

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 36 (1945)
Heft: 22

Artikel: Korrosionserscheinungen an der Hochspannungsleitung Muotathal-
lberg
Autor: Schilling, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060269>

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>

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 23 77 44
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXVI. Jahrgang

N° 22

Mittwoch, 31. Oktober 1945

Korrosionserscheinungen an der Hochspannungsleitung Muotathal—Iberg

Mitteilung der Materialprüfanstalt des SEV (E. Schilling)

621.3.014.6 : 621.315.1

An der Freileitung über die Ibergeregge sind hauptsächlich nach der Erhöhung der Betriebsspannung von 8 auf 15 kV öfters Störungen aufgetreten. An Bundstellen waren Aldreyseile bis auf den halben Leiterquerschnitt geschwächt, so dass Leiterbrüche auftraten. Die Ursache dieser Leiterkorrosion war vermutlich starkes Glimmen an defekten Isolatoren, die infolge ihrer Befestigung auf Holzmasten nach einem Durchschlag des Porzellankörpers noch längere Zeit im Betrieb bleiben konnten. Die Umwicklung des Aldreyseils mit Aluminiumband an der Bundstelle wird die Störungen kaum reduzieren; dagegen kommen in Frage: Ueberspannungsschutz der Leitung, Verstärkung der Isolatoren, Kontrolle und Auswechseln von defekten Isolatoren.

Des perturbations se sont produites fréquemment sur la ligne aérienne de l'Ibergeregge, depuis que la tension a été portée de 8 à 15 kV. La section des conducteurs câblés en aldrey était diminuée de moitié aux attaches, ce qui provoqua des ruptures de conducteurs. La cause de cette corrosion provenait probablement de forts effluves à des isolateurs défectueux, qui pouvaient demeurer encore longtemps en service après une perforation de la porcelaine, parce qu'ils sont fixés à des poteaux en bois. La pose d'un ruban d'aluminium aux attaches du conducteur en aldrey ne peut guère réduire les perturbations. On peut envisager, par contre, une protection de la ligne contre les surtensions, un renforcement des isolateurs, ainsi qu'un contrôle et un remplacement des isolateurs défectueux.

Die Betriebsleitung des Elektrizitätswerkes Schwyz hat uns vor kurzem beauftragt, an Hand von einigem Freileitungsmaterial die Ursache von Schadenfällen an ihrer Uebertragungsleitung Schwyz - Iberg abzuklären. Ueber die Leitungsanlage und die Störungen geben wir aus den Mitteilungen der Betriebsleitung eine kurze Zusammenstellung.

Die Leitung von 12,2 km Länge führt von Ried - Muotathal nach Unter-Iberg über eine maximale Höhendifferenz von 850 m. Sie wurde im Jahre 1929 erstellt und durchquert ein sehr gewitterreiches Gebiet (Oberberg - Ibergeregge). Wiederholt wurden direkte Blitzeinschläge in die Leitung festgestellt, wobei dreimal Isolatoren zerstört wurden und eine Oelschalterexplosion im Kraftwerk auftrat. Im Jahre 1940 zerriss ein Leiter an der Bundstelle eines Isolators; die Bruchstelle zeigte einen vermutlich durch Korrosion auf die Hälfte reduzierten Leiterquerschnitt.

Die Bauart der Leitung ist durch folgende Daten charakterisiert:

Mit Ausnahme des Weitspannstückes Ried - Illgau, das mit Hängeisolatoren auf Gittermasten abgespannt ist, sind alle übrigen Leitungsstücke, und zwar sowohl Regel- als auch Weitspannstücke, auf Holzmasten befestigt. Die Zahl der Holzmasten beträgt 287. Als Leiter wurden Aldreyseile von 50 mm², 14 × 2,2 mm Drahtdurchmesser (für einzelne Weitspannstücke auch 70 mm²) verwendet. Für Abspannungen waren pro Kette 2 Kappenisolatoren, Typ Ohio-Brass, für Traggestänge Rosenthalerisolatoren auf gebogener Stütze, Typ Beznau 25 kV, braun, ein-

gebaut. Auf den Stützisolatoren wurde einheitlich der Böglbund angewandt, mit vorgeformtem Bögli aus Reinaluminium von 8 mm \varnothing und Reinaluminium-Binddraht von 2 mm \varnothing . Erst bei späteren Reparaturen wurde das Aldreyseil an der Bundstelle mit Aluminiumband umwickelt.

