Reduktionsfaktor mal Erdschlußstrom mal Erdungswiderstand.

Das gegenseitige Vermaschen der Hochspannungsanlagen, vor allem das beidseitige Erden der Kabelmäntel, bringt somit bedeutende Vorteile. Allerdings ist auch mit etwelchen Schwierigkeiten zu rechnen. Bei ungenügender Dimensionierung der Nebenpfade, insbesondere der Kabelmäntel, ist mit thermischen Überbeanspruchungen zu rechnen. Die ersten Resultate von Untersuchungen an Kabelmänteln haben gezeigt, dass kurzzeitig weit höhere Ströme möglich sind, als man oft annimmt. Beispielsweise ertragen die Bleimäntel der üblichen Kabel einige kA während 1 s, die Kupfer- und Aluminiummäntel noch weit mehr. Selbst die sehr dünnen Steuerschirme aus Kupfer sind üblicherweise in der Lage, ohne beschädigt zu werden, Ströme von mehr als 1 kA während 1 s zu führen. Hingegen sind die Überbrückungen zwischen den Kabelarmaturen und den Kabelmänteln und die leitenden Mäntel von Steuerkabeln vielfach zu schwach dimensioniert oder überhaupt nicht vorhanden. Überbeanspruchungen können sich unter Umständen auch durch die während sehr langer Zeit fliessenden kapazitiven Erdschlußströme in isolierten Netzen ergeben, die vielerorts Werte von 200...300 A erreichen.

Oft sind die Hochspannungsanlagen mit Steuer- oder Telephonkabeln verbunden. Ein Punkt des Steuerstrom-Systems liegt in der Regel an der Erdung einer Anlage, so dass bei einem Erdschluss die geerdete Steuerader das Erdpotential in Nachbaranlagen verschleppt. Zwischen den an der Erdung der Nachbaranlagen liegenden Teilen und dem Steuerstromkreis können somit beträchtliche Spannungen auftreteten, die die schwache Isolation der Adern und Steuerspulen beanspruchen. Es fliessen auch kapazitive Ströme, die unter Umständen Steuerempfänger zum Ansprechen bringen. Sofern der Mantel des Steuerkabels beidseitig geerdet ist, ergibt sich diese Spannung allerdings nur aus dem Ohmschen Spannungsabfall des Mantelstromes. Als Abhilfemassnahmen kommen bekanntlich in Frage: reichliche Bemessung der Steuerkabel-Mäntel, Einlegen der Steuerkabel in leitende Kanäle, Einbau von Schutzübertragern usw.

Bei Arbeiten auf den Leitungen zwischen zwei Hochspannungsanlagen ist ebenfalls Vorsicht am Platze. Es ist wichtig, dass sich die Arbeitenden entweder von Erde vollständig und entsprechend der auftretenden Spannung isolieren oder sich auf einer Potentialebene befinden.

Bei den grossen in Frage kommenden Erdschlußströmen ist es trotz der Vermaschung noch nicht ausgeschlossen, dass am Rande oder auch im Innern von elektrischen Anlagen zu starke Potentialdifferenzen auftreten. Hier ist es nun nötig, durch geschickte Verlegung von zusätzlichen Erdern das Spannungsgefälle zu steuern. Dank den Versuchen von *M. Wettstein,* dessen Versuchsresultate im Bulletin des SEV Nr. 2/1951 veröffentlicht wurden, herrscht vollständige Klarheit darüber, wie die Steuererder verlegt werden müssen. Ganz allgemein gilt: engmaschiges nicht tiefliegendes Erdersystem im Innern und am Rande der Anlage und weiter aussen tiefer liegende Erder rund um die Anlage. Da-

