

Referate

gehalten an der 9. Mitgliederversammlung der Forschungskommission
des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH)
vom 18. Juni 1942 in Zürich

	Seite
Zum Stand der Gewitterforschung. Von <i>K. Berger</i> , Zürich . . .	3
Gewittermeldedienst und Gewitterbeobachtungen bei den Nordostschweizerischen Kraftwerken A.-G. Von <i>W. Zobrist</i> , Baden	10
Gewittererfahrungen im Tessin. Von <i>Th. Zambetti</i> , Baden . .	14
Erfahrungen mit Ueberspannungsschutzeinrichtungen in Netzen verschiedener Spannungen. Von <i>H. Schiller</i> , Baden	15
Betriebserfahrungen mit 50-kV-Ueberspannungsableitern Von <i>A. Kraft</i> , Siebnen	19
Erfahrungen mit Ueberspannungsableitern. Von <i>S. Bitterli</i> , Langenthal	21

Zum Stand der Gewitterforschung

Referat, gehalten an der Mitgliederversammlung der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) vom 18. Juni 1942 in Zürich

Von K. Berger, Zürich

551.594.2

Es wird dargelegt, in welcher Weise die in den letzten Jahren besonders in Südafrika und in den USA durchgeführten, vorwiegend optischen Untersuchungen über den Blitz das Gesamtbild, das man sich vom Blitzschlag macht, beeinflusst haben. In einem späteren Aufsatz sollen anschliessend auch die bisher nicht veröffentlichten Resultate der Gewittermessungen der FKH aus den Jahren 1936...1938 bekanntgegeben werden.

L'auteur explique de quelle façon les recherches sur les éclairs, entreprises au cours de ces dernières années, notamment en Afrique du Sud et aux Etats-Unis d'Amérique, surtout à l'aide de méthodes optiques, ont modifié l'opinion générale que l'on se faisait de la foudre. Un prochain article indiquera les résultats des mesures de la foudre effectuées par la FKH de 1936 à 1938 et qui n'ont pas encore été publiés.

1. Bild des Gesamtblitzes

Es soll hier nicht beschrieben werden, in welcher Weise die Trennung der positiven und negativen Ladungen in der Atmosphäre vor sich geht. Leider ist diese meteorologische Frage auch heute noch immer nicht restlos geklärt. Uns Elektriker interessiert vor allem der Blitzschlag selber, insbesondere seitdem wir wissen, dass er für die elektrische Energieübertragung bei hoher Spannung der unbedeutsame und mächtige Störenfried ist.

Während wir uns in der Schweiz vor allem mit den elektrischen Wirkungen des Blitzes auf Hochspannungsleitungen befasst haben, sind hauptsächlich im Ausland Photographien des Blitzes mit ruhenden und bewegten Photoapparaten gemacht worden. Bekannt sind schon seit vielen Jahren die Aufnahmen des Hamburger Professors B. Walter, aus denen ersichtlich ist, dass der für das Auge einheitlich scheinende *Gesamtblitz* sehr oft aus mehreren *Teilblitzen* oder *Teilschlägen* zusammengesetzt ist¹⁾.

Fig. 1 zeigt eine der klassischen Aufnahmen von Walter. Das Bild oben gibt die Photographie eines Blitzes mit ruhender, das untere Bild die Aufnahme des gleichen Blitzes mit bewegter Photokamera. Die scheinbare Verzweigung des Blitzkanals besteht danach in einer zeitlichen Aufeinanderfolge von Teilblitzen mit nicht durchwegs gleicher Bahn. Zwischen den Teilblitzen liegen ungleiche Zeiten, so dass von einem Schwingen des Stroms in diesem Sinn nicht gesprochen werden kann. Besonders zu erwähnen ist auf dem untern Bild der in der Mitte liegende Schleier, der zunächst entweder von nachleuchtender Luft oder aber von einem langdauernden Stromfluss verursacht sein kann. Wir werden darauf noch zurückkommen. Insbesondere von eng-

lischen Forschern sind vor dem Krieg viele solcher Photographien ausgewertet worden, um über die Zusammensetzung der Blitze aus Teilblitzen statistische Auskunft zu bekommen.

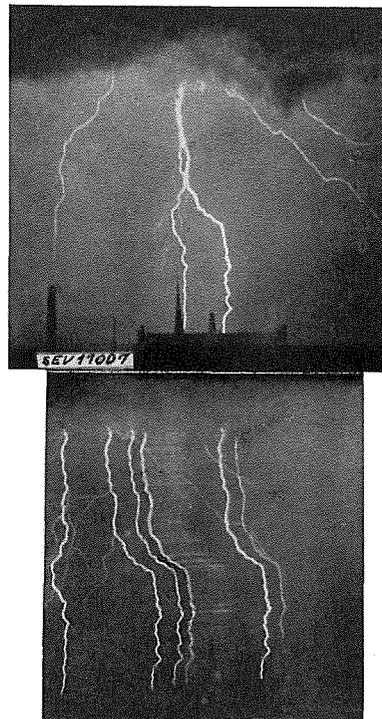


Fig. 1.
Blitzphotographie mit ruhender und bewegter Photokamera (B. Walter, Hamburg.)

Fig. 2 zeigt eine Zusammenstellung der Häufigkeit der Anzahl Teilblitze in einem Gesamtblitz, die einer englischen kritischen Betrachtung der heutigen Gewitterkenntnis entnommen ist²⁾. Wie daraus zu ersehen ist, weisen ca. 50% aller Blitze mindestens 2 Teilschläge auf; dagegen sind Blitze

¹⁾ Literatur siehe am Schluss.

mit mehr als 10 Teilschlägen bereits recht selten (nur noch ca. 5 % aller Blitze). Die grösste beobachtete Anzahl Teilblitze beträgt zurzeit 27. Der Gesamtblitz kann dementsprechend zum Teil recht lang dauern, nämlich bis etwas mehr als 1 Sekunde.

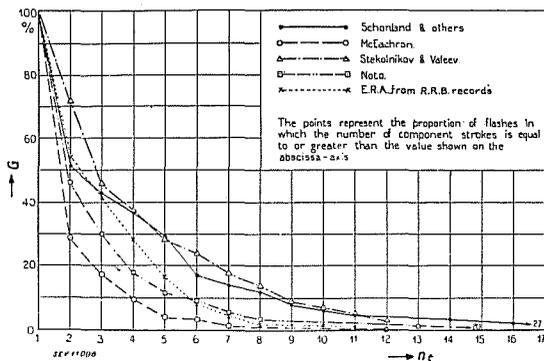


Fig. 2.
Anzahl Teilblitze («strokes» pro Gesamtblitz («flash»)
Abszisse: Anzahl Teilblitze n
Ordinate: Prozentsatz G jener Gesamtblitze, die mindestens so viele Teilblitze aufweisen, wie der Abszissenwert angibt. (Bruce und Golde.)

Fig. 3 zeigt die Häufigkeit der verschiedenen Gesamtblitzdauern. 50 % aller Blitze dauern demnach länger als 0,1 s, aber nur etwa 10 % aller Blitze dauern länger als 0,5 s. Die Zeitdistanz zwischen 2 Teilblitzen streut innert weiten Grenzen, was schon seit langem bekannt ist³⁾. Sie ist am häufigsten von der Grösse 0,01...0,2 s.

Fig. 4 zeigt die Häufigkeit verschiedener Zeitintervalle zwischen Teilblitzen.

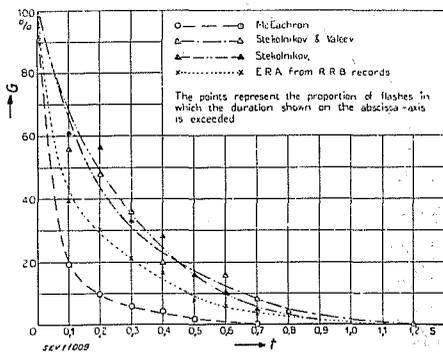


Fig. 3.
Häufigkeit verschiedener Gesamtblitz-Dauern
Abszisse: Dauer des Gesamtblitzes t in Sekunden.
Ordinate: Prozentsatz G jener Gesamtblitze, deren Dauer den Abszissenwert übersteigt (Bruce und Golde).

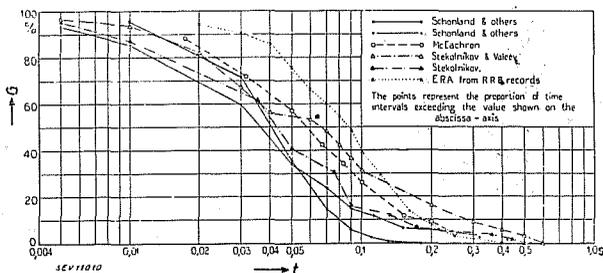


Fig. 4.
Häufigkeit verschiedener Zeitintervalle zwischen Teilblitzen eines Gesamtblitzes
Abszisse: Zeitdistanz t zwischen 2 Teilblitzen.
Ordinate: Prozentsatz G jener Zeitintervalle zwischen 2 Teilblitzen, die den Abszissenbetrag übersteigen (Bruce und Golde).

2. Erforschung der Teilblitze durch Fern- und Nahmessungen

Die Forschung des letzten Jahrzehnts bezieht sich nun ganz besonders auf die genauere Erfassung der Teilblitze. Elektrisch interessiert der Stromverlauf im Teilblitz, da dieser der Urheber der heute so wichtig gewordenen Stossvorgänge ist. Optisch interessiert vor allem die Frage des Entstehens und Vorwachsens jedes Teilblitzes, weil sich daraus ohne Zweifel wertvolle allgemeine physikalische Kenntnisse vom elektrischen Funken ergeben. Die Erforschung der Teilblitze ist mit den mannigfaltigsten optischen, elektrischen und magnetischen Mitteln versucht worden. Dabei ist grundsätzlich immer zu unterscheiden zwischen Fernmessmethoden und Messungen in unmittelbarer Blitznähe (Nahmessungen). Da leider die Einschlagstellen des Blitzes im allgemeinen nicht zum vornherein bekannt sind, kommt zunächst den Fernmessmethoden besondere Bedeutung zu, weil diese erlauben, entfernte Blitze mit einer kleinern Zahl hochwertiger Apparaturen, insbesondere mit dem Kathodenstrahloszillographen, zu messen.

Die elektrische Fernmessung des Blitzstromverlaufs wurde mit einer Art Rahmenantenne und Kathodenstrahloszillographen versucht⁴⁾. Doch wohnen dieser Methode grundsätzliche Schwierigkeiten inne, die nicht zum vornherein behoben werden können.

Als äusserst wertvolle Fernmessmethode hat sich dagegen die optische Methode der ausserordentlich rasch bewegten photographischen Schicht erwiesen, gewissermassen als Weiterentwicklung der Walter-schen bewegten Photoplatte.

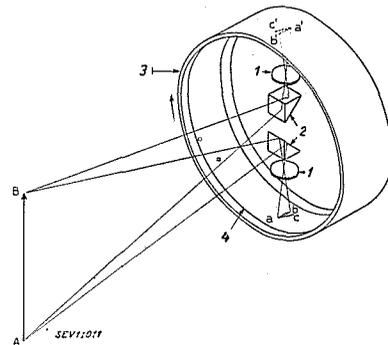


Fig. 5.
Prinzip der Boys-Kamera
(K. B. McEachron.)
1 Linse. 2 Prisma.
3 Rotierende Filmtrommel. 4 Film.

Fig. 5 zeigt schematisch die Wirkungsweise einer vom Londoner Mechaniker Boys⁵⁾ zuerst hergestellten Photokammer. Der Gegenstand AB wird über 2 Prismen auf einen Photofilm abgebildet, der sich an der innern Zylinderfläche der sehr rasch rotierenden Filmtrommel aus Stahl befindet. Die eine Abbildung ist oben, $a' b'$, die andere unten, $a b$. Leuchtet die Linie AB nicht gleichzeitig mit allen ihren Punkten auf, sondern von A nach B fortschreitend, so wird der Punkt A zuerst in a und a' abgebildet, der Punkt B dagegen später, d. h. nicht mehr in b und b' , sondern infolge der raschen Trommeldrehung in c und c' . Wird der so beleuchtete Film aus der Trommel genommen, so bilden

beide Abbildungen ac und $a'c'$ einen Winkel miteinander, aus dem auf die zeitliche Distanz des Aufleuchtens der Punkte A und B geschlossen werden kann. Mit dieser Einrichtung gelang es erstmals Schonland in Südafrika, das Vorwachsen des Teilblitzes photographisch zu erfassen⁶⁾. Fig. 6 zeigt eine der ersten von Schonland und Collens erhaltenen Aufnahmen eines Blitzes.



Fig. 6.
Blitzphotographie
mit Boys-Kamera
(Schonland und
Collens.)

Aus diesem Bild, das zum Beispiel der Linie ac der letzten Figur entspricht, ist deutlich ein schwach leuchtender Leitblitz («Leader Stroke») und ein hellleuchtender Hauptblitz («Main Stroke») zu erkennen. Aus den keilförmigen Zwischenräumen lässt sich der zeitliche Abstand von Leitblitz und Hauptblitz an verschiedenen Punkten und damit die Vorwachsungsgeschwindigkeit des Leitblitzes ausmessen. Aus dem Vergleich des zugehörigen Bildes $a'c'$ ergibt sich, dass die Vorwachsungsgeschwindigkeit des Hauptblitzes sehr gross ist, nämlich bis zirka ein Drittel Lichtgeschwindigkeit, so dass deren Messung schwierig ist. Dagegen wächst der Leitblitz mit mässiger und noch gut messbarer Geschwindigkeit vor. Es ist nun gelungen, diesen vorwachsenden Leitblitz noch weiter aufzulösen, indem mechanisch und optisch das äusserste aus der Boys-Kamera herausgeholt wurde.

Fig. 7 zeigt eine wundervolle Aufnahme vom Vorwachsen eines Teilblitzes⁷⁾.

Man erkennt zunächst links die starke Schwärzung durch den Hauptblitz und den Schleier in Folge des Nachleuchtens. Diesem Blitzkanal geht

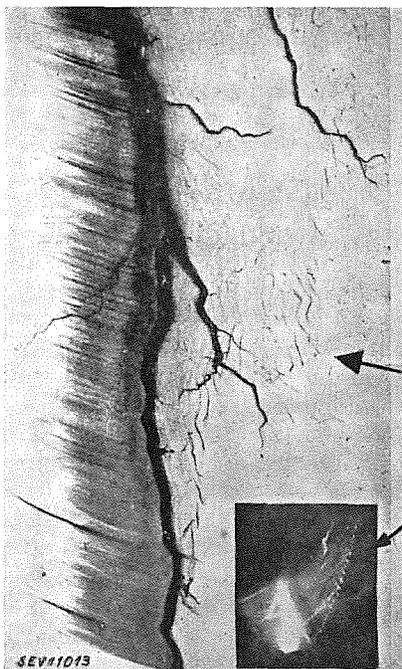


Fig. 7 (links).
Blitzphotographie
mit Boys-Kamera
höchster Auf-
lösung
(Schonland, Malan
und Collens.)

nun rechts ein Teilblitz voran, der, wie sich deutlich zeigt, aus einzelnen «Ruckstufen» besteht, d. h. aus feinen, ruckweise vorwachsenden Funken, deren Ende jeweils stärker leuchtet als ihre mittlere Partie. Diese Enden geben bei kleinerer Zeitauflösung das Bild Fig. 6. Verzweigungen lassen sich bereits im Leitblitz rechts erkennen. Sie werden vom Hauptblitz oft als bestehende leitende Abzweige ausgenützt (Waltersche Aufnahme Fig. 1). Der Leitblitz wächst demnach ruckartig vor, wobei am Ende jeder Ruckstufe das Leuchten stärker wird, da sich offenbar dort starke elektrische Ladungen rückbilden (rekombinieren). Hat der von der Wolke nach unten vorwachsende Leitblitz den Erdboden erreicht, so entsteht der grosse Stromstoss des Hauptblitzes seinerseits als wellenartige Entladung im Plasmaschlauch Erde-Wolke.

