Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 23 (1932)
Heft: 12

Artikel: Ergebnisse der Gewittermessungen im Jahre 1932
Autor: Berger, K.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057449

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: 22.08.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A., Zurich 4
Stauffacherquai 36/38

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXIIIe Année | N° 12 | Vendredi, 10 Juin 1932

Ergebnisse der Gewittermessungen im Jahre 1931.

Von Dr. *K. Berger*, Ingenieur des SEV, Zürich.

621.316.93:621.317.755

Es werden die mit zwei Kathodenstrahloszillographen an der 132-kV-Einphasenleitung der Schweizerischen Bundesbahnen fortgeführten Messungen der von Blitzen erzeugten Ueberspannungen beschrieben. Ueber Häufigkeit und Höhe der Ueberspannungen werden Zusammenstellungen gegeben und einige wichtigere Oszillogramme reproduziert. Von insgesamt 7 «Blitzkurzschlüssen» der benutzten Leitung sind im Sommer 1931 6 oszillographisch aufgenommen worden. Die starke Dämpfung der Ueberspannung wird gezeigt, sowie ihre eng begrenzte Störwirkung quer zur Leitung. Aus dem Vergleich der an mehreren Leitungsseilen zugleich aufgenommenen Oszillogramme lassen sich direkte und indirekte Blitzschläge unterscheiden. Mit besondern, an den einzelnen Masten der Leitung angebrachten Messfunkenstrecken konnten Anhaltspunkte für die Grösse des über die Masten zur Erde abfliessenden Blitzstroms gewonnen werden. Daraus wird der Maximalwert des zulässigen Erdungswiderstandes von Masten bestimmt. Schliesslich zieht der Autor Folgerungen bezüglich des Ueberspannungsschutzes für Leitungen auf Eisen- und Holzmasten und verweist auf eine später erscheinende Veröffentlichung über die Untersuchung von Ueberspannungsschutzapparaten.

L'auteur décrit la suite des mesures de surtensions dues aux décharges atmosphériques effectuées à l'aide de deux oscillographes cathodiques sur la ligne monophasée à 132 kV des Chemins de fer fédéraux. Des données sur la fréquence et l'amplitude de ces surtensions sont complétées par quelques oscillogrammes intéressants. De 7 courts-circuits produits par la foudre sur cette ligne en 1931, 6 ont pu être fixés par l'oscillographe. Les essais montrent que la surtension est fortement amortie et que son effet perturbateur perpendiculairement à la ligne est étroitement limité. La comparaison entre des oscillogrammes enregistrés simultanément sur plusieurs conducteurs de la ligne permet de faire la différence entre décharges directes et indirectes. Des éclateurs spéciaux disposés sur les différents pylônes de la ligne ont permis de se faire une idée de l'ordre de grandeur de l'intensité des décharges s'écoulant à la terre par les pylônes, et d'en déduire la valeur maximum admissible de la résistance de mise à terre des pylônes. Pour terminer, l'auteur tire des conclusions au sujet de la protection des lignes sur pylônes métalliques et sur poteaux en bois contre les surtensions et renvoie à une publication ultérieure sur des essais de dispositifs de protection contre les surtensions.

1. Daten des untersuchten Netzes.

Die im Sommer 1928 auf der Forch im Kanton Zürich begonnenen und in den Jahren 1929 und 1930 an der 132-kV-Leitung der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) weitergeführten oszillographischen Messungen der durch Gewitter erzeugten Ueberspannungen konnten im vergangenen Sommer 1931 fortgesetzt werden. Als Messpunkt wurde nochmals derselbe Ort gewählt wie im Sommer 1930, nämlich das Unterwerk Puidoux der SBB, und als untersuchte Leitung wiederum die 132-kV-Leitung der SBB. Damit war bezweckt, die gleichzeitigen Messungen an zwei Leitungsseilen mittels zweier Kathodenstrahloszillographen auf breitere Grundlage zu stellen. Insbesondere sollte die Zuverlässigkeit des damals angegebenen Kriteriums zur Entscheidung direkter und indirekter Blitzschläge weiter erprobt werden, nachdem bisher ein anderes praktisches Merkmal, das diese Unterscheidung oszillographisch zuverlässig ermöglicht, nicht bekannt geworden ist. [1])

Die Beschreibung der untersuchten 132-kV-Einphasenleitung der SBB wurde bereits früher gegeben [2]). Fig. 1 zeigt nochmals die geographische Lage der Leitung mit den Messpunkten Puidoux (*P*) der beiden Sommer 1930 und 1931, und Rupperswil (*R*) im Jahr 1929. Es ist wesentlich, daran zu erinnern, dass zwischen den Werken *P* und Vernayaz (*V*) die beiden Einphasenleitungen auf getrennten Gestängen verlaufen, die meistens einen Abstand weniger 100 m von einander aufweisen. Während ferner in den Vorjahren beide Leitungsschleifen («Betriebe A und B») getrennt betrieben wurden, bestand im Sommer 1931 bis zum 27. Juli versuchsweise eine metallische Kupplung beider Leitungen in den Endstationen *V* und *R*. Vom 27. Juli an wurden dann beide Leitungsschleifen wie in den Vorjahren wieder getrennt betrieben, so dass ein leitender Uebertritt einer Wanderwelle von einer Phase der ersten Leitung auf eine Phase der zweiten Leitung nicht mehr vorkommen konnte und die Kurzschlussleistung an den Masten wieder

[1]) K. Berger, Bull. SEV 1931, Nr. 17. Die amerikanischen «Stroke Recorders» bestimmen Masteinschläge, die «Surge Recorders» Isolatorüberschläge. Direkte Blitzschläge auf Leitungsseile werden damit nur dann erfasst, wenn sie zum Ueberschlag führen, was nicht immer der Fall zu sein braucht.

[2]) Wie bei [1]). Eine ausführliche Beschreibung des Netzes siehe: Dr. E. Huber-Stockar, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, 1929; zu beziehen beim Generalsekretariat des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

etwa dieselben Werte besass wie im vorigen Jahr. Wenn auch beim ersten Eintreffen einer atmosphärischen Ueberspannung am Messort *P* ein Einfluss der Kupplung beider Leitungen nur ausnahmsweise, nämlich nur bei Blitzeinwirkungen in Nähe der Kuppelstellen wahrzunehmen ist, so äussert sich jene doch bei dem Spiel der Wellenreflexionen.

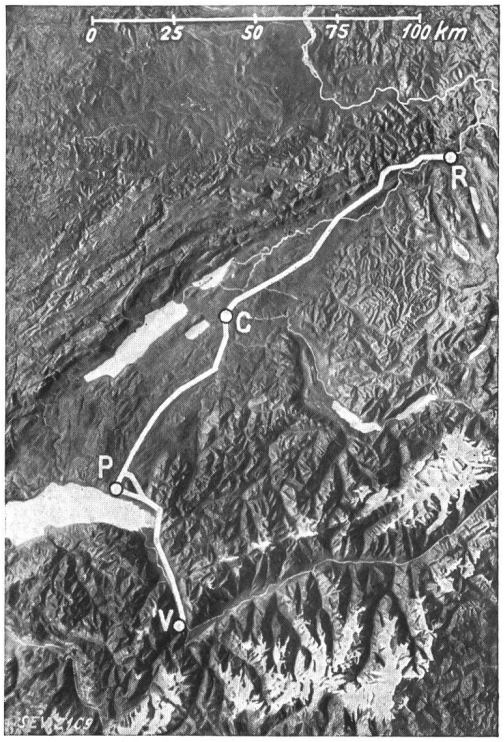

Fig. 1.
Geographische Lage der 132-kV-Leitung der Schweizerischen Bundesbahnen.
V Kraftwerk Vernayaz.
P Unterwerk Puidoux.
C Unterwerk Kerzers.
R Unterwerk Rupperswil.

Der Betrieb des 132-kV-Netzes erfolgte wie immer mit direkt geerdeten Mittelpunkten aller Leistungstransformatoren. Einpolige Ueberschläge wirken sich als Kurzschlüsse aus und führen zur Abschaltung eines Leitungsstücks innert 1 bis 2 Sekunden.

Der Abteilung für Elektrifizierung der SBB soll auch an dieser Stelle der wärmste Dank ausgesprochen werden für die vielseitige Unterstützung bei den Versuchen und für die Ueberlassung der äusserst wertvollen statistischen Angaben. Dem Personal der Kraft- und Unterwerke danke ich insbesondere für die Promptheit der Gewittermeldungen.

2. Häufigkeit der registrierten atmosphärischen Ueberspannungen.

Die Periode, während welcher beide verfügbaren registrierenden Kathodenstrahloszillographen aufnahmebereit standen, umfasst den Zeitabschnitt vom 27. Mai bis Ende Oktober 1931. Anzahl und Höhe der während dieses Intervalls aufgezeichneten, von Blitzen erzeugten Ueberspannungen der 132-kV-Leitung gehen aus Tabelle I, Zeile 3, hervor. Dabei war der Messort *P* stets Durchgangsstation; die gegebenen Werte sind daher die dortigen Amplituden durchlaufender, nicht reflektierter Wellen. Die Anzahl der aufgenommenen Oszillogramme entspricht der doppelten der in der Tabelle genannten, weil stets mit beiden Kathodenstrahloszillographen registriert wurde. Der Vollständigkeit halber sind in der Tabelle die Werte von 1929 und 1930 wiederholt worden.

Anzahl Oszillogramme resp. Ueberspannungswellen pro Phase.
Tabelle I.

Grösse der der momentanen Betriebsspannung überlagerten Spannungsschwankung infolge atmosphärisch erzeugter Wanderwellen in kV_{eff}	< 5	5 bis 15	15 bis 50	50 bis 100	> 100
20.VI. —10.X.1929	210 + x[1])	65	40	5	5
10.VII.—30.X.1930	300 + x[1])	35	20	3	3
27.V. —31.X.1931	410 + x[1])	114	65	6	3

[1]) Mit x ist wiederum jene Anzahl Ueberspannungswellen bezeichnet, die, weil ihre Spannungsvariation zu klein war, nicht zur Auslösung der Kathodenstrahl-Oszillographen geführt haben.
1. Reihe: Messung am Leitungsende R.
2. u. 3. Reihe: Messung in der Durchgangsstation P.

