

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 41 (1950)
Heft: 19

Artikel: Tötung zweier Pferde durch Schrittspannungen
Autor: Brentani, D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061275>

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: 03.04.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Tötung zweier Pferde durch Schrittspannungen

Mitgeteilt vom Starkstrominspektorat (D. Brentani)

614.825

Am Beispiel eines Starkstrom-Unfalls, bei dem zwei Pferde durch zu grosse Schrittspannungen getötet wurden, wird nach eingehender Untersuchung der Ursache gezeigt, wie wichtig es ist, die in § 17 der Hausinstallationsvorschriften des SEV aufgestellten Bedingungen für das Verhältnis zwischen den Widerständen der Schutz- und der Sondererdung genau zu befolgen. Die Messungen am Unfallort und ihre Auswertung geben Anlass zu ausführlichen Erläuterungen über die das Gebiet der Erdung und Nullung in elektrischen Verbraucheranlagen betreffenden Bestimmungen der eidgenössischen Starkstrom-Verordnung und der Hausinstallationsvorschriften des SEV.

Après avoir décrit un accident dû au courant fort et qui provoqua la mort de deux chevaux par une tension de pas trop élevée, l'auteur examine en détail les causes de cette électrocution et montre combien il importe d'observer strictement les dispositions relatives au rapport entre les résistances des terres de protection et des terres séparées, conformément à ce qui est spécifié dans le § 17 des Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures. Les mesures effectuées à l'endroit de cet accident et leur examen donnent lieu à un commentaire détaillé des dispositions de l'Ordonnance fédérale sur les installations électriques à fort courant, relatives au domaine de la mise à la terre directe et par le neutre dans les installations des abonnés, ainsi que des Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures.

Vorgang und Befund am Unfallort

Am Morgen des 6. Januars 1950 überschritt ein Gespann aus 2 Pferden einen Feldweg, welcher längs der Scheune einer Liegenschaft verläuft. Plötzlich bäumten sich beide Pferde mehrere Male auf und fielen dann leblos auf den Weg. Das energieliefernde Werk stellte fest, dass die Pferde durch Einwirkung von Schrittspannungen getötet worden waren, und meldete den Unfall dem Starkstrominspektorat. Die Untersuchung an Ort und Stelle ergab einwandfrei, dass an der Erdoberfläche bedeutende Spannungsdifferenzen vorhanden waren. Diese Schrittspannungen, die für Tiere besonders gefährlich sind, wurden durch einen Erdschluss in einer transportablen Motorinstallation mit Schutzerdung an eine Plattenelektrode hervorgerufen. Das Widerstandsverhältnis der Sondererdung (Sternpunkterde am Transformator) zur Schutzerde des Motors (Objekterdung) war ungünstig.

Ergebnisse der Untersuchungen des Starkstrominspektorates

Das Starkstrominspektorat veröffentlicht hier die Ergebnisse seiner Untersuchungen, da dieser Unfall die grosse Bedeutung richtiger Erdungen beweist, und den Zusammenhang zwischen der Schutzerdung der Apparate bei den Abonnenten und der Sondererdung für den Niederspannungsternpunkt in der Transformatorstation bei einem Erdschluss zeigt.

Die Lage am Unfallort

Die in Frage kommende Scheune erhält die elektrische Energie aus einem 220/380-V-Verteilnetz. Der Niederspannungsternpunkt ist nach Art. 26 der Starkstromverordnung (StV) in der Transformatorstation direkt an Erde gelegt (Sondererdung). Die Spannung der Polleiter gegen

