

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105/106 (1935)
Heft: 1

Artikel: Schutzmassnahmen gegen elektrische Unfälle in Verteilungsnetzen
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47459>

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: 02.04.2026

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

Lichtempfindlichkeit der Zelle von der Vorgeschichte ist, zu überwinden waren.

Die finanzielle Organisation des Amtes ist so gehalten, dass sich seine aus den Eich- und Prüfgebühren stammenden Einnahmen mit den Ausgaben gerade decken, sodass es sich selbst zu erhalten vermag. Uebrigens könnte ein Mehr an Prüfaufträgen sehr wohl entgegengenommen werden.

H. W.

Schutzmassnahmen gegen elektrische Unfälle in Verteilungsnetzen.

Das Bulletin des SEV 1934 enthält in seinen Nummern 23 bis 26 eine sehr einlässliche Abhandlung von M. Wettstein (Zürich) über die zur Vermeidung elektrischer Unfälle in Freileitungsnetzen, namentlich in Hausinstallationen zu treffenden Massnahmen. Worauf es ankommt, soll an einigen dem Bulletin entnommenen schematischen Skizzen erläutert werden. Es gilt, die elektrischen Spannungen, die infolge von Leitungsfehlern an den angeschlossenen Objekten auftreten können, auf ein zulässiges Mass herabzudrücken, oder den gefährlichen Zustand auf innert kürzester Frist zu beseitigen. Als zulässig werden Berührungsspannungen bis zu 50 V angesehen, doch setzen mit Rücksicht auf die schon von beträchtlich niedrigeren Spannungen ausgeübte Schreckwirkung die EKZ in genullten Netzen als zulässigen Grenzwert 20 V fest. Es ist dafür zu sorgen, dass bei Auftreten höherer Berührungsspannungen ein zur schleunigen Zerstörung der Sicherungen oder Auslösung der Schalter ausreichender Fehlerstrom entsteht; beispielsweise benötigen die Schmelzeinsätze der EKZ zum Abschmelzen innert 5 sec den 2,5-fachen Nennstrom. Drei Schutzsysteme, das Erden, das Nullen und die Schutzschaltung werden angewendet.

Das Erden von Transformator-Nullpunkten und zugänglichen Objekten wäre ein ideales Mittel, die Spannung zwischen dem geerdeten Gegenstand und dem Boden zu annullieren, wenn sich deren Verbindung widerstandslos bewerkstelligen liesse. Dies trifft jedoch nicht zu; schon die in der Eidg. Starkstromverordnung geforderte Höchstgrenze des Erdungswiderstandes von 20 Ω ist mit künstlichen Erdelektroden unter Umständen wirtschaftlich nicht innezuhalten.

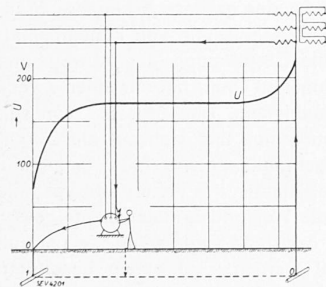


Abb. 1. Einpoliger Erdschluss. U = Spannungsverlauf an der Erdoberfläche gegenüber der Elektrode 1.

Bei Benutzung eines ausgedehnten Wasserleitungsnetzes lässt sich der Erdungswiderstand auf die Grössenordnung von 1 Ω beschränken. Von den beteiligten Erdungswiderständen hängen die zu befürchtenden Berührungsspannungen wesentlich ab. In Abb. 1 sind Transformatornullpunkt und Motorgehäuse durch künstliche Elektroden geerdet. Infolge Beschädigung der Isolation eines Zuleitungsdrahtes zum Motor entsteht vom Transformatornullpunkt über die beschädigte Phase, das Gehäuse und die Erde ein geschlossener Stromkreis; im Verhältnis der Erdungswiderstände verteilt sich die zwischen den Klemmen einer Phase vorhandene Spannung von 220 V auf die beiden Erdungselektroden, sodass zwischen Gehäuse und Boden 170 V auftreten, denen ein das Gehäuse berührender Mensch (bei Vernachlässigung seines Erd- gegenüber seinem Körperwiderstand) sich aussetzt. Eine gehörige Reduktion dieser 170 V ist, bei künstlicher Nullpunktselektrode, nur durch Anschluss des Motorgehäuses an ein Wasserleitungsnetz wirtschaftlich zu erreichen. Dadurch wird der gefährliche Spannungsabfall auf die berührungssicher anzubringende Nullpunktselektrode verlegt. In deren Nähe kann dann bei ungenügender Eingrabetiefe der Boden einem so hohen Potentialgefälle ausgesetzt sein, dass zwischen den Füssen herumlaufender Tiere gefährliche Schrittspannungen (> 20 V) entstehen, Abb. 2. — Im Fall des einpoligen Erdschlusses (Abb. 1) ist im allgemeinen nicht mit dem Abschmelzen der Sicherungen zu