Die absoluten Ziffern der 3 Zeilen können nicht ohne weiteres verglichen werden, da z. B. für das Jahr 1930 die Beobachtungsperiode wegen der vielen Frühjahrsgewitter jenes Jahres nur etwa ⅓ der Gewitterperiode umfasste und entsprechend kürzer war als 1929 und 1931. Auch ist zu bedenken, dass im Jahr 1929 die Messungen am Leitungsende *R* durchgeführt wurden, die Ueberspannungswerte also dort jene der reflektierten Wellen sind. Hingegen gibt der Vergleich der Abstufung der verschiedenen Ueberspannungshöhen für jedes Jahr ungefähr dieselbe Verteilung. Ueberspannungen weniger kV, die höchstens in Schwachstromleitungen spürbar sind, sind sehr häufig. Ueberspannungen bis zu ca. 50 kV_{eff} sind weniger häufig, aber immerhin nicht selten. *Dagegen sind Ueberspannungen über 50 kV_{eff} oder insbesondere über 100 kV_{eff} als selten zu bezeichnen.* Dabei ist stets zu berücksichtigen, dass die Tabelle die *am Messort* gemessenen Werte enthält. An der Blitzeinwirkungsstelle der Leitung beträgt die Ueberspannung stets mehr. Der Unterschied ist nur klein für die kleinen und mittleren Ueberspannungen, er ist aber sehr beträchtlich für die hohen, über der Glimmspannung der Leitung liegenden Wellenspannungen, wie das auch aus amerikanischen Messungen mit künstlichen Wellen bekannt ist. Wo in den beiden zugleich registrierten Phasen nicht genau gleich hohe Ueberspannungen entstanden, ist die höhere der beiden gemessenen Wellen in Tabelle I eingetragen worden. Die beiden Kathodenstrahloszillographen waren normalerweise an den zwei höchsten Leitungsseilen angeschlossen. Hätten sämtliche vier Seile zugleich registriert werden können, so würden sich voraussichtlich die Zahlen der Tabelle I noch etwas erhöhen.

Um die spezifischen Ueberspannungszahlen für 100 km Leitungslänge und pro Jahr zu erhalten, sind die Werte der Tabelle I durch 2,6 zu teilen, weil die untersuchte Netzlänge 262 km beträgt, nämlich 158 km Doppelleitung und 2·51,9 km Einfachleitung.

Fig. 2 gibt schliesslich eine Kurvendarstellung der Ueberspannungshäufigkeit nach Tabelle I für das Jahr 1931.

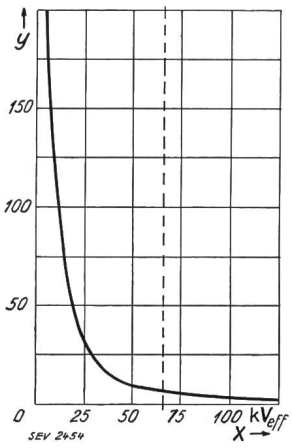

Fig. 2.
Häufigkeit verschieden hoher atmosphärischer Ueberspannungen nach den Messungen im Sommer 1931.
Die normale Betriebsspannung ist gestrichelt eingezeichnet.
x Höhe der Ueberspannungen.
y Zahl der Ueberspannungen, deren Betrag den zugehörigen Abszissenwert übersteigt.

Bezüglich der Vollständigkeit der Tabelle I kann angenommen werden, dass im vergangenen Jahr 1931, wo die Gewittermeldungen zuverlässig eintrafen, mindestens etwa 80 % aller Gewittereinflüsse durch die Messungen erfasst wurden. Das stimmt auch damit etwa überein, dass von den 7 vom Blitz erzeugten Leitungskurzschlüssen 6 oszillographisch gemessen wurden.

Die *Polarität* der häufigen kleinen Ueberspannungen lässt sich nicht immer eindeutig festlegen, weil bei ein und derselben Welle oft Abweichungen der Spannung vom momentanen Betriebswert nach der positiven und negativen Seite vorkommen. In diesem Fall ist als Spannungsschwankung die gesamte Bandbreite bezeichnet worden, innert welcher die Abweichungen liegen. Wo die Wanderwelle die Form eines Stosses hat, überwiegen im gesamten die positiven Ueberspannungsstösse. Doch ist der Unterschied nicht sehr gross und scheint nicht charakteristisch zu sein. Grosse Blitzüberspannungen verlaufen immer stossartig; dort ist daher der positive Stoss leicht vom negativen zu unterscheiden. Beide Polaritäten kommen ungefähr gleich häufig vor. Da die Influenzwellen bei direkten Blitzeinschlägen in ein Leitungsseil oft umgekehrte Polarität besitzen als die Hauptwelle, so gestattet nur die Polarität der direkt betroffenen Phase Rückschlüsse auf die Blitzpolarität. Siehe Schluss Abschnitt 5.

3. Anzahl der Blitzkurzschlüsse.

Im Sommer 1931 entstanden im beobachteten 132-kV-Netz 6 bzw. 7 Kurzschlüsse durch Blitzschlag. Die Gesamtzahl ist deshalb unsicher, weil eine hohe Blitzüberspannung zu einer Zeit eintrat, wo die Leitung infolge eines kurz vorher erfolgten Blitzeinschlags ausser Betrieb und spannungslos war. Es entstand also keine zusätzliche Betriebsstörung im 132-kV-Netz; eine solche wäre aber vielleicht entstanden, wenn die Leitung im Betrieb gestanden hätte. Tabelle II gibt Einzelheiten über die Blitzkurzschlüsse.

Störungen durch Blitzschlag im Jahre 1931.

Tabelle II.

No.	Datum	Zeit	Störung bei	Mast	Betrieb	Phase	Masterdungswiderstand mit Erdseil	Masterdungswiderstand ohne Erdseil
1	24. 6.	19^{38}	Niedergerlafingen	173	A	U	1,9	23,1
					B	V		
2	24. 6.	21^{19}	Cottens	166	A	U	2,1	19,5
					B	U		
3	13. 7.	19^{23}	St-Triphon - Bex	69	B	U	2,0	?
4[1])	13. 7.	19^{24}	„	68	A	V	?	?
5	5. 8.	15^{39}	„	—	B	V	—	—
6	6. 8.	9^{09}	Klein Bösingen	253	A	U+V	3,8	19,8
					B	U		
7	6. 8.	23^{34}	Garmiswil	226	B	V	?	?

[1]) Dieser Blitzschlag erfolgte, während die 132-kV-Leitung von der vorhergehenden Blitzstörung her noch ausser Betrieb war.

Von den 6 Betriebsstörungen im Jahre 1931 infolge Blitzschlag wirkten sich 5 ausschliesslich auf der Leitung aus und nur einer (Nr. 5) als Sammelschienenüberschlag in einem Werk am Ende der Leitung. Die in jener Anlage überschlagene Durchführung stellt dort den elektrisch schwächsten Punkt dar, wodurch sich die Lage des Defekts innerhalb des Werkes erklärt.

Für die Gesamtheit der 3 Beobachtungsjahre 1929 bis 1931 ergibt sich folgendes Bild:

Es entstanden total 21 Kurzschlüsse im 132-kV-Netz durch Blitzschlag, dazu kommen 5 weitere, deren Ursache nicht sicher im Blitzschlag zu suchen ist. Von den 21 sichern Fällen befanden sich 2 Ueberschläge im Kraftwerk am offenen Leitungsende, die übrigen 19 auf der Leitung. In 18 Fällen konnte die Störungsstelle genau ermittelt werden, in 3 Fällen nicht. Die Feststellung der Lage von Leitungsüberschlägen war deshalb in den meisten Fällen möglich, weil infolge der starren Nullpunktserdung die Isolatorenketten auch durch den nur einpoligen Ueberschlag meistens beschädigt werden. Von den 3 Kurzschlüssen, deren örtliche Lage nicht ermittelt werden konnte, befanden sich 2 auf Leitungen, die zum Teil mit kräftigen Horn-Armaturen ausgerüstet sind. Defekte der mit den modernen Horn - Armaturen geschützten Ketten durch Blitzschlag sind nicht beobachtet worden. Dagegen wurden an 2 solchen Ketten Abbrände der Hörner konstatiert, ohne dass Leitungsseil oder Isolatoren beschädigt wurden. In einem der letzten 2 Fälle (Nr. 1 der Tab. II) wurden Blitzschlag und Isolatorenüberschlag von Privatpersonen beobachtet und gemeldet, dass «der ganze Mast im Feuer gestanden sei». Die verwendeten neuern Armaturen

scheinen die Beschädigung der Leiterseile und Isolatoren bei Ueberschlägen wirksam zu verhindern. Immerhin war in keinem Fall der letzten 3 Jahre die Beschädigung auch der nicht nach modernsten Gesichtspunkten armierten 7gliedrigen Isolatorenketten derart schwer, dass die Kette bis zu ihrer Auswechslung nicht wieder hätte in Betrieb gesetzt werden können.

Für das 158 km lange Teilstück *P—R*, wo die zwei Einphasenbetriebe *A* und *B*, d. h. alle 4 Leiterseile auf demselben Gestänge liegen, ist die massstäbliche Anordnung und die Verteilung der Gesamtzahl vom Blitz überschlagener Isolatorenketten, wie sie sich aus den jeweils nach Blitzstörungen durchgeführten Leitungskontrollen ergab, in der Fig. 3 dargestellt. Die Zahlen geben die Summe aus den drei Beobachtungsjahren 1929 bis 1931.

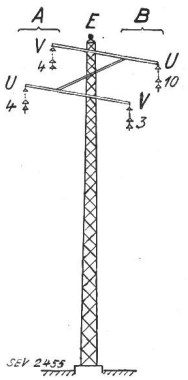

Fig. 3.
Verteilung der „Blitzkurzschlüsse" des Teilstückes *P—R* auf die verschiedenen Phasen (Leitungsseile). Die Zahlen bedeuten die Anzahl der auf den betreffenden Phasen in den letzten 3 Jahren durch Blitz verursachten Kurzschlüsse.

Der meistüberschlagene Leiter *B U* ist der nach Südosten gerichtete. Unsere grossen Gewitterfronten wandern ungefähr von Westen nach Osten. Die Mehrbeanspruchung des Seils *B U* ist aus dem Gewitterzug nicht erklärlich. Es hat den Anschein, als ob der Schutzwert des Erdseils sich nur in ungenügendem Masse auf das am meisten entfernte Leitungseil *B U* erstrecken würde. Damit Blitzeinschläge nicht die Phasen, sondern das Erdseil treffen, dürfte demnach die horizontale Entfernung zwischen Erdseil und Phasen nicht zu gross sein, oder es müssen 2 Erdseile vorhanden sein, deren seitlicher Abstand vom Mast eventuell grösser ist als derjenige aller Leiterseile.

4. Vergleich der Störungsziffern des 132-kV-Netzes mit jenen des 66-kV- und 15-kV-Netzes.

Mit Genehmigung der Abteilung für Elektrifizierung der SBB erwähne ich folgende Zahlen:

Das 66-kV-Uebertragungsnetz der SBB wies im Sommer 1929 und mit kleinen Ergänzungen auch 1930 und 1931 folgende Leitungslängen auf:

53,4 km Vierfachleitung
562,3 km Doppelleitung
47,1 km Einfachleitung

Die Mittelpunkte der Transformatoren dieses Systems sind über hohe Widerstände geerdet. Erdschlüsse führen erst zur Abschaltung und damit zur sichern Wahrnehmung, wenn sie mehrere Sekunden bestanden haben. Kurzdauernde, vorübergehende Erdschlüsse werden vom Betrieb nicht immer wahrgenommen. Die Angabe der Anzahl beobachteter Erdschlüsse hat deshalb keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sicherer ist dagegen die beobachtete Kurzschlusszahl. Tabelle III gibt Auskunft über die Häufigkeit der vom Blitz verursachten Erd- und Kurzschlüsse in den letzten drei Jahren.

Erd- und Kurzschlüsse im 66-kV-Netz der SBB.
Tabelle III.