Die Messungen mit rasch bewegter Photoschicht in Südafrika sind nun von McEachron erweitert worden durch Untersuchungen am Empire State Building in New York⁴⁾, einem 375 m hohen Wolkenkratzer, der recht oft vom Blitz getroffen wird. So sollen sich in den 3 Jahren 1935...1937 nicht weniger als 68 Einschläge in das Gebäude ereignet haben. Die Wahl eines solchen Objektes zur Blitzbeobachtung hat Vorteile und Nachteile. Ein Vorteil ist in erster Linie die Kenntnis des Einschlagpunktes, so dass der Blitzstrom hier aus der Nähe mit den viel genaueren Methoden der elektrischen Nahmessung untersucht werden kann. So wurde ausser den in der Umgebung ausgesetzten Photoapparaten ein Kathodenstrahloszillograph in den Turm gesetzt, der den Blitzstrom über der Zeit aufzeichnet. Als Nachteil muss bezeichnet werden, dass eine Nadelspitze von fast 400 m Höhe vielleicht die Blitzentstehung selber bereits beeinflusst und damit andere Blitzformen erzeugt als ein niederes Gebäude. Diese Vermutung hat sich denn auch bereits als richtig erwiesen. Die Aufnahmen mit den auf benachbarten Wolkenkratzern aufgestellten Boys-Kammern zeigen nämlich, dass der erste Leitblitz hier nicht von der Wolke zum Turm herunterwächst wie in der Ebene, sondern im Ge-

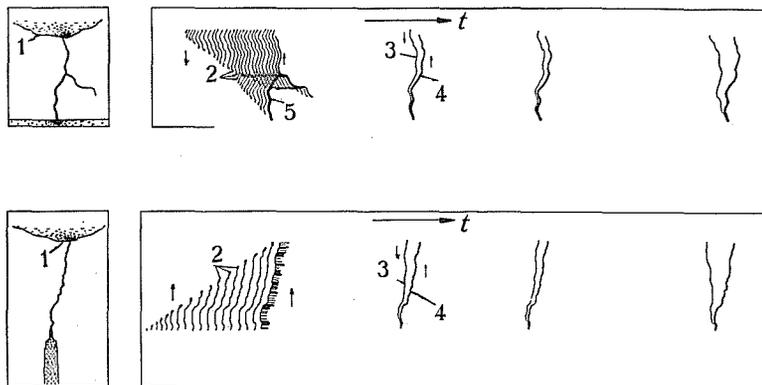


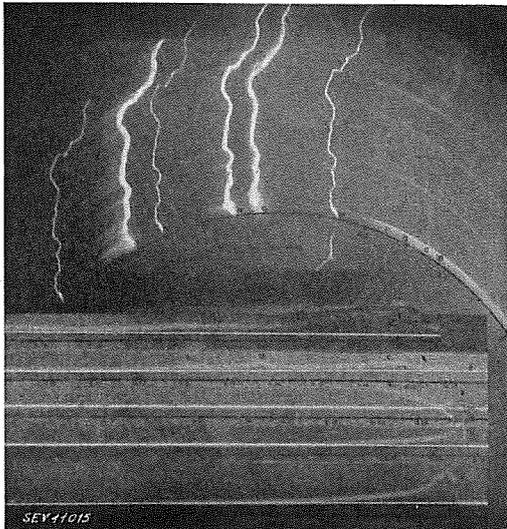
Fig. 8.

Blitzbildung über der Ebene und am hohen Turm
(Wolkenkratzer)

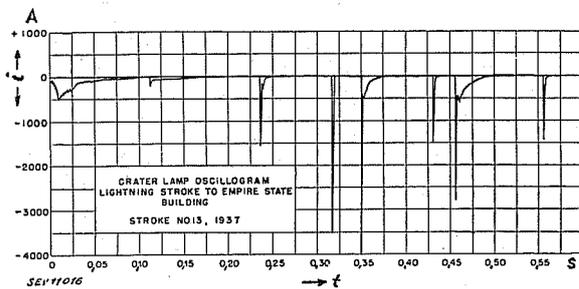
Links: Bild mit ruhender Kamera. Rechts: Bild mit Boys-Kamera (McEachron).
 t Zeit. 1 Negative Ladung. 2 Leuchtende Enden des ersten Leitblitzes. 3 Leitblitz eines Teilblitzes. 4 Hauptblitz eines spätern Teilblitzes. 5 Hauptblitz des ersten Teilblitzes (fehlt bei der Blitzbildung aus der Turmspitze).

genteil von der Turmspitze aus nach oben gegen die meistens negativ geladenen Wolken. Ein ausgeprägter Hauptblitz ist im Anschluss an diesen ersten Leitblitz nicht zu sehen.

Fig. 8 zeigt die Blitzbildung am Turm im Gegensatz zu der von Schonland in der Ebene beobachteten Erscheinung. Der Unterschied besteht jedoch nur beim ersten Teilblitz. Spätere Teilblitze verlaufen am Wolkenkratzer genau gleich wie in der Ebene; sie zeigen einen von der Wolke zum Boden gleichmäßig vorwachsenden Leitblitz mit anschließendem Hauptblitz. Diese optischen Aufnahmen werden nun ergänzt durch die Oszillogramme des Blitzstromes im Wolkenkratzer.



a



b

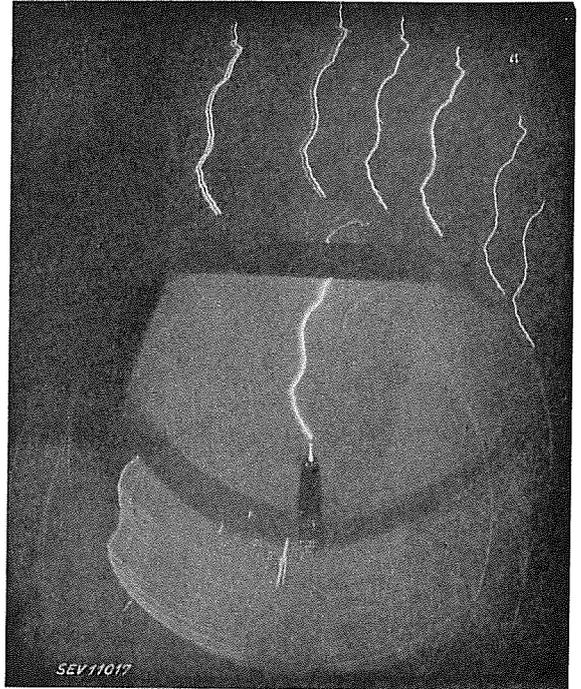
Fig. 9.

Beispiel der Registrierung eines Einschlags in das Empire State Building, beobachtet mit ruhender und bewegter Kamera (a) und mit Oszillograph (b) (Mc Eachron.)

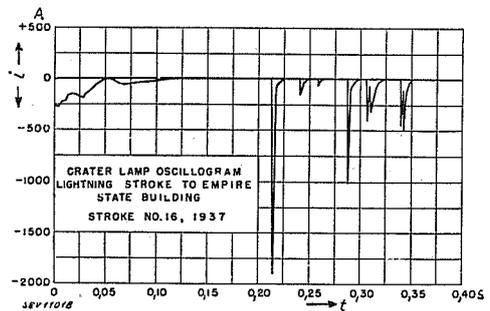
Fig. 9 und 10 geben 2 Beispiele aus der Arbeit McEachrons. In den Bildern ist oben die mit ruhender und langsam bewegter Photoschicht erhaltene Photographie des Blitzeinschlags in die Turmspitze ersichtlich, wobei die bewegte Photoplatte sich kreisförmig um das ruhende Bild herumbewegt. Unten dagegen ist das Oszillogramm des Blitzstromes über einer Zeit von ca. 0,5 s nachgezeichnet. Dieses Oszillogramm ist mit einem Schleifenoszillographen erhalten worden; die Stromspitzen sind demnach nicht maßstäblich richtig. In Fig. 9 ist an Stelle der Blitzphoto mit ruhender Platte eine Kopie von Kathodenstrahloszillogrammen ge-

zeichnet, die allerdings kaum auswertbar sind, so dass die Kenntnis des Stoßstromverlaufs noch sehr lückenhaft ist¹⁴).

Die Bilder zeigen etwas Neues: Dem langdauernden Schleier der optischen Aufnahmen scheint tatsächlich ein langdauernder elektrischer Strom zu entsprechen. Der Maßstab lässt Ströme unter 50 A nicht sicher erkennen, so dass die Frage noch offen



a



b

Fig. 10.

bleibt, ob nicht ein noch kleinerer Strom während des ganzen Zeitintervalles zwischen je 2 Teilblitzen weiter besteht. Auch im übrigen lassen sich alle Einzelheiten des Oszillogramms dem optischen Bild zuordnen. Kleine Ströme von der Dauer 0,1...0,2 s scheinen demnach zwischen Teilblitzen hie und da vorzukommen. Das Vorkommen der gleichen optischen Schleier schon in den Walterschen Bildern deutet darauf hin, dass dies nicht nur beim Einschlag in Wolkenkratzer so ist. Da dem ersten Teilblitz am *Wolkenkratzer* infolge seines Vorwachsens von der Spitze aus kein Hauptblitz folgt und damit der Donner fehlt, scheint ausserdem der donner-

lose Blitz an hohen Spitzen denkbar. Nach Gewitterbeobachtungen in den Alpen scheinen dagegen auf Berggipfeln Blitzschläge mit kurzem Donner verbunden zu sein⁸⁾.

Die grosse Stromdauer könnte auch relativ langdauernde Feldänderungen bei Blitzschlägen erklären, die sich z. B. bei unsern Gewittermessungen

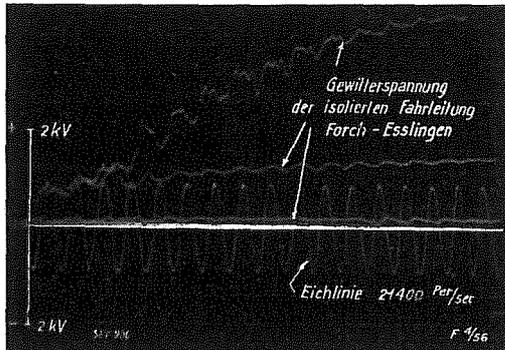


Fig. 11.

Beispiele atmosphärischer Ueberspannungen auf 1200-V-Fahrleitung Spannungsanstieg während ca. 10^{-3} Sekunden (Gewittermessungen 1928).

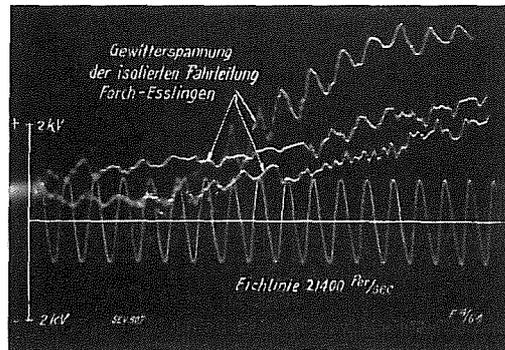


Fig. 12.

auf der Forch im Sommer 1928 schon zeigten, wovon die Fig. 11 und 12 zwei Beispiele geben⁹⁾. Der Spannungsaufbau vollzieht sich hier in einem Zeitintervall von mindestens ca. 10^{-3} s.

Die lange Dauer kleiner «Blitzstromschwänze» mag auch eine Erklärung liefern für den im Volksmund schon lang bekannten Unterschied der «zündenden» und der «kalten» Blitzschläge. Dem Hochspannungstechniker ist sehr gut bekannt, dass Stossströme kurzer Dauer Holz nicht entzünden, sondern nur zersplittern können. Der Stoss entspricht durchaus dem «kalten» Blitz. Dagegen zündet ein Lichtbogen von einigen Zehntelsekunden mit einigen 100 A schon Holz an; der langdauernde kleine Blitzstrom bildet den «zündenden» Blitzschlag.

Der «Schwanz» der Teilblitze erklärt auch gewisse Rätsel in Amateur-Blitzphotographien. Als Beispiel eines zunächst mysteriös aussehenden Blitzes reproduzieren wir hier eine in Ascona im Juli 1937 aufgenommene Blitz-Photographie, die im Blitzkanal viele Helligkeitsunterschiede in Form von lauter parallelen Drittellipsen zeigt (Fig. 13). Die nähere Betrachtung geeigneter Kopien ergibt, dass auch feste Objekte am Ufer gleiche elliptische Schattenkonturen aufweisen, so dass einwandfrei feststeht, dass es sich um eine verwackelte Aufnahme handelt. Da das Objektiv während $1/10$ s geöffnet war, ist aus den beidseitig scharf begrenzten Konturen des Lichtbandes, d. h. den scharfen Enden der Ellipsenbögen, zu schliessen, dass der Blitzstrom länger als $1/10$ s dauerte und dass die Axe des Objektivs mechanisch mit ca. 3 Hz schwang. Dabei handelt es sich um einen Blitzschlag in den Langensee, also ziemlich um das Gegenteil des Einschlagens in eine hohe Turm oder Bergspitze.

Als ausgesprochene Nahmessung ist die *magnetische Messung* der Blitzstrommaxima mit sogenannten Stahlstäbchen anzusehen, die auf Pockels, Töppler und Matthias¹⁰⁾ zurückgeht. Pockels hat beob-

achtet, dass Basaltgestein im Gebirge gelegentlich eine ringförmige Magnetisierung aufweist, und hatte den glücklichen Gedanken, den Blitz als Ursache zu vermuten. Die «Stahlstäbchen» bestehen aus einem Bündel sehr feiner und harter Magnetstahlsträhchen aus Chromstahl oder Kobaltstahl, die durch isolierende Zwischenschichten getrennt



Fig. 13.

Photo eines Blitzschlages in den Langensee bei Ascona, vom 20. Juli 1937.

(Photograph A. Baumann, Wengen; Kopie Pancaldi, Ascona.)

sind. Von einem Stoßstrom werden sie fast gleich stark remanent magnetisiert wie von Gleichstrom. Aus der Remanenz lässt sich auf die magnetisierende Feldstärke und daraus bei bekannter Leiter- und Stäbchenanordnung z. B. auf den Blitzstromanteil in Masten und Erdseilen schliessen. Derart

sind sehr wertvolle Anhaltspunkte für die Grösse des abfliessenden Blitzstroms erhalten worden, wie z. B. Fig. 14 zeigt ¹¹⁾.

