

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 25 (1934)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Fortschritte in der Erkenntnis des Blitzes und im Ueberspannungsschutz elektrischer Anlagen  
**Autor:** Berger, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060185>

### **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:** 04.04.2026

**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<sup>o</sup> 24

Mittwoch, 21. November 1934

## Fortschritte in der Erkenntnis des Blitzes und im Ueberspannungsschutz elektrischer Anlagen.

Vortrag, gehalten an der Generalversammlung des SEV am 7. Juli 1934 in Aarau,  
von K. Berger, Versuchsingenieur der Kathodenstrahloszillographenkommission des SEV, Zürich.

621.316.93

Der Autor berichtet in kurzen Zügen über das Bild des Blitzvorganges, wie es sich besonders aus den umfangreichen Forschungen des In- und Auslandes in den letzten Jahren ergeben hat. Etwas eingehender werden sodann die elektrischen Gewitter- und Blitzwirkungen am Erdboden und die Entstehungsweise der atmosphärischen Störungen in elektrischen Anlagen besprochen. Der wertvollste Fortschritt der letzten Jahre besteht darin, dass mit Kathodenstrahl-oszillographen und andern Messmitteln die zahlenmässige Erfassung von Blitzströmen und Blitzüberspannungen und ihrer Dauer gelungen ist. Der Schutz elektrischer Anlagen gegen Störungen durch Blitzeinwirkung steht heute auf einer quantitativ gesicherten Grundlage, an deren Feinheiten noch «gefeilt» wird.

L'auteur expose brièvement la formation des éclairs, telle qu'elle ressort des nombreuses recherches effectuées ces dernières années en Suisse et à l'étranger. Il explique ensuite avec plus de détails les effets électriques de la foudre et des orages sur le sol et commente la formation des perturbations d'origine atmosphérique auxquelles les installations électriques sont sujettes. Le progrès le plus précieux des dernières années réside en ce que l'on a pu mesurer à l'aide de l'oscillographe cathodique et d'autres moyens d'investigation, l'intensité du courant des décharges, la hauteur des surtensions et leur durée. La protection des installations électriques contre les perturbations dues à la foudre repose aujourd'hui sur une base quantitative solide, à laquelle on ne fait plus que des «retouches».

### I.

Aus dem Anfang des 18. Jahrhunderts stammt die Vermutung, dass der Blitz und der elektrische Funke wesensgleiche Erscheinungen seien. Der klassische Vorschlag Franklins im Sommer 1750 und seine Erstaufführung in Paris im Jahre 1752 brachten Gewissheit darüber, dass sich aus isolierten Eisenstangen bei Gewitter Funken ziehen lassen. Seit dieser als Verdienst Franklins zu würdigenden Einführung des *Versuchs* in die Betrachtung der Gewittererscheinungen entstanden mit der Vermehrung der Beobachtungen und Erkenntnisse eine ganze Menge von Theorien über die Entstehung der Elektrizität der Gewitter und der Atmosphäre im allgemeinen. Vor wenigen Jahren kamen von insgesamt etwa 50 verschiedenen Theorien noch deren zwei ernstlich in Betracht<sup>1)</sup>. Und heute

<sup>1)</sup> Wer sich für die modernen Gewittertheorien interessiert, dem seien folgende Literaturstellen empfohlen:  
Als Zusammenfassung:

K. Kähler: Der Ursprung der Gewitterelektrizität. Naturwiss. Bd. 16, 1928, S. 95; oder: Elektrizität der Gewitter. Sammlung Borntreger, Berlin 1924.

Ueber die Haupttheorien:

G. C. Simpson: Phil. Trans. A 209, 1909, S. 379; Proc. Royal Soc. A 111, 1926, S. 5; Proc. Royal Soc. A 114, 1927, S. 376.

C. T. R. Wilson: J. Frankl. Inst. Bd. 208, 1929, S. 1; Proc. Royal Soc. A 92, 1916, S. 555.

C. Dauzère: Revue Scientifique, 1930; Bull. Soc. Franç. Electr. Bd. XCIV, 1929, S. 575.

glaube ich sagen zu dürfen, dass nach den Erfahrungen der allerletzten Jahre nur noch eine Theorie die Bildung der Gewitterelektrizität und den Elektrizitäts-Haushalt in der Atmosphäre naturgetreu und in den Folgerungen richtig zu schildern vermag. Das ist die im Jahre 1929 von C. T. R. Wilson in Cambridge entworfene Gewittertheorie.

Man muss den ganzen Wirrwarr von Beobachtungen über die atmosphärische Elektrizität durchstudiert haben, um zu ermessen, wie erlösend eine solche Theorie wirkt, indem sie die vielen, einander scheinbar widersprechenden Beobachtungen plötzlich unter einen Hut bringt. Die *Wilson'sche Theorie* ist zu schön und zu wertvoll, um sie in unserer Schilderung der neuesten Fortschritte ganz wegzulassen. Gestatten Sie mir deshalb 5 Minuten, um dieses meteorologisch so interessante Kapitel

Ueber die elektrische Beschaffenheit der Atmosphäre:

J. Bartels: Naturwiss. Bd. 16, 1928, S. 301.

F. E. Smith: J. Inst. of Electr. Engr. London, Bd. 73, 1933, S. 574.

Ueber die Blitzbildung:

M. Töpler: Arch. Elektrotechn., Bd. 10, 1921, S. 157; Phys. Z., Bd. 22, 1921, S. 59; Bericht Sondertagung Blitzschutzfragen, Verband Sächs. EW Dresden, 1932.

B. F. Schonland und T. E. Allibone: Nature 1931, S. 794.

E. C. Halliday: Phil. Mag. 7. Serie 15, 1933, S. 409.

J. C. Jensen: J. Frankl. Inst. Bd. 216, 1933.

B. F. Schonland und R. Collens: Proc. R. Soc. Bd. 143, A 850, 1934.

zu streifen. Sie wissen vom berüchtigten «Fading» des Radioempfangs her, dass wir auf der Erde in einem Kugelkondensator leben, nämlich zwischen der Erdoberfläche und den leitenden Schichten in etwa 100 und 300 km Höhe über uns, den sogen. Kennelly/Heaviside- und Appleton-Schichten. Die Leitfähigkeit dieser Schichten ist durchaus nicht gering zu schätzen; sie erreicht annähernd diejenige von Akkumulatorensäure und ist etwa 10 Billionen mal grösser als jene der uns umgebenden Luft. Von diesem Kugelkondensator sind uns nur

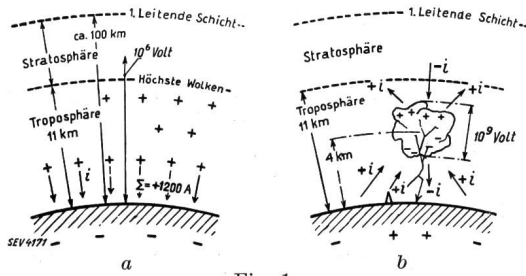


Fig. 1.

Schematische Skizze des elektrischen Zustandes der Atmosphäre bei ruhigem Wetter (a) und bei Gewitter (b).

etwa die untersten 30 km aus Ballonmessungen genauer bekannt. Sie zeigen, dass zwischen der Stratosphäre und dem Erdboden immerfort eine elektrische Spannung von etwa einer Million Volt besteht. Und zwar ist die Erde stets negativ geladen gegenüber dem «Himmel». Fig. 1 mag diese Beobachtung illustrieren. Im gesamten Luftraum existiert demnach ein elektrisches Feld, das unten am stärksten ist. Dies ist die erste Hauptbeobachtung, das sog. *luftelektrische Feld*. Bei ruhigem, d. h. gewitterfreiem Wetter ist in der Luft über der Erde ausserdem ein konstanter Gleichstrom zu beobachten, der immerzu positive Ladungen zum Boden bringt. Diese Strömung macht zwar für die Schweiz nur knapp  $\frac{1}{10}$  Ampère, für die ganze Erde aber den ansehnlichen Zufluss von ca. +1200 Ampère aus. Dies ist die zweite Hauptbeobachtung. Warum wird dadurch die negative Erde nicht allmählich auf positive Spannung umgeladen? und woher kommen die positiven Ladungen in der Atmosphäre?

Diese zwei Hauptfragen der atmosphärischen Elektrizität werden von Wilson aus der Wirkung der Gewitter erklärt. Die Gewitterwolke stellt eine Dynamomaschine oder besser Influenzmaschine grössten Ausmasses dar, die ihre Energie aus dem Gewicht der fallenden Regentropfen schöpft und damit die in der Atmosphäre stets vorhandenen elektrischen Ladungen so trennt, dass im vertikalen Luftstrom sich *oben positive* und *unten negative* Ladungen ansammeln. Fig. 1a zeigt den Zustand der Atmosphäre bei ruhigem Wetter, 1b die Gewitterwolke nach Wilson, die sich bei uns fast immer in der Höhe von 4 bis 5 km über dem Boden ausbildet. Die Art, wie dies geschieht, wurde von Wilson qualitativ und quantitativ geschildert. Man erkennt, dass diese Gewitterwolke nun nicht mehr positive, sondern negative Ladungen zum Boden

führt, und zwar aus zwei Gründen: Einmal wegen der Abstossung der negativen Ladungen vom untern Wolkenrand zum Boden, bzw. der Anziehung von positiven Ladungen nach oben, und zweitens infolge der Blitze, die sich nun aus solchen Gewitterwolken gegen den Boden zu bilden.

