

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 34 (1943)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Zum Stand der Gewitterforschung  
**Autor:** Berger, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057722>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

RÉDACTION:  
Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens  
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:  
Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 5 17 42  
Chèques postaux VIII 8481

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

XXXIV<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 10

Mercredi, 19 Mai 1943

## 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

*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.*

551.594.2

### 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 unbequeme 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 ist <sup>1)</sup>.

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.

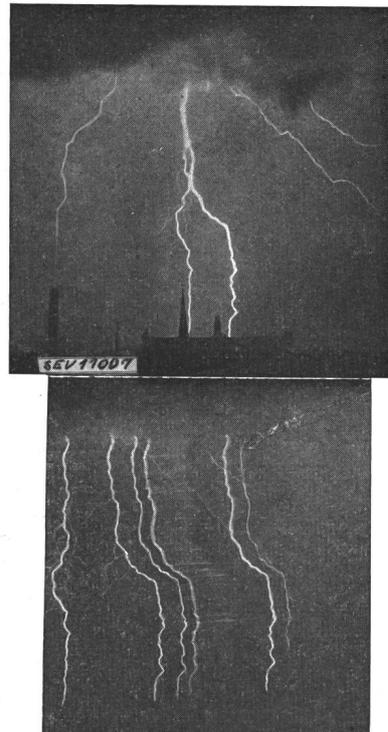


Fig. 1.  
Blitzphotographie  
mit ruhender und  
bewegter Photo-  
kamera

(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 ist <sup>2)</sup>. Wie daraus zu ersehen ist, weisen ca. 50 % aller Blitze mindestens 2 Teilschläge auf; dagegen sind Blitze

<sup>1)</sup> 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.

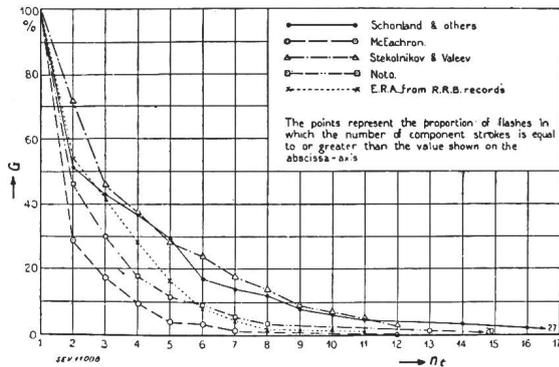


Fig. 2.

Anzahl Teilblitze («strokes») pro Gesamtblitz («flash») Abszisse: Anzahl Teilblitze  $n_t$

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 ist<sup>3)</sup>. Sie ist am häufigsten von der Grösse 0,01...0,2 s.

Fig. 4 zeigt die Häufigkeit verschiedener Zeitintervalle zwischen Teilblitzen.

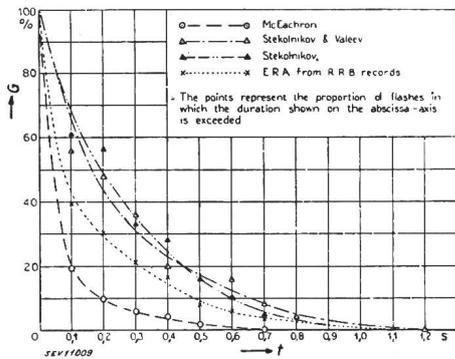


Fig. 3.

Häufigkeit verschiedener Gesamtblitz-Dauern

Abszisse: Dauer des Gesamtblitzes  $t$  in Sekunden. Ordinate: Prozentsatz  $G$  jener Gesamtblitze, deren Dauer den Abszissenwert übersteigt (Bruce und Golde).