Auch diese Methode wurde in den letzten Jahren vor dem Krieg dahin ausgebaut, dass versucht

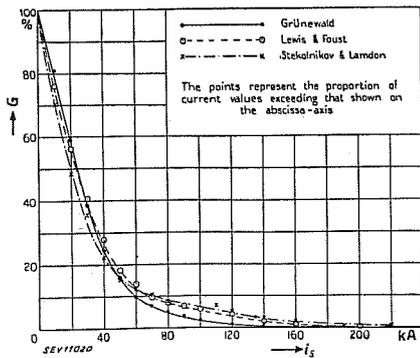


Fig. 14.

Häufigkeit verschieden hoher Blitzströme

Abszisse: Scheitelwert i_s des Blitzstromes.
Ordinate: Prozentsatz G der Blitze mit Strömen, welche den Abszissenwert übersteigen. (Bruce und Golde.)

bildet ist ¹²⁾. Das Instrument ist leider für den massenhaften Einsatz schon wegen der dauernden Rotation weniger geeignet als die billigen und einfachen «Stahlstäbchen», so dass es weniger an Masten von Hochspannungsleitungen, als an Türmen, Hochkaminen usw. eingebaut wird, wo die Wahrscheinlichkeit von Blitzeinschlägen grösser ist. Die einzelnen Stahlelemente messen den Höchstwert des Blitzstroms während der Zeit, in der das Element zwischen den Polen hindurchstreicht. Diese Zeit beträgt für ein Element bei raschster Scheibenrotation ca. 40 μ s. Einzelheiten innert dieser Zeitdauer können mit dieser Methode aus mechanischen Gründen nicht erfasst werden.

Fig. 16 zeigt einige derart gewonnene «Fulchronogramme» von Blitzströmen.

3. Einige Blitzdaten und Ausblick

Zum Schluss mögen hier noch einige der wichtigsten elektrischen Daten des Blitzes angeführt werden, wie sich diese nach Sichtung der verfügbaren Erkenntnisse heute etwa ergeben. Eine solche

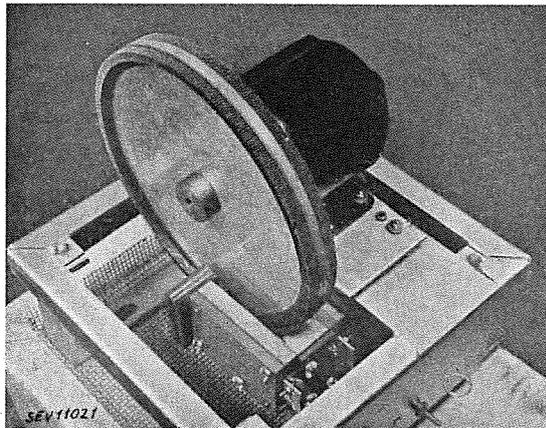


Fig. 15a.

Photo und Prinzipbild des «Fulchronographen» der Westinghouse El. & Man. Co.

1 Magnete am Radumfang, 2 Bewegungsrichtung der Magnete, 3 Magnetische Kraftlinie.

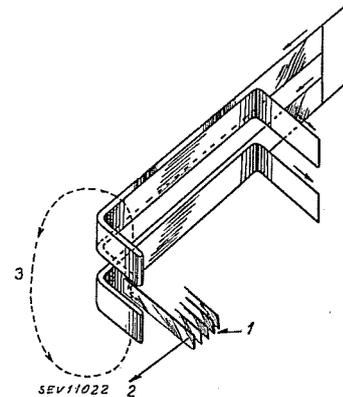


Fig. 15b.

wurde, den Stromverlauf über der Zeit dadurch festzuhalten, dass eine Menge feinsten «Stahlstäbchen» am Umfang einer möglichst rasch rotierenden Scheibe befestigt und so zwischen 2 vom Blitzstrom erregten Polen hindurchgeführt werden. So entstand der von der Westinghouse El. & Man. Co. entwickelte «Fulchronograph», der in Fig. 15 abge-

Sichtung ist von C. E. R. Bruce und R. M. Golde bei der ERA in London in kritischer und ausserordentlich gründlicher Weise vorgenommen worden ²⁾. Danach können ausser den in den Fig. 2, 3, 4 und 14 bereits gezeigten Grössen folgende Werte für Spannung, Ladung und Energie des Blitzes als Mittelwerte betrachtet werden:

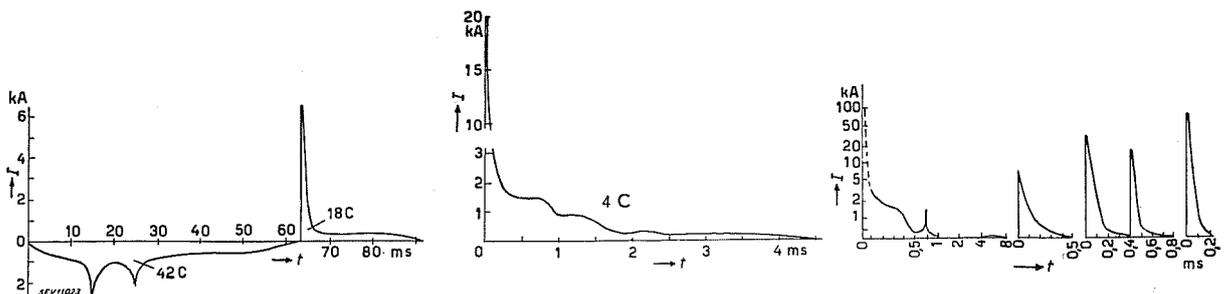


Fig. 16.

Beispiele von «Fulchronogrammen» von Blitzschlägen in Türme und Hochkamine (Wagner und Mc. Cann.)

- | | | |
|---|---|---|
| 1. Luftfeldstärke vor Blitzentstehung | { | im homogenen Luftfeld ca. 35 kV/m,
an ausgeprägten, hohen Spitzen
(Berggipfel, Wolkenkratzer usw.)
bis Durchschlagsfeldstärke, d. h.
500 kV/m |
| 2. Mittlere Spannung zwischen Gewitterwolken und Erde ca. 50...80 Millionen V | | |
| 3. Mittlere Ladung Q | { | eines Gesamtblitzes (flash) ca. 30 C
eines Teilblitzes (stroke) ca. 10 C |
| 4. Mittlere Energie eines Gesamtblitzes ca. 250 kWh. | | |

Ein besonderes Wort mag noch der *Feldstärke* vor dem Beginn des Blitzes gewidmet werden. Bekanntlich braucht es zum Durchschlag der atmosphärischen Luft üblicher Dichte zwischen Spitzen oder Stäben eine mittlere Feldstärke von ca. 500 kV/m. Trotzdem ist es nicht gelungen, Feldstärken von mehr als ca. 35 kV/m über dem Erdboden zuverlässig nachzuweisen. Dabei sehen wir absichtlich von frühern unzuverlässigen Messungen ab, welche die Existenz von Feldstärken bis über 100 kV/m behaupteten. In der Regel können am Erdboden auch bei Gewittern keine höhern Feldstärken als ca. 10 kV/m gemessen werden, mit dem obern Grenzwert von ca. 35 kV/m. Das 375 m hohe Empire State Building schliesst somit eine Spannung von maximal ca. $375 \times 35\,000 \cong 13$ Mill. V kurz. Die Feldstärkekonzentration am Kopf des Wolkenkratzers kann somit ohne weiteres auf einer Strecke von mehreren Metern das 10...20fache der mittlern Feldstärke ausmachen, so dass dort das zur Einleitung eines Luftdurchschlags nötige Feld verfügbar ist. Wächst der Funke aus der Turmspitze gegen die Wolke vor, so schiebt sich das Gefälle mit der vorwachsenden Funkenspitze vor und der Funke kommt dadurch entsprechend den klassischen Anschauungen Töplers oder den heute genauern Kenntnissen auf Grund der Fig. 7 ins Vorwachsen («Gleiten»)¹³⁾. So ist erklärlich, dass zum Durchschlag von mehreren km Luftstrecke doch nur Spannungen nötig sind, die einen kleinen Bruchteil des Wertes ausmachen, der sich aus der Extrapolation der Werte für Spitzenfunkentrecken ergeben würde. Diese Tatsache birgt für den experimentellen Hochspannungstechniker ein interessantes Problem: Bei Spannungen der Grössenordnung 20 Millionen V ist irgendwo ein ausgeprägter Knick der Kurve Schlagweite/Spannung zu erwarten, derart, dass plötzlich die Schlagweite viel grösser zu werden beginnt, als den heute bekannten Schlagweitengesetzen in Luft entspricht.

Es ist nicht möglich, hier in Kürze auf andere Folgerungen einzugehen, die sich aus der Erkenntnis der Art des Vorwachsens der Blitzfunken ergeben. Sicher ist, dass diese Erkenntnisse unser physikalisches Bild vom elektrischen Funken in ausserordentlicher Weise erweitern werden.

Wegen der grundsätzlichen Bedeutung des Blitzstromverlaufs für alle Arten Blitzschutzfragen, ob sie sich nun auf Gebäude oder auf elektrische Lei-

tungen usw. beziehen, scheint es ausserordentlich wertvoll, den Blitzstromverlauf unter möglichst natürlichen Verhältnissen auszumessen und insbesondere den Zusammenhang der einzelnen Teilblitze festzustellen. Diese Möglichkeit scheint uns in erster Linie auf Bergen zu bestehen, weil dort einerseits die Wahrscheinlichkeit von Einschlägen grösser ist als in der Ebene, und weil andererseits natürlichere topographische Verhältnisse vorliegen als bei Wolkenkratzern. Da in der Schweiz nach unsern Erfahrungen die meisten Blitzstörungen im Tessin vorkommen, scheinen solche Versuche am ehesten auf einem Tessiner-Berg, z. B. am San Salvatore, Erfolg zu versprechen. Es sind dort mehrere Blitzeinschläge in den Gipfel einwandfrei nachgewiesen; andererseits ist die Zufahrt für Messapparate sehr günstig. Es besteht daher die Absicht, mit einer Registrierapparatur den Stromverlauf des Gesamtblitzes beim Einschlag in einen Blitzableiter dort festzuhalten. Erweist sich die Gegend für solche Messungen als günstig, so ist ein Ausbau mit genauern Messapparaten zur Ausmessung der Teilblitze vorgesehen. Die Einrichtung ist zurzeit im Bau; sie soll in ihrem ersten Ausbau im Frühling des Jahres 1943 eingebaut und in Betrieb gesetzt werden.

Literaturnachweis

- 1) B. Walter, Ann. der Physik, Bd. 10 (1903), Bd. 18 (1905), Bd. 19 (1906); Physik. Zeitschrift, Bde. 13 und 14 (1913), Bd. 19 (1918).
 - 2) C. E. R. Bruce und R. H. Golde, Technical Report S/T 18 der ERA London, 1940, siehe auch: Surge Phenomena, A seven years research for the Central El. Board (1933...1940), London.
 - 3) Oden N. Rood. Amer. Inst. of Science and Arts, 1873. — Schmidt, ETZ, 1905.
 - 4) H. Norinder, J. Franklin Inst., 1935; ETZ, 1938; CIGRE, 1939, Nr. 303.
 - 5) K. B. McEachron, Lightning to the Empire State Building, J. Franklin Inst., Vol. 227 (1939), Nr. 2.
 - 6) B. F. J. Schonland und H. Collens, Nature, Vol. 132 (1933); Proc. Royal Soc. A 143 (1934).
 - 7) B. F. J. Schonland, D. J. Malan und H. Collens, Proc. Royal Soc. A 152 (1935); Proc. Royal Soc. (1937 und 1938).
 - 8) H. Gertsch, Bergfahrten im Dauphiné, Die Alpen (1931).
 - 9) K. Berger, Diss., Zürich 1930, und Bull. SEV 1929, Nr. 11.
 - 10) F. Pockels, Meteorol. Zeitschrift 15, 1898. — M. Töpler, Gewitter und Blitze, Vortrag, Dresdner Elektr. Verein, 1917. — A. Matthias, Berichte der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen, Berlin.
 - 11) Grünwald, Berichte an die Conf. des Grands Réseaux, Paris, 1937, Nr. 316; 1939, Nr. 323. — A. Matthias, El. Wirtschaft, 1927 und 1929. — Bruce und Golde, siehe 2).
 - 12) C. F. Wagner und G. D. McCann, Lightning Phenomena, El. Ing., Aug., Sept., Okt., 1941.
 - 13) M. Töpler, Ann. Physik, 1917, 53; Phys. Zeitsch., 1921, 22; A. f. E., 1921, 10; Hescho-Mitt., 1926, 25.
 - 14) Ferner: St. Szpór, Bull. SEV 1942, Nr. 1.
 - 15) J. Stekolnikov und Ch. Valeev, Bericht an die CIGRE, Paris 1939, Nr. 330.
- Weitere Literaturhinweise finden sich z. B. unter 2), 5), 9) und 12).

Gewittermeldedienst und Gewitterbeobachtungen bei den Nordostschweizerischen Kraftwerken A.-G., Baden

Referat, gehalten an der 9. Mitgliederversammlung der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen
(FKH) am 18. Juni 1942 in Zürich,

von W. Zobrist, Baden

551.51

Es wird über Zweck und Organisation des Gewittermeldedienstes der NOK berichtet. Der Dienst besteht seit 10 Jahren. Die Auswertung der sorgfältigen Beobachtungen zeigt, dass die Gewitterzüge bestimmten Gesetzmässigkeiten unterliegen. Einstweilen bilden die Gewitterstörungen noch eine ernste Sorge der Betriebsleiter. Man darf aber hoffen, dass die neuen Methoden und Apparate zum Schutz der elektrischen Anlagen gegen atmosphärische Ueberspannungen zusammen mit dem Wetterdienst die Blitzschäden auf ein für den Betrieb erträgliches Mass reduzieren.

L'auteur expose l'organisation et le but du service de signalisation des perturbations atmosphériques des NOK, service qui fonctionne depuis 10 ans. L'appréciation des observations faites prouve que le chemin suivi par les perturbations orageuses obéit à certaines lois. Actuellement, les perturbations orageuses constituent encore un grand souci pour le chef d'exploitation. On peut toutefois espérer que les nouveaux appareils de protection des installations électrique contre les surtensions d'origine atmosphérique, avec le concours des services météorologiques, permettront de limiter à un degré supportable les dégâts causés par la foudre.

Im Anschluss an den Vortrag von Herrn Prof. Dr. Lugeon¹⁾ möchte ich einige Erfahrungen aus dem Gebiet des Gewitter-Beobachtungs- und Meldedienstes, der seit einer Reihe von Jahren bei den NOK geführt wird, mitteilen.