Vom obern Wolkenrand aus werden ausserdem ebenso ständig positive Ladungen in die Stratosphäre und die darüberliegenden, gutleitenden Schichten hinaufgeführt. Diese Ladungen verteilen sich dort über die ganze Atmosphäre der Erdkugel, woraus der dauernde positive Schönwetterstrom entsteht. Nach einer englischen Statistik<sup>2)</sup> existieren auf der ganzen Erde zusammengerechnet pro Sekunde mindestens *100 Blitze* und *etwa 1800 Gewitter*. Deren Elektrizitätstransport genügt reichlich, um die dauernde negative Ladung der Erde zu erklären. Wir erhalten somit ein geschlossenes Bild vom Elektrizitäts-Haushalt in der Atmosphäre. Die grösste Spannungsdifferenz in der Gewitterwolke erreicht nach Wilson eine Million kV; wir werden darauf noch zurückkommen. Dieser Wolke entstammen vielleicht auch die als kosmische Strahlen bezeichneten äusserst harten Elektronenstrahlen, deren Ursprung bisher in der Sonne gesucht wurde.

Es tut mir leid, diese Theorie der Entstehung der Gewitterelektrizität nur so im Fluge vorführen zu können. Um für die Schilderung der Vorgänge im Blitz selber und jener an der Erdoberfläche Zeit zu gewinnen, nehmen wir an, die Scheidung

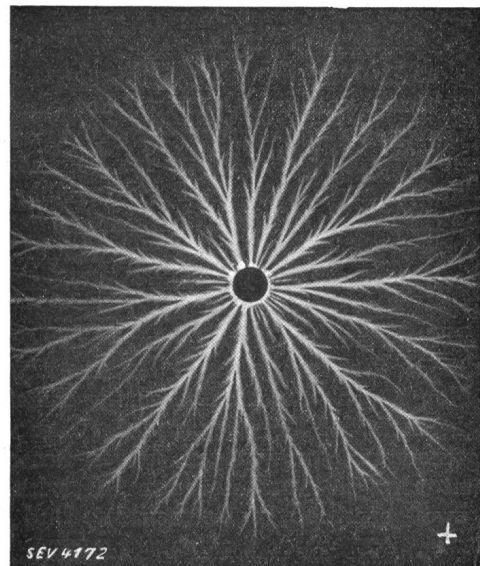


Fig. 2.

Positive Lichtenbergsche Figur bei kleiner Spannung. (Aus A. v. Hippel: Z. Physik 1933.)

der Elektrizität sei soweit vorgeschritten, dass die obern Teile der Gewitterwolke überwiegend positiv, die untern dagegen hauptsächlich negativ geladen seien, wie dies der skizzierten Theorie von Wilson entspricht.

<sup>2)</sup> C. P. Brooks, Meteor. Amt des engl. Luftministeriums 1925; M. Töpler, Bericht Sondertagung I. c. 1932.

## II.

Wie kann man sich nun die *Blitzbildung inmitten der unzählig vielen Wasser- und Nebeltropfen der Wolken vorstellen?* Auf jedem Tropfen sitzt eine kleinere oder grössere elektrische Ladung; jeder Tropfen ist vom nächsten durch isolierende Luft getrennt. Die Luftströmung, die mit Sicherheit an der Trennung der + und - Ladungen beteiligt ist, bestehe immer weiter, so dass schliesslich die Spannung zwischen einzelnen Tropfen so gross wird, dass zwischen ihnen ein kleiner elektrischer Ausgleichfunke auftritt. Wären die zwei beteiligten Tropfen allein, so wäre damit die Sache erledigt. Bestehen aber noch viele geladene Tropfen in nächster Umgebung, so vermögen diese das Feld an den Aussenseiten der zwei beteiligten Tropfen aufrecht zu halten. Der Funke erreicht bei genügend starkem Feld auch die Nachbar-

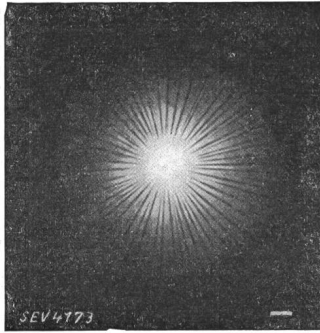


Fig. 3.  
Negative Lichtenbergsche Figur  
bei kleiner Spannung.  
(Aus A. v. Hippel: Z. Physik  
1933.)

tropfen und entladet auch diese gegeneinander. So kann sich fortschreitend ein ganzer Ladungsbezirk durch einen Funken ausgleichen, indem dieser immer weiter nach beiden Seiten vorwächst, sich dabei auch gelegentlich verzweigt, um alle ihm nahekommenden Ladungen auszugleichen, solange

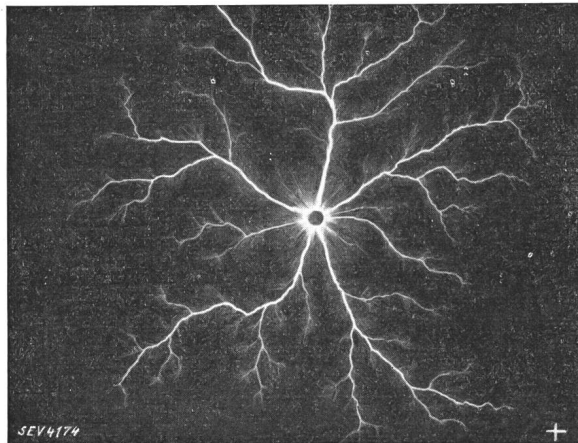


Fig. 4.  
Positive Gleitfunkenfigur.  
(Aus A. v. Hippel: Z. Physik 1933.)

nur das nötige elektrische Feld zur Existenz des Funkens vorhanden ist. Damit wäre wieder die Entladung beendet. *Beim Vorwachsen des kleinen Funkens tritt nun aber in der Wolke ein neuer Effekt auf.* Zu dessen Erklärung muss ich auf ein Hauptgesetz elektrischer Funken hinweisen: Das ist das Töplersche Funkengesetz. Töpler stellte durch ausserordentlich sorgfältige Messungen fest, dass

der elektrische Widerstand einer Funkenbahn pro cm Länge im gleichen Mass abnimmt, wie die durch den Funken fliessende Elektrizitätsmenge zunimmt. Es wird also im entstehenden Blitzfunken in dem Mass, wie seine Länge wächst, auch der Widerstand pro cm sinken, das heisst, der Funke wird allmählich immer besser leitend, oder technisch gesprochen: Der anfänglich schlecht leitende, feine Funke

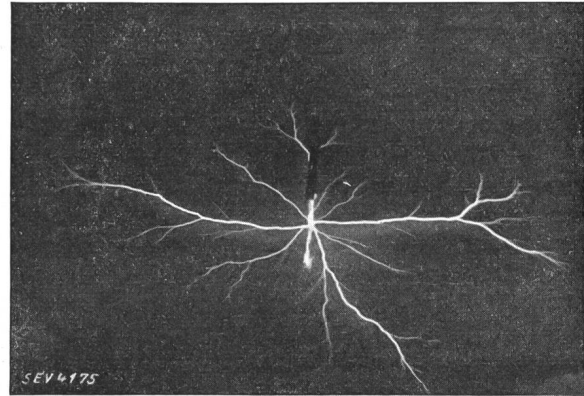


Fig. 5.  
Positive Gleitfunkenfigur, erzeugt durch 400 kV-Wanderwelle  
auf Wasseroberfläche, Radius ca. 1,5 m.  
(Photo schräg von oben.)

schlägt allmählich um in eine Art Lichtbogen, dessen elektrischer Widerstand infolge seiner hohen Temperatur sehr klein ist. Was folgt daraus für den Blitz? In grober Näherung dürfen wir offenbar an Stelle des Blitzfunkens einen metallischen Draht hingelegt denken. Ein solcher Draht im Elektrofeld der Gewitterwolken bewirkt eine ganz

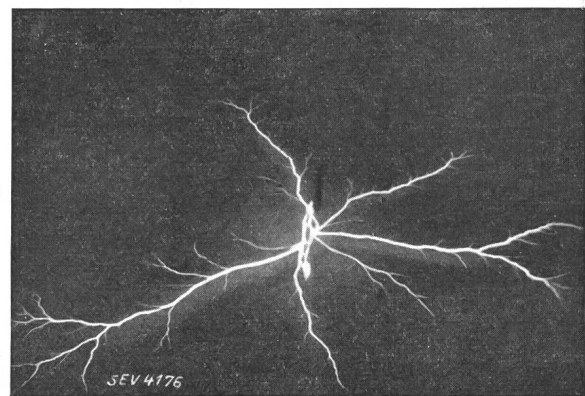


Fig. 6.  
Negative Gleitfunkenfigur, erzeugt durch 400 kV-Wanderwelle  
auf Wasseroberfläche, Radius ca. 1,5 m.  
(Photo schräg von oben.)

enorme Feldveränderung, in dem Sinne, dass das Feld an beiden Drahtenden riesig verstärkt wird. Damit ist aber die Bedingung für das weitere Vordringen des Funkens erfüllt. Der Blitzkopf schiebt nach dem Ausdruck Töplers «das zu seinem Vorwachsen nötige Spannungsgefälle stets vor sich her», so dass der Blitz, wenn er nur einmal ins Gleiten gekommen ist, auch in Gebiete hineinwachsen kann,

die vorher ganz feldlos waren und weit ausserhalb der Wolken liegen.