Jahr	Dem Blitz zugeschriebene und wahrgenommene Erdschlüsse		Vom Blitz verursachte Kurzschlüsse	
	Totale Zahl	Defektstelle aufgefunden, Zahl der Fälle	Totale Zahl	Defektstelle aufgefunden, Zahl der Fälle
1929	13	6	5	4
1930	18	7	8	7
1931	7	4	5	3

Für den Vergleich mit dem 132-kV-Netz sind die Blitzstörungsziffern des ohne starre Nullpunktserdung betriebenen 66-kV-Netzes schwierig zu verwerten; hingegen sind jene des 15-kV-Fahrleitungsnetzes der SBB sehr wertvoll. Da beim letzteren in gleicher Weise wie beim 132-kV-Netz jeder Isolatorüberschlag zum Kurzschluss und zur Abschaltung führt, geben dessen Ziffern ein genaues Mass für die Häufigkeit seiner Blitzstörungen. Die elektrifizierten Bahnstrecken umfassten die in Tabelle IV angegebenen Geleiselängen in km [3]):

Geleiselängen der elektrifizierten Bahnstrecken der SBB in km.
Tabelle IV.

Jahr	1929	1930	1931
Freie eingeleisige Strecken . .	543	543	589
Freie zweigeleisige Strecken . .	1148	1163	1175
Tunnel	179	193	199
Stationen	1893	1910	1978
Total km	3763	3809	3941

Die Anzahl der vom Blitz verursachten Fahrleitungskurzschlüsse ist aus Tabelle V ersichtlich. Wie dies bei allen solchen Statistiken der Fall ist, können die Zahlen keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit erheben. Doch ist zu erwähnen, dass auf die Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Statistik und die Aufklärung der Störungen bei der Abteilung für Elektrifizierung der SBB ganz besondere Sorgfalt verwendet wird. Da längs der Bahnlinien auch stets viel mehr werkeigenes Personal anwesend ist, als längs anderer elektrischer Leitungen, so dürfen diese Statistiken wohl als besonders zuverlässig gelten.

[3]) Dr. E. Huber-Stockar, wie unter [2]).

Zahl der Kurzschlüsse in der Fahrleitungsanlage der SBB.
Tabelle V.

Jahr	Abschaltungen infolge Blitz	Störungsherd aufgefunden	Kurzschluss blieb bestehen
1929	94	85	19
1930	144	98	21
1931	85	77	17

Von sämtlichen «Blitzkurzschlüssen» (Tab. V) traten nur 6 in den 15-kV-Unterwerken (Fahrleitungsspeisepunkten) auf. Begleiterscheinung war dabei in drei Fällen die Zerstörung von Ueberspannungsableitern, und zwar in einem Fall eines veralteten Hörnerableiters und in zwei Fällen eines moderneren Fabrikats.

Um den Vergleich des 132-kV-Netzes mit dem 15-kV-Netz zu ermöglichen, rechnen wir die *spezifischen Störungszahlen* pro Jahr und 100 km Leitungslänge aus. Leitungen auf demselben Gestänge zählen wir einfach, auch wenn es Doppel- oder Vierfachleitungen oder doppelspurige Bahnstrecken sind. Die in Betracht zu ziehende Summe der Stationslängen setzen wir zu 400 km ein. Es ergeben sich als dreijährige Durchschnitte:

Für das 132-kV-Netz mit einem Erdseil 2,7 Ueberschläge pro Jahr und 100 km Leitungslänge.

Für das 15-kV-Netz ohne Erdseil ca. 5,1 Ueberschläge pro Jahr und 100 km Leitungslänge.

Es ergibt sich für das 15-kV-Netz mit seiner durchschnittlich 4 bis 5mal geringern Stossüberschlagsspannung eine etwa 1,9mal grössere spezifische Ueberschlagshäufigkeit durch Blitze als auf der 132-kV-Leitung.

Infolge der relativ hohen Isolation des Fahrleitungsnetzes entstehen Blitzstörungen desselben in den meisten Fällen durch direkte Einschläge, während im 132-kV-Netz mit Sicherheit alle Störungen von direkten Einschlägen herrühren. Daher könnte trotz der verschieden hohen Isolation die spezifische Blitzstörungszahl für beide Netze nicht wesentlich verschieden sein, sofern beide kein Erdseil besässen und Rücküberschläge von Masten auf die Phasen keine wesentliche Rolle spielten. Die Verminderung der spezifischen Störungszahl der 132-kV-Leitung gegenüber dem 15-kV-Netz ist hauptsächlich auf die Wirkung des Erdseils als Blitzauffänger zurückzuführen. In der Tat soll nach amerikanischen Statistiken ein Erdseil die Häufigkeit der Blitzstörungen auf ½ bis ⅓ reduzieren, was mit dem beobachteten Unterschied von 5,1 und 2,7 Blitzstörungen pro Jahr und 100 km Leitungslänge ungefähr übereinstimmt. Die Ueberlegung stimmt noch besser, wenn man bedenkt, dass die 132-kV-Leitung infolge ihrer grössern Masthöhen und Spannweiten dem Blitz mehr exponiert ist, als die oft in Einschnitten und an Hängen verlaufenden Fahrleitungen.

Man könnte aus diesen Zahlen schliessen, dass in unsern Gegenden für Höchstspannungsleitungen auf Eisenmasten ohne Erdseil mit etwa 6 Blitzstörungen pro Jahr und 100 km Leitungslänge zu rechnen ist, wovon die meisten sich als einpolige Erdschlüsse äussern.

5. Form, Höhe und Dauer der Gewitterüberspannungen.

Die beiden höchsten, im Unterwerk *P* während der Gewitterperiode 1931 gemessenen Blitzüberspannungen der 132-kV-Leitung sind in Fig. 4 und 5 reproduziert. Fig. 4 gehört zu Störung Nr. 5 in Tabelle II. Am Leitungsendpunkt, nämlich im Kraftwerk *V*, trat ein einphasiger Sammelschienenüberschlag auf im Augenblick eines vom Personal beobachteten Blitzes, dessen genaue Lage aber nicht bekannt ist. Die gestörte Phase zeigt in der Durchgangsstation *P* eine überlagerte Blitzwelle negativer Polarität von 260 kV_{max} (Fig. 4a). Die absolute Ueberspannung gegen Erde beträgt 180 kV_{max}, das

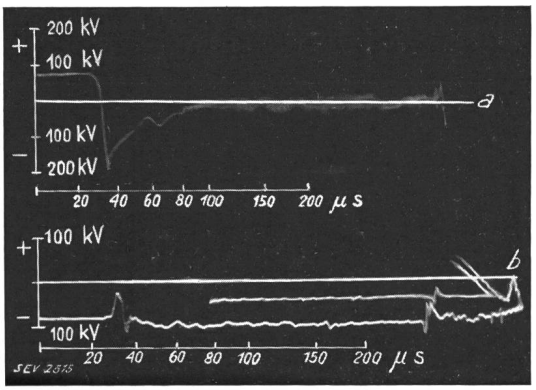

Fig. 4.
Oszillogramme der Blitzstörung
No. 5 in Tab. II, vom 5. VIII., 15 h 39.
Fig. 4a ist gemessen in Phase *BV* (Fig. 6).
Fig. 4b ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 6).

ist das 1,95fache des Scheitelwertes der normalen Phasenspannung. Die Ueberspannungswelle hat die Form eines negativen Spannungsstosses mit einer Frontsteilheit von 260 $kV_{max}/3\mu s$. Die nicht betroffene Phase zeigt ebenfalls eine schroffe Spannungsvariation, aber ihre Form ist komplizierter. Zunächst tritt genau im Moment, wo in der andern Phase der negative Stoss beginnt, ein positiver kurzer Stoss von ca. 53 kV_{max} auf, der anschliessend in einen langen Rücken negativer Polarität übergeht. Die absolute Ueberspannung dieser Phase ist unwesentlich klein (Fig. 4b). Am Leitungsende *V* ist zur Erzeugung des konstatierten Sammelschienenkurzschlusses eine Stoßspannung von über 500 kV_{max} nötig; die Ueberschreitung dieser Spannung wurde durch Versuch nachgemessen. Obige Ueberspannung ist folglich auf einer höchstens 57 km langen Strecke auf 180 kV_{max} absolut gedämpft worden. Der Klydonograph in *V* registrierte in der gestörten Phase eine Spannung von mindestens 700 kV_{max}; die Figur zeigt positive Polarität. Ebenso sicher ist die in *P* gemessene Welle derselben Phase negativ. Das Zustandekommen der verschiedenen Polaritäten der Ueberspannung ist nicht abgeklärt.

Folgende Einzelheit ist noch von Interesse: Dem eigentlichen Ueberspannungsstoss vorangehend existieren schon kleinere Spannungsvariationen auf der Leitung während etwa 26 μs. Dann folgt plötzlich ein rascherer Anstieg von etwa 4 μs Dauer und erst anschliessend der steile Stoss grosser Höhe mit rund 100 $kV_{max}/\mu s$ maximaler Steilheit. Diese schon früher beobachtete Erscheinung [4]) ist einleuchtend, wenn man annimmt, die Ueberspannung sei durch einen direkten Blitzschlag in diese Phase entstanden. Die kleinen anfänglichen Spannungsschwankungen sind offenbar indirekter Art. Berücksichtigt man die bei Schaltwellen nachgewiesene Verflachung der Wellenfront beim Durchlaufen einer Strecke von rund 50 km, so kann die Grössenordnung der Steilheit des Spannungsanstieges bei der Blitzeinschlagstelle auf 1000 $kV_{max}/\mu s$ geschätzt werden.

Fig. 5 betrifft die Blitzstörung Nr. 4 in Tab. II auf einem 44 km entfernten Mast der Betriebsschleife *A* des Leitungsstücks *V—P*. Auf den Masten

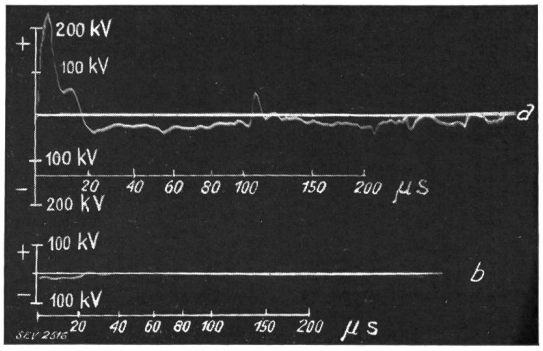

Fig. 5.
Oszillogramme der Blitzstörung
No. 4 in Tab. II, vom 13. VII., 19 h 24.
Fig. 5a ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 6).
Fig. 5b ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 6).

befinden sich eine 132-kV-Schleife unten und zwei 66-kV-Einphasenleitungen oben. Die zweite Betriebsschleife (*B*) für 132 kV verläuft in ca. 100 m Entfernung auf einem zweiten Gestänge *V—P*. Die örtliche Lage geht aus Fig. 6 hervor. Fig. 5a wurde entsprechend in Tabelle II am Leiter *AV* registriert, Fig. 5b am Leiter *BU*. Von der vorangehenden Blitzstörung her waren beide 132-kV-Schleifen noch spannungslos. Dagegen wurden auf dem Mast rechts (Fig. 6) an der mit *x* bezeichneten Stelle 2 Ketten der einen 66-kV-Leitung schwer beschädigt und mussten ausgewechselt werden. Blitz und Lichtbogen wurden von Privatpersonen beobachtet. Eine Leitungsabschaltung in 66 kV kam trotz des Kurzschlusses nicht zustande. Dies ist der erste Fall der dreijährigen Beobachtungszeit, wo es scheint, dass der vom Blitz eingeleitete Kurzschlusslichtbogen innert ca. 3 s selbst gelöscht hat. Die am 44 km entfernten Messort *P* auf dem Seil *A V* konstatierte Spannungswelle ist ein positiver Stoss von 240 kV_{max} und etwa 70 $kV_{max}/\mu s$ maximaler Steilheit. Auf der in rund 105 m Abstand parallel laufenden, mindestens 10 m höher gelegenen Phase *B U* entstand eine kaum messbare Ueberspannung

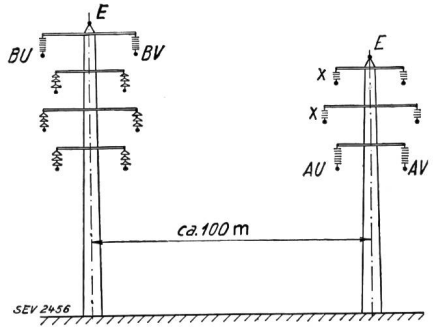

Fig. 6.
Leitungsprofil zu den in den Fig. 4, 5 und 7 dargestellten Blitzstörungen No. 3, 4 und 5 in Tab. II.