Die Leitung war von 1929 bis Ende 1944 mit 8 kV betrieben worden. Am 28. November 1944 wurde bei trockenem und kaltem Wetter die Betriebsspannung auf 15 kV erhöht. Zunächst konnte weder auf der Leitung noch an den Schalttafelinstrumenten irgendeine anormale Erscheinung beobachtet werden. Am folgenden Tag regnete es bis zur Höhenlage von 1400 m ü. M. Ungefähr 3 Stunden nach Beginn des Regenfalles trat auf der Leitung ein Dauerkurzschluss auf. Auf dem Traggestänge eines Weitspannstückes waren zwei Seile losgerissen. Ein Seil lag auf der Holztraverse, das zweite auf dem Boden. Nach Beheben dieser Störung löste der Schalter wieder durch Kurzschluss aus, wobei nochmals zwei lose Seile festgestellt wurden. Sämtliche Isolatoren wurden nach diesen Erfahrungen durch Beklopfen kontrolliert und ca. 20 Stück, die bei dieser Probe einen dumpfen Ton aufwiesen, ausgewechselt. Diese Massnahme hatte zunächst Erfolg. Bei einem heftigen Gewitter am 25. Juni dieses Jahres trat auf der Leitung wieder ein Dauerkurzschluss auf, der zur Auswechslung von 4 defekten Isolatoren führte. Die Betriebsleitung des EW Schwyz beabsichtigt nun, die Grosszahl der Isolatoren auf dieser Leitung auszuwechseln.

Bei einigen ausgewechselten Isolatoren zeigte das Aldreyseil an der Bundstelle, d. h. an der Berüh-

rungsstelle des Leiters mit dem Stützisolator, typische Zerstörungen, die als Korrosionsstellen angesprochen werden mussten. Auffallenderweise wurden weder an den vorgeformten Aluminiumbögli, noch am Aluminium-Binddraht ähnliche Anfressungen beobachtet.

Zwei vom EW Schwyz aufgeschnittene Isolatoren zeigten in der Schnittfläche keine Porzellanfehler, dagegen war der Hanf am oberen Stützenende stark verkohlt. Auf Grund dieser Feststellungen wurde vermutet, dass starkes Glimmen die Korrosion des Aldreyseiles bewirkt habe. Spätere Beobachtungen führten die Betriebsleitung zur Ueberzeugung, dass die Korrosionserscheinungen am Aldreyseil hätten vermieden werden können, wenn das Seil an der Bundstelle mit Aluminiumband umwickelt worden wäre. Die Untersuchung durch die Materialprüfanstalt des SEV sollte zunächst abklären, welches die primäre Ursache der Zerstörung des Aldreyseiles war und wenn möglich eine Begründung geben, warum das Aluminium an der Bundstelle sich widerstandsfähiger erwies als das Aldreyseil.

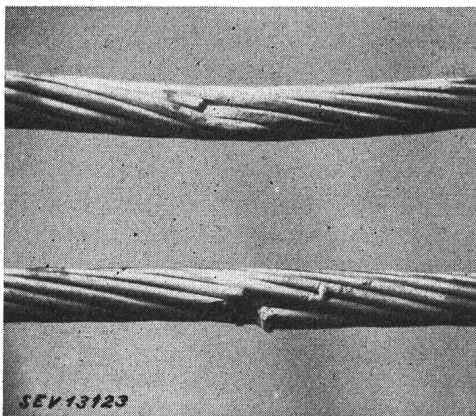


Fig. 1.

Aldreyseilstücke 50 mm²

Oben: mit Korrosionsanfressung.

Unten: mit Brandstelle von Leistungslichtbogen, Schmelzperlen.