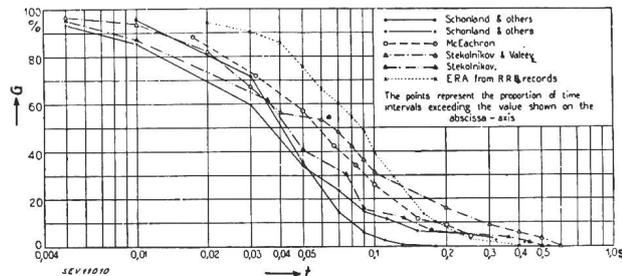


Fig. 4.

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 versucht<sup>4)</sup>. 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 Waltersehen bewegten Photoplatte.

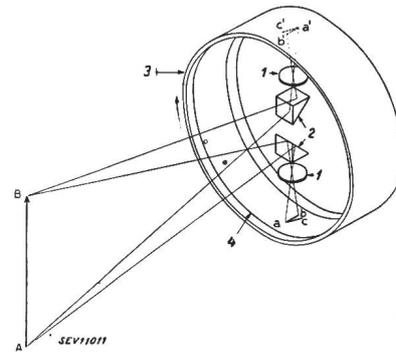


Fig. 5.

Prinzip der Boys-Kamera

(K. B. Mc Eachron.)  
1 Linse. 2 Prisma.  
3 Rotierende Filmtrommel. 4 Film.

Fig. 5 zeigt schematisch die Wirkungsweise einer vom Londoner Mechaniker Boys<sup>5)</sup> 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 erfassen<sup>6)</sup>. 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 Teilblitzes<sup>7)</sup>.

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

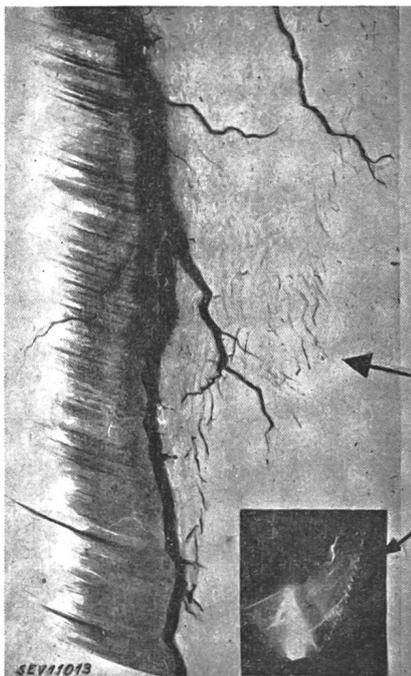


Fig. 7 (links). Blitzphotographie mit Boys-Kamera höchster Auflösung (Schonland, Malan und Collens.)

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 York<sup>4)</sup>, 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-

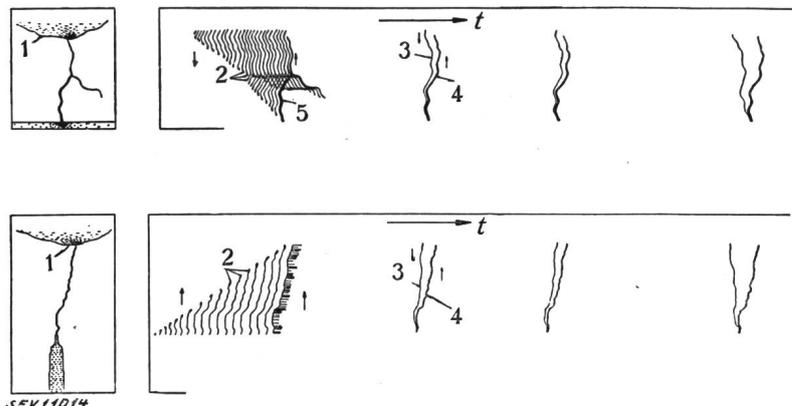
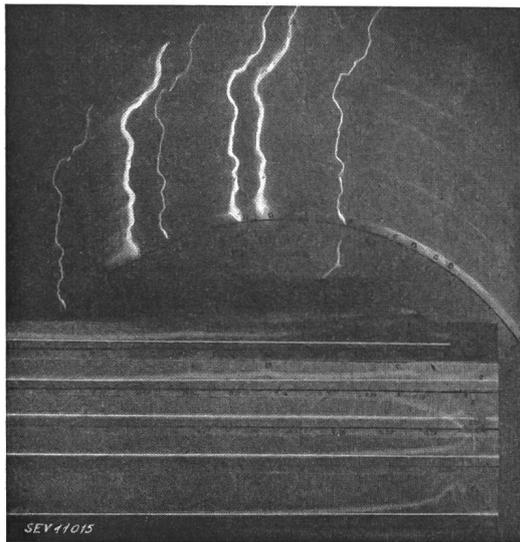