(Fig. 5b). Der gewaltige Unterschied beider Ueberspannungen ist nur bei Annahme eines direkten Blitzeinschlages im ersten Fall verständlich. *Die induzierte (indirekte) Blitzwelle ist auf einem 100 m abseits liegenden Seil bereits verschwindend klein.* Die in Fig. 5a ersichtlichen spätern Spannungszacken rühren von der Reflexion der Welle an den Leitungsenden her. Auch daraus ist deutlich die starke Dämpfung bereits nach einmaligem Leitungsdurchlaufen ersichtlich.

Für die Blitzstörung Nr. 3 in Tabelle II kann ebenfalls Fig. 6 als Lageplan gelten. Die Entfernung des gestörten Mastes vom Messort beträgt 43,5 km. Gemessen wurden ebenfalls die Phasen *AV* und *B U*. Die zugehörigen Oszillogramme sind in Fig. 7 dargestellt. Die registrierte Ueberspannung ist in *P* überraschend klein. Phase *B U* erlitt Kurzschluss, wodurch eine Kette beschädigt wurde. Der negative Spannungsstoss erreicht in *P* knapp 100 kV_{max}; eine absolute Ueberspannung kam dort nicht zustande. Der Leiter *AV* weist einen positiven Spannungsstoss etwas kleinerer Höhe auf. Die überschlagene Kette war nicht durchgeschlagen, sondern im Porzellanscherben durchaus gesund.

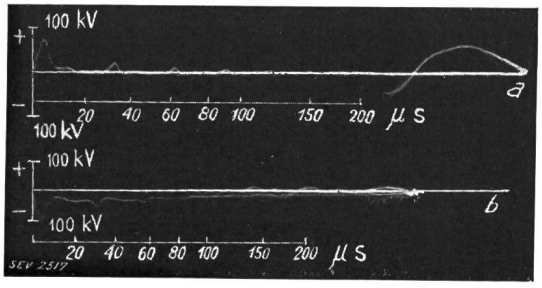

Fig. 7.
Oszillogramme der Blitzstörung
No. 3 in Tab. II, vom 13. VII., 19 h 38.
Fig. 7a ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 6).
Fig. 7b ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 6).

Auf den unterhalb der gestörten Phase auf demselben Mast liegenden 120-kV-Leitungen trat zugleich keine Störung auf. Die starke Dämpfung der

[4]) K. Berger, Bull. SEV 1930, Nr. 3, und 1931, Nr. 17.

Ueberspannung auf der ca. 43 km langen Strecke ist bemerkenswert. Sie ist aber selbst bei einem direkten Blitzeinschlag in eine Phase erklärlich,

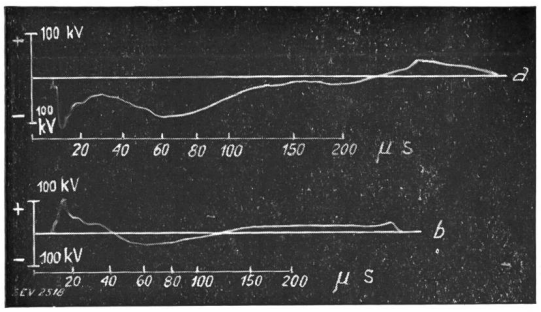

Fig. 8.
Oszillogramme der Blitzstörung No. 1 in Tab. II, vom 24. VI., 19 h 38.
Fig. 8a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 3).
Fig. 8b ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 3).

indem bei guter Masterdung und relativ stromschwachem Blitz die Spannung des betroffenen Seils durch den Isolatorüberschlag sofort auf kleine Werte sinkt und die verbleibende kurze Wellenspitze wegen ihrer kurzen Dauer beim Durchlaufen von Leitung und Stationen absorbiert wird.

Fig. 8 zeigt die gemessenen Spannungswellen zur Blitzstörung Nr. 1 in Tabelle II. Mastbild siehe Fig. 3. Gemessen wurde an den Seilen *B U* (Fig. 8a) und *B V* (Fig. 8b). Am Mast 173 wurde der Isolator des Seils *B V* 106 km vom Messort *P* entfernt überschlagen. In dieser Phase zeigt sich in *P* ein positiver Spannungsstoss von 108 kV_{max} Höhe, in der nicht überschlagenen Phase ein negativer Stoss von 110 kV_{max} Höhe. Maximale Steilheit beim Messort rund 50 $kV_{max}/\mu s$.

Fig. 9 wurde registriert am 17. Juni um 23.03 h; gemessen wurden die in den Phasen *AV* und *B U* durch einen Blitz in der Nähe der in Fig. 3 dargestellten Leitung erzeugten Ueberspannungen.

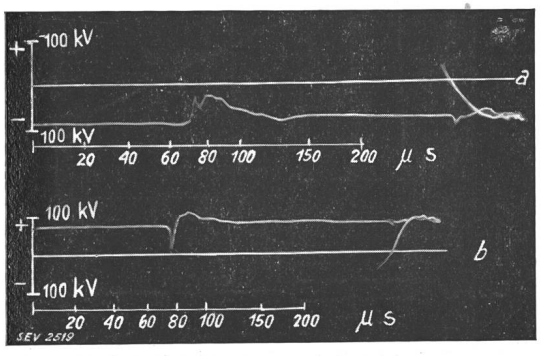

Fig. 9.
Oszillogramme einer Ueberspannung infolge eines Blitzes über der Leitung nach Fig. 3, vom 17. VI., 23 h 03.
Fig. 9a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 3).
Fig. 9b ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 3).

Eine Betriebsstörung fand nicht statt. Diese Aufnahme zeigt wieder den Vorgang, wie er letztes Jahr zweimal beobachtet werden konnte [5]) und wie er z. B. auch aus den Oszillogrammfiguren 4 und 8 hervorgeht, wobei es allerdings in diesen zwei Fällen zum Leitungsüberschlag kam. Die anfängliche Spannungsspitze der Welle hat in beiden Phasen entgegengesetztes Vorzeichen; der Rücken ist bei beiden Wellen von derselben Polarität. Diese Erscheinung ist noch nicht geklärt. Es fragt sich, ob durch das Wandern einer Welle auf einem Leitungsseil im benachbarten Seil Influenzwellen der beobachteten Form entstehen können, oder ob der Blitzvorgang selber für obige Wellenform auf benachbarten Seilen verantwortlich zu machen ist. Die Erscheinung sollte mit dem Blitzgenerator zu klären versucht werden.

Inzwischen wurde mir von Herrn O. Ackermann in Pittsburg, Pa., USA, in freundlicher Weise mitgeteilt, dass sich bei Wanderwellenversuchen mit Blitzgeneratoren in der Tat dieselbe, von uns bei natürlichen Blitzstörungen beobachtete merkwürdige Influenzerscheinung an verschiedenen Leitungsphasen zeigt.

Beim Anstossen einer Phase mit dem Stossgenerator soll sich nach Durchlaufen der Leitung auf den andern Phasen eine Influenzwelle ergeben, deren Kopf umgekehrte Polarität wie die Hauptwelle besitzt. Die Ursache wird in der Kapazität der Leitungsisolatoren gesehen, die den gleichnamigen Ladungsanteil der Influenzwelle im Anstieg verschlucken und damit dort im Wellenkopf wahre Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens auf das beeinflusste Seil bringen. Diese erfreuliche Uebereinstimmung der Beobachtung natürlicher und künstlicher Blitzwellen weist erneut darauf hin, dass es sich in den beobachteten Fällen hoher Blitzüberspannungen, bei denen es in der Regel zum Isolationsüberschlag kommt, um direkte Blitzschläge in ein Leitungsseil handelt.

Die Erscheinung umgekehrter Polarität von Influenzwellen ist bei hohen Spannungen nicht auf den Blitz selber, sondern auf das Durchlaufen der Leitung zurückzuführen. Der Erklärungsversuch im Bericht über die Messungen im Jahre 1930 [6]) ist dadurch überflüssig geworden; ein letztes Rätsel im Blitzstörungsvorgang ist damit gelöst. Diese Beobachtung ist auch deshalb wichtig, weil zur Beurteilung der Polarität von Blitzwellen demnach nur die betroffene Phase herangezogen werden darf. Auf die Nichtbeachtung dieser Erkenntnis ist vielleicht die bisherige Unstimmigkeit der verschiedenen Angaben über die Polarität von Blitzüberspannungen zurückzuführen. Ueberdies zeigen die letzten Oszillogramme der Fig. 9, sowie die zwei Oszillogramme Fig. 10 des letzten Berichtes im Bull. SEV 1931, Nr. 17, dass direkte Blitzeinschläge auf Leitungsseile nicht immer zur Betriebsstörung führen. Ob dabei gar kein Leitungsüberschlag vorkam, oder ob sich aus einem solchen kein normalfrequenter Lichtbogen entwickelte, ist aus dem Oszillogramm nicht ersichtlich.

[5]) Wie Fussnote [1]).

[6]) Bulletin SEV 1931, Nr. 17.

6. Indirekte, induzierte Blitzüberspannungen.

Solche Spannungen entstehen infolge der zeitlichen Schwankungen des vertikalen elektrischen Feldes über dem Boden. Sie sind deshalb bei symmetrischer Anordnung der Leitungsseile gegenüber dem Erdseil auf gleich hochgelegenen Phasenleitern gleich hoch und besitzen gleiche Polarität. Diese charakteristischen Merkmale sind in den Oszillogrammen bei kleinen atmosphärischen Ueberspannungswellen immer ersichtlich. Die grössten induzierten Blitzspannungen des Sommers 1931 sind in Fig. 10 reproduziert. Es zeigt sich eine positive Welle auf den beiden Leitern *A V* und *B U* der Leitung nach Fig. 3, aufgenommen am 7. August, 0.43 h.