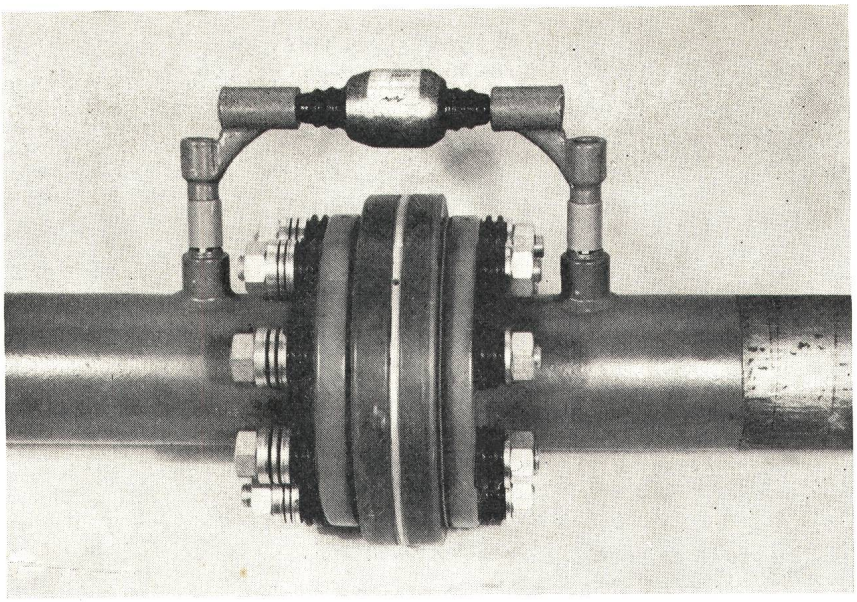

Fig. 4
Isolierstück in Rohrleitung zum Transport von Brenn- und Treibstoffen mit explosionsgeschützter Trennfunkenstrecke
Zur Kontrolle des Isolationswiderstandes ist das Isolierstück zweiteilig gebaut (vgl. Metalleinlage in der Mitte des Isolierstückes)

durch werden bei den zugänglichen Anlageteilen die Berührungsspannungen und davon entfernt die Schrittspannungen abgesenkt.

5. Erdung in Niederspannungsnetzen

Der Grundsatz des Vermaschens sollte auch in den Niederspannungsnetzen gewahrt bleiben. Es ergeben sich dort vielerlei Möglichkeiten, die bis anhin nicht voll ausgenutzt wurden. An erster Stelle stehen nach wie vor die metallenen Wasserleitungen mit überbrückten Rohren. Leider wird ihr Wert für das Erden bei den Wasser- und teilweise auch Elektrizitätsfachleuten noch immer zu wenig erkannt. Die Erdungskommission hat deshalb die Vereinbarung des SEV mit dem Verein der Gas- und Wasserfachmänner (Publ. SEV 4001) überarbeitet und hofft, dass sie unter den Wasserfachleuten inskünftig besser verbreitet und beachtet werde. Ein grösseres Elektrizitätswerk hat bewiesen, dass das Erdungsproblem auch ohne Wasserleitungen aber unter Verwendung armierter Bleikabel zufriedenstellend gelöst werden kann. Es bleiben aber noch andere Möglichkeiten offen: systematisches Verbinden der Schutzleiter in den Hausinstallationen mit den Wasserleitungen, Gasleitungen, Heizungsleitungen, Armierungen und Blitzschutzanlagen, ferner das Einlegen sog. Fundamenterder in oder um die Grundmauern — es handelt sich um einfache Eisenbänder —, die mit den vorerwähnten Metallteilen verbunden werden müssen, also um die Schaffung von Potentialebenen.