Die Betriebsstörungen atmosphärischen Ursprungs bilden seit dem Bestehen der elektrischen Energieübertragung mit Freileitungen eine stete Sorge der Betriebsleiter. Die Störungen, verursacht durch Gewitter, machen bei Ueberlandwerken einen wesentlichen Prozentsatz aller Störungen aus. Beispielsweise betragen die Gewitterstörungen im NOK-Netz, bezogen auf die Gesamtzahl der Störungen im Mittel der letzten 10 Jahre 41 %. Schon diese Feststellung macht es erklärlich, dass die Betriebsleiter dem wichtigsten Störungsherd, den Gewittern, ihre ganz besondere Aufmerksamkeit zuwenden.

Wesentlich für die Anfälligkeit von Gewitterstörungen eines Uebertragungsnetzes sind die folgenden Faktoren:

¹⁾ Siehe Seite 29.

1. Die geographische Lage des Leitungsnetzes.
2. Die Dichte des Netzes.
3. Die räumliche Ausdehnung.

Die Betriebserfahrungen haben die NOK bereits vor 10 Jahren veranlasst, einen ausgedehnten Gewitter-Beobachtungs- und Melde-Dienst einzurichten.

Die Aufgabe dieses Gewitterdienstes ist die rechtzeitige Orientierung der zentralen Betriebsleitung über drohende oder heranziehende Gewitter durch im Netz verteilte Beobachtungsposten. Diese wertet die jeweils eingelaufenen Meldungen sofort aus und benachrichtigt, sofern Gewitterstörungen im Netz zu erwarten sind, alle wichtigen Netzpunkte ihres Versorgungsgebietes. Ferner ordnet sie die ihr als nötig erscheinenden Sicherheitsmassnahmen im ganzen Netzgebiet an. Durch die Meldung über eventuell zu erwartende Gewitterstörungen an die Netzpunkte wird erreicht, dass das in Frage kommende Anlagepersonal während der Dauer der Störungsgefahr unbedingt auf seinem Posten verbleibt und die volle Aufmerksamkeit den ihm zugewiese-

nen Betriebsaufgaben widmet. Ferner ist die mit der Gefahrenmeldung verbundene gute psychologische Wirkung auf das Anlagepersonal keineswegs zu unterschätzen. Beim Eintritt einer erwarteten Gewitterstörung ist durch die erfolgte Vormeldung das Ueberraschungsmoment bereits gebrochen, und das Personal führt die ihm zukommenden Funktionen für die Störungsbehebung mit grösserer Ueberlegung und ruhig aus.

Unter die vorher erwähnten betrieblichen Sicherheitsmassnahmen fallen im wesentlichen die folgenden Vorkehrungen:

1. Inbetriebnahme von Reservemaschinen und Aufteilung der Netzlast auf die einzelnen Werkgruppen. Gleichmässige Aufteilung der Werkbelastung auf die einzelnen Maschinen. Durch diese Massnahmen wird die Stabilität der verschiedenen Werkgruppen sowie der einzelnen Maschinen unter sich wesentlich vergrössert.

2. Durchführung von Netzauftrennungen zwecks Lokalisierung der Betriebsstörung auf kleinere Netzgebiete, sofern dies mit relativ einfachen Schaltmassnahmen und mit wirtschaftlich tragbaren Mitteln möglich ist.

3. Auf Pikett stellen von Leitungspersonal mit Reparaturwerkzeug, Reservematerial und Transportfahrzeugen für Leitungskontrollen und Reparaturarbeiten.

Das NOK-Netz erstreckt sich in der West-Ost-Richtung von Basel bis ins Rheintal, in der Nord-Süd-Richtung von Schaffhausen bis in die Vor-alpen (Linie Zug-Glarnerland). Die einfache Leitungslänge des betriebsmässig zugeschalteten 50-kV-Netzes beträgt 1200 km, diejenige des 150-kV-Netzes 450 km. Die geographische Lage der Gewitterbeobachtungspunkte, sowie die Verteilung derselben im NOK-Versorgungsgebiet ist aus Fig. 1 er-



Nr. 6103 BRB 3. 10.39 (Fig. 1, 2, 3, 4, 7).

Fig. 1.

Verteilung der Gewittermelde-Stationen

sichtlich. Die beiden am weitesten nach Westen vorgeschobenen Meldeposten sind südlich des Jura in Olten die «ATEL» und nördlich des Jura die Oberrheinischen Kraftwerke in Mülhausen. Beide Beobachtungspunkte liegen in markanten Gewittereinzugsstrassen, und deren Meldungen sind uns deshalb äusserst wertvoll.

Beobachtungen über Gewitterbildungen oder heranziehende Gewitter werden von den einzelnen Beobachtungsstellen aus jeweils telephonisch an unsere zentrale Betriebsleitung gemeldet und nachträglich auf speziellen Gewittermeldeformularen schriftlich bestätigt. Diese Formulare werden gesammelt, chronologisch eingereiht und bilden einen Bestandteil der Störungsakten.

Die bei der zentralen Betriebsleitung eingegangenen Gewittermeldungen werden sofort unter Zeitnotierung in eine entsprechende Gewitterkarte eingetragen. Nach Eintreffen einer zweiten oder drit-



Fig. 2.

Gewitterzug am 24. Mai 1933

ten Meldung können bereits die Gewitterfront, deren Zugrichtung und die Zugsgeschwindigkeit einigermassen ermittelt und somit die Zeit des Eintrittes des Gewitters in das NOK-Versorgungsgebiet angenähert bestimmt werden. Fig. 2 zeigt einen derartigen Gewitterzug. Durch Eintragung der laufenden Gewittermeldungen in eine topographische Karte lassen sich die Zugrichtung sowie die Zugsgeschwindigkeit der Gewitterfront dauernd verfolgen. Die im Gewitterzug eingetragenen Pfeile zeigen einerseits die Zugrichtung der Gewitterfront und bezeichnen andererseits die Gebiete der grössten Gewitterintensität.

Zahlreiche Untersuchungen haben ergeben, dass die Frontbreiten der Gewitterzüge sehr verschieden sind. Es konnten Sommer-Gewitter beobachtet werden mit Frontbreiten von 15...20 km, während andererseits Frontbreiten bis 200 km, welche vom Genfersee längs des Jura bis zum Bodensee reichen, keine Seltenheit darstellen. Die Wintergewitter, die in ihrer Entstehungsart ebenfalls zu den Frontgewittern gezählt werden, haben vielfach Frontbreiten von nur einigen km.

Ebenso verschieden wie die Frontbreiten sind auch die Zugsgeschwindigkeiten der Gewitter. Diese variieren in den Grenzen von 10...80 km/h. Die grössere Zahl der Gewitter bewegt sich aber mit einer mittleren Zugsgeschwindigkeit von 30...40 km/h.

Aus langjährigen Beobachtungen und Auswertungen der Gewitterzüge zeichnen sich für den östlichen Teil des schweizerischen Mittellandes zwei ausgesprochene Hauptgewitterzugs-Richtungen ab. Die eine davon verläuft von SW nach NE, die andere von W nach E (Fig. 3).

Nach den Untersuchungen von Hess, welcher sich eingehend mit den Problemen der Gewitterzüge befasst hat und welche mit unsern eigenen Beobachtungen weitgehend übereinstimmen, herrschen in der SW-NE-Richtung vier ausgeprägte Gewitterstrassen vor. Die westlichste davon verläuft quer über den Jura nach dem Schwarzwald, die zweite über das mittlere Mittelland, über das Räfzerfeld in das Gebiet des hohen Randen, die dritte vom mittleren Voralpenland durch das Zürcher



Fig. 3.
Gewitterzugsrichtungen und Gewitterstrassen

Amt und Weinland nach der untern Bodenseegegend und die vierte vom Schwyzer Gebiet über die obere Zürichseegegend nach dem Bodenseegebiet.

Die westöstliche Zugsrichtung umfasst 3 ausgesprochene Gewitterstrassen, von denen die nördlichste nördlich des Jura das Baslerbiet mit der untern Bodenseegegend verbindet. Die mittlere verläuft längs der Südseite des Jura, durchquert das Seetal und das Zürcher Oberland und reicht mit den östlichen Ausläufern bis ins Appenzellerland. Die südlichste Strasse durchzieht das Voralpenland, die March und erstreckt sich bis ins mittlere Rheintal.

Die Häufigkeit der Gewitterzüge in den beiden Zugsrichtungen und auf den einzelnen Zugstrassen ist starken Wechsell unterworfen. Die Zugrichtung eines Gewitters SW-NE oder W-E ist abhängig von der jeweils herrschenden kontinentalen Luftdruckverteilung, während andererseits der Zug längs der verschiedenen Gewitterstrassen durch die topographischen und hydrographischen Verhältnisse beeinflusst wird.

Die jährliche Gewitterhäufigkeit ist recht verschieden. Man kennt gewitterreiche und gewitter-

arme Jahre, was jedem Betriebsleiter aus eigener Erfahrung bekannt ist. Eine Periodizität dieser Erscheinung ist bis heute nicht feststellbar. Es treten nach unsern Beobachtungen, je nach der geographischen Lage des Beobachtungspunktes, jährliche Häufigkeitsschwankungen im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 3 auf, so dass erst die langjährigen Auswertun-

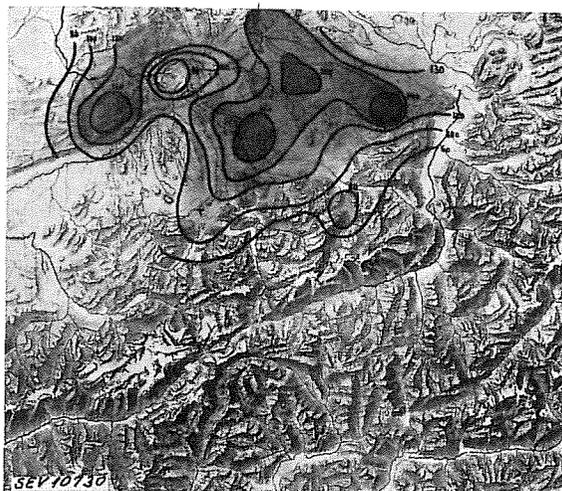


Fig. 4.
Oertliche Verteilung der Gewitterhäufigkeit
9jährige Summation

gen ein ungefähres Bild über die örtliche Verteilung der Gewitterhäufigkeit vermitteln.

Fig. 4 zeigt in Reliefdarstellung die angenäherte Verteilung der Gewitterhäufigkeit im Versorgungsgebiet der NOK. Die Karte wurde einer Arbeit von Hess aus dem Buche «Klima der Schweiz»²⁾ entnommen. Die durch unsere Ermittlungen gefunde-

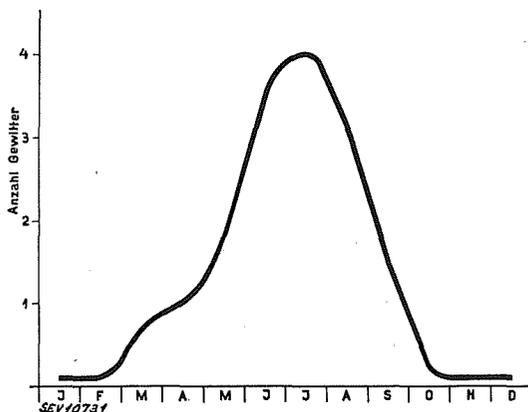


Fig. 5.
Gewitterhäufigkeit Netzpunkt Beznau
10jähriges Mittel

nen Werte stimmen mit den Angaben von Hess gut überein. Die Karte zeigt die Gebiete grösster Gewitterhäufigkeit. Das eine Maximum liegt westlich Aarau, ein weiteres über dem mittleren Zürichsee,

²⁾ Erschienen 1909 im Verlag Huber & Co., Frauenfeld.

das östlich über den Greifensee hinaus reicht. Ferner liegt ein deutliches Maximum im Thurtal bei Frauenfeld und eines, das östlichste, im Raume Wil-St. Gallen. Durch Vergleich von Fig. 3 mit Fig. 4 lassen sich die Gebiete besonderer Gewitterhäufigkeit als die Kreuzungspunkte der verschiedenen Gewitterstrassen der beiden Hauptzugsrichtungen einwandfrei feststellen.

Die mittlere jährliche Gewitterhäufigkeit im NOK-Versorgungsgebiet beträgt ca. 14, die maximale ca. 18 und die minimale ca. 9.

Fig. 5 zeigt die Verteilung der Gewitterhäufigkeit auf die einzelnen Monate des Jahres. Die Kurve wurde aus 10jährigen Mittelwerten gebildet. Die Winter-Gewitter sind relativ selten, die Monate März bis Mai zeigen stetig steigende Gewitterzahlen, während die eigentlichen Gewittermonate Juni bis August die maximale Gewitterhäufigkeit aufweisen. Das langjährige Maximum verzeichnet der Monat Juli. Die jährliche Gewitterhäufigkeit im betrachteten Zeitraum unterliegt Schwankungen im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 3, während die Häufigkeit in den eigentlichen Gewittermonaten der verschiedenen Jahre sogar im Verhältnis 1 : 6 streut.

Analog der Gewitterhäufigkeit verläuft die Häufigkeitskurve der Gewitterstörungen (Fig. 6, Kurve a). In den Wintermonaten sind die Gewitterstörungen, entsprechend der geringen Gewittertätigkeit, ziemlich selten. Das Maximum fällt, wie zu erwarten war, wiederum in den Monat Juli. Besonderes Interesse verdient die Kurve b von Fig. 6. Sie stellt das Verhältnis zwischen der Zahl der Gewitterstörungen und der Zahl der aufgetretenen

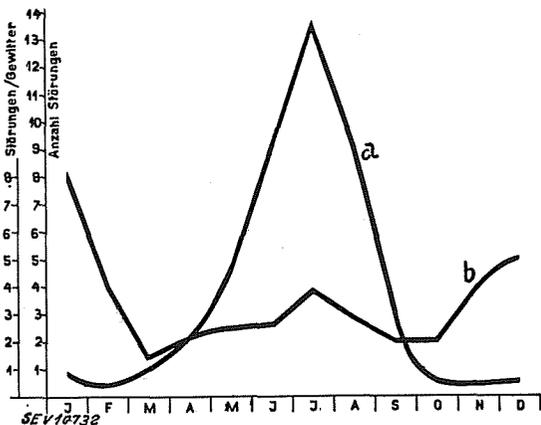


Fig. 6.
Häufigkeit der Gewitterstörungen im Netz NOK
10jähriges Mittel

Gewitter dar. In den Sommermonaten liegt das Verhältnis bei ca. 2,5 und steigt in den Wintermonaten auf 6, resp. 8. Die hohe relative Störungszahl der Wintergewitter zeigt, wie dies die Betriebserfahrungen zur Genüge bewiesen haben, dass die Winter-Gewitter, die im allgemeinen sehr tief liegen, oft zu überraschenden und schweren Betriebsstörungen führen. Andererseits dagegen können in den

Sommermonaten hochgelegene Frontgewitter beobachtet werden, die trotz intensiver elektrischer Entladungen keine einzige Betriebsstörung verursachen.

