11. *Über die Entstehungsweise des Blitzes;* *von B. Walter.*

(Hierzu Taf. II, Figg. 1—4.)

Durch Abbildung der Funken größerer Induktionsapparate auf schnell bewegten photographischen Platten habe ich vor einigen Jahren den Nachweis erbracht, daß ein solcher Funke in der Regel nicht mit einem Schlage entsteht, sondern daß ihm sein Weg zuvor durch mehrere, stoßweise aufeinander folgende und von Stoß zu Stoß immer weiter vordringende Büschelentladungen gebahnt wird.¹⁾ Eine besonders charakteristische Aufnahme dieser Art habe ich bereits in der zweiten der angeführten Mitteilungen reproduziert; ein anderes, für unseren jetzigen Zweck noch besser geeignetes Bild ist hier in der Fig. 1 wiedergegeben, und zwar handelt es sich hier wie dort um einen 8 cm langen Funken eines mit Quecksilberstiftunterbrecher aber ohne Kondensator betriebenen Induktoriums von 60 cm maximaler Schlagweite. Die Pole der Funkenstrecke bestanden aus zugespitzten Platindrähten, die sich in einer vertikalen Geraden einander gegenüber standen, und zwar befand sich der positive Pol in Wirklichkeit sowohl wie auch in der Figur auf der oberen Seite.

Fig. 1.

Der Verlauf der Zeit ferner geht in dieser Abbildung von links nach rechts, sodaß man demnach ohne weiteres sieht, daß hier dem Auftreten des eigentlichen Funkens *fünf* Vorentladungen

1) B. Walter, Wied. Ann. 66. p. 636. 1898; 68. p 776. 1899.

vorausgegangen sind, die seine Bahn in der oben beschriebenen Weise vorbereitet haben. Dabei ist ferner noch zu bemerken, daß diese Entladungsstöße zwar stets gleichzeitig vom positiven und negativen Pole der Funkenstrecke ausgehen, daß aber doch die Büschel des ersteren diejenigen des letzteren nicht bloß an Länge, sondern auch durch die Stärke ihrer Verästelung ganz erheblich übertreffen. Es kommt demnach der positiven Elektrizität bei weitem das Hauptverdienst an dem Zustandekommen der Funkenbahn zu: dieselbe sucht sich ihren Weg durch die Luft gleichsam tastend, indem sie bei jedem Vorstoß gleichzeitig mehrere Fühler aussendet, von denen aber bei den folgenden Stößen vorzugsweise nur *einer* für das weitere Vordringen der Elektrizität benutzt wird.

Weiter mag zu unserer Fig. 1 noch bemerkt werden, daß die Vorentladungen derselben untereinander sämtlich parallel sind, eine Tatsache, die natürlich so zu verstehen ist, daß eine jede dieser Vorentladungen zunächst den ihr von den vorhergehenden gebahnten Weg benutzt, um erst darüber hinaus ihre eigentliche Pioniertätigkeit zu beginnen. Hieraus folgt dann aber weiter, daß die hierbei in Frage kommenden Luftteilchen eben durch den Durchgang der Entladung eine gewisse Leitfähigkeit für die Elektrizität erlangt haben müssen, die sie zuvor nicht hatten, und daß sie diese Eigenschaft auch eine gewisse Zeit lang beibehalten können, die um so größer ist, je größer die Stromstärke in der vorausgegangenen Entladung war. Auch die Bahn des eigentlichen Funkens der Fig. 1 wiederholt aus denselben Gründen den ihr durch die vorbereitenden Büschelentladungen vorgeschriebenen Weg, wenn auch in diesem speziellen Falle die Abweichungen ziemlich große sind. Die letzteren haben aber ihren Grund lediglich darin, daß die Zeit zwischen dem Auftreten dieses Funkens und dem seiner letzten Vorentladung in diesem Falle schon eine verhältnismäßig recht große ist, wenn auch, absolut genommen, die hier in Frage kommenden Zeiträume nur ziemlich klein sind. Die ganze Dauer dieser Entladung — vom Einsetzen der ersten Vorentladung bis zu dem des Funkens selbst — beträgt nämlich nur $8,2 \cdot 10^{-4}$ Sek.

