

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 25 (1934)
Heft: 4

Artikel: Ueber die Gefährdung von Freileitungsnetzen für Niederspannung durch Gewitter
Autor: Roth, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060134>

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:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:

A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4
Stauffacherquai 36/40

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

XXV. Jahrgang

N^o 4

Mittwoch, 14. Februar 1934

Ueber die Gefährdung von Freileitungsnetzen für Niederspannung durch Gewitter.

Von Dr. A. Roth, Aarau.

621.316.93 : 621.315.3

Der Autor versucht, anhand der Forschungsergebnisse der letzten Jahre ein qualitatives und, grössenordnungsmässig, quantitatives Bild der Vorgänge zu geben, die durch Blitzstörungen in Niederspannungsfreileitungen hervorgerufen werden, wobei direkte Blitzeinschläge eingehender behandelt werden. Durch solche Blitzschläge in das Freileitungsnetz können Ueberspannungen von der Grössenordnung einiger 10 000 Volt in den Hausinstallationen auftreten, die, wenn auch sehr selten, Menschen und Sachen gefährden können. Zum Schluss erörtert er die Schutzmöglichkeiten gegen solche Ueberspannungen in Hausinstallationen, deren wichtigste häufige und gute Erdung der Isolatorenstützen im Netz ist, vervollständigt durch gute und gut geerdete Ueberspannungsableiter.

Partant des recherches effectuées au cours de ces dernières années, l'auteur essaie de donner une image qualitative et approximativement quantitative des phénomènes engendrés par les décharges atmosphériques dans les réseaux aériens à basse tension, en étudiant plus particulièrement les décharges directes. Celles-ci peuvent produire dans les installations intérieures, des surtensions de l'ordre de grandeur de quelques 10 000 Volts qui, quoique très rarement, peuvent devenir une source de danger pour les personnes et les choses. Pour terminer, l'auteur discute des moyens propres à protéger les installations intérieures contre ces surtensions; le plus important consiste à mettre soigneusement à la terre le plus grand nombre possible de supports d'isolateurs; il doit être complété par des parasurtensions de bonne qualité et bien mis à la terre.

Während in den letzten Jahren eine Fülle von Arbeiten über die Frage des Gewitterschutzes von Hochspannungsnetzen veröffentlicht wurden, so hat das Verhalten der Niederspannungsnetze gegenüber Gewittererscheinungen bis jetzt nur wenig Beachtung gefunden. Und doch kann es von grosser Wichtigkeit sein, wie Unfälle beweisen, welche sich von Zeit zu Zeit, wenn auch recht selten, ereignen. Aufsehen erregende Fälle sind in den letzten Jahren in Frankreich vorgekommen, so z. B. im Departement Corrèze, wo im Jahre 1929 während zwei Gewittern 13 Personen infolge von Blitzschlägen in das Niederspannungsnetz ums Leben kamen. Andere Fälle wurden gemeldet aus dem Massiv Central, den Vogesen, den Alpen, dem Jura, den Pyrenäen¹⁾.

Im folgenden soll der Versuch gemacht werden, an Hand der Ergebnisse der reichhaltigen Forschungsarbeiten an Hochspannungsanlagen²⁾ Vorgänge in Niederspannungsnetzen während Gewittern zu betrachten.

Wenn auch unsere Kenntnisse über die Eigenschaften der Blitzschläge noch viele Lücken aufweisen (z. B. in bezug auf den genauen zeitlichen Verlauf der Blitzstromkurve, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der verschiedenen Blitzstromstärken, die Kenntnis derjenigen Oertlichkeiten, wo

Blitzeinschläge erwartet werden können, das genaue Verhalten der Erdungen beim Durchgang grosser Blitzstromstärken), so dürfte es doch für alle Beteiligten interessant sein, heute wenigstens den ungefähren Ablauf der Erscheinungen zu kennen, so wie er nach dem heutigen Stand der Forschung sich darstellt.

In diesem einschränkenden Sinne sollen auch die im folgenden ausgeführten Rechnungen aufgefasst werden, nämlich als zur Bestimmung der Grössenordnung der Erscheinungen einerseits, zum besseren Verständnis der Vorgänge andererseits dienend.

Der Verfasser ist sich bewusst, dass über die Frage der Notwendigkeit eines Schutzes heute noch verschiedene Meinungen möglich sind, wie das ja auch beim Gebäudeblitzschutz der Fall ist. Auf jeden Fall scheint es aber nicht richtig, wenn in einem gegebenen Falle Massnahmen für Gebäudeblitzschutz getroffen werden, die elektrische Freileitung aber, welche im Gebäude endet und den Einzugsbereich des Gebäudes gegenüber dem Blitz vergrössert, nicht in diesen Schutz einbezogen wird. Die sehr interessanten Erhebungen der Kommission des SEV für Gebäudeblitzschutz enthalten einige Fälle, die auch in dieser Beziehung zu denken geben³⁾.

¹⁾ Ledoux, Bull. Soc. franç. Electr. 1930, S. 1061.

²⁾ Siehe z. B. Gewittermessungen des SEV, von Berger.

³⁾ Bull. SEV 1933, S. 209.

Die Gewitterfolgen können dreierlei Art sein:

1. Durch die Gewitterenergie selbst hervorgerufen (Tötung von Menschen und Tieren durch auf den Leitungen erzeugte Ueberspannung).
2. Durch Zerstörung der Isolation der Niederspannungsanlage und die daraus sich möglicherweise ergebenden Gefahren für Lebewesen.
3. Durch Zerstörung der Isolation an Hochspannungsnetzen und daraus sich ergebenden Uebertritt von Hochspannung ins Niederspannungsnetz (Tötung von Lebewesen, Feuersbrünste).