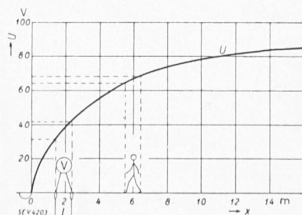


Abb. 2. Schrittspannungen. U = Spannungsverlauf an der Erdoberfläche gegenüber der Elektrode.

rechnen, sodass der Fehler längere Zeit bestehen und infolge der unsymmetrischen Belastung weitere Beschädigungen (zuzal an nicht dreipolig geschützten, einphasig weiterlaufenden Motoren) nach sich ziehen kann, wie den in Abb. 3 skizzierten zweipoligen Erdschluss. Hier verhält sich die an der Objekt-erdung R_1 auftretende Spannung zur verketteten Netzspannung angenähert wie $R_1 : R_1 + R_2$. Da somit an mindestens einem der geerdeten Objekte eine gefährliche Berührungsspannung nicht zu umgehen ist, sind R_1 und R_2 so klein zu halten, dass der bei zweipoligem Erdschluss zirkulierende Fehlerstrom den Unterbruch des Stromkreises schleunigst herbeiführt — eine Forderung, die bei zu niedriger Betriebsspannung nur schwer, und mit künstlichen Elektroden auf wirtschaftliche Weise überhaupt nicht zu erfüllen ist. Die Erdung kommt deshalb nur bei Vorhandensein eines ausgedehnten Wasserleitungsnetzes und für genügend hohe Betriebsspannungen in Frage.

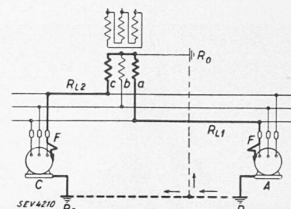


Abb. 3. Zweipoliger Erdschluss.

Durch die Nullung, d. h. den Anschluss der nicht zur Stromführung bestimmten Metallteile der elektrischen Maschinen und Apparate an den mit dem geerdeten Transformatornullpunkt verbundenen sogenannten Nulleiter, würden bei einem Isolationsfehler idealerweise, wenn nämlich der Spannungsabfall im Nulleiter gegenüber jenem in der Leitung zu vernachlässigen wäre (was nicht der Fall), alle genullten Objekte sich auf dem Potential des Nullpunkts befinden, und damit, wegen dessen stromloser Verbindung mit der Erde, auf dem Erdpotential. Zur Verringerung der zwischen Anfang und Ende des Nulleiters fehlerhafterweise entstehenden Spannung und mit Rücksicht auf die gefährliche Möglichkeit eines Unterbruchs des Nulleiters ist es aber ratsam, den Nulleiter mehrfach, zumindest auch an seinem Ende, an Erde zu legen. Einem Fehlerstrom steht dann nicht nur der Rückweg über den Nulleiter, sondern auch der über die Erde offen, und die bezeichnete Spannung zwischen den Nulleiterenden wird im Verhältnis der beiden Erdungswiderstände geteilt. Demgemäss bewirkt der in Abb. 4 angedeutete Isolationsfehler im 380/220 V-Netz von den angegebenen Dimensionen und Erdungs-Widerständen längs dem Nulleiter den dort eingetragenen Verlauf der Spannung zwischen Nulleiter und Erde. Ein Fehler an einem einzigen (hier am Ende des Nulleiters vorausgesetzten) Anschlussobjekt setzt demnach alle andern genullten Objekte je nach der Anschlussstelle mehr oder weniger gefährlichen Spannungen aus. Ähnliche Folgen hat der direkte Erdschluss eines Polleiters, unter Umständen jedoch gefährlichere, weil hier der ganze Fehlerstrom die Nullpunktterdung passiert und damit deren Spannungsabfall in die Höhe treibt. Deshalb sind sämtliche gefährdeten Metallteile an den Nulleiter anzuschliessen. — Auch die Erdung des Nulleiters geschieht vorzugsweise nicht durch künstliche Elektroden, sondern vermittelt Wasserleitungen, um ausreichende Fehlerströme und kleinere Berührungsspannungen zu erhalten. — Ein Elektrisieren der genullten Objekte braucht nicht von einem Leitungsfehler an diesen