Endlich aber muß noch auf eine Eigentümlichkeit dieser Funkenaufnahme hingewiesen werden, welche mit Rücksicht

auf die später zu beschreibenden Blitzbilder von besonderer Bedeutung ist, und welche auch der Hauptgrund dafür war, daß ich an dieser Stelle nochmals eine derartige Funkenaufnahme reproduzieren ließ. Es ist dies der Umstand, daß der eigentliche Funke der Fig. 1 in seinem unteren und offenbar zuletzt fertig gewordenen Teile nicht bloß eine deutliche Verdoppelung, sondern sogar außerdem noch verschiedene andere, wenn auch nur sehr schwach angedeutete Nebenzweige in der Luft zeigt. Diese Erscheinung ist nämlich meines Erachtens so zu erklären, daß zunächst auch die hier in Frage kommende Hauptentladung der Fig. 1 noch nicht mit einem Schlage fertig geworden ist, sondern daß ihr — außer den fünf oben beschriebenen Vorentladungen — zum mindesten noch *eine* sechste voraufgegangen sein muß, deren beiderseitige Enden dann eben bis zu der fraglichen Stelle hin gereicht und sich hier in ebenso viele Büschel verzweigt haben, wie unser Funke hier Zweigströme erkennen läßt. Bei der schließlichen Entladung hat dann die Elektrizität nicht bloß *einen*, sondern zugleich *mehrere* Wege zur Verfügung gehabt; und die Verteilung der Stromintensität über diese Zweige richtet sich dann natürlich nach der Größe der Leitfähigkeit, welche die letzteren bei der voraufgegangenen Vorentladung erlangt haben. Im allgemeinen wird dieselbe daher — wie auch in unserer Fig. 1 — eine recht verschiedene sein; immerhin kommen aber doch gelegentlich auch Funken vor, wo zwei derartige Zweigströme nahezu dieselbe Stromstärke besitzen, wie beispielsweise bei dem Funken der Fig. 2 der ersten meiner beiden oben zitierten Abhandlungen. Zum Schlusse aber mag hier noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Stelle, wo sich eine solche Verdoppelung oder auch nur Verbreiterung der Strombahn zeigt, unter allen Umständen *ihren zuletzt fertig gewordenen Teil darstellt*.

Diese so gewonnenen Aufklärungen über die Entstehungsweise des elektrischen Funkens waren nun aber ferner auch noch deswegen von Bedeutung, weil sie sich offenbar auch ohne weiteres auf den *Blitz* ausdehnen ließen, eine Verallgemeinerung, die denn auch tatsächlich bereits in der ersten der oben angeführten Mitteilungen von mir ausgesprochen wurde. Als Hauptstütze derselben konnte ich ferner schon damals auf

das Vorhandensein jener seitlichen Verästelungen hinweisen, welche ja schon seit längerer Zeit an den Hauptentladungen der bis dahin in der Regel mit stehender photographischer Kamera gewonnenen Blitzbilder aufgefallen waren. Immerhin blieb aber doch diese Auffassung zunächst nur eine Hypothese, und so war es denn von jenem Zeitpunkte ab natürlich mein Bestreben, auch für diese letztere womöglich denselben experimentellen Beweis zu führen, wie derselbe mir für die künstlichen Funken des Laboratoriums bereits geglückt war.

Zu diesem Zwecke probierte ich dann in den folgenden drei Sommern ebenso viele verschiedenartige photographische Apparate aus, von denen sich jedoch nur das letzte, zu Anfang des vorigen Jahres entstandene Instrument bewährte, das ich denn auch — zugleich mit einigen der damit gewonnenen Blitzbilder — bereits auf der im vorigen Herbste hierselbst abgehaltenen Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte vorgeführt habe.¹⁾ Auch damals mußte ich allerdings noch bekennen, daß das eigentliche Ziel meiner diesbezüglichen Bemühungen durch diese Aufnahmen noch nicht erreicht sei; nachdem ich nun jedoch für den diesjährigen Sommer noch einige kleine Verbesserungen an meinem Apparate vorgenommen hatte, ist mir der gesuchte Beweis gleich bei dem ersten größeren Dunkelgewitter, am Abend des 30. Mai dieses Jahres, in einer ganzen Reihe von Aufnahmen gelungen, von denen hier allerdings nur einige der bezeichnendsten wiedergegeben werden können. Eine ausführlichere Abhandlung über diesen Gegenstand mit einer größeren Anzahl der an jenem Abend eingefangenen Blitze wird demnächst im Jahrbuche der Hamburgischen wissenschaftlichen Anstalten erscheinen.