Fig. 1 zeigt den typischen Unterschied zwischen der korrosionsartigen Anfressung des Seils (oben) und der Zerstörung von einzelnen Drähten durch den Leistungslichtbogen (unten). Die Korrosionsanfressungen bilden grössere, leicht konkav gewölbte Flächen, die sich der Bundrille des Isolators gut anschmiegen, während der Leistungslichtbogen unregelmässige Löcher ausbrennt und typische Schmelzperlen hinterlässt. Die Anfressung durch Korrosion in Fig. 1 oben zeigt den Anfangszustand, bei dem erst ein Draht vollständig gebrochen ist; es wurden aber auch Anfressungen bis auf den halben Leiterquerschnitt festgestellt. Beim Betrachten der Angriffsfläche durch das Mikroskop erscheint die Aldreyoberfläche wie ein von Rost freigelegtes Eisenstück.

Die drei samt Stütze uns zugestellten Isolatoren, die auf der Iberger Leitung in Betrieb gestanden hatten, wurden zunächst mit Wechselspannung

50 Hz beansprucht. Bei Montage der Isolatoren auf einer Holzstange und geerdeter Stütze wurde am Bund schon bei 5 kV im Dunkelraum des Prüffeldes deutliches Glimmen beobachtet, während ein neuer Isolator erst bei ca. 20 kV Glimmpunkte zeigte. Die

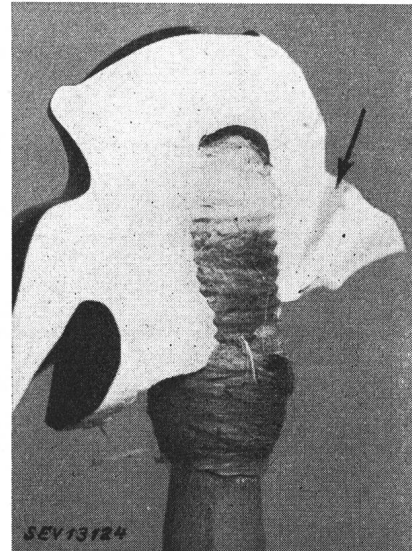


Fig. 2.

Rissfläche im Porzellan

drei erstgenannten Isolatoren wurden bei 34, 37 und 62 kV in der Bundrille durchschlagen, während am fabrikneuen Isolator bei 74 kV ein Uberschlag zwischen Bund und gebogener Stütze (horizontal, nicht

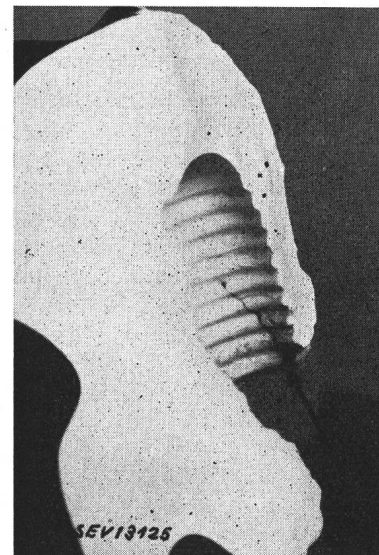


Fig. 3.

Risslinie im Stützenloch

über die Isolatorglocke) auftrat. Durch sorgfältiges Aufbrechen der Isolatoren konnten die Durchschlagstellen (vgl. Fig. 2, 3 und 4) freigelegt werden. Es handelt sich hier um Risse im Porzellan, die längere Zeit vor der Prüfung schon bestanden haben. Dabei ist zu bemerken, dass sich nicht nur ein Durch-

schlagskanal gebildet hat; über eine grössere Rissfläche ist ein ganzes Netz von Kriechspuren sichtbar, die an verkohlten Hanfstellen um die Stütze endigen.

