

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Geschichte einer merkwürdigen Blitzaufnahme  
**Autor:** Rüst, E. / Berger, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056530>

### **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>**

### Elektrostatische Wattmeter für Frequenzen bis 10 kHz

Der Bedarf für ein solches Instrument liegt heutzutage vor. Das elektrodynamische sowie das Hitzdrahtprinzip sind gegenüber dem elektrostatischen weniger vorteilhaft. Eine Apparatur nach Fig. 8 ist im Versuchsstadium und greift auf eine an sich seit Jahren bekannte Schaltung zurück, abgesehen vom Spezial-Stromwandler, welcher das für die Quadranten erforderliche Potential an einem Spannungsteiler abzugreifen erlaubt. Für den Stromwandler kommt nur Nickel-Eisen aus dünnem Draht oder feinem Blech in Frage. Die Ampèrewindungszahl kann und muss sehr niedrig gehalten werden, um

den bei den höheren Frequenzen sich einstellenden induktiven Abfall entsprechend klein zu halten.

Mit dieser Aufzählung einiger Beispiele sollte nur auf die mannigfache Verwendung von Strom- und Spannungswandlern kleinster Abmessungen in Verbindung mit Meßschaltungen hingewiesen werden. Bei den meisten ist die Verwendung von Nickel-Eisenblech unerlässlich.

Es ist zu hoffen, dass die Nickel-Eisen-Legierungen in früherer Qualität bald einmal wieder erhältlich sind, wenn möglich in der Schweiz selber hergestellt. Ernsthafte Vorarbeiten hiezu wurden, soviel uns bekannt, bereits gemacht.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. A. Täuber-Gretler, Trüb, Täuber & Co. A.-G., Zürich.

### Geschichte einer merkwürdigen Blitzaufnahme

Von E. Rüst und K. Berger, Zürich

551.594.2

*Eine Blitzaufnahme aus Ascona vom Jahr 1937 machte in Form einer Postkarte und Zeitungsreproduktionen den Weg um die Welt. Sie zeigte eine noch unbekannte Blitzform, die überall viel Kopfzerbrechen verursachte. Photographische Untersuchungen und Fortschritte in der Kenntnis der Blitznatur ergaben nun mit aller Sicherheit, dass es sich bei dieser viel diskutierten Blitzphotographie um eine verwackelte Aufnahme handelt. Sie ist aber gleichzeitig die Bestätigung eines Blitzes von mehr als  $\frac{1}{50}$  Sekunde Dauer.*

*La photographie d'un éclair prise à Ascona en 1937 et reproduite en carte postale, ainsi que dans des journaux, a fait le tour du monde. Elle montrait une forme d'éclair inconnue jusqu'alors et qui intrigua de nombreux savants. Des recherches photographiques et une meilleure connaissance de la nature de l'éclair ont prouvé que cette photographie si discutée était due à un déplacement de l'objectif au moment de la prise de vue. Elle apporte toutefois la confirmation d'un éclair d'une durée de plus de  $\frac{1}{50}$  de seconde.*

Am 20. Juli 1937 gingen in Ascona am Lago Maggiore drei heftige Gewitter nieder. Der Photograph A. Baumann begab sich mit der Absicht, Blitzaufnahmen zu machen, am Abend auf die am See gelegene Piazza. Da es noch nicht dunkel genug war, um die Photokammer auf ein Stativ zu stellen und mit geöffnetem Verschluss den Blitz abzuwarten, stellte er den Verschluss auf  $\frac{1}{50}$  Sekunde und hielt, an eine Säule des Palazzo Municipale gelehnt, die Kamera in der Hand, gegen den See gerichtet. Plötzlich schlug ein blendener Blitz mit gewaltigem Knall hinter den Uferbäumen in den See, so dass die Leute aufschrien. Der Photograph drückte im Schreck auf den Auslöser und fing den Blitz auf dem Film ein.

Der entwickelte Film war sehr dicht und schwer kopierbar. Der Photograph stellte daher über ein Diapositiv ein besser kopierbares Duplikatnegativ her, von dem Fig. 1 abgezogen wurde. Der Blitz zeigt darin eine völlig ungewohnte und unbekannt Form. Er ist ausserordentlich breit und wie aus ovalen Scheiben zusammengesetzt.

