

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: 92 (2001)

Heft: 25

Artikel: Das Imaginäre beim Ermitteln der Erdungsspannung

Autor: Göbelhaider, Jürgen

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855803>

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: 15.04.2026

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

Das Imaginäre beim Ermitteln der Erdungsspannung

Das Messen von Erdungsspannungen an Freileitungs- oder auch an Kabelnetzen von kleinen Anlagen¹ verlangt von einem elektronischen Messgerät etwas mehr als nur das Bestimmen von Widerständen und die Anwendung des ohmschen Gesetzes, denn solche Messungen können durch Vernachlässigen von scheinbar nicht relevanten Faktoren erheblich verfälscht werden und so den Anwender in die Irre führen, was unter Umständen grosse Fehlinvestitionen verursachen oder gar die Personensicherheit gefährden kann.

Der vorliegende Beitrag soll den Sachverhalt der korrekten Messung von theoretischer Seite kurz beleuchten. Dies soll dem Praktiker helfen, die erzielten Messergebnisse richtig zu interpretieren.

Regelmässige Überprüfung und Beurteilung der Erdung

Jede Erdung muss nach ihrer Erstellung – und anschliessend periodisch – auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden. Diese Überprüfungen dienen im Allgemeinen dem Nachweis der Personensicherheit bezüglich Berührung- und Schrittspannungen im Falle von Erdfeh-

Jürgen Göbelhaider

lern. Für Erdungssysteme müssen daher die maximalen Erdungsspannungen beim höchstmöglichen, einpoligen Erdfehlerstrom nach den Regeln der Technik ermittelt werden.

Für die Beurteilung der Sicherheit der Erdungssysteme ist der gemessene

Definitionen

Erdungsspannung U_E

Die Erdungsspannung U_E ist die zwischen der Erdung und der Bezugs Erde auftretende Spannung.

Berührungsspannung U_T

Die Berührungsspannung U_T ist ein Teil der Erdungsspannung, welchem man sich zwischen zwei Körperteilen aussetzen kann.

bzw. der aus der Erdungsimpedanz und dem maximal möglichen Erdfehlerstrom berechnete Wert der maximalen Erdungsspannung mit der Grenzwertkurve (Bild 1) nach Anhang 4 der Starkstromverordnung (StV) Artikel 54 bzw. SEV 3569² zu vergleichen und zu beurteilen, ob die maximale Erdungsspannung den Wert der maximal zulässigen Berührungsspannung U_{TP} nicht überschreitet. Nach abgeschlossenen Messungen und dem Vergleich mit der Grenzwertkurve sind diese Erkenntnisse so zu dokumentieren, dass bei der Feststellung un-

zulässig hoher Erdungsspannungen Rückschlüsse auf Schwachstellen der Erdungsanlage bzw. auf notwendige Verbesserungsmaßnahmen gezogen werden können.

Überprüfung bestehender Erdungsanlagen

Bestehende Erdungsanlagen sind bei der ersten Inbetriebnahme und danach in Abständen von höchstens zehn Jahren periodisch zu überprüfen. Eine Überprüfung ist auch zwischenzeitlich notwendig, wenn infolge von Netzerweiterungen höhere Erdfehlerströme bzw. höhere Berührung- und Schrittspannungen zu erwarten sind. Diese allgemein anerkannte Vorgehensweise ist unter anderem im übersichtlichen Flussdiagramm des SEV *Vorgehen für Kontrolle und Beurteilung von Erdungsanlagen* beschrieben (Bild 2).

Anforderungen an die Messgeräte

Der wirkliche Knackpunkt bei der Messung bzw. der Berechnung der maximalen Erdungsspannung ist die bereits erwähnte Messung der Erdungsimpedanz, welche zusammen mit dem Erdfehlerstrom die Erdungsspannung bestimmt.