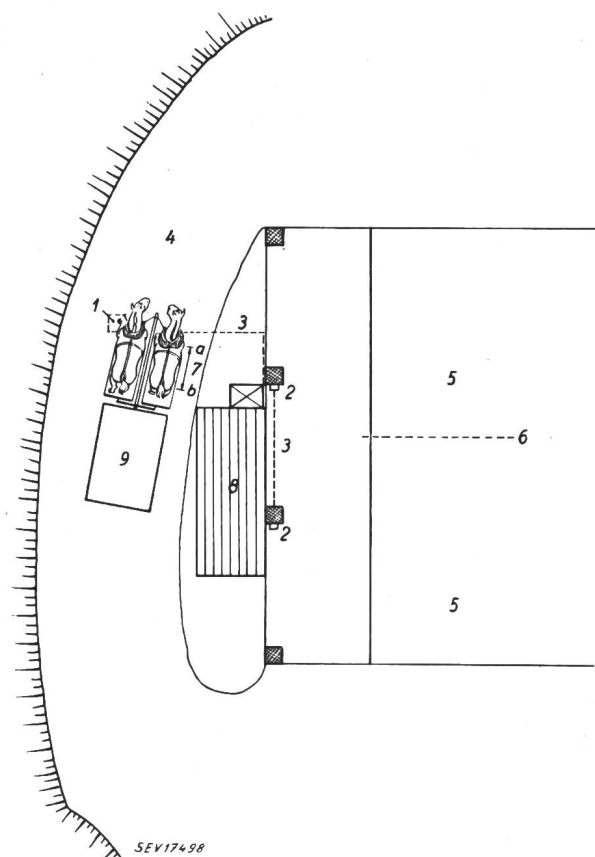


Fig. 1

Skizze über die Unfallsituation

- 1 Schutzerdplatte für die Steckdosen
- 2 Dreipolige 380-V-Wandsteckdosen mit Erdkontakt
- 3 Gemeinsame Schutzerdleitung
- 4 Feldweg
- 5 Scheune
- 6 Privatwasserleitung in der Scheune
- 7 Schrittweite von 1,5 m der Pferde
- a, b, Punkte, zwischen denen die Schrittspannung von etwa 60 V auftrat
- 8 Jauchegrube
- 9 Wagen mit zwei Zugpferden

Erde beträgt daher im normalen Betriebszustand 220 V. Als Schutzmassnahme gegen gefährliche Berührungsspannungen ist die in Ziffer 1 von § 17 der Hausinstallationsvorschriften (HV) des SEV unter b) erwähnte Schutzerdung angewendet, d. h. die Apparategehäuse der Energieverbraucher, für welche Schutzmassnahmen zu treffen sind, wurden an Erdplatten angeschlossen.

Fig. 1 zeigt die Lage der Schutzerdplatte beim Abonnement und den mutmasslichen Standort des zweipferdigen Gespannes beim Unfall. Die Scheune besitzt zwei dreipolige 380-V-Wandsteckdosen mit Erdkontakten. Diese sind durch einen blanken Kupferdraht mit der gemeinsamen Erdplatte (Schutzerdung) verbunden. Am Unfalltag war der fahrbare Motor an einer dieser Wandsteckdosen durch zwei vieradrige Kabel angeschlossen, die durch einen Kupplungssteckkontakt verbunden

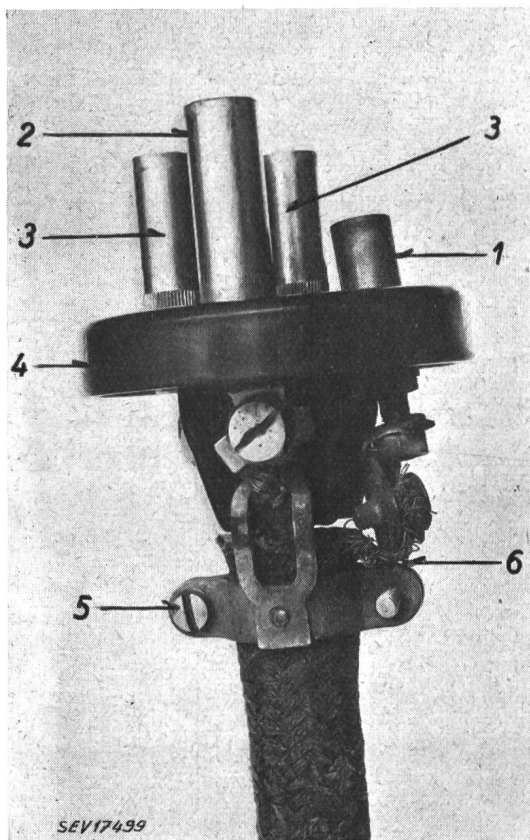


Fig. 2

Kupplungssteckdose, an welcher sich der Isolationsfehler ereignete (ohne Schutzdeckel)

- 1 Kontakthülse, die sich infolge Verkohlens von der Befestigungsplatte 4 löst
- 2 Kontakthülse des Erdkontaktstiftes, die die Verbindung mit der Schutzerdung herstellt
- 3 Unversehrte Polleiterhülse
- 4 Befestigungsplatte aus Isoliermaterial
- 5 Zugentlastungsbrücke, die mit dem Erdkontakt verbunden ist
- 6 Berührungsstelle zwischen Polleiter und geerdeter Zugentlastungsbrücke; Fehlerstelle

waren. In der Kupplungssteckdose kam der Isolationsfehler zwischen einem Polleiter und dem Erdleiter zustande (Fig. 2). Infolge Erwärmung durch schlechten Kontakt löste sich nämlich eine Polleiterhülse von der Platte, auf der sie befestigt war. Beim Zusammenkuppeln der Steckdose mit

dem Stecker des Motorkabels wurde diese Hülse zurückgeschoben und berührte die mit der Erdleitung verbundene Festhaltebrücke des Kabels.

Der elektrische Stromkreis

Aus dem Schema (Fig. 3) ist die Bahn des Fehlerstromes ersichtlich. Der Ausbreitungswiderstand der im Erdschlußstromkreis liegenden Objekt-erdung betrug 12Ω , jener der Summe aller Nullleitererdungen $2,5 \Omega$. Der Erdungswiderstand der vom Netz abgetrennten Sondererdung in der Transformatorstation wurde zu rund 34Ω ermittelt.