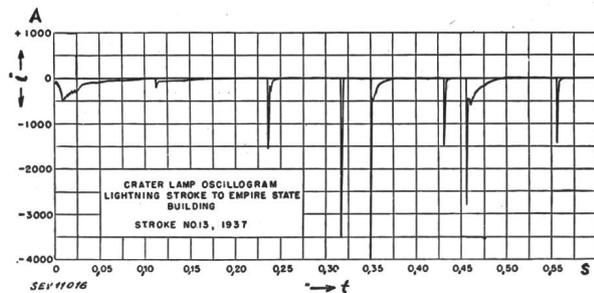
Fig. 8. Blitzbildung über der Ebene und am hohen Turm (Wolkenkratzer). Links: Bild mit ruhender Kamera. Rechts: Bild mit Boys-Kamera (Mc Eachron). *t* Zeit. 1 Negative Ladung. 2 Leuchtende Enden des ersten Leitblitzes. 3 Leitblitz eines Teilblitzes. 4 Hauptblitz eines spätern Teilblitzes. 5 Hauptblitz 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



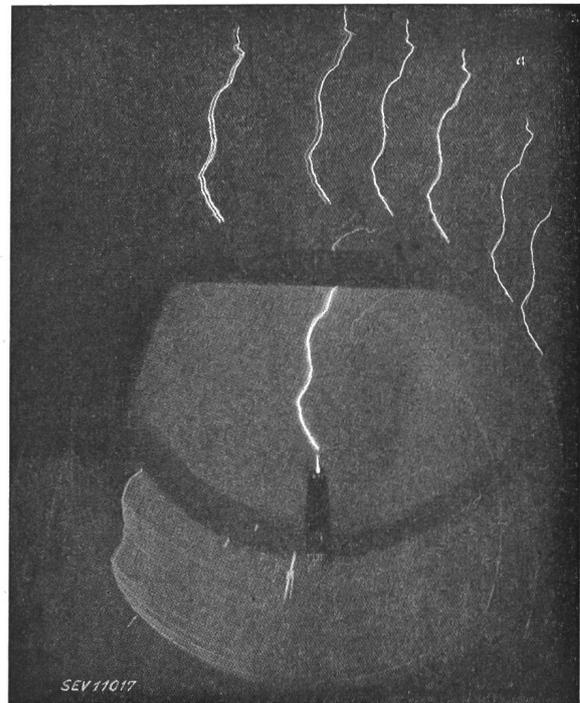
b  
Fig. 9.

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

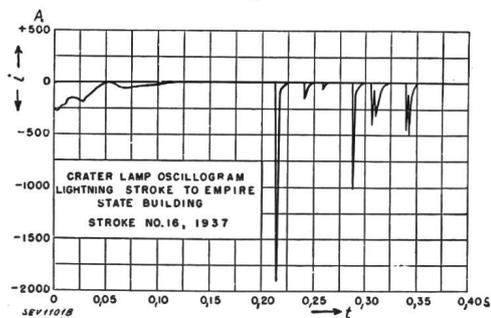
Fig. 9 und 10 geben 2 Beispiele aus der Arbeit McEachrons. In den Bildern ist oben die mit ruhender und langsam bewegter Photoschicht erhaltene Photographie des Blitzeinschlags in die Turmspitze ersichtlich, wobei die bewegte Photoplatte sich kreisförmig um das ruhende Bild herumbewegt. Unten dagegen 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 ist<sup>14)</sup>.

