

Die Entstehung der neuen Erdungsvorschriften

Autor(en): **Meyer, U.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 5

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915367>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Entstehung der neuen Erdungsvorschriften

Von U. Meyer

Bevor wir heute über den Schutz gegen gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen sprechen, möchte ich einen Blick in die Vergangenheit werfen; und zwar in jene Zeit, wo solche Schutzmassnahmen praktisch noch unbekannt und die Anwendung elektrischer Energie mit etwelchen Risiken verbunden war.

Auf den Erfahrungen jener Anfänge jedoch fussen unsere Erkenntnisse, und ich hoffe deshalb, Ihre Aufmerksamkeit nicht übergebürlich zu beanspruchen, wenn ich Ihnen einen Ausschnitt aus einem Rechenschaftsbericht vorlese, in welchem dazumal der Betriebsleiter eines städtischen Elektrizitätswerkes einen beklagenswerten Vorfall seiner Behörde und den Stimmbürgern vorlegte. Er lautet wörtlich:

«Leider können wir hier nicht mit Befriedigung auf das abgelaufene Jahr zurückblicken. Wir haben einen schweren, mit dem Werk in Beziehung stehenden Unfall zu beklagen. Am 26. August 1896, vormittags 11 Uhr, wurde Herr Karl Landolt-Hartmann durch einen elektrischen Schlag in seinem Fabriketablisement getötet. Auf welche Weise er mit dem elektrischen Strom in Berührung kam, konnte genau nicht ermittelt werden; wahrscheinlich berührte er, auf dem feuchten Cementboden stehend, das Eisengestell, auf welchem sein Motor an der Wand befestigt war. Durch eine vielleicht vom Transport herrührende Beschädigung des Transformators, an welchem der Motor des Herrn Landolt angeschlossen war, gelangte der hochgespannte Strom in die Sekundärwicklung, von dieser in die Zuleitung zum Motor, schlug in demselben durch die Wicklung auf das Gehäuse und damit auf die eisernen Träger des Gestells über, und machte von diesem Momente an das Berühren desselben lebensgefährlich. Der Mangel an dem Transformator wurde sofort und von dem amtlich zugezogenen Experten konstatiert und über alle weiteren Verumständlungen eine genaue Untersuchung geführt. Irgend ein persönliches Verschulden könne Niemandem nachgewiesen werden. Die Monteure und der frühere Elektrotechniker, unter dessen Leitung der fragliche Transformator aufgestellt worden war, behaupteten bestimmt, derselbe sei vor der Inbetriebsetzung genau untersucht worden und habe man dabei keinerlei Defekt wahrnehmen können. Es blieb daher nur konstatiert, dass der Unfall die Folge jenes Defekts am Transformator war. Es mag nur noch die Tatsache erwähnt werden, dass an jenem Morgen ein heftiger Sturm wehte, sodass ein Zusammenhang des bedauerlichen Ereignisses mit einer elementaren Einwirkung nicht ausgeschlossen erscheint.

Der Unfall wurde der Versicherungsgesellschaft Winterthur, mit welcher das Werk eine Versicherung zu Gunsten von Drittpersonen abgeschlossen hatte, angezeigt und von dieser der Schaden an die Erbschaft vergütet. Das Werk hatte lediglich die Kosten der Untersuchung und des Anwalts zu bezahlen.

Der beklagenswerte Vorfall hat neuerdings gezeigt, wie dringend notwendig eine ständige, technische Überwachung elektrischer Anlagen ist, und muss man es begrüssen, dass von dem Verband schweiz. Elektrizitätswerke, dessen Gründung in Aarau angeregt und vollzogen wurde, nunmehr ernstlich die Schaffung eines technischen Inspektorates für Elektrizitätswerke, analog dem Dampfkessel-Inspektorate, an die Hand genommen wird.»

Solche und ähnliche Vorfälle erweckten damals allgemeine Bestürzung. Man fürchtete sich vor dem Unbekannten, und es darf deshalb kaum verwundern, dass im April 1898 Stadtpräsident Pestalozzi von Zürich mit Mitunterzeichnern im Nationalrat eine Motion einreichte:

«Der Bundesrat möge Massnahmen zur Verhütung dieser Gefahren ergreifen.»

Man befand sich auch tatsächlich noch im Zeitalter des Experimentierens, und die Erkenntnisse der Ersteller und Betriebsinhaber elektrischer Einrichtungen ruhten oft genug auf unliebsamen Vorkommnissen.

Dem Umstand, dass bei Isolationsfehlern zwischen Apparatgehäuse und Erdboden Spannungen auftreten können, versuchte man vorerst, und das kommt im Bundesratsbeschluss betreffend allgemeine Vorschriften über elektrische Anlagen vom 7. Juli 1899 noch recht deutlich zum Ausdruck, mit dem Naheliegendsten, der Schaffung isolierter Standorte, zu begegnen. An Spannungsverschleppung, wie sie im eben geschilderten Unfall offenbar vorlag, dachte man noch weniger.