Die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, der die Blitzphotographie vorgelegt wurde, äusserte sich am 23. August 1937 etwas unbestimmt:

«Die Erklärung der Erscheinung ist eine sehr schwierige. Sie scheint eine Bestätigung der Ansicht des Prof. Matthias zu sein, der die Bildung durch die elektrische Entladung einer besonderen explosiven Materie annimmt.

Das Ganze gibt den Eindruck einer derartig wirbelartig durch den Blitzschlauch herunterfallenden Materie. Es ist höchst bedauerlich, dass die Bäume den Unterteil des Blitzes gerade unsichtbar machen. Merkwürdig ist auch, dass von dem Blitz kaum etwas an der SeEOberfläche selbst zu erkennen ist. Im Gegenteil ist das untere Ende desselben sehr lichtklar und gibt den Eindruck eines kugeligen Endes des Blitzschlauches, wie wenn ein Tropfen glühender Materie durch die Luft heruntertropfte.»

Die «Hamburger Seewarte» gab am 23. 8. 1937 den Bericht:

«Auf die Zuschrift vom 13. ds. erwidere ich ergebenst, dass ich die übersandte Blitzphotographie genau angesehen und sie auch einer grösseren Anzahl von Fachgenossen gezeigt habe. Von all diesen hat kein einziger jemals einen derartigen Blitz gesehen oder in der Literatur gefunden. Physikalisch erscheint ein solcher Blitz ausserordentlich schwer deutbar. Man kennt zwar sog. Perlschnurblitze; doch haben diese ein wesentlich anderes Aussehen.

Betrachtet man das Bild näher, so findet man verschiedene Merkwürdigkeiten: Z. B. liegt der unterste Teil des Blitzes vor den Kronen der Bäume, während er zweifellos hinter den Bäumen eingeschlagen haben müsste. Weiterhin enden die einzelnen Bögen, aus denen sich der Blitz zusammensetzt, zum Teile frei in der Atmosphäre, während sie zumindest geschlossene Bögen darstellen sollten. Auch sonst finden sich noch eine Reihe von Verdachtsmomenten, die es wahrscheinlich machen, dass hier die Retusche eine ganz ausschlaggebende Rolle gespielt hat.»

In Amerika soll die Echtheit des Blitzes ebenfalls bezweifelt worden sein. Trotzdem machte die Blitzaufnahme in einer Reihe von ausländischen Zeitungen als merkwürdige Naturerscheinung die Runde. So in der Berliner Illustrierten Nr. 38 vom September 1937, in dem Nieuwe Rotterdamse Courant Nr. 411 vom September 1937, in The Illustrated London News vom 17. September 1937 und in Le Matin Nr. 19525 vom 5. September 1937. Die Schweizer Zeitungen lehnten die Aufnahme ab.

Die Erklärung der merkwürdigen Blitzform war verschieden: «Er drehte sich in rasender Geschwindigkeit zu der Form eines glühenden, gewundenen Dochtes — eine riesenhafte Spirale von blendendem weiss (Berliner Illustrierte); «Er gehört zu dem Typus, den die Deutschen Schlauchblitz nennen» (Rotterdamse Courant); «Ein ausserordentlicher Blitz, et-

was ähnlich dem Bandblitz, aber mehr einem gewundenen Docht gleichend» (Illustrated London News); «Man glaubt, dass der Blitz eine gewisse chemische Masse entflammen konnte, die sich in der Luft befand. Das erklärt die ungewöhnliche Breite des Blitzes» (Le Matin).

W. Brückmann, der damalige Leiter des Osservatorio Ticinese der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Locarno, war von Anfang an überzeugt, daß es sich nicht um eine ordnungsmässige Blitzaufnahme handeln könne. Doch musste er sich zunächst mit der Versicherung begnügen, die er von den Photographen Pancaldi und Baumann in Ascona persönlich erhielt, dass die Photographie keine Retusche erfahren habe, dass sie aber eine «Schreckensaufnahme» und entsprechend verwackelt sei. Da erschien in der neuesten Auflage des Buches von H. F. Flechtner «Du und das Wetter, eine Wetterkunde für jedermann» (Berlin, Deutscher Verlag, 1940) diese Blitzphotographie als eine neue Art von Blitz, worauf es Brückmann für angezeigt hielt, die Gelegenheit weiter zu verfolgen. Er sandte die seinerzeit als Ansichtskarte herausgekommene Blitzphotographie (Fig. 1) mit der Bitte um Meinungsäußerung an das Photographische Institut der ETH und der Photograph Baumann, jetzt in Wengen, überliess uns in verdankenswerter Weise das Negativ, so dass der Fall aufgeklärt werden konnte<sup>1)</sup>.