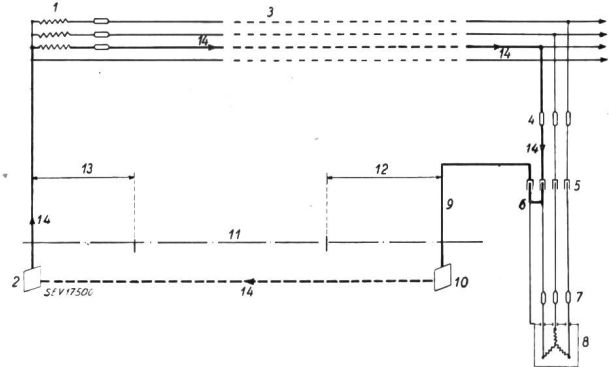


Fig. 3

Der elektrische Stromkreis am Unfallort

- 1 Transformator mit Wicklung für 220/380 V
- 2 Sondererdung ($2,5$ bzw. 34Ω) des Transformator-Sternpunktes
- 3 Freileitungsnetz
- 4 Einführungsicherungen (25 A) der Installation
- 5 Kupplungssteckdose Fig. 2
- 6 Fehlerort (Erdschlußstelle)
- 7 Motorsicherungen (15 A)
- 8 Fahrbarer 380-V-Motor mit schutzgeerdetem Gehäuse
- 9 Erdleitung aus nacktem Kupferdraht
- 10 Schutzerdplatte für die Motor-Steckdose (12Ω)
- 11 Erdboden
- 12 Spannungsdifferenz zwischen der Erdplatte und einer Sonde in rund 20 m Entfernung (185 V gemessen bei der ersten Untersuchung) (193 V berechnet bei der zweiten Untersuchung)
- 13 Spannungsdifferenz zwischen der Sondererdung und einer Sonde in rund 20 m Entfernung (38 V berechnet bei der ersten Untersuchung) (27 V berechnet bei der zweiten Untersuchung)
- 14 Fehlerstrom

Wir betrachten zunächst den Fehlerstromkreis. Dieser wird durch die Transformatorenwicklung, die Freileitung und einen Teil der Hausinstallation, wo sich der Isolationsfehler ereignete, sowie schliesslich durch die beiden Erdungsstellen gebildet. Der Fehlerstrom durchfliesst diesen geschlossenen Stromkreis. Der Spannungsabfall verläuft proportional den einzelnen Netzimpedanzen und Ohmschen Widerständen; die Summe aller Spannungsabfälle ist gleich der Sternspannung des Netzes. Die Fehlerstromstärke errechnet sich somit aus der Summe aller dieser Leitungsimpedanzen und Widerstände. Die Leitungs- und die Transformatorenwicklungsimpedanzen kann man für eine überschlägige Rechnung vernachlässigen, da sie sehr klein sind gegenüber den beiden Erdungswiderständen, und man erhält dann für die Fehlerstromstärke I_f folgenden angenäherten Wert:

$$I_f = \frac{220}{12 + 2,5} = 15,2 \text{ A}$$

Die Spannungserhöhung der beiden Erdungen gegen das Erdreich mit dem Potential null, d. h.

gegen eine Sonde, die im Erdboden in einer Entfernung von rund 20 m von den Erdungen eingesteckt ist, beträgt somit

für die *Schutzerdung* beim Abonnenten:

$$\frac{220}{12 + 2,5} \cdot 12 = 182 \text{ V}$$

und für die *Sondererdung* in der Transformatorstation:

$$\frac{220}{12 + 2,5} \cdot 2,5 = 38 \text{ V}$$

Die Erdung in Starkstromnetzen

Es ist ersichtlich, dass die Fehlerstromstärke in den meisten Fällen nicht ausreicht, um die vor dem Isolationsfehler befindlichen Sicherungen durchzuschmelzen. Im vorliegenden Fall waren die vorgeschalteten Sicherungen am Fehlerort für 25 A Nennstrom bemessen, konnten also nicht ansprechen. Aus den Werten der Spannungserhöhungen geht hervor, dass das Widerstandsverhältnis der Schutz- und der Sondererdung den in der Erläuterung zu § 17 der HV enthaltenen Bedingungen nicht entspricht!

Diese Erläuterung lautet:

