**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 57 (1966)

**Heft:** 14

**Artikel:** Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955...1965 auf dem Monte San Salvatore

**Autor:** Berger, K. / Vogelsanger, E.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-916616

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 01.10.2025

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955...1965 auf dem Monte San Salvatore

Von *K. Berger* und *E. Vogelsanger*, Zürich

551.594.221

*Im Rahmen eines Gesamtberichtes über die Messeinrichtungen und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore wird über die photographischen Beobachtungen der Jahre 1955...1965 berichtet, nachdem in einem 1965 erschienenen 1. Teil die elektrischen Blitzstrommessungen der Jahre 1955...1963 beschrieben wurden. Vom Gipfel des Monte San Salvatore aus werden des nachts alle Blitzeinschläge in der Umgebung des Berges photographisch festgehalten. Die sichtbaren Einschlagstellen werden in die geographische Karte eingezeichnet; die Anzahl hinter Hügeln niedergehender Blitze wird für jeden toten Raum notiert. Sogenannte Aufwärtsblitze, wie sie an den Auffangtürmen auf dem Monte San Salvatore sehr häufig sind, wurden auch an einigen Punkten der Umgebung festgestellt. Das Hauptproblem der Untersuchung betrifft die Art und Weise, wie sich der Blitzkanal aufbaut. Dieser Vorgang wurde mit Hilfe von photographischen Aufnahmen auf rasch bewegtem Film untersucht. Dabei werden 4 Blitzformen, nämlich die Entladung positiver und negativer Wolken in Form von Aufwärts- und Abwärtsblitzen unterschieden. Es ergeben sich interessante Schlüsse für die Entstehung der Blitzkanäle und der zugehörigen sog. «Fangentladungen».*

*Dans le cadre d'un rapport complet relatif aux installations de mesure et aux résultats des recherches sur la foudre au Monte San Salvatore, on décrit ci-après les résultats des observations optiques des années 1955 à 1965. Les observations électriques simultanées pendant la période de 1955 a 1963 ont été décrites dans un premier rapport, en janvier 1965. Du sommet du Monte San Salvatore, tous les coups-de-foudre nocturnes sont photographiés. Sur une carte géographique on a reporté tous les endroits visibles de chute de la foudre. Le nombre de chutes se trouvant derrière des collines est noté pour chaque espace fermé invisible. Des coups de foudre ascendants, assez fréquents dans les tours collectrices du Monte San Salvatore, ont également été observés au-dessus de quelques points exposés des montagnes ou collines voisines. Le problème principal des recherches est celui de la formation du canal de la foudre. Ce phénomène a été élucidé avec un film photographique se mouvant à une grande vitesse devant l'objectif. On arrive a distinguer 4 formes de coups-de-foudre, soit de polarité positive et négative, soit de sens de propagation ascendant ou descendant. Des conclusions intéressantes ont pu être tirées dans ce sens, spécialement en ce qui regarde les «décharges de rencontre» (Fangentladungen).*

### 1. Einleitung

Im Januar 1965 wurde an dieser Stelle über die Blitzstrommessungen der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) auf dem Monte San Salvatore berichtet [1] [1]). In Ergänzung dieser elektrischen Messungen wurden photographische Untersuchungen durchgeführt. Die bis 1954 verwendeten Einrichtungen und die erhaltenen Resultate sind im Bulletin SEV 1955 [2; 3] beschrieben. Im Folgenden wird über den weiteren Ausbau der Photoeinrichtungen und über die seit 1954 neu gewonnenen Resultate berichtet.

Die Kirche auf dem Gipfel des Monte San Salvatore trägt eine Aussichtsterrasse mit freiem Ausblick nach allen Himmelsrichtungen. Ein freier Raum unmittelbar unter dieser Terrasse ist ein idealer Aufstellungsort für Photoapparate. Er gestattet die Registrierung aller Erdeinschläge

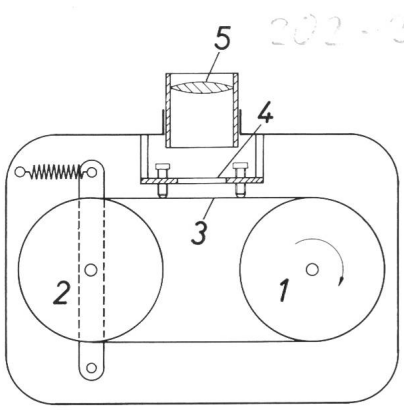



Fig. 1
**Prinzipskizze der Kamera mit bewegtem Film**
*1* angetriebene Rolle; *2* verschiebbare Rolle mit Feder zum Spannen der Filme; *3* umlaufender Film; *4* Bildbegrenzung mit Abstützung für den Film; *5* Optik

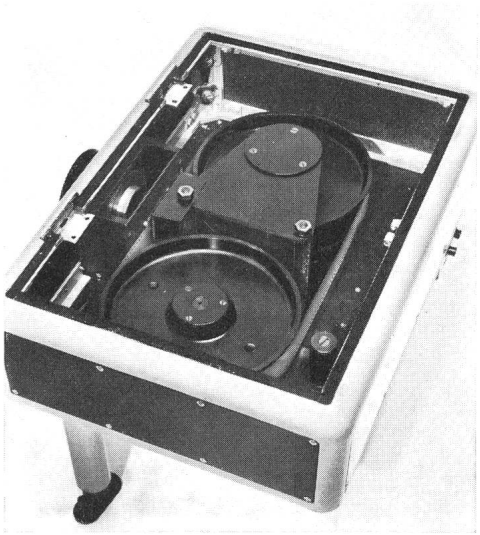


Fig. 2
**Kamera mit bewegtem Film**

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

im ganzen Umkreis um den Monte San Salvatore. Das Ziel, das mit solchen Aufnahmen verfolgt wird, liegt neben einer allgemeinen Übersicht über die auftretenden Blitzformen in einer objektiven Erfassung der Verteilung der Einschlagsstellen im Boden. Allfällige bevorzugte Einschlagsstellen und Stellen, an denen Aufwärtsblitze [1] entstehen, müssen daraus ersichtlich sein.

Besondere Bedeutung kommt den Aufnahmen auf bewegtem Film zu. Sie gestatten die zeitliche Auflösung des Blitzvorganges auf einer gewissen Länge der Blitzbahn im Gegensatz zu den Stromoszillogrammen, welche den Stromverlauf nur im Einschlagspunkt zeigen. Damit lässt sich z. B. bei einem nach oben verzweigten Aufwärtsblitz feststellen, wie sich allfällige Folgeblitze auf die verschiedenen Äste verteilen.

Soweit die Leuchtstärke für eine Aufnahme ausreicht, kann die Entwicklung des Leitblitzes, d. h. der Aufbau des Blitzkanals, verfolgt werden. Damit wird auch die Vorwachsrichtung (Abwärtsblitz oder Aufwärtsblitz) einwandfrei festgestellt. Vor allem sind hier natürlich Einschläge in die Messtürme interessant, bei denen auch der Stromverlauf und die Stromrichtung gemessen wird. Da Einschläge in den Messturm *1* (PTT-Sendeturm) von dem auf dem Berggipfel befindlichen Photoraum aus nicht aufgenommen werden können (Situationsplan siehe [1]), wurden noch weitere Photoräume eingerichtet, zuerst in Paradiso, später in Breganzona. Speziell der zweite Standort bietet eine gute Sicht auf den Berg mit den beiden Messtürmen, wobei wegen der grösseren Distanz (3,2 km) auch eine grössere Länge des Blitzkanals auf den Bildausschnitt kommt.

Die photographischen Aufnahmen von Blitzen sind allerdings nur bei Nacht möglich, und die Nächte sind leider während der Hauptgewittermonate relativ kurz. Der Photoapparat muss mit geöffnetem Verschluss in Bereitschaft stehen, bis ein Blitz in seinem Blickfeld erscheint. Die dabei entstehende Vorbelichtung durch Stadtlicht oder Wolken, die durch Blitze in anderen Himmelsrichtungen beleuchtet werden, ist störend. Sie kann, wenn sie stark genug wird, die Abbildung des Leitblitzes auf dem bewegten Film verhindern. Daher muss der Film nach 5...10 min vorgeschoben, bzw. gewechselt werden, auch wenn kein Blitz im Blickfeld erschienen ist.

## 2. Ausbau der Photoeinrichtung

### *2.1 Apparate mit ruhendem Film*

Die Anzahl Kleinbildapparate im Photoraum auf dem Berggipfel wurde für den Beginn der Gewittersaison 1957 von 5 auf 8 ergänzt, so dass der ganze Horizont gleichzeitig aufgenommen werden kann. Ein Vorschubmotor an jedem Apparat gestattet es, den Filmvorschub von einer zentralen Stelle aus zu steuern. In den letzten Jahren wurden stets alle Filme gleichzeitig transportiert, da der Bedienungsmann im Photoraum nicht genügend Zeit hat, um die Gewitterlage zu beobachten und die Filme der einzelnen Kameras je nach der Blitztätigkeit in den verschiedenen Richtungen individuell vorzuschieben. Der Vorschub erfolgt nach jedem nahen Blitzeinschlag, oder sonst etwa alle 5...10 min.

Auf dem Messturm *2* [1;2], der sich auf dem Vorgipfel San Carlo in 365 m Abstand vom Hauptgipfel befindet, wurde 1958 ebenfalls eine Kleinbildkamera eingebaut, welche die Einschläge in den Messturm *1* (Fernsehturm) aufnimmt. Ihr Filmvorschub kann vom Photoraum oder vom Oszillographenraum aus gesteuert werden. Ein weiterer Kleinbildapparat, dessen Blickfeld den ganzen Berg mit beiden Messtürmen umfasst, kam 1963 im neu eingerichteten Photoraum von Breganzona zur Aufstellung.

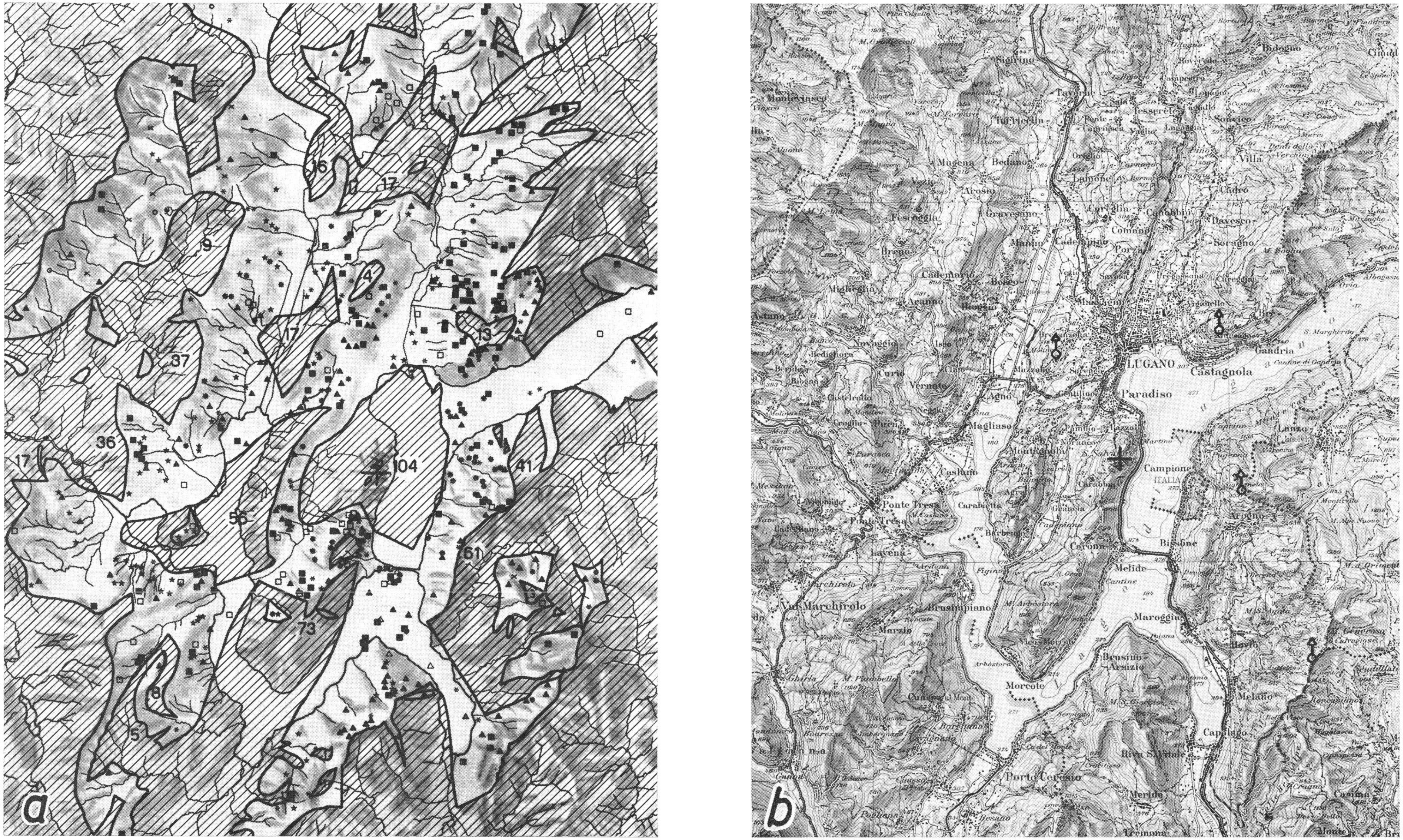
### *2.2 Apparate mit bewegtem Film*

Die im Anfang verwendeten Kameras mit rotierenden Trommeln [2] haben eine geringe Ausbeute an guten Aufnahmen ergeben. Ein prinzipieller Nachteil dieser Apparate ist die Krümmung der Aufnahmefläche auf der Trommel, welche nur auf einem schmalen Streifen eine scharfe Aufnahme gestattet. Die Trommelkameras wurden daher sukzessive ausser Betrieb genommen und erstmals im Sommer 1962 durch zwei Apparate mit dem in den Fig. 1 und 2 dargestellten Aufbau ersetzt. Darin läuft eine in sich geschlossene Filmschlaufe über zwei Rollen; die Aufnahme erfolgt auf dem geraden Teil zwischen beiden Rollen. Die Hauptschwierigkeit dieser Ausführung liegt darin, den Film im richtigen Abstand ohne Flattern vor dem Objektiv vorbeizuführen. Es ist dazu eine Abstützung des Filmes vor dem Objektiv notwendig, und beim Kleben der endlosen Schlaufen ist darauf zu achten, dass der Film an der Klebstelle möglichst wenig verdickt oder versteift wird.

Die ersten beiden Apparate wurden im Photoraum auf dem Berggipfel aufgestellt und so gegen Turm *2* gerichtet, dass sie die Einschläge in diesen Turm und den ihn tragenden Bergvorsprung erfassen. Nachdem sie im Sommer 1962 einige brauchbare Aufnahmen von stufenweise vorwachsenden Leitblitzen ergeben haben, wurden zwei weitere hergestellt und für diese ein Standort gesucht, von dem aus sich der ganze Berg mit beiden Türmen überblicken lässt. Ein solcher konnte in Breganzona in 3,2 km Entfernung vom Gipfel des Monte San Salvatore gefunden werden. Während die Kameras auf dem Gipfel (Objektivbrennweite 50 mm) in 365 m Abstand von Turm *2* über dessen Spitze eine Blitzlänge von nur ca. 130 m erfassen können, lässt sich von Breganzona aus mit der Objektivbrennweite 75 mm in 3,2 km Abstand vom Gipfel eine Blitzlänge von ca. 830 m über den Turmspitzen erfassen. Anfang 1965 wurde eine dieser Objektivbrennweiten ebenfalls auf 50 mm reduziert, so dass diese jetzt eine Blitzlänge von 1250 m abzubilden gestattet. Der Abbildungsmaßstab ist natürlich dementsprechend kleiner.

Schon die Erfahrung mit den alten Kameras hat gezeigt, dass brauchbare Aufnahmen nur dann zu erzielen sind, wenn die Filme nach höchstens 10 min Betriebsdauer gewechselt werden. Die Kameras müssen daher immer paarweise aufgestellt werden, damit eine kontinuierliche Bereitschaft gewährleistet ist. Während die eine Kamera in Betrieb steht, wird in der andern der Film gewechselt. Damit ist klar, dass auch der Photoraum in Breganzona bei Nachtgewittern stets bedient werden muss. Auf die unbedienten Kameras im Photoraum Paradiso und im Photoschrank auf Turm *2* wurde aus diesen Gründen bereits ab 1956, bzw. ab 1957 verzichtet.

Die früheren Trommelkameras standen in 2 Ausführungen mit den Filmgeschwindigkeiten von 3 m/s und 50 m/s zur Verfügung. Die niedere Geschwindigkeit von 3 m/s gestattet den Aufbau des Gesamtblitzes sichtbar zu machen; sie zeigt auch das Vorwachsen des Leitblitzes beim ersten Aufbau des Ladungskanales, vermag aber diesen Vorgang nur in Ausnahmefällen weiter aufzulösen. Die hohe Ge-




**Übersichtskarte der Umgebung des Monte San Salvatore mit eingetragenen Einschlagstellen**

*a* vereinfachte Karte mit Einschlagstellen der Abwärtsblitze. Die verschiedenen Markierungen der Einschlagstellen betreffen die folgenden Jahre:

× 1955 □ 1956 ○ 1957 ✶ 1959 ● 1960 ✱ 1961 △ 1962 ∗ 1963 ▲ 1964 ■ 1965 (1958 keine Blitzphotos)

Die schraffierten Gebiete sind vom Monte San Salvatore aus durch Bergzüge verdeckt, so dass die dortigen Einschläge nicht lokalisiert werden können. In den näherliegenden dieser Gebiete ist die Gesamtzahl der Einschläge auf dieses Gebiet oder die es begrenzende Bergkante eingezeichnet. In den 104 Einschlägen im Gebiet, welches den Monte San Salvatore selbst enthält, sind die Einschläge in die Mess-Türme nicht mitgezählt. *b* Ausschnitt aus der Landeskarte 1 : 100 000 mit Einschlagstellen der Aufwärtsblitze