Wenn einerseits die Bedeutung der Gewittergefährdung für den allgemeinen Fall nicht übertrieben werden soll, so muss doch andererseits darauf hingewiesen werden, dass gerade in Niederspannungsnetzen die Gefahrmöglichkeit dadurch erhöht wird, dass die Hausinstallation den schwächsten Punkt der Anlage bildet.

I. Vorgänge im Leitungsnetz bei Gewittern.

1. Statische Aufladung durch Wolke⁴⁾.

Durch das elektrische Feld der herannahenden Gewitterwolken wird bei gutem Isolationszustand das Netz langsam aufgeladen. Es können auf diese Weise bedeutende Ueberspannungen im Netze entstehen. Es scheint aber, dass die praktisch vorhandene Ableitung durch verschmutzte und feuchte Isolatorenoberflächen usw. genügt, um diese Ueberspannungen zu vermeiden. Eine Erdung, direkt oder über Ableiter, bringt sie mit Sicherheit zum Verschwinden.

2. Induzierte Entladung durch Blitzschlag⁵⁾.

Wird die Wolke durch einen Blitzschlag, der aber die Leitung nicht trifft, plötzlich, d. h. in einigen $10 \mu\text{s}$ entladen, so werden in der Leitung Spannungen gegen Erde statisch induziert, deren Grössenordnung gewöhnlich einige kV zu betragen scheint, welche aber bis 80 kV ansteigen können⁶⁾. Gefährlich werden können sie in Häusern, sei es, dass zufällig Personen getroffen werden (Berührung eines Schalters), sei es, dass die durch einen Defektstrom im Gebäude hervorgerufenen Spannungsabfälle schädlich werden. Bei einem Wellenwiderstand des Netzes von 600 Ohm kann ja die Stromstärke immerhin $80\,000 : 600 = 135 \text{ A}$ betragen. An Gebäudeteilen mit Widerständen von 20 Ohm können also schon gegen 2700 V auftreten.

3. Einschlag des Blitzes oder von dessen Seitenästen in die Leitung.

Betrachtungen über direkte Blitzwirkungen müssen von der Stromkurve des auftretenden Blitzstrahles ausgehen, denn diese ist ja die gegebene Grösse, welche durch Vorgänge auf der Leitung wenig beeinflusst wird, während die auf Leitungen gemessenen Spannungskurven durch Ueberschläge und andere Erscheinungen vollständig geändert

werden. Diese Kurven bilden infolgedessen den Kernpunkt jeglicher quantitativer Untersuchung. Auf Grund unserer bisherigen Erkenntnisse dürfte mit einem Verlauf nach Fig. 1 gerechnet werden: Der Stromverlauf ist fast immer aperiodisch. Die Entwicklungs- und Ausklingzeiten bilden Bruchteile oder Vielfache von $10 \mu\text{s}$.

Was die Amplitude anbelangt, so können wahrscheinlich sämtliche Stromstärken zwischen 0 und

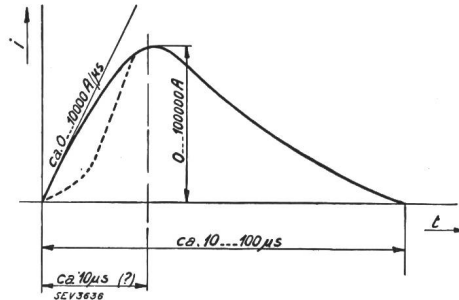


Fig. 1.

Zeitlicher Verlauf der Stromstärken des Blitzes nach dem heutigen Stand der Forschung.

100 000 A vorkommen, vielleicht auch ausnahmsweise noch höhere Werte⁷⁾.

Die Amplitude des Stromes hängt einerseits von der Gewitterintensität, andererseits von den meteorologischen Bedingungen in der betroffenen Landesgegend ab, vielleicht aber auch von der Bodenbeschaffenheit an der Einschlagstelle. Ebenso hängt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Leitung vom Blitz getroffen wird, sowie die Häufigkeit dieses Ereignisses von den meteorologischen Verhältnissen der Landesgegend und von der besonderen Bodenbeschaffenheit der Oertlichkeit ab⁸⁾.

Das Studium des Einflusses der Bodenbeschaffenheit ist ausserordentlich wichtig, und man darf wohl erwarten, dass es massgebenden Einfluss auf die Beurteilung der Schutzfrage im Einzelfall gewinnen wird.

Was die Geschwindigkeit der Strombildung anbelangt, so dürfte eine Messung von Bell und Price von Interesse sein, bei der in einem Einzelfall zu-

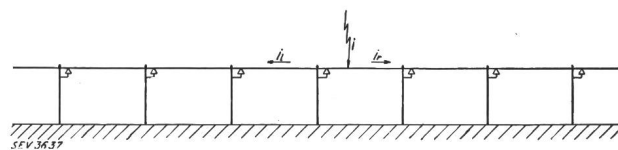


Fig. 2.

Stromverteilung bei Blitzschlag in die Leitung.

erst 400 und dann 6000 bis $10\,000 \text{ A}/\mu\text{s}$ gefunden wurden⁹⁾.

Was geschieht nun, wenn der Blitz in eine Leitung einschlägt? (Fig. 2.) Der Kopf des Blitzstromes zerteilt sich in zwei Teile, die auf der metallischen Leitung nach rechts und links mit gleicher Geschwindigkeit, $300\,000 \text{ km/s}$, fortschreiten. Da

⁴⁾ Z. B. Roth, Hochspannungstechnik, S. 322.