Trifft der so entstehende Blitzfunke bei diesem Vordringen von der Wolke aus auch auf die Erde, so ist damit eine fertige Verbindung zwischen Wolke und Erdboden geschaffen, und es kann sich in ihr der Spannungsausgleich zwischen diesen beiden Polen in ähnlicher Weise vollziehen, wie wenn zwischen Wolke und Boden ein Draht gezogen worden wäre. Der Ausgleichsstrom wird im allgemeinen den vorhergehenden Funkenstrom wesentlich an Grösse übertreffen; deshalb fällt in der Regel die Blitzbahn zum Erdboden durch ihre besondere Helligkeit auf.

Zur Veranschaulichung der vorgetragenen Entstehungsweise des Blitzes sollen einige Bilder von künstlichen Gleitfunken, sowie einige neuerere Blitzphotographien dienen.

Aus Fig. 5 und 6 ist ersichtlich, dass der Unterschied in Grösse, Form und Verästelung der positiven und negativen Entladungen bei hoher Stossspannung, z. B. bei 500 kV, sehr klein sein kann. Die Fig. 7 bis 9 wurden mit der 3-Millionen-Volt-Stossanlage des Laboratoire Ampère der Cie Générale d'Electro-Céramique in Paris gewonnen und mir freundlich zur Verfügung gestellt. Sie zeigen,

dass bei hoher Spannung auch *Verzweigungen zugleich von der positiven und negativen Seite des Funkens* aus auftreten können. Es ist daher kaum möglich, aus der Richtung der Verzweigung der Blitze zuverlässige Schlüsse auf die Wolkenpolarität zu ziehen, wie das vor einigen Jahren versucht wurde. Damals glaubte besonders Simpson, aus Modellversuchen und aus der Tatsache, dass sich fast alle Blitze nach unten verzweigen, schliessen zu dürfen, dass die untern Gewitterwolken gegenüber dem Boden positiv geladen seien. Unsere Oszillogramme und eine Reihe anderer Messungen bei Blitzeinschlägen haben gezeigt, dass gerade das Gegenteil der Fall ist, dass nämlich die meisten Blitze negative Ladungen zum Boden bringen. Nachdem feststeht, dass bei Stossfunken auch Verzweigungen von der negativen gegen die positive Seite hin vor-



Fig. 7.  
Stossfunke zwischen Spitzenelektroden, bei ca. 3 Millionen Volt. (Laboratoire Ampère, Paris.)

kommen, besteht kein Widerspruch mehr darin, dass auch eine negativ geladene Wolke Blitze gibt, die sich nach unten verzweigen, wenn auch wahrscheinlich weniger ausgeprägt als bei Blitzen aus positiven Wolken.

Fig. 10 gibt eine wundervolle Blitzphotographie wieder, die vom Betriebsleiter der Patscherkofel-

bahn bei Innsbruck, Hrn. Dr. Meller, gemacht und von Hrn. Prof. Binder in Dresden bereits veröffentlicht wurde. Sie sehen deutlich, wie der den Boden erreichende Blitzast heller ist als die andern Aeste, die es nicht so weit gebracht haben. Fig. 11 und 12 zeigen schliesslich Blitze mit sehr starker und nur schwacher Verzweigung, die vielleicht aus positiven und negativen Wolken stammen.

Das geschilderte Blitzbild scheint nun durch die neuesten Beobachtungen von *Schonland, Halliday*

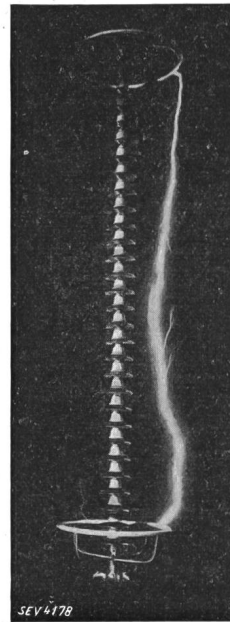


Fig. 8.

Stoss-Ueberschläge einer 30gliedrigen, ringarmierten Isolator-kette bei ca. 3 Millionen Volt. (Laboratoire Ampère, Paris.)

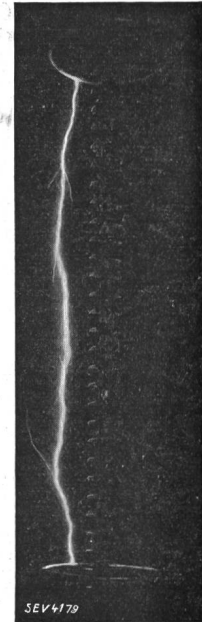


Fig. 9.

und *Collens* in Kapstadt recht schön bestätigt zu werden. Durch die Ueberspannungs-Beobachtungen erhob sich nämlich die Streitfrage, ob der Blitzfunke zwischen Wolke und Erde wirklich von der Wolke gegen den Erdboden und nicht etwa vom Boden gegen die Wolke vorwache. Wenn die Frage auch etwas merkwürdig tönt, so ist sie doch wegen der Beobachtung häufiger Entladungen negativer Wolken zum positiven Boden durchaus berechtigt.

Zur Abklärung dieser Frage benutzten nun diese Forscher eine optische Methode, die von Prof. Boys stammt und darin besteht, den Blitz mit zwei parallelen und sehr rasch um eine gemeinsame Axe rotierenden Objektiven zu photographieren. Dabei soll sich nun ergeben haben, dass auf einigen solchen Blitzphotographien zuerst eine Lichterscheinung sichtbar ist, die von der Wolke ausgeht und die das Aussehen eines leuchtenden Pfeiles von etwa 60 m Länge hat, der mit einer Geschwindigkeit von 1300 bis 32 000 km/s von der Gewitterwolke zur Erde fährt.

Wenn der leuchtende Blitzpfeil, der offenbar dem Töplerschen Gleitfunkenkopf entspricht, die Erde erreicht, so entsteht vom Einschlagspunkt am

Boden ausgehend ein hellerer, flammender Funke, der unter Benützung der vom Pfeil geschaffenen Bahn gegen die Wolke hinaufschlägt. Dieser Auf-

Damit ist unser Blitzbild in groben Hauptzügen fertig gemalt. Wir haben nur der Vollständigkeit halber noch zu erwähnen, dass sich in einem Gesamtblitz oft mehrere der soeben beschriebenen Teilblitze, sogar bis 15, kurz nacheinander folgen. Oft benützen alle dieselbe Bahn, oft springt aber auch ein Teilblitz aus der Bahn des vorhergehenden plötzlich ab und nimmt eine andere Richtung. Diese intermittierende Entladung ist auch von Hochspannungs-Prüftransformatoren und Induktoren her bekannt; sie hängt mit der ungenügend raschen Nachlieferung elektrischer Ladungen aus dem Wolkeninnern bzw. dem Wicklungsinnern zusammen.

Die Aufeinanderfolge von Teilblitzen wurde von Prof. Walter in Hamburg seinerzeit gründlich untersucht, indem er den Blitz zugleich mit einem feststehenden und einem bewegten Photoapparat photographierte<sup>3)</sup>. Fig. 13 zeigt diese Erscheinung deutlicher als lange Erklärungen. Bei oberflächlicher Betrachtung dieser Blitzphotographien könnte man auf den Gedanken kommen, der Blitz bestehe aus einem schwingenden Strom, dessen Halbperioden als einzelne leuchtende Bänder sichtbar werden. Der unregelmässige zeitliche Abstand von zwei aufeinanderfolgenden Teilblitzen und deren klare Begrenzung zeigen jedoch, dass es sich hier durchaus nicht um eine Frequenz handelt, sondern eben um eine Folge von einzel-

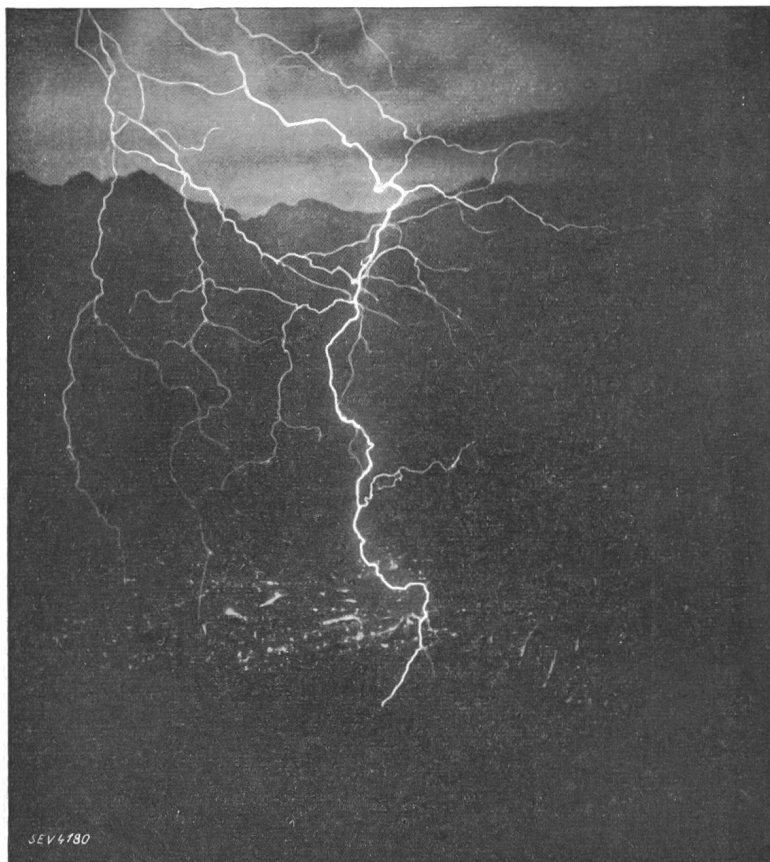


Fig. 10.  
Photographie eines Blitzschlags über Innsbruck, aufgenommen von Herrn Dr. Meller, Direktor der Patscherkofelbahn.  
(Aus Bericht der Sondertagung über Blitzschutzfragen, Verband Sächs. E. W. 1932, S. 54.)

