

# Der Uebergangswiderstand von Erdleitungen

Autor(en): **Bachmann, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **4 (1926)**

Heft 4

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873875>

## **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.

während die andere empfängt und umgekehrt. In der Empfangsstelle muss die Impedanz des Empfangselementes so eingestellt werden, dass sie der Impedanz der Leitung auf der Empfangsseite entspricht, und ebenso sollte die Impedanz des Sendeelementes der Impedanz auf der Sendeseite der Leitung angepasst werden, damit die Empfangsausrüstung richtig geeicht werden kann, um allfällige Impedanzunterschiede zwischen den beiden Enden der Leitung wahrzunehmen. Eine nähere Beschreibung dieser Messung und der dazu dienenden Apparate wird an späterer Stelle gegeben.

(b) Dämpfungsmessung über Schleife. Wenn im entfernt gelegenen Amt keine Dämpfungsmessausrüstung vorhanden ist, so wird es nötig sein, das entfernte Ende mit einer Hilfsschleife in das Messamt zurückzuführen. Die Messungen sollten in bei-

den Richtungen vorgenommen werden, wobei die Impedanzen der Sende- und Empfangselemente des Messgerätes der Impedanz der zu messenden Leitung angepasst werden müssen.

Die so durchgeführte Messung gibt ein Äquivalent für die ganze, aus zwei Stromkreisen bestehende Schleife; um den Wert für jeden einzelnen Stromkreis zu erhalten, muss man drei Schleifenmessungen über drei Stromkreise ausführen, wobei die Werte für jeden Stromkreis aus diesen drei Messungen errechnet werden können.

Von den beiden beschriebenen Methoden ist die erste vom Prüfungsstandpunkt wie vom Verkehrsstandpunkt aus die weitaus einfachere, und zwar deshalb, weil weniger Messungen gemacht werden müssen und weil einzig der zu messende Stromkreis dem Betriebe entzogen werden muss.

(Fortsetzung folgt.)

## Der Uebergangswiderstand von Erdleitungen.

Von E. Bachmann, Zürich.

Obwohl in den letzten Jahren der grösste Teil der Telegraphen- und Telephonleitungen verdoppelt wurde, hat eine wirksame leitende Verbindung gewisser Anlageteile mit der Erde nichts von ihrer Bedeutung verloren. Neben den in immer grösserer Zahl nötig werdenden Schutzerdungen für Kabelauführungen und deren Luftleitungen bedürfen die Vermittlungsstellen auch bei den neuern Schaltungen zuverlässiger Betriebserdleitungen. In neuester Zeit interessieren sich auch die Inhaber von Radioanlagen sowohl zum Schutz, als auch zum Betrieb derselben für sicher wirkende Erdverbindungen, die in vielen Fällen in Form der in den Häusern vorhandenen Wasserleitungen auch vorgefunden werden.

Nicht immer steht aber eine Wasserleitung zur Verfügung, und es stellt sich dann die Frage, wie der gewünschte Zweck erreicht werden kann, ohne die Kosten mehr als unbedingt nötig zu erhöhen und gleichwohl ein Maximum an Leitfähigkeit zu erzielen. Es dürfte sich daher einigermassen lohnen, die besondern Eigenschaften dieser Teilanlagen, denn es handelt sich ja immer nur um solche, einer etwas eingehenderen Betrachtung zu unterziehen.

In körperlich begrenzten Elektrizitätsleitern ist der Leitungs-Widerstand abhängig vom spezifischen Widerstand, von der Länge und vom Querschnitt des betreffenden Körpers und ergibt sich rechnerisch aus der Beziehung:

$$W = \frac{c \cdot l}{q}$$

worin  $c$  den spezifischen Widerstand,  $l$  die Länge und  $q$  den Querschnitt des Leiters bedeutet. Der Leitungswiderstand fester Körper steht in umgekehrtem Verhältnis zu deren Querschnittsfläche.