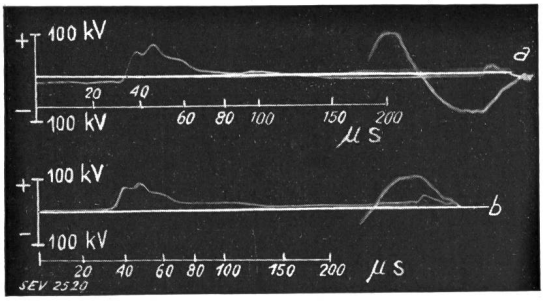

Fig. 10.
Oszillogramme der grössten im Sommer 1931 gemessenen indirekten (induzierten) Blitzüberspannungswelle, vom 7.VIII., 0 h 43.
Fig. 10a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 3).
Fig. 10b ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 3).

A V weist + 75 kV_{max}, *B U* + 85 kV_{max} Wellenamplitude auf, der Verlauf der Wellen beider Phasen ist sehr ähnlich. Höhere induzierte Blitzspannungen konnten bisher nicht nachgewiesen werden. Die Steilheit der Wellen ist maximal ca. 18 $kV_{max}/\mu s$. Der Gewitterherd befand sich in unmittelbarer Nähe des Messorts *P*. Eine Leitungsstörung trat dabei nicht auf.

Ein Beispiel kleinerer induzierter Spannungen gibt Fig. 11.

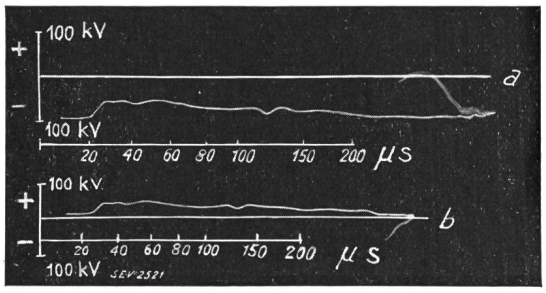

Fig. 11.
Kleinere indirekte Blitzüberspannung, vom 12. VI., 05 h 01.
Fig. 11a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 6).
Fig. 11b ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 6).

Fig. 12 entstand durch einen am 12. Juni, 6.11 h, von *P* aus beobachteten Blitzschlag in Nähe der Leitungen *P—V* in etwa 18 km Entfernung vom Messort *P*. Gemessen sind die Leiter *B U* und *B V* der Anordnung nach Fig. 6. Es handelt sich auch hier um eine indirekte Blitzeinwirkung, wie man ebenfalls aus dem ganz ähnlichen Verlauf der Spannungswellen beider Phasen erkennt.

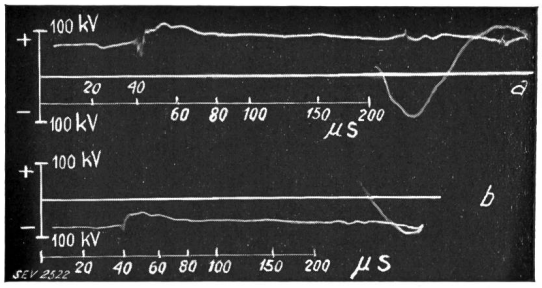

Fig. 12.
Oszillogramme einer indirekten Blitzüberspannung, vom 12. VI., 06 h 11.
Fig. 12a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 6).
Fig. 12b ist gemessen in Phase *BV* (Fig. 6).

7. Blitzstromstärke und Masteinschläge.

Im vergangenen Sommer wurden 130 Masten mit Messfunkenstrecken nach Schema Fig. 13 ausgerüstet. Sie bestanden aus zwei einander in 50 mm Abstand gegenübergestellten Kugelkalotten als Elektroden, mit einem zwischengelegten Zelluloidblatt von 0,3 mm Dicke. Die eine Kalotte war mit dem Masteisen verbunden, die andere war davon auf ca. 120 kV_{eff} isoliert und mit einer Hilfserde verbunden, die sich 10 m seitlich des Mastes befand. Der Zweck dieser Mastfunkenstrecken war, festzustellen, wie oft das Potential eines Mastes

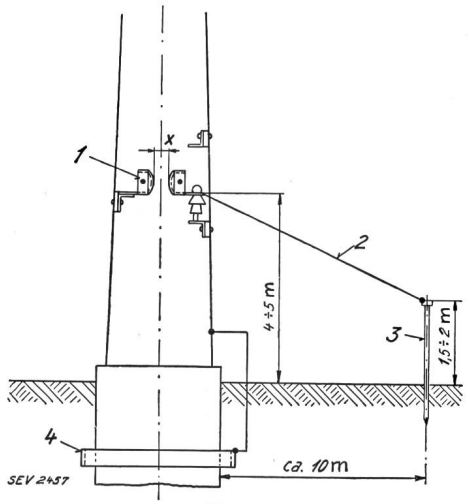

Fig. 13.
Schematische Darstellung der verwendeten Mastfunkenstrecken.
1 Kupferkalotte mit Zelluloidkappe.
2 Verbindungsleitung zur Hilfserdung.
3 Hilfserdung.
4 Masterdung.
x Schlagweite = 50 mm zwischen den Kupferkalotten.

höher stieg, als dem eingestellten Wert von 100 kV_{eff} an der Kugelfunkenstrecke entspricht. Da bei Ueberschlägen infolge defekter Isolatoren die Betriebsspannung weniger als 66 kV Mastpotential

erzeugen kann, und auch bei Ueberschlägen mit höchstmöglicher Spannung die Wellenströme der Leitung bei Mastfusswiderständen von weniger als 60 Ohm genügend tief sind, um Spannungen von 100 kV und mehr im Erdungstrichter des Mastes zu verhindern, so kann das Ansprechen der Mastfunkenstrecken nur auf Blitzströme zurückzuführen sein. Letztere können dem Mast direkt durch einen Masteinschlag zufliessen oder durch Blitzeinschläge ins Erdseil oder aber beim Ueberschlag einer Isolatorenkette infolge von Blitzschlägen in Leitungsseile. Durch das Ansprechen der Mastfunkenstrecke wird das zwischengelegte Zelluloidblatt durchlocht, womit bei einer nachfolgenden Mastkontrolle der Einschlag aufgefunden werden kann. Andererseits sind auch Meldungen von Leitungsanwohnern über beobachtete Leitungseinschläge nicht selten. Es kann in solchen Fällen entschieden werden, ob tatsächlich ein Blitzstrom von wesentlicher Grösse über den Mast geflossen ist. Die Polarität des durch den Mast abgeflossenen Blitzstroms lässt sich mit der Kugelfunkenstrecke nicht erkennen. Zur Bestimmung der Polarität können zwei parallelgeschaltete umgekehrt gerichtete Spitze-Kugel-Funkenstrecken dienen, da bekanntlich der Ueberschlag sich bei 2 bis 3 mal tieferer Spannung bildet, wenn die Spitze positiv ist [7]). Allerdings sind diese Spitze - Kugel - Funkenstrecken zur trägheitslosen Messung des Spannungsmaximums nicht geeignet, wegen der Ueberschlagsverzögerung, die nur bei der Kugelfunkenstrecke nicht vorhanden ist. Deshalb wurden vorderhand Kugelelektroden verwendet.

Die Auswahl der 130 mit den beschriebenen Mastfunkenstrecken auszurüstenden Masten geschah so, dass möglichst blitzgefährdete Masten, das sind nach der bisherigen Erfahrung Masten in feuchten oder sumpfigen, flachen Gebieten, ferner als Gegenstück einige hochgelegene «exponierte» Punkte ausgerüstet wurden.

Von den 130 Mastfunkenstrecken sprachen im Laufe der Gewitterperiode 1931 vier an. Ueberdies wurden zwei Blitzeinschläge in Masten privat gemeldet, ohne dass ein Beweis des Einschlags möglich gewesen wäre. Die aus den zugehörigen Mastfusswiderständen gerechneten Minimalwerte, sowie aus dem Nichteintreten von Isolatorüberschlägen ermittelten Maximalwerte des Blitzstromes im Mast sind in Tabelle VI gegeben. Als Ueberschlagsspannung der siebengliedrigen Isolatorenkette bei Stoss sind 600 kV_{max} angenommen. Der Schirmfaktor des Erdseils [8]) ist mit einem Betrag von ca. 1,2 berücksichtigt.

Die Stromangaben erheben keinen Anspruch auf hohe Genauigkeit. Messfehler von ± 30 % sind möglich, weil der Erdungswiderstand nicht immer derselbe ist und überdies für Stoßströme vielleicht etwas tiefer liegt als bei Messung mit Niederspannung.

Besonderes Interesse hat der erste Masteinschlag (Tabelle VI). Er wurde zufällig von Anwohnern der Leitung beobachtet und am nächsten Morgen gemeldet. Die sofortige Kontrolle ergab, dass das Zelluloidblatt durchlocht war. Im Zeitpunkt des Einschlags wurde in *P*, 24 km vom getroffenen Mast, auf den zwei obersten Leitungsseilen, die zu beiden Seiten des Erdseiles sich befinden, die in Fig. 14 ersichtlichen Ueberspannungen wahrgenommen. Eine halbe Stunde vor und nach diesem Oszillogramm wurden keine grössern Ueberspannungen aufgezeichnet. *Der Blitzeinschlag in den Mast äusserte sich auf den beiden Leitungsseilen als indirekte, induzierte Ueberspannung von 20 kV_{max} auf dem vom Erdseil weiter wegliegenden Seil B U der Fig. 3, bzw. 15 kV_{max} Wellenhöhe auf dem dem Erdseil nähern Leitungsseil A V.*

Ein zweiter Fall, in welchem Blitzschlag privat gemeldet und somit die Zeit des Einschlags festgestellt werden konnte, betrifft Nr. 5 in Tabelle VI. Zwar besass Mast 140 keine Mastfunkenstrecke; ein Nachweis des Masteinschlags war dort nicht möglich. Fig. 15 zeigt den zur Zeit des angeblichen Masteinschlags gemessenen Spannungsverlauf in *P*, und zwar wiederum auf den zwei obersten Leitungsseilen links und rechts des Erdseils (*A V* und *B U* in Fig. 3). Eine Stunde vor und nachher wurden keine grössern Ueberspannungen registriert. Das

Errechnete Blitzströme im Mast. Tabelle VI.

No.	Mast No.	Leitung	1931 Datum und Zeit	Kurzschluss	Masterdungswiderstand ohne (Erdseil Ω)	Masterdungswiderstand mit (Erdseil Ω)	Blitzstrom im Mast war grösser als A_{max}	Blitzstrom im Mast war kleiner als A_{max}
1	109	P–C	17. 6. 23^{40}	nein	14,9	1,1	9 500	48 000
2	226	P–C	6. 8. 23^{34}	ja, einpolig	ca. 16	ca. 5	9 000	60 000
3	125	P–C	vor 4. 7.	nein	14,3	1,5	10 000	50 000
4	152	P–C	vor 4. 7.	nein	4,0	1,1	35 000	180 000
5	140	P–C	1. 7. ca. 16^{40}	nein	4,3	2,1	—	160 000
6	20	C–R	13. 7. ca. 19^{20}	nein	2,0	0,5	—	70 000

Zu No. 1 bis 4: Die Mastfunkenstrecken sprachen an.
Zu No. 1: Einschlag telephonisch von Bauern gemeldet.
Zu No. 5: Mast hatte keine Funkenstrecke, Einschlag wurde privat gemeldet.
Zu No. 6: Funkenstrecke sprach nicht an, Einschlag privat gemeldet.