⁵⁾ Z. B. Roth, Hochspannungstechnik, S. 326.

⁶⁾ Berger, Bull. SEV 1932, S. 289; siehe auch Fussnote 13.

⁷⁾ Berger, Bull. SEV 1932, S. 297; Lewis, CIGRE 1933.

⁸⁾ Dazère, CIGRE 1933, und Bull. Soc. franç. Electr. 1929, S. 575; siehe auch Bull. SEV 1929, S. 636.

⁹⁾ Müller-Hillebrand, ETZ 1932, S. 1123.

die Leitung Kapazität gegen Erde (c) und Induktivität (l) besitzt, ist die Ausbildung dieser Ströme von entsprechenden Spannungen gegen Erde begleitet, deren Wert sich für jeden Ort und für jeden Zeitpunkt nach folgendem bekannten Gesetz berechnet:

$$u = i \sqrt{\frac{l}{c}} \text{ Volt} \quad \left| \quad \begin{array}{l} i \text{ in Ampère} \\ \sqrt{\frac{l}{c}} \text{ in Ohm} \end{array} \right.$$

$\sqrt{\frac{l}{c}}$ kann dabei für Niederspannungsnetze zu 600 Ohm angenommen werden. Der Strom des Blitzes steigt rasch an, und damit auch die beiden Teilströme i_l und i_r , sowie die sie begleitenden Spannungen. Im Augenblicke, wo beispielsweise der Blitzstrom 100 A erreicht hat, wandern 50 A nach rechts, 50 A nach links. Die Spannung beträgt also $50 \cdot 600 = 30\,000$ Volt.

Wenn der Strom nicht höher ansteigt, was bei Einschlägen von Seitenblitzen wahrscheinlich möglich ist, geschieht also auf der Leitung nichts. (Die 30 kV können dagegen in den Hausanlagen Unheil stiften.) Wächst der Strom weiter an, so kann dagegen die Ueberschlagsspannung der Isolatoren erreicht werden. Diese hat in der Regel die Grössenordnung von $38 \cdot \sqrt{2}$ kV, bei Frequenz 50 gemessen. Bei kurzzeitigen Vorgängen, wie wir sie hier betrachten, findet aber eine beträchtliche Erhöhung durch Ueberschlagsverzögerung statt. Wir haben für gebräuchliche Niederspannungsisolatoren eine Erhöhung von 50 % festgestellt (für positive Wellen von 1,5–40, d. h. 1,5 μ s Kopflänge und 40 μ s Abklingzeit, für Abklingen auf halben Wert). Daraus ergibt sich also eine Ueberschlagsspannung von 80 kV. Wenn wir mit diesem Wert rechnen, so würde der Ueberschlag eintreten im Augenblicke, wo die beiden nach rechts und links laufenden Ströme einen Wert von $80\,000 : 600 = 133$ A erreicht haben, der Blitzstrom also $133 + 133 = 266$ A.

Wir machen vorerst die *Annahme, dass die Leitung auf Holzmasten verlegt sei, welche keinerlei Erdungsdraht aufweisen*. Der Blitz findet also nach dem Ueberschlag des Isolators den isolierenden Mast vor. Nach Messungen kann seine Festigkeit gegenüber kurzzeitigen Spannungen mindestens 1 000 000 V betragen. Der Ueberschlag des Isolators hat also weiter keine Folgen, und die Spannung auf der Leitung und an der Isolatorstütze steigt weiter an, bis schliesslich bei genügender Blitzstromstärke der Mast überschlagen wird. Unterdessen haben sich die Teilströme i_r und i_l links und rechts auf der Leitung ausgebreitet, bis sie auf einen Punkt stossen, dessen Festigkeit kleiner ist (Eisenmast, Abspannseil, Hausinstallation), und wo sie zum Ueberschlag führen.

Im Gegensatz zu diesem Fall wollen wir annehmen, *dass der Holzmast eine Erdung besitze* und die Isolatorenstützen damit verbunden seien. Der Widerstand dieser Erdung soll 20 Ohm betragen.

Wir verhehlen uns nicht, dass der Wert dieses Erdwiderstandes sowohl durch die Steilheit des Stromanstieges di/dt , wie auch durch die Stromdichte beeinflusst werden kann. Was den ersten Faktor anbetrifft, so scheint nach Messungen von Aigner¹⁰⁾ für gewöhnliche Masterdungen kaum eine Beeinflussung aufzutreten. Dagegen kann für sehr grosse Stromstärken ein so hoher lokaler Spannungsgradient im Erdboden erzeugt werden, dass letzterer durchschlägt oder durch Funken überbrückt wird¹¹⁾.

Wir haben in unsern Ueberlegungen den Spannungsabfall längs des Mastes infolge Selbstinduktion, auf den Money hingewiesen hat, vernachlässigt. In Wirklichkeit ergibt er eine für die in Betracht fallenden Masthöhen allerdings nicht sehr wesentliche Korrektur¹²⁾.

Auch in diesem Falle muss der Ueberschlag des Isolators auftreten im Augenblicke, wo der Blitzstrom 266 A erreicht hat (Fig. 3). Dieses Mal ver-

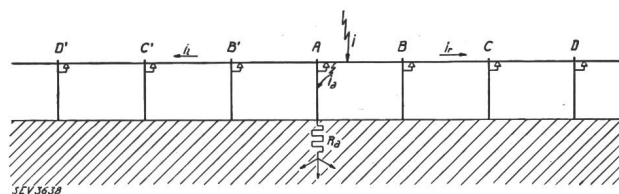


Fig. 3.