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie

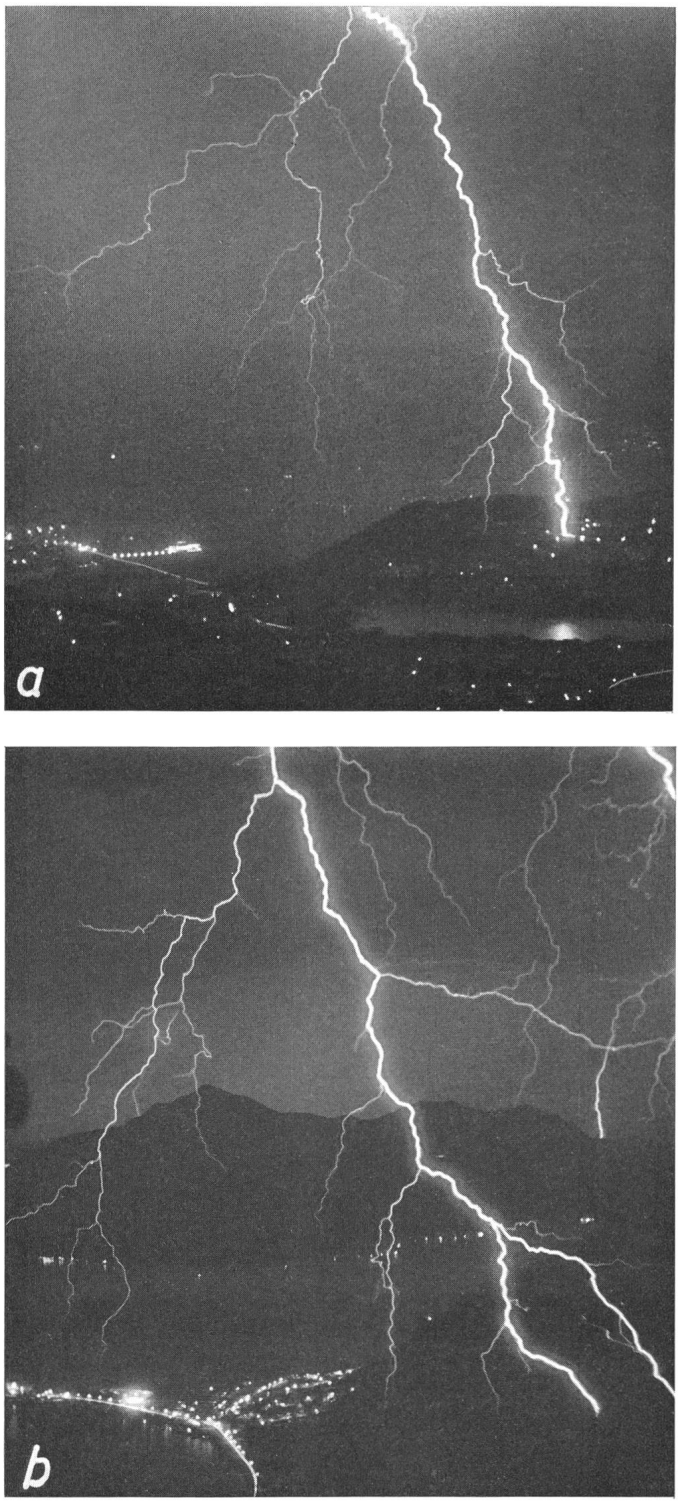



Fig. 4
**Abwärtsblitze mit typischer Verzweigung nach unten**
*a* Einschlag in Biogno; *b* Einschlag in die Bergflanke unterhalb Ciona

schwindigkeit von 50 m/s eignet sich gut, um die Entwicklung der Leitblitze zu verfolgen. Die Stufen beim Vorwachsen des ersten Teilblitzes, die in Abständen der Grössenordnung 30...50 µs erfolgen, lassen sich gut auseinanderhalten. Dagegen lässt sich das Fortschreiten der Hauptentladung, das mit einer Geschwindigkeit von $5.10^7...10^8$ m/s ($^1/_6...^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit) von unten nach oben erfolgt, sobald ein von der Wolke nach unten wachsender Leitblitz den Erdboden erreicht, auch damit noch nicht erkennen. Die neuen Kameras von 1962/1963 sollten vor allem mehr Unterlagen über die Entwicklung der Leitblitze liefern. Die Filmgeschwindigkeit muss für diesen Zweck zwischen 20 und 50 m/s liegen, sie wurde aus konstruktiven Gründen auf 27 m/s angesetzt. Die Grenze der Zeitauflösung liegt damit bei ca. 5 µs.

### 3. Verteilung der Einschlagstellen im Gelände

Alle Einschlagstellen, die aus den Kleinbildaufnahmen der Berichtsperiode ermittelt werden konnten (mit Ausnahme der Einschläge in die Messtürme), sind in den Karten von Fig. 3 eingezeichnet. Das vom Monte San Salvatore überblickbare Gebiet erstreckt sich je nach Richtung bis zu einer Distanz von etwa 4...14 km. Um die Figur nicht zu überlasten, sind die Abwärtsblitze in eine Karte eingetragen, die nur die wesentlichen Kennzeichen der Geländeformation wiedergibt (Fig. 3a), während der Kartenausschnitt desselben Gebietes mit allen kartographischen Einzelheiten und den Aufwärtsblitzen in Fig. 3b wiedergegeben ist.

Die Einschläge verschiedener Jahre sind in Fig. 3a durch verschiedene Marken bezeichnet. Das Gebiet enthält z. T. grössere Flächen, deren Sicht durch Bergketten oder Hügelzüge verdeckt ist. Diese sind durch Schraffur kenntlich gemacht. Die Gesamtzahl der Einschläge in diese Flächen sind durch Zahlen bezeichnet. Auch die Einschläge in die Bergkante selbst sind darin einbezogen, da sich auf dem Bild nicht entscheiden lässt, ob ein Blitz in die Bergkante oder in das unsichtbare Gebiet hinter ihr niedergegangen ist. Die Genauigkeit, mit der ein Einschlagspunkt ermittelt werden kann, ist natürlich umso kleiner, je weiter dieser vom Beobachtungspunkt entfernt ist. Es muss mit einem möglichen Fehler von ca. 2 % des Abstandes vom Gipfel des Monte San Salvatore in seitlicher Richtung, bzw. ca. 5 % in radialer Richtung gerechnet werden.

Die Karte (Fig. 3a) zeigt, welche Gebiete viele und welche wenig Einschläge aufweisen. Ein absolutes Mass der Einschlagshäufigkeit kann sie nicht geben, da ja nur Einschläge bei Nachtgewittern aufgenommen werden und von diesen ein unbekannter Anteil wegen Nebel oder Wolkenfeldern nicht sichtbar ist. Auch ein Vergleich der näheren Umgebung mit weiter entfernten Gebieten ist nicht möglich, da diese mehr durch Wolken verdeckt sind als jene.

Eine Auszählung der eingezeichneten Einschläge ergibt für einen Umkreis mit $2^1/_2$ km Radius um den Monte San Salvatore-Gipfel eine Einschlagsdichte von ca. 1,1 Einschlägen pro km² und Jahr, sofern man die Abwärtsblitze in die Messtürme mitzählt. Für einen Umkreis zwischen $2^1/_2$ und 6 km sind es nur ca. 0,5 Einschläge pro km² und Jahr. Wieweit der Unterschied zwischen den beiden Werten durch die besondere Lage des Monte San Salvatore, und wieweit durch die im Durchschnitt bessere Sicht auf die nähere Umgebung bedingt ist, lässt sich nicht sagen. Da die photographierten Nachtgewitter ca. $^1/_4$ aller Gewitter ausmachen, dürfte die Gesamteinschlagsdichte im Gebiet des Monte San Salvatore mindestens 4 Einschläge pro km² und Jahr betragen.

Gemäss Fig. 3a gehen Gebiete mit grösserer und kleinerer Einschlagshäufigkeit stetig ineinander über. Es lassen sich keine ausgeprägten «Blitznester» ausfindig machen, d. h. engbegrenzte Flächen mit sehr vielen Einschlägen in einer Umgebung mit weit geringerer Einschlagsdichte. Die Verteilung macht eher den Eindruck, vorwiegend durch

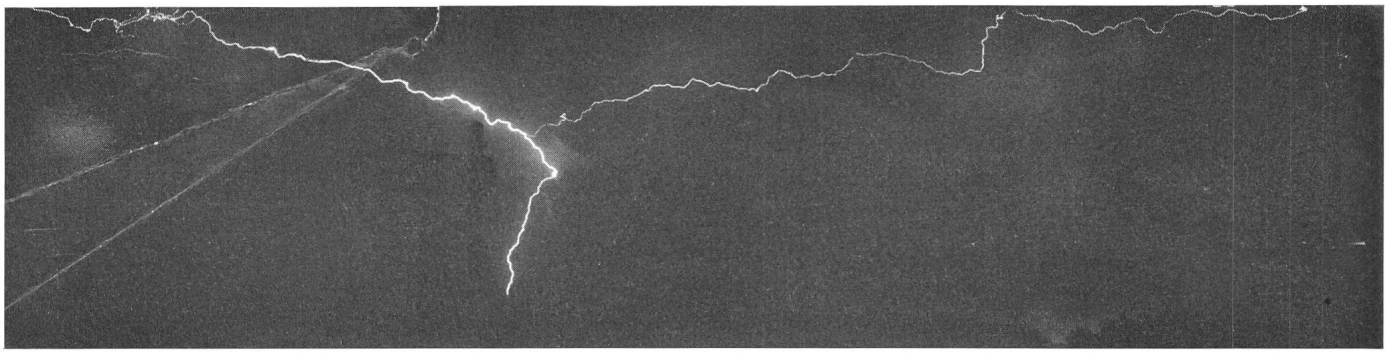


Fig. 5
**Abwärtsblitz mit langen horizontalen Ästen unter der Wolkendecke**
Einschlag in den See bei Melide

die meteorologischen und topographischen Verhältnisse bedingt zu sein. Eine Häufung von Einschlägen scheint dadurch zustande zu kommen, dass an den betreffenden Stellen die Gewitterzellen während ihrer grössten Aktivität vorbeikommen oder dort hängenbleiben. Es fällt auf, dass bei dicht beisammenliegenden Einschlägen die meisten aus dem gleichen Jahr stammen. Eine detaillierte Überprüfung zeigt oft, dass diese alle aus ein und demselben Gewitter stammen, welches sich offenbar gerade an dieser Stelle entladen hat. Die ungleichmässige Verteilung der Einschlagspunkte verschiedener Jahre zeigt, dass solche Entladungen einmal hier und ein andermal dort erfolgen können. Es ist zu erwarten, dass in späteren Jahren wieder an anderen Stellen Häufungen auftreten. Die zehnjährige Beobachtungsdauer ist jedenfalls noch zu kurz, um die statistische Verteilung auf weite Sicht einwandfrei festzustellen.

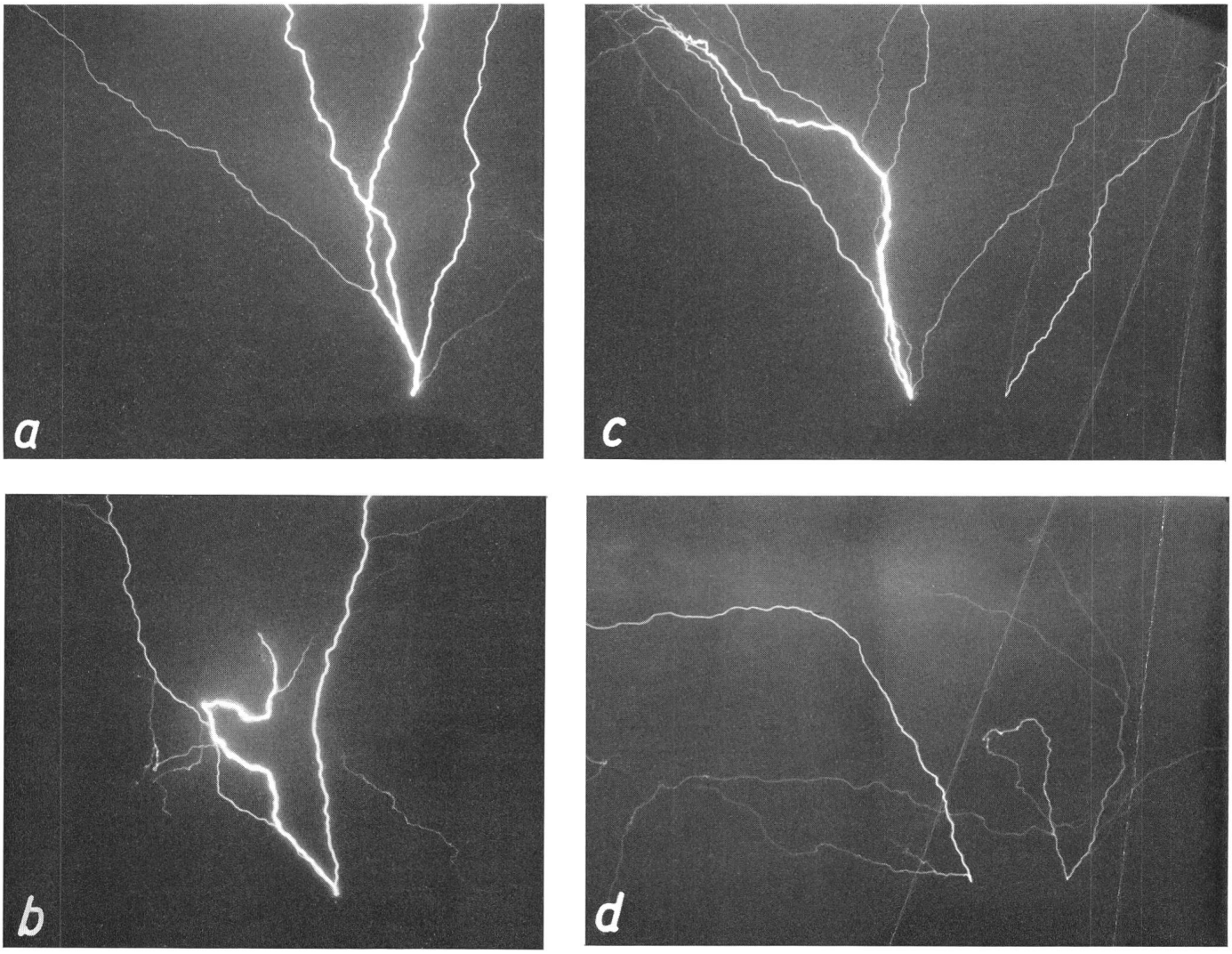



Fig. 6
**Negative Aufwärtsblitze an den Messtürmen, von Breganzona aus aufgenommen**
*links:* Turm *2*, *rechts:* Turm *1*
*a* in Turm *1* (6440), *b* in Turm *2* (6525), *c* und *d* Entladungen an beiden Türmen gleichzeitig (6441 und 6582)

## 4. Aufwärtsblitze

Bei der Auswertung der oszillographischen Blitzstrommessungen [1; 3] wurden die Bezeichnungen *Abwärtsblitze* und *Aufwärtsblitze* eingeführt. Das «abwärts» bzw. «aufwärts» bezieht sich dabei auf die Vorwachsrichtung des Leitblitzes, d. h. der Vorentladung, welche den geladenen Blitzkanal aufbaut (siehe Abschnitt 5). Bei einem Abwärtsblitz wächst die Vorentladung von der Wolke gegen die Erde vor, das ist der Normalfall bei einem Einschlag in mehr oder weniger ebenem Gelände. Bei einem Aufwärtsblitz dagegen wächst sie von der Erde gegen die Wolken. Solche Blitze können sich daher nur an exponierten Spitzen auf hohen Gebäuden oder Türmen bilden. Das Empire-State-Building in New York [4;5] und die Messtürme auf dem Monte San Salvatore sind die klassischen Beispiele hiefür. Bei den letzteren machen die Aufwärtsblitze ca. $^3/_4$ aller Einschläge aus.

Es fragt sich, ob noch an anderen Punkten des vom Monte San Salvatore aus überblickbaren Gebietes Aufwärtsblitze beobachtet werden können. Allfällige Aufwärtsblitze können allerdings nur dann als solche erkannt werden, wenn die Blitzbahn gegabelt oder verzweigt ist. Die Verzweigungen und Verästelungen entstehen nämlich schon beim Aufbau des geladenen Kanals und weisen daher immer in die Vorwachsrichtung. Blitze, die schon in ihrem untern Teil nach oben gegabelt sind, können somit bestimmt als Aufwärtsblitze angesprochen werden.

Die Fig. 4a und 4b zeigen typische Beispiele von *Abwärtsblitzen* in der Umgebung des Monte San Salvatore. Auch der Einschlag in den See von Fig. 5 ist ein Abwärtsblitz, der sich hier aus einer sehr langen horizontalen Entladung unter den Wolken entwickelt hat. Typische *Aufwärtsblitze* an den Messtürmen sind in den Fig. 6a...d und 7 wiedergegeben. Eine sorgfältige Durchsicht aller Blitzbilder hat nun tasächlich einige Aufwärtsblitze an verschiedenen Stellen ausserhalb des Monte San Salvatore aufgedeckt. Es sind die folgenden Stellen:

Gipfel des Monte Arbòstora süd-südwestlich des San Salvatore (evtl. Abhang hinter dem Gipfel); 1 Einschlag 1954;

Gipfel des Monte Sighignola, östlich des San Salvatore, in Fahnenstange des Restaurants; 10 Einschläge 1963, 1964 und 1965 (Fig. 7);

Fig. 7
**Zwei nacheinander erfolgte Aufwärtsblitze am Turm *1* (6583 und 6584) und ein solcher am Monte Sighignola**
(aufgenommen innerhalb ca. 8 min von Breganzona aus)

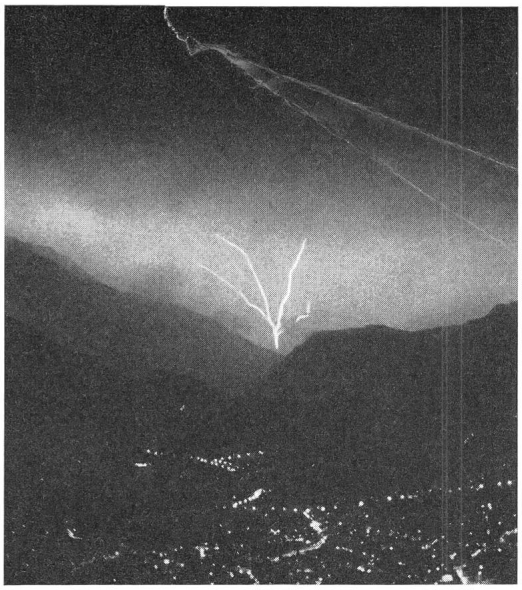


Fig. 8
**Aufwärtsblitz am PTT-Sendeturm auf dem Monte Ceneri**

Monte Bré, nordöstlich des San Salvatore, etwas unterhalb des Gipfels, wahrscheinlich Blitzableiterstange des Restaurants oder des Aussichtsturmes; 1 Einschlag 1963;

Sendeturm Monte Ceneri, nördlich des Monte San Salvatore; 1 Einschlag 1963 (Fig. 8);

Monte Generoso, südöstlich des Monte San Salvatore, wahrscheinlich Sendestation der PTT; 1 Einschlag 1964 (Fig. 9);

Monte San Elia südlich des Monte San Salvatore (Ausläufer P'ne d'Arzo–Monte Orsakette, eventuell hinter der Bergkette; 1 Einschlag 1964;

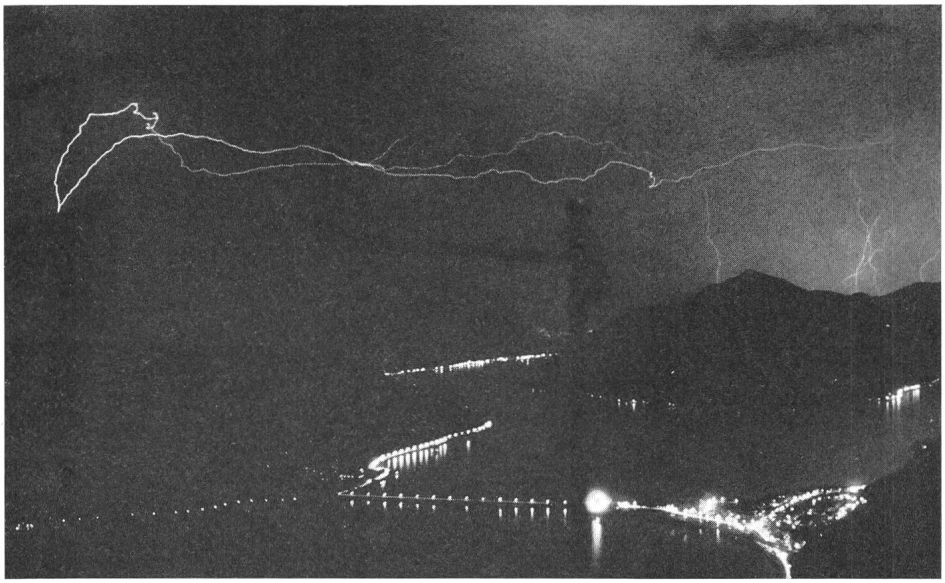
Kirche von Biogno, wahrscheinlich Kirchturm; 1 Einschlag 1965 (Fig. 10).

