Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 58 (1967)

Heft: 6

Artikel: Blitzschlag in eine 20-kV-Holzmastleitung : Überschlag nach 15 km Kabelstrecke

Autor: Kaiser, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916234

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: 16.01.2026

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

Blitzschlag in eine 20-kV-Holzmastleitung; Überschlag nach 15 km Kabelstrecke

Von G. *Kaiser*, München

621.315.668.1 : 551.594.221

Ein Blitzschlag in Mittelspannungs-Holzmastleitungen ist meist mit Kurzschlussabschaltungen und je nach Bodenwiderstand und Blitzstrom mit Mastbeschädigungen verbunden. Überschläge in Stationen lassen sich dagegen durch gezielten Einsatz von Überspannungsableitern (Ventilableiter) vermeiden. Sind der Station Kabelstrecken vorgeschaltet, so sind Ableiter am Ende des Kabels auf der Stationsseite zu empfehlen. Sie stellen die einzige Möglichkeit zur Spannungsbegrenzung dar, da bei Mittelspannungsleitungen ein Erdseilschutz zur Verhinderung des Einschlages im Nahbereich nicht möglich ist. Eine Blitzschlagstörung wird beschrieben, bei der durch Einschlag im Nahbereich Überschläge am Ende eines 15 km langen Seekabels auftraten.

Un coup de foudre frappant une ligne à tension moyenne, fixée sur des poteaux en bois, implique généralement des déclenchements par suite de court-circuit et parfois, suivant la résistance du sol et l'intensité du courant de ce coup de foudre, des avaries causées aux poteaux. Des contournements dans les stations peuvent toutefois être évitées par l'application judicieuse de parafoudres (parafoudres à résistance variable). Si des tronçons de câble sont insérés devant la station, il est indiqué de munir l'extrémité côté station de ce câble de parafoudres. Ces derniers constituent la seule possibilité de limitation de tension, étant donné que les lignes à tension moyenne ne permettent pas l'aménagement d'un fil de terre en vue d'éviter des coups de foudre dans les régions voisines. L'auteur décrit la perturbation causée par un coup de foudre dans la région voisine, occasionnant des contournements à l'extrémité d'un câble sous-marin de 15 km de longueur.

1. Einleitung

Blitzschlagstörungen an Mittelspannungs-Freileitungen sind nicht zu vermeiden. Wegen der kleinen Isolatorschlagweiten und der geringen Phasenabstände wird der Direkteinschlag meist einen dreipoligen Kurzschluss bewirken. Übersteigt der Blitzstrom einen gewissen Wert, so werden bei Holzmastleitungen ausserdem Mastüberschläge auftreten, was mit Mastzersplitterungen verbunden ist. Auch die Verlegung eines Erdseils und die elektrische Überbrückung der Maste bringen keine Abhilfe. Wegen des hohen Mastausbreitungswiderstandes würde dann der rückwärtige Überschlag an Stelle des Direkteinschlags treten. Die steilere Stirn der beim rückwärtigen Überschlag in die Station einlaufenden Spannungswelle würde sogar noch ungünstiger für die Apparate sein.

Man wird also Auslösungen und Mastauswechslungen in Kauf nehmen müssen, aber danach trachten, durch Einsatz von Ableitern unter Berücksichtigung von eventuell vorhandenen Kabelstrecken die in die Station einlaufende Wanderwelle für die Geräte dort ungefährlich zu machen. Dabei werden aber zwei Tatsachen oft nicht ausreichend beachtet:

1. Die hohe Stossüberschlagspannung der Holzmaste bedingt, dass die auf die Stossfestigkeit der Betriebsmittel bezogene Spannung der auf die Station oder das Kabel zulaufenden Welle ein vielfaches des entsprechenden Wertes in einem Netz betragen kann, in dem Stahlgitter- bzw. Betonmaste die einlaufende Welle durch Überschlag begrenzen.
2. Die oft anzutreffende Meinung, dass die Anwesenheit einer Kabelstrecke vor einer Station schon einen ausreichenden Überspannungsschutz darstelle, ist zumindest in dieser vereinfachenden Formulierung nicht richtig.

Im Laufe der zahlreichen Brechungen und Reflexionen der Welle an der Übergangsstelle von Freileitung und Kabel, am Kabelende sowie eventuell an der Einschlagstelle kann die Spannung am Ende eines die Freileitung abschliessenden Kabels weitaus grösser werden als die Spannung der einlaufenden Welle auf der Freileitung. Je steiler die Stirn der Welle, desto grösser ist ausserdem der Unterschied im gleichen Zeitpunkt der Spannungen am Anfang und am Ende des Kabels.