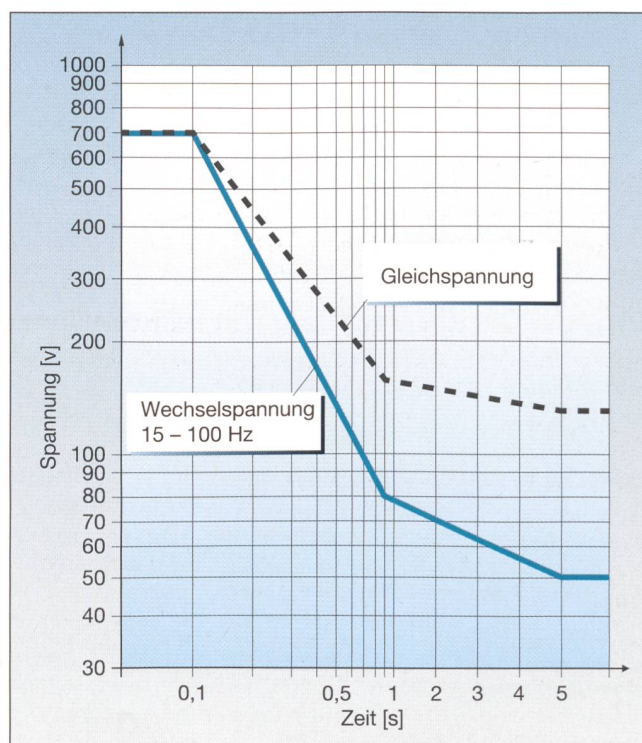


Bild 1 Grenzwertkurve nach Anhang 4 der StV Artikel 54 bzw. SEV 3569² Unterhalb der jeweiligen Kurven für Wechsel- bzw. Gleichspannung befinden sich die zulässigen, oberhalb die unzulässigen Bereiche.

