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

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 5

Artikel: Die neuen Erdungsvorschriften aus der Sicht des Starkstrominspektorates

Autor: Homberger, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915368

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: 11.07.2025

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

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 Spannungen 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 m² 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

ausmachen, besteht also ein offensichtlicher Widerspruch zum Art. 13. Bei der Durchsicht der Erläuterungen kann man annehmen, dass sich der Art. 13 eher auf Kraft- und Unterwerke, der Art. 23 hingegen eher auf Ortstransformatorenstationen bezieht. Offenbar zeigten sich schon damals in den dreissiger Jahren, als die Erdungsbestimmungen bearbeitet wurden, Schwierigkeiten, in den Hochspannungsanlagen höherer Ordnung die bei Erdschlüssen an den Erdungen auftretenden Spanungen zu beherrschen. Hingegen schien es leicht, in den Mittelspannungsnetzen mit vorwiegend isoliertem Sternpunkt die notwendige Sicherheit zu erreichen. Man wagte jedoch nicht, klare und eindeutige Verhältnisse zu schaffen.

Demgegenüber legt nun der Entwurf eindeutig fest, dass im Bereiche aller Wechselstrom-Hochspannungsanlagen die Berührungs- und Schrittspannung während unbegrenzter Zeit 50 V und kurzzeitig die in einer Kurve festgehaltenen Werte nicht überschreiten darf. Die Begriffe wurden eindeutig festgelegt, so dass kein Zweifel mehr besteht, wie die Erdungsanlagen zu disponieren sind. Neu ist allerdings, dass die zulässigen Berührungs- und Schrittspannungen sich nach Massgabe der Einwirkzeit ändern. Auf diese Neuerung werde ich noch zurückkommen.

Der Entwurf strebt eine starke Vermaschung der Erdungseinrichtungen in den Hochspannungsanlagen an. Dieser Grundsatz wurde zwar im Art. 16 der heutigen Verordnung bei seiner Neufassung im Jahre 1943 ebenfalls angedeutet, aber nicht in die übrigen Artikel übernommen. Der Zusammenschluss aller Metallteile einer Anlage, die in irgendeiner Weise mit Erde in Verbindung stehen, hat den grossen Vorteil, dass Potentialdifferenzen innerhalb einer Anlage weitgehend vermieden und die Gesamtspannung an der Erdung, also die *Erdungsspannung* und nicht nur wie heute die Erderspannung, stark heruntergesetzt wird. Die mehrfache Verbindung der Metallteile einer Station mit der Erdungsanlage führt auch dazu, dass bei Blitzeinschlägen in die Leitungen und Stationen keine gefährlichen Spannungen auftreten.

Die verschiedenen Unklarheiten der heutigen Vorschriften nötigten das Starkstrominspektorat seinerzeit, eine Klarstellung herauszugeben. Die entsprechende Veröffentlichung von F. Sibler:

«Schutz-, Betriebs- und Sondererdungen als Schutzmassnahmen in den elektrischen Erzeugungs- und Verteilanlagen»,

die im Bulletin des SEV, Jg. 1948, Nr. 3, erschienen ist, bildete während Jahren die richtunggebende Wegleitung für die Erstellung der Erdungsanlagen in der Schweiz.

Der nun vorliegende Entwurf der Erdungskommission des SEV, der der Entwicklung der Technik Rechnung trägt, löst die erwähnte Wegleitung ab. Er darf als moderne Erläuterung der heute noch gültigen Erdungsbestimmungen gelten und deshalb bereits angewendet werden.