Ein Ableiter am Kabeleingang kann dann aber die Spannung am Ende des Kabels, und damit an einem zu schützenden Apparat, nicht mehr begrenzen, so dass es dort zum Durchschlag kommen kann. Dies geht aus digitalen Wanderwellenberechnungen in [3; 4] [1]) hervor.

Der Effekt, dass die Spannung am Ende des Kabels wesentlich grösser ist als die Spannung am Kabeleingang zur gleichen Zeit, ist besonders beim Naheinschlag ausgeprägt. Dies ergeben die schon angeführten Rechnungen, die für einfache Anordnungen nach dem Bergeronverfahren [11] von Hand, für grössere Leitungsgebilde aber digital berechnet werden. Bezeichnet man nämlich mit T_F die Laufzeit der Welle von der Einschlagstelle bis zum Kabel und mit T_K die Laufzeit im Kabel, so kann man nach [4] ein Laufzeitverhältnis

$$\tau = \frac{T_F}{T_K}$$

definieren.

$\tau = 1$ grenzt nun die beiden wichtigen Fälle des «Naheinschlages» ($\tau < 1$) und des «Ferneinschlages» ($\tau > 1$) voneinander ab. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle im Kabel nur etwa halb so gross ist wie in der Freileitung, entspricht $\tau = 1$ einer Einschlagstelle im Abstand der doppelten Kabellänge vor der Station.

Stationen, die über ein langes Kabel an die Freileitung angeschlossen sind, werden also (trotz eingebauter Ableiter am Kabeleingang!) stets dann einer Überspannungsgefährdung ausgesetzt sein, wenn der Nahbereich nicht gegen Direkteinschlag geschützt ist (was bei Mittelspannungsleitungen meist der Fall ist) und wenn zwischen Kabelende und Gerät (z. B. dem Transformator) kein Ableiter mehr eingebaut werden kann.

Als praktische Bestätigung der bisher bekannten digitalen Berechnungen soll eine nicht alltägliche Störung beschrieben werden, bei

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

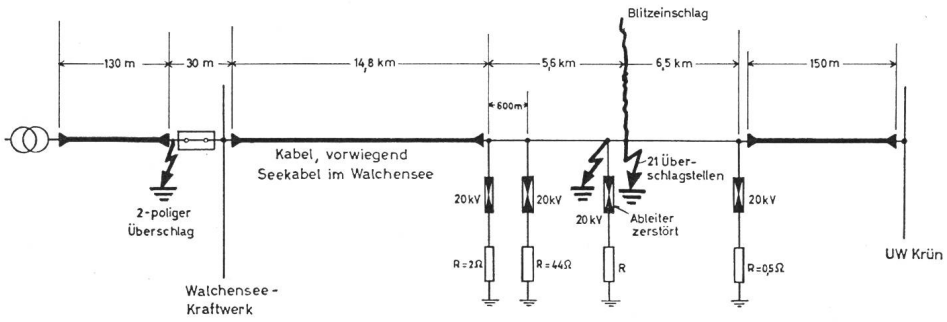
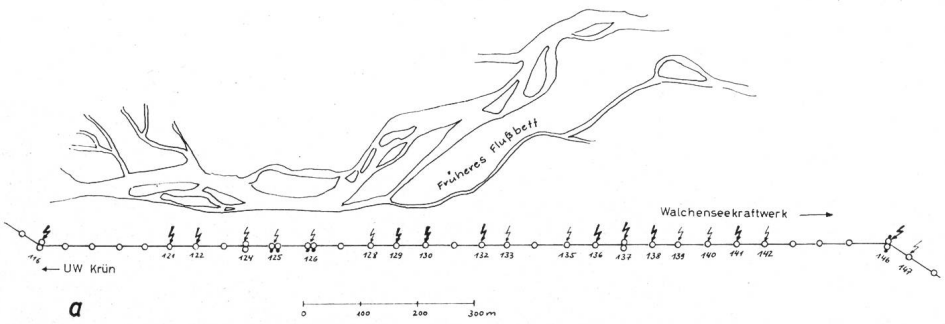