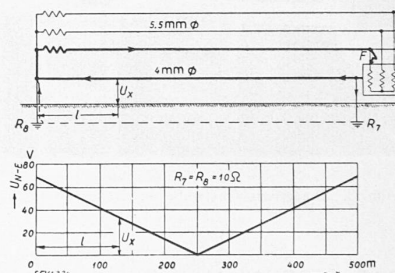


Abb. 4. Erdschluss am Ende einer genullten Leitung. U_{N.E} = Spannung zwischen Nulleiter und Erde in Funktion der Entfernung von der Transformatorstation.

selber herzurühren. Dies veranschaulicht Abb. 5 (Anschluss eines allgemeinen 380 V-Verteilungsnetzes mit nachgeführtem Nulleiter an ein 500 V-Kraftnetz), wo ein Isolationsdefekt auf der Primärseite das mit dem Nullpunkt verbundene Transformatorgehäuse und damit den Nulleiter auf eine Spannung bringt, deren gehörige Limitierung einen mit der Phasenspannung im Kraftnetz steigenden Mindestwert des Verhältnisses $R_0 : R_1$ der beiden Erdungswiderstände bedingt

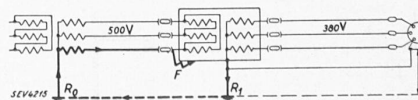


Abb. 5. Uebertritt der Spannung eines Kraftnetzes auf den Nulleiter eines Verteilungsnetzes.

Die ausgedehnten Folgen eines Fehlers machen das Nullen zu einem mit Sorgfalt und Umsicht auszuführenden und, namentlich wegen der erforderlichen grossen Querschnitte und mechanischen Festigkeit der Nulleiter, recht kostspieligen Verfahren. In langen Leitungssträngen mit wenig Anschlussobjekten kann die *Schutzschaltung* (Abb. 6) billiger zu stehen kommen, obschon sie neben dem Schutzschalter womöglich die Er-

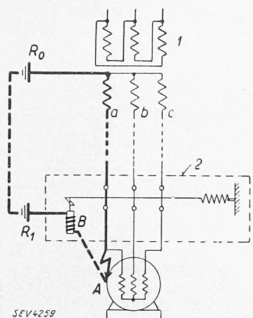


Abb. 6. Schema der Schutzschaltung. — 1 Netztransformator, 2 Schutzschalter.

stellung einer Erdungselektrode und eine dauernde Ueberwachung erheischt. Der bei Isolationsdefekt dank der vom Gehäuse zur Erde führenden Schutzleitung ABR₁ die Auslösespule B durchfließende Fehlerstrom löst bei richtiger Bemessung der Anordnung den Schalter aus. An die Auslösespule werden hinsichtlich Erwärmung hohe Anforderungen gestellt. Da automatische Einrichtungen, die nur selten funktionieren müssen, erfahrungsgemäss leicht versagen, sind die Schutzschalter zwecks laufender Kontrolle mit Prüfeinrichtungen zu versehen.

Die vorstehenden, zum Teil absichtlich krass gewählten Beispiele mögen genügen, um auf die mannigfachen Gefährdungen durch den elektrischen Strom hinzuweisen; die Studie M. Wettsteins¹⁾ zeugt für die Sachkunde und das Verantwortlichkeitsgefühl, die in einem gut geleiteten Elektrizitätswerk diese Gefahren bannen.

MITTEILUNGEN.