Wie 2, aber mit Ueberschlag auf den geerdeten Mast A.

teilt sich der Blitz in drei Teilströme i_r , i_l und i_a . Die Grösse der drei Ströme wird durch die entsprechenden Widerstände bestimmt, wobei mit

Wellenwiderständen $\sqrt{\frac{l}{c}}$ und Widerstand R_u als

gleichartigen Grössen gerechnet werden darf. Die drei parallel geschalteten Widerstände 600, 600 und 20 Ohm ergeben einen resultierenden Wert von 18,8 Ohm, woraus sich die Spannung der Leitung und des Mastes gegen Erde in diesem Augenblicke zu $266 \cdot 18,8 = 5,0$ kV errechnet. Der Blitzstrom wird nun weiter ansteigen und damit auch diese Spannung, bis beide ein Maximum erreichen und wieder sinken. Beträgt diese Amplitude z. B. 1000 A, so ergeben sich 18,8 kV. Neu geartete Erscheinungen treten indessen in A nicht mehr auf.

Durch Vermittlung der Ströme i_r und i_l werden die in A auftretenden Spannungen getreulich nach rechts und links verbreitet. Wir werden also an irgendeinem Punkte der Leitung zuerst ein Ansteigen der Spannung auf 80 kV (in Wirklichkeit allerdings wegen Verschleifung der Welle bedeutend weniger) feststellen, gefolgt von einem plötzlichen Absinken auf 5 kV und hierauf ein neues Ansteigen auf 18,8 kV, gefolgt von langsamem Absinken bis auf 0. Natürlich eilt der Spannungsverlauf an einem bestimmten Ort, z. B. X (Fig. 8) entspre-

¹⁰⁾ ETZ 1933, S. 1233.

¹¹⁾ In diesem Sinne dürfen sicher auch die so interessanten Ausführungen von Money aufgefasst werden. Bull. SEV 1933, S. 363.

¹²⁾ Money, Bull. SEV 1933, S. 363.

chend der Ausbreitungsgeschwindigkeit demjenigen in A zeitlich nach, um eine Zeit

$$T = \frac{\overline{AX}}{300\,000} \text{ Sekunden} \quad \left| \quad \overline{AX} \text{ in km} \right.$$

Wir haben angenommen, dass i 1000 A nicht übersteige. Ist die Amplitude dagegen höher, so werden auch in B und B' (Fig. 4) weitere Ueberschläge auftreten. Dort befinden sich ja auch Isolatoren von einer ungefähren Ueberschlagsspan-

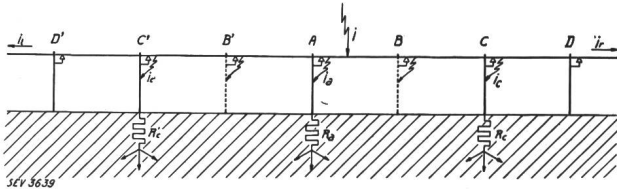


Fig. 4.

Wie 3, aber mit Ueberschlägen auf ungeerdete Holzmasten B und B' und auf geerdete Masten C und C'.

nung von 80 kV. Dieser Wert wird erreicht, wenn $i = 80\,000 : 18,8 = 4250$ A (und zwar bei einem Abstand von $AB = 50$ m nach einer Zeit von $0,166 \mu\text{s}$).

Sind die Isolatoren dieser Masten B und B' nicht geerdet, so tritt weiter kein Vorgang auf, wie oben. Trifft dagegen in C und C' die Spannungs- und Stromwelle Isolatoren mit geerdeter Stütze, so findet Ueberschlag mit Stromableitung nach Erde statt, gefolgt vom Absinken der Spannung an diesen Punkten.

Eine weitere Berechnung geht über den Rahmen dieses Aufsatzes heraus. Die Vorgänge werden jetzt nämlich wegen der entstehenden reflektierten Entladewellen und ihrer Rückwirkung auf die Vorgänge in A kompliziert. Es sei aber betont, dass auch diese Vorgänge der genauen Rechnung zugänglich sind unter der alleinigen Voraussetzung, dass die gemachten Annahmen über Blitzverlauf und Verhalten der Erdung richtig sind.

Bei weiterem Ansteigen des Blitzstromes werden noch weitere Masten in Mitleidenschaft gezogen. Dies wiederholt sich so oft, bis die Anzahl der überschlagenen Masten genügend ist, um die Spannung auf der Leitung unter der Ueberschlagsspannung der Isolatoren, d. h. in unserem Falle 80 kV, zu halten.

4. Einschlagen des Blitzes oder von Seitenästen in einen Mast.

Erfolgt der *Einschlag in einen ungeerdeten Mast*, so sind die Wirkungen die gleichen wie bei Einschlagen in die Leitung. Ist der Mast dagegen geerdet, so bildet sich sofort ein Strom nach Erde aus (Fig. 5). Dieser erzeugt im Erdungswiderstand einen Abfall $i \cdot R_a$. Die Leitung bleibt dabei angenähert auf Erdpotential und es bildet sich infolgedessen eine Spannungsdifferenz zwischen Mast und Leitung aus. Der an dieser Stelle befindliche Isolator wird überschlagen («Rücküberschlag des Ma-

stes») im Augenblicke, wo iR_a den Wert seiner Ueberschlagsspannung, d. h. 80 kV übersteigt, in unserem Falle also sobald $i > 80\,000 : 20 = 4000$ A. Liegt die Stromstärke des Blitzes unter 4000 A, so tritt kein Ueberschlag auf. In diesem Falle, der häufig sein dürfte, wird also das Netz weiter nicht beansprucht. Ist der Strom dagegen grösser, so erfolgt der Ueberschlag auf die Leitung (Fig. 6). Der Strom teilt sich von neuem in i_a, i_l, i_r nach Massgabe des Widerstandes und der Wellenwiderstände.