Alle Erdverbindungen endigen in einer oder dann in mehreren parallel geschalteten Erdelektroden, die in Form von Röhren, Drähten oder Platten aus Eisen, Kupfer oder Zink eingelegt sind. Diese Elektroden sind umgeben von mehr oder weniger feuchter Erde, von Wasser und oft auch von Kohle. Die Berührungsstelle der gutleitenden Anlageteile mit der

schlechtleitenden Erdmasse setzt dem elektrischen Strom einen Uebergangswiderstand entgegen, der abhängig ist vom spezifischen Widerstand des schlecht leitenden Mediums, von der Form der Elektrode und von deren Abmessungen. Auch die Tiefenlage des Erdleiters ist von Einfluss. Dass der Uebergangswiderstand mit dem spezifischen Widerstand des umgebenden Erdmaterials zunehmen und mit den Abmessungen der Elektrode abnehmen muss, ist ohne weiteres erklärlich. Im Gegensatz zum Leitungswiderstand fester Körper ist es aber nicht eigentlich die Oberfläche, von welcher die Grösse des Uebergangswiderstandes bestimmt wird. Vielmehr müssen hier die linearen Dimensionen des leitenden Körpers in Betracht gezogen werden, die im umgekehrten Verhältnis zur Grösse des Uebergangswiderstandes stehen. Wie bereits erwähnt, unterliegt dieser aber auch einer Beeinflussung durch die Form der Erdelektrode.

Im Nachfolgenden soll der Versuch unternommen werden zu prüfen, welche Formen und Grössen von Erdleitern sich in wirtschaftlicher Hinsicht als am vorteilhaftesten erweisen. Gewiss könnte eine als ungenügend befundene Erdplatte ohne weiteres gegen eine grössere ausgewechselt werden. Dieses Verfahren wäre aber vom Standpunkt der Wirksamkeit, wie der Wirtschaftlichkeit, nicht empfehlenswert.

Die gewünschte Wirkung kann mit geringerem Materialaufwand erreicht werden, wenn Elektroden von geeigneten Formen und Dimensionen zur Anwendung gelangen. Eine nicht zu unterschätzende Wirkung besitzen auch die Zuleitungen zu den Erdplatten, soweit sie in feuchtem Erdreich verlaufen.

Die zur Bestimmung des Erdübergangswiderstandes bestehenden Formeln dürfen wohl nicht ohne weiteres für Vorausberechnungen als massgebend angesehen werden, weil der spezifische Widerstand der Erde je nach den örtlichen Verhältnissen sehr verschieden ist. Dagegen können sie zu einer vergleichswisen Betrachtung sehr wohl herangezogen werden. Sie stützen sich zwar auf den Strom-

übergang aus der Erdelektrode in ein örtlich unbegrenztes Medium, wie es streng genommen nahe der Erdoberfläche nicht vorhanden ist. Sämtliche Zahlen-ergebnisse müssten daher etwas grösser, unmittelbar an der Erdoberfläche doppelt so gross als die Rechnung ergibt, angenommen werden. Da es sich aber nach der Lage der Dinge überhaupt nicht um genaue Berechnungen handeln kann, dieselben vielmehr nur Vergleichszwecken dienen sollen, haben die bestehenden Unsicherheiten keine grössere Bedeutung.

Von den erwähnten Formeln seien hier nur die zwei hauptsächlich interessierenden angeführt. Für rechteckige Platten oder Bänder, deren kürzere Seite = a, das Verhältnis zwischen der längern und der kürzern Seite = n ist, wird der Uebergangswiderstand in Ohm:

$$W = \frac{c}{a \pi \sqrt{N}} \cdot \log \text{nat} \frac{n + 1 + \sqrt{N}}{n + 1 - \sqrt{N}} \quad *)$$

$$\text{wobei } N = (1 + n)^2 - \frac{8n}{\pi}$$

Für einen Draht mit dem Durchmesser d und der Länge n × d besteht die Beziehung:

$$W = \frac{c}{d \pi} \cdot \frac{\log \text{nat} 2n}{2n}$$

Im Nachfolgenden sollen diese Formeln an einigen Zahlenbeispielen auf ihre Eigenschaften hin erprobt werden. Als Wert des spezifischen Widerstandes wird für das schlecht leitende Erdmedium c = 10,000 Ohm, entsprechend dem für das Grundwasser ermittelten Widerstand, angenommen.