Das Negativ, auf einem Film  $4,5 \times 6$  cm, zeigt keine Spur irgendwelcher Retusche. Der Blitz zieht sich als ein gewundenes, dickes Band vom oberen Rand bis zu den Bäumen. In der schiefen Aufsicht ist er als Ganzes etwas reliefartig vertieft, auch die bogenförmigen Streifen zeichnen sich durch leichtes Relief aus, wie dies bei Stellen, die sehr stark geschwärzt sind, etwa vorkommt. Es ist daher ausgeschlossen, dass eine vor oder beim Entwickeln heruntergelaufene reduzierende Flüssigkeit das schwarze Band bewirkt hat. Das Blitzband ist scharf begrenzt, umgeben von einem schmalen, helleren Saum, hervorgerufen durch starke Bromionenausscheidung bei den überbelichteten Bildteilen. Die Umgebung des Blitzbandes ist leicht dunkler als die übrige Himmelsfläche von mittlerem Grau. Die Baumkronen sind in ihrem mittleren Teil völlig unterbelichtet. Um Wipfelteil und im unteren Teil des Laubwerkes zeigt sich einigermassen Zeichnung.

Die Erscheinung muss also durch Aufbelichten in der Kammer entstanden sein. Man könnte etwa an ein kleines Löchlein im Kammerbalg denken, durch das beim Blitzschlag ein Lichtstrahl eingedrungen wäre, der durch unruhige Haltung der Kammer verzittert wurde. Die Aufnahmekammer, die wir einsehen konnten, war aber vollkommen lichtdicht.

<sup>1)</sup> Brückmann vermutet, wie er uns schreibt, dass ein weiterer Faktor eine wesentliche Rolle beim Zustandekommen des merkwürdigen Bildes mitgespielt habe, nämlich die Tatsache, dass die Aufnahme des Blitzes, mit bewegter Kamera, nicht durch trockene Luft hindurch erfolgt ist, sondern durch das «optisch unsaubere» Milieu der vom Wind gepeitschten Wasserfäden eines heftigen Platzregens. Es sei gewissermassen mehr die Photographie eines dichten, unregelmässigen Gewebes aus fließenden Wasserfäden, die von einem Lichtspalt her durchleuchtet wurden, als die eines Blitzes.

Ueberdies befindet sich der Widerschein auf dem überschwemmten, nassen Boden des Vordergrundes gerade an der richtigen Stelle in bezug auf die Lage des Blitzes am Himmel und den Standort des Photographen. Dies wäre kaum der Fall, wenn der «Blitz» durch einen mehr seitwärts einfallenden Lichtstrahl vorgetäuscht worden wäre. Merkwürdig ist allerdings, dass der Blitz deutlich vor den Baumkronen aufzuhören scheint, während er doch hinter den Bäumen in den See eingeschlagen haben muss.

Wir legten die Blitzaufnahme vorerst R. Billwiler, dem damaligen Direktor der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich, vor. Er bemerkte dazu: «Wenn es ein Blitz ist, ist es eine seltene Erscheinung, die in dieser Art noch nie gesehen wurde. Es könnte vielleicht ein rasch bewegter Kugelblitz sein; dem widerspricht aber, dass die Spiralen nicht geschlossen sind. Es ist eine leuchtende Erscheinung da, eine Wasserhose wäre nicht ausgeschlossen, aber wie soll die leuchten? Die Erscheinung sieht ähnlich aus, wie wenn ein kleiner Wassertropfen auf einer gelatinierten Fläche abwärts läuft.»