Allerdings hatten sich inzwischen die Erfahrungen noch gemehrt, und die Grundlagen zur Schaffung der verlangten gesetzlichen Bestimmungen waren soweit herangereift, dass die beiden Bundeskammern am 24. Juni 1902 das Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen verabschieden konnten; in dessen Folge dann am 14. Februar 1908 die «Vorschriften betreffend Erstellung und Instandhaltung der elektrischen Starkstromanlagen» in Kraft gesetzt wurden. Dieses Vorschriftenbändchen ist der Vorgänger unserer heutigen Starkstromverordnung. Bei dessen Durchsicht stellt man fest, dass zwar immer noch der isolierte Standort im Vordergrund steht, daneben aber doch, wenn auch erst an zweiter Stelle, die Verbindung mit der Erde als Schutzmassnahme anerkannt worden ist.

Im Artikel 11 ist dies wie folgt festgehalten:

«Für Starkstromeinrichtungen mit einer Betriebsspannung über 150 Volt gelten folgende Bestimmungen:

Metallteile, die bei Isolationsdefekten unter Spannung kommen können, dürfen nur von der Betriebsspannung entsprechend von Erde isolierten Standorten aus erreichbar sein, oder sie sind gemäss Artikel 35 und 36, Ziff. 2, an Erde zu legen.»

Im Nachstehenden wird diese Erdung dann als Schutz-erde zur Sicherheit von Personen gegen nicht atmosphärische Elektrizität bezeichnet.

«Sie ist von den Erdleitungen der Blitzschutzapparate für Hoch- als auch für Niederspannung getrennt zu halten.

Sie muss so beschaffen sein, dass zwischen einer von Erde nicht isoliert stehenden Person und dem Handbereich derselben liegenden zu erdenden Gegenstand keine Spannung von über 150 Volt auftreten kann, selbst wenn der letztere in direkter metallischer Verbindung mit einer Leitung steht, die in normalem Betrieb die höchste in der betreffenden Anlage vorkommende Spannung gegen Erde aufweist.

Wenn auch die im eben zitierten Absatz etwas kompliziert ausgedrückte Massnahme verschiedene Fragen noch offenlässt, stellt sie doch den Ausgangspunkt einer neuen Schutztechnik dar.

Trotz der Erkenntnis, dass elektrische Anlagen, die im Fehlerfalle den damit umgehenden Personen gefährlich werden können, eine Einrichtung haben müssen, die eine Gefährdung verhindert, erschien die Erdungstechnik vielen Fachleuten, zumindest anfänglich, uninteressant. Über die jeweils erforderliche Ausdehnung von Erdungsanlagen herrschte vielfach vollendete Unklarheit.

Zugegeben, die Sache war ja nicht einfach mit den verschiedenen unabhängigen Erdungen und Erdelektroden, bei deren Projektierung doch diverse Faktoren berücksichtigt sein wollten.

Und doch zeigte sich je länger je mehr, dass diese Massnahme ein unentbehrliches Mittel darstellt, Leben und Gesundheit von Personen, die mit elektrischen Einrichtungen umzugehen haben, zu schützen.

In die Unsicherheiten über die Bemessungsgrundlagen von Erdungen brachte die neue, heute noch gültige Verordnung über Starkstromanlagen vom 7. Juli 1933 doch einige Klarheit.

Auch hatte man inzwischen aufgrund entstandener Unfälle feststellen müssen, dass die in den alten Vorschriften zugelassene Berührungsspannung von 150 V viel zu hoch angesetzt war.

Mit welcher Kühnheit damalige Experimentatoren vorgehen, um diesbezüglich brauchbare Resultate zu erhalten, geht aus einem Versuchsbericht von Herrn Prof. Dr. H. F. Weber, ehemals Direktor des Physikalischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, hervor, den er für die Herren Brown, Boveri & Cie., Baden, im Jahre 1897 verfasste. In diesem Zeitpunkt versuchte Herr Prof. Weber abzuklären, ob für die Kontaktleitung einer elektrischen Bahn die Verwendung einer Wechselspannung von mehr als 500 V, mit Rücksicht auf die Sicherheit der zu befördernden Personen, zulässig sei. Er stellte dabei fest, dass zuerst die Vorfrage: «Welche Höhe muss eine Wechselstromspannung erreichen, damit sie als für den Menschen gefährlich betrachtet werden darf», zu beantworten ist.

Da bis anhin keine Versuche gemacht worden waren, hat Herr Prof. Weber die Fragestellung zur Veranlassung genommen, Experimente an seiner eigenen Person anzustellen. Dabei ging er so weit, dass er mit benetzten Händen zwei Drähte, die unter einer Wechselspannung von 50 V standen, umfasste. Den Schmerz, den er dabei empfand, und den Vergleich mit den Erfahrungen, die er mit niedrigeren Spannungen gesammelt hatte, liessen es ihn ratsam erscheinen, die Versuche mit feuchten Händen und noch höherer Spannung nicht mehr zu wiederholen. Aus der Versuchsreihe kann auf den recht beträchtlichen Körperstrom von ca. 30 mA geschlossen werden.