Fig. 1
Anordnung der Freileitung, des Kabels und der Überspannungsableiter



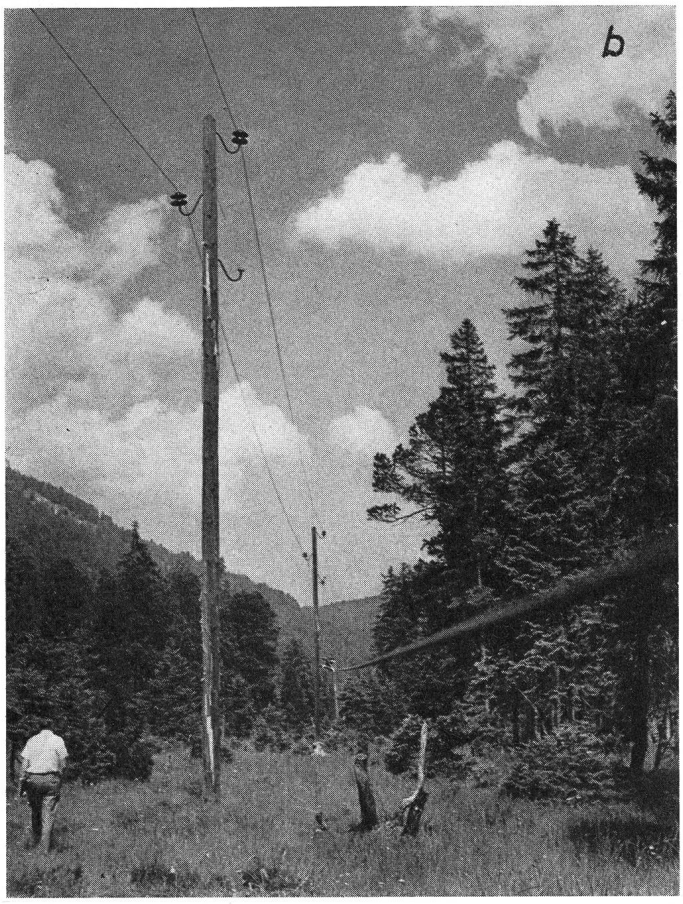


Fig. 2
Vom Blitz getroffene 20-kV-Leitung mit 21 beschädigten Masten
a Lageskizze: Die beschädigten Masten sind mit einem Pfeil gekennzeichnet. Die Dicke des Pfeils ist ein Mass für die Beschädigung
b Ansicht der zerstörten Leitung

der ein Blitzschlag in den Nahbereich einer Mittelspannungs-Freileitung trotz der Ableiter am Eingang des anschliessenden 15 km langen Kabels zu einem Schalterüberschlag an dessen Ende führte.

2. Ablauf der Störung

Eine 12,1 km lange 20-kV-Holzmastleitung ohne Erdseil wurde 5,6 km vor ihrem Übergang in ein 14,8 km langes See-Kabel vom Blitz getroffen, der in einem Bereich von 30 Spannfeldern (Spannfeldlänge ca. 50 m) 21 Holzmaste zersplitterte. Ca. 1,5 km vor dem beschädigten Masten in Richtung auf das Kabel entfernt waren die Überspannungsableiter (Nennspannung nach VDE 0675: $U_n = 20$ kV) einer Station vollständig zerstört. 20-kV-Ableiter am Kabeleingang und 600 m davor, sowie das 20-kV-Kabel selbst waren unbeschädigt. Am anderen Ende des 14,8 km langen Kabels trat ein zweipoliger Überschlag nach Erde mit darauffolgendem zweipoligem Kurzschluss mit Erdbeteiligung über die Stützer des eingelegten Schalters auf (Fig. 1 bis 3).

Die Freileitung verläuft in lichtem Wald auf der ersten Uferterrasse eines breiten, vollkommen trockenen Tales (Fig. 2). Der Untergrund besteht aus grobem Flussschotter, dessen spezifischer Bodenwiderstand sehr hoch ist, wie eine geoelektrische Messung bestätigte. Danach beträgt der aus dem scheinbaren spezifischen Bodenwiderstand berechnete mittlere spezifische Bodenwiderstand der einzelnen Schichten:

(0,5...1) m	1830 Ωm
(1...2) m	2080 Ωm
(2...3) m	1165 Ωm

oder

(0...3) m	1700 Ωm
(3...6) m	450 Ωm
(6...∞) m	220 Ωm

3. Erklärung der Störung

Wie bereits erwähnt, muss mit Beschädigungen von Holzmasten an der Einschlagstelle stets gerechnet werden, wenn auch der Fall, dass sich gleich 21 Maste an der Entladung der getroffenen Leitung nach Erde beteiligen, selten und auf die schlechte Bodenleitfähigkeit zurückzuführen sein dürfte. Die Beschädigung des Schalters dagegen, der durch eine 14,8 km lange Kabelstrecke von der vom Blitz getroffenen Freileitung getrennt war, erstaunte zunächst. Zumal, da sich drei Ableitersätze im Verlauf Einschlagstelle–Kabeleingang befanden.