Für die Schutzerdung in Hausinstallationen enthält die bundesrätliche Verordnung über Starkstromanlagen nicht so eingehende Bestimmungen wie für die Nullung. Soll die Erdung ihren Zweck, Unfälle zu verhüten, erfüllen, so muss bei dieser ebenfalls angestrebt werden, dass eine selbsttätige Abschaltung stattfindet; es dürfen aber jedenfalls Berührungsspannungen am gefährdeten Objekt von mehr als 50 V nicht vorkommen, bzw. nicht länger als 5 Sekunden bestehen bleiben. Auch bei der Erdung sind demnach die Voraussetzungen für ihre Wirksamkeit vorher zu untersuchen, und zwar nicht nur für den Fall eines einpoligen, sondern auch für den eines doppelpoligen Erdschlusses. Die Bedingungen sind in den meisten Fällen erfüllt, wenn zur Erdung ein im Boden liegendes ausgedehntes Wasserleitungsnetz benützt wird. Aber auch ein solches bietet nicht unter allen Umständen die nötige Gewähr und es wird daher oft nicht möglich sein, den Erdungswiderstand der Erdelektroden so niedrig zu halten, dass die vorgeschalteten Sicherungen zum Schmelzen kommen. Ob die Erdung das Ansteigen der Berührungsspannung am gefährdeten Objekt über 50 V verhindern kann, hängt beim einpoligen Erdschluss vom Verhältnis zwischen dem Erdungswiderstand an der Erdung des zu schützenden Objektes und dem Erdungswiderstand der Nullpunktserdung in der Transformatorstation ab. Es ist also auch die Kenntnis des letzteren (der nach den Vorschriften 20 Ohm nicht übersteigen darf) erforderlich, um beurteilen zu können, wie hoch die Spannung an der Erdung des gefährdeten Objektes ansteigen kann. Die Erdungswiderstände müssen ferner in allen Fällen so niedrig sein, dass beim Auftreten eines doppelpoligen Erdschlusses wenigstens bei einem der beiden defekten Anlageteile die vorgeschaltete Sicherung schmilzt oder ein allfälliger automatischer Schalter rechtzeitig ausschaltet.

Die Erdungswiderstände beider Erdelektroden waren also nicht im Sinne der erwähnten Erläuterung aufeinander abgestimmt; richtig wäre es gewesen, wenn die Erdung mit dem kleinern Widerstand sich am Objekt befunden hätte.

Die Motorschutzerdung und damit auch das Gehäuse des Motors standen somit unter einer Spannung von 182 V gegen Erde (gemessen wurden 185 V, vgl. Fig. 3). Glücklicherweise stand der Motor am Unfalltage in der Scheune und befand sich somit auf einem gut isolierenden Boden, so dass sich die Berührungsspannung an seinem Aufstellungsort nicht bemerkbar machte. Man stelle sich aber die Gefährdung von Personen vor, wenn der fahrbare Motor statt in der Scheune an einem Ort mit gut leitendem Boden, z. B. im Freien, aufgestellt gewesen wäre. Im Freien hätte die Berührungsspannung das Maximum betragen, d. h. rund 185 V!

Die Verminderung des Erdungswiderstandes der Sondererdung in Verbindung mit dem Netznullleiter wurde dadurch verursacht, dass entweder der Netznullleiter oder die Nullleiter in den Hausinstallationen mit Isolationsfehlern behaftet waren, oder dass für einzelne Energieverbraucher die Nullung als Schutzmassnahme angewendet wurde. Nach Art. 26 StV, Ziff. 3 und 5, und deren Erläuterungen dürfen in den von einem bestimmten Transformator gespeisten Netzen nicht Nullung und Schutzerdung gleichzeitig als Schutzmassnahme angewendet werden. Wird diese Bestimmung umgangen, so können, wie ersichtlich, gefährliche Zustände entstehen.

Hätte der Ausbreitungswiderstand der Sondererdung etwa 20 Ω betragen, und wäre die Schutzerdung beim Abonnenten mit der in der Scheune vorhandenen Wasserleitung, die auf Grund der vorgenommenen Messungen einen Erdungswiderstand von rund 3,5 Ω aufweist, verbunden gewesen, so wäre das Spannungsverhältnis umgekehrt gewesen, und der Vorfall hätte eine andere Wendung genommen, was folgende Rechnung bestätigt.

Spannungserhöhung an der Schutzerdung:

$$\frac{220}{20 + 3,5} \cdot 3,5 \cong 33 \text{ V}$$

Spannungserhöhung an der Sondererdung:

$$\frac{220}{20 + 3,5} \cdot 20 \cong 187 \text{ V}$$

Die Schutzerdung hätte also eine Spannungserhöhung erfahren, die unterhalb des zulässigen Wertes von 50 V geblieben wäre.

In einem Netz, wo die Schutzerdung als Schutzmassnahme in den Hausinstallationen eingeführt ist, müssen auf Grund der bereits erwähnten Vorschriften von § 17 der HV die Erdelektroden so dimensioniert werden, dass die grösste Spannungserhöhung, die, wie ersichtlich, 50 V notwendigerweise überschreitet, an der Sondererdung selbst auftritt, nicht an der Schutzerdung beim Objekt. Wir verweisen darüber auf den im Bulletin des SEV 1944, Nr. 25, S. 754...766, erschienenen Artikel von D. Brentani über «Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen».

Wir haben bereits gesehen, dass die Schutzerdung am Objekt auf das Potential von 182 V gegen Erde geriet. Diese Erdelektrode lag überdies zu wenig tief im Erdboden (nur etwa 40 cm), wodurch das Auftreten von erheblichen Spannungsdifferenzen an der Erdoberfläche (sog. Schrittspannungen) begünstigt wurde. Die getöteten Pferde standen auf Stellen der Erdoberfläche, zwischen denen erhebliche Schrittspannungen vorhanden waren.