Diese Isolatoren sind auf Holzstangen montiert unter einer Betriebsspannung von 15 kV gestanden. Bei der Prüfung wurde aber schon bei 5 kV Glimmen in der Bundrille beobachtet; die Durchschlagspannung betrug 34...62 kV bei geerdeter Stütze, während am fabrikneuen Isolator vor Erreichen der Kopfdurchschlagsfestigkeit ein Ueberschlag auf die Stütze erfolgte. Danach ist mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass die primäre Ursache der Störungen auf der Leitung an defekten Isolatoren zu suchen ist. Solche Isolatoren konnten noch längere Zeit nach der Rissbildung im Betrieb stehen. Besonders bei nassem Wetter, wenn die Isolierfähigkeit der Holzstangen für Wechselspannung 50 Hz stark redu-

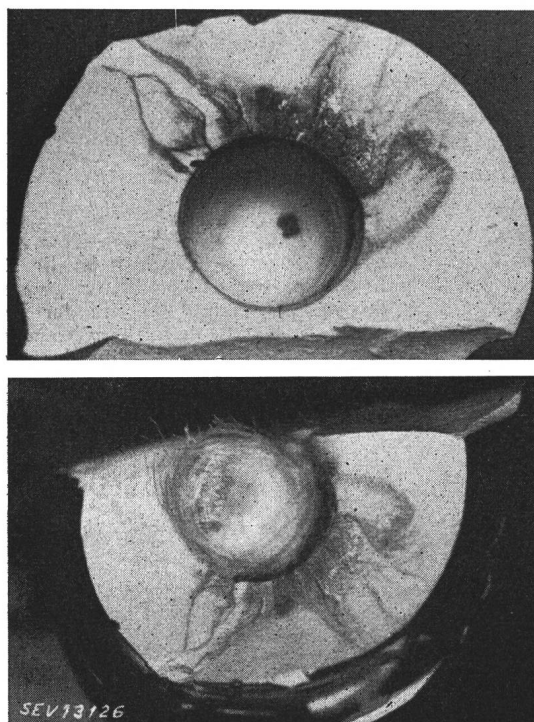


Fig. 4.

Rissfläche im Porzellan

Oben: Kopfteil des Isolators.

Unten: Isolatorglocke mit oberem Stützenende (Hanf).

ziert war, musste zwischen Bund und Stütze starkes Glimmen bestehen. Als Folge dieses Glimmens haben sich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit nitrose Gase, Salpetersäure bilden können, die die Abtragung des Leitermaterials verursachten. Es ist aber auch möglich, dass das Glimmen die schützende Oxydschicht des Aldreyleiters mehr mechanisch zerstörte und dadurch die Korrosion bewirkte.

Ohne weiteres ist vielleicht nicht verständlich, warum sich Kopfdurchschläge an den Isolatoren und Porzellanrisse ausbilden konnten, da doch bei einer Wechselspannungsprüfung ein Ueberschlag zwischen Bund und gebogener Stütze (horizontal) erfolgt, bevor der Porzellanmantel durchschlagen wird. Dazu sei bemerkt, dass kurzzeitig verlaufende

Ueberspannungen, z. B. atmosphärische oder Schaltuüberspannungen nicht den gleichen Ueberschlagsweg erzeugen müssen, wie die Ueberschlagsprüfung bei 50 Hz. Je steiler solche Spannungsschüsse auf einen Stützisolator auftreffen, desto höher kann die Ueberspannungsspitze ansteigen und damit Werte erreichen, die zum Durchschlag des Porzellans führen. Im vorliegenden Fall ist anzunehmen, dass Gewitteruüberspannungen die Kopfdurchschläge der Stützer verursachten, wobei aber infolge der Isolierfähigkeit der Holzstangen kein dauernder Kurzschluss zustande kam. Porzellanrisse können sich aber auch durch rein mechanische Einwirkung, z. B. brüskten Temperatursturz oder Dehnungsrisse als Folge von zu satten Aufhanfen, ausbilden. Das EW Schwyz hat aber das Aufhanfen der Isolatoren besonders sorgfältig ausgeführt; zwischen Kopfteil der Isolatoren und Stützenende wurde mindestens ein Abstand von 5...10 mm eingehalten. Der in Fig. 3 ersichtliche Riss im Stützenloch scheint allerdings eher auf mechanischer als elektrischer Einwirkung zu basieren.