Ehe ich nun aber an die Beschreibung der Aufnahmen selbst gehe, möchte ich zuvor noch kurz erwähnen, daß mein in Fig. 2 abgebildeter Aufnahmeapparat aus einer gewöhnlichen, für eine Plattengröße $9/12$ cm bestimmten photographischen Kamera besteht, welche auf die ganz langsam rotierende Achse eines Uhrwerkes gesetzt ist, sodaß sich demnach alle Vorgänge, welche in der Blitzbahn zeitlich nacheinander stattfinden, auf der Platte räumlich nebeneinander abbilden müssen, ebenso

1) B. Walter, Physikal. Zeitschr. 3. p. 168. 1902.

wie dies auf unserem Funkenbilde der Fig. 1 der Fall ist. Auch läßt sich bei dieser Art der Blitzphotographie der Zeitunterschied dt zwischen zwei solchen Vorgängen aus ihrem, auf der Platte gemessenen räumlichen Abstände dy , sowie aus der Brennweite f des Objectives, der Winkelgeschwindig-

Fig. 2.

keit w der Kamera und der mittleren Entfernung y jener Vorgänge von der Mitte der Platte nach der Formel

$$(1) \quad dt = \frac{f dy}{w(f^2 + y^2)}$$

berechnen.

Die erste meiner diesjährigen Aufnahmen nun, welche die Entstehungsweise des Blitzes mit vollkommener Klarheit zeigt, ist in der Fig. 1, Taf. II wiedergegeben, während die Fig. 2

derselben Tafel den mittleren und wichtigsten Teil derselben Aufnahme in größerem Maßstabe bringt. Aus der ersteren dieser beiden Abbildungen geht nun zunächst hervor, daß die Elektrizität der in der linken oberen Ecke des Bildes gelegenen Wolke, die ja die Ursprungsstelle dieses Blitzes darstellt, sich im großen und ganzen in *drei* Hauptschlägen entladen hat, deren stärkste Anschwellungen in 0,0177 und 0,0489 Sek. aufeinander gefolgt sind, sodaß also dieses ganze mächtige und komplizierte Phänomen noch nicht $\frac{1}{10}$ Sek. gedauert hat. Verfolgen wir nun aber von diesen drei Teilentladungen zunächst die linke, d. h. die zeitlich zuerst auftretende, nach unten hin, so bemerken wir, daß dieselbe überhaupt nicht bis zur Erde hingelangt, sondern sich schon vorher in eine große Zahl von mehr oder weniger starken Büschelentladungen auflöst (vgl. auch Fig. 2). Diese ganze erste Entladung stellt daher im Grunde genommen nur eine *Vorentladung* — oder vielmehr, wie wir sogleich genauer sehen werden, eine große Zahl von Vorentladungen unseres Blitzes dar, der nämlich sein Ziel, die Erde, erst in dem zweiten der oben besprochenen drei Hauptschläge erreicht. Erst dieser nämlich ist es, welcher sich nach unten zu fast bis an den unteren Rand des Bildes hin fortsetzt; und wenn sich nun auch hier das unterste Ende desselben scheinbar gleichfalls allmählich in der Luft verliert, so ist doch diese Erscheinung nur darauf zurückzuführen, daß das betreffende Ende der Blitzbahn in diesem Falle vollkommen in dem Dunste der Großstadtluft untergegangen ist, ein Übelstand, der den sämtlichen Aufnahmen jenes Abends anhaftete und der sich auch in sehr einfacher Weise aus den örtlichen Verhältnissen erklärt. Das Gewitter lag nämlich — von meinem Standorte aus gesehen — gerade über dem zentralsten Teile unserer Stadt hinweg und dabei obendrein noch in einem Abstände von etwa 5 km von mir entfernt.

Kehren wir indessen noch einmal zu der ersten Entladung dieses Blitzes zurück, so zeigt nun die Fig. 2 der Tafel des näheren, daß dieselbe in Wirklichkeit aus einer großen Zahl einzelner Büschelentladungen besteht, und daß ferner für jede dieser Vorentladungen die zugehörige Abzweigungsstelle des Seitenastes einen um so größeren horizontalen Abstand von der zur Erde gehenden Hauptentladung hat, d. h. also zeitlich

um so früher entstanden ist, je höher hinauf die Abzweigungsstelle gelegen ist. In dieser Tatsache liegt dann aber auch zugleich der Beweis dafür, daß die einzelnen Vorentladungen dieses Blitzes stoßweise und nacheinander allmählich immer weiter von der Wolke aus in die Luft hinein vorgedrungen sind — genau so wie die Vorentladungen des Funkens der Fig. 1. Etwas Genaueres hierüber wird man übrigens noch bei der Besprechung der nächsten Aufnahme vorfinden.