Für quadratische Platten vereinfacht sich die erstgenannte Formel und erhält die neue Form

$$W = \frac{c}{a \pi \sqrt{4 - \frac{8}{\pi}}} \cdot \log \text{nat} \frac{2 + \sqrt{4 - \frac{8}{\pi}}}{2 - \sqrt{4 - \frac{8}{\pi}}}$$

wobei a die Seite des Quadrates bedeutet. Die übrigen Ausdrücke sind nun unveränderlich, so dass ihr Zahlenwert eingesetzt werden kann. So gelangt man zu dem einfachen Ausdruck:

$$W = \frac{10000}{a \pi \cdot 1,204} \cdot 1,39$$

$$\text{oder } W = \frac{3680}{a}$$

Hieraus ergibt sich zum Beispiel für eine quadratische Erdplatte von 50 cm Seitenlänge ein Uebergangswiderstand von

$$W = \frac{3680}{50} = 73,6 \Omega.$$

Eine ebenfalls quadratische Platte von 100 cm Seitenlänge hat einen Uebergangswiderstand von der Hälfte des soeben erhaltenen oder 36,8 Ω. Somit ist derselbe tatsächlich umgekehrt proportional zur Seitenlänge des Quadrates, und nicht etwa zu dessen Fläche. Für eine Platte mit der Seite 150 cm wäre er ein Drittel desjenigen einer solchen von nur 50 × 50 cm usw.

\*) Uppenborn, schweiz. Kalender für Elektrotechniker, Jahrgang 1906, S. 74.

Nimmt man nun statt der quadratischen Platte ein rechteckförmiges Band, dessen Seitenlängen sich

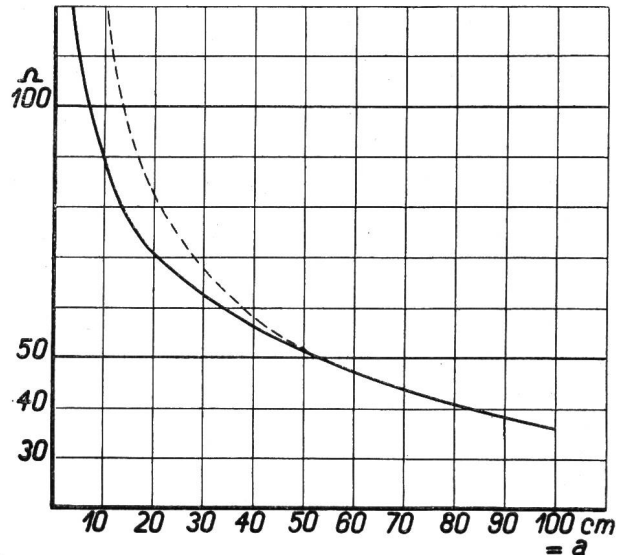
verhalten wie 10 : 1, so wird n = 10,  $\sqrt{N} = 9,77$  und

$$W = \frac{10000}{a \cdot \pi \cdot 9,77} \cdot \log \text{nat} \frac{11 + 9,77}{11 - 9,77} = \frac{326}{a} \cdot 2,82$$

Für eine Plattenlänge von 100 und eine Breite von 10 cm ergibt sich daraus

$$W = \frac{326}{10} \cdot 2,82 = 92 \Omega.$$

Der Uebergangswiderstand dieses Bandes beträgt also nur das etwa 2½fache desjenigen einer quadratischen Platte von 100 × 100 cm. Wird die Breite des Bandes auf 1 cm verringert, die Länge aber auf 100 cm belassen, so wird n = 100, a = 1 und der Uebergangswiderstand W = 160,7 Ω. Weitere Werte können der beigefügten, ununterbrochen ausgezogenen Kurve entnommen werden, welche dieselben für Platten von 100 cm Länge und die angemarkten Breiten angibt.