Diese besonderen Punkte (ohne Monte Arbòstora und Monte San Elia, wo die Einschlagsstellen nicht sicher lokalisiert werden können), wurden mit dem Zeichen ⁑ auf der Karte von Fig. 3b markiert. Einzig der Sendeturm des Monte Ceneri in 18 km Distanz ist auf der Karte nicht mehr enthalten. Seine Spitze ist im Talausschnitt nördlich von Lugano gerade noch sichtbar (Fig. 8).

Während an allen anderen Punkten nur je 1 Aufwärtsblitz beobachtet wurde, sind es auf dem Monte Sighignola gleich 10. Fünf der 10 Aufwärtsblitze wurden bei einem Gewitter vom 12. September 1965 innerhalb 35 min aufgenommen. In der Endphase dieses 6 Stunden dauernden Gewitters sind nur noch Aufwärtsblitze an den Messtürmen und auf dem Monte Sighignola aufgetreten (Fig. 7). Die Sicht auf den letzteren war dabei zeitweise durch Nebel verdeckt, so dass die Zahl der dort entstandenen Aufwärtsentladungen noch grösser sein könnte als die beobachteten. Interessanterweise wurde vor 1963 am Monte Sighignola nie ein Aufwärtsblitz festgestellt, obwohl die ca. 13 m hohe Fahnenstange aus Stahl, die offenbar den Ansatzpunkt für die Aufwärtsblitze bildet, schon seit 11 Jahren dort stehen soll. Die Fahnenstange steht auf einer Betonterrasse über einem Keller und ist nicht geerdet. Bei drei Gewittern sind durch den Blitzstrom Schäden entstanden, erstmals 1962, dann am 11. November 1964, schliesslich beim erwähnten Gewitter vom 12. September 1965.

Von den total 16 Aufwärtsblitzen ausserhalb des Monte San Salvatore haben 13 exponierte Stellen auf Bergkanten

Fig. 9
**Aufwärtsblitz am Monte Generoso mit langen horizontalen Ästen unter der Wolkendecke**



mit Gebäuden, Türmen oder Stangen betroffen. Zwei weitere gingen von bewaldeten Bergkuppen oder eventuell vom Gelände hinter denselben aus (Monte Arbòstora und Monte Elia).

Besonders bemerkenswert ist der in Fig. 10a gezeigte Einschlag in den Kirchturm von Biogno. Dieser liegt nur 200 m über dem Spiegel des Luganersees an der Südostkante eines Hügels, der sich um ca. 240 m über den See erhebt. Der Kirchturm selbst, mit dem Kreuz auf seiner Dachspitze ca. 20...25 m hoch, überragt das Kirchenschiff und die Bäume der Umgebung nur um ca. 8...10 m (Fig. 10b). Das Beispiel zeigt, dass an Objekten dieser Höhe auch im relativ flachen Gelände Aufwärtsblitze auftreten können. Immerhin dürften diese sehr selten sein.

Allgemein kann über die Aufwärtsblitze gesagt werden, dass sie meist in der Endphase eines Gewitters auftreten. gemeinsam mit langen horizontalen Blitzen zwischen den Wolken. Sie sind meist stark verzweigt, oft tauchen mehrere Äste in die Wolkendecke. Sie können aber auch aus nur 2...3 Ästen bestehen, die in die Horizontale abbiegen und bis zu mehreren km weit horizontal unter der Wolkendecke verlaufen. Das Bildfeld der Kamera in Breganzona, mit der die Blitze der Figuren 6a...d und 7 aufgenommen wurden, umfasst eine Höhe bis 1500 m senkrecht über dem Gipfel des Monte San Salvatore. Der Eintritt der Entladung in die Wolkendecke liegt häufig noch ausserhalb dieses Bildfeldes, was bedeutet, dass die untere Grenze der kompakten Wolkendecke noch oberhalb 2400 m über Meer liegen muss. Die Wolkenoberfläche, auf die sich die Verästelungen verteilen, kann dann eine Ausdehnung bis zu einigen km² annehmen. Kräftige, verzweigte Aufwärtsblitze führen Ladungsmengen in der Grössenordnung von 100 C, in Extremfällen sogar 200...300 C (z. B. 90 C in Fig. 6a und 220 C in Fig. 6b). Die beiden überlagerten Blitze an Turm *1* in Fig. 7, die schon 500...600 m über der Turmspitze in die Wolkendecke eintauchen, führen je etwa 30 C, und die Entladungen von Fig. 6d mit ihren in die Horizontale abbiegenden Ästen führen nur 10 C (Turm *1*) und 6 C (Turm *2*). Die horizontale Ausdehnung solcher Äste ist aus den Aufnahmen weiter entfernter Aufwärtsblitze ersichtlich. Als Beispiel zeigt Fig. 9 einen solchen Blitz am Monte Generoso mit zwei horizontalen Ästen, von denen der längere mindestens 5 km lang ist. Kurze Entladungen an den Turmspitzen, die nach ca. 100 m oder weniger in der Luft enden, werden relativ selten beobachtet. Soweit sich dies aus den Oszillogrammen feststellen lässt, sind sie alle positiv (auf die Stromrichtung Wolke-Erde bezogen), d. h. der Turm bildet die negative Spitze. Es scheint, dass Aufwärtsblitze nur gleichzeitig mit Wolkenblitzen oder anschliessend an Wolkenblitze vorkommen. Denn bei der statischen Ladungstrennung in den Wolken ist die Feldstärke am Erdboden kaum so hoch, dass sie zur Auslösung von Aufwärtsblitzen führen könnte. Aufwärtsblitze sind da-

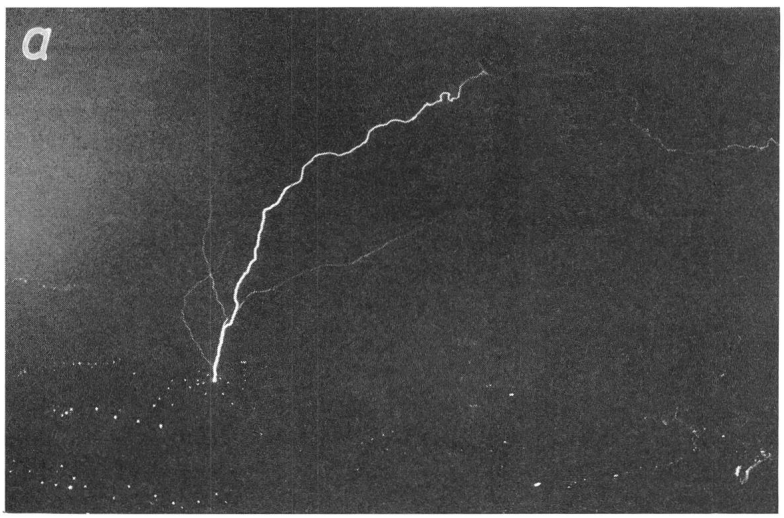


Fig. 10
**Blitzeinschlag in Kirche von Biogno**
*a* Bild des Aufwärtsblitzes; *b* Kirche von Biogno

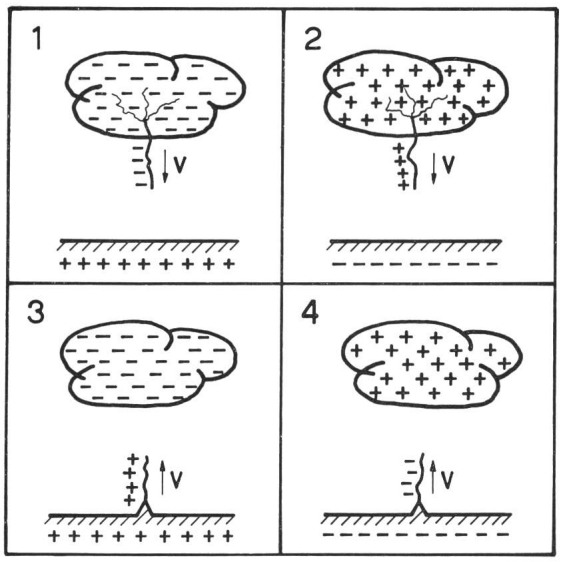



Fig. 11

**Bezeichnung der vier Blitzarten an Hand schematischer Darstellungen (Abschnitt 5)**

*1* negativer Abwärtsblitz (Kanalladung negativ, Strom negativ); *2* positiver Abwärtsblitz (Kanalladung positiv, Strom positiv); *3* Aufwärtsblitz an positiver Turmspitze (Kanalladung positiv, Strom negativ); *4* Aufwärtsblitz an negativer Turmspitze (Kanalladung negativ, Strom positiv)
*V* Vorwachsrichtung des Leitblitzes

her von Wolkenentladungen abhängig, deren Ladungsverschiebungen kurzzeitig hohe örtliche Feldstärken an der Erdoberfläche ergeben.

## 5. Leitblitz des ersten Teilblitzes (Aufbau des Blitzkanals)

### *5.1 Überblick*

Wie unter Ziff. 2.2 ausgeführt, wurde bei den im Betrieb befindlichen Kameras mit bewegtem Film die Filmgeschwindigkeit so gewählt, dass sie sich speziell zur Aufnahme des Vorwachsens des Leitblitzes beim Aufbau des Ladungskanals eignet. Durch derartige Aufnahmen haben erstmals *Schonland* und seine Mitarbeiter [6;7], später auch andere Autoren festgestellt, dass der Aufbau des Ladungskanales beim ersten Teilblitz (im Gegensatz zu allfälligen nachfolgenden Teilblitzen) in Ruckstufen erfolgt (stepped leader). Bei den meisten Aufnahmen ist die Polarität des zugehörigen Blitzstromes nicht bekannt, und die Frage, ob der stufenweise Aufbau des Blitzkanales bei beiden Ladungspolaritäten gleich verläuft, wurde nicht angeschnitten.

Bei Einschlägen in die Messtürme des Monte San Salvatore ist die Stromrichtung aus den Oszillogrammen bekannt, so dass bei den korrespondierenden Leitblitzaufnahmen festgestellt werden kann, ob es sich um den Aufbau eines negativ oder positiv geladenen Blitzkanals handelt. Die gewonnenen Aufnahmen weisen nun auf eine wesentliche Verschiedenheit der beiden Polaritäten hin, wobei der klassische Ruckstufen-Leitblitz mit regelmässigen scharfen Stufen auf der ganzen Blitzbahn nur dem Aufbau eines *negativen* Kanales zukommt.

Der Blitzstrom soll in gleicher Weise wie im vorhergehenden Aufsatz [1], der die elektrischen Blitzmessungen beschrieb, stets von der Wolke zur Erde positiv gerechnet werden. Eine Einteilung der Blitze nach Strom- und Vorwachsrichtung ergibt somit die 4 in Fig. 11 dargestellten Varianten. Die in der Berichtsperiode gewonnenen Photographien von Turmeinschlägen setzen sich, nach der Polarität der Kanalladung eingeteilt, wie folgt zusammen:

*A. Negative Kanalladung*

5 *negative Abwärtsblitze* (Abwärtsblitze aus negativen Wolken, Strom negativ) mit stufenweise vorwachsendem Leitblitz. Bei einem derselben ist allerdings der Leitblitz nur bei einem Seitenast sichtbar;

7 *Aufwärtsblitze aus der negativen Turmspitze* (Strom positiv), mit stufenweise vorwachsendem Leitblitz;

7 *kurze Aufwärtsentladungen aus der negativen Turmspitze* (Strom positiv) von 10...55 m Länge mit stufenweisem Vorwachsen. Diese Entladungen ergeben keinen sichtbaren Ausschlag im Oszillogramm. Jedesmal wurde aber gleichzeitig am andern Turm ein Aufwärtsblitz mit positivem Strom oszillographiert. Es ist naheliegend, dass die Entladungen an beiden Türmen die gleiche Polarität aufweisen;

*B. Positive Kanalladung*

7 *Aufwärtsblitze aus der positiven Turmspitze* (Strom negativ) mit Leitblitzen, die teilweise auch ein stufenweises Vorwachsen zeigen, sich im Gesamtcharakter aber von den vorgehend genannten deutlich unterscheiden.

39 *Aufwärtsblitze aus der positiven Turmspitze* (Strom negativ) ohne sichtbaren Leitblitz. Es ist keine Spur eines Leitblitzes zu finden, obwohl es sich um einwandfreie, scharfe Aufnahmen handelt;

1 *positiver Abwärtsblitz* (Abwärtsblitz aus positiven Wolken, Strom positiv) ohne sichtbaren Leitblitz. Dabei handelt es sich ebenfalls um eine einwandfreie, scharfe Aufnahme.

Dass die Aufnahmen der zuletzt genannten beiden Formen wirklich scharf sind, lässt sich einerseits dadurch feststellen, dass nachfolgende Teilblitze mit Stoßströmen vorhanden sind, deren Kanäle scharf abgebildet sind, anderseits auch daraus, dass die je nach Richtung der Blitzbahn heller oder weniger hell erscheinenden Stellen der Bahn auf dem Film scharf gezeichnete Längsstreifen ergeben.

Die Aufstellung zeigt, dass die *Bildung eines negativen Ladungskanales* (Abwärts- und Aufwärtsblitze) *stets mit einem sichtbaren, stufenweise vorwachsenden Leitblitz verbunden war.* Wenn man unscharfe, oder durch Streulicht

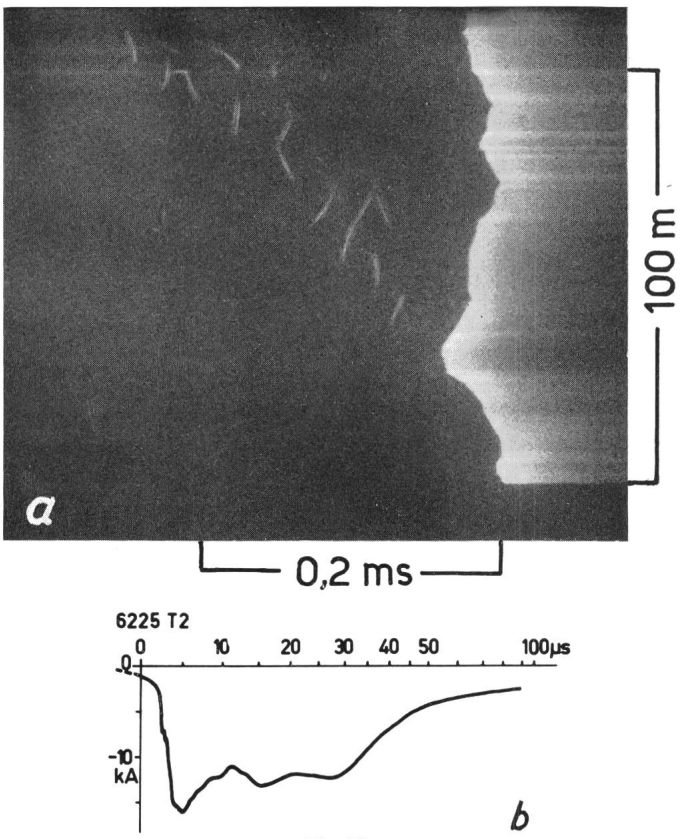



Fig. 12

**Abwärtsblitz in Turm *2* (6225)**

*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. Die Entladungsköpfe des in Ruckstufen vorwachsenden Leitblitzes sind sichtbar; *b* Stromverlauf

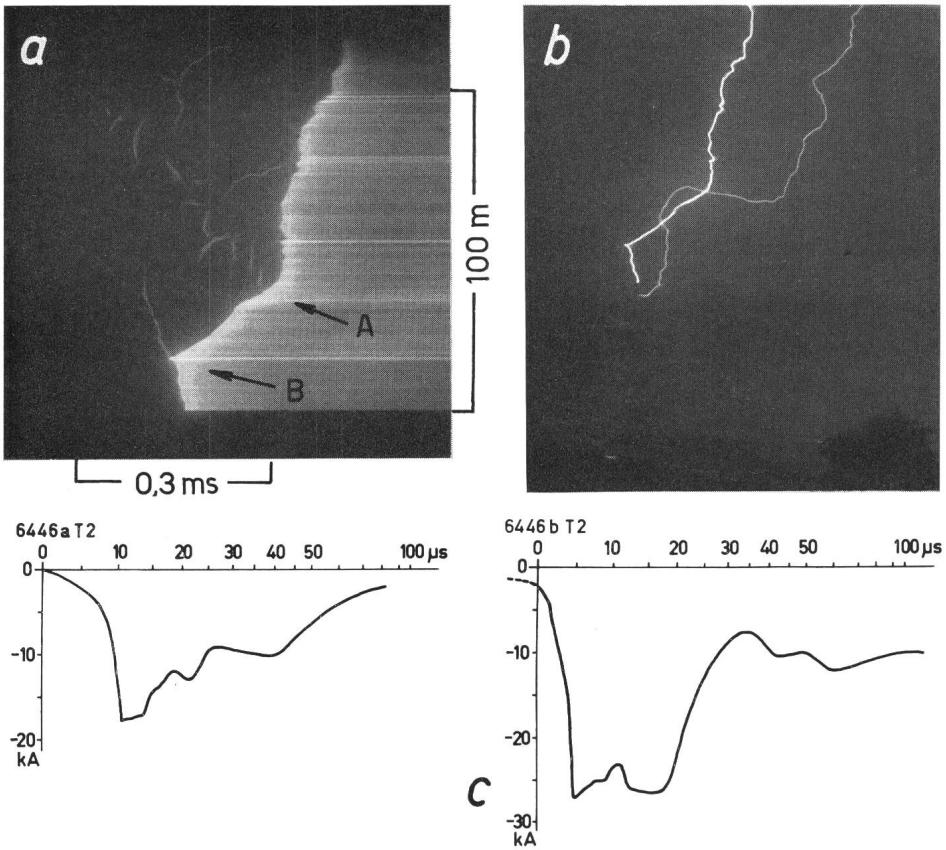



Fig. 13
**Zwei negative Abwärtsblitze in Turm *2* im Abstand von nur 82 ms (6446)**
*a* Aufnahme des zweiten Blitzes auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. Der gestufte Leitblitz oberhalb Punkt *A* ist auf dem Originalfilm sehr schwach gezeichnet und wurde für die Wiedergabe etwas retouchiert. Ebenso die nach oben gerichtete Entladung bei Punkt *B*, die ein Seitenast der Fangentladung sein dürfte; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* Stromverlauf *links* des ersten, *rechts* des zweiten Blitzes

übermässig geschwärzte Filme ausschliesst, liegt keine Aufnahme vor, die diesen Leitblitz nicht zeigen würde.

Im Gegensatz dazu war die *Bildung eines positiv geladenen Kanals* nur in 7 von total 46 Fällen mit einem sichtbaren Leitblitz verbunden. In den übrigen 39 Fällen hat die Leuchtkraft des Leitblitzes offenbar nicht genügt, um auf dem Film eine Spur zu hinterlassen. Einerseits die geringe Leuchtkraft und anderseits die Tatsache, dass im freien Gelände, wo kaum Aufwärtsblitze auftreten, die Blitze mit positiv geladenem Leitblitz stark in der Minderheit sind, mögen dafür verantwortlich sein, dass diese Entladungsform bisher nicht beachtet wurde. Die Aufnahme eines negativen Aufwätsblitzes aus der positiven Spitze des Empire State Buildings in New York vom Jahre 1949 zeigt zwar die typischen Merkmale des Leitblitzes mit positiver Ladung schon deutlich, wurde aber in der Literatur [5] ohne Hinweis auf den Polaritätseinfluss wiedergegeben. Auf dem Monte San Salvatore sind die ersten derartigen Aufnahmen erst 1964 geglückt.