Verfolgen wir indessen zuvor noch den weiteren Verlauf des Blitzes der Fig. 1, Taf. II, so findet nun, nachdem die Elektrizität der Wolke in dem zweiten der oben genannten drei Hauptschläge die Erde erreicht hat, in der so entstandenen, gut leitenden Bahn des weiteren nur noch eine verhältnismäßig schwache Strömung statt, die aber doch besonders deswegen bemerkenswert ist, weil sich hierbei deutlich ein *wellenartiges Schwanken der Stromintensität* zeigt, wie ja besonders gut in den mittleren und unteren Teilen der Strombahn zu sehen ist (vgl. auch Fig. 2 der Tafel). Ob wir es nun allerdings in diesen Stromschwankungen wirklich mit jenen, auch im Blitze schon so vielfach angenommenen *elektrischen Schwingungen*, d. h. also mit einer hin und her gehenden Bewegung der Elektrizität zwischen Wolke und Erde zu tun haben, darüber dürfte sich auch aus dieser Aufnahme schwerlich etwas Näheres entnehmen lassen; wohl aber scheint sie mir bisher die einzige zu sein, welche wenigstens die *Möglichkeit* einer solchen Auffassung zuläßt. Denn von einer schwingenden Bewegung der Elektrizität kann natürlich nur dann die Rede sein, wenn das Anschwellen und Absinken des Stromes, wie es hier bei unserem Blitze der Fall ist, *allmählich* vor sich geht, nicht aber wenn wir es mit jenen schroff abgesetzten Partialentladungen zu tun haben, wie man sie ja schon so häufig bei derartigen Blitzaufnahmen beobachtet hat, und wie wir sie auch weiter unten noch an einem sehr hervorstechenden Beispiele kennen lernen werden.

Nicht genug aber mit dieser Eigentümlichkeit, zeigt nun der Blitz unserer Fig. 1, Taf. II noch die weitere, daß die dritte und letzte jener drei von der Wolke oben links ausgehenden Hauptentladungen den von der zweiten zur Erde hin gebahnten Weg *nur zum Teil* benutzt, um nämlich in der unteren Hälfte desselben plötzlich in weitem Bogen nach rechts

hin abzuschwenken und hier wahrscheinlich in einer zweiten Wolke zu enden. Diese zunächst etwas seltsam anmutende Erscheinung ist übrigens kein Novum mehr; denn abgesehen von einem in meiner oben angeführten vorjährigen Abhandlung beschriebenen Blitze zeigt sich dasselbe Phänomen auch bereits bei der, ein Jahr früher entstandenen, von G. Lachmann beschriebenen Aufnahme eines Rudolstädter Photographen.¹⁾ Auch scheint dasselbe nicht einmal zu den Seltenheiten zu gehören; denn unter den 16 Blitzen, welche ich am Abende des 30. Mai dieses Jahres innerhalb einer halben Stunde fixiert habe, zeigte sich dasselbe nicht bloß bei dem in der Fig. 1, Taf. II dargestellten, sondern auch noch bei einem zweiten Exemplar, dessen Abbildung man gleichfalls in der oben angekündigten ausführlicheren Abhandlung finden wird.

Hier sei darüber nur soviel erwähnt, daß der betreffende Blitz sich von dem hier abgebildeten besonders dadurch unterscheidet, daß die beiden aus derselben Wolke kommenden und auch zum Teil denselben Weg benutzenden Partialentladungen nur 0,0232 Sek. auseinander liegen, und vor allem, daß die beiden verschiedenen Einschlagstellen desselben *beide auf der Erde* liegen, ein Fall, der bisher noch nicht vorlag, der mir aber von prinzipieller Bedeutung zu sein scheint. Dabei beträgt die Entfernung dieser beiden Einschlagstellen hier sicher mehr als 1 km, ein Abstand, der bei dem Blitze der Fig. 1, Taf. II allerdings noch erheblich größer, nämlich sicher mehr als 2 km war.