Stoff und Strahlung. Die seit der Entdeckung des natürlichen Zerfalls von Radium und seit der 1919 gelungenen künstlichen Umwandlung von Stickstoff in Sauerstoff erfolgten Vorstösse der Forscher haben nicht nur Atomkerne, sondern auch festest verwurzelte Vorstellungen über das Wesen der Dinge zertrümmert. Den fasslichsten Teil der neuen Anschauungen findet der physikalische Laie etwa in dem Rückblick von Lord Rutherford in der anlässlich des silbernen Regierungsjubiläums herausgegebenen Sondernummer von „Engineering“ (3. Mai 1935), ausführlicher in einem zusammenfassenden Aufsatz von Prof. O. M. Corbino in „L'Energia Elettrica“ vom Juni 1934, sowie in dem Vortrag „Neue Erkenntnisse auf dem Gebiete der Strahlung“ von Professor Dr. P. Scherrer im Bull. SEV 1934, Nr. 15²⁾. — Moseley (25jährig vor den Dardanellen gefallen) verlieh den Ordnungsnummern der 92 nach steigendem Atomgewicht aufgezählten Elemente eine tiefere Bedeutung: Diese Nummer, die Kernladungszahl Z, gibt an, wieviele positive Elementarladungen der Atomkern besitzt. Die chemischen Eigenschaften des Atoms werden durch sie bestimmt, nicht durch die Kernmasse, die beim selben Element verschiedene Werte annehmen kann (Isotope³⁾). Eine Wolke von normalerweise Z negativ geladenen Elektronen umhüllt den Kern; jeder chemische Prozess besteht in dem Raub oder der Zurückgabe von Elektronen aus, bzw. an diese Hülle. Ausgenommen die radioaktiven Prozesse, bei denen das Atom neben γ - und β -Strahlen positiv geladene Heliumkerne (α -Strahlen), offenbar Bruchstücke des Atomkerns, ausschleudert; ausgenommen ferner die seltenen Treffer bei den modernen Kern-Bombardements, welche die Kernladungszahl und damit das Element verändern. Als Bombardierungsgeschosse wurden zuerst α -Strahlen verwendet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein positiver Heliumkern einen Zielkern trotz dessen Abstossung und trotz der Anziehung der „Schutz“-Elektronen erreiche, ist jedoch sehr gering. Auch mit Hageln von durch stärkste elektrische Felder beschleunigten *Protonen*, d. h. Wasserstoffkernen, deren positive Ladung bloss halb so gross ist wie die der Heliumkerne, gelingt es nur Atome von niedriger Kernladungszahl zu verwandeln. Schliesslich griff man zu einem andern neu entdeckten Kernbestandteil, dem *Neutron*, d. h. dem ungeladenen Wasserstoffkern. Elektrisch indifferent, lässt er sich zwar nicht beschleunigen, wird dafür aber

weder von der Kernatmosphäre abgelenkt, noch von der Kernladung abgestossen. Mit Neutronen wurden die stärkstgeladenen Atomkerne mit Erfolg beschossen. Gegen 50 der bekannten Elemente haben sich bereits verwandeln lassen. Eine Reihe solcher Kernprozesse sind in dem Bericht von Dr. G. Herzog in der „SBZ“ vom 9. Sept. 1933 (Bd. 102, S. 133) geschildert. Ausser dem Proton und dem Neutron tritt bei Kernumwandlungen ein früher stets vermisst Baustein, das *Positron*, in Erscheinung, der Zwilling des Elektrons, der dessen Masse und entgegengesetzt gleiche, also positive Ladung besitzt. Man kann sich indessen die Kerne sämtlicher bekannten Elemente nach Masse und Ladung einzig aus Neutronen und Protonen, ohne zusätzliche Positronen oder Elektronen aufgebaut denken. Noch bedeutsamer als die durch Kernumwandlungen zu Tage geförderten Bauelemente sind die dabei beobachteten Verstösse gegen das Gesetz der Erhaltung der Materie: Masse verschwindet, und an ihrer Stelle entsteht Strahlungsenergie: Wie einer kWh 860 kcal entsprechen, ist 1 g Masse $25 \cdot 10^6$ kWh (der Verbrennungswärme von etwa 3000 t Kohle) äquivalent. Die Strahlungsenergie kommt nur portionen-, „quanten“-weise vor. Eine Welle von der Lichtgeschwindigkeit c und der Frequenz ν verhält sich beim Zusammenstoss mit einem Elektron, wie wenn sie aus elektrisch neutralen Partikeln, *Photonen*, von der Energie $h\nu$ und dem Impuls $h\nu/c$ bestünde ($h = \text{Planck'sche Konstante} = 6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$). Ein „ruhendes“ Elektron hat die Masse $0,9 \cdot 10^{-27} \text{ g}$, was nach obigem $81 \cdot 10^{-8} \text{ erg}$ entspricht. Ein Photon von dieser Energie E hat die Frequenz $E/h = 12 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$, entsprechend $24 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$ Wellenlänge. Durch Vereinigung eines Positrons mit einem Elektron entstehen unter Wahrung des Energie- und Impulssatzes zwei entgegengesetzt gerichtete Photonen von der bezeichneten Wellenlänge: Verwandlung von Materie in Energie. Umgekehrt entsteht durch Abbremsen eines Photons von der halben Wellenlänge, also der doppelten Energie, ein Paar von Elektronen, die sich durch ein Magnetfeld trennen lassen: Erzeugung von Materie aus Strahlung. — Wenn sonach der reine Wellencharakter der γ -Strahlen, allgemeiner: des Lichts, einer genaueren Prüfung nicht standhält, so andererseits auch nicht der reine Korpuskel-Charakter der Elektronen-(Kathoden-, β -) Strahlen: Auch mit diesen lassen sich nämlich Interferenzen erzeugen, wie mit Licht, weshalb man sie Materiewellen nennt.