Die Widerstandskurve für rechteckförmige Platten verläuft bei unveränderlich angenommener längerer Seite zuerst rasch abfallend bis etwa zum Seitenverhältnis 5 : 1 (hier a = 20 cm), um sich dann in scharfer Biegung der geraden Linie zu nähern, wobei die Abnahme nur noch sehr langsam erfolgt.

Bei einer Plattenfläche, die jenen derjenigen der rechteckigen Platte entspricht, aber in Form eines Quadrates gewählt wird, erhält man die unterbrochene Linie. Aus ihr lässt sich ersehen, dass die Abweichungen zwischen Platten rechteckiger und quadratischer Form nicht sehr bedeutend sind, dass bei gleicher Fläche immerhin die ersteren günstiger sind, und zwar am vorteilhaftesten bei einem Seitenverhältnis von 5 : 1, während bei einer Plattenoberfläche von zirka 5000 cm<sup>2</sup> an die zu erwartenden Uebergangswiderstände annähernd dieselben sind.

In der Praxis wird man daher des nur wenig günstigeren Ergebnisses wegen kaum von der quadratischen Plattenform zu Gunsten der rechteckigen

abweichen, weil zur Verbesserung der Widerstandsverhältnisse, bzw. der Leitfähigkeit der Uebergangsstelle, wirksamere Mittel zur Verfügung stehen.

Als solches Mittel verdient Erwähnung die Legung einer weitem Erdplatte in nicht zu grosser Nähe der erstmals verlegten und die metallische Verbindung beider Platten unter der Erdoberfläche. Neben der Verbesserung der Ueberleitungsfähigkeit durch die zweite Erdplatte bleibt dabei noch zu prüfen, ob nicht auch die Verbindung zwischen den beiden Platten etwelche Einwirkung auf die Güte des ganzen Erdleitungssystems auszuüben vermöge.

Auf Grund der für Drähte aufgestellten Formel zeigt ein in der Erde ausgestreckt verlegter Draht von 5 mm Durchmesser (d) und 5 m Länge ( $n \times d = 500$  cm) einen Uebergangswiderstand von

$$W = \frac{10000}{0,5 \cdot \pi} \cdot \frac{2,3 \log 2 \cdot 1000}{2 \cdot 1000} = 24,2 \Omega,$$

während ein Draht von gleicher Länge, aber nur 3 mm Durchmesser

$$W = \frac{10000}{0,3 \cdot \pi} \cdot \frac{2,3 \log 2 \cdot 1666}{2 \cdot 1666} = 25,8 \Omega$$

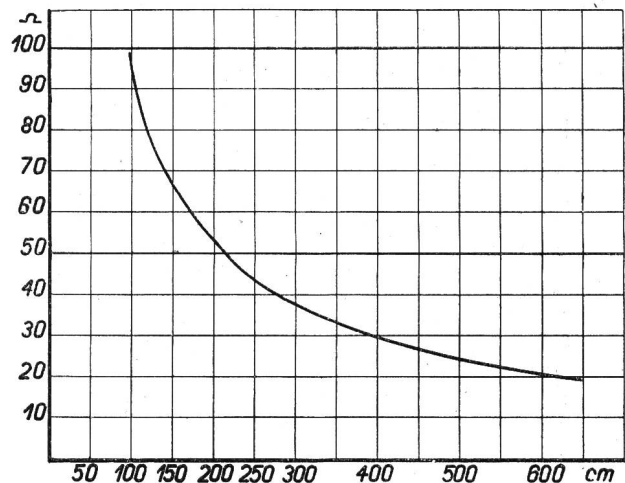
werden lässt. Der Durchmesser hat somit nur einen geringen Einfluss, dagegen macht sich die Drahtlänge bei etwelcher Aenderung sofort sehr stark bemerkbar, was an folgendem Beispiel ersichtlich ist.