Was nun aber endlich die Erklärung dieses so merkwürdigen Abspringens des Blitzes von einer vorhandenen und nach dem obigen doch auch jedenfalls verhältnismäßig gut leitenden Bahn angeht, so wird dieselbe besonders durch die in unseren Figg. 1 und 2, Taf. II dargestellte Aufnahme angedeutet. Wir sehen nämlich hieraus, daß der Seitensprung in diesem Falle durchaus nicht plötzlich und unvermittelt entstanden ist, sondern daß auch ihm schon eine große Zahl von „Vorentladungen“ vorausgegangen sind — und somit kommen wir also hier bei diesem Blitze gewissermaßen noch einmal zu unserem eigentlichen Thema zurück. Diese Vorentladungen

1) G. Lachmann, Meteorologische Zeitschr. 18. p. 80. 1901.

sieht man in der Fig. 1 der Tafel am deutlichsten links vor der großen, nach unten gerichteten Biegung der in Rede stehenden Seitenentladung; in schwacher Andeutung kann man dieselben aber sogar noch jenseits der in der rechten Hälfte der Abbildung gelegenen höchsten Erhebung dieser Entladung erkennen. Durch die Messung des horizontalen Abstandes jener Vorentladungen von ihrer zugehörigen Hauptentladung läßt sich aber ferner feststellen, daß *die ersteren zum Teil sogar vor dem Auftreten der zweiten, zur Erde hingehenden Hauptentladung des ganzen Blitzes vorhanden waren*, sodaß es daher keinem Zweifel unterliegt, daß die Bahn unserer Seitenentladung nichts anderes als den zweiten Ast eines Büschels darstellt, welcher schon bei der ersten Ausbildung der Blitzbahn zu stande kam, und dessen anderer Ast eben den Weg jener zweiten, zur Erde hingehenden Hauptentladung desselben bahnte.

Glücklicherweise ist übrigens auch die Verzweigungsstelle der betreffenden Vorentladung bei dieser Aufnahme sehr deutlich zur Abbildung gelangt, und habe ich in der Fig. 2, Taf. II durch einen Pfeil auf dieselbe hingedeutet. Ja, an dieser Stelle macht es sogar den Eindruck, als ob der nach unten gehende Ast erheblich schwächer wäre als der nach rechts hin abzweigende, sodaß man sich im ersten Augenblick vielleicht wundern möchte, warum der Blitz nicht gleich diesem letzteren gefolgt ist und sich vielmehr zunächst über den ersteren hinaus zur Erde hin entladen hat. Bei dieser Schlußweise würde man indessen übersehen, daß derartige Aufnahmen einen richtigen Vergleich der Intensitäten beider Äste in diesem Falle nicht zulassen, da nämlich der eine derselben nahezu horizontal, der andere dagegen nahezu vertikal verläuft, und eine horizontale leuchtende Linie sich auf unserer in horizontaler Richtung bewegten photographischen Platte natürlich viel heller abbilden muß als eine ebenso starke vertikale. Auf die gleiche Ursache sind übrigens — wie hier gleich nebenbei erwähnt werden mag — die helleren horizontalen Linien zurückzuführen, welche in unseren Bildern überall dort auftreten, wo die Blitzbahn auf längere Strecken horizontal verläuft: wir haben es also hier nicht etwa mit lokalen Anschwellungen der Stromintensität, sondern nur mit einer durch die optischen Verhältnisse bedingten, erhöhten Lichtwirkung zu tun.

Kehren wir indessen noch einmal zu der Entstehungsweise der oben in Rede stehenden, plötzlichen Seitensprünge der Blitze zurück, so werden wir uns dieselbe nun etwa so zu denken haben, daß die Elektrizität der Wolke gleich bei den sich nach allen Seiten hin verzweigenden Vorentladungen an vielen Stellen der Erde sowohl wie auch benachbarter Wolken durch Influenz entsprechende Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens erzeugt, und daß dann häufig nicht bloß *eine*, sondern auch mehrere dieser Influenzladungen durch entsprechende Entladungen neutralisiert werden. Die letzteren erfolgen dann, wie die Aufnahmen zeigen, nicht gleichzeitig, sondern nacheinander.