### *5.2 Aufbau des negativ geladenen Kanals*

Die Fig. 12...19 geben Beispiele für diesen Vorgang sowohl bei negativen Abwärtsblitzen als auch bei Aufwärtsblitzen aus negativen Turmspitzen. Charakteristisch ist das Vorwachsen des Kanals in diskreten Ruckstufen. Bei jeder Ruckstufe leuchtet das zuletzt gebildete Kanalstück relativ stark auf. Bei schwächeren Aufnahmen sind nur diese Entladungsköpfe sichtbar. Auf anderen Aufnahmen ist jeweils noch das Aufleuchten eines grösseren Kanalstückes zu erkennen.

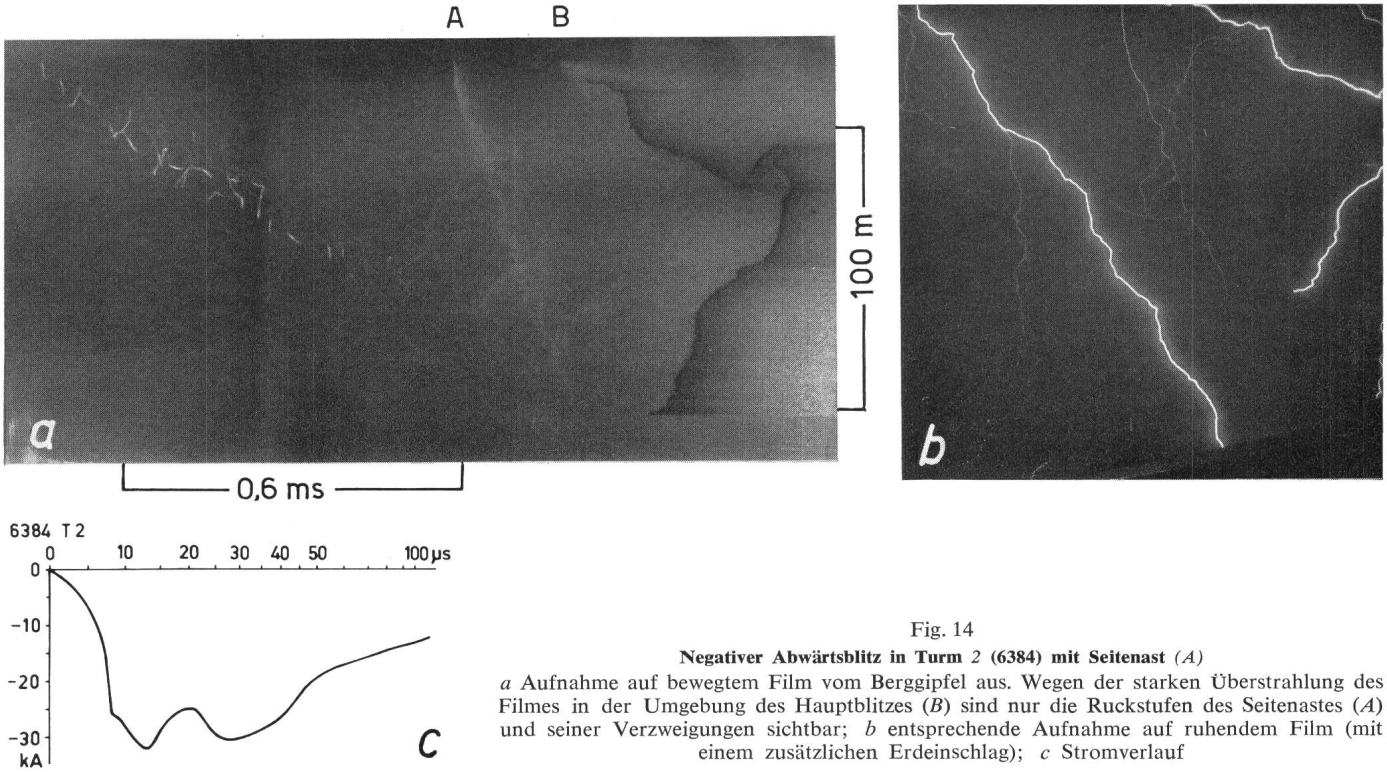



Fig. 14
**Negativer Abwärtsblitz in Turm *2* (6384) mit Seitenast *(A)***
*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. Wegen der starken Überstrahlung des Filmes in der Umgebung des Hauptblitzes (*B*) sind nur die Ruckstufen des Seitenastes (*A*) und seiner Verzweigungen sichtbar; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film (mit einem zusätzlichen Erdeinschlag); *c* Stromverlauf

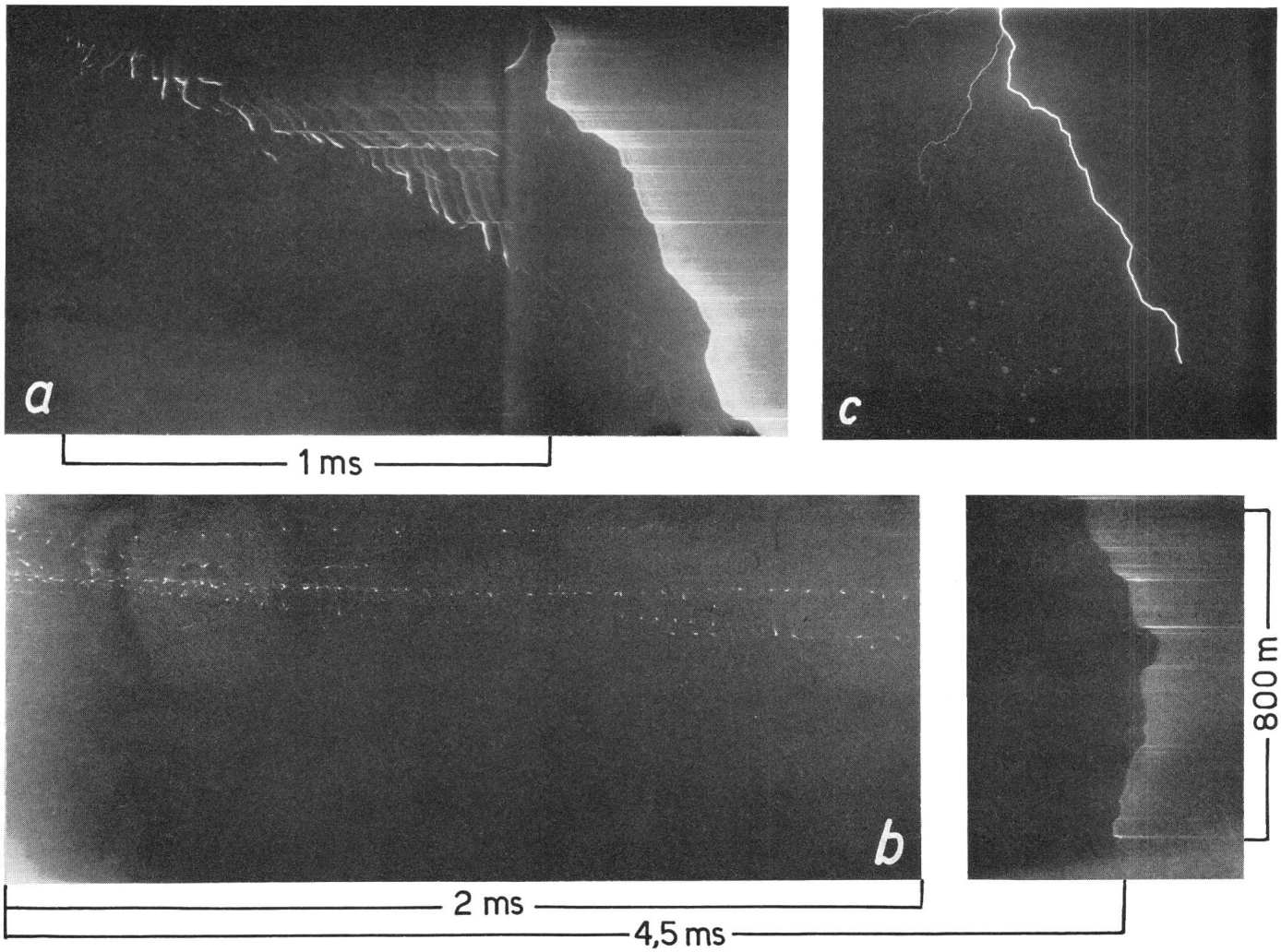



Fig. 15
**Erdeinschlag in Nähe von Turm** *2*
*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. Bei jeder Vorwachsstufe leuchtet der ganze sichtbare Bereich des Ladungskanales auf; *b* Ausschnitte aus der Aufnahme auf bewegtem Film von Breganzona aus. Wegen der grösseren Entfernung sind die Ruckstufen schwächer gezeichnet, sie können aber auf 800 m der Blitzbahn während 5 ms beobachtet werden; *c* Aufnahme auf ruhendem Film vom Berggipfel aus

Fig. 12a zeigt die Aufnahme eines *negativen Abwärtsblitzes* in Turm *2* mit Leitblitz. Die Aufnahme aus 365 m Abstand erfasst nur die untersten 120 m der Blitzbahn. Der Leitblitz zeigt auf dieser Strecke ca. 10 Stufenentladungen. Bei einem Abstand von ca. 20 m von der Turmspitze hat die Hauptentladung gezündet. Der oszillographisch bestimmte Stromverlauf mit einem Scheitelwert von 22 kA ist aus Fig. 12b ersichtlich.

Ein ähnlicher Einschlag findet sich in Fig. 13a. Vom Leitblitz sind aber nur wenige schwach gezeichnete Stufenentladungen sichtbar, bevor er ca. 30 m über der Turmspitze in Punkt *A* in die Hauptentladung übergeht. Ein feiner Seitenast von dem scharfen Knick der Blitzbahn (Punkt *B*) nach links oben lässt vermuten, dass sich die von der Turmspitze ausgehende Fangentladung an dieser Stelle gegabelt hat. Ihr rechter Seitenast hat den abwärtswachsenden Blitzkanal erreicht. Dass vom Vorwachsen der Fangentladung auf der Aufnahme nichts zu sehen ist, dürfte damit zusammenhängen, dass es sich hiebei um den Aufbau eines positiv geladenen Kanals handelt, wie er im nächsten Abschnitt (5.3) behandelt wird. Die Aufnahme auf ruhendem Film (Fig. 13b) zeigt einen weiteren Einschlag seitlich in den Turm *2*, 82 ms vor dem erwähnten. Der Stromverlauf beider Blitze ist aus Fig. 13c ersichtlich.

Einen weiteren negativen Abwärtsblitz in Turm *2* mit einem Seitenzweig, der den Erdboden nicht erreicht, zeigt Fig. 14. Die Umgebung der Hauptentladung (B) ist stark überstrahlt, wahrscheinlich durch die vom letzteren beleuchteten Wolken. Daher ist nur der stufenweise vorwachsende Leitblitz des Seitenzweiges (A) und seiner Verästelungen zu sehen.

Bei *Einschlägen in den Erdboden* ist die Stromrichtung nicht bekannt. Auf Grund der Beobachtungen bei den Turmeinschlägen kann sie aber aus dem Charakter des Leitblitzes geschlossen werden. Es liegt eine Anzahl solcher Aufnahmen von Erdeinschlägen vor, die als negative Abwärtsblitze anzusprechen sind. Fig. 15 zeigt ein Beispiel mit einem Erdeinschlag in Nähe des Turmes *2*. Es liegt sowohl die Aufnahme vom ca. 360 m entfernten Berggipfel (Fig. 15a) als auch diejenige aus dem ca. 3 km entfernten Breganzona (Fig. 15b) vor. Die Aufnahme vom Gipfel aus auf ruhendem Film (Fig. 15c) zeigt einen Seitenast nach links, der auf dem bewegten Film gleich nach seinem Anfang durch die Begrenzung des Bildausschnittes abgeschnitten ist. Die Aufnahme aus Breganzona gestattet, die Entwicklung des Leitblitzes während ca. 5 ms und über eine vertikale Strecke von ca. 800 m zu verfolgen.

Besonders schön ist der Aufbau des negativ geladenen Kanales bei *Aufwärtsblitzen an den negativen Turmspitzen* zu verfolgen. Die Figuren 16...19 zeigen hiezu vier Beispiele. Die ersten 3 wurden vom Gipfel aus an Turm *2* aufgenommen, das letzte von Breganzona aus an Turm *1*. An zweien derselben ist auch der Stromverlauf wiedergegeben (Fig. 16c und Fig. 19c), bei den anderen beiden hat die Auslösung des Schleifenoszillographen versagt, während der Kathodenstrahloszillograph (KO) zu wenig empfindlich eingestellt war, um den Stromverlauf beim Aufbau des Leitblitzes aufzuzeichnen.

Die Blitze von Fig. 16 und 17 stellen nur den Aufbau eines relativ kurzen Kanales von einigen 100 m Länge dar. Es liegen auch einige Aufnahmen von noch kürzeren Entladungen vor, z. B. von nur 20...55 m Länge, mit 7...13 scharfen Stufen. Solche Entladungen führen wohl zur Auslösung der Oszillographen, geben aber keine sichtbaren Stromausschläge (d. h. dass der Strom 20 A nicht erreicht).

Beim Einschlag von Fig. 18 dagegen muss der Leitblitz nach 10,6 und 11,6 ms (was bei gleichbleibender Vorwachsgeschwindigkeit einer Höhe über der Turmspitze von 1,05 und 1,15 km entspricht) auf grössere Ladungskonzentrationen (eventuell entgegenwachsende Kanäle) gestossen sein, wobei ein stark leuchtender Hauptblitz mit einem im KO gemessenen Stoßstrom von 27 kA Scheitelwert entstand. Die hier nicht wiedergegebene Aufnahme von Breganzona zeigt, dass sich der Leitblitz ca. 300 m über der Turmspitze gabelt, und dass der bei 10,6 ms beginnende Mehrfachstoss im einen, der bei 11,6 ms beginnende Hauptstrom im anderen der beiden Äste zufliesst.

Sehr schön ist die Entwicklung des Leitblitzes von der negativen Turmspitze aus in den Fig. 17 und 18 ersichtlich. Bis der Leitblitz eine Höhe von 60...100 m erreicht hat, leuchtet jeweils der ganze Kanal wieder auf, wenn der eine oder andere Ast des verzweigten Kanales um eine Stufe weiterwächst. Was aber diese beiden Aufnahmen besonders interessant macht, ist, dass bei den untern kräftig gezeichneten Stufen jeweils am Ende des helleuchtenden Entladungskopfes noch eine feine Büschelentladung sichtbar ist. Um diese deutlich zu zeigen, ist in Figur 17c und 18c der erste Abschnitt der Entladung in stärkerer Vergrösserung wiedergegeben. Solche Büschel, wie sie bei der Beschreibung des Kanalaufbaues von verschiedenen Autoren angenommen wurden, sind damit durch direkte Aufnahmen belegt. Diese zeigen auch, dass sich das Büschel zwischen zwei Stufenentladungen nicht kontinuierlich entwickelt. Die Entwicklungs- und Leuchtdauer der Büschel ist vielmehr so kurz, dass dieses auf dem bewegten Film als momentan erscheint ($\leq$ 5 µs). Das Herausschiessen eines neuen Büschels scheint Hand in Hand zu gehen mit dem Umschlagen des schwachleitenden Fadens im alten Büschel in einen leitenden Kanal, welches den helleuchtenden Entladungskopf ergibt. Die Übereinstimmung mit dem Töplerschen Gleitentladungen ist auffallend [8]. *M. Töpler* hat die Blitzentladung bereits um 1920 als räumliche Gleitentladung aufgefasst und beschrieben.

Schliesslich zeigt Fig. 19 eine Aufnahme von Breganzona, auf der sich ein kräftiger Aufwärtsblitz an Turm *1* bis zu einer Höhe von ca. 850 m über der Turmspitze verfolgen lässt. Wie das Bild auf ruhendem Film (Fig. 19b) zeigt, ist der Blitz stark verzweigt, so dass es schwierig ist, auf dem bewegten Film die Entladungsköpfe der verschiedenen Zweige auseinanderzuhalten.

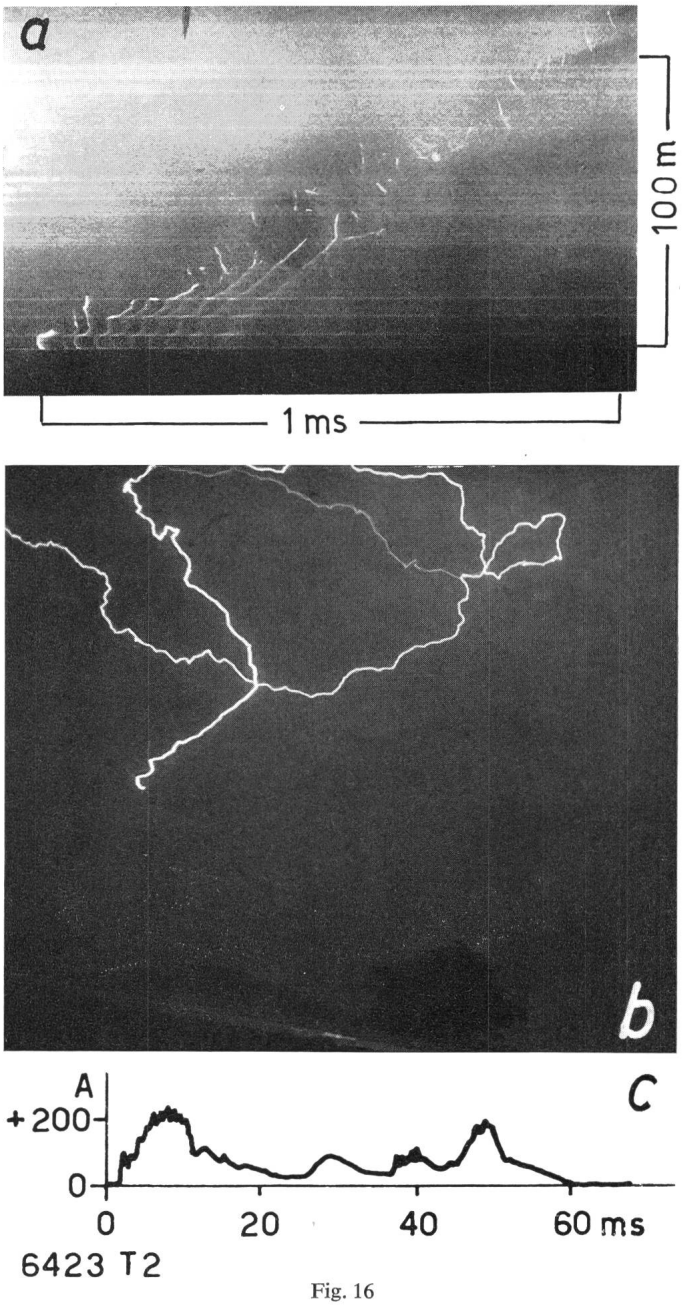



Fig. 16

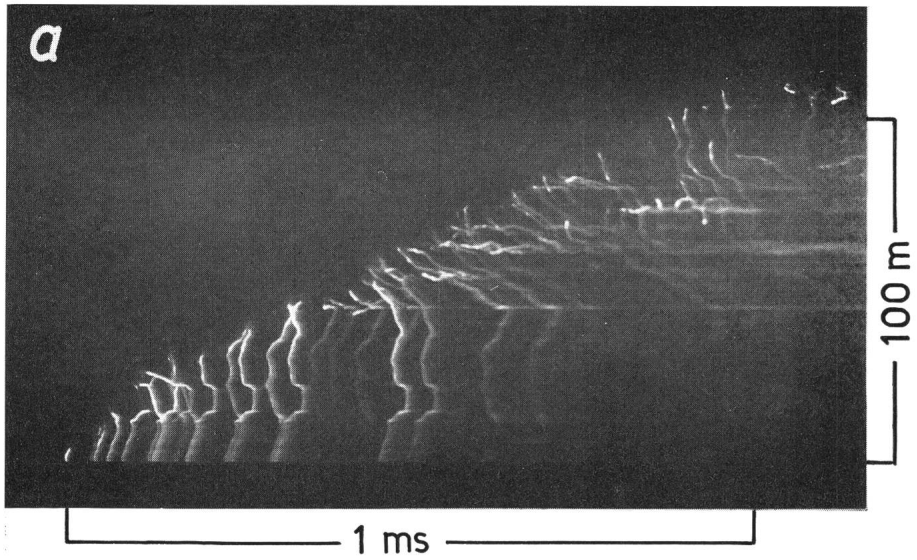
**Aufwärtsblitz an der negativen Turmspitze *2* (6423)**