Es war noch die Beobachtung zu klären, warum das Aldreyseil an vielen Stellen diese Korrosionserscheinung aufwies, während sich an Reinaluminiumteilen des Bundes (Bögli, Aluminiumband und Aluminiumbinddraht) anscheinend keine ähnlichen Anfressungen zeigten. Zunächst ist bekannt, dass Reinaluminium weniger korrosionsanfällig ist als Aldrey. Der einzige vollständige Bund, der uns zur Prüfung eingesandt wurde, war mit Aluminiumband um den Leiter ausgeführt. Dieses Band wie auch der Leiter waren durch den Leistungslichtbogen vollständig durchgeschmolzen. Eine Stelle des Aluminiumbandes neben den Brandperlen liess jedoch vermuten, dass auch an diesem Aluminiumteil eine ähnliche Korrosionsanfressung bestanden hatte, wie die, welche von den Aldreyleitern geschildert wurde. Ganz eindeutig zeigte aber eine weitere Anfressung am Bögli auf eine Länge von 1,5 cm und ca. 0,5 cm Breite die gleiche Oberflächenbeschaffenheit wie das Aldreyseil an den Korrosionsstellen. Die Querschnittsverminderung des Böglis ist jedoch gering. Dieses Ergebnis lässt darauf schliessen, dass an Reinaluminiumteilen des Bundes die gleichen Korrosionserscheinungen auftreten wie am Aldreyleiter, dass aber die Anfressungen kleinere Ausmasse annehmen und dadurch unbeachtet bleiben. Es besteht auch die Möglichkeit, dass die vermutlich weniger häufigen Aluminium-Korrosionsstellen nachträglich durch die Brandspuren des Leistungslichtbogens überdeckt wurden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass an der Uebertragungsleitung Schwyz - Iberg Korrosionserscheinungen auftraten, die bis zum Leiterbruch führten, ohne dass Brandperlen von Leistungslichtbogen festzustellen waren. Die Ursache dieser Anfressungen muss zunächst in defekten Isolatoren gesucht werden, die während längerer Zeit mit Porzellanrisse im Betrieb standen. Starkes Glimmen führte zum Abtragen des Materials am Bund. Nach unserer Beurteilung kann aber der Schutz des Al-

dreyseils durch Aluminiumband nicht hinreichend genügen, um diese Korrosion zu vermeiden.

Diese Mitteilungen sind erfolgt, um Erfahrungen zu sammeln, und wir möchten die Betriebsleitungen von Elektrizitätswerken bitten, uns bei Beobachtung ähnlicher Erscheinungen Mitteilung zu machen und

uns evtl. Material zur Untersuchung zuzustellen. Wir sind gerne bereit, hierüber weitere Versuche durchzuführen und die gemachten Erfahrungen und Prüfergebnisse bekanntzugeben.

Adresse des Autors:

E. Schilling, Ingenieur der Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Tabellen für die rasche Bestimmung der Reaktanz von Dreiphasenleitungen und Sammelschienen

Von W. Streuli, Baden

621.3.011.3 : 621.315.025.3

Jeder Elektrotechniker muss gelegentlich die Reaktanz von Leitungen oder Sammelschienen berechnen, jedoch nicht häufig genug, um die Methode ohne immer erneutes Suchen von Unterlagen und Studium zu beherrschen. Die folgenden Tabellen dürften ermöglichen, derartige Arbeiten mit genügender Genauigkeit in einem Bruchteil der sonst dafür nötigen Zeit zu erledigen.

Les électrotechniciens ont parfois à calculer la réactance de lignes aériennes ou de barres omnibus. La majorité d'entre eux sont alors obligés de rechercher la documentation nécessaire et de procéder à une nouvelle étude de ce sujet. Les tableaux suivants leur faciliteront ce travail, en leur permettant d'arriver beaucoup plus vite à un résultat de précision suffisante dans la plupart des cas.