Wird Lithium von durch 200 000 V beschleunigten Protonen beschossen, so wird in jedem getroffenen Kern die 80-fache Energie des Projektils frei. Doch trifft nicht jedes achtzigste, sondern etwa jedes milliardste Geschoss. Um einige mm³ Helium aus Lithium zu erhalten, wären deshalb mit heutigen Mitteln tausende von Jahren nötig. Die besser treffenden Neutronen sind in der Natur nicht frei vorhanden, sondern selbst erst durch Kernzertrümmerungen von äusserst schlechter Ergiebigkeit zu beschaffen. So stösst denn die Auslösung der gewaltigen Kernenergien — die Umwandlung von 1 g Lithium in Helium würde 60 000 kWh verfügbar machen (zu welchen Zwecken?) — praktisch auf vorderhand unübersteigbare Schranken.

Optische Spannungsanalyse mittelst Agar-Gallerte. Für die Untersuchung gewisser Torsionsfälle gibt es bereits zwei leistungsfähige Methoden: die Seifenhautanalogie von Prandtl und die elektrische Analogie von Jacobson. An einer auf allgemeinere dreidimensionale Spannungszustände anwendbaren Methode fehlte es jedoch bisher. Prof. Tadayoshi Kanao schlägt zu diesem Behufe im „Journal of the Society of Mechanical Engineers Japan“, 1933, Nr. 195 den Gebrauch von durchsichtigen Probekörpern vor, in die feine Graphitpartikelchen mit eingebettet sind, in Verbindung mit einem Mikroskop. Bei geeigneter Dichte soll es möglich sein, passende Partikelchen zu wählen, und die Optik auf jeweils ein bestimmtes Partikelchen vor und nach der Deformation infolge äusserer Belastung einzustellen. Mit am Mikroskop befestigten Messuhren werden die Verschiebungen in allen drei Richtungen festgestellt, wobei allerdings die Genauigkeit in der Richtung des Strahlenganges wesentlich kleiner ist (rd. $1/100$ mm) als in der Ebene des Mikroskopoptisches (rd. $2/1000$ mm). Der Verfasser beschreibt Versuche an je einem auf reine Torsion beanspruchten Probekörper von quadratischem und rechteckigem Querschnitt, für welche strenge Lösungen von de St. Venant vorliegen. Für den Mittelschnitt senkrecht zur Stabachse konstruiert er aus den Messungen Linien konstanter Verwölbung, sowie eine Schar hierzu senkrechter Kurven und daraus, durch Rechnung, die sogen. Torsionslinien. Aus den Messungen an dieser und weiteren Parallelschichten ermittelt er ferner den Drehwinkel, der von dem theoretischen um 8% abweicht.

R. V. Baud.

¹⁾ Eine französische Uebersetzung dieser Abhandlung ist beim Generalsekretariat des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, zum Preis von 10 Fr. (Mitglieder des SEV 5 Fr.) erhältlich.

²⁾ Seither in dem Büchlein „Physikalische Vorträge für Ingenieure“, veranstaltet von der Physikalischen Gesellschaft Zürich, Rascher & Co. 1935, abgedruckt.

³⁾ Bezügl. der Isotope des Wasserstoffs vergl. den Bericht von Dr. G. Herzog „SBZ“, Bd. 103, S. 85 (17. Februar 1934).