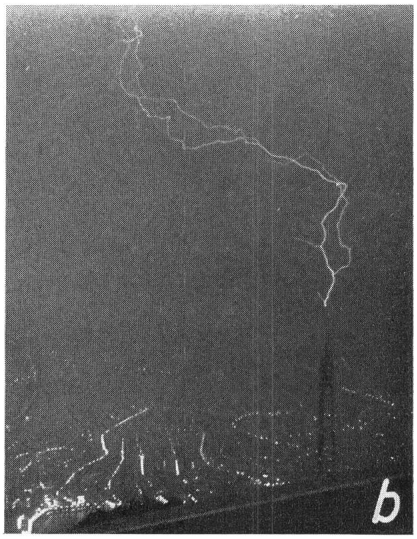
*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. Das Aufwärtswachsen des Kanales in Ruckstufen ist deutlich sichtbar. Da es sich um einen reinen Aufwärtsblitz handelt, wird nur ein Kanal aufgebaut; es erfolgt kein Hauptblitz, der einer stossartigen Entladung oder Umladung des Kanales entsprechen würde; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* Stromverlauf. Dass schon ein so kleiner Strom eine gut sichtbare Entladung ergibt, ist ein typisches Merkmal des Aufbaus negativ geladener Kanäle

### *5. 3 Aufbau des positiv geladenen Kanals*

Die Figuren 20...22 zeigen Aufnahmen, auf denen das Vorwachsen positiv geladener Leitblitze sichtbar ist. In den Fig. 20 und 21 sind es Aufwärtsblitze an den positiven Spitzen der Messtürme, in Fig. 22 ist es ein positiver Abwärtsblitz, der in der Umgebung von Campione in den Erdboden oder in ein Gebäude einschlägt.

Die *Aufwärtsblitze* am Turm *2* zeigen in dem vom Berggipfel aus erfassbaren Teil (Fig. 20a und 21a), d. h. bis zu einer Höhe von ca. 120 m über der Turmspitze, ausgeprägte Stufen, die denjenigen bei der Bildung des nega-



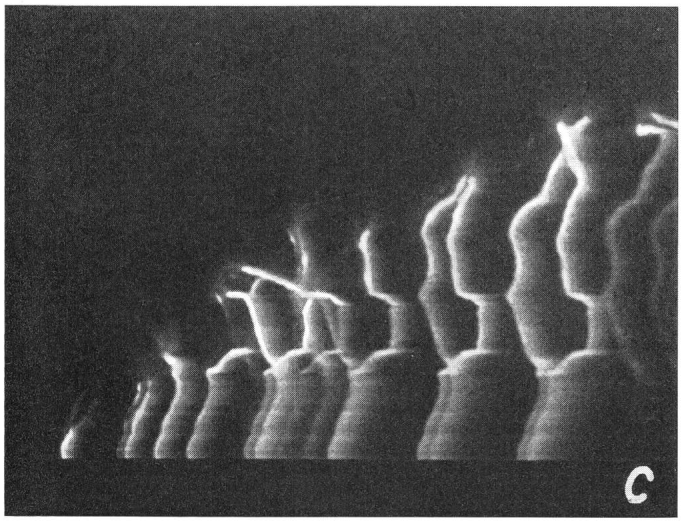




Fig. 17

**Aufwärtsblitz an der negativen Turmspitze *2* (6525)**

*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* vergrösserter Ausschnitt aus Fig. 17*a*. Man beachte die am Ende der helleuchtenden Entladungsköpfe sichtbaren Büschel

tiven Kanals gleichen. Sie lassen sich aber nicht von der Turmspitze weg verfolgen, sondern treten erst in Erscheinung, wenn der Kanal schon eine Länge von 40...80 m erreicht hat, wobei der Strom auf einige 100 A angestiegen ist. In Fig. 20a sind sogar die Stufenentladungen von zwei verschiedenen Ästen des Leitblitzes sichtbar. In grösseren Höhen (oberhalb 150...200 m über der Turmspitze) wird das Vorwachsen kontinuierlich. Der Kanalkopf zeichnet dann auf dem bewegten Film eine durchgehende Linie. An Stelle der Stufen treten nur noch periodische Intensitätsmaxima auf, bei denen stets der ganze Kanal bis hinunter zur Turmspitze schwach aufleuchtet (Aufnahmen von Breganzona Fig. 20b und 21b). Fig. 21b zeigt überlagert zwei Leitblitze, die von den beiden Messtürmen ausgehen. Fig. 20b zeigt nur den Leitblitz an Turm *2*, während jener an Turm *1* (vergl. die Aufnahme auf ruhendem Film, Fig. 20d) für eine Abbildung auf bewegtem Film offenbar zu schwach war.

Fig 22 zeigt den einzigen *positiven Abwärtsblitz,* der mit einer Vorentladung auf bewegtem Film aufgenommen wurde. Er zeigt das gleiche kontinuierliche Vorwachsen wie die Aufwärtsblitze an den positiven Turmspitzen auf den Aufnahmen von Breganzona. Da dieser Blitz keinen Messturm getroffen hat und somit kein Strom-Oszillogramm vorliegt, kann nur aus dem Charakter der Vorentladung geschlossen werden, dass es sich um einen positiven Blitz handelt. Einen Hinweis auf hohen Strom und damit auch auf die positive Polarität gibt allerdings der starke Donner, der selbst auf dem 2,2 km entfernten Monte San Salvatore als ausserordentlich heftig empfunden wurde.

Wohl liegen auch einige Aufnahmen von positiven Abwärtsblitzen in die Messtürme vor. Dabei wächst aber stets aus dem Messturm ein negativ geladener Kanal dem aus der Wolke kommenden positiven entgegen, so dass in den Aufnahmen nur der aufwärtswachsende Kanal sichtbar ist.

Das vom Berggipfel aus aufgenommene Bild auf ruhendem Film (Fig. 22c) zeigt noch eine interessante Einzelheit: Im untern Teil gabelt sich die Blitzbahn und läuft dann wieder zusammen, so dass das Bild einer Öse entsteht. Die Bildung einer Öse lässt sich so erklären, dass der Blitzkanal und eine von unten kommende Fangentladung zunächst aneinander vorbeiwachsen, und dann die Spitze jedes Kanales seitlich in den andern hineinschlägt.Es ist schade, dass dieser Vorgang nicht auf bewegtem Film aufgezeichnet wurde, weil von Breganzona aus der unterste Teil der Blitzbahn durch einen Hügelzug verdeckt war.

Zusammenfassend seien die wesentlichen Merkmale des Leitblitzes mit positiver Ladung nochmals aufgeführt:

*a*) Der positiv geladene Leitblitz ist lichtschwächer als jener bei der Bildung eines negativen Kanals. Mit den verwendeten Kameras lässt sich das Vorwachsen des Kanals nur bei ca. 15 % aller Aufwärtsblitze erkennen. Der aus dem Turm nachfliessende Strom beträgt dabei mindestens einige 100 A.

*b*) Die Ausbildung aufwärtswachsender Kanäle lässt sich nicht von der Turmspitze an verfolgen. Erst wenn der Kanal mindestens 40 m lang ist, leuchtet er in unregelmässigen Abständen kurz auf. Nur in einem Bereich etwa zwischen 60 und 150 m Länge erfolgt das Aufleuchten in regelmässigen Stufen, wie beim Vorwachsen der negativen Kanäle. Bei grösseren Längen geht die Entladung in die kontinuierliche Form gemäss lit. *c* über.

*c*) Aufwärtsblitze an positiven Turmspitzen von etwa 200 m Länge an und positive Abwärtsblitze zeigen kontinuierliches Vorwachsen und kontinuierliches Leuchten des Entladungskopfes. An Stelle der Stufen treten periodische oder unregelmässige flaue Intensitätsmaxima auf, bei denen der ganze Kanal vom Entladungskopf bis zur Turmspitze bzw. bis zum Verschwinden in der Wolke schwach aufleuchtet. Bei den positiven Abwärtsblitzen stützt sich die Beschreibung allerdings nur auf eine einzige Aufnahme.

*Zusammenstellung der ausgewerteten Daten über das Vorwachsen negativer und positiver Leitblitze*

Tabelle I

| Nr. | $P_q$ | $P_i$ | Blitzform | $n$ | $H$ m | $v$ m/ms | $T_{St}$ µs | $H_{St}$ m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | — | — | Negative Abwärtsblitze in die Messtürme | 4 | 0...100 | 185...220 | 40...52 | 8...10 |
| 2 | — | — | Negative Abwärtsblitze in den Erdboden | 14 | 0...1300 | 85...440 | 29...47 | 3...17 |
| | | | | 1 | 0...1750 | 65 | | |
| | | | | | 1750...2000 | 700 | 41 | 29 |
| | | | | | 2000...2350 | 1060 | 47 | 50 |
| 3 | — | + | Aufwärtsblitze aus den negativen Messtürmen | 8 | 0...110 | 120...190 | 33...50 | 4,5...8 |
| | | | | 3 | 250...1200 | 110...450 | 40...47 | 5...18 |
| | | | | 1 | 20...110 | 870...1150 | 4...6,5 | 3,5...7,5 |
| 4 | — | + | Kurze Entladungen an den negativen Messtürmen | 6 | 0...55 | 85...140 | 34...47 | 3...6 |
| 5 | — | + | Aufwärtsblitz am Mte. Sighignola (4 Stufen) | 1 | 540...900 | 2200 | 55 | 120 |
| 6 | + | — | Aufwärtsblitze an den positiven Messtürmen | 4 | 40...110 | 40...75 | 65...110 | 4...8 |
| | | | | 7 | 110...≈500 | 130...490 | 45...115 | 8...27 |
| | | | | 7 | ~500...1150 | 105...970 | 40...115 | 12...40 |
| 7 | + | + | Positiver Abwärtsblitz | 1 | 320...920 | 2400 | — | — |
| | | | | | 920...1660 | 1700 | — | — |
| | | | | | 1660...1870 | 360 | — | — |

$P_q$ Polarität der Ladung q des aufgebauten Kanales
$P_i$ Polarität des Blitzstromes $i$
$n$ Anzahl der ausgewerteten Aufnahmen
$H$ Höhe über der Turmspitze, bzw. über dem Einschlagspunkt
$v$ vertikale Vorwachsgeschwindigkeit
$T_{St}$ Mittlerer zeitlicher Stufenabstand } über 5...30 Stufen gemessen
$H_{St}$ Mittlere vertikale Stufenlänge }

### *5.4 Quantitative Auswertungen*

In Tabelle I sind die Angaben über die Vorwachsgeschwindigkeiten, die zeitlichen Abstände der Vorwachsstufen (oder der Leuchtstärkemaxima) und die Stufenlängen, soweit sie sich aus den Aufnahmen auswerten lassen, zusammengestellt.

Die Auswertungen sind allerdings mit gewissen Unsicherheiten behaftet, und zwar aus den folgenden Gründen:

*a*) Die Blitzbahn kann gegen den Beobachter oder von ihm weg geneigt sein, was sich auf den Aufnahmen nicht erkennen lässt. Von der Vorwachsgeschwindigkeit und den Stufenlängen wurden daher nur die vertikalen Komponenten ausgewertet, d. h. also Vorwachsgeschwindigkeit in vertikaler Richtung und vertikale Stufenlänge. Die wahre Stufenlänge ist gleich oder grösser als der Tabellenwert.

*b*) Zur Ermittlung von Vorwachsgeschwindigkeit und Stufenlänge muss der Abstand zwischen Blitzbahn und Aufnahmeapparat bekannt sein. Im allgemeinen ist jedoch nur der Abstand des Einschlagpunktes bekannt (bei Einschlägen in die Messtürme oder bei Erdblitzen, deren Einschlagspunkt aus den Aufnahmen auf ruhendem Film ermittelt werden kann). Für die höheren Punkte der Blitzbahn ist diese Entfernung wegen der unkontrollierbaren Neigung ungenau.

*c*) Nicht alle Entladungsstufen lassen sich auf den Aufnahmen sicher erkennen. Nicht immer erfolgen in gleichmässigen Abständen gleichmässig starke Stufenentladungen. Manchmal sind die Abstände unregelmässig, und es liegen schwächere Stufen dazwischen, die auf schwachen oder überstrahlten Aufnahmen eventuell nicht mehr sichtbar sind. Bei der Auswertung wurden auf Abschnitten mit etwa 5...30 Stufen die Stufen gezählt und für diese Abschnitte der mittlere zeitliche Stufenabstand und die mittlere vertikale Stufenlänge ermittelt.

*d*) Bei verzweigten Blitzen sind oft die Entladungsköpfe verschiedener Äste durcheinander gezeichnet. Es ist dann schwierig, diejenigen eines bestimmten Astes herauszuhalten. Im allgemeinen wurde bei verzweigten Blitzen jener Ast ausgewertet, der das rascheste vertikale Vorwachsen aufwies.

Zu den in Tabelle I aufgeführten Resultaten für die verschiedenen Blitzformen ist noch folgendes hervorzuheben:

*Nr. 1:*

Von *negativen Abwärtsblitzen in die Messtürme* liegen nur 4 Aufnahmen vor. Alle 4 betreffen Einschläge in Turm 2, die vom Berggipfel aus aufgenommen wurden. Es wurden somit jeweils nur die letzten 120 m über der Turmspitze erfasst. Die bei den 4 Einschlägen gemessenen Stoßströme liegen bei 16...53 kA. Eine Abhängigkeit der Vorwachsgeschwindigkeit oder der Stufenlänge von der etwa im gleichen Verhältnis wie die Stoßströme variierenden Kanalladung lässt sich aus diesen wenigen Aufnahmen nicht erkennen.

Die *Länge der Fangentladung,* d. h. des Abstandes jener Stelle von der Turmspitze, an der der Leitblitz in den Hauptblitz übergeht, ist nur ungenau zu ermitteln, da alle Blitzbahnen, kurz bevor sie die Turmspitze erreichen, beträchtliche Horizontalkomponenten aufweisen. Die gemessenen Längen der Fangentladung liegen etwa zwischen 20 m (bei 16 kA) und 70 m (bei 53 kA). Es ist möglich, dass die Länge der Fangentladung etwa proportional mit der Stromstärke des Blitzes zunimmt, doch ist die Zahl der Aufnahmen heute noch viel zu klein und die diesbezügliche Auswertung zu ungenau, um eine solche Gesetzmässigkeit zu beweisen.

*Nr. 2:*

*Negative Abwärtsblitze in den Erdboden.* Von den 15 Blitzen mit bekannter Einschlagstelle, die für diese Auswertung zur Verfügung standen, fällt einer aus dem Rahmen und ist deshalb in der Tabelle separat angeführt. In diesem Fall wurde der Leitblitz von Breganzona aus über den Monte San Salvatore hinweg nur im oberen Teil aufgenommen, von seinem Austritt aus der Wolke in

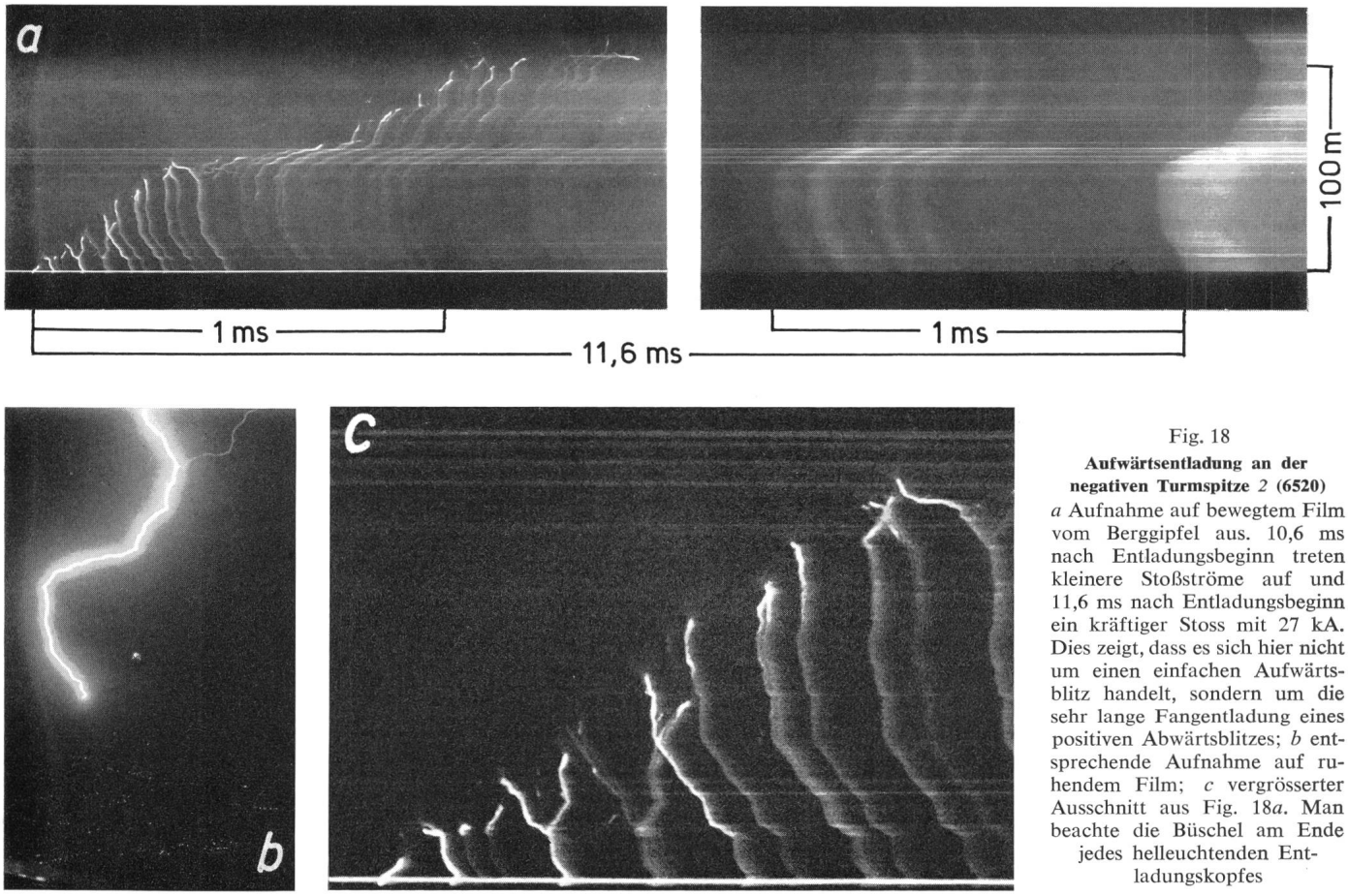



Fig. 18
**Aufwärtsentladung an der negativen Turmspitze** *2* **(6520)**
*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. 10,6 ms nach Entladungsbeginn treten kleinere Stoßströme auf und 11,6 ms nach Entladungsbeginn ein kräftiger Stoss mit 27 kA. Dies zeigt, dass es sich hier nicht um einen einfachen Aufwärtsblitz handelt, sondern um die sehr lange Fangentladung eines positiven Abwärtsblitzes; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* vergrösserter Ausschnitt aus Fig. 18*a*. Man beachte die Büschel am Ende jedes helleuchtenden Entladungskopfes

der Höhe von ca. 2350 m bis zu einer Höhe von ca. 1750 m über dem Einschlagspunkt. Auf einer vom Berggipfel aus aufgenommenen Aufnahme ist ersichtlich, dass der Blitz etwas vor dem Nordgrat des Monte San Giorgio in den Luganersee schlug. Der Leitblitz zeigt in dieser Höhe und besonders beim Austritt aus der Wolke eine extrem hohe Vorwachsgeschwindigkeit und extrem lange Stufen, während die zeitlichen Abstände der Stufen (die bei allen Entladungen mit negativem Kanal nur sehr wenig streuen) auch in diesem Abschnitt im normalen Rahmen liegen. Bei den übrigen 14 Aufnahmen, die den Leitblitz nur bis zu Höhen von maximal 1300 m über dem Einschlagspunkt erfassen, lässt sich keine systematische Abhängigkeit der Messwerte von der Höhe des ausgemessenen Kanalabschnittes feststellen.