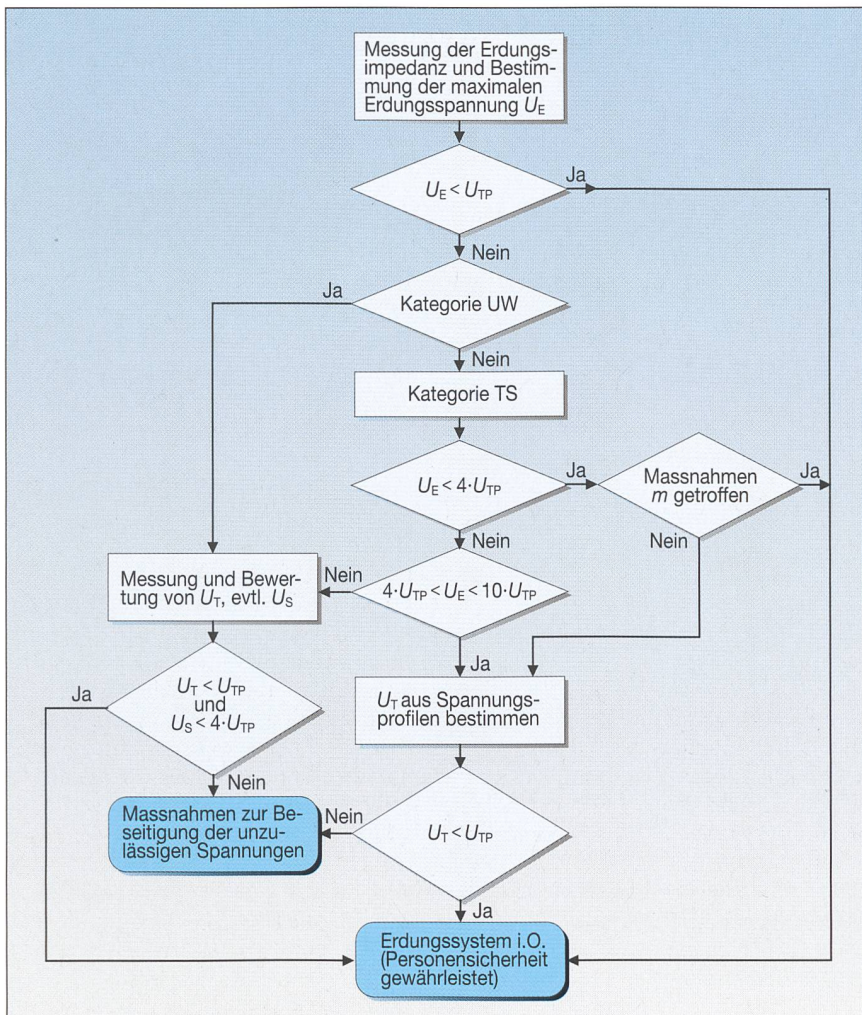


Bild 2 Flussdiagramm für Kontrolle und Beurteilung von Erdungsanlagen

Ablauf zur Bestimmung des maximalen Erdfehlerstroms. U_E : Erdungsspannung; U_{TP} : maximal zulässige Berührungsspannung; U_T : Berührungsspannung; U_S : Schrittspannung; UW: Ausgedehnte Erdungsanlagen (Unterwerke, Kraftwerke, Hochspannungsschaltanlagen usw.); TS: Kleinere Erdungsanlagen (Freileitungsmasten, Kleinkraftwerke, Transformatorstationen, Schaltstationen im Mittelspannungsnetz usw.); m: Massnahmen zur Verminderung der Gefährdung in besonderen Fällen nach StV Art. 56 Abs. 2

Die Erdungsimpedanz Z_A ist dabei jene Impedanz, an welcher die Erdungsspannung U_E , welche durch den Erdfehlerstrom I_F bzw. dem Kurzschlussstrom I_K hervorgerufen wird, abfällt.

Komfortable handelsübliche Messgeräte mit automatischen Prüfabläufen beginnen die Ermittlung der Erdungsspannung mit der Messung der gesamten Schleifenimpedanz Z_S , woraus später der Erdfehler- bzw. Kurzschlussstrom berechnet wird – dies im Gegensatz zu reinen Erdungsmessgeräten, welche nur die Erdungsimpedanz messen und der Erdfehlerstrom anhand von Faustformeln von Hand berechnet werden muss. Diese Schleifenimpedanz Z_S ergibt sich als die Summe der Impedanzen in einer Stromschleife, bestehend aus der Impedanz der Stromquelle (Netzzinnenimpedanz), der Impedanz des Aussenleiters von einem Pol der Stromquelle bis zur Messstelle und der Impedanz der Rück-

leitung von der Messstelle bis zum anderen Pol der Stromquelle (Bild 3).

Die Anforderungen an Messgeräte zur Bestimmung dieser Schleifenimpedanz ist in europäischen Normen wie etwa der EN 61557 sehr ausführlich beschrieben.

Messen der Schleifenimpedanz Z_S

Mit der Strom/Spannungs-Methode wird unter periodischer Belastung der Netzspannung der Schleifenwiderstand und anschliessend mit einem gesonderten Messverfahren der induktive Anteil der Stromschleife unter betriebsmässigen Bedingungen ermittelt. Über die Formel

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \quad (1)$$

kann dann die gesamte Schleifenimpedanz Z_S bestimmt und damit der maximal

auf tretende Erdfehler- bzw. Kurzschlussstrom im Falle eines satten Kurzschlusses an der Messstelle gemäss Formel 2 berechnet werden.

$$I_K = \frac{U_N}{Z_S} \quad (2)$$

Der erste wichtige Parameter, der Erdfehler- bzw. Kurzschlussstrom, wäre somit bestimmt. Noch ist keine Unstimmigkeit zu erkennen, da ja auch die angewendeten Verfahren zur Messung der Schleifenimpedanz europäisch verankert und anerkannt sind und die Berechnung des Erdfehlerstromes nur auf dem ohmschen Gesetz beruht.

Die Erdungsimpedanz Z_A

Um jedoch zum gewünschten Wert der maximalen Erdungsspannung zu kommen, muss noch die totale Erdungsimpedanz Z_A gemessen werden. Dann kann die Erdungsspannung anhand der in Formel 3 dargestellten Beziehung bestimmt werden.

$$U_E = \frac{U_N}{Z_S} \cdot Z_A = I_K \cdot Z_A \quad (3)$$

Wie bereits erwähnt, beschreibt die Norm EN 61557 die Anforderungen an Messgeräte zur Messung der Schleifenimpedanz. Sie beschreibt in einem weiteren Teil aber auch die Anforderungen an Messgeräte zur Messung der Erdungswiderstände.