Aber auch diese Massnahmen genügen nicht immer, um alle Gefahren auszuschliessen. Insbesondere beim Auftreten von doppelpoligen Erdschlüssen in isolierten oder gelöschten Netzen oder wo sehr schlecht leitendes Erdreich vorhanden ist, wie beispielsweise im Jura oder in den Alpen, ist mit sehr hohen Erdungsspannungen zu rechnen. Dies wäre an und für sich belanglos, wenn alle metallisch miteinander verbundenen zugänglichen Anlageteile wieder spannungssteuernd geschützt sind. Bei den Häusern in ländlichen Gegenden, wo keine metallenen Wasserleitungen vorhanden sind, wird dieser Idealzustand jedoch auch nach Jahren noch nicht vorhanden sein. In Landnetzen, wo die Voraussetzungen für das Vermaschen nicht vorhanden sind, kommt nach wie vor nur die erdungsmässige Trennung des Hochspannungssystems von dem in den neutralen Bereich verlaufenden Niederspannungssystem in Frage. Der Nullpunkt des Niederspannungssystems muss somit ausserhalb des Beeinflussungsbereiches der Anlagenerdung (heute noch Schutzerdung), d. h. wenigstens 20 m vom äussersten Erder der Anlageerdung entfernt, geerdet werden. Um Überkreuzungen der beiden Systeme zu vermeiden, wird vorteilhaft der Nulleiter jeder von der Station wegführenden Niederspannungs-Leitung am ersten oder zweiten Mast geerdet. Damit wird die Verschleppung gefährlich hoher Erdungsspannungen ins Niederspannungsnetz vermieden. Diese Lösung hat allerdings den Nachteil, dass die Niederspannungsanlagen innerhalb des Schutzbereiches der Anlageerdung für die höchstmögliche zwischen den beiden Erdungsarten auftretende Spannung isoliert sein sollte. Es ist dabei mit der verketteten Spannung des Hochspannungssystems oder der Restspannung der Hochspannungs-Überspannungsableiter zu rechnen. Da solche Extremwerte aber

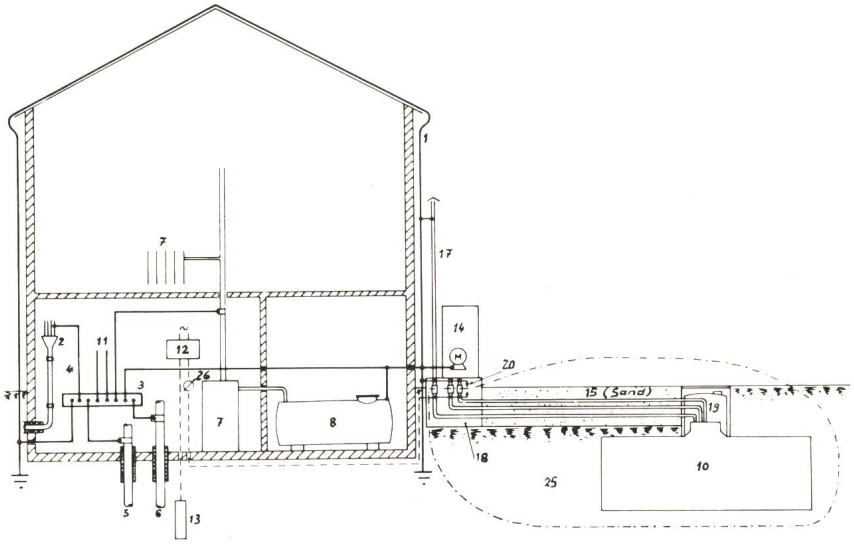

Fig. 5
Beispiel einer Hausinstallation mit Potentialausgleich
Der neben dem Haus unterirdisch verlegte Brennstofftank ist von den metallischen Gebäude- und Installationsteilen isoliert
1 Gebäudeblitzschutz; *2* isoliert eingeführter Netzanschluss; *3* Potentialausgleichstelle; *4* Netznullleiter; *5* isoliert eingeführte Wasserleitung; *6* isoliert eingeführte Gasleitung; *7* Zentralheizung; *8* Öltank im Gebäude; *10* Benzintank im Boden; *11* Verbindung zu Fernmeldeanlagen, Antennen usw.; *12* Gleichrichter; *13* Anode; *14* Benzinsäule; *15* Treibstoffleitung im Schacht; *16* Treibstoffleitung im Boden; *17* Entlüftungsrohr; *18* kleiner Schacht im Boden; *19* Domschacht; *20* Isolierstücke mit Ex-Trennfunkenstrecke; *25* kathodisch geschützte Zone; *26* Messeinrichtung der kathodisch geschützten Zone