Aus ähnlichen Versuchen an Einzelpersonen und Personengruppen, bei denen allerdings nicht mehr mit annähernd ähnlichen Strömen wie beim Weberschen Versuch experimentiert wurde, sowie aus der Auswertung verschiedener Unfälle wurde gefolgert, dass bei 50 V die Grenze zwischen gefährlicher und ungefährlicher Spannung liege. Dieser Wert wurde dann auch in die Starkstromverordnung von 1933 als Spannungsdifferenz zwischen Erdelektrode und Bezugserde (neutrale Erde) aufgenommen. Als Gefahrengrenze hat sich diese Annahme in den letzten 40 Jahren sicher gut bewährt; hingegen ist sie als Mass für die Erdungsspannung heute vielerorts praktisch nicht mehr einhaltbar.

Bei den grossen Ausdehnungen und den heutigen Konzeptionen der Verteilanlagen können auch in isoliert betriebenen Mittelspannungsnetzen ohne weiteres Erdschlußströme von 100 und mehr Ampère auftreten, ganz zu schweigen von den starr geerdeten Hochspannungsnetzen, wo die Erdkurzschlüsse sofort einige tausend Ampère errei-

chen können. Bei solchen Strömen müssten aber die nach der heutigen Starkstromverordnung als Erdungswiderstände bezeichneten Erdungsimpedanzen unwahrscheinlich kleine Werte annehmen, damit die zulässige Erdungsspannung 50 V nicht überschreitet. Zudem brachten neuere experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des elektrischen Stromes auf den Menschen und das Tier sowie die Rekonstruktion von Unfällen und die medizinischen Bemühungen um die Verunglückten noch bessere Erkenntnisse und Anschauungen über diese Gefahren.

Solche und ähnliche Überlegungen und Tatsachen veranlassten den SEV, im August des Jahres 1964 seiner Erdungskommission die Neubearbeitung der Erdungsartikel zu übertragen.

Gemäss einer juristischen Belehrung, die der Kommission zu Beginn der Arbeit erteilt wurde, soll die neue Verordnung keine Erläuterungen mehr enthalten. Es war jedoch von Anfang an klar, dass zu gewissen Punkten erläuternde Texte unvermeidbar sind. Vorgesehen ist deshalb die Herausgabe eines separaten Erläuterungswerkes, das, im Gegensatz zur Starkstromverordnung, nach Bedarf ergänzt oder erweitert werden kann.

Mit diesem Rüstzeug versehen ging die Kommission noch im Oktober gleichen Jahres unbeschwert an die Arbeit, in der Meinung, nach einigen Sitzungen mit einer zukunftsgerichteten Vorschrift dienen zu können. Der Trugschluss zeigte sich aber bald; denn es brauchte doch *einiges*, bis die nicht ganz einfache Materie, auf deren grundlegende Bedeutung einmal mehr hingewiesen werden muss, im schlichten Kleide präsentiert werden konnte. Darf ich deshalb annehmen, dass Sie nichts einwenden werden, wenn ich die Gelegenheit benütze, um den Mitgliedern der Erdungskommission für die grosse, oft zähe Arbeit, die geleistet wurde, einmal offiziell recht herzlich zu danken.

In der Folge wurde der Revisionsentwurf in den Bulletins des SEV Nr. 19 und 20/1971 zur Vernehmlassung ausgeschrieben. Das Einspracheverfahren ist abgeschlossen. Der bereinigte Entwurf soll nächstens nochmals in obgenannter Fachzeitschrift erscheinen. Ob das Eidgenössische Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement (EVED) eine Inkraftsetzung der Erdungsartikel vor der vollständig revidierten Starkstromverordnung als zulässig erachtet, ist noch nicht entschieden. Vom Standpunkt der Erdungsinteressenten aus wäre dies allerdings sehr wünschenswert.

Nach diesem kurzen Rückblick kehren wir in die Gegenwart zurück, um uns mit einigen grundsätzlichen Gedanken, mit denen sich die Erdungskommission bei der Ausarbeitung des Entwurfes auseinandersetzen hatte, zu befassen.

Im Bestreben, die grösstmögliche Sicherheit, bei vernünftigen wirtschaftlichen Aufwendungen, zu erreichen, ist die Erdungskommission durchaus der Ansicht, dass, nebst der Erdung, auch andere Massnahmen angewendet werden können, welche die Wirkung und die Gefahr des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper ausschliessen oder herabmindern. Dies soll bereits aus dem Titel des besagten Entwurfes, der neu mit «Schutzmassnahmen gegen gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen» überschrieben ist, hervorgehen. Dabei wurde an Isolierung, Abschrankung, Steuerung des Spannungsgefälles, Schnellabschaltung und dergleichen gedacht, wobei unter Umständen, zur Errei-

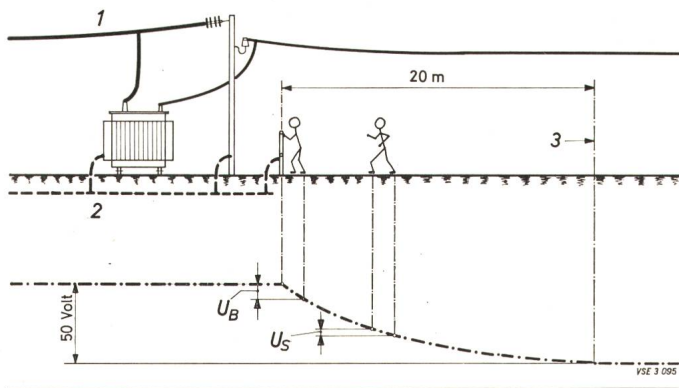


Fig. 1 Zulässige Spannungsdifferenz nach Art. 23 St.V.