In Fig. 7 sind sämtliche Blitzeinschläge, welche während der letzten 5 Jahren in unserm Leitungsnetz einwandfrei festgestellt werden konnten, durch Blitzpfeile eingetragen. Es sind darin die vorhin erwähnten Kreuzungspunkte der Gewitterstrassen



Fig. 7.
Blitzeinschlagstellen, 5jährige Summation

als Gebiete besonders häufiger Blitzeinschlagstellen deutlich zu erkennen. Es sind dies im besondern die Gegend um Schaffhausen gegen das Rafzerfeld, die Gebiete um Frauenfeld, bei Wil (St. Gallen), bei Uznach und westlich Seebach. Ferner treten noch weitere, durch häufige Blitzeinschläge gekennzeichnete Gebiete in Erscheinung, so z. B. die Gegend südlich der Beznau längs der Aare und der Reuss bis hinunter ins Seetal, dann das Gebiet um Affoltern a. A. und die Gegend südlich Töss. Im ersten Gebiet sind besondere hydrographische Verhältnisse wie Flussläufe und Grundwasserseen massgebend beteiligt, bei den Blitzeinschlaggebieten bei Affoltern a. A. und bei Töss liegen hingegen ausgesprochene Gewitterstaugebiete vor, verursacht einerseits durch die Albiskette, andererseits durch die Brüttenerhöhe und das untere Tösstal. Das markanteste Blitzeinschlaggebiet aber liegt in der Gegend am obern Zürichsee im Raume Uznach-Tuggen. Hier sind, abgesehen vom Gewitterstrassen-Kreuzungspunkt, noch besondere hydrologische und topographische Verhältnisse ausschlaggebend, wie See- und Sumpfgebiet, Gewitterstaugebiet und Endpunkt von Gewitterzügen.

Es könnten noch viele Sonderfälle festgestellt werden, welche vorerst als ausserhalb jeder Regel anzusprechen wären. Bei eingehender Beobachtung und unter Berücksichtigung der Vielgestaltigkeit der jeweiligen örtlichen topographischen und hydrographischen Verhältnisse lassen sich auch solche Einzelfälle durchweg in das System der Gewitterzüge einordnen.

Gewittererfahrungen im Tessin

Von Th. Zambetti, Baden

621.316.933

Aus einer früheren Zeit, da Blitzschutzeinrichtungen benützt wurden, die oft mehr schaden als nützen, wird über Gewittererfahrungen aus dem Tessin berichtet. Sie sind besonders interessant, weil nirgends in der Schweiz so intensive Gewitter auftreten wie im Gebiet des Tessins.

L'auteur fournit des renseignements sur les expériences faites au cours des orages dans le Canton du Tessin, à une époque où les dispositifs de protection contre la foudre étaient plus dangereux qu'utiles. L'intérêt de cette communication réside dans le fait que c'est dans cette contrée de la Suisse que les orages sont les plus violents et les plus fréquents.

Die Betriebserfahrungen über Gewitterstörungen, die ich als Betriebsleiter eines Stadt- und Ueberlandwerkes im Tessin gesammelt habe, umfassen die Jahre 1921...1929, fallen also in die Zeit, wo die Gewitterforschung noch in den Kinderschuhen steckte.

Der Tessin ist nach meinen Erfahrungen in unserem Lande die Zone der stärksten Gewitter und wird auch in bezug auf deren Häufigkeit von keiner andern Landesgegend übertroffen. Die eigentliche Gewitterzeit beginnt anfangs April und dauert bis Ende Oktober. In dieser Zeitperiode kommen durchschnittlich 60...70 mittlere bis starke Gewitter vor, und zwar teilweise von einer solchen Wucht bezüglich Blitzentladungen und Regenfällen, wie wir es diessseits des Gotthards kaum jemals erleben.

Es ist selbstverständlich, dass die elektrischen Anlagen zufolge der direkten und indirekten Blitzeinwirkungen sehr grossen Ueberbeanspruchungen unterworfen sind, und es war oft keine Leichtigkeit, während der Gewitterzeit den Betrieb aufrecht zu erhalten. Störungen von stunden-, ja halbtage langer Dauer waren damals abwechslungsweise auf allen Netzteilen an der Tagesordnung.

Die hauptsächlichsten Störungen waren der Einwirkung direkter Blitzschläge in die Leitungen zuzuschreiben, und zwar wurden sehr oft die Einführungsisolatoren der Transformatorstationen zerstört. Bei den Freileitungen litten am meisten die Stangenschalter, und zwar hauptsächlich diejenigen, bei denen nach Vorschrift die eisernen Schaltermastgestelle geerdet waren. Diejenigen Schalter, bei denen nur das Schaltermastgestänge an Erde gelegt war, also dort, wo zwischen diesem und dem

eigentlichen Schaltermastgestell noch die Holzstange als Zwischenisolation einbezogen war, waren die Störungen geringer.

Sehr oft zerstört wurden die Durchführungsisolatoren an Transformatoren und Oelschaltern, trotzdem dies sicherlich nicht die schwächsten Anlagenteile waren. Interessanterweise ist sozusagen nie ein Oeltransformator zufolge Spulendefektes beschädigt worden, wogegen Spannungswandler in Luft, oder mit Masseisolation, sehr oft verbrannten. Einer der schwächsten Anlagenteile waren die Spulen der auf den Oelschaltern aufmontierten Hauptstromzeitrelais, speziell kleinerer Stromstärke, die trotz parallelgeschalteten Schutzwiderstandes oft zerstört wurden.

Direkte Blitzeinschläge in die Leitungsnetze kamen sehr häufig vor und hatten dann katastrophale Folgen, indem meistens mehrere Stangen so demoliert wurden, dass gewöhnlich nur noch der Kopf der Stange an den Drähten hing und die Holzsplitter 30...40 m weit weggeschleudert waren. Einer der interessantesten direkten Blitzschläge, der es verdient hätte, photographisch festgehalten zu werden, ereignete sich auf einer aus einer Unterstation abgehenden 3,6-kV-Leitung. Auf eine Länge von über einem Kilometer waren etwa 15 Stangen vollständig zersplittert, aber interessanterweise immer nur jede zweite. Die dazwischen stehen gebliebenen Stangen hatten hingegen auf ihrer ganzen Länge eine spiralförmige, wie mit einem scharfen Werkzeug herausgeschnittene Einkerbung, die am Stangenfuss in einem armdicken, ca. 80 cm tiefen Loch im Erdreich endigte. Die vollständig zersplitterten Stangen zeigten überdies sehr schön, dass der Ueberschlag im Moment des Blitzeinschlags

nicht bis zum Stangenfuss verlief, sondern nur bis etwa 80 cm über dem Erdreich, denn die Splitter des Stangenunterteils begannen erst auf dieser Höhe und hatten die Form eines umgestülpten Regenschirms; der Stangenkopf, der an den Drähten hing, zeigte hingegen das Gegenbild. In der nur 300 m von der Einschlagstelle gelegenen Unterstation war die Zerstörung eines Wurzableiters der einzige Schaden.

Die schwächsten Anlageteile waren die in den Netzen eingebauten Blitzschutzapparate. Sie waren recht primitiv, entsprachen aber dem damaligen Stand der Technik, hätten aber zweckmässigerweise einen andern Namen verdient, denn sie waren die hauptsächlichsten Störherde im Netz und die Sorgenkinder der Betriebsleiter.

Die eingebauten Blitzschutzapparate waren verschiedenster Art. Das Primitivste, das ich bei meinem Dienstantritt vorfand, waren die auf Stangen montierten und ohne Zwischenschaltung irgendeines Widerstandes an Erde gelegten Hörnerableiter. Im Kraftwerk und in der Haupt-Unterstation waren Grimoldiapparate montiert. Es waren dies Wurzableiter mit angebauten einfachen Drosselspulen, bestehend aus einigen Drahtwindungen. Sie waren unmittelbar hinter der Einführung in die Station eingebaut. In der Unterstation Monte Ceneri, die im Jahre 1919 neu erstellt wurde, waren pro Phase der beiden durchgehenden 25-kV-Hauptspeiseleitungen ungefähr 150 Wurzrollen eingebaut, die über zwei in Serie geschaltete Wasserwiderstände an Erde lagen. Bei Gewittern war es herrlich, wenn auch etwas lebensgefährlich, die 4...5 m lange Reihe von Wurzableitern zu beobachten. Vorteilhaft war ein eiliger Rückzug, denn sehr oft

kam es vor, dass alle Rollen plötzlich in der Schaltstation herumflogen.

In drei Unterstationen waren auf dem 25-kV-Netz noch Wasserstrahler eingebaut. In den Transformatorstationen befanden sich entweder Wurz- oder Hörnerableiter mit Wasserwiderständen.

Alle diese sogenannten Blitzschutzapparate, sei es auf dem 3,6-kV-, sei es auf dem 25-kV-Netz, gaben, wie schon erwähnt, sehr oft zu grösseren Störungen Anlass und wurden von uns vollständig entfernt, wodurch die Betriebsverhältnisse bedeutend verbessert werden konnten. Später bauten wir auf dem 25-kV-Netz Fünfhörnerableiter und einpolige Hörnerableiter mit Widerständen in Oel ein, deren Wert ebenfalls sehr fragwürdig war. Die besten Resultate ergab der im Jahre 1922 erfolgte Einbau einer Dissonanzlöschspule.

Im 3,6-kV-Netz kamen als Ersatz für die früher ausgebauten Hörnerableiter Kondensatoren zur Aufstellung, die sich auch nicht bewährten, jedoch den Vorteil hatten, dass sie bei eventuellem Defekt die Sicherung, mit der sie ans Netz geschaltet waren, zum Durchschmelzen brachten und so grössere und länger dauernde Störungen vermieden.

Nicht alle bei Gewittern vorgekommenen grossen Störungen waren einzig und allein auf die Blitzschutzapparate zurückzuführen, denn in vielen Fällen konnte durch Verbesserung der Erdung die Zahl der Störungen wesentlich reduziert werden. Die Erstellung einer guten Erdung ist im Tessin sehr oft ein Problem und meistens nur durch Verlegung von langen Bänderdern und Pfählen zu erreichen.

Erfahrungen mit Ueberspannungsschutzeinrichtungen in Netzen verschiedener Spannungen

Von H. Schiller, Baden

621.816.933

Auf Grund einer Umfrage, die der Autor bei den Betriebsleitungen von Netzen verschiedener Spannungen gemacht hat, und auf Grund eigener Erfahrungen, wird über die Erfahrungen mit modernen Ueberspannungsableitern berichtet. Es wird festgestellt, dass die Ableiter in den Netzen unter 50 kV im allgemeinen eine gute Schutzwirkung hatten, während das Ergebnis in den 50-kV-Anlagen nicht immer befriedigend war. Der Einfluss der Erdungscharakteristik wird hier besprochen.

L'auteur relate les expériences faites avec des parafoudres modernes, en se basant sur une enquête qu'il fit auprès des entreprises d'électricité exploitant des réseaux de différentes tensions et sur ses propres expériences. Il constate que ces appareils protègent en général efficacement les réseaux de moins de 50 kV, tandis que les résultats sont moins satisfaisants pour les tensions supérieures. Il discute également de l'influence de la caractéristique de mise à la terre.

Im folgenden sind einige Erfahrungen über die Auswirkung von Gewittern auf Netze verschiedener Spannungen und das Funktionieren der darin eingebauten Ueberspannungsableiter angeführt. Es wurden nur Ueberspannungsableiter moderner Bauart, d. h. solche mit spannungsabhängigen Widerständen in den Bereich dieser Untersuchungen einbezogen; ältere Typen wurden nicht berücksichtigt. Die angeführten Erfahrungen verstehen sich also im längsten Falle etwa von 1931 bis anfangs Juni 1942.

Es sei an dieser Stelle den Betriebsleitern der verschiedenen Werke, die ihre Erfahrungen in zu-

vorkommender Weise zur Verfügung stellten, der verbindlichste Dank ausgesprochen.

Die Anlagen setzen sich nach ihren Spannungen wie folgt zusammen:

- 3 Netze Niederspannung, maximal 220/380 V
- 1 Netz 4 kV
- 1 Netz 6 kV
- 2 Netze 8 kV
- 1 Netz 15 kV
- 1 Netz 25 kV
- 3 Netze 50 kV
- 1 Netz 60 kV
- 2 Netze 150 kV

In diesen Anlagen waren Ueberspannungsableiter von 6 verschiedenen Lieferanten eingebaut. Die Er-

fahrungen werden ganz allgemein, ohne Bezug auf die Lieferanten, gegeben und es können deshalb daraus keine Rückschlüsse über die Herkunft der Ableiter gezogen werden.

Mit Ausnahme von 4 befinden sich die obgenannten Anlagen in der Schweiz.

Moderne Ueberspannungsableiter wurden seit etwa 1931 eingebaut; die ersten Typen besaßen, entsprechend dem damaligen Stand der Technik, allerdings ein bescheidenes Ableitvermögen (750 A), was auch das häufige Versagen dieser früheren Typen erklärt.

Bevor Einzelheiten angeführt werden, sei summarisch das Ergebnis der Umfrage angeführt.

Von den eingebauten Ableitern sind in einzelnen Netzen ca. 10 % defekt geworden, und zwar wurden sie meistens vollständig zerstört.

Die Ableiter in den Netzen unter 50 kV haben im allgemeinen eine gute Schutzwirkung gezeitigt, während das Ergebnis derjenigen in den 50-kV-Netzen nicht befriedigend war.

Es sind in allen Netzen, trotz den eingebauten Ableitern, einige Ueberschläge in durch Ableiter geschützten Stationen vorgekommen, aber im Grossen und Ganzen sind die Anlagen unter 50 kV gut geschützt worden. Ob nun dieser Erfolg nur den Ueberspannungsableitern zugeschrieben werden darf, steht nicht eindeutig fest. Denn es ist zu berücksichtigen, dass in der Zeit nach 1931 im Zusammenhang mit dem Uebergang auf Normalspannung (220/380 V) viele Netze und Stationen umgebaut und besser isoliert wurden. Auch ist in einzelnen Netzen die Gewitterhäufigkeit unternormal gewesen, während sie in andern normal war. Es scheint, dass das laufende Jahr wieder eines mit übernormaler Gewitterhäufigkeit werden wolle, indem gerade in der vergangenen Woche (7.—14. Juni) sehr starke Gewitter stattgefunden haben.

Es steht also nicht ohne weiteres fest, wieviel des Erfolges auf Konto der besseren Isolation und wieviel auf die Ueberspannungsableiter zu buchen ist. Jedenfalls ist aber der Anteil der Ableiter daran doch beträchtlich, indem z. B. in einem Mittelspannungsnetz nicht viel an der Isolation geändert wurde und trotzdem mit den Ableitern gute Erfahrungen gemacht wurden. Ziemlich eindeutig ist der Erfolg in den Niederspannungsnetzen, wo man die Ableiter vornehmlich in gefährdeten Höfen und Häusern einbaute, ohne an deren Isolation etwas zu ändern.

Bevor die durch Ueberspannungsableiter geschützten Netze behandelt werden, seien einige Erfahrungen mit 150-kV-Anlagen, in welchen keine Ableiter eingebaut sind, angeführt.