2. Die zulässigen Berührungs- und Schrittspannungen

Wie bereits erwähnt, sind bei Kurzzeiteinwirkungen bedeutend höhere Berührungs- und Schrittspannungen zulässig als bei Langzeiteinwirkungen. Diese Neuerung beruht auf Untersuchungen, die verschiedene Forscher, insbesondere Osypka, in den vergangenen Jahren angestellt haben. Mit dem gleichen Problem hat sich auch eine Arbeitsgruppe der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) befasst. Sie kam ebenfalls zum Schluss, dass bei kurzen Einwirkzeiten die zulässigen Einwirkspannungen auf den Menschen erhöht werden können. Die im erwähnten Kurvenblatt aufgeführten zulässigen Werte mit Einwirkzeiten von 1 bis 5 s gelten als ungefährlich im Sinne der Empfehlungen der Arbeitsgruppe. Im Bereich von 0,1 bis 1 s dürfen die im Kurvenblatt festgelegten Werte hingegen nicht mehr als vollständig ungefährlich, mindestens aber nicht als harmlos angesehen werden. Die Kurve grenzt nämlich den wahrscheinlichen Bereich vom seltenen Bereich des Auftretens vom lebensgefährlichen Herzkammerflimmern ab. Sie enthält somit keinerlei Sicherheit. Es darf deshalb auch nicht mit den Kurvenwerten am Menschen experimentiert werden. Dass die Erdungskommission des SEV gleichwohl dermassen hohe Einwirkspannungen als zulässig erachtet, hat folgende Gründe:

Für die Bemessung einer Anlagenerdung ist der höchstmögliche einpolige Erdschlußstrom zu verwenden. Der höchste Erdschlußstrom wird indessen in Netzen mit geerdetem Nullpunkt nur äusserst selten auftreten. Bekanntlich gibt es verschiedene Gründe, weshalb der theoretisch berechnete höchste Erdschlußstrom meist auf niedrigere Werte begrenzt bleibt. Auf Grund der Erfahrungen und ausländischen Statistiken ist die Zahl der Erdschlüsse ausserdem äusserst gering. Da ja der kritische Bereich auf die Dauer von 1 s beschränkt bleibt, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich Personen Berührungs- oder Schrittspannungen aussetzen, ebenfalls sehr klein. Diese geringe sogenannte Anwesenheitswahrscheinlichkeit ist insbesondere dadurch begründet, dass Unterstationen und Kraftwerke, wo am ehesten vom Kurvenblatt Gebrauch gemacht werden dürfte, sich ausserhalb der Wohngebiete befinden. Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit wird also bei Anwendung der Kurve niemand verunfallen.

3. Die Rolle des Erdungswiderstandes

Die heute gültigen Erdungsbestimmungen legen besonders Gewicht auf höchstzulässige Erderwiderstände (Widerstand zwischen der Erderzuleitung und der neutralen Erde). Im Entwurf der Erdungskommission legt man hingegen, wie bereits erwähnt, das Hauptgewicht auf die Berührungs- und Schrittspannungen. Der Erderwiderstand spielt eine untergeordnete Rolle. Neu ist allerdings in den Begriffserklärungen die «Erdungsimpedanz» eingeführt worden, die sich als Quotient der Spannung von neutraler Erde zur Gesamtheit der geerdeten Anlageteile und dem einpoligen Erdschlußstrom ergibt. Wie Ihnen Herr Meister noch näher darlegen wird, weisen die einzelnen Komponenten des Erdschlußstromes ungleiche Richtungen auf, weshalb es gerechtfertigt ist, von einer Impedanz zu sprechen.

Vielfach hat auch die Erdungsimpedanz eine sekundäre Bedeutung. Durch den Zusammenschluss aller mit Erde in Verbindung stehender Teile einer Anlage, also der Erder, der Armierungen, der metallenen Gerüste, der Erdseile, der Kabelmäntel ankommender Leitungen usw., kann die Erdungsimpedanz so kleine Werte annehmen, dass das Produkt aus Erdungsimpedanz und einpoligem Erdschlußstrom den zulässigen Dauerwert von 50 V nicht überschreitet. Unter diesen Umständen ist für die von einer Hochspannungsanlage in

den neutralen Bereich wegführende Niederspannungsleitung keine Sondererdung mehr nötig. Die Kenntnis der Erdungsimpedanz ist hingegen zur Beurteilung der Frage nötig, ob allfällig von einer Hochspannungsanlage ausgehende, durch den neutralen Bereich führende Steuer-, Signal- und Telephonleitungen spannungsmässig nicht überbeansprucht werden. Das gleiche gilt auch für isolierte Rohrleitungen, die einen Erdungspotentialberg durchlaufen.