- 1 Hochspannungsanlage
- 2 Schutzterdung
- 3 Bezugs Erde
- U_B Berührungsspannung
- U_S Schrittspannung

chung des verlangten Sicherheitsniveaus, auch mehrere Massnahmen gleichzeitig zur Anwendung gelangen können.

Zur bildlichen Darstellung der in der Starkstromverordnung gestellten Forderung der 50-V-Erdungsspannung stellt man sich die fehlerbehaftete Hochspannungsanlage vorteilhaft auf einem oben abgeflachten Spannungsbereich vor, dessen Flanken mehr oder weniger steil gegen die Bezugs Erde hin absinken (Fig. 1). Der flache Gipfel des Spannungsbereiches – wir haben dafür den Namen «Werkbereich» geprägt – wird dadurch gekennzeichnet, dass durch die Vermaschung der Anlagenerdung am Boden praktisch keine Spannungsdifferenzen auftreten; wo hingegen die Steilheit der Flanken oder das Spannungsgefälle von der Form und Anordnung der Erder sowie von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst wird. Ein steiles Gefälle kann unter Umständen von einem Menschen durch Berührung überbrückt werden. Bei einer maximal zulässigen Spannungsdifferenz von 50 V stellt dies jedoch keine Gefährdung dar. Wird hingegen, um den heutigen Verhältnissen Rechnung zu tragen, zwischen Werkbereich und neutraler Erde ein höherer Spannungsunterschied zugelassen (Fig. 2), so bildet sich zwischen diesen bei-

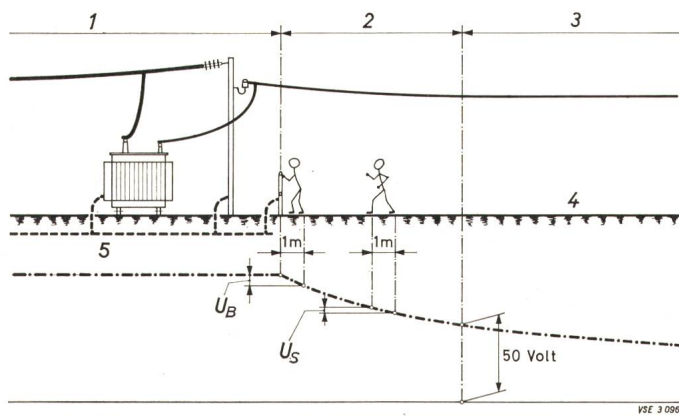


Fig. 2 Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen (lange Einwirkzeiten)

- nach Revisionsentwurf der Erdungsartikel
- 1 Werkbereich
- 2 Übergangsbereich
- 3 Niederspannungsbereich
- 4 Bezugs Erde (Neutrale Erde)
- 5 Anlageerdung
- U_B Berührungsspannung
- U_S Schrittspannung

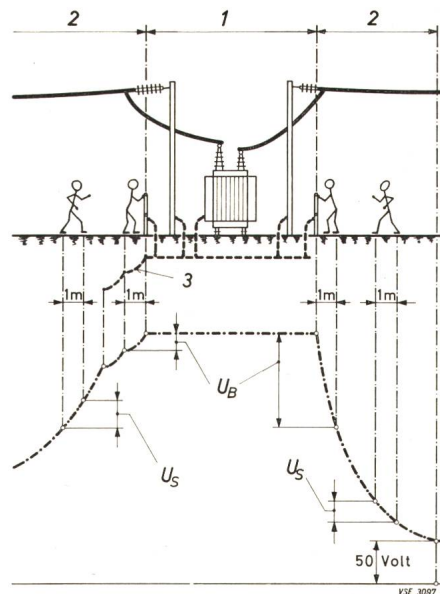


Fig. 3 Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen (kurze Einwirkzeiten)

- nach Revisionsentwurf der Erdungsartikel
- 1 Werkbereich
- 2 Übergangsbereich
- 3 Erder zur Steuerung des Spannungsgefälles
- U_B Berührungsspannung
- U_S Schrittspannung

den Orten eine Zone – in Zukunft mit «Übergangsbereich» bezeichnet –, in der gefährliche Spannungen auftreten können. Das Spannungsgefälle im Übergangsbereich muss demnach so ausgebildet sein (Fig. 3), dass eine Person ein festgelegtes Spannungsmaximum durch Schritt oder Berührung nicht zu überbrücken vermag.