Wie folgende Rechnung zeigt, bedarf es aber zur Erklärung der Störung keines übermässig grossen Blitzstromes:

Da die drei Leiterseile vom Blitz kurzgeschlossen wurden, muss der Wellenwiderstand der Freileitung aus der Nullimpedanz und der Nulladmittanz berechnet werden. Er beträgt für Wanderwellen etwa $Z_1 \approx 830\ \Omega$. Die Stoßspannungsfestigkeit der Holzmaste liegt zwischen 450...660 kV/m. Sie ist nach [12] unabhängig von Holzart, Feuchtigkeit und Imprägnierung. Bei 8,4 m wirksamer Masthöhe beträgt die Stossüberschlagspannung dann 3,8...5,5 MV. Dies ist ein vielfaches der Spannung, die z. B. bei einer 220-kV-Leitung wegen des Isolatorüberschlages nicht überschritten wird. Die Spannung an der Einschlagstelle war dann:

$$\hat{u} = \hat{i}\,\frac{Z_1}{2}$$

d. h. der Blitzstrom erreichte mindestens den Wert

$$\hat{i} = 9{,}2...13\ \text{kA}$$

Nach [10] führen 40...60 % aller Blitze diesen Strom, nach [2] sogar noch mehr. Mit einer Kabelkapazität pro Leiter von $C = 0{,}25\ \mu\text{F/km}$ wurde zur Aufladung des Kabels auf eine Spannung, die dem oberen Stosspegel entspricht, eine Ladung von 1,65 C benötigt. Nach [2] kann die Gesamtladung eines Blitzes viele 10 bis einige 100 C betragen.

Der Schutzbereich der Ableiter, die an der 1,5 km entfernten Station eingebaut waren und die zerstört wurden, erstreckte sich nicht bis zu den Masten. Das Ansteigen dort der Spannung bis zum Mastüberschlag konnten sie also nicht verhindern.

Der Ableitersatz am Kabeleingang hat die Spannungswelle auf seine Restspannung begrenzt. Wahrscheinlich hat aber die am Kabeleingang reflektierte Abbauwelle das Ansprechen dieses Ableiters verzögert. Der 600 m vorverlegte Ableitersatz, der diesem Effekt entgegenwirken sollte [14; 4] konnte wegen seines hohen Erdausbreitungswiderstandes (Fig. 1) und seiner damit hohen Restspannung nicht voll wirksam werden. Auf die nun einsetzende allmählige Spannungserhöhung am Kabelende hatte der Ableiter am Kabeleingang wegen der grossen Kabellänge und grossen Stirnsteilheit keinen Einfluss [3]. Es musste also am Kabelende zum Überschlag kommen, da dort kein Ableiter installiert war.

Ohne Ableiter am Kabelende wäre ein Schutz der Station durch eine vorgeschaltete Kabelstrecke nur beim «Ferneinschlag», d. h. bei grosser Entfernung «Einschlagstelle–Kabeleingang» oder einem entsprechend kurzen Kabel ([3; 5; 8; 9; 14]) gegeben. Da die Möglichkeit, den «Naheinschlag» durch eine ausreichend dichte Erdseilbelegung über eine Strecke von der doppelten Kabellänge vor dem Kabeleingang zu vermeiden, nicht gegeben ist, müssen Ableiter am Kabelende die Spannung begrenzen.

4. Abhilfe

Zunächst wurden Ableiter am Kabelende, und zwar an der Überschlagstelle eingebaut. Eine relativ einfache Rechnung mit dem Wellengitter nach *Bewley* oder nach dem grafisch durchgeführten Bergeronverfahren ([1; 11]) ergibt, dass die Spannung an der Überschlagstelle, also zwischen Seekabel und 130-m-Kabel, im Verlauf des Wellenspiels tatsächlich höher wird als an dem vom Transformator abgeschlossenen Ende.

Des weiteren wurde die Erdungsklemme des dem Kabeleingang 600 m vorgelagerten Ableitersatzes über ein Bodenseil mit dem Kabelmantel verbunden. Damit ist sein Schutzpegel eindeutig definiert, wenn auch der Ausbreitungswiderstand der Ableitererde wegen des steinigen Geländes in dem das Bodenseil verlegt wurde, nicht erheblich gesenkt werden konnte.

Diese Massnahmen wurden vor drei Jahren durchgeführt. Sie hatten den gewünschten Erfolg, wie mehrere inzwischen erfolgte Leitungseinschläge zeigten, die ausser Mastzersplitterungen keine Schäden in der Station nach sich zogen.