[7]) E. Marx, ETZ 1930.

[8]) D. Müller-Hillebrand, ETZ 1931, S. 722 und 758.

weiter vom Erdseil entfernte Seil *BU* weist 45 kV_{max}, das näher liegende Seil *AV* 30 kV_{max} Wellenamplitude auf. Der Charakter beider Wellen ist derselbe, der Masteinschlag äussert sich als indirekter Blitz.

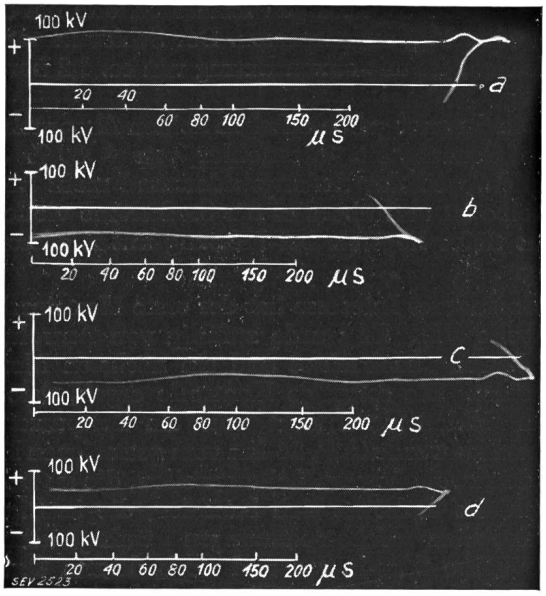

Fig. 14.
Oszillogramme der Ueberspannungswellen auf den zwei obersten Leitungsseilen bei einem direkten Blitzeinschlag in einen Mast, vom 17. VI., ca. 23 h 40.
Fig. 14a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 3).
Fig. 14b ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 3).

Besonders aus dem ersten Beispiel ergibt sich die erfreuliche Tatsache, *dass Masteinschläge, sogar mit Strömen von mehr als 10 000 A_{max} bei entsprechender Masterdung für die Leitung durchaus ungefährlich sein können.* Die Beobachtungen der Vorjahre über den auf wenige Meter beschränkten Wirkungsradius von Blitzstrahlen ist dadurch aufs schönste bestätigt. Der Masteinschlag äussert sich

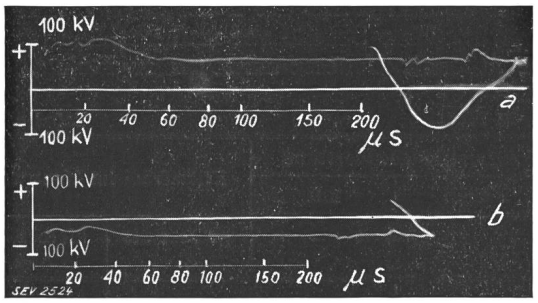

Fig 15.
Oszillogramme der Ueberspannungswellen auf den zwei obersten Leitungsseilen bei einem wahrscheinlichen direkten Blitzeinschlag in einen Mast, vom 1. VII., ca. 16 h 40.
Fig. 15a ist gemessen in Phase *BU* (Fig. 3).
Fig. 15b ist gemessen in Phase *AV* (Fig. 3).

auf den wenige Meter entfernten Leitungsseilen bereits als indirekter Blitz. Blitzströme von mehr als 10 000 A_{max} scheinen durchaus nicht selten zu sein, Blitzströme von 100 000 A_{max} kommen dagegen offenbar in unsern Gegenden nur selten vor.

8. Wirkungsradius des Blitzes.

Folgende Beobachtungen sollen die betreffenden Angaben des letzten Jahres ergänzen:

a) Am 28. Mai entstand ein Ueberschlag auf einem Lokomotivdach infolge eines nahen Blitzschlags. Auf der in 350 m Entfernung parallel laufenden Uebertragungsleitung war gleichzeitig keine Ueberspannung von mehr als 10 kV_{max} nachzuweisen.

b) Am selben Tag schlug der Blitz ca. eine Stunde später in eine Scheune in 300 m Abstand von der Fahrleitung. Die Scheune brannte ab. Zugleich entstand ein Fahrleitungskurzschluss mit Zerstörung eines Isolators. Nach Aussagen von Augenzeugen sei der Blitz zugleich in Scheune und Leitung gefahren. Leider können solche Meldungen nur mit grosser Vorsicht aufgenommen werden. Der Fall entspricht einem ähnlichen zu Anfang Juli des Vorjahres, wo ebenfalls eine Scheune vom Blitz entzündet wurde und auf der ca. 80 m entfernten 66-kV-Uebertragungsleitung zwei Isolatoren beschädigt wurden. Augenzeugen wollten damals auch gesehen haben, dass der Blitz gleichzeitig in Leitung und Scheune gefahren sei.

c) Am 17. Juni schlug der Blitz in ein Bauernhaus, das rund 100 m Abstand von der 132-kV-Leitung hat. Der Brand wurde erst gegen Mitternacht entdeckt. Die grösste in jener Stunde gemessene Ueberspannung wurde in Fig. 12 dargestellt. Die Leitung erlitt keine Störung.

d) Am 1. Juli schlug der Blitz in ein Hochkamin, 130 m neben der Fahrleitung. Diese erlitt dabei keine Störung.

e) Bei den Störungen Nr. 3 und 5 (Tabelle II) erlitt die auf gleichem Gestänge mit der gestörten Leitung geführte 120-kV-Drehstromleitung keine gleichzeitige Betriebsstörung.

f) Bei der Störung Nr. 4 (Tabelle II) wurde zugleich an den beiden ca. 100 m voneinander entfernten Leitungsschleifen für 132 kV oszillographiert. Fig. 5 zeigt den enormen Unterschied der Ueberspannungen, Fig. 6 die genauere Leitungsanordnung.

g) Von den 6 Kurzschlüssen im 132-kV-Netz im Jahre 1931 betrafen 3 Störungen nur ein Leiterseil bzw. eine Phase, zwei Störungen 2 Seile und eine Störung 3 Seile. Gegenüber den beiden Vorjahren, wo bis auf eine Störung alle Ueberschläge einpolig blieben, hat die Zahl der mehrpoligen Blitzkurzschlüsse zugenommen. Insgesamt erfassten von den 21 Blitzkurzschlüssen der letzten drei Jahre: 17 Kurzschlüsse nur ein Leitungsseil, bzw. eine Phase; 3 Kurzschlüsse zwei Leitungsseile der Doppelleiung; 1 Kurzschluss drei Leitungsseile der Doppelleitung. Das heisst zugleich: In 17 Fällen wurde nur ein Betriebssystem der Leitung vom Blitz gestört, in 4 Fällen zugleich beide Systeme. Da gegenüber den Vorjahren lediglich die Kurzschlussleistung an den Masten infolge der Kupplung beider Betriebe zugenommen hat, so ist vielleicht diese für die Erhöhung der Anzahl mehrpoliger Störungen verantwortlich, weil das Uebergreifen des Kurz-

schlusslichtbogens auf weitere Phasen dadurch erleichtert wurde. Ein Zusammenhang zwischen der Mehrpoligkeit und dem Masterdungswiderstand ist nicht ersichtlich. Einpolige Ueberschläge kommen bei Erdungswiderständen von 8 bis 35 Ohm vor, mehrpolige bei 19 bis 23 Ohm.

h) Am 6. August ereignete sich infolge eines nahen Blitzschlages zugleich ein Kurzschluss auf der Fahrleitung und ein Erdschluss mit Isolatordefekt auf der in etwa 6 m Abstand parallellaufenden 66-kV-Uebertragungsleitung. Der betroffene Mast der letztern besitzt ein Erdseil, ist jedoch für sich nicht geerdet. Im Abstand von ca. 1 km sind jeweils Masten an Erdplatten geerdet. Fahrleitung und Uebertragungsleitung befinden sich in einem engen Waldausschnitt.

i) Es ereigneten sich einige Leitungsstörungen, bei denen benachbarte Bäume beteiligt waren:

Die erste betrifft Störung Nr. 2 (Tabelle II). In ca. 3 und 10 m lichtem Abstand vom gestörten Mast befinden sich zwei Eichen.

Der zweite Fall ereignete sich am 24. Juni im 66-kV-Netz. Im Moment eines beobachteten Blitzes wurde ein vier Meter neben der Leitung befindlicher Weidenbaum angebrannt und zugleich erlitt die Leitung Kurzschluss, ohne dass Isolatoren defekt wurden. Dagegen wiesen die Seile Brandstellen auf.

Die dritte Störung ereignete sich am 23. Juni an der Fahrleitung, wo zugleich ein etwa 40 m entfernter, in erhöhter Lage stehender Kirschbaum vom Blitz beschädigt wurde. Seine Krone war gespalten, es zeigten sich deutliche Spuren am Stamm, der Baum wurde gefällt.

Eine vierte ähnliche Störung geschah bereits im Jahre 1929 am 27. Juli, bei der zugleich eine etwa 50 m neben der Fahrleitung befindliche Holzstange einer Drehstromleitung vom Blitz beschädigt und die Fahrleitung gestört wurde.

Es scheint auf Grund obiger Beobachtungen gewagt, nahestehenden Bäumen einen Schutzwert für Leitungen gegenüber Blitzschlägen zuzuschreiben.

k) Von insgesamt 77 Isolatordefekten der Fahrleitung durch Blitzschlag im Jahre 1931 erstreckte sich die Störung in 74 Fällen auf nur einen Isolator, bzw. auf 2 höchstens 1,5 m entfernte Isolatoren; in 3 Fällen auf zwei Isolatoren in mehr als 1,5 m Abstand. Die Blitzstörung beschränkt sich meistens auf nur einen Isolator. Auf der freien doppelspurigen Strecke sind nie zugleich Isolatoren des linken und rechten Geleises gestört worden.

Bedenkt man die gute Erdung der Fahrleitungsmasten, so kann man obige Beobachtungen etwa wie folgt zusammenfassen: Bei guter Erdung der Blitzeinschlagstelle ist die Nachbarschaft frei von Entladungen. Bei schlechter Erdung der Einschlagstelle (z. B. durch Bäume) besteht dagegen die Gefahr, dass naheliegende, eventuell besser geerdete Gegenstände ebenfalls dem Blitz ausgesetzt werden. Diese Erfahrung stimmt mit der gewöhnlichen Anschauung auch des Gebäudeblitzschutzes gut überein. Daneben gibt es hie und da Fälle, wo Blitzeinschläge an verschiedenen, bis zu einigen 100 m entfernten Stellen zugleich wahrgenommen werden.