Fig. 6
Abgelöster Teil eines Erders aus verbleitem Kupfer

nur selten auftreten, vermögen in der Regel verstärkt isolierte Niederspannungs-Leiter, vorteilhaft Kabel vom Typ Tdc, den auftretenden Spannungen standzuhalten. Untersuchungen in der Materialprüfanstalt des SEV haben ergeben, dass Tdc-Kabel auch nach Jahren der Verlegung Stoßspannungen von mehr als 100 kV, also mehr als die Restspannung bei Nennstrom der 16-kV-Überspannungsableiter, ertragen. Wichtig ist aber, dass in den Stationen die Schalter, Steckdosen, Leuchten und Abzweigdosen von der Unterlage zusätzlich isoliert werden. Die Schutzkontakte der Steckdosen sollen wohl zusammen verbunden, aber weder genullt noch geerdet sein. Vielmehr ist den Steckdosen ein reichlich isolierter Trenntransformator vorzuschalten. In kleineren Anlagen kann die ganze Niederspannungs-Installation durch einen Trenntransformator versorgt werden.

Um den erwähnten Schwierigkeiten auszuweichen, hat man in Deutschland vorgeschlagen, zwischen die Anlageerdung und den Niederspannungs-Systemnullpunkt einen Niederspannungs-Überspannungsableiter zu schalten. Diese Massnahme hat aber den Nachteil, dass ausgerechnet die bei doppelpoligen Erdschlüssen auftretenden hohen Erdungspannungen ins Niederspannungsnetz übertragen werden.

Leider stehen die Massnahmen zum Schutze der Korrosion von Brennstofftanks oder von Erde isolierten Rohrleitungen meist im Gegensatz zu den Vermaschungstendenzen beim Erden. Die Vermaschung widerspricht auch den Bestrebungen, Fremdströme, hauptsächlich Bahnströme, die zu Funkenbildung Anlass geben könnten, von den Tankanlagen fernzuhalten. Bei der Einmündung in Tankanlagen, Schieberstationen usw. sind deshalb Isolierstücke, die besondere Bedingungen erfüllen müssen, in die Rohrleitungen einzubauen. Die Überschlags- und Durchschlagsfestigkeit der Isolierstücke kann jedoch nicht so hoch angesetzt werden, dass in allen Betriebsfällen und vor allem bei Blitzeinschlägen Überschläge ausgeschlossen sind. Zur Schonung der Isolierstrecke sowie zur Vermeidung einer Zündung von Gasen oder leicht brennbaren Flüssigkeiten sind deshalb die Isolierstücke mit leistungsfähigen Trennfunkenstrecken zu versehen (Fig. 4). Befinden sich die Isolierstücke in Explosionszonen, müssen die Funkenstrecken explosionsgeschützt sein.

Will man in den Häusern die systematische Vermaschung durchführen und sich von dem neben dem Gebäude im Erdboden liegenden Brennstofftank isolieren, ergeben sich, wie Fig. 5 zeigt, auf den ersten Blick etwas komplizierte Anlagen. Mit Rücksicht auf die möglichen Schäden durch Explosionen oder durch Korrosion dürfte sich jedoch der Aufwand, der übrigens bei Neuanlagen relativ bescheiden ist, lohnen. Im besondern sei noch darauf hingewiesen, dass Kabel-, Gas- und Wasserleitungen aus Korrosionsschutzgründen von den Armierungseisen zu isolieren sind. Die in Betonmauern liegenden Armierungseisen befinden sich nämlich in der Regel auf einem rund 200...300 mV höheren Potential als die vorerwähnten Leitungen.