*Nr. 3 und 4:*

Von den *Aufwärtsblitzen an den negativen Messtürmen* sind die kurzen Entladungen (20...55 m lang), die im Oszillogramm keinen sichtbaren Ausschlag ergaben, abgetrennt und separat angeführt (Nr. 4). Ihre Auswertungsresultate sind aber ungefähr die gleichen wie bei kräftigen Entladungen im Bereich unmittelbar über den Türmen. Die 3 Aufnahmen von Breganzona, welche solche Aufwärtsblitze bis 800...1200 m über der Turmspitze erfassen, geben für den oberen Bereich etwas höhere Vorwachsgeschwindigkeiten und längere Stufen als für den unteren Bereich. Eine Entladung ist separat angeführt, weil ihre Stufen beinahe 10mal rascher aufeinander erfolgen als bei andern Leitblitzen. Sie ist ca. 120 m lang mit zwei etwas kürzeren Seitenästen. Alle drei Äste scheinen mit ihrem Ende die Wolke zu erreichen und leuchten dabei auf ihrer ganzen Länge auf. Das zugehörige Stromoszillogramm (Nr. 6577) zeigt zwei kleine positive Stromspitzen im Abstand von 32 ms. Beide haben ca. 100 A und ihre Dauer beträgt einen Bruchteil einer ms. Es ist zu vermuten, dass die abgebildete Entladung dem zweiten der beiden Stromimpulse zugehört und einer vom ersten Impuls vorgebildeten Bahn folgt. Es würde sich damit nur um eine Folgeentladung handeln, und für eine solche wäre die rasche Stufenfolge normal (vergl. Abschnitt 7).

*Nr. 5:*

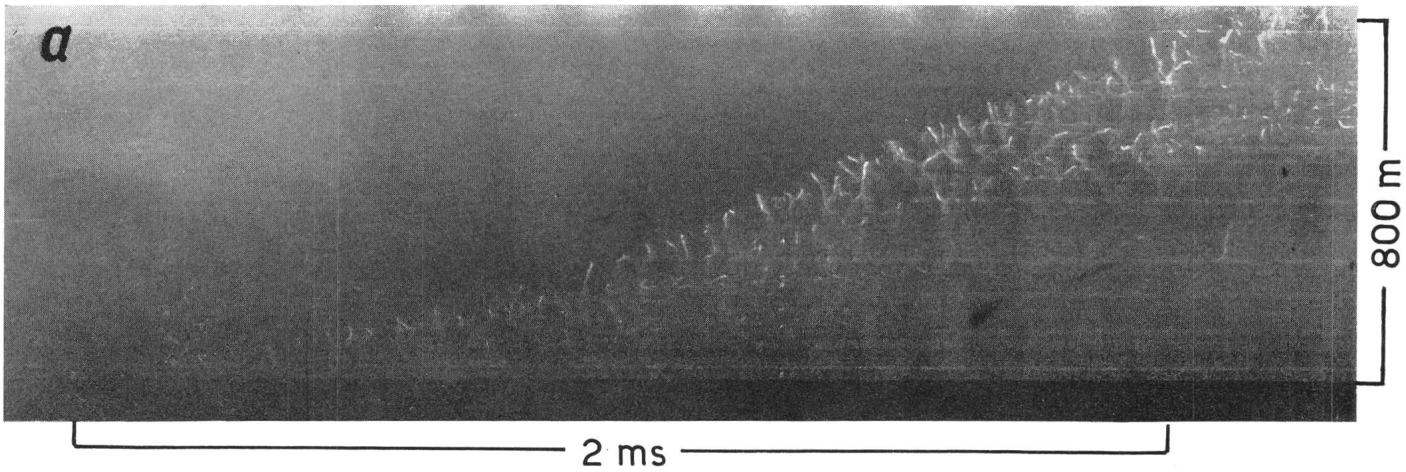
Eine Aufnahme von Breganzona (hier nicht reproduziert) zeigt 4 Stufen eines *Aufwärtsblitzes am Monte Sighignola.* Dieser fällt mit seiner grossen Vorwachsgeschwindigkeit und seinen langen Stufen ganz aus der Reihe.

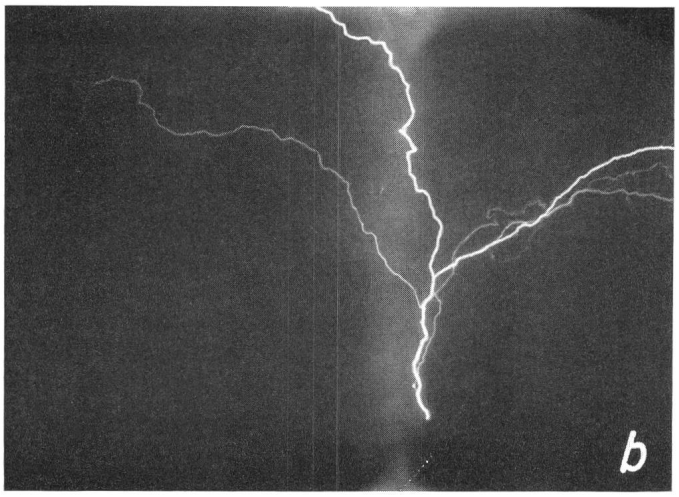
*Nr. 6:*

*Aufwärtsblitze aus den positiven Türmen.* Wie schon erwähnt, liegen von 46 solchen Blitzen einwandfreie Aufnahmen auf bewegtem Film vor. Nur 7 davon zeigen das Vorwachsen des Leitblitzes. Bei den übrigen 39 war der Leitblitz offenbar zu lichtschwach, um abgebildet zu werden. Etwa 150 m über der Turmspitze wird das Vorwachsen des Kanales kontinuierlich, die unter $T_{St}$ und $H_{St}$ angegebenen Zahlen beziehen sich dann auf den zeitlichen Abstand der Intensitätsmaxima und auf das Fortschreiten zwischen zwei Intensitätsmaxima.

*Nr. 7:*

Der einzige mit seinem Leitblitz aufgenommene *positive Abwärtsblitz* (Fig. 22) taucht ca. 1870 m über seinem Fusspunkt aus den Wolken. Seine Vorwachsgeschwindigkeit nimmt gegen den Boden zu und erreicht den extrem hohen Wert von ca. 2400 m/ms. Seine Intensitätsmaxima sind



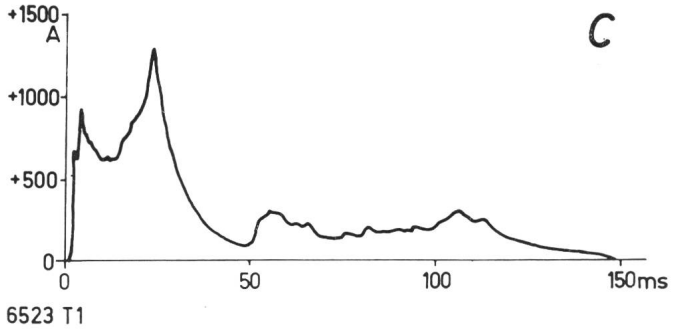




Fig. 19
**Aufwärtsblitz an der negativen Turmspitze *1* (6523)**
a Aufnahme auf bewegtem Film von Breganzona aus. Aus der grösseren Distanz sind nur noch die helleuchtenden Entladungsköpfe sichtbar; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* Stromverlauf

unregelmässig und stellenweise undeutlich. Es liegt auch eine Aufnahme von einem positiven Abwärtsblitz in Turm 2 vor, doch ist darauf der Leitblitz nicht sichtbar.

### 6. Mehrfachblitze

Eine der ersten Aufgaben der Kameras mit bewegtem Film war es, die zeitliche Aufeinanderfolge der Teilblitze zu ermitteln. Für diesen Zweck sind die hohen Filmgeschwindigkeiten der neueren Apparate ungünstig. Da der ca. 1 m lange Film in 35 ms einmal umläuft, kann sich ein langer Mehrfachblitz auf 20 oder mehr Umläufe verteilen. Es ist dann nur bei Einschlägen in die Messtürme mit Hilfe des Stromoszillogrammes möglich, die Aufeinanderfolge und die zeitlichen Abstände der Teilblitze zu ermitteln.

Mehrfachblitze sind sowohl bei Abwärts- als auch bei Aufwärtsblitzen ziemlich häufig, jedoch – mit seltenen Ausnahmen – nur bei *negativen Blitzen* (d.h. bei Blitzen zwischen negativen Wolken und positiver Erde). Sie kommen dadurch zustande, dass wegen der kleineren Beweglichkeit der positiven Ladungsträger nach dem Abklingen des Stromes in jedem Teilblitz positive Ladung im Kanal zurückbleibt. Diese schwächt das ursprüngliche Feld negativer Wolken am Boden und begünstigt das Abreissen des Blitzstromes [3]. Die Entladung innerhalb der Wolken kann nach dem Abklingen des Erdstromes weitergehen. Dadurch wird nach einiger Zeit wieder negative Ladung in den positiven Restkanal gelangen und diesen fortschreitend bis zur Erde umladen. Bei Aufwärtsblitzen aus positiven Turmspitzen bildet sich über diesen ein meist stark verzweigtes, positives Kanalsystem. Äste des Wolkenblitzes, der den Aufwärtsblitz ausgelöst hat (Abschnitt 4), können den einen oder andern Ast dieses Systemes erreichen und ihm bis zur Erde folgen.

Auch bei den Folgeblitzen ist das Vorwachsen der negativen Ladung im Kanal als Leitblitz auf dem bewegten Film sichtbar. Diese Leitblitze unterscheiden sich im allgemeinen von denjenigen der ersten Teilblitze durch schnelleres und kontinuierliches Vorwachsen.

Die *Aufwärtsblitze* mit ihren Verzweigungen ergeben oft komplizierte Verhältnisse. Während in einem Teil der Äste der kontinuierliche Aufbaustrom weiterfliesst, kann er in andern Ästen erlöschen, und es können auf diesen Folgeblitze auftreten, die in der Aufnahme auf bewegtem Film als momentanes Aufleuchten mit vorangehendem Leitblitz erscheinen. Im Gesamtblitz überlagern sich die diesen Entladungen zugehörigen Stoßströme dem kontinuierlichen Strom der andern Äste, sie ergeben somit keine selbständigen Teilblitze.

Es kommt auch vor, dass auf einem Ast eines Aufwärtsblitzes aus positiver Turmspitze (mit negativem Strom) ein Folgeblitz mit positivem Strom erscheint. Fig. 23 zeigt die Photo und das Schleifenoszillogramm gleichzeitiger Aufwärtsblitze an beiden Messtürmen. Während in Turm *2* drei Folgeblitze mit negativem Strom auftreten, erscheint an Turm *1* ein solcher mit positivem Strom (27 kA Stossstrom), so dass *in den beiden Türmen gleichzeitig entgegengesetzte Blitzströme fliessen!* Aus der hier nicht wiedergegebenen Aufnahme auf bewegtem Film geht hervor, dass der Folgeblitz mit positivem Strom auf dem kräftigen Hauptast *(A)* der Entladung am Turm *1*, und die Folgeblitze mit negativem Strom am linken (*B*) der beiden kräf-

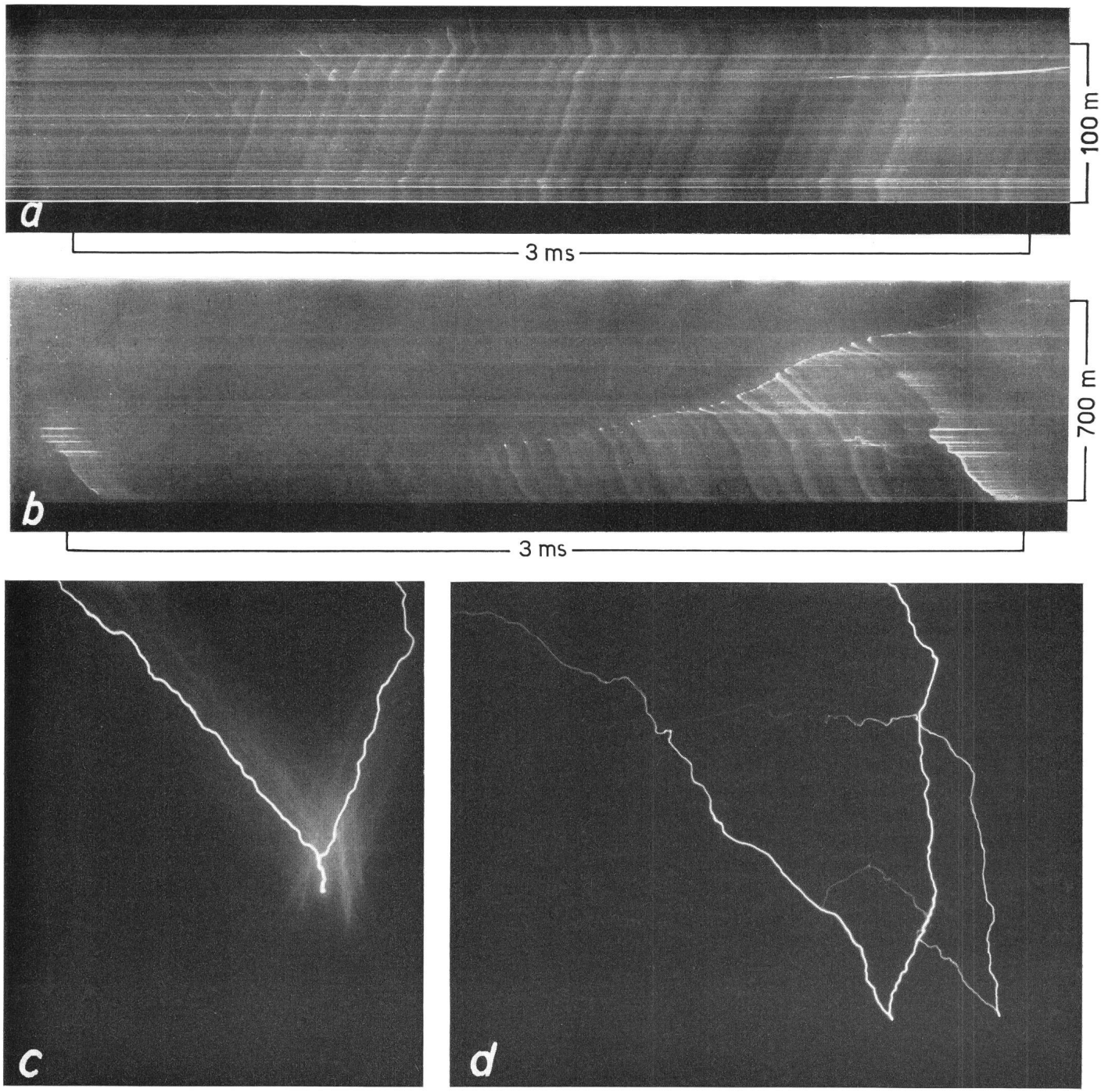



Fig. 20

**Aufwärtsblitz an der positiven Turmspitze *2* (6559)**

*a* Aufnahme auf bewegtem Film vom Berggipfel aus. Im sichtbaren Bereich oberhalb 50 m über der Turmspitze ist das stufenweise Vorwachsen der Entladung an beiden Ästen deutlich sichtbar. Bei jeder Stufe leuchtet der ganze Kanal schwach auf; *b* Aufnahme auf bewegtem Film von Breganzona aus. Das Vorwachsen des Ladungskanales erfolgt im erfassten Bereich kontinuierlich. Es treten ziemlich starke Schwankungen der Leuchtstärke auf; *c* Aufnahme auf ruhendem Film vom Berggipfel, *d* von Breganzona aus. Hier ist ein gleichzeitiger Aufwärtsblitz an Turm *1* (recht im Bild) sichtbar, der auf dem bewegten Film nicht in Erscheinung tritt

tigen Äste am Turm *2* zugelaufen sind. Beim Folgeblitz mit positivem Strom kann kein Leitblitz festgestellt werden.

Das Oszillogramm in Fig. 23b zeigt ausserordentlich schön, wie beide Türme gleichzeitig einen Aufwärtsblitz mit negativem Strom fast gleicher Intensität entstehen lassen. Das offenbar durch einen bereits bestehenden Wolkenblitz dynamisch erhöhte elektrische Feld ist also an beiden Türmen in ca. 400 m Abstand etwa gleich hoch. Bei den Folgeblitzen dagegen zeigt die entgegengesetzte Polarität der Ströme, dass diese nur davon abhängt, welche Wolkenblitze mit dem Restkanal zusammenwachsen. Es können sogar auf verschiedenen Ästen ein und desselben Blitzes Ladungen verschiedener Polarität auftreten.