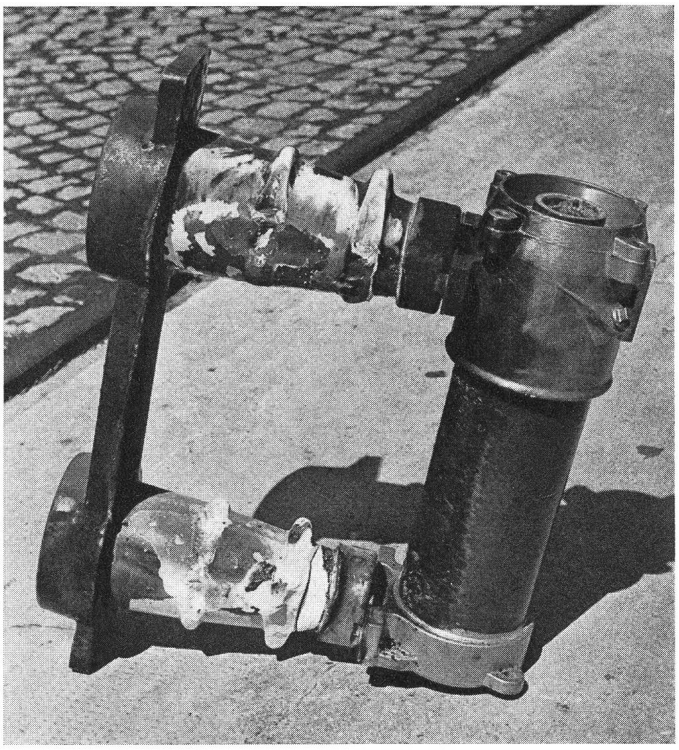


Fig. 3
Der Leistungsschalter der Reihe 20,
der durch Überschlag zerstört wurde, obwohl er durch 5,6 km Freileitung und 14,8 km Kabel von der Einschlagstelle getrennt war

Literatur

[1] *H. Baatz:* Überspannungen in Energieversorgungsnetzen. Springer Berlin 1956.

[2] *K. Berger* und *E. Vogelsanger:* Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 56(1965)1, S. 2...22.

[3] *M. Christoffel, E. Fischer* und *G. Hosemann:* Überspannungsschutz von Transformatoren mit direkt eingeführtem Kabel bei Blitzschlag in die vorgelagerte Freileitung. ETZ-A 83(1962)23, S. 761...772.

[4] *M. Christoffel:* Der Einfluss von Kabelstrecken auf die Überspannungsvorgänge in Übertragungssystemen mittlerer und hoher Spannung. Brown Boveri Mitt. 51(1964)6, S. 369...376.

[5] *R. Davis:* Überspannungsschutz von Stationen durch kurze Kabelstrecken. ETZ-A 76(1955)23, S. 847...853.

[6] *E. Fischer:* Die Schutzwirkung von Überspannungsableitern in Kopfstationen bei verschiedener räumlicher Anordnung. Elektr.-Wirtsch. 60(1961)24, S. 919...928.

[7] *G. Frühauf:* Überspannungen und Überspannungsschutz. Sammlung Goeschen Nr. 1132. Neudruck, de Gruyter Berlin 1950.

[8] *J. A. Giaro:* Surtensions critiques aux extrémités d'un câble raccordé à une ligne aérienne frappée de coups de foudre. CIGRE-Rapport No. 312, 1958.

[9] *J. A. Giaro:* Surtensions aux extrémités d'un câble raccordé à une ligne aérienne frappée de coups de foudre au delà de la zone critique. CIGRE-Rapport No. 310, 1964.

[10] *D. Müller-Hillebrand:* Zur Physik der Blitzentladung. ETZ-A 82(1961)8, S. 232...249.

[11] *H. Prinz, W. Zaengl* und *O. Völcker:* Das Bergeron-Verfahren zur Lösung von Wanderwellenaufgaben. Bull. SEV 53(1962)16, S. 725...739.

[12] *A. Roth:* Hochspannungstechnik. 4. Auflage, Springer Wien 1959.

[13] *H. Schulze, H. Koettnitz* und *C. Hieke:* Richtlinien für Wahl, Einbau und Erdung von Überspannungsableitern. VEB Verlag Technik Berlin 1957.

[14] *W. Waste:* Überspannungsschutz in Drehstromanlagen. ETZ-A 83(1962)6, S. 186...192.

Adresse des Autors:
Dipl.-Ing. *G. Kaiser,* Bayernwerk AG, Abteilung Netzbetrieb, Blutenburgstrasse 6, D-8 München 2.