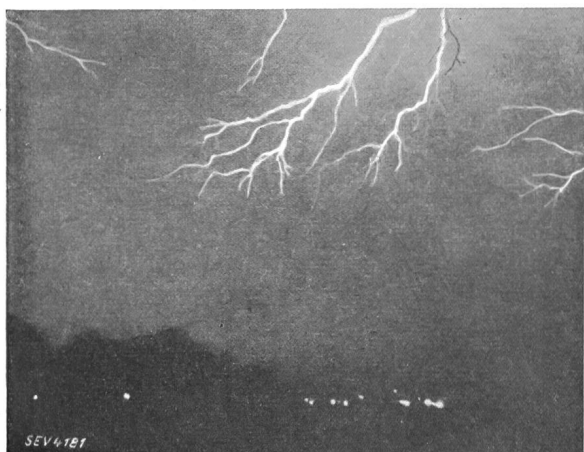


Fig. 11.  
Photographien zweier Blitzschläge, vermutlich aus positiver und negativer Wolke.  
(Aus J. C. Jensen, J. Frankl. Inst. 1933.)



Fig. 12.

Photographien zweier Blitzschläge, vermutlich aus positiver und negativer Wolke.  
(Aus J. C. Jensen, J. Frankl. Inst. 1933.)

wärtsfunke soll mit der grossen Geschwindigkeit von 24 000 bis 210 000 km/s gegen die Wolke vorwachsen. Er ist offenbar der Träger des Ausgleichsstromes zwischen Boden und negativ geladener Wolke.

nen Stössen, von denen übrigens auch jeder einzelne keine Hochfrequenz enthält. Der Blitz ist ein Gleichstrom kurzer Dauer, der am besten mit dem Namen Stossentladung bezeichnet wird.

<sup>3)</sup> B. Walter: Phys. Z., Bd. 13 und 14, 1913; Bd. 19, 1918.

Damit wollen wir die grundsätzlichen Betrachtungen über den Blitz selber abschliessen. Auf Einzelheiten und besondere Formen desselben, Kugelblitz, Perlschnurblitz und wie sie alle heissen, können wir leider nicht eintreten. Für uns Elektriker haben hauptsächlich die Störungen elektri-

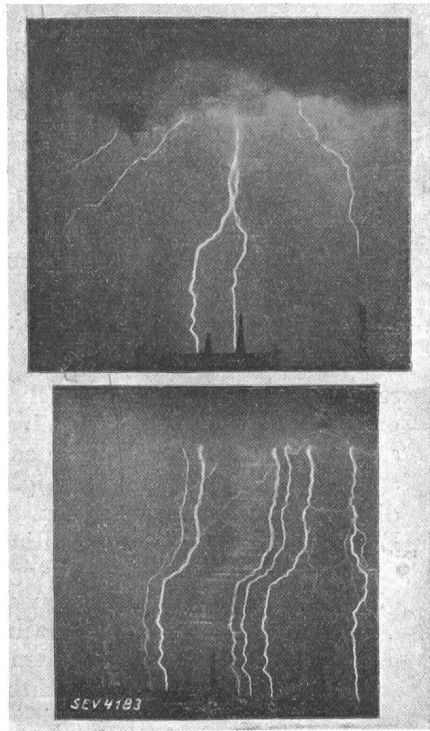


Fig. 13.

Photographie eines Blitzes, oben mit ruhender, unten mit bewegter Kamera aufgenommen.  
(Aus B. Walter, Phys. Z. 1918.)

scher Anlagen durch den Blitz Interesse; ich will deshalb jetzt von solchen elektrischen Blitzwirkungen sprechen.

### III.

Schon vor dem Auftreten des Blitzes machen sich die Wolkenladungen durch *das veränderte elektrische Feld am Boden* bemerkbar. Wie am Anfang bereits gesagt wurde, besteht immer, auch bei ruhigem Wetter, ein elektrisches Feld über dem Boden. Dies äussert sich z. B. darin, dass hochisolierte Körper in 1 m Höhe ungefähr +100 bis +400 V Spannung gegen den Boden annehmen. Die Werte schwanken nach Tages- und Jahreszeit, nach Ort und Witterung. An Stelle dieser mässigen Feldstärke treten nun bei herannahendem Gewitter viel grössere, bis 1000fache Spannungsunterschiede auf: 100 kV/m wurden mehrmals gemessen, in Amerika sogar bis zu 300 kV/m<sup>4</sup>). Das heisst: Jeder genügend hochisolierte Körper kann bei Gewitter allmählich diese Spannung annehmen, wenn er sich 1 m über Boden befindet. Liegt er 10 m

<sup>4</sup>) A. Matthias: Weltkraftkonf. 1930, Gewitterforschung und Blitzschutz; Norinder: Undersökningar över det luftelektriska fältet vid åskväder, Upsala 1921; W. Lewis: Gen. El. Review 1930, S. 197; El. Engr. 1931, S. 482.

hoch, so sind es 10 mal mehr usw. Das eindrucksvollste Beispiel dieser luftelektrischen Spannungen bei Gewitter bilden wohl die Versuche mit der grossen Antenne am Monte Generoso bei Lugano<sup>5</sup>). Dort befand sich ein etwa 600 m langes Stahlseil mit einem Drahtnetz hoch über dem Westabhang des Berggrates ausgespannt. Die Abspannung bildeten zuerst Isolatorenketten aus 33 Motorelementen, später imprägnierte Hanfseile von je 50 m Länge. Ein mittleres Abzweigseil reichte bis einige Meter über den Boden, dieses war in der Art einer Perlschnur mit einer Reihe grosser Hohlkörper zur Verminderung des Glimmens überzogen. Es zeigten sich bei herannahendem Gewitter Ueberschläge der Antenne gegen Erde über mehr als 10 m Schlagweite, wobei donnernde Funken entstanden. Die Spannung der Antenne erreichte 10 Millionen Volt gegen Erde, und zwar nicht etwa als Folge von Blitzeinschlägen, sondern lediglich deshalb, weil sie allmählich die Spannung der sie umgebenden Wolke annahm. Dazu waren bei höchster Schlagweite ca. 1/2 Minute, bei Funkenlängen von 4,5 m sogar nur 1 Sekunde Aufladzeit erforderlich. In diesem Zeitabstand dröhnten die Entladefunken nach der Erde.

Nach solch eindrucksvollen Erfahrungen müste uns der Betrieb von Freileitungen bei Gewitter eigentlich richtige Angst machen. Es wurde denn auch noch vor zwei Jahren von den Amerikanern gerechnet, dass auf einer 15 m über Boden befindlichen Hochspannungsleitung ohne Erdseil induzierte Gewitterüberspannungen von 3 Millionen Volt entstehen könnten. Die Rechnung ist verlockend einfach: 15 m Leitungshöhe über Boden, 200 kV/m Spannungsanstieg, macht  $15 \times 200 = 3000$  kV auf der Leitung. Die Rechnung hat nur einen Fehler: Sie lässt das Tempo der Veränderung des luftelektrischen Feldes ausser Betracht. Das heisst, sie nimmt an, dass die genannten enormen Feldstärken innert kürzester Zeit, ungefähr in einer Millionstel-Sekunde auf Null zusammensinken könnten, nämlich dann, wenn ein plötzlicher Blitz die Wolke entlädt. Erfolgt dagegen der Aufbau und Abbau der enormen Wolkenfelder nicht plötzlich, sondern langsam, so hat die Ladung Zeit, sich fortwährend über ihren Isolationswiderstand und über entfernte Netzteile nach Erde auszugleichen, so dass nur ein Bruchteil der berechneten Spannung in Erscheinung tritt. Dies ist nun glücklicherweise der Fall.

Wenn ich vorhin sagte, dass der Feldausgleich «langsam» erfolge, so muss ich darauf aufmerksam machen, dass ich mich damit in den Dialekt der Blitz- und Ueberspannungsschützer verirrt habe. Diesen gilt nämlich heute allgemein die Mikrosekunde, d. h. der millionste Teil einer Sekunde, als Zeiteinheit. Schuld daran ist einmal die Raschheit der elektrischen Wellen, die bekanntlich auf Freileitungen in einer Mikrosekunde bereits fast 300 m vorwärtsschiessen, und zweitens der moderne Kathodenstrahl-Oszillograph, der uns die Mikrosekunde ( $\mu s$ ) ebensogut und einfach sichtbar macht, wie der frühere Oszillograph die Hundertstel-Sekunde. So kommt es, dass uns, die wir mit diesen raschen Vorgängen

<sup>5</sup>) Brasch, Lange und Urban: Naturwiss., Bd. 16, 1928.

zu tun haben, 100 oder gar 1000  $\mu$ s, d. h.  $\frac{1}{10000}$  oder  $\frac{1}{1000}$  Sekunde, bereits als sehr lang vorkommen.