Hiermit aber verlassen wir die in den Figg. 1 und 2, Taf. II dargestellte Blitzerscheinung, um uns derjenigen zuzuwenden, welche in der Fig. 3 der Tafel wiedergegeben ist, und welche in ihrer Hauptentladung nicht bloß ebenfalls die Entstehungsweise des Blitzes mit großer Deutlichkeit erkennen läßt, sondern auch noch obendrein dabei unserer vorigen Abbildung gegenüber einen sehr bemerkenswerten Unterschied zeigt. Schon rein äußerlich ist derselbe übrigens auch noch deswegen von Interesse, weil sich bei diesem Bilde der bekannte Vergleich des Blitzes mit einem Flußsysteme mit besonderer Deutlichkeit aufdrängt, insofern nämlich hier der Hauptstrom nach seiner Einmündungsstelle in die Wolke zu auch sogar zusehends *breiter* wird. Nichtsdestoweniger würde nun aber dieser Vergleich, wenn er auf die *Entstehungsweise* beider Phänomene ausgedehnt werden sollte, ein vollkommen irreführender Wegweiser sein; denn ein Strom würde natürlich an der Quelle, d. h. also in unserem Bilde unten beginnen, während der Blitz, wie wir wissen, umgekehrt von der Wolke aus seinen Ursprung nimmt.

Dies zeigt nun auch unsere Fig. 3 ohne weiteres, denn die eigentliche zur Erde gehende Hauptentladung derselben läßt sich auch in dem oberen Teile des Bildes deutlich als ein schmaler hellerer Streifen von dem weniger hellen, aber um so breiteren Bande, das durch die Summe ihrer Vorentladungen gebildet wird, absondern; und es liegt der erstere ferner auch stets *rechts* von dem letzteren, sodaß er also zeitlich den Schluß des ganzen Phänomens bildet, wie es ja unsere Auffassung auch erfordert.

Was aber sodann den bereits oben angedeuteten wichtigen Unterschied des Blitzes der Fig. 3, Taf. II von dem der Fig. 1, Taf. II angeht, so besteht nun derselbe darin, daß die hellsten Teile der Seitenäste des ersteren sämtlich bis unmittelbar an die helle Ader der Hauptentladung desselben zu verfolgen sind und also gleichzeitig mit dieser entstanden sein müssen, während andererseits bei den stärkeren dieser Seitenzweige *links* von diesen hellsten Teilen zugleich auch die dazu gehörigen, in diesem Falle allerdings viel schwächeren *Vorentladungen* erkannt werden können. Nichtsdestoweniger liefert uns aber das Vorhandensein der letzteren auch hier wieder den Beweis, daß die *Entstehung* der Bahnlinie dieser Seitenäste dem Auftreten der Hauptentladung zeitlich voraufgegangen ist, während andererseits die hier gleichzeitig mit der letzteren erfolgende starke Aufhellung dieser sämtlichen Bahnlinien natürlich einfach so aufzufassen ist, daß die *Elektrizität der Wolke in dem Augenblick, wo die Hauptentladung auftritt, zugleich auch noch einmal kräftig in die sämtlichen Seitenzweige der Vorentladungen hineinschlägt*. Daß aber ferner diese Erscheinung bei dem Blitze der Fig. 1 — trotz der kräftigen Vorentladungen desselben — lange nicht in dem Maße ausgeprägt ist wie bei dem der Fig. 3, dürfte wieder darauf zurückzuführen sein, daß die Zeit zwischen dem Auftreten dieser Vorentladungen und dem der zur Erde gehenden Hauptentladung im ersteren Falle über doppelt so groß ist wie im letzteren, wie auch schon aus dem Vergleiche der beiden in gleicher Vergrößerung reproduzierten Figg. 2 und 3 der Tafel folgt.

Die Aufnahme der Fig. 3 ist nun aber weiter auch noch deswegen von Wichtigkeit, weil sie uns sozusagen auch einen *zahlenmäßigen Beweis* für die Richtigkeit der hier zu begründenden Auffassung der Entstehungsweise des Blitzes liefert. Betrachten wir nämlich zu diesem Zwecke z. B. die drei kräftigen, von dem oberen Teile der Blitzbahn nach links unten hin abzweigenden Seitenäste, so stellt sich uns jeder derselben als ein Paar paralleler Linien dar, deren rechte stets gleichzeitig mit der Hauptentladung auftritt, während die linke dagegen gewissermaßen den veränderlichen Zeitpunkt der Entstehung des betreffenden Seitenastes angibt, sodaß uns mithin der horizontale Abstand dieser Linien unmittelbar die Zeit