Fig. 4.  
Aufnahme des Strandes bei Tag

Es wurde nun versucht, durch Kopieren bzw. Vergrössern auf Lichter, Mitteltöne und Schatten unter Verwendung von hart und weich arbeitenden Bromsilberemulsionen nähere Aufschlüsse zu erhalten. Kopiert man auf die Lichter (Fig. 2), also auf das Blitzband allein, so sieht man am rechten Rand eine verhältnismässig schmale, zackige Spur, wie solche auch auf gewöhnlichen Blitzphotographien zu sehen sind. Ferner bemerkt man sehr gut, dass die ringförmige Struktur durch unsymmetrische Bögen hervorgerufen wird, die am scharfen Blitzende anfangen, nach unten gehen, umbiegen und am linken Rand des Blitzendes aufhören. Beim Kopieren auf die Mitteltöne (Fig. 3) finden sich dann dieselben Bogenformen als Schatten, ausgehend von einem auf einer Seite beleuchteten, über der Baumgruppe sichtbaren Leitungsmast (vgl. Fig. 4). Ferner gehen gleichartige Schuppenbögen von dem oberen Blätterwerk der Bäume in den Himmel hinein. Beim Kopieren auf einer sehr hart arbeitenden Gaslichtemulsion mit schwacher Belichtung treten diese unsymmetrischen Bögen auch an der unteren Grenze des Laubwerkes auf (Fig. 5).

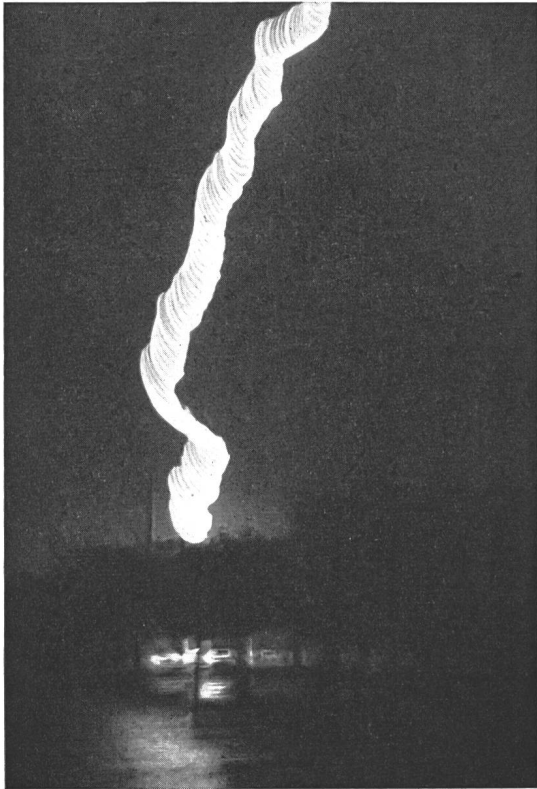


Fig. 1.  
Kopie des Photographen (ab einer Ansichtskarte)