Mit der Korrosion im Zusammenhang steht auch die Frage der Materialwahl für Erder. Einerseits soll der im Boden liegende Erder jahrelang haltbar sein und anderseits darf er nicht zur elektrolytischen Korrosion anderer mit ihm in Verbindung stehender Metalle Anlass geben. Die Erdungskommission hat unter Mitwirkung von Korrosionsschutz-Spezialisten Versuche unternommen, die leider noch nicht zu abschliessenden Ergebnissen geführt haben. Selbst verbleites Kupfer, das im Ausland schon in grossem Masse als Erdermaterial verwendet werden soll, vermag nicht zu befriedigen. Wie aus der Fig. 6 gezeigten Probe ersichtlich ist, löst sich unter Einwirkung von Feuchtigkeit die Bleischicht vom Kupfer ab. Man setzt nun neue Hoffnungen in verzinktes Kupfer, das, wie einstweilen Laboratoriumversuche bei der PTT ergeben haben, sich recht gut verhält.

6. Schlussbemerkungen

Ich habe versucht, eine Übersicht über die Probleme zu vermitteln, die gegenwärtig das Starkstrominspektorat und die Erdungskommission des SEV beschäftigen. Der Katalog ist noch unvollständig, stellen sich doch noch zahlreiche Detailfragen, auf die im Rahmen eines Vortrages nicht eingegangen werden kann. Es dürfte aber auch so schon erkenntlich geworden sein, dass die verantwortlichen Instanzen einige mutige Beschlüsse zu fassen haben, um den neuen Ideen zum Durchbruch zu verhelfen.

Literatur

[1] *E. Sprecher:* Untersuchungen über den Erdungswiderstand verschiedener Bodenarten und die Vorausberechnung der Elektroden. Bull. SEV 25(1934)15, S. 397...404.

[2] *M. Wettstein:* Vorausberechnung der Masse, der Form und der Anordnung der Erdelektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen. Bull. SEV 42(1951)2, S. 49...63.

[3] *F. Schwab:* Durch den elektrischen Schlag hervorgerufene gesundheitsschädliche Auswirkungen. Bull. SEV 58(1967)6, S. 263...264.

[4] *R. Hauf:* Gefahren des elektrischen Stromes für Mensch und Tier. ETZ-B 19(1967)10, S. 282...286.

[5] *P. Osypka:* Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier. Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen. Elektromedizin 8(1963)3, S. 153...179 + Nr. 4, S. 193...214.

[6] *H. Stimmer:* Störungs- und Schadenstatistik 1967. Wien, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, 1969.

[7] *E. Kuhnert* und *G. Latzel:* Die Berechnung der Stromverteilung auf Erdseil, Maste und Erdrückleitung bei einpoligen Fehlern in Hochspannungsnetzen mit Sternpunkterdung. Elektrizitätswirtsch. 66(1967)22, S. 684...690.

[8] *J. Bott* und *G. Schröder:* Zulässige Grenztemperaturen der Schirme von Starkstromkabeln bei Kurzschlussbelastung. ETZ-B 21(1969)11, S. 247...254.

[9] *W. E. Hamann:* Thermische Kurzschlussfestigkeit der Kabelmäntel von Starkstromkabeln nach TGL 200 – 1750. Elektrie 23(1969)6, S. 245...255.

[10] *K. H. Feist:* Erfordernisse der Erdung bei Kabeln mit äusserer isolierender Schutzhülle. Elektrizitätswirtsch. 68(1969)11, S. 361...364.

[11] *R. Pichard:* Auswirkungen von Erdkurzschlüssen auf die Niederspannungseinrichtungen ausgedehnter Hochspannungsanlagen. Brown Boveri Mitt. 56(1969)2, S. 89...95.

[12] *E. Homberger:* Das Erden als Schutzmassnahme in Hoch- und Niederspannungsanlagen. Bull. SEV 60(1969)10, S. 436...441.

Adresse des Autors:
E. Homberger, Oberingenieur des Starkstrominspektorates, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.