Multifunktionale Prüfgeräte bieten heute neben der Messung von Schleifenimpedanzen, Isolationswiderständen usw. oft auch die Messung von Erdungswiderständen an. Daher ist es für Hersteller dieser Messgeräte ein Leichtes, eben diese Messung eines Erdungswiderstandes nach EN 61557 auch für die Bestimmung der totalen Erdungsimpedanz Z_A – und somit für die Ermittlung der maximalen Erdungsspannung nach SEV – heranzuziehen. Leider ist die einfachste und auch kostengünstigste Lösung nicht immer die messtechnisch korrekte, wie sich bei praktischen Messungen zeigt.

Die Zusammensetzung der Erdungsimpedanz Z_A

Die Wurzel des Übels liegt dabei darin, dass in TN-Systemen die totale Erdungsimpedanz Z_A nicht nur aus Erdungswiderständen besteht, sondern zu einem beträchtlichen Teil auch aus Induktivitäten, welche sich je nach den entsprechenden Verhältnissen aus den induktiven Anteilen der PEN-Leiter zusammen mit den

Mastererdmern³ ergeben. In Bild 3 ist dargestellt, wie sich – je nach gegebenen Umständen – das Erdungsnetzwerk, bestehend aus dem PEN-Rückleiter und den einzelnen Mastererdungen (Z_{PENX} , R_{AX} , R_B), in den als Erdungsimpedanz wirksamen Teil Z_A und den als Schleifenimpedanz wirkenden Teil Z' unterteilt (Bild 3b).

Die gesamte Schleifenimpedanz Z_S ergibt sich damit zu

$$Z_S = Z_L + Z' + Z_A \quad (4)$$

Einzig und allein Z_A ist dabei für die Höhe der Erdungsspannung ausschlaggebend: Die maximal auftretende Erdungsspannung U_E nach SEV 3569⁴ ist jene Spannung, die an Z_A , d.h. zwischen dem Erdungssystem und der Bezugserde, auftritt (Formel 3).

Allein auf dieser Basis kann bereits deutlich gesehen werden, dass es von grosser Bedeutung ist, nicht nur den Erdungswiderstand zu messen, sondern auch den induktiven (imaginären) Teil der totalen Erdungsimpedanz richtig zu bewerten. Das richtige Bewerten muss im Prinzip exakt wie die Messung der Schleifenimpedanz Z_S unter betriebsmässigen Bedingungen durchgeführt werden – und zwar mit der Methode der Netzspannungsabsenkung und anschliessender Berechnung der Impedanz aus reellem und imaginären Teil gemäss

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \quad (5)$$

Jede andere Bewertung würde nur ein Trugschluss sein, da man die imaginären Anteile der totalen Erdungsimpedanz nicht bewertet oder bestenfalls unterbewertet.