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 sein<sup>8)</sup>.

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

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 Magnetstahlröhrtchen aus Chromstahl oder Kobaltstahl, die durch isolierende Zwischenschichten getrennt

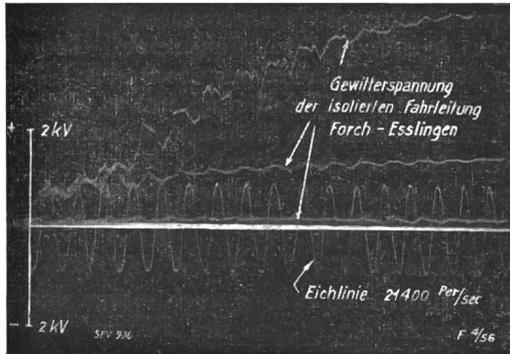


Fig. 11. Beispiele atmosphärischer Ueberspannungen auf 1200-V-Fahrleitung Spannungsanstieg während ca.  $10^{-3}$  Sekunden (Gewittermessungen 1928).

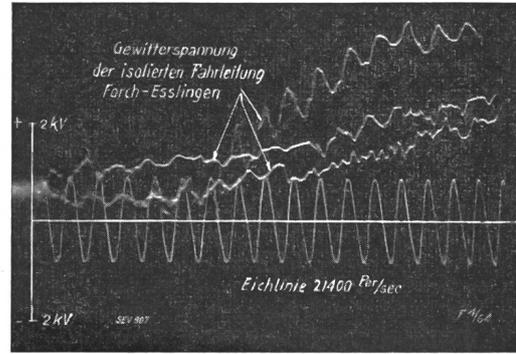


Fig. 12.

auf der Forch im Sommer 1928 schon zeigten, wovon die Fig. 11 und 12 zwei Beispiele geben<sup>9)</sup>. 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 Volkstum 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 Drittelsellipsen 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 Einschlags in eine hohe Turm oder Bergspitze.

Als ausgesprochene Nahmessung ist die *magnetische Messung* der Blitzstrommaxima mit sogenannten Stahlstäbchen anzusehen, die auf Pockels, Töpfer und Matthias<sup>10)</sup> zurückgeht. Pockels hat beob-

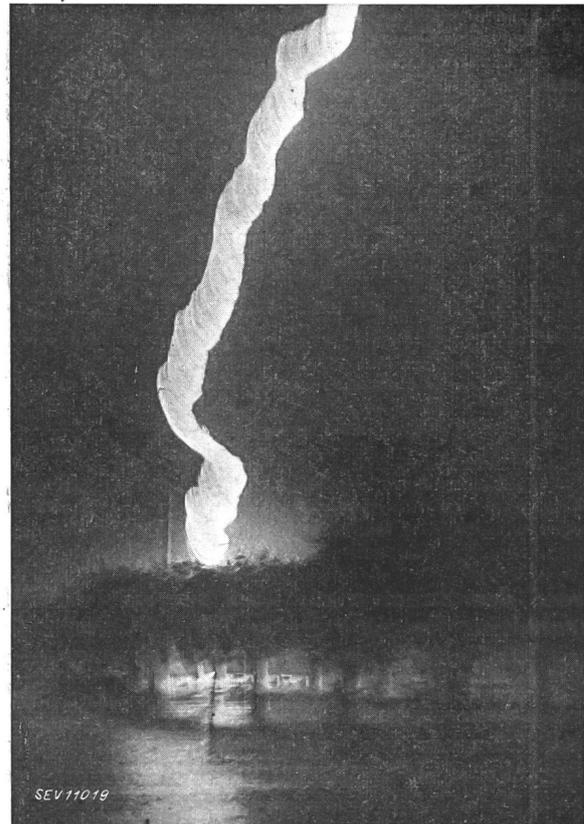


Fig. 13. Photo eines Blitzschlages in den Langensee bei Ascona, vom 20. Juli 1937. (Photograph A. Baumann, Wengen; Kopie Pancaldi, Ascona.)