Für Tiere gefährliche Schrittspannungen können aber auch vorkommen, wenn die Erdungen richtig dimensioniert sind, und zwar vor allem in der Nähe der Sondererdung der Transformatorstation. Bei richtig bemessenen Ausbreitungswiderständen weist die Elektrode für die Sondererdung im vorliegenden Fall 187 V gegen Erde auf. Um die Schrittspannungen an der Bodenoberfläche möglichst herab-

zusetzen, muss daher die Elektrode in einer gewissen Tiefe im Erdboden eingebettet werden. Die Praxis lehrt, dass, wenn die Erdplatte rund 2 m tief im Erdboden liegt und durch eine *isolierte Erdleitung mit dem Sternpunkt des Transformators verbunden ist* (Cu-Leitung von mindestens 50 mm² Querschnitt mit Gi- oder Tdc-Isolation), die Schrittspannung *rund 20 V pro Meter* nicht überschreitet. Dieser Wert wird als der höchstzulässige Wert der Berührungsspannung für Tiere betrachtet.

Die Eingrabetiefe von 2 m wird seit Jahren mit Erfolg von verschiedenen Elektrizitätswerken angewendet, so auch von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ). Diese Unternehmung wurde durch die Tagespresse auf den Vorfall, der sich ausserhalb ihres Absatzgebietes ereignet hatte, aufmerksam und unternahm zusammen mit dem Starkstrominspektorat weitere Messungen, um die Grösse der in Frage kommenden Schrittspannungen am Unfallort näher zu bestimmen und zu erfahren, ob die vermutlich zu kleine Eingrabetiefe der Schutzerdung einen erheblichen Anteil an den Auswirkungen des Unfalles gehabt hat. Diese Vermutung wurde durch die nachträglich vorgenommenen Messungen in vollem Umfange bestätigt. Das Werk stellte einen Siemens-Apparat für die Bestimmung von Erdungswiderständen zur Verfügung, wobei die übliche Messmethode mit zwei im Abstand von je 20 m von der zu messenden Erdung im Erdboden eingesteckten Sonden zur Anwendung gelangte. Für die Bestimmung der Spannungsverteilung auf der Erdoberfläche in der Umgebung der Erdungsstelle hat das Werk eine einfache, aber doch genaue Messmethode entwickelt, für welche sich der Siemens-Apparat besonders eignet. Sie erlaubt, den

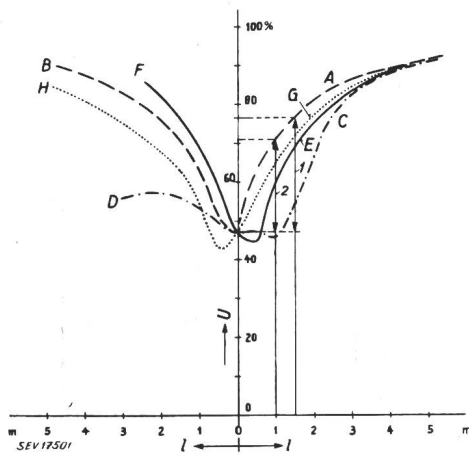


Fig. 4

Prozentuale Spannungsdifferenz U zwischen der Einzelschutzerdung und der Erde mit Potential 0 als Funktion des Abstandes l vom Abszissennullpunkt 0

Maximale Schrittspannung:

1 für eine Schrittweite von 1,5 m: 31 %

2 für eine Schrittweite von 1 m: 25 %

Erdelektrode von rund 50 × 60 cm horizontal 40 cm tief im Erdboden verlegt

A...H Messwerte der Messrichtungen nach Fig. 5

Verlauf der Spannungskurven, d. h. die Änderung der Spannung an der Erdoberfläche längs verschiedener, beliebig gewählter Richtungen zu ermitteln, indem man die Widerstandswerte zwischen

der Schutzerdplatte und beliebigen Punkten des Erdbodens im Umkreis von etwa 10...20 m misst. Zunächst wird die Sonde, die an eine Klemme des Apparates angeschlossen ist, die mit dem Galvanometer in Verbindung steht, gegen die Erdleitung der Erdelektrode so verschoben und der Boden abgetastet, bis man den kleinsten auf der Skala abzulesenden Wert (in Ω ausgedrückt) bekommt. Hier steht die Sonde gerade oberhalb der zu untersuchenden Erdelektrode; diese Stelle wird mit «Nullage» oder kurz mit null bezeichnet (Fig. 4). Dann ver-