4. Erdung von elektrisch leitenden Leitungsmasten

Art. 107 der bestehenden Starkstromverordnung verlangt, dass bei günstigen Verhältnissen der Erdungswiderstand der Erdelektroden einzelner Hochspannungsmasten 20 Ohm nicht übersteigen darf. Bei Hochspannungsleitungen mit einem Erdseil darf der Erdungswiderstand aller parallel geschalteten Erdelektroden 20 Ohm nicht überschreiten. Hingegen wird die Erdung von leitenden Masten der Niederspannungsleitungen nicht gefordert.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, dass ausgerechnet an den Masten der Niederspannungsleitungen, die oft nicht geerdet sind, sich gelegentlich Unfälle, selbst mit tödlichem Ausgang, ereignen. Hingegen werden durch Erdschlüsse an Hochspannungsmasten praktisch nie Unfälle registriert, obschon nachgewiesenermassen trotz der Erdung mit einem Widerstand von 20 Ohm äusserst hohe, sehr gefährliche Berührungsspannungen auftreten können. Der Grund dieser Feststellung liegt wiederum in der Wahrscheinlichkeit begründet.

An Niederspannungsleitungen treten weit häufiger Isolationsdefekte auf als an Hochspannungsleitungen, weil sie meist an exponierteren Stellen stehen als Hochspannungsmaste. Ausserdem ist die Zahl der Niederspannungsmasten bedeutend höher als jene der Hochspannungsmasten. Die Niederspannungsmasten stehen zahlreich an Strassen und Wegen, weshalb auch die Anwesenheitswahrscheinlichkeit grösser ist.

Bei den Masten von Hochspannungsleitungen ist es hingegen so, dass sie an Orten grösserer Menschenansammlungen gemäss Art. 111 der St.V. überhaupt vermieden werden sollten. Die Grosszahl der Masten von Hochspannungsleitungen steht im freien Feld, wo sie nur äusserst selten berührt werden.

Auf Grund der deutschen und österreichischen Störungsstatistik nimmt die Zahl der Erdschlüsse mit zunehmender Betriebsspannung der Leitungen ab. Bei den Höchstspannungsleitungen ist mit etwa 2 oder 3 Erdschlüssen pro Jahr und 100 km Leitungslänge zu rechnen. Zieht man die grossen Spannweiten in Betracht, so erkennt man die kleine Störungswahrscheinlichkeit pro Mast. Da, wie erwähnt, auch die Anwesenheitswahrscheinlichkeit klein ist, dürfte es im Mittel mehrere tausend Jahre dauern, bis an einem Hochspannungsmast ein Unfall eintritt.

Auf Grund dieser Feststellungen und Überlegungen erachtet es die Erdungskommission des SEV als notwendig, alle leitenden Masten von Niederspannungsleitungen so zu erden, dass die im Art. 26 der St.V. festgelegten «Nullungsbedingungen» erfüllt sind. Hingegen sieht der Entwurf keine Bedingungen mehr vor für die Erdung von Hochspannungsmasten, die auf freiem Feld stehen. Eine Ausnahme bilden natürlich die Masten mit einem Schalterantrieb, wo am Bedienungsstandort die vorgeschriebenen Berührungs- und Schrittspannungen eingehalten werden müssen. Das gleiche gilt auch für die Erdungen der wenigen Masten, die an Orten möglicher Menschenansammlungen stehen. Bei Masten in der Umgebung von Wohnbauten und an Verkehrswegen dürfen Berührungs- und Schrittspannungen höchstens 2 s bestehen bleiben, wenn sie die zulässigen Werte überschreiten.

5. Anlagenerdung Sondererdung

Da, wie bereits dargelegt, nach dem Entwurf nur noch die Berührungs- und Schrittspannungen massgebend sind, muss auch die Auffassung über die Verlegungsart der Erder grundlegend ändern. Es hat wenig Sinn, Band- oder Pfahlerder von der Hochspannungsanlage entfernt in sogenannt gutleitendes Erdreich zu verlegen. Wenn schon zum vornherein Gewissheit besteht, dass die Erdungsspannung höher wird als die zulässigen Werte der Berührungs- und Schrittspannungen, so sind die Erdelektroden «spannungssteuernd» um die Hochspannungsanlage herum zu verlegen. Wie eine spannungssteuernde Wirkung erreicht werden kann, ist aus dem im Bulletin des SEV, Jg. 1951, Nr. 2, erschienenen Artikel von M. Wettstein:

«Vorausberechnung der Masse, der Form und der Anordnung der Erdelektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen»,

ersichtlich.