Die Spannung sinkt dabei von 80 auf $\frac{80 \cdot 18,8}{20} =$

75 kV. Die Ströme betragen

$$i_l = i_r = \frac{75\,000}{600} = 125 \text{ A}$$

$$i_a = \frac{75\,000}{20} = 3750 \text{ A}$$

Wenn der Blitzstrom weiter steigt, so steigen auch die Spannung und die Ströme. Wenn der Wert 4250 A erreicht ist, beträgt die Spannung also wieder

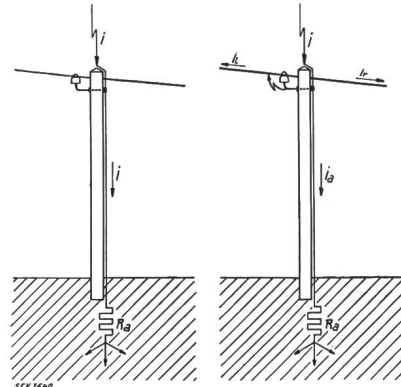


Fig. 5. Blitzschlag in Holzmast mit Erdungsdraht.

Fig. 6. Wie 5, aber mit Rücküberschlag auf Leitung.

80 000 V, und es treten jetzt Ueberschläge in C' und C nach Erde auf, wie im frühern Beispiel. Der weitere Verlauf ist ebenfalls gleich.

5. Zersplittern der Holzmaste.

An dieser Frage ist in der letzten Zeit viel gearbeitet worden, hauptsächlich in Amerika. Es wäre gerade hier interessant, die Erfahrungen der Betriebsleiter zu vernehmen. Bei mit Erdungsdraht versehenen Masten dürfte eine Beschädigung des Mastes zum mindesten sehr selten sein, bei Masten ohne Draht können dagegen sehr hohe Spannungen auftreten, welche zu ihrer Beschädigung oder Zerstörung führen.

Dieser Fall tritt vor allem auf, wenn der Blitz in einen Mast einschlägt (oder in die Leitung) an einem Ort, der «weit» von der nächsten Erdung entfernt ist. Nach den Versuchen sind nämlich sehr hohe Spannungen zur Zerstörung nötig, die bei trockenen Masten in der Höhe von 2 bis 300 kV pro Meter Mastenhöhe liegen. (Fig. 7 zeigt einen Laboratoriumversuch, wo ein Holzstab von 0,70 m Länge

und 16 cm² Querschnitt durch 500 kV und 6500 A gesprengt wurde.) Der Ausdrück «weit» ist dabei im Zusammenhang mit di/dt des Blitzes gebraucht, da sich nämlich die Wirkung der Erdung eines Punktes (z. B. Isolatorstütze) erst geltend machen kann, nachdem der Strom bis zu diesem Punkt vorgedrungen und die dort erzeugte Entladewelle zur Einschlagstelle zurückgewandert ist, d. h. also bei 300 m Abstand nach 2 μ s. Ist der Anstieg des Blitzstromes steil genug, um in dieser Zeit Spannungswerte von 1 bis 2 000 000 V zu erzeugen, so kann der Ueberschlag des ganzen Mastes nach Erde erwartet werden, oft auch von mehreren Masten gleichzeitig. Die quantitative Behandlung dieses Falles wird erst möglich sein, nachdem einmal der zeitliche Verlauf des Blitzstromes genau bekannt sein wird.

Zersplittern von Masten kann ausnahmsweise auch erwartet werden, wenn der Blitz in einen geerdeten Mast oder in der Nähe eines solchen in die Leitung einschlägt. Auch dann kann bei ausserordentlichen Stromstärken trotz der Erdung die Spannung so weit ansteigen, dass ungeerdete Nachbarmaste zersplittern, was immerhin selten sein dürfte, da z. B. bei 20 Ohm Erdungswiderstand 50 bis 100 000 A erforderlich sind, um die nötigen 1 bis 2 000 000 V zu erzeugen.

6. Wirkungen der Blitzschläge in den nicht direkt betroffenen Netzteilen.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass einmal häufig induzierte Ueberspannungen infolge der Entladung der Wolke (nicht in die Leitung) von einigen Tausenden, ausnahmsweise bis 80 000 Volt¹³⁾ im Netz auftreten, und dass ferner mit weit geringerer Häufigkeit Ueberspannungen infolge von Blitzschlägen in die Leitung oder in die Masten auftreten können, deren Höhe nur durch die Stossüberschlagsspannung der Isolatoren begrenzt ist, d. h. also ebenfalls ca. 80 000 V betragen kann. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass die Isolatorstützen zum Teil geerdet sind; sonst können diese Ueberspannungen noch viel höhere Werte erreichen.

Diese Ueberspannungen können nun aber für die angeschlossenen Stromabnehmer gefährlich werden, da die Isolation der Hausanlagen naturgemäss viel schwächer ist als die der Linie.

¹³⁾ Nach neueren Messungen von Berger bis 120 kV (Red.).

Nach den Vorschriften muss sie $2000 \cdot \sqrt{2}$ V betragen. In Wirklichkeit ist sie allerdings meist höher.