Die Betriebsreaktanz einer symmetrisch belasteten Dreiphasenleitung, bestehend aus drei in gleichseitigem Dreieck angeordneten kreisrunden Massivleitern *abc*, ist bei 50 Hz, Skineffekt vernachlässigt:

$$X_{50} = 0,145 \left(\log_{10} \frac{D}{r} + 0,109 \right) \text{ Ohm/km} \quad (1)$$

wo:

D Abstand der Leitermitten
r Halber Leiterdurchmesser

Die Ableitung¹⁾ zeigt, dass das erste Glied in der Klammer auf das Feld zwischen der Oberfläche eines Leiters und der Mitte eines andern, das zweite Glied auf das Feld im Innern der Leiter zurückzuführen ist.

Etwas umgeformt wird Gl. (1)

$$X_{50} = 0,145 \log_{10} \frac{D}{0,779 r} \quad (2)$$

Ein Vergleich mit (1) zeigt, dass (2) die Form für die Reaktanz eines Leiters ohne inneres Feld, also eines unendlich dünnwandigen Hohlleiters hat. Wählt man den Radius dieses Hohlleiters zu $0,779 r$, so ist er bezüglich der Reaktanz ein vollkommener Ersatz für den wirklichen Leiter, so dass die Berechnung der Reaktanz auf das innere Feld keine Rücksicht mehr zu nehmen braucht.

Bei Leitern beliebigen Querschnittes tritt an Stelle von $0,779 r$ ein von der Form abhängiger Ersatzradius ϱ , und bei unsymmetrischer, aber vollkommen verdrehter Leitungsanordnung an Stelle von D ein mittlerer Abstand δ , so dass (2) sich allgemein folgendermassen schreiben lässt:

$$X_{50} = \underbrace{0,145 \log_{10} \delta}_A + \underbrace{(-0,145 \log_{10} \varrho)}_B \text{ Ohm/km} \quad (2')$$

$$\text{Dabei ist } \delta = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}.$$

¹⁾ Genau z. B. bei F. Breisig: Theoret. Telegraphie.

Die Werte für ϱ , *A*, *B* sind in den Tabellen I..IV zusammengestellt, die, wenn nötig mittels Interpolation, durch eine einfache Addition die Reaktanz aller üblichen Leitungen und Sammelschienen zu bestimmen gestatten.

[Für kreisrunde Leiter lässt sich den Summanden *A* und *B* folgende physikalische Bedeutung geben: *B* ist die Reaktanz herrührend vom Feld im Innern des Leiters plus demjenigen ausserhalb bis zum Abstand 1 cm von der Leitermitte (δ und ϱ in cm), *A* die Reaktanz herrührend vom Feld zwischen dem Abstand 1 cm und der Mitte der andern Leiter. Dabei wird *B* negativ, sobald der Ersatzradius $\varrho > 1$ cm ist.]

Beispiel:

Man bestimme die Reaktanz von 30 m Dreiphasen-Sammelschiene nach Fig. 1:

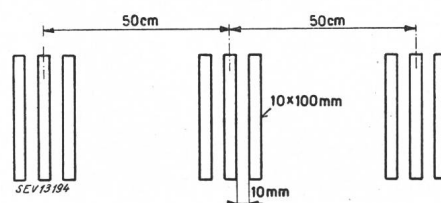


Fig. 1.

$$\delta = \sqrt[3]{50 \cdot 50 \cdot 100} = 50 \sqrt[3]{2} = 63$$

$$A \text{ aus Tab. II} = 0,260$$

$$B \text{ aus Tab. IV} = -0,043$$

$$\text{pro km} \quad +0,217, \text{ also}$$

Reaktanz für 30 m 0,0065 Ohm.

(Sind die Phasenleiter nicht, wie vorausgesetzt, untereinander verdreht, so ist die Reaktanz des inneren Leiters bei dieser Anordnung um ca. $0,010 \Omega/\text{km}$ kleiner, die der beiden äusseren um ebensoviel grösser als der nach den Tabellen bestimmte Mittelwert, unabhängig vom Phasenabstand.)

Quellen

Nesbit Wm.: Electrical Characteristics of Transmission Circuits (Westinghouse Technical Night-School Press).

Teilweise auch enthalten in:

Wager und Evans: Symmetrical Components. Mc. Graw-Hill.
Schulze R. C. R.: Calculation of Fault Currents in Industrial Networks. Electr. Engg. 1941, S. 271.