Das Tempo der Aenderung des luftelektrischen Feldes ist im Moment eines Blitzschlages am grössten. Deshalb entstehen auch dann die grössten induzierten Ueberspannungen. Diese erreichen aber nach unsern oszillographischen Messungen Werte von höchstens 120 bis 150  $kV_m$  oder rund 100  $kV_e$  auf Hochspannungsleitungen mit einem Erdseil<sup>6)</sup>. Wir kommen damit auf unsere in den letzten Jahren durchgeführten systematischen Messungen der

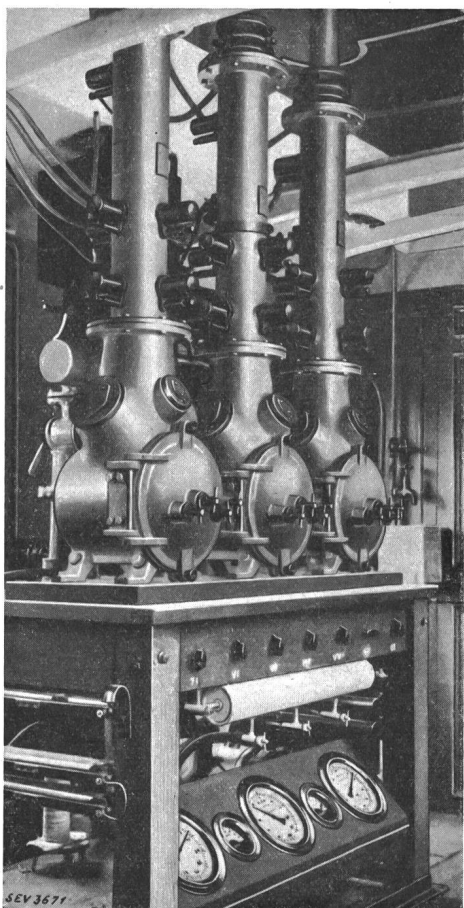


Fig. 14.  
Ansicht unseres dreipoligen KO im Messwagen.  
(Aus Bull. SEV 1934, Nr. 9, Fig. 1.)

Gewitterüberspannungen auf Hochspannungsleitungen zu sprechen. Es mag bekannt sein, dass so rasch veränderliche Spannungen, wie die vom Blitz erzeugten, nur mit Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) ausgemessen werden können. Nur diese Apparate sind imstande, Veränderungen elektrischer Spannungen innert Mikrosekunden trägheitslos aufzuzeichnen, indem dazu weder ein Spiegel noch irgendeine schwere Masse den Veränderungen folgen muss, sondern nur ein Strahl freier Elektronen, eben der Kathodenstrahl. Trägheiterscheinungen kommen deshalb bis zur Aufzeichnung von 100 Millionen Perioden pro Sekunde beim KO nicht in

<sup>6)</sup> K. Berger: Bull. SEV 1928 bis 1934.

Frage. Auf die Beschreibung dieser Apparate will ich hier nicht eingreten; ich möchte nur ein Bild unseres in einem Eisenbahnwagen eingebauten dreipoligen Apparates zeigen, sodann eines

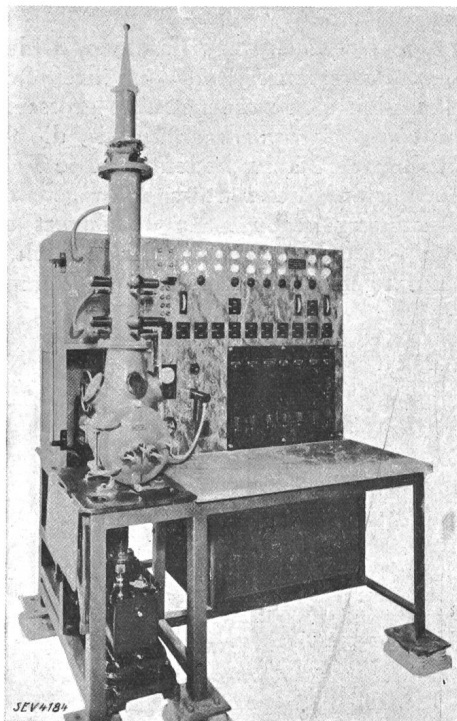


Fig. 15.  
Ansicht eines einpoligen KO, Fabrikat Trüb, Täuber & Cie.

zweiten von der Firma Trüb, Täuber & Cie. nach den Angaben des Vortragenden gebauten Apparates (Fig. 15), ferner einige Bilder vom diesjährigen Messpunkt Lavorgo an der Gotthardleitung.

Der zur Messung nötige Anschluss der KO an die 150 kV-Gotthardleitung wurde mit drei kurzen

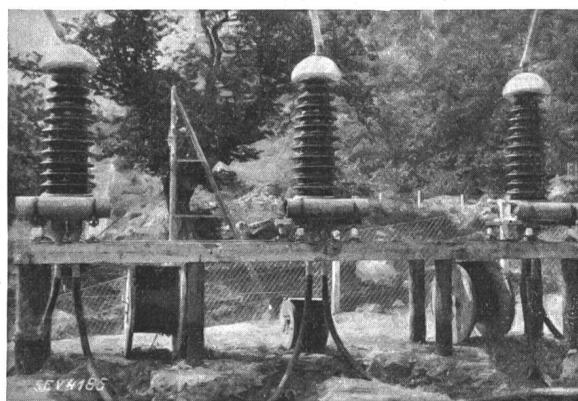


Fig. 16.  
Ansicht der drei Spannungsteiler für 150 kV in Lavorgo  
(Oelkabel und Mannitwiderstände).

Oelkabeln ausgeführt, die uns in liebenswürdiger Weise von den Kabelwerken Brugg gratis zur Verfügung gestellt und montiert wurden. Fig. 18 zeigt neben der Spannungsteilung für den KO auch noch

den Anschluss eines sog. Klydonographen, eines einfachen Registrierinstrumentes für die ungefähre Grösse und Häufigkeit von Ueberspannungen.

Die Resultate, die wir nun mit unserm dreiphasigen KO gewonnen haben, sind kurz zusammengefasst etwa folgende:

Unter den bei Gewitter erhaltenen Bildern des Ueberspannungsverlaufes auf den drei Leitungsphasen befinden sich zunächst eine grosse Anzahl solcher mit *kleinen Ueberspannungen*, die für den Betrieb keinerlei Gefahr bedeuten. Die Form des zeitlichen Verlauf dieser Störspannungen, die der Betriebsspannung gegen Erde überlagert erscheinen, ist in allen drei Phasen sehr ähnlich. Diese Ueberspannungen treten stets nur im Moment von

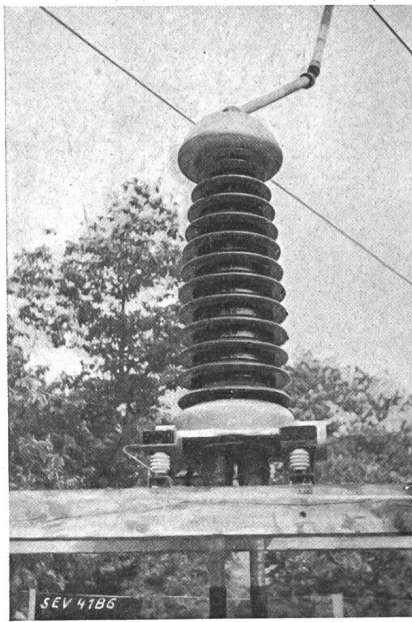


Fig. 17.

Ansicht eines 150-kV-Kabel-Endverschlusses in Lavorgo (Kraftwerk Monte Piottino der Ofelti).

Blitzschlägen in Leitungsnähe auf; sie entstehen offenbar durch die rein kapazitive Einwirkung der Wolken auf die Leitungsseile, d. h. durch die Aenderung des luftelektrischen Feldes während Blitzschlägen. Wir sagen kurz: Dies sind die von *indirekten Blitzschlägen* erzeugten Ueberspannungswellen.

Die grösste Höhe solcher indirekter Blitzüberspannungen wurde bisher am Ende einer 80 kV-Eisenmastleitung registriert, und zwar in einer Station ohne jegliche Nullpunktserdung. Die erreichten Spannungen betragen annähernd 300 kV<sub>m</sub> gegen Erde. Da am Leitungsende Stauung auf das Doppelte eintritt, muss die zulaufende Wellenhöhe annähernd 150 kV<sub>m</sub> betragen haben. Aus dieser grössten bisher gemessenen indirekten Blitzüberspannung ist zu schliessen, dass indirekte Blitzwirkungen im allgemeinen Hochspannungsleitungen mit 50 kV Betriebsspannung und Erdseil nicht mehr zum Ueberschlag bringen können. Infolge der Wellenstauung sind sie aber imstande, in ungeschütz-

ten 50 kV- und ausnahmsweise noch in ungeschützten 80 kV-Kopfstationen Ueberschläge zu erzeugen. Für grössere Betriebsspannungen sind nur die *direkten Blitzeinschläge* in die Leitung imstande, Erd- und Kurzschlüsse hervorzurufen. Um aus den

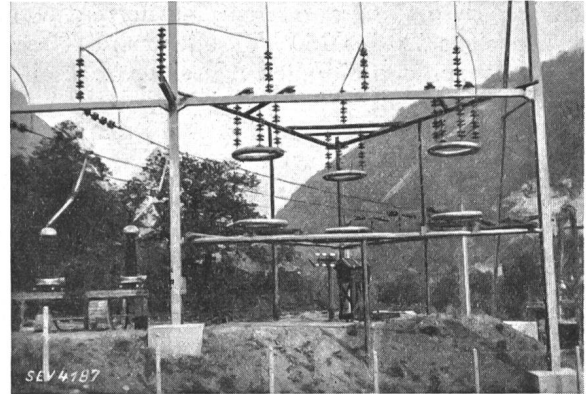


Fig. 18.