Für stossweise Beanspruchung haben wir beispielsweise gemessen (Welle 1,5—40 μ s, wie oben): 13 kV für Zählerklemmen, 8,2 kV für Zählerwicklungen, 42 kV für Hausleitungen, 32 kV für Griffe von Dosen-Schaltern, 5,1 kV in Lampenfassungen. Mit Ueberschlägen und Durchschlägen in den Hausinstallationen muss also gerechnet werden, und zwar vor allem in den Zählern und Leitungen, was die Erfahrung bestätigt.

Die Gefahr liegt einmal in der Möglichkeit einer direkten Berührung von Teilen, welche unter Ueberspannung gesetzt werden, und ferner in den Wirkungen des nachfolgenden Niederspannungsstromes, wie bei jedem Isolationsdefekt. *Dazu kommen die Folgen von Durchschlag oder Ueberschlag der Hochspannung auf Niederspannung, der seinerseits durch Gewittererscheinungen im Hochspannungsnetz hervorgerufen werden kann.* Diese Erscheinungen verlaufen ganz ähnlich wie diejenigen, welche für Niederspannungsnetze beschrieben worden sind.

II. Sollen nun in Anbetracht der geschilderten Möglichkeiten Schutzmassnahmen getroffen werden, und für welche Anlagen?

Wenn auch in erster Linie die Betriebsleiter und die Fachleute für Gebäudeblitzschutz dazu berufen sind, sich auf Grund ihrer Erfahrungen zu dieser Frage zu äussern, so mag es doch von Interesse sein, eine Ansicht darzulegen, welche sich mehr auf grundsätzliche Ueberlegungen aufbaut.

Uns scheint, dass Netze in dicht bebauten Ortschaften keinen Schutz nötig haben, ebenso Leitungen, welche in gewitterarmen oder blitzarmen Oertlichkeiten (was nicht dasselbe ist) verlaufen. Dagegen möchten wir für Schutzmassnahmen eintreten für Anlagen ausserhalb von Ortschaften, vor allem, wenn sie gewitterreiche und blitzreiche Gebiete durchlaufen.

Die wichtigste Massnahme dürfte häufige und gute Erdung der Isolatorenstützen im Netz darstellen¹⁴⁾. Damit wird die Ueberspannung wenigstens für Orte, die von der Einschlagstelle des Blitzes um mehrere Erdungen entfernt sind, auf 80 kV heruntersetzt. Wie oben im einzelnen dargelegt wurde, würde diese Erdung gleichzeitig bei nicht ausnahmsweise schweren Schlägen die Nachbarmaste vor Zersplitterung schützen.

Noch besser ist die Schutzwirkung bei geerdetem Nulleiter: *in diesem Falle kann der Nulleiter jedes Mal an die Erde mit angeschlossen werden.* Er wird dabei höher als die andern Leiter verlegt, so dass die Wahrscheinlichkeit, vom Blitze getroffen zu

¹⁴⁾ In gewissen französischen Departementen ist eine Erdung auf je 200 m vorgeschrieben.

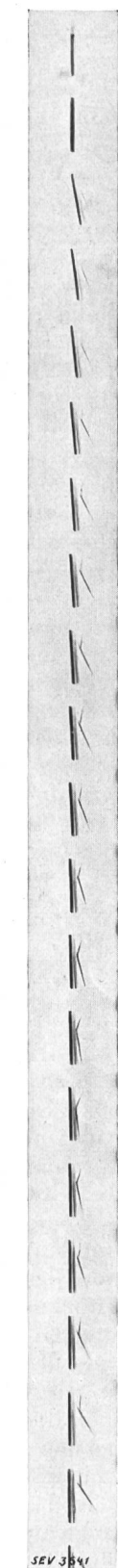


Fig. 7.
Zersplittern eines Holzstabes im Laboratorium durch künstlichen Blitzschlag von 6500 A; 500 kV; Stirne 15 μ s.

werden, für ihn grösser ist als für die übrigen Leiter. Dadurch werden die Ueberspannungen für Punkte, welche von der Einschlagsstelle um einige Erdungen entfernt sind, auf die Aussenleiter begrenzt und in ihrer Anzahl eingeschränkt.

Durch diese Schutzmassnahmen können also, wie dargelegt, die auf der Leitung auf die Häuser zulaufenden Spannungen bis auf 80 kV wenigstens für von der Einschlagsstelle weiter entfernte Punkte erniedrigt werden. *Eine weitere Erniedrigung dieser Werte kann aber nur durch Ableiter erreicht werden.* Ihr Zweck ist, eine weitere Erdung unmittelbar vor dem zu schützenden Objekt (Haus) einzuschalten, und zwar über eine Luftstrecke, welche eine Ueberschlagsspannung hat, die ausserordentlich viel kleiner als die der Isolatoren ist.

Welches kann nun die Schutzwirkung solcher Ableiter sein in den verschiedenen betrachteten

der Ableiter verschiedener Häuser vermieden werden können.

Bei kurzer Entfernung der Einschlagsstelle vom Ableiter kann dieser also die Spannung nicht genügend heruntersetzen (bei auf 1000 A aufgeschaukeltem Summenstrom beträgt bei 10 Ohm Erdungswiderstand die Spannung 10 000 V). Dafür kommt aber eine weitere Schutzwirkung des Ableiters zur Geltung: wenn er nämlich an die gleiche Erdung wie die Blitzschutzanlage des Gebäudes angeschlossen ist¹⁵⁾, so werden die Folgen des ankommenden Stromes auf die eines Blitzeinschlages in den Gebäudeblitzschutz beschränkt. Weist dieser für Blitzeinschlag wirklich genügende Schutzwirkung auf, so ist dies gegenüber solchen Zweigströmen um so mehr der Fall.