Die Vorwachsgeschwindigkeit variiert in weiten Grenzen, die Auswertung von ca. 80 aufgenommenen Vorentladungen ergibt 400...30 000 m/ms mit einem Mittel von ca. 9000 m/ms. Es ist zu erwarten, dass sie von der Länge der vorangegangenen stromlosen Pause und von der vorher durchgeflossenen Ladung abhängt. Da aber noch weitere Faktoren mitwirken, neben der neu in den Kanal einfliessenden Ladungsmenge auch unbestimmbare Grössen wie die Feld- und Ladungsverhältnisse in der Umgebung des

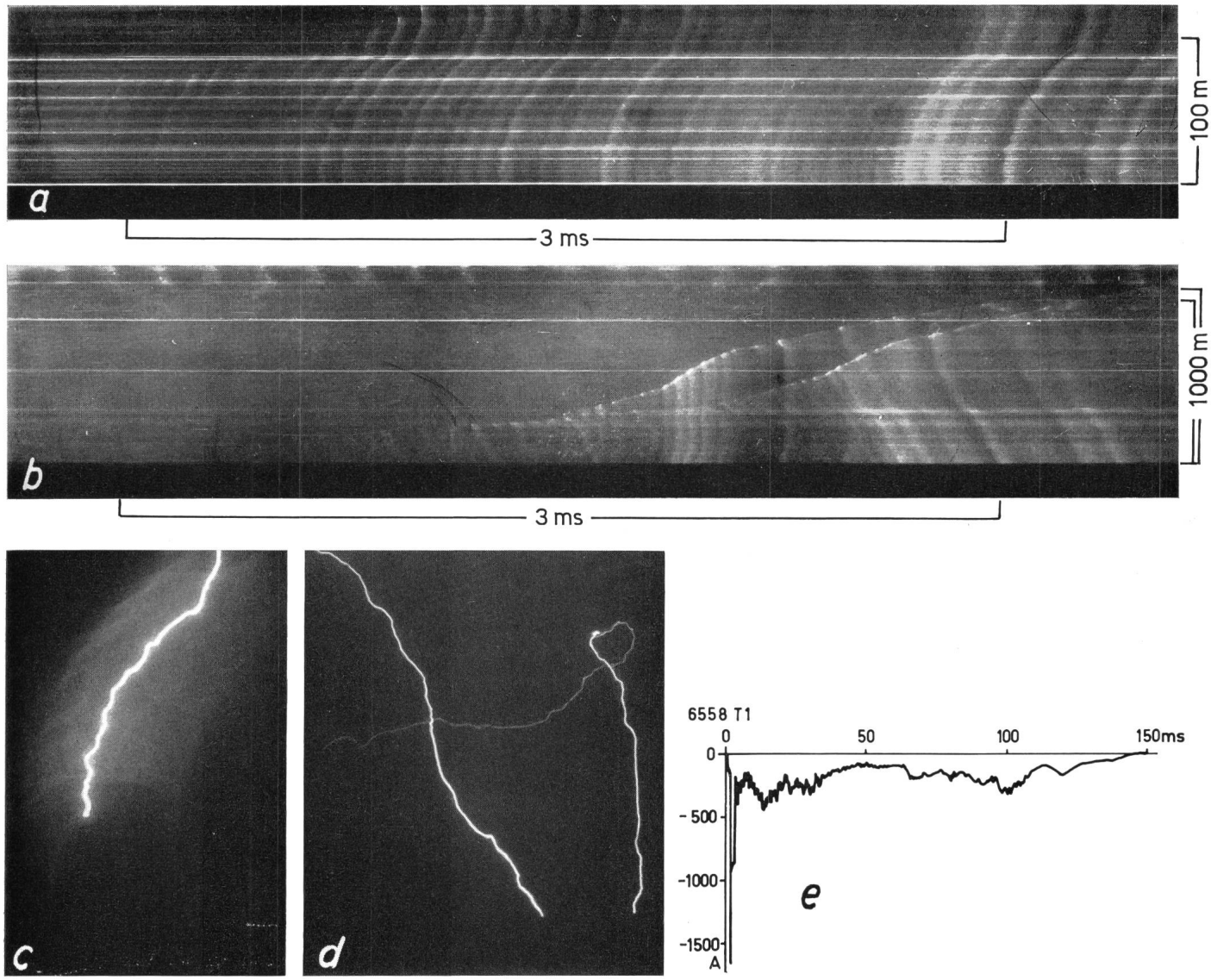



Fig. 21

**Aufwärtsblitze an den positiven Turmspitzen *1* und *2* (6558)**

*a* Aufnahme des Blitzes an Turm *2* auf bewegtem Film vom Berggipfel aus; *b* Aufnahme auf bewegtem Film von Breganzona aus. Von den beiden 1000-m-Masslinien bezieht sich die kürzere auf die senkrechte Höhe über Turm *1*, die längere auf die senkrechte Höhe über Turm *2*; *c* Aufnahme des Blitzes an Turm *2* auf ruhendem Film vom Berggipfel aus; *d* Aufnahme auf ruhendem Film von Breganzona aus. (Turm *2* links, Turm *1* rechts); *e* Stromverlauf in Turm *1*

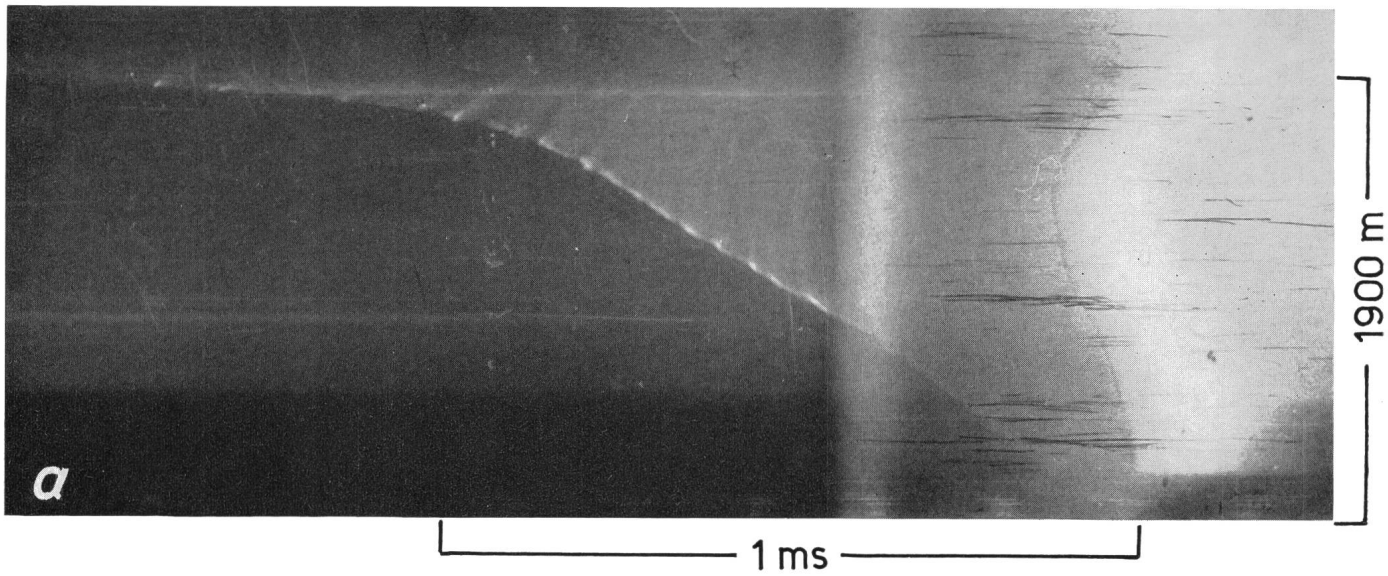
Kanals, lässt sich aus den bisherigen Daten kein eindeutiger Zusammenhang herauslesen. Um die Verhältnisse an einem Beispiel zu zeigen, sind in Tabelle II die Daten eines Abwärtsblitzes mit 6 Teilblitzen in den Turm *2* zusammengestellt.

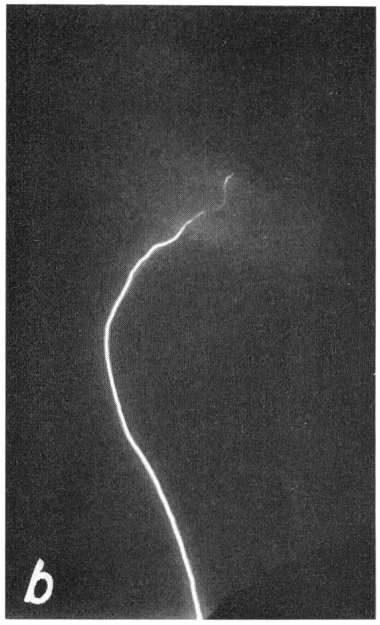
In seltenen Fällen wird auch bei Folgeblitzen ein Vorwachsen des Leitblitzes in Ruckstufen beobachtet. Die Geschwindigkeit des Vorwachsens solcher Leitblitze beträgt 400...1000 m/ms und fällt somit in die gleiche Grössenordnung wie beim ersten Aufbau eines Kanals. Die Stufung ist jedoch wesentlich feiner, es werden Stufenlängen von 2...10 m und zeitliche Abstände der Stufen von 2...12 µs gemessen. Zwei der insgesamt vier Aufnahmen mit einem gestuften Folge-Leitblitz befinden sich auf dem gleichen Film vom 16. Juni 1957. Der eine ist der Turmeinschlag mit den in Tabelle II zusammengestellten Daten. Seine Leitblitze sind leider für eine Reproduktion zu schwach gezeichnet. Der andere ist ein Erdeinschlag mit vier Teilblitzen, der den nordöstlichen Bergvorsprung in ca. 500 m Entfernung vom Gipfel getroffen hat. Die Aufnahmen der vier Teilblitze sind in Fig. 24 wiedergegeben. Die zeitliche Aufeinanderfolge der Folgeblitze und die Dauer der dazwischen liegenden Pausen lässt sich nicht angeben, da sich diese auf mehrere Umläufe des Filmes verteilen können.

*Charakteristische Daten der 6 Teilblitze bei einem Abwärtsblitz in Turm 2 vom 16. 6. 1957 (Osz. 5713)*

Tabelle II

| Teilblitz Nr. | Stossstrom kA | Stromlose Pause ms | Vorwachsgeschwindigkeit m/ms | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 53 | | 220 | Leitblitz gestuft |
| | | 188 | | |
| 2 | 18 | | 800 | Leitblitz fein gestuft |
| | | 16 | | |
| 3 | 11 | | 5000 | |
| | | 41 | | |
| 4 | 9 | | — | kein sichtbarer Leitblitz |
| | | 28 | | |
| 5 | 20 | | 6000 | |
| | | 73 | | |
| 6 | 8 | | 400 | Leitblitz sehr wahrscheinlich fein gestuft |



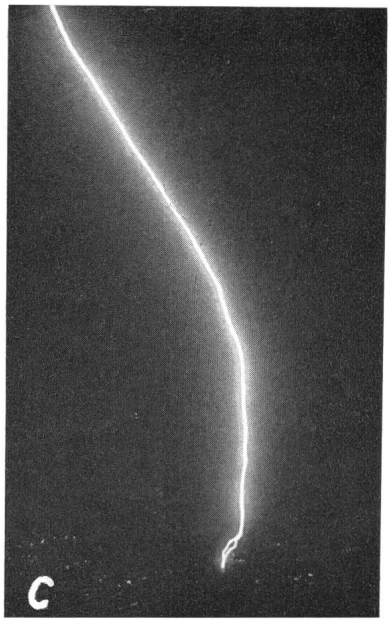




Fig. 22

**Erdeinschlag in Campione, offenbar positiver Blitzstrom**

*a* Aufnahme auf bewegtem Film von Breganzona aus. Der Leitblitz wächst kontinuierlich vor. Wegen starker Überbelichtung der Photoschicht tritt der Hauptblitz nur relativ schwach hervor; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* Aufnahme auf ruhendem Film vom Berggipfel aus

Einen besonders deutlich gestuften Folgeleitblitz zeigt Fig. 25. Bei der ersten Entladung dieses Blitzes (links in Fig. 25a) lässt sich der Leitblitz nicht erkennen. Am gestuften Folgeleitblitz fällt auf, dass er nahe beim unteren Bildrand plötzlich sein Vorwachsen verlangsamt, und dass seine Stufen von dort an wesentlich weiter aufeinanderliegen als im oberen Bereich. Ein Vergleich der Entladungsformen links und rechts in Fig. 25a zeigt den Grund: Der Leitblitz folgt nämlich unterhalb der erwähnten Stelle nicht mehr dem alten, von der ersten Entladung vorgebildeten Kanal, sondern er bildet von hier an einen neuen, mehr nach rechts gerichteten Ast. Man hat es daher im darunter liegenden Teil nicht mehr mit einem Folge-Leitblitz, sondern mit dem ersten Aufbau eines neuen Kanales zu tun.

Ein Beispiel für die Entwicklung von Folgeblitzen auf den Kanälen eines *Aufwärtsblitzes* gibt Fig. 26. Die 6 auf dem bewegten Film gezeichneten Entladungen (Fig. 26a) sind auf dem Stromoszillogramm (Fig. 26c) mit entsprechenden Nummern bezeichnet. Die ersten zwei sind dem kontinuierlichen Strom überlagert und geben Stromspitzen von weniger als 1000 A. Sie folgen dem schwach gezeichneten Ast links der Mitte von Fig. 26b. Die weitern vier Entladungen (3...6) sind Stösse mit 2,5...15kA, die nach dem Abklingen des kontinuierlichen Stromes als selbständige Teilblitze in Erscheinung treten. Sie folgen dem kräftig gezeichneten Hauptast. Die weiteren auf dem ruhenden Film sichtbaren Seitenäste (Fig. 26b) sind auf dem bewegten Film nicht zu erkennen und können daher nur kontinuierlichen Strom geführt haben. Als Besonderheit bei Entladung 4 — die dem schwächsten der selbständigen Folgeblitze entspricht — sei vermerkt, dass die unteren zwei Seitenäste des vorangehenden Aufwärtsblitzes durch kurze Abzweigungen angedeutet sind. Der zur Entladung 4 gehörige Leitblitz ist auffallend schwach und in den letzten 100 m über der Turmspitze auch auf dem Originalfilm nicht mehr zu erkennen.

## 7. Fangentladungen

Von den aufgenommenen *Blitzen mit aufwärtswachsenden Kanälen aus den negativen Turmspitzen* führen 5 nach 3...14 ms zu kräftigen Entladungen mit positiven Stossströmen von 22...106 kA. Die 5 Blitze, zusammen mit dem einzigen aufgenommenen positiven Abwärtsblitz ohne Fangentladung, sind mit ihren wesentlichen Daten in Tabelle III zusammengestellt. Bereits in einem früheren Aufsatz [1] wurde die Ansicht vertreten, dass in solchen Fällen der aufwärtswachsende Kanal mit einem aus höheren Wolkenschichten abwärtswachsenden zusammentrifft. Rechnet man mit gleichbleibender Geschwindigkeit der aufsteigenden Entladungen, so liegt die Höhe der Treffpunkte bei vier Aufnahmen 1000...1800 m über der Turmspitze. Bei einer Aufnahme liegt sie bei nur 500 m und damit im Aufnahmebereich der Kamera von Breganzona. Leider ist die betreffende Aufnahme in ihrem obern Teil stark überstrahlt, sodass die Aufwärtsentladung nur bis ca. 100 m über der Turmspitze zu verfolgen ist. Auch in diesem Falle ist also

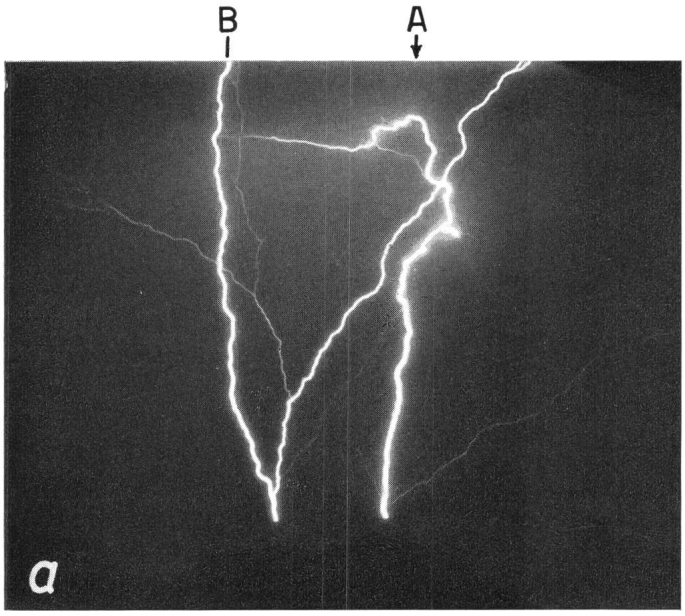



Fig. 23

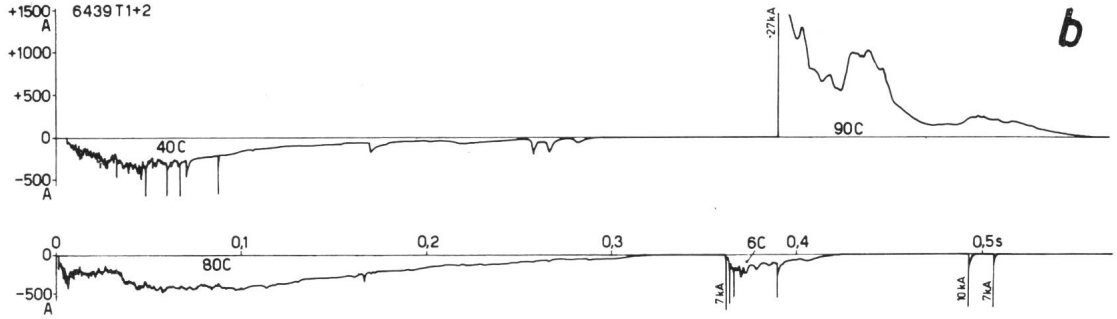
**Aufwärtsblitze an den positiven Turmspitzen *1* und *2* mit gleichzeitigen Folgeblitzen verschiedener Stromrichtung**

*a* Aufnahme auf ruhendem Film von Breganzona aus. Der Folgeblitz mit positivem Strom in Turm *1* folgt Ast *A*; die Folgeblitze mit negativem Strom in Turm *2* folgen Ast *B*; *b* Stromverlauf in beiden Türmen (6439)

mässigkeiten unterworfen sein wie dasjenige anderer Leitblitze.