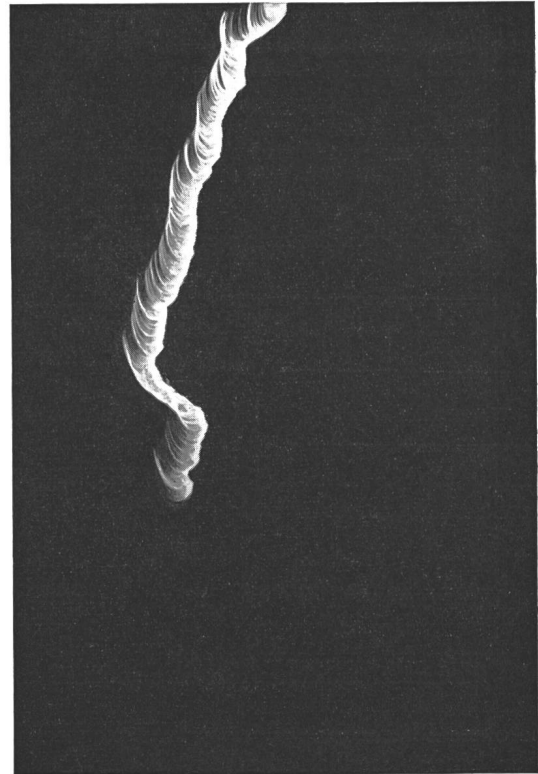


Fig. 2.  
Auf die Lichter kopierte Photo

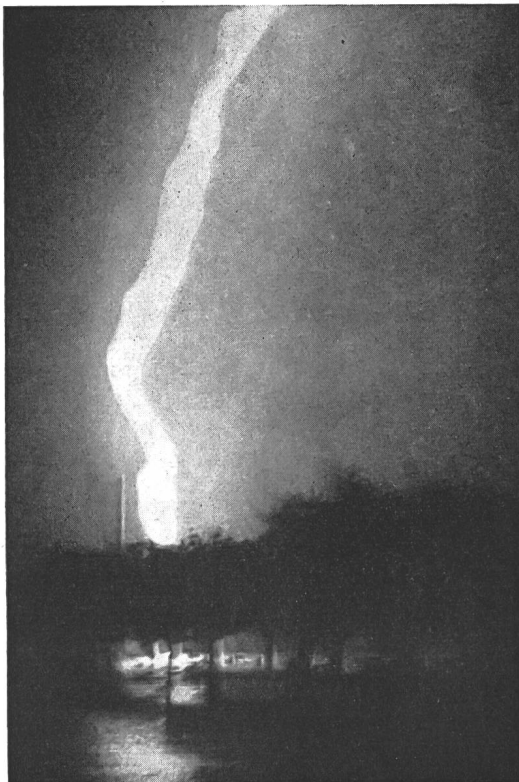


Fig. 3.  
Auf die Mitteltöne kopierte Photo

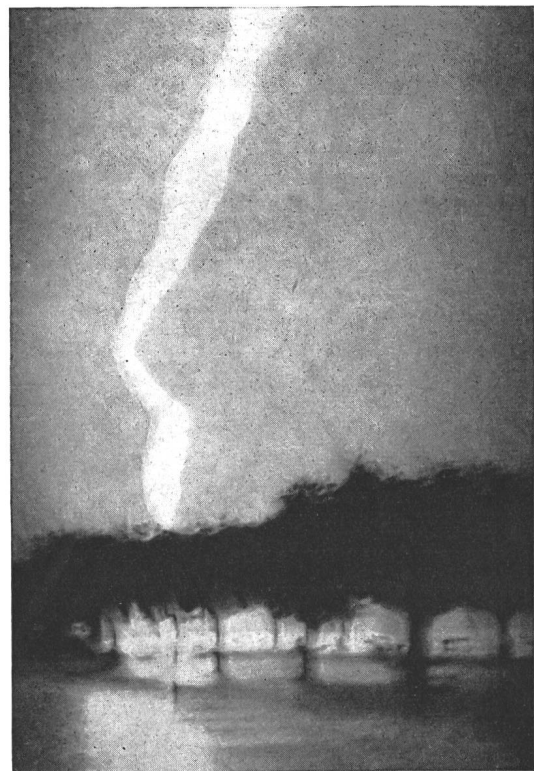


Fig. 5.  
Sehr harte Kopie

Diese photographischen Untersuchungen ergeben, dass es sich um eine verwackelte Aufnahme handeln muss. Denn die gleichen Bogenkurven, die wir am Blitzband wahrnehmen, finden sich auch an allen festen Gegenständen, die hell genug beleuchtet sind und auf einen günstigen Hintergrund fallen, um sich von ihm abzuheben. Unaufgeklärt blieb dagegen, wie eine genügend rasche Wackelbewegung entstehen konnte, um während der ausserordentlich kurzen Dauer eines Blitzes dessen Spur derart breit auszuziehen.

Im Sommer 1939 erhielt der zweite Autor Kenntnis von der merkwürdigen Blitzphoto, die ihm als Ansichtskarte von Dr. M. Dick, Baden, zugestellt wurde. Nachdem das Rätsel zunächst ungeklärt geblieben war, gewann das Bild plötzlich grosses Interesse, als sich bei den Gewittermessungen auf dem Monte San Salvatore 1943...1945 die Dauer des Blitzstromes oft als unerwartet gross ergab. Ohne von den Untersuchungen des ersten Autors zu wissen, ging der zweite auf die Suche nach Original-Kopien und Original und fand so bei Pancaldi in Ascona einige gute, verschieden hart kopierte Kopien des Originals. Der Vergleich dieser Bilder mit den Oszillogrammen des Stromverlaufs im Blitz liess jeden Zweifel schwinden, dass es sich um eine verwackelte Aufnahme eines *Blitzes mit langer Stromdauer* handelt. Darüber hinaus ergaben sich einige wertvolle Bestätigungen der Anschauung vom Blitz, die uns durch die Strommessungen auf dem Monte San Salvatore vermittelt wurden. Es mag von weiterem Interesse sein, auf einige Einzelheiten hinzuweisen.