Die betrachteten 150-kV-Stationen und -Leitungen besitzen, wie schon gesagt, keine Ueberspannungsableiter; trotzdem ist in ihnen kein einziger Ueberschlag vorgekommen, wohl aber sind solche auf den Leitungen aufgetreten. Die einzigen Ueberschläge in einer Station sind gewollt in einer Kopfstation an einer Schutzfunkenstrecke aufgetreten, die bei üblicher Isolation der Freileitung auf 240 kV eingestellt war, um einen

schwach isolierten Transformator älteren Datums von 220 kV Prüfspannung zu schützen. Interessant ist die Feststellung, dass diese Funkenstrecke mindestens einmal selbst gelöscht hat, ohne dass irgendein Schalter des Netzes auslöste.

Der Transformator selbst hat den atmosphärischen Ueberspannungen in der Kopfstation unter Vorschaltung der erwähnten Funkenstrecke gut standgehalten, indem er keine Schäden erlitt, die auf dieselben zurückzuführen waren. Immerhin sei Interesse halber beigefügt, dass ein grösserer Defekt an demselben infolge Versagens eines 150-kV-Schalters auftrat, weil nur zwei Pole öffneten und der dritte geschlossen blieb. So blieben die beiden Netzteile einphasig gekuppelt und fielen ausser Tritt, was zur Folge hatte, dass an den nicht gekuppelten Phasen unter den speziellen Verhältnissen Spannungen bis zu 240 kV gegen Erde auftraten, was zu einem Defekt am Transformator führte.

Auf einer Strecke einer 150-kV-Leitung mit schlechten Erdungsverhältnissen traten Ueberschläge auf, die verschwanden, als ein Bodenseil gelegt wurde.

Ueber die durch Ueberspannungsableiter geschützten Netze ist folgendes zu berichten:

In den Niederspannungsnetzen (220/380 V) schützten zwei Betriebsleiter die Anlagen der Abnehmer, in welchen häufig Ueberschläge vorkamen, dadurch, dass sie vor diesen Anlagen (Häuser, Gehöfte usw.) Ueberspannungsableiter einbauten. Dieses Vorgehen hatte, wie schon bemerkt, guten Erfolg.

Im dritten Netz baute der Betriebsleiter die Ableiter in den Leitungszug ein, um die Ueberspannungen dort abzufangen. Immerhin schaute er darauf, dass seine Ableiter möglichst gegen Häusergruppen zu liegen kamen. Er bemerkte, dass er durch dieses Vorgehen den Einbauort so wählen könne, dass er eine gute Erde finde. Auch hier war der Erfolg nach seinen Angaben gut.

Für die Netzspannungen über 220/380 V wurden die Ableiter in neuerer Zeit ohne Ausnahme in die zu schützende Station eingebaut. Wo nach früherer Ansicht dieselben noch im Leitungszug eingebaut waren, kamen in benachbarten Stationen dennoch Ueberschläge vor. *Die Betriebserfahrungen zeigen eindeutig, dass der Ableiter in die zu schützende Station gehört, da sein Schutzbereich beschränkt ist.* Als Beispiel sei erwähnt, dass 3 ca. 4 km auseinanderliegende Stationen erst Ruhe bekamen, als alle 3 Stationen mit Ableitern ausgerüstet waren. Der Versuch, nur die mittlere mit einem solchen zu versehen, schlug fehl. Ableiter im Leitungszug einzubauen, nützt nur etwas, wenn ein Teil eines Netzes geschützt werden soll, der ausserhalb einer Gewitterzone liegt, wie das Beispiel zeigt, wo ein Ableiter am Eingang eines gewitterarmen Tales sämtliche Stationen dieses Tales gegen die früher aufgetretenen Ueberschläge schützte.

Ein anderer Schutz gegen Gewitter-Ueberspannungen ist der Anschluss der Freileitungen an die

Stationen durch Kabel. Einige solcher Anschlüsse sind in den betrachteten Netzen vorhanden; sie wurden allerdings nicht wegen des Ueberspannungsschutzes, sondern aus andern konstruktiven Gründen angewendet. Die Kapazität der vorhandenen Kabel ist deshalb meist viel zu klein, um als Ueberspannungsschutz wirksam sein zu können.

Die Stationen mit Kabelanschlusslängen von 15...50 m hatten denn auch wiederholt Ueberschläge im Innern, bis vor dem Kabeleingang am Ende der Freileitungen Ueberspannungsableiter eingebaut wurden. Ein Ableiter einer solchen Installation wurde bei einer Ueberspannung zerstört, aber trotzdem kam es nicht zu einem Ueberschlag in der Station.

In einer anderen Unterstation sind die Kabelanschlüsse länger, bis ca. 100 m. In dieser Anlage sind keine Ueberschläge aufgetreten, trotzdem an der Uebergangsstelle des Kabels keine Ableiter eingebaut sind. Es sei bemerkt, dass diese Station in einer gewitterreichen Gegend liegt.

Die rapportierenden Gesellschaften betreiben verschiedene Kraftwerke, bei denen die Generatoren von 6 und 8 kV Nennspannung ohne Zwischenschaltung von Transformatoren auf die Freileitungen arbeiten. Die Generatoren sind über kürzere oder längere Kabel (15...220 m) an die Sammelschienen angeschlossen. Von allen Sammelschienen gehen mehrere Leitungen ab, die nicht alle auf dem gleichen Gestänge verlegt sind, ein Umstand, der die Beanspruchung der Generatoren durch Ueberspannungen vermindert. Trotzdem traten in allen betrachteten Kraftwerken (es sind deren 3) zu wiederholten Malen Generatordefekte auf.

Ganz besonders sei darauf aufmerksam gemacht, dass auch in einem Kraftwerk, wo Generatoren von 8800 kVA und 8000 V über die 220 m langen Kabel an die Sammelschienen angeschlossen wurden, mehrere Defekte an den Generatoren auftraten, wovon einer an einer Maschine, die erst zwei Jahre vor dem Defekt mit einer ganz neuen Wicklung versehen worden war. Der Vorfall zeigt, dass also auch längere Kabel unter Umständen keinen hinreichenden Schutz gegen Ueberspannungen geben. In den meisten Fällen müsste wohl, wenn es sich nicht um grosse zu übertragende Generatorenleistungen handelt, um einen wirksamen Schutz zu erhalten, bedeutend mehr Kabellänge verlegt werden, als dies dem blossen Abstand der Generatoren von den Sammelschienen entsprechen würde.

Erwähnt sei auch noch, dass in den beiden Kraftwerken mit den kürzeren Kabelverbindungen (15...30 m) Ueberspannungsableiter moderner Bauart, aber z. T. früherer Konstruktion sowie Kondensatoren älterer Bauart vorhanden waren, die keinen genügenden Schutz gewährten.

Aus diesen Erfahrungen heraus wurden in den genannten Werken Schutztransformatoren eingebaut, mit denen die Generatoren metallisch von den Freileitungen getrennt wurden. Die Erfahrung hat gelehrt, dass dies immer noch der beste Schutz für die Generatoren ist, besonders solcher älterer Kon-

struktion. Ob die neueste oder künftige Entwicklung der Ueberspannungsableiter einen zuverlässigen Schutz für direkt auf die Netze arbeitende Generatoren bieten kann, sei dahingestellt. Eine wichtige Rolle spielt dabei natürlich auch die Qualität der Isolation der Generatorwicklung, eventuell auch die Höhe der Generatorspannung.

Es sei noch auf die Erfahrungen in einem 15-kV-Netz hingewiesen, wo neben spannungsabhängigen Ableitern in neuerer Zeit auch Löschrohre in ausgedehntem Masse mit ungefähr gleichem Erfolg verwendet werden wie die erstgenannten Ableiter. Der Prozentsatz der Zerstörungen dieser Löschrohre beträgt ca. 10 % in drei Jahren.

Es seien noch einige interessante Blitzschläge angeführt, die ich nicht selbst erlebt habe, die ich aber aus einwandfreier Quelle vernommen habe.

Ein Steinbruch auf einem Berge ist mit einer Luftseilbahn mit dem Tal verbunden; oben schlug der Blitz in ein Seil, worauf eine feurige Kugel längs desselben zu Tale fuhr und bei Ankunft in der Talstation mit lautem Knall explodierte. Am Seil sei nicht die geringste Spur zu sehen gewesen, aber im Moment des Knalles sind in einem benachbarten Kraftwerk, das aus Gleichstromgeneratoren eine Bahn speist, an den genannten Generatoren sämtliche Kollektorfahnen ausgelötet worden.

Ein Bauer war daran, im Stall eine Kuh zu melken, als diese vom Blitz getroffen und getötet wurde, während der Melker ohne Schaden davon kam.

Ein Blitz schlug in einen Weinberg; es wurde beobachtet, wie der Strom sich über die Drähte, an welchen die Reben befestigt waren, ausbreitete und vermutlich über die Wasserleitungen in die Häuser gelangte, wo er über die Kamine wieder herausgekommen sein soll. Gleichzeitig fand ein Ueberschlag in einem benachbarten Werk statt.

Drei Radfahrer fuhren hintereinander auf einer Landstrasse; der mittlere wurde vom Blitz erschlagen, während die beiden andern heil davon kamen.

Aus zwei der angeführten Blitzschläge kann ersehen werden, dass von nahe beieinander befindlichen Personen oder Lebewesen das eine getroffen wird, während dem andern nichts passiert. Die Blitzschläge können also sehr stark lokalisiert sein. Praktisch heisst das für uns, dass z. B. von zwei nahe beieinander liegenden Leitungen die eine vom Blitz getroffen werden kann, während die andere verschont bleibt, Fälle, die auch schon einwandfrei festgestellt wurden.

Nach dieser Abschweifung seien noch einige weitere Fälle interessanter Erfahrungen mit Ueberspannungsableitern angeführt.

In einem Niederspannungsnetz wurden u. a. zwei Häuser, die im Tal ca. 80 m auseinander liegen, von einer Transformatorenstation, die auf einem Hügel steht, gespeist. Die Niederspannungs-Speiseleitung kreuzt auf dem Weg ins Tal eine 80- und eine 50-kV-Leitung. In einem Haus fanden nie Ueberschläge statt, während das andere stark von solchen heimgesucht wurde. Es wurde ein Ueberspannungsableiter vor dem Hause und einer in demselben montiert, aber ohne Erfolg. Erst als das fragliche Haus von einer Transformatorenstation im Tal über einen Kabelanschluss versorgt wurde, verschwanden die Ueberschläge im Gebäude.

Interessant ist auch die Erscheinung, dass im gleichen Netz an anderer Stelle bei der Versor-

gung einiger Häuser mit Niederspannung ein ruhiger Betrieb herrschte, solange nur einphasig gespeist wurde. Von dem Moment an, wo jedoch einige Häuser einen 3-Phasen-Anschluss verlangten, fanden in demselben Ueberschläge statt. Dabei ist der Nulleiter zu oberst am Stangenbild angebracht; es kann also diese Erscheinung nicht darauf zurückgeführt werden, dass etwa eine weitere Phase, die als oberster Leiter an der Stange besonderen Störungen ausgesetzt ist, in die Häuser eingeführt wurde.

Nach Aussagen des Betriebsleiters finden ca. 90 Prozent der Störungen in seinem Niederspannungsnetz an Heisswasserspeichern und Küchen statt. Bei den Küchen hat er, weil die Erdungsverhältnisse im allgemeinen schlecht sind, Berührungsschutz-Schalter eingebaut. Möglicherweise liegt die Erklärung der Ueberschläge in diesen Häusern in der Installation von Küchen oder Heisswasserspeichern, womit schwache Punkte geschaffen wurden.

In einem 4-kV-Netz überwindet eine Speiseleitung eine Höhe von ca. 650 m zur Speisung einer Transformatorstation und steigt dann wieder ungefähr auf das Ausgangsniveau herunter zu einer Endstation. Hauptsächlich die obere Station war häufigen Ueberschlägen ausgesetzt, weshalb frühe 750-A-Ableiter eingebaut wurden. Bei zwei Gewittern sollen diese gut gewirkt haben, beim dritten explodierten sie. Es wurden nun 1500-A-Ableiter eingebaut. Diese hielten länger und wirkten besser; hie und da gingen noch die Sicherungen des Transformators durch. Zuletzt wurden aber auch diese Ableiter defekt und wurden durch den 2500-A-Typ ersetzt. Es schmolzen auch jetzt noch hie und da die Transformatoren-Sicherungen, aber die Ableiter blieben intakt. Als dann in der Tal-Endstation auch noch Ueberspannungsableiter eingebaut wurden, verschwanden diese letzten Sicherungsdefekte.

Es seien noch einige interessante Störungen aus den 50-kV-Netzen angeführt:

Von einer Holzstangenleitung, die längs eines Tales verläuft, zweigt eine Gittermastenleitung quer durch das Tal ab. Die Gittermastenleitung ist mit zwei Erdseilen versehen, weil sie eine starke Gewitterzone durchläuft, während die Holzmastenleitung ohne Erdseil ist. An die Gittermastenleitung ist etwa in der Mitte der Taldurchquerung eine Transformatorstation angeschlossen, die durch Ueberspannungsableiter geschützt ist. Es erfolgte nun aller Wahrscheinlichkeit nach ein Blitzschlag in die Leitung in der Nähe des Abzweigmastes. Am Abzweigmast überschlug eine Phase, die beiden andern in der erwähnten Station an zwei verschiedenen Apparaten. Die Ableiter hatten nicht angesprochen. Darauf wurde die Kugelfunkenstrecke der Ableiter anders eingestellt mit dem Erfolg, dass bei einem kürzlichen, ähnlichen Blitzschlag, bei dem 15 Holzstangen beschädigt wurden, die Ableiter angesprochen haben, ohne dass ein Ueberschlag in der Station auftrat. Das Vorkommnis zeigt, wie wichtig es ist, dass die Ab-

leiter richtig den jeweiligen Verhältnissen angepasst werden.

In einer 50-kV-Station, in welcher alte Oelschalter mit einem veralteten Typ von Durchführungen eingebaut sind, fanden bei Gewittern häufig Ueberschläge statt. Der Einbau von Ableitern vor der Station brachte diese Ueberschläge zum Verschwinden. Bei einem kürzlichen Gewitter fanden dann zum ersten Male Ueberschläge an den Gebäude-Einführungen der Anlage statt. Diese dürften ihre Erklärung darin finden, dass ein ausserordentlich heftiger Platzregen gegen die genannten Einführungen peitschte, welcher die Ueberschlagspannung der Einführungsisolatoren wahrscheinlich soweit herabsetzte, dass die Ableiter versagten.

In einer andern 50-kV-Station explodierte ein 50-kV-Ueberspannungsableiter, ohne dass ein Gewitter stattgefunden hätte. Es trat aber zu der Zeit ein Erdschluss im Netz auf, von dem angenommen wird, dass er möglicherweise intermittierend war. In der gleichen Station fand trotz der eingebauten Ableiter ein Ueberschlag an einem modernen Oelschalter statt; auch kam es zu einem Ueberschlag an der Nullpunktsklemme eines Transformators.