liefert, um welche die betreffende Vorentladung dem Hauptschlage voraufgegangen ist. Für die drei obengenannten Seitenäste erhält man auf diese Weise von oben nach unten der Reihe nach 0,00885, 0,00795 und 0,00569 Sek.; und es folgt demnach hieraus nicht bloß, daß derjenige dieser Seitenäste, dessen Abzweigungspunkt (der Wolke näher lag, auch zeitlich früher entstanden ist, sondern weiter auch, daß das Auftreten dieser Verzweigungen ein *stoßweises* war, genau so wie wir es bei der Funkenaufnahme der Fig. 1 kennen gelernt haben. Endlich aber ergibt sich aus den angeführten Zahlen noch, daß die gesamte Entstehungsdauer dieses Blitzes nur 0,00885 Sek. betragen hat; denn mit dem ersten Auftreten des obersten der in Rede stehenden Seitenäste fällt ja auch der Beginn der ganzen Entladung zusammen — wenn man nicht die links von derselben in ziemlich großem Abstände von ihr liegende Büschelentladung dazu rechnen will, die nämlich höchst wahrscheinlich ebenfalls als eine, zeitlich allerdings stark abgesonderte Vorentladung dieses Blitzes anzusehen ist.

Von den weiteren Einzelheiten der Fig. 3, Taf. II sei hier schließlich nur noch hervorgehoben, daß die Wolke, aus welcher der Hauptblitz derselben hervorgegangen ist, an der betreffenden Stelle deutlich eine *zugespitzte Form* erkennen läßt, sodaß also sogar hier die bekannte Tatsache zur Geltung kommt, daß die positive Elektrizität sich mit Vorliebe aus den zugespitzten Teilen eines Leiters entladet. Denn daß wir es hier sowohl wie auch in dem Blitze der Fig. 1, Taf. II tatsächlich mit einer *positiv* geladenen Wolke zu tun haben, dürfte nach Analogie der bei den Funken gemachten Beobachtungen aus der starken Verästelung, welche die Vorentladungen dieser Blitze zeigen, ohne weiteres hervorgehen. Andererseits mag aber der in der linken unteren Ecke der Fig. 3, Taf. II sichtbare Blitz, der nahezu gleichzeitig mit dem Hauptschlage dieser Abbildung aufgetreten sein muß — denn ich schloß natürlich meine Kamera stets sofort nach erfolgter Entladung — vielleicht aus einer *negativ* geladenen Wolke stammen, da er nämlich überhaupt keine Verästelungen zeigt. Ich würde diese Vermutung übrigens nicht ausgesprochen haben, wenn ich nicht an demselben Abend noch ein zweites Paar derartiger,

fast zu derselben Zeit entstandener selbständiger Blitzschläge aufgenommen hätte, Blitzschläge, die in allen Einzelheiten eine geradezu überraschende Ähnlichkeit mit den beiden in Rede stehenden Blitzen der Fig. 3, Taf. II zeigen, sodaß sich daher unwillkürlich die Vermutung aufdrängt, daß das Auftreten des einen dieser Blitze die Entstehung des anderen überhaupt erst veranlaßt hat. Tatsächlich erscheint es ja auch gar nicht so undenkbar, daß z. B. durch die Entladung der positiven Elektrizität einer Wolke die dadurch in einer zweiten durch Influenz gebundene negative Ladung plötzlich frei wird und so das nötige Potential erlangt, um sich mit einem oder auch mehreren kräftigen Vorstößen gleichfalls den Weg zur Erde hin bahnen zu können.

Wenn diese Auffassung zutreffen sollte, so würde dann der „negative“ Blitz der Fig. 3, Taf. II die Erde in *einem* Schlage, derjenige der erwähnten anderen Aufnahme jenes Abends, die übrigens l. c. gleichfalls reproduziert werden wird, dieselbe dagegen erst mit dem dritten Vorstoß erreicht haben; denn der betreffende Blitz zeigt deutlich zwei, wenn auch vollkommen unverzweigte Vorentladungen. Bemerkenswert ist schließlich auch noch, daß die unverzweigten Blitze beider Aufnahmen nach dem Zustandekommen der Entladungsbahn noch ein verhältnismäßig lange anhaltendes Fließen der Elektrizität in der letzteren zeigen, während die stark verästelten, „positiven“ Blitze beider sozusagen mit ihrem Entstehen auch schon wieder erloschen sind.

Als letzte Aufnahme des genannten Abends möge hier endlich noch diejenige der Fig. 4, Taf. II kurz besprochen werden, da dieselbe eine, soviel ich weiß, bisher noch nicht beobachtete Erscheinung aufweist, eine Erscheinung, die allerdings mit der Entstehungsweise des Blitzes nur indirekt etwas zu tun hat.