Bereits aus früheren Photographien des Blitzes mit absichtlich bewegter Kamera steht fest, dass der Blitz sehr oft aus mehreren Teilschlägen (Teilblitzen) besteht, die in sehr verschiedenen Zeitintervallen von Tausendstel- bis Zehntelsekunden aufeinander folgen, z. B. B. Walter, Ann. der Physik 1903...1906, oder Met. Zeitschrift 1906 und 1911. Somit ist es wahrscheinlich, dass ein Photograph mit kurzer Reaktionszeit genügend Zeit hat, den Verschluss zu öffnen, um noch einen oder mehrere folgende Teilblitze zu erwischen. Zweitens ist aus oszillographischen Messungen des Blitzstroms auf dem Empire State Building in New York bekannt, dass Teilblitze anschliessend an den kurzdauernden Stoßstrom gelegentlich einen nach Zehntelsekunden dauernden Strom mässiger Grösse führen, KB. McEachron, J. Franklin Inst. 1937 und El. Eng. 1938. Nach den Messungen, die seit 1943 am 70 m hohen Blitzableiter auf dem Monte San Salvatore<sup>2)</sup> im Gang sind, ergibt sich eine noch wesentlich grössere Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung der Blitzströme. Die Dauer des Blitzstroms ist nach diesen Forschungsergebnissen häufig reichlich genug, um verwackelte Aufnahmen zu ermöglichen.

Die Blitzphoto zeigt am Blitzkanal und auch an den genügend belichteten Objekten ungefähr den dritten Teil einer Ellipse. Nun ist bekannt, dass eine elastisch mit einer Grundplatte verbundene Masse (Photokamera) bei einem nicht zentrischen Anstoss

auf die Grundplatte im allgemeinen eine gedämpft schwingende Bewegung ausführt, bei der z. B. die Punkte der Schwerpunktsachsen im einfachsten Fall Ellipsen, die Punkte anderer, mit der Kameramasse verbundener Geraden kompliziertere Kurven beschreiben. Somit beweisen die Drittelellipsen der Blitzaufnahme, dass die Kamera mechanisch mit ca.  $16\frac{2}{3}$  Hz Eigenfrequenz geschwungen hat, sofern die Exposition tatsächlich  $\frac{1}{50}$  s betrug, wie das der Photograph angibt. Diese mechanische Eigenfrequenz liegt durchaus im wahrscheinlichen Bereich.

Die sehr hart auf die Lichter entwickelte Kopie (Fig. 2) zeigt noch zwei weitere Einzelheiten, die mit den Ergebnissen der neuesten Blitzforschung durchaus im Einklang stehen.

Zunächst die wesentlich stärkere Blitzbelichtung am rechten Rand des Blitzkanals. Dort war offenbar die Blitzstromstärke höher als im Mittel. Das lässt im allgemeinen den Schluss zu, dass dort der Teilblitz mit einem hohen Stoßstrom begann. Aus der Breite des hellern Strichs zu schliessen, dürfte seine Dauer etwa  $\frac{1}{10}$  der Exposition gedauert haben. Das sind 2 ms, eine Stoßstromdauer, die durchaus bei üblichen Werten liegt. Zweitens ist etwa in der Mitte jedes Ellipsenbogens eine etwas stärkere Belichtung ersichtlich. Dies deutet auf eine kurzzeitige Erhöhung des Blitzstroms ca. 0,01 s nach seinem Beginn hin. Auch diese Eigenschaft der Blitze, dem relativ langdauernden Grundstrom einzelne Stromspitzen irgendwo zu überlagern, ist uns aus Oszillogrammen des Blitzstroms vom Monte San Salvatore sehr gut bekannt.