Es sei noch auf zwei Mittel aufmerksam gemacht, die Auswirkung von Ueberspannungen herabzusetzen. In einer 50-kV-Station wurde eine 50-kV-Leitung dauernd eingeschaltet gelassen, auch wenn sie nicht im Betrieb war. Dadurch wurde die fragile Station von einer Kopf- zu einer Durchgangstation und die Ueberschläge wurden beinahe auf Null reduziert.

In einem andern Netz werden die Relais der Oelschalter so kurz wie möglich eingestellt mit dem Erfolg, dass bei eventuellen Ueberschlägen die Schäden ganz beträchtlich reduziert werden.

Ein Betriebsleiter machte mir die Bemerkung, dass er in Stationen mit schlechter Erdung weniger Ueberschläge habe als in solchen mit guter Erde. Diese Erscheinung mag ihre Erklärung darin finden, dass z. B. eine Installation mit sehr grossem Erdwiderstand einer starken Isolation gegen Erde nahekommt und somit Ueberschläge seltener stattfinden.

Es gibt Gebiete, wo ein guter Erdwiderstand nur mit sehr grossem Aufwand zu erreichen ist. So haben Betriebsleiter gesagt, dass sie Verteil-Transformatorstationen in ihren Netzen mit 300 und mehr Ohm Erdwiderstand in Betrieb hatten, wo eine weitere Senkung nur mit nicht zu rechtfertigenden grossen Kosten zu erreichen wäre.

In solchen Stationen ist mit den Ableitern in ihrer gewöhnlichen Anschlussart kein Schutz zu erreichen. Diese Anschlussart besteht darin, dass die Erdverbindung der Ableiter nach der Verordnung für Starkstromanlagen (1933) ausserhalb des Gebäudes beim Eintritt in die Erde mit der Schutz-erde verbunden wird. Um einen besseren Schutz zu erhalten, müssten wir die Ableiter-Erde auf dem kürzesten Wege mit der Schutz-erde verbinden, also

schon lange vor dem Austritt aus der Station, was den heutigen Vorschriften zuwiderläuft. Dennoch dürfte es der einzige Weg sein, unter schlechten Erdungsverhältnissen eine bessere Wirkung der Ableiter zu erhalten; die Begründung geht aus folgender Ueberlegung hervor:

Der Zweck der Ableiter ist, bei Auftreten einer Ueberspannung die Potentialdifferenz zwischen Kopf und Fuss eines Isolators so weit zu senken, dass kein Ueberschlag auftritt. Dies kann nun auf zwei Arten erreicht werden:

1. Wir senken die auftreffende Ueberspannungswelle durch Ableiter nach der Erde so weit ab, dass ein Ueberschlag vermieden wird (der gewöhnliche Fall mit guter Erde).

2. Wir heben das Potential des Fusses so weit, dass kein Ueberschlag eintritt.

Der zweite Fall ist derjenige, der angewendet werden muss bei einer Anlage mit schlechten Erdungsverhältnissen. Dies verlangt aber, dass die Ableiter auf möglichst kurzem Wege innerhalb der Station mit der Schutzterde verbunden werden.

Dies bedingt eine entsprechende Aenderung der Starkstromverordnung aus dem Jahre 1933, die meines Erachtens ohne weiteres verantwortet werden kann. Denn dadurch werden die Verhältnisse in bezug auf die Wirkung der Schutzterde auf keinen Fall schlechter als die, welche bei einem Ueberschlag über einen Isolator in einer Anlage ohnehin auftreten.

Betriebserfahrungen mit 50-kV-Ueberspannungsableitern

Von A. Kraft, Siebnen

621.316.933

Das Maschinenhaus Rempen der A.-G. Kraftwerk Wäggital ist eine Kopfstation. Es traten dort wiederholt Ueberschläge gegen Erde auf. Man baute daher im Frühjahr 1941 Ueberspannungsableiter mit spannungsabhängigem Widerstand ein. Jede der 4 Ableitergruppen hatte je einmal angesprochen. Im Sommer 1942 sprachen zwei Ableitergruppen zusammen 9mal an, die beiden andern nicht; Defekte traten keine auf. Die Betriebsdauer der Ableiter ist für ein abschliessendes Urteil noch zu kurz.

L'usine de Rempen de la S. A. des Forces Motrices du Wäggital est une station de tête, dans laquelle ont eu lieu à plusieurs reprises des mises à la terre accidentelles. Au printemps 1941, des parafoudres à résistance de la tension y furent installés. Chacun des 4 groupes de parafoudres avait fonctionné une fois. En été 1942, deux de ces groupes fonctionnèrent neuf fois ensemble, sans qu'il se produise d'avaries. La durée de service de ces parafoudres est toutefois trop courte pour que l'on puisse en tirer des conclusions définitives.

Das Kraftwerk Wäggital¹⁾ ist zweistufig ausgebaut. Das Maschinenhaus der oberen Stufe, Rempen, enthält vier Drehstrom-Generatorgruppen und vier Motor-Pumpengruppen. Je ein Generator und ein Motor sind über einen 8,8/50-kV-Transformator und eine ca. 4 km lange 50-kV-Freileitung an die Sammelschiene im Schalthaus Siebnen angeschlossen.

Das Maschinenhaus Rempen ist somit eine typische Kopfstation. Bei Gewittern traten in der Schaltanlage fast jedes Jahr Ueberschläge gegen Erde auf, entweder an den isolierten Nullpunkt-klemmen der Transformatoren, an den Einführungen der Oelschalter oder an einem offenen Trenner mit knapper Erddistanz. In einem Falle kam es sogar zu einem dreiphasigen Kurzschluss zwischen den Zuleitungen zu den Transformator-klemmen. Die Ueberschlagstellen sind in Fig. 2 durch Blitzpfeile bezeichnet.

Gute Erfahrungen, welche mit 8-kV-Ueberspannungsableitern gemacht worden waren, legten es nahe, den erwähnten Störungen in der 50-kV-Schaltanlage Rempen durch den Einbau von Schutzeinrichtungen gegen Ueberspannungen zu begegnen. Die Werkleitung prüfte deshalb im Herbst 1940 diese Frage näher.

Es kamen folgende Lösungen in Betracht: Verwendung von Röhrenableitern, Einbau von Ueberspannungsableitern mit Widerständen oder die Kombination der beiden Apparate als Grob- und Feinschutz.

Trotz des relativ niedrigen Preises, ca. ein Viertel desjenigen für Ueberspannungsableiter mit Wi-

derständen und der grösseren Betriebssicherheit der Röhrenableiter, infolge robusterer Konstruktion, wurde auf die Verwendung dieser Apparate verzichtet, weil jedes zweipolige Ansprechen derselben zu einem Kurzschluss führt. Dies ist in unmittelbarer Nähe der Generatoren unerwünscht. Die dritte Variante hätte den Vorteil gehabt, dass ein Grob- und Feinschutz vorhanden gewesen wäre. Diese Lösung musste aber der hohen Kosten wegen, welche sie verursacht hätte, fallen gelassen werden. Man entschloss sich deshalb, Ueberspannungsableiter mit Widerständen einzubauen (Fig. 1).

Die Ueberspannungsableiter wurden für folgende Daten bemessen:

Nennspannung	50 kV
Löschspannung (maximal zulässige Spannung)	60 kV
Frequenz	50 Per./s
Ansprechspannung (Scheitelwert) bei 50 Per./s	120 $\sqrt{2}$ kV
50%-Ansprechspannung (Scheitelwert)	122 $\sqrt{2}$ kV
Ableitvermögen nach den SEV-Leitsätzen	2500 A bei 25 μ s Halbwertdauer
Restspannung (Scheitelwert) bei 2500 A Ableiterstrom	122 $\sqrt{2}$ kV

Die Werte der Ansprechspannung und der Restspannung wurden mit einer Toleranz von $\pm 10\%$ angegeben. Die Apparate waren nach den SEV-Leitsätzen zu prüfen. Besondere Garantien wurden verlangt hinsichtlich Qualität der Widerstandsblöcke und deren Fähigkeit, wiederholt grosse Ströme ableiten zu können, ohne Schaden zu nehmen.

Es wurde ein Ueberspannungsableiter durch die FKH geprüft. Er hat den Leitsätzen des SEV für

¹⁾ Bull. SEV 1932, Nr. 2, S. 25.

Ueberspannungsableiter, vom Mai 1942, ent-
sprochen.

Die Ueberspannungsableiter wurden im Früh-
jahr 1941 montiert. Da die Anschlußstelle der Ap-
parate beidseitig spannungslos gemacht werden

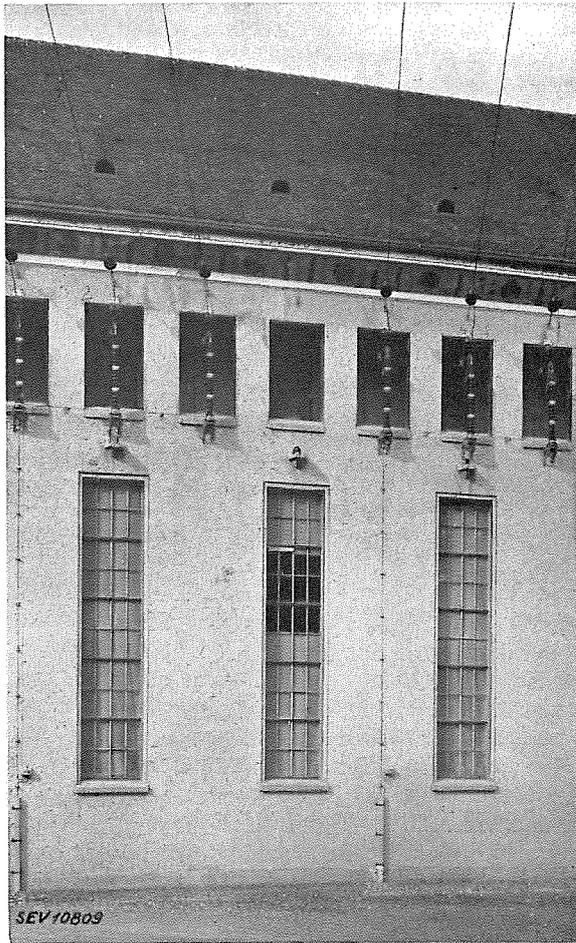


Fig. 1.
Maschinenhaus Rempen
Ueberspannungsableiter der 50-kV-Freileitungen

kann, wurde auf die Anordnung besonderer Tren-
ner verzichtet, ebenso auf den Einbau von Siche-
rungen. Die drei Ueberspannungsableiter einer
Freileitung sind an eine gemeinsame Kupfer-Erd-
leitung von 50 mm² Querschnitt angeschlossen,
welche aussen an der Gebäudewand nach unten ge-
führt und über einen Ansprechzähler an die Werk-
erde angeschlossen ist (Fig. 1 und 2). Die An-
sprechzähler werden nach jedem Gewitter und am
Ende jedes Monats, im Sommer und Winter, kon-
trolliert.

Die Werkerde besteht aus verzinnem Kupfer-
band 50·5 mm, welches im freien Platz vor dem
Gebäude in einem Rechteck mit verschiedenen
Querverbindungen doppelt verlegt ist. Die gesamt-
e Länge des Erdbandes beträgt 360 m, die Erdungs-
oberfläche 40 m². Die Messung des Uebergangs-
widerstandes der Erde ergab seinerzeit 0,13 Ohm
bei 50 Per./s.

Im Sommer 1941 haben die Ansprechzähler der
Ueberspannungsableiter-Gruppen an den Leitungen
1...4 je einmal angesprochen. In einem der vorer-
wähnten Fälle trat an einer 50-kV-Bituba-Durch-
führung eines Transformators ein Ueberschlag auf,

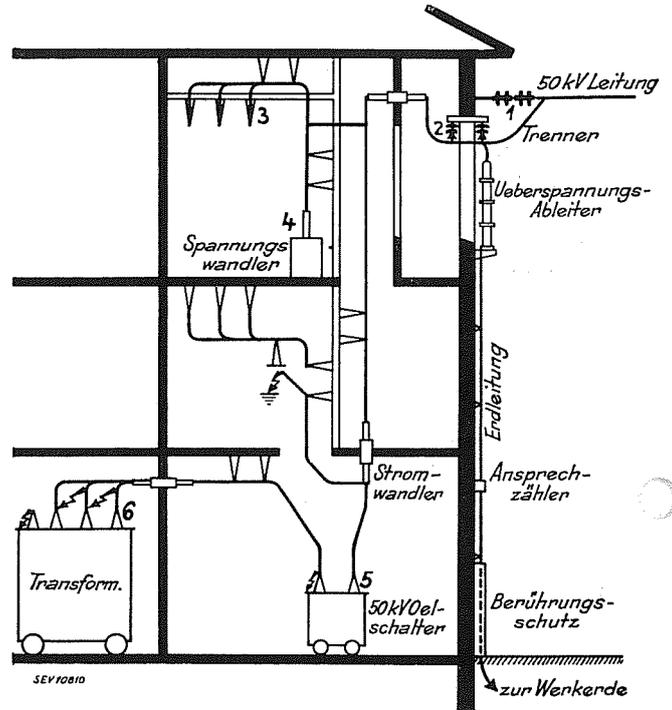


Fig. 2.
50-kV-Schaltanlage im Kraftwerk Rempen
Distanz Ueberspannungsableiter-Transformator: 27 m

Nr.	Gegenstand	Ueberschlags- spannung (Scheitelwert) bei		Stoss- faktor +/-
		50 Per./s kV	Stoss +/- kV	
1	2 Elem. Motorisol., ohne Schutzringe	393	500/485	1,28/1,24
2	Isolator B 70, Hermsdorf	222 tr. 199 n.	300	1,35
3	Haefely-C-Stützer	269	280/405	1,04/1,50
4	Hartpapier-Einführung	320	371/584	1,16/1,82
5	Porzellantdurchführung	201	254/266	1,26/1,32
6	Durchführung aus Bituba	220	304/394	1,38/1,79
	Kondensatordurchführung	236	240	1,01

Phase T gegen Erde, trotzdem die Ueberspannungs-
ableiter, welche diesen Anlagenteil schützen sollten,
angesprochen hatten. Diese Erscheinung muss so er-
klärt werden, dass die Durchführung schon vor der
Gewitterstörung eine Kriechspur aufwies, welche
die Ueberschlagspannung stark herabgesetzt hatte,
so dass der Ueberspannungsableiter diesen Anlage-
teil nicht mehr zu schützen vermochte. Die schad-
hafte Durchführung wurde getrocknet und neu
lackiert. Nachher betrug die Minimal-Ueberschlag-
spannung (Scheitelwert) 304 kV bei positivem
Stoss 1/50 μs und 394 kV bei negativem Stoss.

In der Zeit vom 15. Mai bis 21. September 1942
haben die Ansprechzähler der Leitungen 1...4 in-
folge von abgeleiteten Gewitterueberspannungen,
folgende Anzahl Schaltungen gemacht:

Leitung	1	2	3	4
Anzahl Schaltungen	4	5	0	0

Am 12. Juni ging ein schweres Gewitter über das Gebiet von Rempen. Ein Schichtführer berichtete von einem Blitzschlag in der Nähe der Leitung und einem pfeifenden, über die Leitung hinwegfahrenden Geräusch. Der Beobachter rechnete bestimmt mit einer Betriebsstörung. Am Ansprechzähler zur Leitung 2 wurde ein Vorschub festgestellt, eine Betriebsstörung trat nicht ein.