Durch die erhöhte Spannungsdifferenz ist allerdings gegeben, dass metallische Wasser-, Gas- oder andere Leitungen, die den Werk- oder Übergangsbereich durchschneiden, unzulässige Spannungen über den Hochspannungsbereich hinaus zu verschleppen vermögen; wie andererseits auch das Potential der Bezugs Erde durch eine solche Einrichtung in den Hochspannungsbereich hineingetragen werden kann (Fig. 4). Es ist somit auf das Vorhandensein solcher Leitungen zu achten und dafür zu sorgen, dass durch geeignete Massnahmen, z. B. Isolieren, solche Einwirkspannungen vermieden werden.

Über das Mass der Zulässigkeit bzw. die Stromempfindlichkeit des Menschen wurde in den letzten 40 Jahren eine grosse Zahl von Arbeiten veröffentlicht. Anhand der auftretenden physiologischen und psychischen Reaktionen versuchte man, Gesetzmässigkeiten abzuleiten.

Aufgrund seiner Versuche und langjährigen Tätigkeit auf dem Gebiete des elektrischen Unfallgeschehens hat Koepens seine Stromstärkenbereich-Einteilung vorgenommen. Er beschreibt dort die Körperreaktionen in den Strombereichen von 0 bis 25, ab 25 bis 80, ab 80 bis 3000 und über 3000 mA. Diese Einteilung ist anerkannt und verschiedentlich bestätigt worden. Es wurde aber auch festgestellt, dass sie nur bei Einwirkzeiten von einer Sekunde und länger Gültigkeit hat. Einwirkungen kürzerer Dauer erwiesen sich, insbesondere bezüglich des Herzkammerflimmerns, als weniger gefährlich. Damit war die Frage, ob man diesem Umstand in den Schutzbedingungen nicht ebenfalls Rechnung tragen

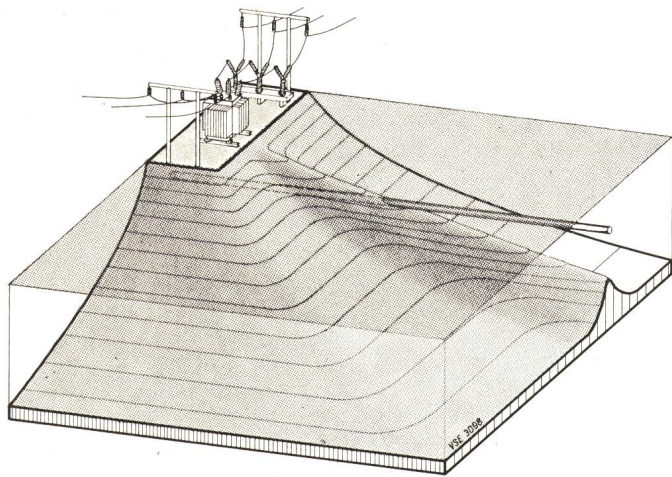


Fig. 4 Spannungsverschleppung durch metallene Leitung im Werk- und Übergangsbereich

könnte und sollte, gestellt. Eingehende Untersuchungen in dieser Richtung wurden durch Herrn Dipl.-Ing. Peter Osypka gemacht und veröffentlicht. Dabei kam er zum Schluss, dass in den Kurzzeitbereichen die Elektrizitätsmenge Q als Kriterium der Flimmerschwelle anzusehen ist, wobei tödliche Folgen mit Ladungen von unter 100 mAs (Scheitelwert) nicht zu erwarten sind. Obwohl bei einer elektrischen Durchströmung des Menschen die Wirkung in erster Linie von der Stromstärke und der Einwirkdauer bestimmt wird, wäre es in der Praxis einfacher, wenn die Berührungsspannung in Abhängigkeit der Einwirkzeit angegeben werden könnte. Hierzu ist die Kenntnis des Körperwiderstandes notwendig. Die vielen diesbezüglichen Messungen, die schon gemacht wurden, zeigen, dass ein Mittelwert von 1000 Ohm zwischen einer Hand und den Füßen einen absolut realen Wert darstellt. Die aus diesen Grössen errechnete Kurve der Effektivspannung zeigt zwischen 0,1 und 1 s folgenden Verlauf (Fig. 5):

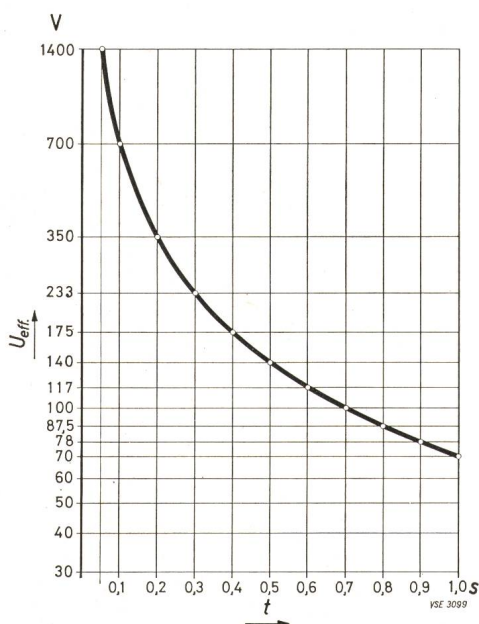


Fig. 5 Grenzkurve nach Osypka der tödlich gefährlichen Spannung als Funktion der Einwirkdauer
Körperwiderstand 1000 Ω