Die Kopie der Fig. 2 zeigt deutlich, wie die helleren und dunkleren Ellipsenbögen durch die perspektivische Ueberlagerung und die dadurch erzeugte verschieden lang dauernde Belichtung einzelner Partien entstehen. Wo der Ellipsenbogen z. B. in der mittleren Partie des Blitzes am linken Kanalrand sehr helle Striche bildet, verläuft der Blitz momentan ungefähr *längs* des hellern Ellipsenbogens. Dort ist somit eine helle Partie zu erwarten. Unmittelbar daneben sind oft Stellen sehr schwach belichtet («dunkle Ellipsen»). Die Randlinie zeigt, dass der Blitz dort etwa *quer* zur Ellipse verläuft. Die Uebereinstimmung der Helligkeitsunterschiede mit dem Detailverlauf der zackigen Randlinie ist sehr gut; sie liefert ein plastisches Bild des Blitzes, der im oberen Teil des Bildes fast über der Kamera zu liegen scheint und dann gegen den Hintergrund in den See schlägt.

Die zwei einzelnen Ellipsenbögen, die insbesondere auf der Kopie der Figur 2 unmittelbar über den Bäumen am Ende des sichtbaren Blitzes hervortreten, sind offenbar Durchblicke des Blitzes durch zwei Luftlöcher im oberen Astwerk der Bäume. Die Löcher sind etwa in Richtung der langen Ellipsenaxe versetzt, so dass sich die Ellipsenbögen in ihrem linken Teil decken, im rechten Teil dagegen getrennt verlaufen.

Vom Standpunkt des Elektrikers aus ist die Photographie eine wertvolle Bestätigung eines Blitzes mit mehr als  $\frac{1}{50}$  s (Exposition) Stromdauer.

<sup>2)</sup> Bull. SEV 1943, Nr. 26, S. 803.

Nach den neuern Ergebnissen der Blitzforschung haften ihr keinerlei Rätsel an. Wäre die Wackelbewegung mit einem Photoapparat oder auch direkt mit dem Auge gradlinig statt elliptisch erfolgt, so wäre das Bild eines «breiten» Blitzes entstanden,

und es mag als bezeichnend gelten, dass tatsächlich derselbe Blitz in Ascona von mehreren Augenzeugen als «sehr breit (40 cm)» geschildert worden ist.

Adressen der Autoren:  
Dr. E. Rüst, Professor an der ETH, Zürich;  
Dr. K. Berger, Gstadstrasse 31, Zollikon (ZH).

## Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

### Abgelenkte Elektronenstrahlen

(Nach J. H. Owen Harries, Wireless Engineer, Bd. 21 (1944), Nr. 249, S. 267.)

537.533.32

Die vorliegende Arbeit bringt eine ausführliche analytische Behandlung der etwa bei den Braunschen Röhren vorkommenden Ablenkung von Elektronenbündeln senkrecht zur ursprünglichen Fortpflanzungsrichtung. Ablenkungen in der ursprünglichen Fortpflanzungsrichtung, die sich in einer Beschleunigung oder Verzögerung der Elektronen äussern (Geschwindigkeitsmodulation), werden in der Arbeit nicht behandelt. Die Theorie gibt auf folgende Fragen Antwort:

1. Was für Bahnen beschreiben die Elektronen?
2. Wie verhalten sich Amplitude und Phase der Ablenkung zu der Amplitude und Phase des ablenkenden Feldes, und zwar in jedem Punkt des Feldes?
3. Wie gross ist die zur Ablenkung nötige Leistung bei einer bestimmten Stromstärke und Geschwindigkeit des Strahls?
4. Wie lang soll das ablenkende Feld im Verhältnis zur Strahllänge gewählt werden?

#### Ablenkung in einem unendlich ausgedehnten Feld

Bei der Ableitung werden folgende Voraussetzungen gemacht (siehe Fig. 1): Das aus zwei Platten im Abstand  $d$  bestehende Ablensystem wird auf einem mittleren Potential gehalten, so dass die Elektronen mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit in Richtung der  $x$ -Achse in das Sy-

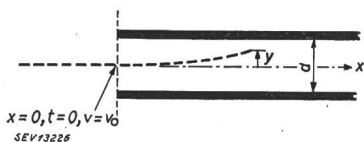


Fig. 1.

stem eintreten. Die Potentiale der Platten schwanken um einen gewissen Betrag im Gegentakt um das mittlere Potential. Die Platten sind unendlich lang. Strahlungsverluste und Raumladungseinwirkungen werden vernachlässigt.