Interessant ist die Beobachtung, dass während der zahlreichen Gewitter im Sommer 1942 die Ueberspannungsableiter der Leitungen 3 und 4 nie angesprochen haben. Da alle Leitungen mit dem-

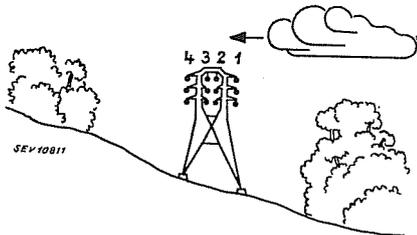


Fig. 3.
Mastbild der
50-kV-Freileitungen
Rempen-Stebnen

selben Ueberspannungsableitertyp ausgerüstet sind, ist diese Erscheinung kaum auf verschieden hohe Ansprechspannungen der Apparate zurückzuführen. Sie dürfte eher so erklärt werden, dass die Leitungen 1 und 2 eine Schutzwirkung für die Leitungen

3 und 4 ausübten, infolge der vorhandenen Leitungsanordnung und der im vergangenen Sommer vorherrschenden Bewegungsrichtung der Gewitterwolken, relativ zum Leitungstrasse (Fig. 3). Die Tatsache, dass früher auch über die Leitungen 3 und 4 Gewitterüberspannungen in die Schaltanlage Rempen gelangten, spricht nicht gegen diese Annahme, da ein anderer Verlauf der Gewitterbahn die Ursache sein kann.

Vom 21. September bis zum 30. November 1942, also nach der Gewitterperiode, hat der Ansprechzähler der Leitung 3 zweimal und derjenige von Leitung 2 einmal angesprochen. Bestimmt handelte es sich um Betriebsüberspannungen, ob Schalt- oder Erdschlussüberspannungen konnte nicht festgestellt werden.

Die Beobachtungszeit seit Inbetriebnahme der Ueberspannungsableiter ist zu kurz, um ein abschliessendes Urteil über diese Apparate abzugeben. Es steht lediglich fest, dass zwölf Ueberspannungen anstandslos abgeleitet wurden, die ohne Ableiter vielleicht zu ähnlichen Betriebsstörungen geführt hätten, die eingangs bekanntgegeben worden sind. Eine Nachkontrolle der Ueberspannungsableiter-Gruppe von Leitung 2, nach viermaligem Ansprechen, zeigte keine nennenswerten Spuren.

Erfahrungen mit Ueberspannungsableitern

Von S. Bitterli, Langenthal

621.316.933

Die Elektrizitätswerke Wynau haben seit dem Jahre 1936 Ueberspannungsableiter von 9 kV und seit 1938 solche von 45 kV im Betrieb. Später wurden auch einige gefährdete Niederspannungs-Verteilungs- und -Hausinstallationen mit Ableitern versehen. In den durch Ableiter geschützten Anlagen trat eine einzige Störung wegen Ueberspannung auf; kein einziger Ableiter wurde gestört oder verursachte Störungen. Die Ergebnisse der Ansprechkontrolle werden bekanntgegeben, und es wird dem Wunsch nach einem einfachen Ansprechzähler mit ungefähre Messung der Grösse und Dauer des Stoßstromes Ausdruck gegeben.

Les Entreprises Electriques de Wynau ont installé, depuis 1936, des parafoudres de 9 kV et, depuis 1938, de 45 kV. Par la suite, quelques installations de distribution en basse tension et installations intérieures menacées ont été équipées à leur tour de parafoudres. Jusqu'ici, il ne s'est produit qu'une seule perturbation due à une surtension. Aucun des parafoudres n'a subi d'avaries, ni provoqué de dérangements. L'auteur indique les résultats du contrôle des fonctionnements et exprime le désir que l'on construise des appareils simples pour l'enregistrement des fonctionnements et capables de mesurer approximativement la grandeur et la durée du courant de choc.

Die Erfahrungen mit den alten Blitzschutzeinrichtungen waren denkbar schlecht; es ist daher

erfreulich, über die guten Erfahrungen mit modernen Ueberspannungsableitern, die in den letzten Jahren in den elektrischen Verteilanlagen der Elektrizitätswerke Wynau verwendet wurden, zu berichten.

Bevor Ueberspannungsableiter zum Schutze der Anlagen gegen atmosphärische Ueberspannungen eingebaut werden konnten, musste die Isolationsfestigkeit gegen Erde der verschiedenen Anlageteile ermittelt werden, um die zulässigen Ansprech- und Restspannungen der Ableiter festzulegen. Die Materialprüfanstalt des SEV hat diese Ueberschlagsspannungen durch Versuche, die in Tabelle I zusammengestellt sind, bestimmt.

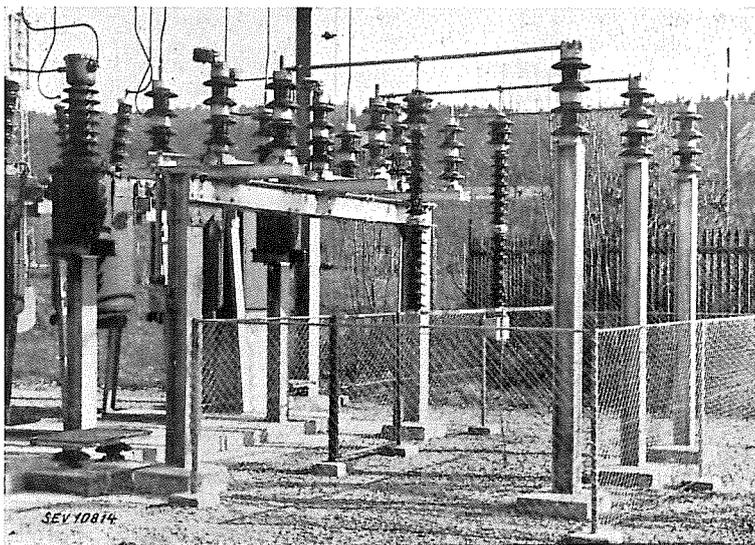


Fig. 1.
Dreiphasiger Ableitersatz mit Trennern und
Ansprechzählwerk in einer 45-kV-Freiluftanlage

Isolatorenkataster

Versuchswerte SEV der Regelleitungen, Anlagen und Ableiter
Tabelle I.

	9 kV		45 kV	
	trocken	nass	trocken	nass
Netz:				
kleinste Betriebsspannung, Effektivwert	kV 8,8		44,0	
grösste Betriebsspannung, Effektivwert	kV 9,5		52,0	
Regelleitungen:				
Holzmasten, vertikaler Abstand, Leiter l...3	cm 80		150	
Isolatoren, Porzellanfabrik Langenthal	Nr. 5327		Nr. 6914	
Träger, von Roll	F 1 Nr. 28		F 2 Nr. 35	
Anlagen (schwächste Isolation):				
a) älteste Anlagen:				
Ueberschlagsspannung, SW, 50 Hz	kV 82			
SW, 50%-Stoss + 1/50 µs	kV 92			
SW, 50%-Stoss - 1/50 µs	kV 112			
b) neuere Anlagen:				
Ueberschlagsspannung, SW, 50 Hz	kV 112		338 ca 225	
SW, 50%-Stoss + 1/50 µs	kV 118		365 ca 330	
SW, 50%-Stoss - 1/50 µs	kV 178		403 ca 360	
Ableiter:				
Nennspannung, effektiv, 50 Hz	kV 8,8		50	
Ansprechspannung,				
SW, 50 Hz	kV 42		152	
SW, 50%-Stoss + 1/30 µs	kV 47		166	
SW, 50%-Stoss - 1/30 µs	kV 47		160	
Ableitvermögen,				
SW, Stoss 1/30 µs	A 2500		1500	
Restspannung,				
SW, 1500-A-Stoss +	kV 40, 1/30 µs		191, 1/20 µs	
SW, 1500-A-Stoss -	kV		185, 1/20 µs	
SW, 2500-A-Stoss +	kV 41, 1/39 µs			
Resultate bei 760 mm Hg, 20° C				

Sowohl die 9-kV- als auch die 45-kV-Anlagen, die erst 1935 erstellt wurden, sind sehr reichlich isoliert, so dass der Schutz dieser Anlagen mit Ueberspannungsableitern wegen der Ansprech- und besonders der Restspannung keine Schwierigkeiten bot. (Freiluftanlagen!)

Die ersten 9-kV-Ableiter wurden 1936, die 45-kV-Ableiter 1938 eingebaut. Es konnten somit an das Ableitvermögen der Ableiter keine hohen Anforderungen gestellt werden, da der Ableiterbau damals noch nicht so leistungsfähig wie heute war. Die zuerst verwendeten 9- und 45-kV-Ableiter haben ein Ableitvermögen von 1500 A, die zuletzt gekauften 9-kV-Ableiter 5000 A. Die Ableiter wurden durch die FKH eingehend geprüft. Die Resultate sind in Tabelle I aufgeführt.

Mit dem Ableitereinbau wurde in den am meisten gefährdeten und wichtigsten Anlagen begonnen. Die Ableiter wurden in wichtigen Anlagen über Trenner, in weniger wichtigen Anlagen unmittelbar angeschlossen. Dort, wo Ansprechungen oft erwartet werden konnten, wurde in die gemeinsame Erdleitung eines dreiphasigen Ableitersatzes ein Ansprechzählwerk eingebaut. Fig. 1 zeigt einen

dreiphasigen Ableitersatz mit Trenner und Ansprechzählwerk in einer 45-kV-Freiluftanlage. Dabei war man bestrebt, die Ableiter möglichst nahe hinter der Stationseinführung mit einer kur-

Ansprechkontrolle der Ueberspannungsableiter

Tabelle II.

Standort	Ableiter mit Zählwerk		Ansprechungen					
	Anzahl Sätze	Ableitvermögen KA	1938	1939	1940	1941	Ge-witter vom 11.7.41	1942 (bis 30.6)
a) Freiluftanlagen, 45 kV:								
Wynau	1	1,5	2	2	11	5	5	2
Dennli	1	1,5	0	1	7	8	8	0
Lindenholz	1	1,5	1	5	17	12	11	5
Ansprechungen zusammen			3	8	35	25	24	7
Ansprechungen/Ableitersatz			1	2,6	11,6	8,3	8,0	2,3
b) Kraftwerke Wynau, 9 kV:								
Leitung								
Herzogenbuchsee	1	2,5	—	0	1	1		0
Seeberg	1	2,5	—	—	0	1		1
Langenthal	1	2,5	—	—	3	1		0
Roggwil	1	2,5	—	—	—	0		0
Holderbank	1	1,5	0	0	3	0		0
Klus	1	1,5	0	0	5	0		0
Thal	1	1,5	1	0	6	0		1
SS-weiss	1	2,5	—	0	1	0		0
SS-blau	1	2,5	—	0	0	0		0
Ansprechungen zusammen			1	0	19	3		2
Ableitersätze mit Zählwerk	9		3	6	8	9		9
Ansprechungen/Ableitersatz			0,3	0	2,4	0,3		0,2
c) Transformatorstationen, 9 kV:								
Lindenholz, Reglerstation	2	1,5	0	3	4	2		32
Affoltern	1	2,5	—	—	3	3		4
Wyssachen	1	2,5	—	—	3	7		1
Gondiswil	1	1,5	3	4	0	6		7
Rüedisbach	1	2,5	—	—	6	9		11
Murgenthal, Aarebrücke	1	2,5	—	—	0	0		4
Busswil	1	2,5	—	—	0	14		8
Melchnau	1	0	0	0	0	0		2
Wolfwil-Kirche	1	1,5	0	2	8	1		3
Holderbank	1	2,5	—	—	0	0		0
Klus	1	2,5	—	—	0	0		0
Laupersdorf	1	1,5	1	0	5	2		0
Brunnersberg	1	2,5	—	—	3	5		3
Ramiswil	1	2,5	—	—	0	0		3
Ansprechungen zusammen			4	9	32	49		78
Ableitersätze mit Zählwerk	15		6	6	15	15		15
Ansprechungen/Ableitersatz			0,7	1,5	2,1	3,3		5,2
d) Zusammensetzung (b + c):								
Ableitersätze total			12	20	39	44		56
Ableitersätze mit Zählwerk			9	12	23	24		24
Ansprechungen			5	9	51	52		80
Ansprechungen/Ableitersatz mit Zählwerk			0,5	0,7	2,2	2,2		3,3

zen Erdleitung und einem möglichst kleinen Erdungswiderstand einzubauen.

Niederspannungsableiter wurden zum Schutz von Niederspannungsverteilnetzen und Hausinstallationen an den durch atmosphärische Ueberspannungen am meisten gefährdeten Orten eingebaut. Sie wurden hinter den Niederspannungsklemmen der Transformatoren, an wichtigen Verteilpunkten oder dann unmittelbar auf der letzten Stange vor einem Gebäude angeschlossen. Dabei war das Erstellen einer einwandfreien Erdung oft schwierig und kostspielig.

Trotzdem die Ableitvermögen der anfänglich eingebauten Ableiter und besonders der 45-kV-Ableiter verhältnismässig klein sind, wurden mit den Ableitern die besten Erfahrungen gemacht. Es trat in den durch Ableiter geschützten Anlagen eine einzige Störung wegen Ueberspannung auf. Kein einziger Ableiter war je gestört oder verursachte Störungen in den Verteilanlagen.

Die Resultate der Ansprechkontrolle sind in Tabelle II zusammengestellt. Die Anzahl Ansprechungen ändert sich sehr stark, je nach Standort des Ableitersatzes und den atmosphärischen Verhältnissen. So rühren z. B. die Ansprechungen der 45-kV-Ableiter im Jahre 1941 praktisch von einem einzigen Gewitter her.

Der Einbau eines Ansprechzählers, der nur die Anzahl Ansprechungen des Ableiters registriert, ist nicht genügend, da er nichts über die Natur der Ansprechung aussagt. Es scheint wahrscheinlich, dass die Ansprechungen nicht nur durch atmosphärische, sondern auch durch Schalt- und Erdschluss-Ueberspannungen bedingt sind. Es wäre sehr wünschenswert, einen einfachen Ansprechzähler mit ungefährender Messung der Grösse und Dauer eines Stoßstromes einbauen zu können.

Elektrische Anlagen können einzig durch den Einbau von Ueberspannungsableitern von einigen 1000 A Ableitvermögen nicht vollständig gegen die Folgen von atmosphärischen Ueberspannungen geschützt werden. Ein hundertprozentiger Schutz ist bestimmt wünschenswert; es fragt sich aber, ob es wirtschaftlich ist, die elektrischen Anlagen mit Ueberspannungsableitern und einem ihnen übergeordneten Schutz gegen die letzten Prozente von Störungsmöglichkeiten zu schützen, oder ob der Einbau von Ueberspannungsableitern allein verantwortet werden kann. Nur die Erfahrung über eine längere Zeitdauer wird diese Frage beantworten können.