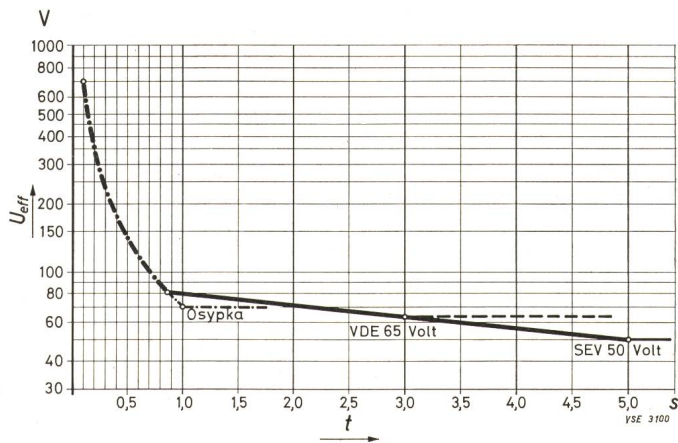


Fig. 6 Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen
Kurve nach E. Homberger

Der Zusammenschluss der nach Osypka aufgezeigten Grenzwerte und unserer 50-V-Spannungsgrenze, unter Einbezug des zulässigen VDE-Wertes von 65 V zu einer Spannungs-Zeit-Kurve, wurde erstmals durch unser beratendes Mitglied, Herrn E. Homberger, Oberingenieur des Eidgenössischen Starkstrominspektorates, verwirklicht (Fig. 6).

Die Erdungskommission erachtet diese Spannungswerte, als von Hochspannungsanlagen herrührende Berührungs- und Schrittspannungen, für zulässig, sofern durch geeignete Massnahmen (z. B. Schnellabschaltung) die massgebenden Einwirkzeiten nicht überschritten werden. Obwohl die Kurve Grenzwerte darstellt, liegt man dennoch auf der sicheren Seite, weil verschiedene gefahrenmindernde Faktoren sich in den Ablauf eines Unfallgeschehens einfügen lassen. Die Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Unfalles lässt sich berechnen aus den statistischen Angaben der Fehlerhäufigkeit einer Anlage, dem Verhältnis zwischen dem für den ungünstigsten Fall festgelegten zum tatsächlichen Fehlerstrom und aus der Zufälligkeit der gleichzeitigen Berührung beim Eintreten eines so kurzzeitigen Ereignisses. Das Resultat einer solchen Betrachtung liefert für einen tödlichen Unfall eine dermassen kleine Wahrscheinlichkeit, dass die Zeitspanne bis zum Eintritt einer derartigen Begebenheit meist grösser ist als die Lebensdauer der Anlage selbst.

Ganz ähnliche Überlegungen lassen sich auch bei der Erdung der Leitungen anstellen.

Vielleicht darf hier noch eingeflochten werden, dass auch unsere deutschen und österreichischen Nachbarn aus ähnlichen Überlegungen an der Bereinigung ihrer Erdungsvorschriften arbeiten. Die Erdungskommission hat deshalb mit der VDE-Kommission 0141 und Vertretern der österreichischen Erdungskommission regen Kontakt und Meinungsaustausch gepflogen. Die Ansichten stimmen heute so gut überein, dass sich die Kommission VDE-0141 ebenfalls entschloss, das Kurvenbild der zulässigen Einwirkspannungen in den Gründruck ihrer neuen Erdungsvorschriften aufzunehmen.

Aus dem Vorgetragenen geht hervor, dass dem Erdungswiderstand bzw. der Erdungsimpedanz, die bekanntlich das betriebsmässige Verhältnis zwischen der Erdungsspannung und dem Erdungsstrom darstellt, nicht mehr die gewohnte Bedeutung zugemessen wird, wie dies in der alten Verord-

nung der Fall war. Viel wesentlicher ist das Spannungsgefälle, das so gesteuert werden muss, dass die Berührungs- und Schrittspannungen unter den in der Kurve angegebenen Grenzwerten bleiben. Dabei darf bemerkt werden, dass zur Bestimmung der Erdungsspannung nur der einpolige Erdschlussstrom in Rechnung zu setzen ist; der doppelpolige Erdschluss bleibt unberücksichtigt.

Auf die Punkte und Massnahmen, die zur Erreichung des geforderten Sicherheitsniveaus beachtet werden müssen, soll an dieser Stelle nur noch zusammenfassend eingetreten werden, weil die Fragen der Anwendung in den noch folgenden Referaten zur näheren Behandlung kommen.