Würde der gleiche 3-mm-Draht 10 m lang genommen, so ergäbe sich W zu 14  $\Omega$ .

Die nachfolgende Kurve zeigt, wie für einen Draht von 5 mm Durchmesser der Uebergangswiderstand mit zunehmender Länge im Boden abnimmt.

Es zeigt sich, dass diese Kurve einen ganz ähnlichen Verlauf nimmt, wie die für Platten gefundene. Vergleicht man überdies die Zahlenwerte beider Kurven, so gelangt man zu der auffallenden Tatsache, dass beispielsweise eine quadratische Platte von 100  $\times$  100 cm und ein Draht von 5 mm Durchmesser und 3 m Länge dem Strome ungefähr den gleichen Uebergangswiderstand entgegenseetzen (die

Rechnung ergibt 36 und 37,5  $\Omega$ ). Die Kombination dieser beiden Elektroden, d. h. die gleiche Platte verbunden durch eine Erdleitung von 5 mm Durchmesser, von welcher ein Stück von 3 Meter im leitenden Erdboden verläuft, ergibt, da beides zusammen eine Parallelschaltung bildet, einen Gesamtwiderstand gleich der Hälfte oder 18,7  $\Omega$ . Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass dem Erdleitungsdraht, d. h. der Verbindung mit der Erdplatte, eine durchaus nicht zu unterschätzende Bedeutung zukommt, sofern wenigstens der Draht in feuchtem Boden verläuft.



Vor Jahren schon angestellte Beobachtungen des Verfassers bei Anlass von Erdwiderstandsbestimmungen, in Verbindung mit den dabei als notwendig erkannten und gestützt hierauf auch ausgeführten Verbesserungen der zu hohen Uebergangswiderstände, bildeten die Anregung, den Ursachen der auffallenden Erscheinungen näher auf den Grund zu gehen. Die Theorie und die angestellten Berechnungen scheinen die aus der Praxis geschöpften Erfahrungen durchaus zu bestätigen.

## Description de l'installation du Bureau International du Travail.

Par H. Gimmi, Genève.

Le bâtiment du B. I. T., dont les travaux de construction et d'aménagement seront bientôt achevés, est situé hors de ville, au bord du lac. Cet édifice affecte la forme d'un vaste rectangle de 86 m. sur 33 environ, pourvu d'une grande cour intérieure, et comprend le sous-sol, le rez-de-chaussée, 3 étages et les combles. La partie centrale nord est en saillie sur la façade et se termine par une coupole vitrée en béton armé, qui servira à donner un éclairage particulièrement intense à la bibliothèque.

Au rez-de-chaussée se trouve la salle de réunion des membres du Conseil d'Administration, laquelle mérite une attention spéciale. Elle sera entièrement aménagée avec des dons faits par divers Gouvernements. Les boiseries et le mobilier ont été offerts par la Grande-Bretagne. La Grèce fournit les tapis, la Finlande et la Hollande les peintures, le Gouvernement français une tapisserie des Gobelins et le Gou-

vernement italien la reliure des livres qui seront placés dans la salle.

Dans le vestibule se trouvent déjà les deux statues offertes par le Gouvernement belge. A côté de la salle du Conseil ont été aménagés des locaux pour les sténographes des séances, un bureau spécial pour le Président et deux salles de commissions.

Les bureaux du Directeur et du Directeur-adjoint sont au premier étage et communiquent par un grand escalier avec le vestibule. Les divers services se répartissent entre les trois étages du bâtiment.

Aux combles se trouvent différents ateliers, un restaurant et une salle de réunions pour le personnel, une imprimerie, le logement du concierge et les locaux de la centrale automatique.

La centrale automatique a été prise en abonnement auprès de l'Administration des Télégraphes et Téléphones, qui en a donc aussi la charge de l'entre-