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 <sup>11)</sup>.

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

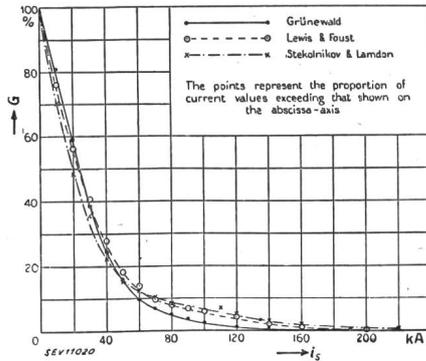


Fig. 14.

**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 <sup>12)</sup>). 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  $\mu$ 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

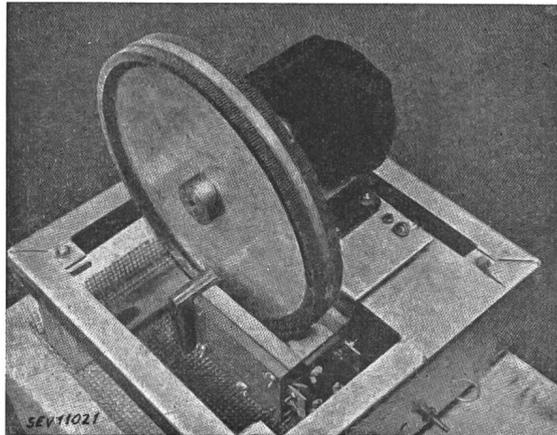


Fig. 15a.

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

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

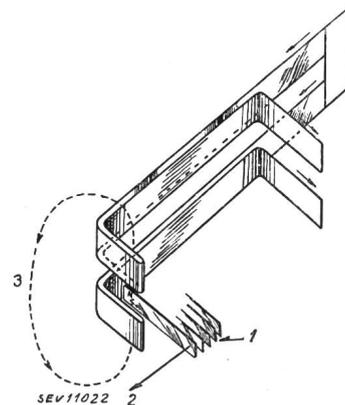


Fig. 15b.

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 <sup>2)</sup>. 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:

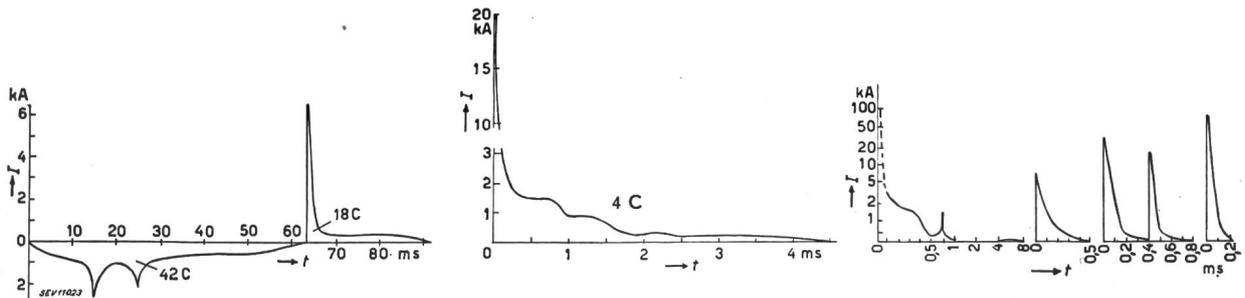


Fig. 16.

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<br>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») <sup>13)</sup>. 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 Spitzenfunkstrecken 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 Schlagweitegesetzen 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

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

Generalversammlung 1943: Am 28/29. August in Montreux  
(mit Damen)