Die kleine Gefahrenzone der Ueberspannungswellen auf 132-kV-Leitungen wurde bereits früher festgestellt. Spannungswellen von rund 700 kV_{max} sind nach Durchlaufen von ca. 50 km Leitung auf etwa 200 kV_{max}, nach Durchlaufen von mehr als 100 km auf wenig mehr als 100 kV_{max} abgeklungen. Trotz der 6 vom Blitz verursachten und mit dem Kathodenstrahloszillograph registrierten Kurzschlüsse sind am Messort in keinem Fall Spannungen entstanden, welche für die dortige Anlage eine ernste Gefahr dargestellt hätten. Nur innert 10 bis 30 km vor den Werken auftretende Blitzeinschläge in die 132-kV-Leitung vermögen die Stationen durch Ueberspannungen zu gefährden. Diese Gefahr ist wegen der Reflexionsmöglichkeit stets wesentlich grösser in Kopfstationen als in Durchgangsstationen. Ueberspannungstörungen in Stationen wurden denn auch im 132-kV-Netz ausschliesslich am Leitungsende beobachtet, und zwar zwei mal innert 3 Jahren.

9. Masterdung und Erdseil.

Bedenkt man, dass 4 Stück, das sind rund 3 % aller eingebauten auf 100 kV_{eff} eingestellten Mastfunkenstrecken, im Laufe des Sommers angesprochen haben, wovon nur ein Fall mit einem Leitungskurzschluss zusammenfällt, so ist die Menge von Masteinschlägen, die störungslos verliefen, als beträchtlich zu bezeichnen. Die frühere Auffassung, dass bei direkten Blitzschlägen «nichts zu machen sei», scheint jedenfalls mindestens zum Teil nicht zutreffend. Nachdem heute indirekte Blitzschläge für Höchstspannungsleitungen nicht mehr als gefährlich zu betrachten sind, wäre es erfreulich, dasselbe für direkte Schläge in Masten und Erdseilen behaupten zu dürfen. Unter Zugrundelegung von *100 000 A_{max} maximalem Blitzstrom im Mast* dürften zu diesem Zweck die in Tabelle VII angegebenen Masterdungswiderstände nicht überschritten werden.

Maximal zulässige Mastfuss-Erdungswiderstände.

Tabelle VII.

Betriebsspannung kV_{eff}	Stossüberschlagsspannung der Leitung kV_{max}	Mastfusserdungswiderstand maximal zulässig Ω
50	350	3,5
132	600	6
150	800	8

Die mittlere Kolonne gilt für das beobachtete Einphasennetz, die erste und letzte Kolonne für moderne Drehstromnetze.

Würde es ausserdem gelingen, durch passende Anordnung von wenigen Erdseilen die Phasenleiter von Blitzeinschlägen frei zu halten, d. h. die Blitze auf Masten und Erdseile zu lenken, so wäre die absolut blitzsichere Leitung mit Einhaltung der genannten Erdungswiderstände wenigstens in technischer Hinsicht möglich gemacht. Viel schwieriger ist das Problem dort, wo kleine Masterdungswiderstände nicht erreicht werden können, wie z. B. in

gewissen Gegenden unseres Landes und bei Masten auf massiven Felsen. Ob hier zu dem von amerikanischer Seite vorgeschlagenen Mittel isolierter, separat geerdeter Blitzseile Zuflucht genommen werden muss, ist heute noch fraglich. Jedenfalls ist es empfehlenswert, bei neuen Leitungen diese tiefen Masterdungswiderstände möglichst einzuhalten.

Aus dem grossen Unterschied der Störungszahlen der Phasen *A V* und *B U* (Fig. 3) ergibt sich, dass der horizontale Abstand von 3,5 m zwischen Erdseil und Phasenleiter als reichlich gross bezeichnet werden muss. Erhöhter Schutz ist deshalb mit 2 Erdseilen erreichbar, die bewusst als Blitzauffänger angeordnet werden. Das bedingt in den meisten Fällen zwei Erdseile für vertikale Seilanordnung, die nach Fig. 16 und für horizontale Seilanordnung nach Fig. 17 anzuordnen wären. Die Erfahrung muss zeigen, ob insbesondere bei der Leitungskonstruktion nach 17b auch das mittlere Leitungsseil blitzfrei bleibt.

Erfahrungen an solchen Leitungen sind sehr wertvoll. In der Tat scheinen sich Leitungen mit zwei Erdseilen besser zu bewähren, als solche mit nur einem. Das geht vor allem aus amerikanischen Statistiken hervor [9]). Auf der 6 km langen Strecke vor *P*, die derart ausgerüstet ist, trat seit 1927 (Inbetriebnahme) noch keine Blitzstörung auf. Doch ist das Zeitintervall für diese kurze Strecke noch zu knapp, um ein sicheres Urteil zu erlauben.

10. Schutzmassnahmen gegen Gewitterüberspannungen.

a) Erstes Gebot (leider nicht Universalmittel) allen Ueberspannungsschutzes bleibt nach allen bisherigen Erfahrungen: *reichlich isolieren.* Zur Begründung erwähne ich als Beispiel das nach Fig. 6 gemeinsam mit einer der beobachteten Einphasenschleifen auf demselben Gestänge liegende Drehstromnetz. Es ist mit Motorisolatoren für 120 kV Betriebsspannung ausgerüstet, wird aber nur mit 60 kV betrieben. Der Systemnullpunkt ist über Löschspulen geerdet. Die gesamte derart ausgebaute Netzlänge beträgt 77 resp. 107 km Einfachleitung und 71 km Doppelleitung. *Gewitterstörungen sind auf dieser Leitung, die seit 1927 im Betriebe ist, noch nie vorgekommen.* Dabei ist ein vom Blitz zersplitterter Freilufttrennerstützer (kein Motorisolator) ausgenommen. In derselben Beobachtungsperiode hat die nach Fig. 6 darüberliegende Einphasenschleife mindestens 7 einpolige Blitzstörungen gehabt, die zu Kurzschluss und Leitungsabschaltung und -beschädigung führten. Diese Erfahrung ist auf Grund der bisherigen Kenntnisse des Blitzvorganges erklärlich: Die Einphasenseile sind so gelegen, dass sie in den meisten Fällen als Blitzauffänger wirken; die Motorisolatoren sind unbedingt stoßsicher und bezüglich mässiger Erdschlußströme auch ohne Anwendung von Schutzarmaturen genügend lichtbogensicher; die Löschspule unterdrückt die entstehenden Erdschlüsse automatisch; die Masterdung genügt zur Abfuhr der Blitzströme, ohne dass es zu mehrpoligen Leitungskurzschlüssen kommt. Die Erhöhung der Prüfspannungen gemäss den Vorschlägen des VDE [10]) ist als grosser Fortschritt des Ueberspannungsschutzes zu begrüssen. Wir sind damit heute endlich etwa so weit, dass die mit betriebsmässigen Vorgängen, insbesondere mit Erdschlüssen verbundenen Ueberspannungen moderne, in gutem Isolationszustand befindliche Anlagen kaum mehr zu überschlagen vermögen [11]). *Erst damit ist auch die Grundlage für einen wirksamen Ueberspannungsschutz gegen hohe atmosphärische Wellen geschaffen.* Für hoch isolierte Netze ist ein wirksamer Stationsschutz heute möglich. Für die schwach isolierten Netze dagegen liegt die Sache so: Entweder vermag der Ableiter Ueberschläge infolge gefährlich hoher Wellen nicht zu verhindern, oder aber er geht im Betrieb infolge zu häufigen Ansprechens zu Grunde. *Das Arbeitsgebiet jedes für Blitzüberspannungswellen wirksamen Ableiters liegt nur im Spannungsbereich zwischen den höchsten, länger dauernden Ueberspannungen (insbesondere Erdschlussüberspannungen) und der Ueberschlagsspannung der zu schützenden Anlage.* Wo dieser Bereich zu klein ist, gibt es keinen wirksamen und zugleich betriebssicheren Ableiter. Je grösser dieser Bereich ist, um so zuverlässiger arbeitet nicht nur der Ableiter, sondern die ganze Anlage. Dieser Standpunkt wird auch von amerikanischer Seite vertreten [12]).

b) Zur Vermeidung von Leitungsabschaltungen infolge einpoliger Blitzüberschläge auf der Leitung ist die induktive Nullpunktserdung vorteilhaft. Sie bedingt aber eine höhere Netzisolation, nämlich eine solche, bei der auch im Erdschlussbetrieb noch ein angemessener Spielraum zwischen der damit verbundenen Ueberspannungshöhe und der Ueberschlagsspannung des Netzes freibleibt zur Ermöglichung des Schutzes von Stationen, sei es durch Ableiter oder geschwächte Stellen, wenn nicht die Stationen entsprechend überisoliert ausgeführt werden. Im Gegensatz hiezu bringt die starre Nullpunktserdung mehr Leitungsabschaltungen, weil eben jeder nur einpolige Ueberschlag zum Kurzschluss führt. Dafür kommen aber *länger dauernde Ueberspannungen* (Erdschluss - Ueberspannungen), welche die Betriebssicherheit wirksamer Ueberspannungsableiter gefährden, nicht vor. Sofern Stationen mit Hilfe von Ableitern gegen Ueberspannungen geschützt werden sollen, ist ein solcher Schutz in starr geerdeten Netzen billiger und zuverlässiger möglich. Damit erhöht sich bei gleicher

[9]) Ph. Sporn, JAIEE 1928 bis 1931.

[10]) ETZ 1930, S. 1180, und ETZ 1931, S. 328. Leitsätze für den Sicherheitsgrad elektrischer Anlagen.

[11]) Unter gutem Isolationszustand ist verstanden, dass die anfängliche Ueber- und Durchschlagsspannung der Isolatoren jederzeit im Betrieb noch vorhanden ist. Das ist stets der Fall bei Motorisolatoren. Bei Kappen-Klöppelisolatoren dagegen kommen heute noch oft kleinere und gröbere Risse im Porzellankopf vor, die eine ganz erhebliche Beeinträchtigung des Isolationsgrades von Leitungen und Anlagen bewirken können.

[12]) C. L. Fortescue, El. Journal, June 1930.