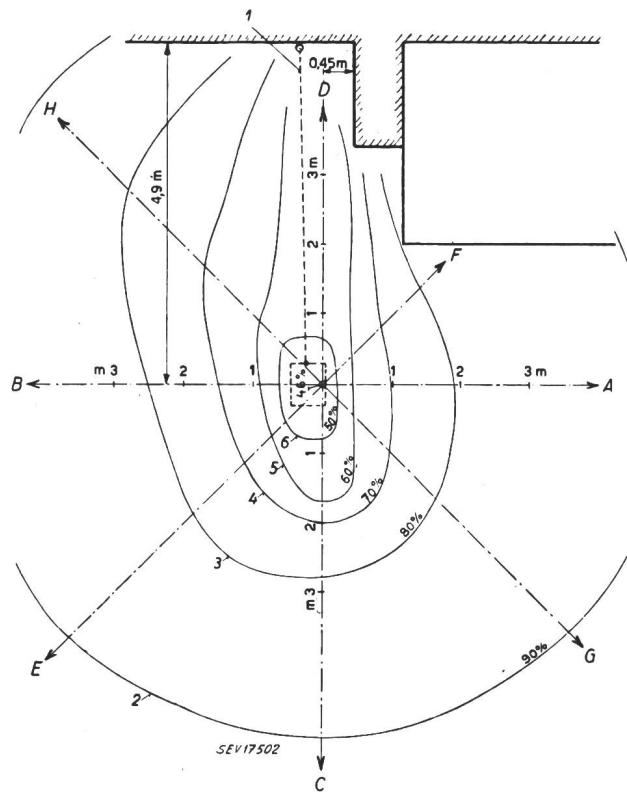


Fig. 5

Niveaulinien konstanter Spannungsdifferenz um die Erdelektrode herum

1 Erdleitung

2...6 Niveaulinien konstanter Spannungsdifferenz zwischen der Erdelektrode und der Erde mit Potential 0 (Spannungen in % der Gesamtspannung an der Erdelektrode)

A...H Messrichtungen

schiebt man die Sonde in den verschiedenen, vorher ausgewählten Richtungen A, B, C usw. (Fig. 5) und notiert die Messwerte. Diese nehmen ständig zu und stellen den Widerstandzuwachs zwischen der Erdelektrode und der Erde dar: Wenn die Sonde wieder rund 20 m entfernt in ihrer ursprünglichen Lage steht, so erhält man den Ausbreitungswiderstand der Erdelektrode, wie bei der gewöhnlichen Messmethode.

Der Erdschlussstrom erzeugt in der umgebenden Erde Spannungen, die den gemessenen Widerstandswerten proportional sind. Die Widerstandswerte, in Prozenten des Erdungswiderstandes der Erdelektrode ausgedrückt, stellen gleichzeitig die *prozentuale Spannungsverteilung* dar. Man kann somit die Änderung der Spannung an der Erdoberfläche in der Umgebung der Erdelektrode aufzeichnen (Fig. 4).

In Fig. 5 sind die Orte gleicher Spannung durch sog. «Niveaulinien» miteinander verbunden.

Diese Messungen erfolgten erst 10 Tage nach dem Unfall. Der Ausbreitungswiderstand der Schutz-erdung am Objekt betrug etwa 10 Ω und jener der Sondererdung etwa 1,4 Ω. Beide Erdungswiderstände hatten sich seit der ersten Untersuchung etwas verkleinert, das Verhältnis aber blieb gleich ungünstig.

Die Spannungserhöhung an der Schutzerdung des Objektes ergibt sich somit rechnerisch zu

$$\frac{220}{10 + 1,4} \cdot 10 = 193 \text{ V}$$

und jene an der Sondererdung zu

$$\frac{220}{10 + 1,4} \cdot 1,4 = 27 \text{ V}$$

Die Tabelle I enthält die Widerstandswerte Δ R

beträgt, d. h. ca. 31 % des maximalen Spannungsanstieges von 193 V an der Schutzerdung. Für einen Schritt von 1 m (Schritt eines Menschen) beträgt die Spannung ca. 25 % der maximalen Elektroden-spannung, d. h. etwa 48 V. Im ungünstigsten Fall wurden also die Pferde zwischen Vorder- und Hinterhufen einer Spannung von etwa 60 V ausgesetzt, was ihren Tod völlig erklärt. Wäre das Verhältnis der Sondererdung zur Schutzerdung gleich 3,4 gewesen (z. B. 20 Ω für die Sondererdung und 6 Ω für die Schutzerdung), wie dies bei vorschriftsmässiger Ausführung der Erdungen in 220/380-V-Netzen sein soll, so hätte die Schrittspannung an der Erdoberfläche den Wert von rund 15,5 V (31 % von 50 V) nicht überschritten. Sie wäre auch kleiner gewesen, wenn die Schutz-erdplatte tiefer im Erdboden eingegraben gewesen wäre. Bei der Benützung der in der Scheune vorhandenen Wasserleitung als Schutz-erde wäre die Schrittspannung für die Pferde noch kleiner aus-

Spannungsverteilung an der 380-V-Objekterdung

Δ R: der Berechnung zugrunde liegende Widerstandswerte zwischen Erdleitung und Erdboden
 Δ U: resultierende Spannungsdifferenz in %