Aus diesen Ausführungen geht auch hervor, dass der Wirkungsgrad jedes Ableiters durch die Leitfähigkeit der zur Verfügung stehenden Erdung begrenzt ist.

Anders ausgedrückt: «Kein Ableiter kann besser sein als seine Erdung». Im praktisch unmöglichen Fall, dass der Erdwiderstand (zu dem natürlich auch der innere Widerstand des Ableiters hinzuzurechnen wäre) 0

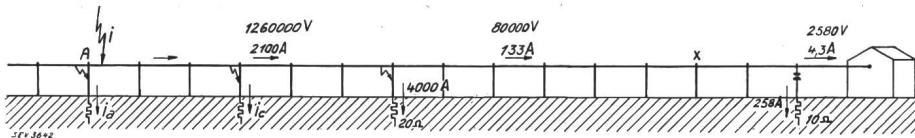


Fig. 8.

Schutzwirkung eines Ableiters für entfernten Blitzschlag in Leitung und verschiedene Isolatorüberschläge an geerdeten Masten, Leitung $\sqrt{\frac{l}{c}} = 600$ Ohm, Erde 10 Ohm.

Fällen? Bei durch Wolkenentladung induzierten Ueberspannungen ist der Ableiter leicht imstande, Ueberspannungen zu verhindern, immerhin unter Voraussetzung guter Ableitererdung, denn es treten, wie wir sahen, maximal 130 A auf (durch Wellenreflexion am Erdungswiderstand ungefähr verdoppelt auf 258 A), was unter Voraussetzung einer Erdung von 10 Ohm 2580 V ergibt, und zwar während sehr kurzer Zeit. *Bei Blitzschlägen in die Leitung und kleiner Blitzstromstärke (ohne Ueberschlag der Isolatoren) ist der Ableiter ebenfalls imstande, volle Schutzwirkung zu erreichen, da auch in diesem Falle die Wellenstromstärke 130 A nicht übersteigt.*

Bei Blitzschlägen in die Leitung mit grosser Blitzstromstärke hängt die Schutzwirkung von der Entfernung der Einschlagsstelle vom Ableiter ab (Fig. 8), bzw. von der Anzahl der dazwischen liegenden Erdungsstellen. Ist diese Anzahl gross genug, so bleibt nur eine Spannung von 80 kV übrig. Wie Fig. 8 zeigt, erhält dann der Ableiter eine Stromstärke von der Grössenordnung 260 A (unter Berücksichtigung annähernder Verdoppelung durch Reflexion am Ableiterwiderstand). Dazu muss allerdings bemerkt werden, dass nach einer Zeit, welche das Doppelte der zum Durchlaufen der Entfernung bis zur nächsten Ueberschlagsstelle nötigen Zeit beträgt, der Strom im Ableiter jedesmal um denselben Betrag von 260 A vergrössert wird («aufgeschaukelt»). Es sind also bei kurzen Abständen und längerer Blitzdauer höhere Spannungen in der geschützten Anlage möglich, welche nur durch Verwendung besserer Erdung oder durch Ansprechen

beträgt, würde eine vollständige Unterdrückung jeglicher Ueberspannung erreicht.

Mit Erdungen von 1 Ohm wären beispielsweise die in unserm Beispiel berechneten Ueberspannungen ungefähr 10 mal kleiner. Leider sind aber Werte der Erdungswiderstände unter 10 Ohm für die in Frage kommenden Objekte meist wirtschaftlich nicht erreichbar.

Welches sind nun die *Eigenschaften, welche von einem guten Ableiter verlangt werden müssen?* Er muss vor allem den dem abgeleiteten Strom folgenden, durch die Betriebsspannung erzeugten Strom löschen können. Er muss ferner einen möglichst kleinen Eigenwiderstand besitzen, da dieser die gleiche Wirkung wie der Erdungswiderstand hat. Es wäre zwecklos, Kosten für die Herabsetzung des Erdungswiderstandes aufzuwenden, um dann im Ableiter selbst überflüssigen Widerstand zu schaffen. Im weitem soll die Ueberschlagsspannung des Ableiters eine möglichst kleine sein, auch für Stossbeanspruchung, damit die vor dem Ansprechen des Ableiters in die Anlage eindringende Ueberspannung kleine Werte aufweist. Diese Ueberschlagsspannung soll sich auch durch Ansprechen des Ableiters möglichst wenig verändern, dies auch in Fällen hoher Beanspruchung durch Blitzströme von Tausenden von Ampère. Beim Bau solcher Ableiter muss ferner darauf Rücksicht genommen werden, dass sie jahrelang ohne irgend welche Wartung

¹⁵⁾ Der Zusammenschluss der Hausinstallationserdung und der Gebäudeblitzschutzerdung wird in den neuen Leitsätzen für Gebäudeblitzschutz für jene Fälle empfohlen, wo eine Wasserleitung vorhanden ist (Red.).

bleiben, wobei sie allen Unbilden der Witterung ausgesetzt sind.

Wir hoffen, dass diese Ausführungen gezeigt haben, dass die verdienstvollen Forschungen über die

Blitzschläge und ihre Folgen schon heute erlauben, uns ein Gesamtbild des Verhaltens von Niederspannungsnetzen zu machen, welches zum mindesten qualitativ der Wirklichkeit nahe kommen dürfte.

Einige Betriebserfahrungen mit Aldrey-Leitungen¹⁾.

Von Maurice Thomas, Zürich.