Zunächst besteht dieser Blitz aus fünf, schroff abgesetzten Teilentladungen, die alle denselben Weg durch die Luft zurückgelegt haben, und die von links nach rechts in 0,0360, 0,0364, 0,0283 und 0,1440 Sek. aufeinander gefolgt sind, sodaß also das ganze Phänomen etwa $\frac{1}{4}$ Sek. gedauert hat. Dabei mag hier noch einmal hervorgehoben werden, daß wir es in diesen Partialentladungen nicht etwa mit einer schwingungsartigen Bewegung der Elektrizität zwischen Wolke und Erde zu tun

haben; denn eine solche müßte notwendigerweise ein *allmähliches* Ansteigen und Abfallen der Strömung von einer Partialentladung zur anderen nach sich ziehen, während doch hier das gerade Gegenteil davon der Fall ist.

Blitze mit derartigen schroff abgesetzten Teilentladungen sind nun allerdings schon mehrfach fixiert worden; und das Neue an diesem Bilde besteht denn auch vielmehr darin, daß *verschiedene der Verästelungen der ersten Partialentladung derselben sich bei dem zweiten und dritten Schläge wiederholen.*

Es tritt uns demnach hier die eigentümliche Erscheinung entgegen, daß die Elektrizität der Wolke, trotzdem sie sich in der Bahn der ersten Hauptentladung einen verhältnismäßig sehr gut leitenden Weg zur Erde hin geschaffen hat, doch bei dem zweiten und dritten Schläge zum Teil auch noch in die Verästelungen des ersten hineinfließt, eine Tatsache, die wohl nur dann zu verstehen ist, wenn wir die Annahme machen, daß auch in diesen Verästelungen schon eine gewisse Verbindung zur Erde hin bestanden hat, deren Leitfähigkeit zwar viel kleiner als die der Hauptbahn, immerhin aber doch groß genug war, um bei dem zweiten und dritten Partialschläge noch einen deutlich sichtbaren *Zweigstrom* in sich aufzunehmen. Mit dieser Auffassung steht es dann auch in Einklang, daß die sich in der Fig. 4 wiederholenden Seitenäste ohne Ausnahme solche sind, welche nach unten, d. h. also *zur Erde hin* zeigen; und zwar beobachtet man diese Bevorzugung nicht bloß bei den primären, direkt von der Hauptbahn abzweigenden Ästen, sondern auch sogar bei den sekundären Verzweigungen der letzteren.

Im Grunde genommen sind nun allerdings, wie wir aus den zu der Fig. 3 gemachten Bemerkungen wissen, auch schon die sämtlichen Verästelungen der *ersten* Partialentladung dieser Fig. 4 nur Wiederholungen der bei den Vorentladungen dieses Blitzes ausgebildeten Büschel; und wenn nun allerdings diese Vorentladungen in der Fig. 4 nicht ebenso wie in der Fig. 3 — sowie auch in einigen anderen Aufnahmen jenes Abends — sichtbar geworden sind, so liegt dies offenbar nur daran, daß dieselben im ersteren Falle viel schwächer waren als in den anderen Aufnahmen, wie ja auch unmittelbar aus dem Vergleiche der Stärke des links neben dem oberen Teile der ersten

Partialentladung der Fig. 4 herlaufenden hellen Bandes mit der des entsprechenden Bandes der Fig. 3 hervorgeht.

Darum stellt denn auch das wiederholte Aufleuchten eines Teiles der Seitenzweige der ersten Entladung der Fig. 4 im Grunde genommen nur eine besondere Art der schon bei Besprechung der Fig. 3 aufgeführten Erscheinung dar, daß die Elektrizität der Wolke bei dem Auftreten der Hauptentladung sich in diesem Falle nicht bloß in die Hauptbahnlinie, sondern zugleich auch in die sämtlichen bei den Vorentladungen ausgebildeten Seitenzweige derselben ergoß; und zwar werden wir nun nach dem obigen diese Erscheinung einfach als eine *Stromverzweigung* aufzufassen haben, wie wir sie mit einigen kleinen, durch die äußeren Umstände bedingten Verschiedenheiten ja auch schon bei der Funkenaufnahme der Fig. 1 kennen gelernt haben.

Hamburg, Physik. Staatslaboratorium, im November 1902.

(Eingegangen 26. November 1902.)