Tabelle I

Distanz vom Abszissen-Nullpunkt m	Messrichtung							
	A		B		C		D	
	Δ R Ω	Δ U %	Δ R Ω	Δ U %	Δ R Ω	Δ U %	Δ R Ω	Δ U %
0	4,6	46	4,6	46	4,6	46	4,6	46
0,5	6,3	63	4,85	48,5	4,7	47	4,91	49,1
0,75	—	—	—	—	4,91	49,1	—	—
1	7,0	70	6,28	62,8	4,45	44,5	5,3	53
1,5	7,58	75,8	6,98	69,8	5,35	53,5	5,45	54,5
1,75	—	—	—	—	6,25	62,5	—	—
2	8,15	81,5	7,68	76,8	6,95	69,5	5,68	56,8
2,5	8,44	84,4	7,95	79,5	7,74	77,4	5,65	56,5
3	8,6	86	8,21	82,1	8,2	82	5,55	55,5
4	8,85	88,5	8,52	85,2	8,68	86,8	—	—
5	9,03	90,3	8,87	88,7	8,91	89,1	—	—
30 (∞)	10,0	100	10,0	100	10,0	100	10,0	100

Distanz vom Abszissen-Nullpunkt m	Messrichtung							
	E		F		G		H	
	Δ R Ω	Δ U %	Δ R Ω	Δ U %	Δ R Ω	Δ U %	Δ R Ω	Δ U %
0	4,6	46	4,6	46	4,6	46	4,6	46
0,5	4,41	44,1	6,0	60	5,55	55,5	4,22	42,2
1	6,12	61,2	6,85	68,5	6,36	63,6	5,39	53,9
1,5	6,94	69,4	7,35	73,5	7,22	72,2	6,28	62,8
2	7,55	75,5	8,04	80,4	7,75	77,5	6,62	66,2
2,5	7,9	79	8,65	86,5	8,15	81,5	7,03	70,3
3	8,24	82,4	—	—	8,35	83,5	7,28	72,8
4	8,68	86,8	—	—	8,79	87,9	8,05	80,5
5	8,95	89,5	—	—	8,98	89,8	8,4	84
30 (∞)	10,0	100	10,0	100	10,0	100	10,0	100

bzw. die prozentualen Spannungsdifferenzen Δ U zwischen der Erdelektrode und dem Erdboden für die acht verschiedenen Richtungen A, B, C, D, E, F, G und H gemessen. Auf dem Kurvenblatt (Fig. 4) sind die Spannungsverteilungskurven für die angegebenen acht Richtungen eingezeichnet. Die Kurve A, die in der Marschrichtung der Pferde aufgenommen wurde, zeigt, dass die maximale Schrittspannung, bei einer Schrittweite von rund 1,5 m (mutmasslicher Abstand zwischen den vorderen und den hinteren Pferdehufen) rund 60 V

gefallen; sie hätte rund 10 V betragen (d. h. 31 % der maximalen Spannungserhöhung an der als Schutz-erde benützten Wasserleitung).

Schlussfolgerungen

In 220/380-V-Normalspannungsnetzen mit herausgeführtem Nulleiter, in denen die Schutzerdung als Schutzmassnahme angewendet wird, müssen die Erdungswiderstände der Objekterdungen zum Erdungswiderstand der Sondererdung im Verhältnis 1 : 3,4 stehen, d. h. praktisch *mindestens 3,5mal*

kleiner als der Erdungswiderstand der Sondererdung sein, damit bei Erdschluss am Objekt keine höheren Berührungsspannungen als 50 V auftreten. Unter Berührungsspannung ist hier die maximale Spannungsdifferenz zwischen dem schutzgeerdeten Objekt und der Erde mit Potential Null verstanden.

Der Vollständigkeit halber sind in Tabelle II noch die maximal zulässigen Werte der Schutzerdungen für die Objekte, die durch Netze mit den gebräuchlichsten Betriebsspannungen gespiesen werden, angegeben, und zwar wenn man für die Sondererdung einen Erdungswiderstand von 20 Ω festlegt.

Tabelle II

Netzspannung V	290/500	220/380	145/250	125/220
Höchstzulässiger Widerstand der Schutzerdung des Objektes $\cdot \Omega$	4,17	5,9	10,5	13
Erdungswiderstand der Sondererdung $\cdot \cdot \cdot \Omega$	20	20	20	20

Ist der Erdungswiderstand der Sondererdung geringer, so müssen auch die Erdungswiderstände der Objekterdungen in folgendem Verhältnis verkleinert werden: \leq

1:4,8 bei 290/400 V; 1:3,4 bei 220/380 V
1:1,9 bei 145/250 V; 1:1,5 bei 125/220 V