Dreiphasige Klydonographen-Meßstation in Lavorgo.

Oszillogrammen allein, ohne jegliche Ausrüstung der Leitung mit Einschlagszeigern, entscheiden zu können, ob es sich in einem bestimmten Fall um eine indirekte Blitzwirkung oder um einen direkten Blitzeinschlag gehandelt hat, beobachteten wir alle drei Phasen der Leitung zugleich, wozu natürlich ein dreipoliger KO nötig war. Ein direkter Blitzeinschlag lässt sich hierbei sehr deutlich aus dem

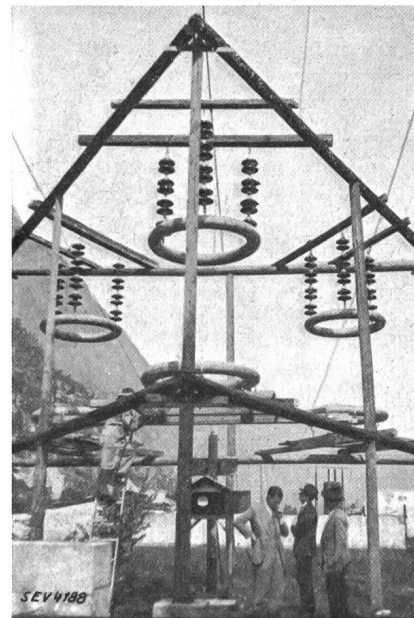


Fig. 19.

Dreiphasige Klydonographen-Meßstation in Bodio.

Vergleich der Dreiphasen-Oszillogramme erkennen: Nicht nur hat in der Regel nur *eine* Phase eine enorme Ueberspannung, sondern die nicht gestörten Phasen zeigen sogar umgekehrte Polarität des Ueberspannungswellenkopfes. Diese merkwürdige und unerwartete Erscheinung wurde inzwi-

schen mit künstlichen Blitzspannungen geklärt, nachdem sie anfänglich viel Kopfzerbrechen machte. Sie bildet ein Beispiel des Falles, wo die Naturbeobachtung der Wellentheorie vorausgeeilt ist. Die Steilheit der vom direkten Blitzeinschlag erzeugten Ueberspannungen, d. h. die Raschheit

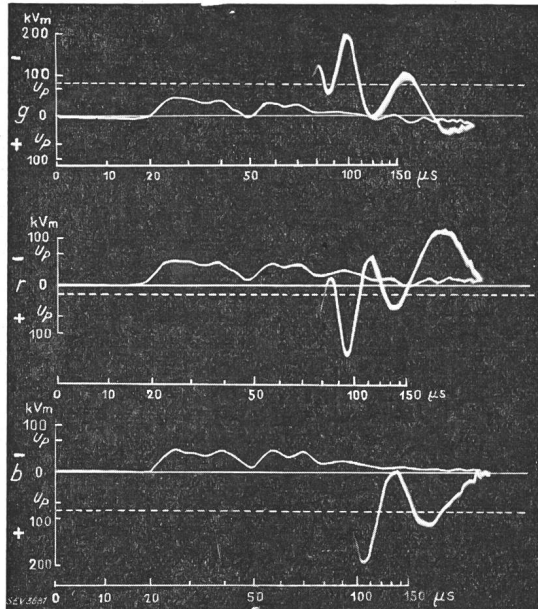


Fig. 20.

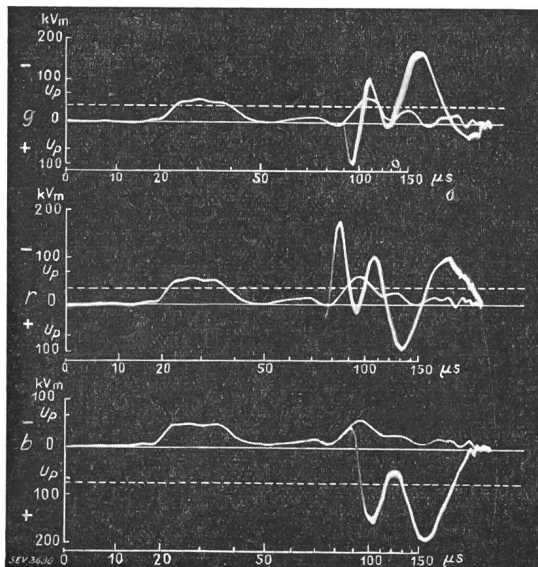


Fig. 21.

Indirekte Blitzüberspannungswellen auf den drei Phasen einer 80-kV-Leitung.  
(Aus Bull. SEV 1934, Nr. 9, Fig. 26 und 27.)

ihres Anstieges ist viel grösser als bei indirekten Blitzspannungen.

Nach dieser interessanten Erfahrung der Wichtigkeit direkter Blitzeinschläge in Hochspannungsleitungen stellte sich sofort die weitere Frage: *Schlägt der Blitz in die Masten oder in die Phasen-seile selber oder in das Erdseil?* Zu dieser Frage zeigten zunächst die Betriebsstatistiken eine interessante Erscheinung. Leitungen für 100 kV mit

einem Erdseil und drei untereinander liegenden Phasenseilen erwiesen, dass wohl das oberste Leitungsseil etwas häufiger als die untern zwei von Erdschlüssen bei Gewitter betroffen wird. Doch ist der Unterschied gar nicht gross, besonders gegenüber dem untersten Seil, das in gewissen Betrieben fast ebenso viele Störungen durch Gewitter aufwies wie das am meisten dem Blitzeinschlag exponierte oberste Seil<sup>7)</sup>. Wie ist das zu verstehen? Die Erklärung dieser Beobachtung liegt im sogenannten *Rücküberschlag eines Mastes bei Blitzeinschlag*. Stellen wir uns vor, ein Mast werde von einem Blitzeinschlag betroffen. Wie wir vorher gesehen haben, geht dann vom Mast gegen die

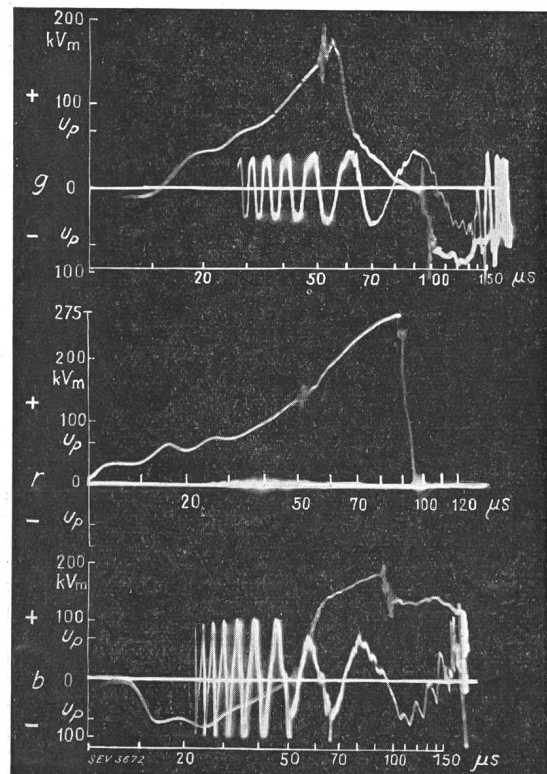


Fig. 22.

Indirekte Blitzüberspannung mit anschliessender Störung einer 80-kV-Kopfstation.  
(Aus Bull. SEV 1934, Nr. 9, Fig. 18.)

Wolke ein rasch ansteigender Strom, der beträchtliche Werte erreicht. Dieser Strom fliesst von oder nach Erde, und zwar hauptsächlich über den *Mast-erdungswiderstand* des betroffenen Mastes, und zum kleinern Teil über das Erdseil zu den Nachbarmasten. Folglich entsteht in der Mast-erdung nach dem altbekannten Ohmschen Gesetz ein Spannungsabfall, z. B. bei einem Blitzstrom von 20 000 A<sub>m</sub> an einer Mast-erdung von 20 Ohm eine Spannung von 20 × 20 000 = 400 kV<sub>m</sub> oder ca. 280 kV<sub>e</sub>. Diese Spannung beansprucht bei Leitungen ohne Erdseil die Leitungsisolatoren. Wenn diese ihr nicht gewachsen sind, so kommt es zum Uebertritt der Blitz-

<sup>7)</sup> Ph. Sporn: Trans. Amer. Instn. Electr. Engr. 1929 bis 1933.

spannung, genauer gesagt, des Spannungsabfalles an der Masterdung auf die Leitungsphasen. Da ein allfällig vorhandenes Erdseil beim Blitzeinschlag zugleich mit dem Mast auf Spannung kommt, so schirmt es das oberste, nächste Leitungsseil mehr

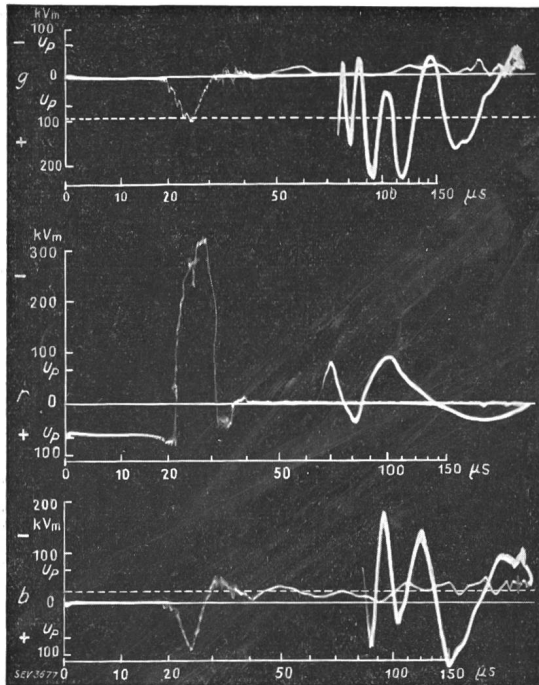


Fig. 23.