Ein Elektron trete in Richtung der  $x$ -Achse in den Kondensator ein. Da in der  $x$ -Richtung kein Feld vorhanden ist, ist  $\frac{d^2x}{dt^2} = 0$ . Die Ablenkung in der  $y$ -Richtung erfolgt nach der Gleichung

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{e}{m} \cdot \frac{u}{d} \quad (1)$$

wo  $u$  die Spannungsdifferenz der Platten,  $e$  und  $m$  Ladung und Masse des Elektrons bedeuten. Integriert man von der Eintrittszeit  $t_0$  an bis zu einer beliebigen Zeit  $t$  und setzt noch  $u = \hat{u} \cdot e^{j\omega t}$  so erhält man

$$\frac{dy}{dt} = v_y = \frac{e \cdot \hat{u}}{j\omega d m} (e^{j\omega t} - e^{j\omega t_0}) \quad (2)$$

Nach Ramo<sup>1)</sup> ist der von einem Elektron zwischen den Platten hervorgerufene Verschiebungsstrom

$$i_d = \frac{e}{d} \cdot v_y \quad (3)$$

wenn man die beiden Platten in einen Stromkreis eingeschaltet denkt. Treten pro Sekunde  $N$  Elektronen in den Kondensator ein, so ist der Strahlstrom  $I_0 = N \cdot e \cdot v_x$ , der to-

tale momentane Verschiebungsstrom, bezogen auf eine Strahllänge  $l$  im Feld, ist

$$i_d = \frac{N \cdot e}{d} \int_{x=0}^{x=l} v_y dx$$

und unter Einführung des Strahlstromes  $I_0$

$$i_d = \frac{I_0}{d \cdot v_x} \int_{x=0}^{x=l} v_y dx$$

integriert man statt über  $x$  über die Zeit  $t$ , so kann man setzen

$$\frac{1}{v_x} \int_{x=0}^{x=l} v_y dx = \int_{t=t_0}^{t=\tau+t_0} v_y dt$$

und erhält schliesslich

$$i_d = \frac{I_0}{d} \int_{t_0}^{\tau+t_0} v_y dt$$

Setzt man für  $v_y$  den Wert aus (2) ein und integriert, indem man noch  $e^{j\omega t}$  vor die Klammer setzt, so erhält man

$$i_d = \frac{I_0 e \hat{u} e^{j\omega t}}{d^2 \omega^2 m} (e^{-j\omega \tau} + j\omega \tau e^{-j\omega \tau} - 1).$$

Liegen die Ablenkplatten in einem Stromkreis, so stellen sie eine Impedanz  $Z$  dar, die durch die Gleichung

$$\frac{1}{Z_d} = \frac{I_0 \cdot e}{d^2 \omega^2 m} (e^{-j\omega \tau} + j\omega \tau e^{-j\omega \tau} - 1) = \frac{1}{R_d} + j \frac{1}{X_d} = (4)$$

$$= \frac{I_0 e}{d^2 \omega^2 m} [( \omega \tau \sin \omega \tau + \cos \omega \tau - 1 ) + j ( \omega \tau \cos \omega \tau - \sin \omega \tau )]$$

definiert ist. Der Ausdruck in der eckigen Klammer soll mit  $\Phi_0$  bezeichnet werden. In praktischen Einheiten ist die Konstante vor der Klammer

$$\frac{1,76 \cdot 10^{15} \cdot I_0}{d^2 \omega^2}; I_0 \text{ in A, } d \text{ in cm.}$$

Man kann diese Gleichung dahin interpretieren, dass die Strahlablenkung gleichzusetzen ist einem Querstrom, dessen Amplitude und Phase nach der Funktion  $\Phi_0$  von  $x$  abhängt. Imaginär- und Realteil von  $\Phi_0$  sind in Fig. 2 dargestellt.

Es ist zu beachten, dass Gl. (4) nur für unendlich ausgedehnte Ablenkplatten gilt, und man darf deshalb auch nicht näherungsweise  $Z_d$  als die Impedanz eines Plattenpaares schlechtweg verwenden.

Wir kommen nun zur Berechnung der Ablenkung selbst, d.h. der Grösse  $y$ . Integration von (2) ergibt mit der Anfangsbedingung  $y = 0$  für  $t = t_0$ .

$$y = \frac{e \hat{u}}{\omega^2 d m} (e^{j\omega t_0} + j\omega \tau e^{j\omega t_0} - e^{j\omega t}) \quad (5)$$

und da  $t = t_0 + \tau$ , wird der reelle Teil dieser Gleichung