Beim Anschluss der Sternpunkt-Sondererde an ein allgemeines, das ganze Absatzgebiet umfassendes Ortswassernetz mit maximal 2 Ω Widerstand (StV, Art. 21, Ziff. 1) müssen unbedingt auch in den Hausinstallationen sämtliche Objekte, für die nach § 15 der HV Schutzmassnahmen nötig sind, an die gleiche Wasserleitung geerdet werden. Andere Erdelektroden als die Wasserleitung ergäben zu hohe Widerstände und damit im Erdschlussfall unzulässig grosse Berührungsspannungen an den mit diesen Elektroden geerdeten Objekten. Beim Anschluss des Sternpunktes und sämtlicher Objekterdungen an das gleiche Wassernetz kann dagegen im allgemeinen, wie bei der Nullung, die sofortige Abschaltung des mit einem Isolationsfehler versehenen Objektes erwartet werden. Immerhin ist es vorteilhaft, den Netznulleiter an verschiedenen Stellen mit der Wasserleitung zu verbinden, um so für den Erdschlussstrom einen grösseren Leiterquerschnitt, also einen verminderten Widerstand, zu erhalten. Ausserdem muss eingehend geprüft werden, wie gross die den Objekten vorgeschalteten Sicherungen sein dürfen, damit sie bei einem Erdschluss innert einiger Sekunden durchschmelzen und den kranken Anlagenteil selbsttätig abtrennen. Sichere Anhaltspunkte hierüber können aber nur durch Messungen erhalten werden. Bei dieser Schutzerdungsmethode lässt sich selbstverständlich die Sondererdung nicht so mit den Schutzerdungen der Objekte in den Hausinstallationen abstimmen, dass an diesen Objekten keine höhere Berührungsspannung als 50 V auftritt, sondern es muss jeder Erdschluss das Durchschmelzen einer vorgeschalteten Sicherung hervorrufen, wie das für die eigentliche Nullung erfordert wird.

Ist indessen im Versorgungsgebiet einer Transformatorstation kein allgemeines Ortswassernetz

vorhanden, sondern bestehen verschiedene getrennte Wasserleitungen mit geringen Erdungswiderständen, so dürfen diese Wasserleitungen wohl für die Schutzerdungen in den Hausinstallationen benützt werden. Dagegen ist es nicht zulässig, die Sternpunkt-Sondererde der Transformatorstation an eine einzelne Wasserleitung zu erden, sondern es ist hierfür eine künstliche Erdelektrode mit höherem Widerstand erforderlich, damit die notwendige Abstimmung der Sondererde mit den Schutzerdungen gewahrt bleibt und bei einem Isolationsfehler an den Apparaten in den Hausinstallationen keine zu hohen Berührungsspannungen auftreten. Die Abstimmung der Erdungen hat in diesem Fall den in Tabelle II genannten Zahlen zu entsprechen. Der Netznulleiter selbst darf nur an einer einzigen Stelle, und zwar in der Transformatorstation, geerdet werden, da sich bei mehrfacher Erdung der Widerstand der Nullpunktserde zu stark vermindern würde. Der Betriebsinhaber der Verteilanlage hat den Netzzustand stets zu überwachen und dafür zu sorgen, dass die Netznulleiter keine Verbindungen mit den einzelnen Wasserleitungen erfahren. Den konzessionierten Installateuren sind ferner strikte Weisungen zu erteilen, dass sie in den Hausinstallationen keine andere Schutzmethode als die Schutzerdung der Apparate an die Wasserleitungen anwenden. Besser ist es aber, solche Netze auf Nullung umzubauen und dabei die in Art. 26 StV enthaltenen Nullungsbedingungen zu beachten.

Vor allem ist es allgemein verboten, Schutzerdungen und Nullungen im gleichen Netz zu mischen, weil der Nulleiter durch die Schutzerdungen unter eine erhöhte Spannung gegen Erde geraten kann, was seine Verwendung als Schutzleiter ausschliesst (StV, Art. 26, Ziff. 5). Leider missachtet mancher Fachmann diese Forderung, indem er im gleichen Verteilnetz sowohl genullte als auch nur schutzgeerdete Apparate installiert.

In den schutzgeerdeten Netzen, wo der Sternpunkt mit einer künstlichen Erdelektrode mit erhöhtem Widerstand verbunden wird, ist es unvermeidlich, dass bei einem Erdschluss an geerdeten Objekten sich die Spannung an der Sondererde auf über 50 V erhöht, wenn die Erdungswiderstände in richtigem Verhältnis zueinander stehen. Um den Gefahren von Schrittspannungen in der Umgebung der Sondererde zu begegnen, ist die Erdelektrode der Sondererdung mindestens 2 m tief im Erdboden vertikal einzubetten und mit einer isolierten Erdleitung an den Niederspannungssternpunkt des Transformators anzuschliessen. Die Isolierung der Erdleitung muss verhindern, dass ein Teil des Erdschlussstromes sich vor der Erdelektrode im Erdboden verliert und in ihrer nächsten Umgebung gefährliche Schrittspannungen hervorruft.

Den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich, die die eingehenden Messungen am Unfallort durch ihre praktische Mithilfe ermöglicht sowie die der Veröffentlichung beigelegten Zeichnungen und Tabellen ausgearbeitet haben, sei auch an dieser Stelle für ihre wertvolle Unterstützung bestens gedankt.