621.315.53 : 621.315.55 : 621.315.1

Mit der Entwicklung der Hoch- und Höchstspannungsleitungen hat die Anwendung der Aluminiumlegierung «ALDREY» ständig zugenommen. Die bestehenden Aldreyleitungen wiesen am 21. Dezember 1932 eine Leiterlänge von rund 13 300 km mit einem Gesamtgewicht von 5100 t auf.

Der Verfasser berichtet über Betriebserfahrungen mit Aldreyleitungen in verschiedenen Ländern: Nur in Deutschland sind anfänglich Drahtbrüche vorgekommen, die auf Materialermüdung durch Schwingung infolge unrichtiger Wahl der Klemmen und auf Montagefehler zurückzuführen waren. Hierauf sind einige besondere Eigenschaften des Leitermaterials Aldrey erwähnt. Anhand von Rechenbeispielen werden unrichtige Ansichten über Aldrey widerlegt. U. a. wird die Neigung zum Zusammenschlagen von Leitern aus Leichtmetall im Wind und die Gefahr des Verbrennens der Leiter in Flammbögen behandelt.

Aldrey hat in den vergangenen 8 Jahren seine Brauchbarkeit bewiesen und steht heute als gleichwertiges, meist sogar überlegenes Leitermaterial neben allen bisher bekannten.

1. Einleitung.

Die Verwendung der Aluminiumlegierung «Aldrey» als Leiter von elektrischen Fernleitungen hat in den letzten Jahren ständig zugenommen. Tabelle I gibt die Mengen in Tonnen und Seillängen an, die in den verschiedenen Ländern zur Anwendung gelangt sind.

Aldrey-Leitungen am 21. Dezember 1932.

Tabelle I.

Land	Starkstromleitungen		Telephonleitungen	
	t	km	t	km
Italien	1 814,4	4 042	10,6	410,0
Schweiz	1 383,4	2 122	2,3	118,0
Spanien	1 089,2	3 393	2,3	90,0
Deutschland	556,2	1 893	—	—
Oesterreich	104,4	272	—	—
Frankreich	85,5	1 098	—	—
Andere Länder	60,6	435	—	—
Total	5 093,7	13 255	15,2	618,0

Aldreyseile sind hauptsächlich für Hochspannungsleitungen bis 220 kV angewendet worden. Tabelle II enthält die Angaben über Stranglängen der Leitungen in der Schweiz gegen Ende 1932 aus den verschiedenen gebräuchlichen Leitermaterialien, und zwar für Leitungen über 30 und über 125 kV. Während nur 9,9 % aller Leitungen über 30 kV aus Aldrey bestehen, ist in den Leitungen über 125 kV das Aldrey am meisten vertreten, nämlich mit 37,2 %. Leitungen für so hohe Spannungen werden erst in den letzten Jahren gebaut, woraus sich hier

L'emploi de l'alliage d'aluminium, appelé «Aldrey», s'est particulièrement développé du fait de la construction toujours plus fréquente de lignes à haute et très haute tension. Il existait au 21 décembre 1932 environ 13 300 km de conducteurs en Aldrey, représentant un poids de 5100 t. L'auteur cite les expériences faites sur les lignes en Aldrey dans divers pays: excepté au début de son emploi en Allemagne, cet alliage a donné complète satisfaction. Dans ce pays, les ruptures des fils à la suite d'oscillations des câbles doivent être attribuées à l'emploi d'armatures non appropriées et à des défauts de montage.

Il est fait ensuite mention de quelques propriétés spéciales de l'Aldrey; puis l'auteur réfute par le calcul des arguments souvent invoqués par les détracteurs de l'Aldrey, en particulier la tendance des câbles à se heurter par l'effet du vent et le danger de fusion par suite d'un arc électrique.

L'Aldrey a prouvé durant ces huit dernières années son utilité et il peut être considéré comme équivalent, quelquefois même supérieur aux autres matériaux connus actuellement.

die starke Anwendung von Aldrey erklärt. Dieses Leitermaterial hat teilweise auch in Kabeln oder als Einzeldrähte für Niederspannungs- und Telephonleitungen Anwendung gefunden.

Leitermaterial der Schweizer Leitungen über 30 und über 125 kV.

Tabelle II.

Leitermaterial	über 30 kV		125 kV u. mehr	
	Leitungslänge			
	km	%	km	%
Kupfer	4650	63,5	185	10,8
Bronze	35	0,5	—	—
Aluminium	935	12,8	410	24,0
Aldrey	720	9,9	635	37,2
Stahl-Aluminium	975	13,3	480	28,0
Total	7315	100	1710	100

2. Historisches.

Die ersten Leitungen zur Uebertragung von elektrischer Energie werden aus Kupfer hergestellt. Schon vor und hauptsächlich während des Weltkrieges, als das Kupfer teuer wurde, kamen Leiter aus Aluminium zur Anwendung. Die Erfahrungen damit waren nicht restlos gut, da man die besondern Eigenschaften dieses neuen Materials noch zu wenig kannte. Die begangenen Fehler wurden aber erkannt und überwunden. Nur hatte das verwendete Reinaluminium eine zu kleine Festigkeit. Leitungen daraus bekamen zu grosse Durchhänge und zu kleine Mastabstände. Deshalb war man bestrebt, durch die bekannten Stahl-Aluminiumseile diesen Uebelstand zu umgehen. Die Kombination Stahl-Aluminium stellt einen wesentlichen Fortschritt gegenüber Reinaluminiumseilen dar und hat sich im Leitungsbau sehr gut eingeführt. Auch gegen-

¹⁾ Uebersetzung eines Berichtes der «Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension», Paris, 1933.