Isolation der Anlage ihr elektrischer Sicherheitsgrad. Der Grundsatz des reichlichen Isolierens gilt dementsprechend ganz besonders für nicht starr geerdete Netze. Es wäre nicht richtig, wenn wir unsere nicht geerdeten Höchstspannungsnetze knapper isolierten als die Amerikaner, deren Netze fast allgemein starr geerdet sind. Aus dem Vorhergehenden ist die enge Verknüpfung der Frage der Nullpunktserdung mit der Ueberspannungsschutzfrage ersichtlich. Starre Nullpunktserdung führt häufiger zu Abschaltungen infolge von Blitzen. Induktive oder gar keine Erdung bedingt dagegen teurere Isolation, insbesondere wenn Stationsstörungen durch Ueberspannungen vermieden werden sollen. Der Kompromiss drängt auf eine Lösung.

c) Der Nachteil starrer Nullpunktserdung würde dahinfallen, sobald einpolige Ueberschläge (Erdschlüsse) nicht mehr zu Betriebsunterbrüchen führen würden. Wir sehen hier von der bekannten prinzipiellen Lösungsmöglichkeit ab, die darin liegt, stets genügend Reserveschleifen verfügbar zu haben, so dass eine Leitungsschleife ohne Nachteil einige Zeit ausgeschaltet werden kann [13]). Diese praktisch bestbewährte Möglichkeit, die vor allem ein gutes Selektivschutzsystem erfordert, bedingt immerhin auch, dass jede Einzelleitung für sich möglichst betriebssicher ausgeführt wird, damit nicht (z. B. durch aufeinanderfolgende Blitze wie in den Fällen 3 und 4, Tabelle II) zugleich mehr als eine Leitung ausser Betrieb kommt. Die Forderung bestmöglicher Erhöhung der Betriebssicherheit jeder Leiterschleife bleibt also bestehen. Eine theoretische Lösungsmöglichkeit ist die Ausschaltung nur der gestörten Phase in starr geerdeten Netzen und ihre rasche automatische Wiedereinschaltung, falls es sich nur um Einphasenüberschlag handelt.

d) Neben dieser Möglichkeit der Zulassung oder Unschädlichmachung einpoliger Kurzschlüsse bleibt als Grundproblem jenes der *blitzsicheren Leitung*, an welcher überhaupt keine Ueberschläge infolge Blitz vorkommen, bestehen. Im Abschnitt 9 wurde auf die Erfordernisse und Aussichten solcher Konstruktionen hingewiesen. Es ist, vorläufig ohne Rücksicht auf die wirtschaftliche Möglichkeit, nicht ausgeschlossen, dass es durch gute Masterdung und genügende Anzahl Erdseile gelingt, Blitzeinschläge von den Phasenseilen fernzuhalten, wenigstens für Höchstspannungsleitungen, deren Masten nicht direkt auf isolierenden Fels gestellt werden müssen. Bei neuen und insbesondere auch bei Umbauten oder Verbesserungen bestehender Leitungen ist es sehr empfehlenswert, einesteils die Masterdungen etwa entsprechend Tabelle VII auszuführen und womöglich 2 Erdseile zur Abführung direkter Blitzeinschläge nach Fig. 16 oder 17 anzubringen. Bei Leitungsumbauten könnten insbesondere gerade jene Strecken derart ausgerüstet werden, bei welchen vorher Schwierigkeiten infolge von Blitzeinschlägen mit Sicherheit vorhanden waren. Durch diesen, auf Grund der bisherigen Messungen und Erfahrungen vorgeschlagenen Versuch könnte die praktische Zulänglichkeit der Massnahmen zur Erreichung einer blitzfreien Leitung festgestellt werden. Gelingt der Versuch, so ist die Blitzfrage und zugleich die Frage der Nullpunktserdung für Höchstspannungsleitungen wohl erledigt. Gelingt er nicht, d. h. würde die Erreichung der Blitzsicherheit die Montage von mehr als zwei Erdseilen

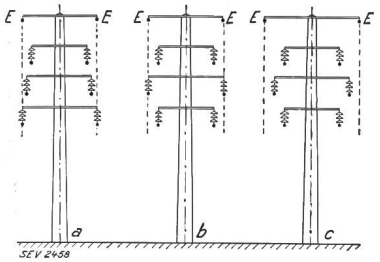

Fig. 16.
Empfehlenswerte Anordnung der Erdseile zum Auffangen direkter Blitzeinschläge.

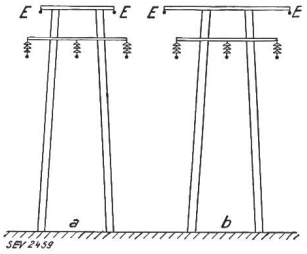

Fig. 17.
Empfehlenswerte Erdseilanordnung zum Auffangen direkter Blitzeinschläge für Portalmasten.

erfordern, so scheint das Ziel der blitzfreien Leitung aus wirtschaftlichen Gründen wohl nur in Ausnahmefällen erstrebenswert.

e) Mindestens bis zum Zeitpunkt, wo Resultate mit blitzfreien Leitungen vorliegen, bleibt auch für Höchstspannungsleitungen die beste, wenn auch nicht restlose Lösung, die der Verminderung von Blitzstörungen durch gute Masterdung und durch stoßsichere und lichtbogensichere Isolatoren. Die Porzellanfabriken sind in dieser Richtung bereits zu beachtenswerten Resultaten gekommen [14]). Auch der bei starrer Nullpunktserdung entstehende Kurzschlusslichtbogen ist für modern armierte Ketten gefahrlos, wenn er innert wenigen Sekunden abgeschaltet wird, was in solchen Netzen wohl immer der Fall ist. Die Anforderungen an die Masterdungen bleiben dieselben wie unter *c)*, um Rücküberschläge und damit mehrpolige Leitungskurzschlüsse zu verhindern.

Die genannten Mittel gelten nicht nur für Höchstspannungsleitungen, sondern auch für Leitungen mittlerer Hochspannung. Auf die gute Masterdung nach Tabelle VII sollte auch hier bei Eisenmastleitungen Wert gelegt werden. In jenen Fällen, wo die möglichste Vermeidung von Blitzstörungen gewünscht wird, ist die Anordnung zweier Erdseile zu empfehlen. Dazu tritt in allen Fällen die Anbringung stoss- und lichtbogensicherer Isolatoren.

[13]) P. Ackermann, The Problem of Service Security in Large Transmission Systems, JAIEE 1930.

[14]) Dr. Ing. H. Müller, Hescho-Mitteilungen 1928, Heft 41/42, und 1929, Heft 44/45; ferner 1930, Heft 53/54 und 57/58; Dr.-Ing. K. Dräger, Rosenthal-Mitteilungen 1931, Heft 18.

f) Schutzmassnahmen in den Stationen (Kraft- und Unterwerke) sind an Eisenmastleitungen nur gegen *nahe* Blitzeinschläge in die Leitung nötig. Sofern die Umgebung der Station als einschlagsarm gilt, ist ein Schutz im allgemeinen nicht nötig, weil die Leitung Ueberspannungen von weiter her stark abschwächt. Das gilt insbesondere bei sehr guter Masterdung, weil dann mit jedem Isolatorüberschlag die Ueberspannung der betreffenden Phase sofort auf ungefährliche Werte absinkt und die kurze Spannungsspitze beim Durchlaufen der Leitung rasch absorbiert wird. Kopfstationen sind wesentlich mehr gefährdet als Durchgangsstationen. Sofern die Umgebung ersterer sich als einschlagsreich erweist, so ist ein Schutz oder eventuell nur die Schaffung einer absichtlich schwachen Stelle insbesondere dann zu empfehlen, wenn die Station schwächer isoliert ist als die Leitung.

Für Leitungen auf Holzstangen ist die Ableitung der Ueberspannungen auf der Leitung sehr mangelhaft möglich. In solchen Netzen äussern sich denn auch Gewitterstörungen fast immer als Kurzschluss zwischen den Phasen, auch werden relativ mehr Stationsüberschläge beobachtet als in Netzen mit Eisenmasten. Soweit der Relaisschutz es erlaubt, scheint es hier empfehlenswert, die letzten paar Masten vor Kraft- oder Unterwerken als gut geerdete Eisenmasten mit armierten Isolatoren, eventuell mit verminderter Ueberschlagsspannung, auszuführen. Daneben gibt es hier Fälle, wo ein wirksamer Ueberspannungsableiter zum Schutz der Station gegen Ueberschläge und schwerere Schäden erwünscht ist. Dies gilt insbesondere wieder dann, wenn sich die Umgebung der Station als einschlagsreich erwiesen hat oder wenn die elektrische Sprungbeanspruchung beim Ueberschlagen einer nahen, schwachen Stelle vermieden werden soll.

g) Ueber die durchgeführten Untersuchungen an käuflichen Ueberspannungsschutzapparaten wird gesondert berichtet werden. Es hat sich ergeben, dass zum Zweck des Gewitterschutzes für relativ gut isolierte Netze bereits sehr wirksame Ableiter erhältlich sind, während bei knapper Isolation des zu schützenden Netzes die Schutzfrage heute oft nicht befriedigend gelöst werden kann. In allen Fällen kann ein Ableiter bestenfalls die Station schützen, in der er aufgestellt ist. Die Frage der Verhinderung von Leitungsüberschlägen mittels besonderer Leitungsableiter hat (wenigstens heute) keine praktische Bedeutung.

h) Neben der genaueren Erfassung der Grösse von Blitzströmen in Leitungsmasten und der gleichzeitigen oszillographischen Messung mehrerer Leitungsphasen ist unsere nächste Aufgabe die, Erfahrungen zu sammeln insbesondere an besonders gut geerdeten Eisenmastleitungen mit Erdseilen, und ferner an Leitungen mittlerer Hochspannung.

Die Elektrizität an der XVI. Schweizer Mustermesse Basel.

Vom *Generalsekretariat des SEV und VSE*, Zürich (Ing. M. Baumann).

606.4(494)

Wenn trotz der gegenwärtigen Krise die Ausstellerzahl an der diesjährigen XVI. Schweizer Mustermesse, welche vom 2. bis 12. April in Basel stattfand, nicht abgenommen, sondern im Gegenteil von 1110 im Vorjahre auf 1123 angestiegen ist, so kann dies als ein Zeichen dafür angesehen werden, welche Bedeutung heute dieser alljährlich wiederkehrenden Institution beigemessen wird. Vom Standpunkte des Fabrikanten aus ist dies auch verständlich, werden doch an solchen Ausstellungen manche Geschäfte abgeschlossen oder doch wenigstens wertvolle geschäftliche Beziehungen angeknüpft, die sonst nicht zustande kämen. Aber auch das Publikum zeigt immer mehr und mehr Interesse für die einheimische Industrie und deren Erzeugnisse, besonders heute, wo überall in unserem Lande der Ruf nach Schutz der nationalen Industrie und Bevorzugung der Schweizer Produkte ertönt.

Im folgenden seien, wie in früheren Jahren, einige Eindrücke wiedergegeben, die uns ein Besuch der Gruppe «Elektrizitätsindustrie» bzw. der Elektrizitätsbranche an der diesjährigen Mustermesse hinterlassen hat. Dabei sei ausdrücklich erwähnt, dass dieser Bericht nicht Anspruch auf Vollständigkeit in bezug auf Aussteller noch auf ausgestellte Objekte erhebt. Genaue Auskunft darüber gibt der offizielle Messekatalog. Allgemein möchten wir noch bemerken, dass sich laut offiziellem Messekatalog unter der Gruppe «Elektrizitätsindustrie» 54 Firmen und unter anderen Gruppenbezeichnungen noch ca. 15 weitere Firmen an der Ausstellung mit elektrischen Apparaten beteiligten, was gegenüber dem Vorjahre einen Zuwachs von ca. 6 Firmen bedeutet.

Elektrische Koch-, Heiz- und andere Wärmeapparate.

Dieser Zweig der Elektrizitätsindustrie war auch dieses Jahr wiederum stark vertreten, ohne aber wesentliche Neuerungen gegenüber der letztjährigen Messe aufzuweisen. Wo Verbesserungen angebracht wurden, geschah dies hauptsächlich in praktischer und ästhetischer Hinsicht, indem nach einer möglichst zweckmässigen, dabei aber doch gefälligen Form und Ausführung der Apparate getrachtet wurde. Dies zeigte sich besonders bei den Kochherden, die nun heute einen solchen Grad der Vollkommenheit erreicht haben, dass für die nächste Zeit kaum mehr Neues erwartet werden kann.

Nach dieser allgemeinen Beurteilung der Wärmeapparate sei kurz angeführt, was die Fabriken elektrothermischer Apparate an der diesjährigen Mustermesse besonders Sehenswertes ausgestellt hatten.