Wie schon einmal erwähnt, sind Sondererdungen für wegführende Niederspannungsleitungen nur dort notwendig, wo die Erdungsspannung höhere Werte erreicht als die zulässigen Berührungs- und Schrittspannungen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Erdungsspannung an der Anlagenerdung ganz wesentlich abgesenkt werden kann, wenn die Nulleiter und die metallenen Kabelmäntel der Niederspannungsnetze mit der Anlagenerdung verbunden werden. Die Absenkung darf jedoch nicht von den eigentlichen Hausinstallationen ausgehen, sonst könnte es vorkommen, dass durch einen hohen, von einem Hochspannungssystem herrührenden Erdschlußstrom Hausinstallations-Schutzleiter mit kleinem Querschnitt abschmelzen. Die inskünftig notwendig werdenden Erdungen des Nulleiters bei jeder Hauseinführung in genullten Netzen werden nicht zu den Hausinstallationen gehörend betrachtet.

Sondererdungen werden also inskünftig nur noch in abgelegenen Gegenden, vorab in der Alpen- und Jurazone, notwendig sein. Es darf jedoch nirgends ohne Voruntersuchung der Verhältnisse auf eine Sondererdung verzichtet werden. Auf die Besonderheiten in städtischen Verhältnissen wird Herr W. Meier noch zurückkommen.

6. Kontrolle der Erdungen

Da man den Erdungswiderständen keine Bedeutung mehr beimisst, ist die Messung dieser Widerstände sinnlos geworden. Vielmehr ist es nötig, Berührungs- und Schrittspannungen an der Gesamtheit der Erdungsanlage zu untersuchen. Richtigerweise sollte zur Kontrolle der Erdungsanlagen ein künstlicher Erdschluss eingeleitet werden. Zur Vermeidung von Betriebsstörungen ist hierzu eine unabhängige Spannungsquelle erforderlich.

Um einwandfreie Resultate zu erhalten, sollte der Erdschluss-Meßstrom aus einer Entfernung von mehreren 100 m durch das Erdreich der zu überprüfenden Erdungsanlage zugeleitet werden. Eine solche Forderung ist selbstverständlich mit einem riesigen Aufwand verbunden, der nur bei Grossanlagen, die sich nicht leicht überblicken lassen,

verantwortet werden kann. Bei Ortstransformatorenstationen genügt es hingegen meist, die bis jetzt bekannte Widerstandsmessmethode beizubehalten und die gemessenen Widerstandswerte mit dem höchsten zu erwartenden einpoligen Erdschlußstrom zu multiplizieren. Bei einer solchen Messung sind die Erder nicht mehr von der Anlage abzutrennen. Übersteigt die mittels einer solchen Messung erhaltene Erdungsspannung die zulässigen Werte der Berührungs- und Schrittspannungen, so ist in der ungünstigsten Richtung das Widerstandsgefälle zwischen der zu schützenden Anlage und der neutralen Erde zu bestimmen. Daraus lässt sich nun leicht errechnen, ob die zulässigen Berührungs- und Schrittspannungen tatsächlich überschritten werden.

Nach Art. 31 des Entwurfes hat die Kontrolle nach einer vom Starkstrominspektorat genehmigten Methode zu erfolgen. Man wollte damit den Elektrizitätswerken ermöglichen, die ihnen am zweckmässigsten erscheinende Möglichkeit anzuwenden. Es hat sich nun aber gezeigt, dass die meisten Elektrizitätswerke es vorziehen, die Kontrollen nach einer vom Starkstrominspektorat zum vornherein bestimmten Methode auszuführen. Das Starkstrominspektorat ist gegenwärtig daran, für alle Arten von Anlagen die möglichen Messmethoden zu prüfen, so dass es in absehbarer Zeit geeignete Richtlinien herausgeben kann.

7. Schlussbemerkung

Der vorliegende Entwurf bildet eine ausgezeichnete Grundlage, um die Erdungsanlagen elektrischer Einrichtungen nach modernen, zweckmässigen Gesichtspunkten erstellen zu können. Ich befürworte die Anwendung der neuen Bestimmungen sehr. Dadurch werden saubere Verhältnisse und bedeutend sicherere Zustände als bis anhin geschaffen. Es muss lediglich darauf geachtet werden, dass man die alten und die neuen Ausführungsarten nicht miteinander vermischt.

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