Bei Netzen mit grosser Strangausdehnung, die physikalisch bedingt höhere

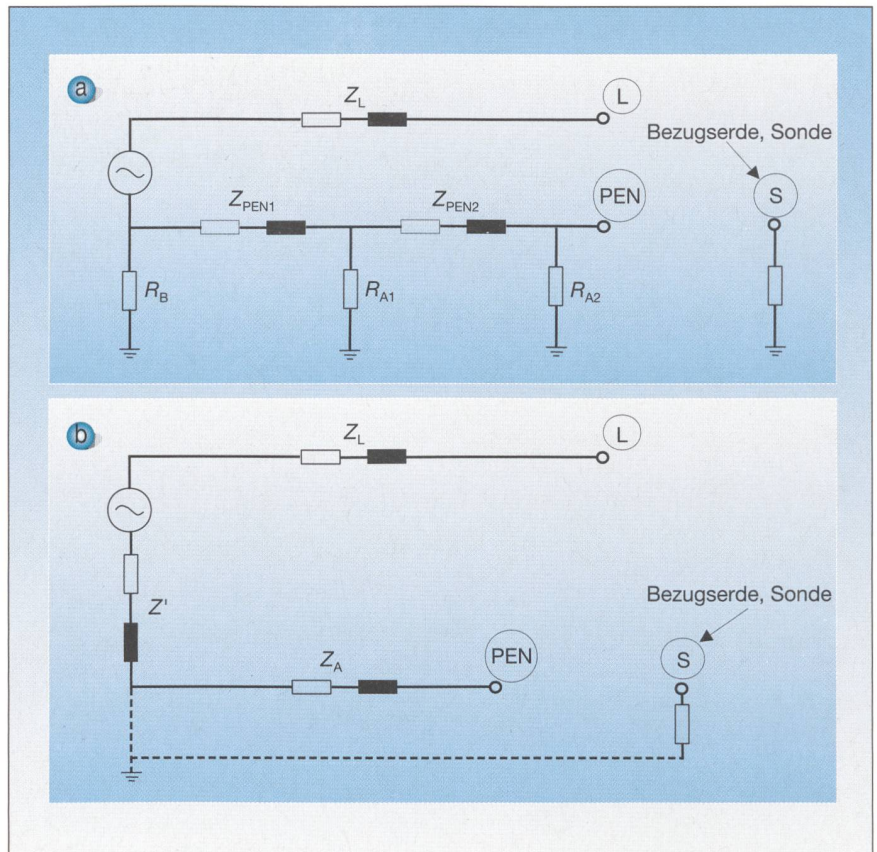


Bild 3 Schema eines Strangs mit TN-Netz und diversen Mastererdungen (a), sowie sein Ersatzschaltbild (b) Auf Grund des symmetrischen Aufbaus des Netzes (L-PEN) gilt $Z_A < Z_L$ und somit $U_{E_{max}} < \frac{1}{2} \cdot U_N$.

induktive Anteile aufweisen, könnten solche Vernachlässigungen etwa zu scheinbar viel zu kleinen Erdungsspannungen führen.

Die Elektrofachperson würde in diesem Fall bei der Dokumentation der Messungen die Anlagenerdung – beim Vergleich der gemessenen Erdungsspannung mit der SEV-Grenzwertkurve – als gut befinden, obwohl die Personensicherheit erheblich gefährdet sein könnte.

Zusammenfassend ist es also von grosser Bedeutung, dem Imaginären beim Ermitteln der Erdungsspannung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Inwieweit dies bei individuellen Messungen gewichtet werden muss, liegt immer noch im Ermessen der Elektrofachperson⁵. Dabei muss sie die vorhandenen Parameter berücksichtigen, sollte jedoch wissen, dass – egal ob induktive Anteile vorhanden sind oder nicht – Messgeräte, welche die Impedanzen korrekt bewerten, auf der messtechnisch richtigen Seite liegen.

Adresse des Autors

Ing. Jürgen Göbelhaider, LEM Norma GmbH, A-2345 Brunn im Gebirge, jgo@lem.com

Le côté imaginaire dans la détermination de la tension de prise de terre

La mesure des tensions de prise de terre sur les réseaux de lignes aériennes ou même de câbles de petites installations exige d'un appareil de mesure un peu plus qu'une simple mesure de résistances et l'application de la loi d'Ohm, car en effet ces mesures peuvent être faussées dans une large mesure si l'on néglige des facteurs apparemment sans importance, menant l'utilisateur sur une fausse piste. Ceci peut dans certains cas entraîner d'importantes erreurs d'investissement et même menacer la sécurité des personnes.

¹ Typ TS: kleinere Anlagen wie Einzelerder von Freileitungsmasten, Erdungen von Kleinkraftwerken, Transformatorstationen oder Schaltstationen im Mittelspannungsnetz

² Die Grenzwertkurve gemäss Anhang 4 der StV (Starkstromverordnung) Art. 54 (auch in SEV 3569 abgebildet) gibt die zulässige Berührungsspannung U_{TP} in Funktion der Einwirkzeit an.

³ Masterder: Erdung eines Freileitungsmastes

⁴ Definition nach Punkt 2. Begriffe

⁵ Die Impedanzen sind abhängig von Stranglänge, Abständen und Anzahl der Mastererdung sowie von Freileitungskabelarten usw.