Die Revision des Art. 16 der Starkstromverordnung im Jahre 1943 hat bereits den Zusammenschluss der Schutz- und Betriebserdung gebracht. Obschon letztere dadurch bedeutungslos wurde, gibt der Ausdruck immer noch, zusammen mit Schutzerdung, zu Verwechslungen Anlass. Die Erdungskommission hat deshalb für die Gesamtheit der Schutz- und Betriebserdung den Begriff «Anlagenerdung» eingeführt. Diese Erdung ist für sämtliche im Werkbereich liegenden Hochspannungsanlagen die einzige Erdung. Damit der Werkbereich wirklich eine Potentialebene bildet, ist diese möglichst eng zu vermaschen. (Herr Prof. Dr. Berger berichtete bereits ausführlich in seinem Artikel im SEV-Bulletin Nr. 9/1961 über die Spannungsdifferenzen zwischen unvermaschten und vermaschten Erdleitungen). Diese Vermaschung bedingt, dass alle leitfähigen Anlagenteile, die im Fehlerfall unter Spannung geraten können, miteinander verbunden werden. Dazu gehören auch die zu erdenden Leiter von Niederspannungs- und Schwachstrom-Stromkreisen, sofern sie nur innerhalb des Werkbereiches verlaufen. Die metallenen Umhüllungen von Hochspannungskabeln und die Erdseile von Freileitungen sind ebenfalls mit dieser Erdung zu verbinden.

Durch die letzteren ist wiederum eine Möglichkeit gegeben, die Erdungsspannung der Anlage hinauszutragen. Ist der nächstzugängliche Punkt einer solchen Leitung ein Mast, ein Muffenkasten oder dergleichen, so ist an dieser Stelle die notwendige Anlagenerdung entsprechend auszubilden, dass sie den Anforderungen genügt. Dies kann z. B. durch die Steuerung des Spannungsgefälles erfolgen.

In Wechselstrom-Niederspannungsverteilnetzen ist ein Punkt des Systems, in Drehstromnetzen der Sternpunkt, zu erden. Diese Massnahme dient zur Erreichung definierter Spannungsverhältnisse, um bei Erdschlüssen auf der Niederspannungsseite unzulässige Spannungserhöhungen an den Polleitern gegenüber der Erde auszuschliessen. Sie muss aber auch bei einem möglichen Stromübertritt von der Hochspannungs- auf die Niederspannungsseite einen wirksamen Schutz bieten.

Führen Leitungen solcher Netze über den Werk- bzw. Übergangsbereich hinaus, so sind sie, sofern die Erdungsspannung an der Anlagenerdung nicht dauernd unter 50 V oder unter den erwähnten Kurzzeitwerten gehalten werden kann, über eine Sondererdung zu erden. Ansonst dürfen sie ebenfalls mit der Anlagenerdung verbunden werden.

Der Zusammenschluss ist aber auch dann zulässig, wenn durch ihn die eben erwähnte Forderung an die Anlagenerdung erreicht werden kann. Allerdings sind in diesem Falle in den Hausinstallationen genullter Netze die Nullungs-Erdungsleitung sowie der Potentialausgleich – wir kommen

später nochmals auf diese Begriffe zurück – und in schutzgeerdeten Netzen die letztere Massnahme unerlässlich.

Bei der Erstellung einer Sondererdung ist zu berücksichtigen, dass zwischen dieser und der Anlagenerdung die volle Erdungsspannung auftreten kann. Deshalb sind die Abschnitte der Stromkreise dieses Niederspannungsnetzes, die innerhalb des Hochspannungsbereiches liegen, gegenüber der Anlagenerdung und allen mit ihr verbundenen Teilen für die höchste an der Anlagenerdung zu erwartende Erdungsspannung, mindestens jedoch für 4 kV, zu isolieren. Dies wird durch die räumliche Distanzierung der Niederspannungsinstallationen gegenüber der Anlagenerdung oder durch entsprechende Isolation der Niederspannungsstromkreise im Bereich der Anlagenerdung erreicht.

Als Schutzmassnahme im Niederspannungsverteilnetz selbst ist die Nullung oder Schutzerdung zulässig. Andere Massnahmen, z. B. die Fehlerstromschutzschaltung, können dort angewendet werden, wo, schwieriger Bedingungen wegen, die Nullung oder Schutzerdung nicht genügt. Es ist aber durchaus möglich, dass zur Erreichung eines höheren Sicherheitsgrades die Schutzschaltung, zusammen mit der Schutzerdung oder Nullung, Anwendung findet.

Der zur Nullung dienende Leiter – in Anlehnung an die internationalen Bestrebungen wollen wir ihn PEN-Leiter, den lediglich zur Stromführung dienenden Nulleiter hingegen Neutral-Leiter nennen – ist beim Übergang vom Netz in die Hausinstallation über eine Nullungs-Erdungsleitung zu erden. Mit dieser Verbindung und dem Zusammenschluss ausgedehnter, zusammenhängender Metallrohrleitungen, ausgedehnter Metallkonstruktionen sowie der Gebäude-Blitzschutzanlage wird in der Hausinstallation der bereits erwähnte Potentialausgleich hergestellt. Damit wird im Falle eines Erdschlusses oder PEN-Leiter-Unterbruches die Erdungsspannung klein gehalten und den Schutzleiterüberlastungen an Boilern, Waschmaschinen und dergleichen Einhalt geboten.