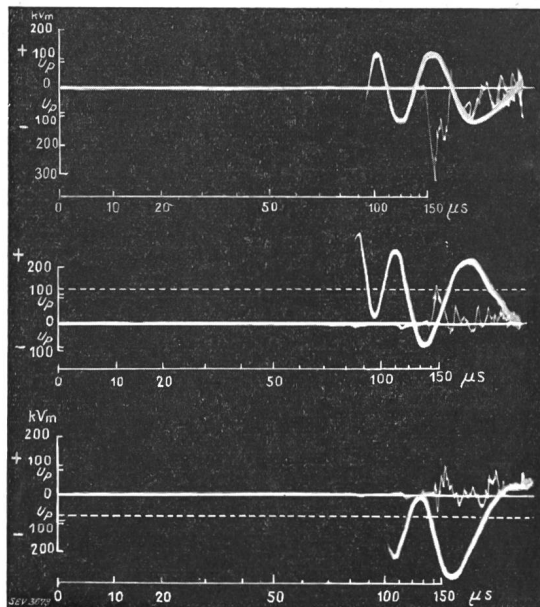


Fig. 24.

Ueberspannungswellen infolge direkter Blitzeinschläge in 80-kV- und 132-kV-Leitungen, mit anschliessenden Erdschluss-Störungen.  
(Aus Bull. SEV 1934, Nr. 9, Fig. 23 und 25.)

als die untern Seile. Daher entsteht an den Isolatoren der letztern die grössere Spannungsdifferenz als an den obern und es werden aus diesem Grund bei Leitungen mit Erdseil die untern Seile eher vom Rücküberschlag infolge Blitzeinschlags betroffen.

Wegen der skizzierten praktischen Bedeutung direkter Blitzeinschläge ist es verständlich, dass uns heute an der Kenntnis der Grösse der *Blitzströme* sehr viel gelegen ist. Diese früher rein wissenschaftliche Frage gewinnt heute wegen des Leitungsschutzes noch grössere Bedeutung als die vorher im Vordergrund stehende Frage nach der Blitzspannung.

Die Blitzstrommessung ist keine einfache Aufgabe. Denn wo soll man messen? Wohl wurde vorgeschlagen, starke Raketen steigen zu lassen, mit einem Feuer- oder sogar Metalldraht-Schwanz, welche den Blitz aus der Gewitterwolke herunterholen würden. Aber selbst wenn dies gelänge, so wäre dieser geholte Blitz wahrscheinlich nicht von

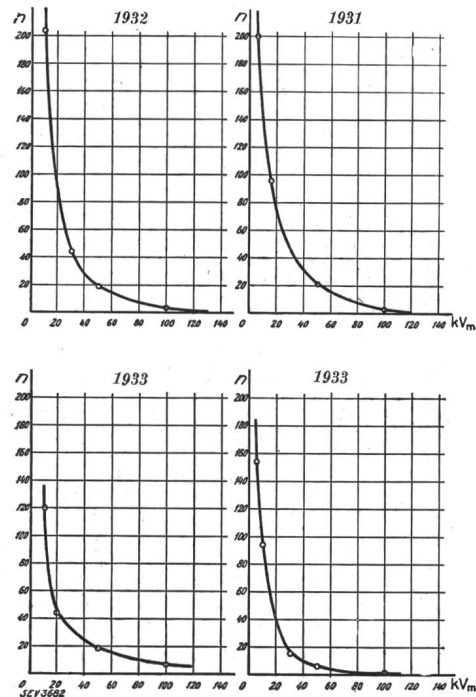


Fig. 25.

Häufigkeitskurven verschieden hoher atmosphärischer Ueberspannungen nach Messungen mit dem Kathodenstrahloszillographen.

Links: in der 80-kV-Kopfstation; rechts: in der 132-kV-Durchgangsstation.  
Ordinate  $n$  = Anzahl Ueberspannungen pro Sommerhalbjahr, deren Höhe den Abszissenwert erreicht oder übertrifft.  
(Aus Bull. SEV 1934, Nr. 9, Fig. 29 und 30.)

der gleichen Stärke wie der rein natürliche. Es bleibt wenig anderes übrig, als sehr viele Punkte, und zwar möglichst solche, die der Blitz treffen wird, mit Messmitteln auszurüsten. So haben wir eine Menge von Masten von Höchstspannungsleitungen in der Schweiz mit sogenannten *Mastfunkenstrecken ausgerüstet*, welche durch das Durchlöcheren einer Zelluloidhaube angaben, ob ein Blitz, wenn er den betreffenden Mast traf, eine gewisse Stromstärke im Mast erreichte oder nicht. Nach einer deutschen, im Prinzip sehr alten Methode wird in die Nähe von Blitzableitern und Masten ein Stahlstäbchen oder *besser ein Bündel feiner Stahldrähte* gebracht, welche vom Blitzstrom remanent magnetisiert werden<sup>8)</sup>. Aus der Stärke der

<sup>8)</sup> H. Grünwald: ETZ 1934, Nr. 21 und 22.

Remanenz lässt sich dann auf die Grösse des Blitzstrommaximums schliessen. Es mag interessieren, dass bereits Pockels und Töpler auf Grund dieses Prinzips vor vielen Jahren die ersten Blitzstrommessungen machten; nur benützten sie keine Stahlstäbchen, sondern suchten Gegenden mit Basaltgesteinen mit dem Kompass ab. Aus der ringförmigen Magnetisierung des Basaltgesteins im Boden wurde der Blitzstrom geschätzt<sup>9)</sup>. Unsere Messungen der letzten drei Jahre ergaben Blitzstromwerte zwischen *wenigen 1000 bis zu rund 100 000 A<sub>m</sub>*. Die deutschen Messungen, die vor wenigen Monaten veröffentlicht wurden, zeigen Werte *einiger 1000 bis zu höchstens 60 000 A<sub>m</sub>*. Die häufigsten Blitzstromwerte liegen offenbar bei etwa 10 bis 40 000 A<sub>m</sub><sup>8)</sup>. Solche Ströme muss die Erdung stossweise aufnehmen. Dass dabei gelegentlich bei schlechten Verbindungen oder an nicht verbundenen, besonders an geerdeten andern Metallmassen, z. B. Wasserleitungen, Drahtzäunen und Geleisen starke Ueberschlagsfunken oder Sprengung von Betonsockeln entsteht, ist kein Wunder.

Die amerikanischen Messungen von Blitzströmen<sup>10)</sup> zeigen noch höhere Werte, bis 600 000 A<sub>m</sub>. Doch sind diese Werte sicher zu hoch gemessen, infolge einer dazu kaum geeigneten Messmethode. Die Stromberechnungen aus den *Schmelzwirkungen des Blitzstromes* sind unsicher, weil zum Schmelzen auch die Zeitdauer des Blitzstromes eine Rolle spielt, die wir bei Schmelzspuren gewöhnlich nicht kennen. Aus der Beobachtung, dass Kupferdrähte von 2 mm Durchmesser noch relativ oft vom Blitz geschmolzen werden, ergeben sich bei vernünftiger Schätzung der Stromdauer ebenfalls Werte bis zu etwa 100 000 A<sub>m</sub><sup>11)</sup>. Auch aus den *elektrodynamischen Wirkungen* blitzstromführender Drähte, die bisweilen zu ganz merkwürdigen Blitzspuren führen, folgen Ströme der gleichen Grössenordnung<sup>12)</sup>.

#### IV.

*Eine Uebersicht der wichtigsten Blitzgrössen, wie sie nach heutiger Erfahrung etwa richtig sein dürfte, mag interessant sein.*

a) *Die Blitzspannung* ist von der Grössenordnung von 100 bis zu einigen 100 Millionen V. Spannungen von 10 Millionen V wurden in Amerika an Holzstangenleitungen mit dem KO gemessen. Die von Wilson geschätzte Spannung von 1000 Millionen V (1 Million kV) bildet wahrscheinlich die obere Grenze der Gewitterspannungen.

b) *Die Blitzstromstärke* dürfte, wie besprochen, 100 000 A<sub>m</sub> erreichen, gewöhnlich aber bei 10 000 bis 40 000 A<sub>m</sub> liegen. Der Stromverlauf im Blitz ist stossweise, nicht schwingend.

<sup>9)</sup> F. Pockels: Meteor. Z., Bd. 15, 1898, u. Bd. 18, 1901.

<sup>10)</sup> W. Lewis und C. M. Foust: Lightning Investigation on Trans. Lines, II. El. Engr. 1931, S. 479 und 483.

<sup>11)</sup> Beschreibung eines extrem kräftigen Blitzeinschlages: Janetzki: ETZ 1928, S. 1376.

<sup>12)</sup> Ch. Morel: Bull. SEV 1933, S. 209; R. S. Spilsbury: Nature 1931, S. 872.

c) *Die Polarität* der Blitzenladungen gegen den Boden ist jedenfalls in der grossen Mehrheit der Fälle so, dass sich negative Wolken zum Boden hin entladen.

d) *Die Zeitdauer eines Teilblitzes* ist mindestens 50  $\mu$ s, d. h. mindestens  $\frac{1}{20\,000}$  s.

Die *Zeitdauer des Gesamtblitzes* mit bis 15 Teilblitzen erreicht annähernd 1 s.

e) *Die Vorwachs-geschwindigkeit* des Blitzes gegen die Erde liegt in der Grössenordnung von 10 000 km/s.

f) *Grösste bisher zuverlässig gemessene indirekte Blitzüberspannung* auf Eisenmastleitung mit Erdseil: Ca. 150 kV<sub>m</sub> oder 100 kV<sub>e</sub>; auf Leitung ohne Erdseil ca. 150 kV<sub>e</sub> geschätzt.

g) *Grösstmögliche Blitzüberspannung* auf Eisenmastleitung: Gleich der Stossüberschlagsspannung der Leitungsisolatoren. Auf *Holzstangenleitung*: Gleich der Stossüberschlagsspannung der Holzstangen, also einige Millionen V.

h) *Grösste Steilheit der Ueberspannungswellen*: An der Blitzeinschlagsstelle 1000 bis 10 000 kV/ $\mu$ s, in Stationen sehr selten mehr als einige 100 kV/ $\mu$ s.

#### V.

*Was nun schliesslich die Schutzmassnahmen und die damit in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen* anbelangt, so will ich mich kurz fassen. Der Fortschritt der letzten Jahre ist z. B. daraus ersichtlich, dass sich die meisten modernen Abwehrmassnahmen, und zwar zum Teil mit gutem Erfolg, gerade gegen jenen Blitzeinschlag wenden, von dem es noch vor zehn Jahren hiess: Gegen den ist nichts zu machen und nichts zu hoffen.

Bei Eisenmastleitungen wurden bezüglich der Erhöhung der Betriebssicherheit bei Gewitter durch *Verbesserung der Masterdungen* gute Erfahrungen gemacht. Besonders deutlich scheint die Verbesserung bei 100 kV-Leitungen zu sein, wenn die Erdungswiderstände pro Mast von 100 Ohm oder noch mehr auf etwa 10 Ohm reduziert wurden. Weniger Erfahrungen liegen vor über die günstigere Verlegung von Erdseilen.

Wo Ueberschläge der Isolatoren wegen schlechter Erdungsmöglichkeit oder wegen Fehlens des Erdseiles bei Eisenmastleitungen nicht verhindert werden können, bieten *Lichtbogenarmaturen* ein bewährtes Mittel zur Verhinderung schwerer Isolatorschäden. Die Erfahrung der letzten Jahre zeigte, dass die meisten Isolatorenzerstörungen bei Gewitter nicht durch die Blitzstoßspannung, sondern erst durch den nachfolgenden Lichtbogen des Betriebskurzschlußstromes bewirkt werden. Dabei müssen natürlich Durchschläge infolge schlechter Isolatoren, Kopfrisse und dergleichen von unserer Betrachtung ausgeschlossen werden.

Schlimm steht es mit allen *Holzstangenleitungen*, auch mit jenen für höchste Betriebsspannungen. Die Erhöhung der Isolation unter Ausnützung des Isolationswertes des Holzes führte in Amerika zu keiner Verbesserung. Hier scheint tatsächlich

immer noch der berühmte Ausspruch von Steinmetz zu gelten: «Bei Gewitter flicke, was kaputt geht, und sei zufrieden, dass der Schaden nicht noch grösser war!» Mittel zur Verhinderung der Stanzensplitterung sind vorhanden, fanden aber noch wenig Anwendung.

*Blitzsichere Leitungen* scheinen erst bei Betriebsspannungen von etwa 100 kV und darüber wirtschaftlich möglich zu sein, ausnahmsweise bei 50 kV. Für *Betriebe mit kleiner und mittlerer Hochspannung, bis etwa 60 kV, kamen in den letzten Jahren Ueberspannungsableiter wieder zu Ehren.* Nachdem heute die Grundlage für ihre Bemessung und Prüfung vorhanden ist, ist dies zu begrüssen. Aber es ist leider auch hier nicht alles Gold, was glänzt.

Es sind mit der heutigen Jahresversammlung gerade zehn Jahre her, seit wir uns in der Schweiz vom Ueberspannungsableiter losgesagt haben. Behalten wir darum von dem damals wohlbegründeten Standpunkt das Gute bei: Hüten wir uns vor der Wiedereinführung von Apparaten, die selber nicht betriebssicher sind! Um Apparate gegen Ueberspannungen betriebsmässig prüfen zu kön-

nen, haben wir mit der entgegenkommenden Hilfe des EW Olten-Aarburg, der Kabelwerke Brugg, der Schweizerischen Bundesbahnen, Brown, Boveri und anderer Beteiligter eine Stossprüfanlage speziell für Ableiterproben, aber auch für andere Stossprüfungen, beim Kraftwerk Gösigen aufgebaut. Damit wurde es möglich, die im Jahre 1931 in Puidoux begonnenen Ableiteruntersuchungen fortzusetzen, was inzwischen in reichem Masse geschehen ist. Mit aller Wahrscheinlichkeit ist der Zeitpunkt nicht mehr fern, wo Ueberschläge infolge von Ueberspannungen in den Anlagen selber zur Vergangenheit oder doch zu einer grossen Seltenheit gehören werden. Dieser Wandel ist ohne KO gar nicht mehr zu denken.

Ich hoffe sehr, dass unsere theoretischen und praktischen Untersuchungen auch in dieser Hinsicht von direktem Nutzen für die Elektrizitätswerke seien, besonders jener, die uns die Durchführung der Messungen ermöglicht haben. Ich benutze die Gelegenheit, allen beteiligten Personen, Werken und Unternehmungen, die unsere Bestrebungen unterstützt haben und es noch tun, herzlich zu danken.

## La foudre et les bâtiments.

Conférence donnée à l'assemblée générale de l'ASE le 7 juillet 1934 à Aarau  
par Ch. Morel, ingénieur au Secrétariat général de l'ASE, Zurich.

31: 551.594.2(494)

*L'exposé ci-dessous se borne à relater quelques-uns des plus intéressants coups de foudre relevés au cours de l'enquête menée par le secrétariat général de l'ASE et de l'UCS, pour en tirer quelques conclusions pratiques relatives à la protection des bâtiments: suppression des pointes, utilisation de toutes les parties métalliques extérieures pour former un réseau protecteur, rôle des lignes aériennes et des arbres, etc.*

*Quelques-uns des cas produits ayant déjà été décrits antérieurement, on s'est contenté ici de faire figurer à côté de leur numéro d'ordre, un renvoi au numéro du Bulletin où s'en trouve la description détaillée.*

*Das hier wiedergegebene Referat ist eine kurze Aufzählung einiger der interessantesten Blitzschläge aus den Erhebungen des Generalsekretariates des SEV und VSE während der letzten Jahre. Dieser Aufzählung sind einige praktische Folgerungen für den Schutz der Gebäude beigelegt: Weglassung der sog. Auffangstangen, Heranziehung aller äusseren Metallteile zur Bildung eines schützenden Netzes, Bedeutung der Freileitungen und der Bäume usw.*

*Da einige der angeführten Fälle bereits früher beschrieben wurden, ist hier neben ihrer Ordnungsnummer nur auf die Nummer des Bulletin verwiesen, wo sich die ausführliche Beschreibung befindet.*

De tous temps, la foudre a attiré l'attention des hommes de science aussi bien que celle des simples mortels. Ses méfaits et surtout ses caprices ont donné lieu à nombre de croyances populaires, erronées pour la plupart, mais qui s'expliquent d'autant plus facilement qu'à l'heure actuelle les savants même ne sont pas encore d'accord sur tous les points. Dans sa conférence, M. Berger a esquissé l'état actuel de nos connaissances sur la foudre en tant que phénomène électrique. Ce qui suit ne sera donc qu'une relation de quelques faits qui se sont passés au cours de ces dernières années, accompagnée de quelques conclusions pratiques pour la protection des bâtiments. Ces cas sont pour la plupart tirés de l'enquête menée par le secrétariat général depuis 1931 avec la collaboration des établissements cantonaux d'assurance contre l'incendie et de l'administration des PTT, auxquels nous nous devons d'exprimer ici notre reconnaissance.

Cette enquête a été ordonnée par la commission de l'ASE pour la protection des bâtiments contre la foudre, présidée avec une rare compétence par M. Blattner, professeur au technicum de Berthoud, dans le but de recueillir des indications pouvant servir de base à la revision des directives pour la protection des bâtiments contre la foudre. Ces recherches prouvent que les principes directeurs, émis dans les premières directives de 1907 ont conservé leur pleine valeur, de sorte que la revision n'a dû porter que sur des questions de détail qui, pour la plupart, ne se posaient encore pas alors.

Il est encore bien des gens qui ne peuvent se représenter un paratonnerre sans une ou plusieurs tiges de quelques mètres de haut, juchées sur la façade de l'édifice à protéger. On a en effet cru au début que les pointes avaient le pouvoir de décharger les nuages chargés d'électricité, rendant ainsi impossible toute étincelle entre le nuage et le bâti-