Zum Schluss noch einige Worte zur Wahl des Erdermaterials. Bekanntlich können im Erdreich vergrabene Materialien sich gegenseitig beeinflussen und zum Korrodieren veranlassen. Diese unliebsame Erfahrung ist mit dem früher allgemein als Erdermaterial verwendeten Kupfer, zusammen mit eisernen Wasserleitungsrohren und dergleichen, gemacht worden. Die Korrosion ist dabei in erster Linie von der Natur der Metalle und der Art des Elektrolyten (Erdreich) abhängig. Wohl wären Erder aus Kupfer sehr korrosionsbeständig, bedeuten aber für Eisen, Zink und Blei eine zusätzliche Korrosionsgefahr. Diesbezüglich hätte man von Erdern aus verzinktem Eisen weniger zu befürchten; andererseits sind solche Eisenbänder wiederum nicht korrosionsfest.

Die Frage nach einem geeigneten Erdermaterial erging deshalb verschiedentlich an die Erdungskommission.

Bei einem Versuch, der vom 8. Juli 1968 bis 11. Juli 1972 dauerte, wurde auf dem Gelände beim Unterwerk Sulgen, das zu den Verteilanlagen des Elektrizitätswerkes des Kantons Thurgau gehört, die Tauglichkeit diverser Erdermaterialien festgestellt.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich besonders Herrn Direktor Wild für seine Unterstützung, aber auch allen anderen Mitbeteiligten, die zum guten Gelingen der Versuche beigetragen haben, recht herzlich danken. Danken möchte ich auch Herrn Dr. K. Vögtli von der Forschungsstelle der GD-

PTT, dass er die Ergebnisse in einem vorläufigen Bericht zusammenfasste und zu einem Schlussbericht verarbeiten wird.

Ich darf hier, um kurz zu bleiben, das Resultat vorwegnehmen. Von den geprüften Materialien und Materialkombinationen kann nur das Verhalten der verzinkten Kupferbänder als günstig bezeichnet werden. Dieses Erdermaterial ist korrosionsfest, ohne dass es mitverbundene Metalle ungünstig beeinflusst.

Ich hoffe gerne, dass ich mit meiner Einführung gewissermassen Wegbereiter für die folgenden Referate sein durfte, und danke Ihnen für Ihre geschätzte Aufmerksamkeit.

Adresse des Autors:

U. Meyer, Chef der Installationsabteilung der CKW, Präsident der Erdungskommission des SEV, 6002 Luzern.

Die neuen Erdungsvorschriften aus der Sicht des Starkstrominspektorates

Von E. Homberger

1. Verbindlichkeit der neuen Vorschriften

Herr U. Meyer, Vorsitzender der Erdungskommission des SEV, hat in seinem Vortrag bereits darauf hingewiesen, dass der revidierte Abschnitt «Erdung» der eidg. Starkstromverordnung im Bulletin des SEV veröffentlicht und die eingegangenen Einsprachen durch die Erdungskommission des SEV bereinigt worden sind. Da es sich hierbei um Bestimmungen handelt, die der Bundesrat zu erlassen hat, kann das durchgeführte Vernehmlassungsverfahren noch nicht als offiziell gelten. Die neuen Vorschriften sind deshalb noch nicht rechtsgültig. Es stellt sich nun die Frage, ob sie gleichwohl schon angewendet werden könnten.

Beim genauen Vergleich des vorliegenden Revisionsentwurfes mit den heutigen Erdungsbestimmungen kann festgestellt werden, dass nur wenig Grundsätzliches geändert worden ist, hingegen eine wesentliche Klarstellung stattgefunden hat. Aus einer kleinen Auswahl von Beispielen erkennt man diese Tatsache nur allzu deutlich: Art. 13, Ziff. 1, der heutigen Erdungsbestimmungen lautet:

«Die Schutzerdung soll verhindern, dass bei allfälligem Stromübertritt auf Anlageteile, die normalerweise spannungslos sind oder unter gefährlicher Spannung stehen, gefährliche Span-

nungen auftreten können zwischen diesen und benachbarten andern leitenden Teilen, die sich in Hand- und Fussreichweite befinden und normalerweise ebenfalls spannungslos sind.»

Danach sollen beim Auftreten eines Erdschlusses «Berührungs- und Schrittspannungen» an der Erdoberfläche verhindert werden. Die Bezeichnung «Berührungsspannung» ist jedoch nirgends zu finden, und der Ausdruck «Schrittspannung» ist lediglich in den Erläuterungen zum Art. 13 erwähnt. Nun heisst es aber im Art. 23, Ziff. 1, der gegenwärtigen Bestimmungen:

«Der Erdungswiderstand für jeden m^2 der nach Art. 22 minimal verlangten wirksamen Erdelektrodenoberfläche muss so klein sein, dass der einpolige Erdschlußstrom keine grössere Spannungsdifferenz als 50 V zwischen der Zuleitung zur Erdelektrode und der Erde hervorruft. Dabei ist jedoch stets mit mindestens 5 A Erdschlußstrom zu rechnen.»

Hier wird nun gefordert, dass die Gesamtspannung zwischen der Zuleitung zu den Erdern (Erdelektroden) und der neutralen Erde, also die *Erderspannung*, den Wert von 50 V nicht überschreiten dürfe. Da indessen die Berührungs- und Schrittspannungen nur einen Teilbetrag der Erderspannung