Mit der Feststellung sehr langer Fangentladungen bei positiven Blitzen lassen sich auch ihre relativ flachen Stossfronten erklären. In diesen Fällen läuft nämlich die Entladewelle des Blitzkanals dem Messturm über den langen Kanal der Fangentladung zu. Ihre Front wird dabei durch die Dämpfung abgeflacht. Tabelle III zeigt dann auch, dass *die Frontsteilheit mit zunehmender Länge der Fangentladung kleiner wird.*

In diesem Zusammenhang ist der einzige, auch oszillographisch aufgenommene positive Turmeinschlag ohne




das Zusammentreffen der beiden Leitblitze nicht abgebildet. Die nach 3 ms einsetzende Hauptentladung zeigt aber im Bereich über 500 m Höhe nach unten gerichtete Verzweigungen, was die Annahme des abwärtswachsenden Kanales bestätigt. Die Stromoszillogramme zeigen sodann, dass die zum Aufbau in den Aufwärtskanal strömende Ladung nur wenige % der vom Abwärtskanal mitgeführten Ladung beträgt. Die betreffenden Blitze können somit mit Recht als *Abwärtsblitze* bezeichnet werden, und die am Anfang beobachteten Aufwärtsentladungen sind dann nichts anderes als *sehr lange (bis 1800 m) Fangentladungen.* Das Vorwachsen solcher Fangentladungen dürfte den gleichen Gesetz-

Fangentladung von Interesse. Der Blitz schlägt nach ca. 100 m fast horizontalem Verlauf seitlich in die Blitzantenne von Turm *2*, und die Aufnahme auf bewegtem Film (hier nicht reproduziert) lässt keine Fangentladung erkennen. Der positive Blitzstrom hat die in Fig. 27a wiedergegebene Stossfront. Diese zeigt tatsächlich etwa gleichen Verlauf wie bei negativen Blitzströmen. Ihre maximale Frontsteilheit ist mit 17 kA/µs fast doppelt so hoch als der grösste in den Jahren 1958...1963 an positiven Blitzen gemessenen Werte [1]. *Der Schluss drängt sich auf, dass flache Stossfronten der positiven Blitzströme nur dann auftreten, wenn sich vom Einschlagspunkt aus lange Fangentladungen bilden.*

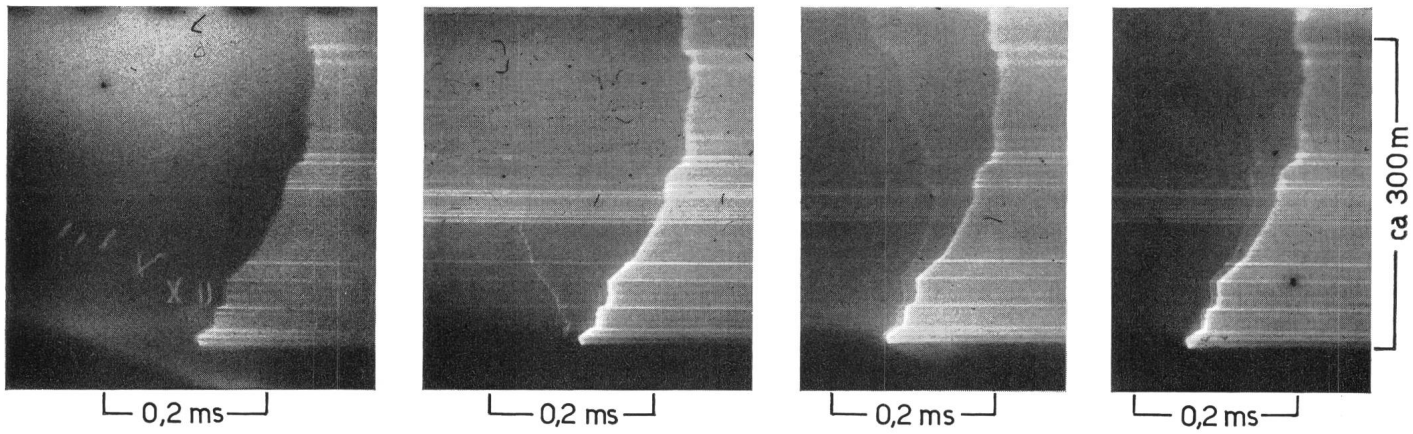
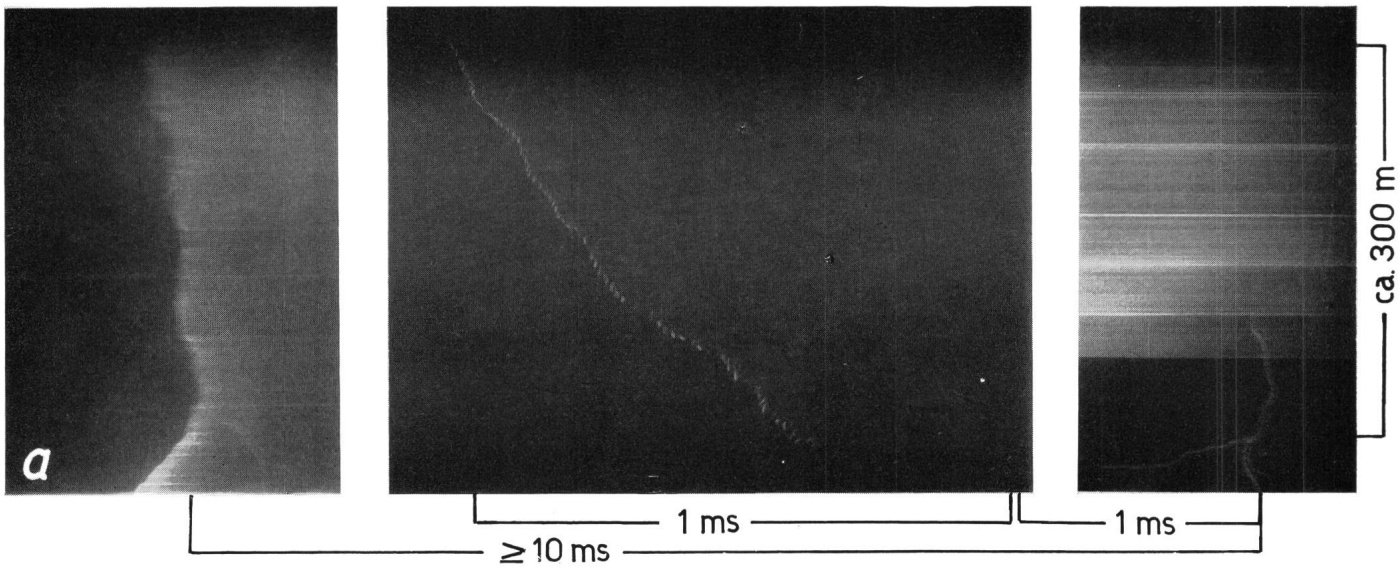



Fig. 24

**Erdeinschlag mit 4 Teilblitzen, offenbar negativer Blitzstrom**

Aufnahme auf bewegtem Film. Die gestufte Vorentladung des 1. Teilblitzes ist auf dem stark überlichteten Film sehr schwach gezeichnet und wurde in der Wiedergabe etwas retouchiert. Von den 3 Folgeblitzen zeigt einer eine fein gestufte Leitentladung, die beiden andern kontinuierlich vorwachsende Leitentladungen



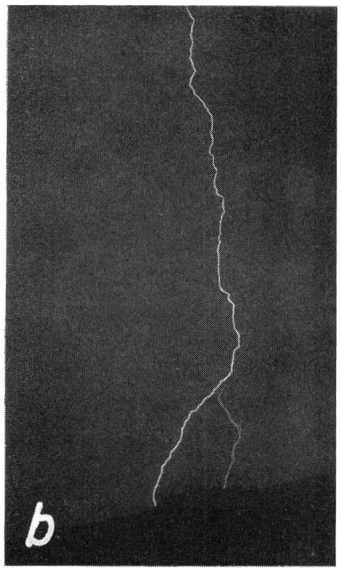




Fig. 25

**Erdeinschlag mit einem Folgeblitz, offenbar negativer Blitzstrom**

*a* Aufnahme auf bewegtem Film. Der Folgeblitz zeigt einen schönen feingestuften Leitblitz. Nahe dem untern Bildrand sucht er sich eine neue Bahn und die Stufen liegen von dort an wesentlich weiter auseinander; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film

Bei den *negativen Abwärtsblitzen* sind die Fangentladungen viel kürzer, und es liegt keine Aufnahme vor, die das Vorwachsen einer solchen zeigt. Auf den Aufnahmen von Turmeinschlägen sieht man nur, dass die Hauptentladung einsetzt, wenn der von oben kommende Leitblitz auf etwa 20...70 m an die Turmspitze herangekommen ist. Diese Distanz nähert sich der Grössenordnung der Vorwachsstufen des herabwachsenden Leitblitzes (8...10 m), und man könnte annehmen, dass sich der Durchschlag dieser letzten Trennstrecke sehr rasch, d. h. innerhalb einiger 10 µs vollziehe. Näher liegt die Annahme, dass der Aufbau eines Durchschlag-Funkens von laboratoriumsmässiger Ausdehnung (d. h. die Ausbildung eines niederohmigen Kanales über die ganze Strecke innert einiger µs) erst dann einsetzen kann, wenn sich der Leitblitz einem geerdeten Ojekt bzw. einer entgegenwachsenden Fangentladung soweit genähert hat, dass sich die an beiden Stellen entstehenden Büschel (deren Länge etwa derjenigen einer Vorwachsstufe gleichkommt) durchdringen.

Einige Beobachtungen sprechen dafür, dass tatsächlich auch bei negativen Abwärtsblitzen in die Türme Fangentladungen aus der Turmspitze den abwärtswachsenden Leitblitzen entgegenwachsen. Dass dieses Vorwachsen auf den Aufnahmen nicht sichtbar ist, kann nicht verwundern, wenn man sich vor Augen hält, dass eine solche Fangentladung in jeder Beziehung einem Aufwärtsblitz an einer positiven Spitze entspricht (Aufbau eines positiven Kanales). Gemäss Abschnitt 5.3 ist sein Vorwachsen nur in Ausnahmefällen (bei sehr kräftigen Entladungen) und auch dann erst in einer Höhe von mindestens 40 m über der Turmspitze erkennbar.

Einen ersten Hinweis für die Richtigkeit obiger Überlegungen liegt im Vorkommen von *Fangentladungen, die den Blitzkanal nicht erreichen.* Das beste Beispiel dieser Art zeigt eine Aufnahme von 1953, die bereits in einem früheren Aufsatz [3] wiedergegeben wurde. Sie zeigt einen Einschlag in Turm *2*, der schräg von der Seite das Geländer der obersten Plattform trifft. Die gleichzeitig mit der Hauptentladung des Blitzes an der Turmspitze erscheinende Entladung von ca. 100 m Länge kann nur als Kanal gedeutet werden, der von der Turmspitze aufwärts gewachsen ist, und der sich im Moment des Hauptblitzes infolge des Feldzusammenbruches rasch entlädt. Dieser Kanal ist eine Fang-

*Auswertung der Fangentladungen bei 6 positiven Abwärtsblitzen (Turmspitze negativ)*

Tabelle III

| Oszillogramm Nr. | Turm Nr. | $T$ ms | $H$ m | $Q$ C | $\hat{i}$ kA | $(di/dt)_{max}$ kA/µs |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6451 | 2 | 0 | 0 | 30 | 32 | 17 |
| 6527 | 1 | 3,0 | 500 | 12 | 22 | 4,5 |
| 6572 | 2 | 6,1 | 1000 | 62 | 77 | 3 |
| 6232 | 2 | 8,7 | 1200 | 65 | 56 | 2 |
| 6520 | 2 | 11,6 | 1150 | 35 | 27 | 1 |
| 6422 | 2 | 14 | 1800 | 130 | 106 | 2 |

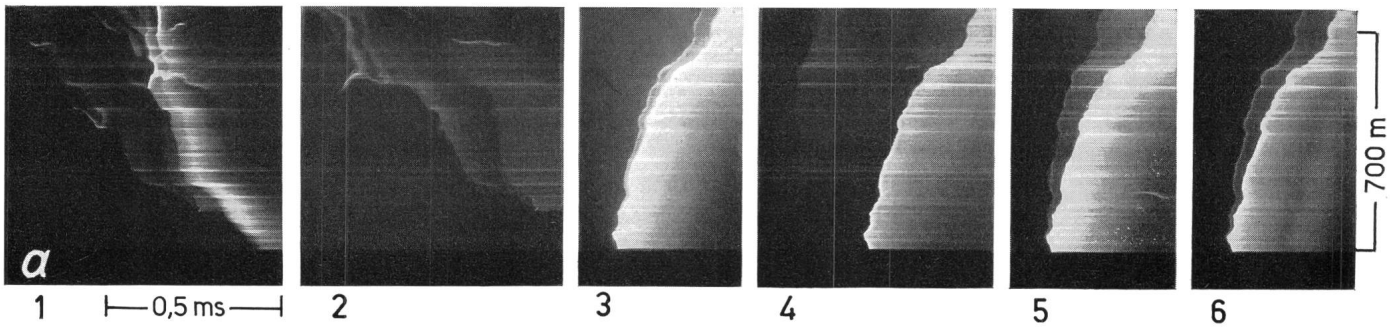
$T$ Zeit vom Beginn der aufwärtswachsenden Entladung bis zum Einsetzen des Stoßstromes

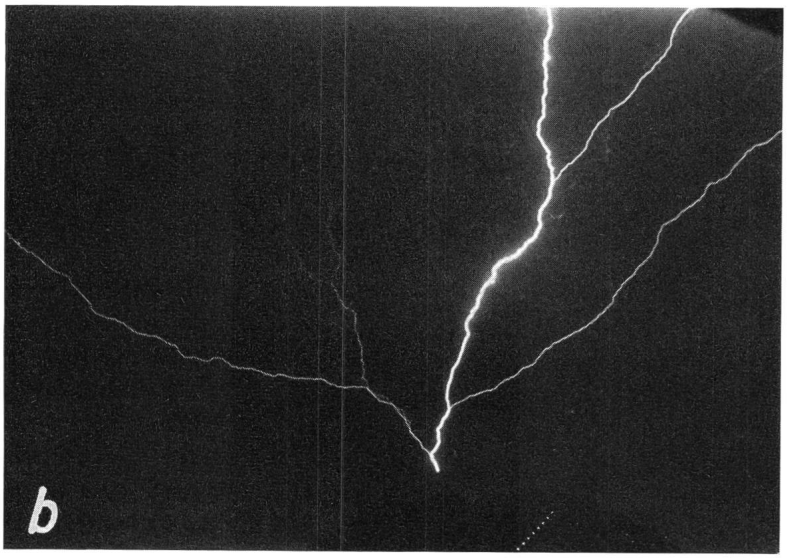
$H$ Vertikale Länge des aufwärtswachsenden Kanales bis zu seinem Zusammentreffen mit dem in den Wolken gebildeten Kanal (mit gleichbleibender Vorwachsgeschwindigkeit extrapoliert)

$Q$ *Stossladung* (während der ersten 2 ms nach Stossbeginn)

$\hat{i}$ Stoßstrom (Scheitelwert)

$(di/dt)_{max}$ Grösste Frontsteilheit (steilste Tangente) des Stossstromes.



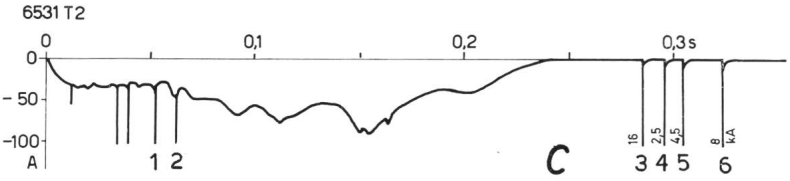




Fig. 26
**Aufwärtsblitz an der positiven Turmspitze *2* mit Folgeblitzen (6531)**
*a* Aufnahme auf bewegtem Film von Breganzona aus; *b* entsprechende Aufnahme auf ruhendem Film; *c* Stromverlauf. Die mit 1...6 bezeichneten Stösse entsprechen den Entladungen in Fig. 26a

entladung, die den seitlich verschobenen Blitzkanal nicht erreicht hat. Ein ähnliches Beispiel bietet der Blitz in Fig. 13, nur dass hier der Blitz seitlich in die aufwärtsgerichtete Entladung hineinläuft, oder mit einem Seitenast derselben zusammentrifft.

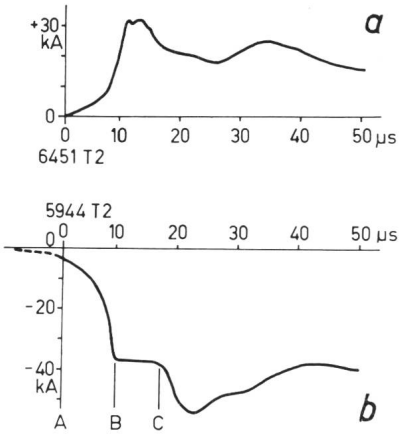



Fig. 27
**Stromverlauf in der Front**
*a* eines *positiven* Abwärtsblitzes ohne Fangentladung (6451); *b* eines *negativen* Abwärtsblitzes (5944). Bis Punkt *A* Aufbaustrom der Fangentladung. *A*... *B* Zusammenwachsen der beiden Entladungen und Ausbildung des Wellenstromes im Blitzkanal. *C* weiterer Stromanstieg infolge Teilreflexion des Wellenstromes an Verzweigungsstellen der Blitzbahn

Einen zweiten Hinweis bildet der *Stromverlauf im Oszillogramm.* Es wurde schon früher darauf hingewiesen, dass der Strom eines negativen Abwärtsblitzes zunächst schleichend einsetzen kann, wobei er in einigen Zehntel ms einige 100 A erreicht, bevor er stärker ansteigt und in den typischen, im Kathodenstrahloszillogramm gezeichneten Frontverlauf übergeht. Dies ist genau das, was zum Aufbau einer Fangentladung zu erwarten ist, wenn diese mit einer Vorwachsgeschwindigkeit von 40...75 m/ms 20...70 m lang werden soll. In Fig. 27b ist der Frontverlauf des Stromes anhand eines typischen Oszillogrammes wiedergegeben. Der gestrichelt gezeichnete Teil der Kurve bis ungefähr Punkt *A* entspricht dem Aufbau der Fangentladung. Anschliessend steigt der Strom immer steiler an, bis er (bei Punkt *B)* den durch Spannung und Wellenwiderstand des Blitzkanales gegebenen Wellenstrom erreicht hat. Dieser Teil der Kurve entspricht dem Durchbruch zwischen Fangentladung und Leitblitz. Er erfolgt in ca. 10 µs, ungefähr gleich schnell wie beim Funken zwischen metallischen Elektroden im Laboratorium. Ein weiterer Stromanstieg (bei Punkt *C)* kann erfolgen, wenn die Entladungswelle, bzw. Umladewelle an Verzweigungspunkten der Blitzbahn reflektiert wird.

## 8. Schlussbemerkungen

Die beschriebenen Blitzuntersuchungen wurden, wie die früher veröffentlichten Messungen, von der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) durchgeführt. Für die photographische Ausrüstung, insbesondere auch für die nach unserem Entwurf hergestellten Kameras mit rasch bewegtem Film (Boys-Kameras), wurde ein Kredit vom Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung zur Verfügung gestellt. Dafür wird auch an dieser Stelle herzlich gedankt. Ferner möchten die Autoren nicht versäumen, auch der Arciconfraternità di Santa Marta in Lugano für die Überlassung des Photoraumes über der Kirche und des Ospizio Vecchio, das den Oszillographenraum enthält und dem mit den Messungen betrauten Techniker, *H. Binz,* als Wohnung dient, den besten Dank aussprechen. Dem Collegio Pio XII in Breganzona

danken sodann die Autoren für die Überlassung eines Raumes im Gärtner-Gebäude des Kollegiums, wo es möglich war, Photoapparate mit ruhendem und bewegtem Film aufzustellen.

### Literatur


[1] *K. Berger* und *E. Vogelsanger:* Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 56(1965)1, S. 2...22.

[2] *K. Berger:* Die Messeinrichtungen für die Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 46(1955)5, S. 193...201.

[3] *K. Berger:* Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947...1954 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 46(1956)9, S. 504...424.

[4] *K. B. McEachron:* Lightning to the Empire State Building. Trans AIEE 60(1941)—, S. 885...889.

[5] *J. H. Hagenguth* and *J. G. Anderson:* Lightning to the Empire State Building. Trans. AIEE Power Apparatus and Systems 71(1952)—, S. 640...649.

[6] *B. F. I. Schonland* and *H. Collens:* Progressive Lightning. Proc. roy. Soc. A: Math. and phys. Sci. A 143(1934)—, S. 654...674.

[7] *B. F. I. Schonland, D. J. Malan* and *H. Collens:* Progressive Lightning II. Proc. roy. Soc. A Math. and phys. Sci. A 152(1935)—, S. 595...625.

[8] *M. Töpler:* Zur Kenntnis der Gesetze der Bildung von Leuchtmassen (Perlen) bei Perlschnurblitzen. Meteorologische Ztschr. 34(1917)6/7, S. 225...239.



**Adresse der Autoren:**

Prof. Dr. *K. Berger,* Versuchsleiter der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH), und *E. Vogelsanger,* dipl. Ingenieur der FKH, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.

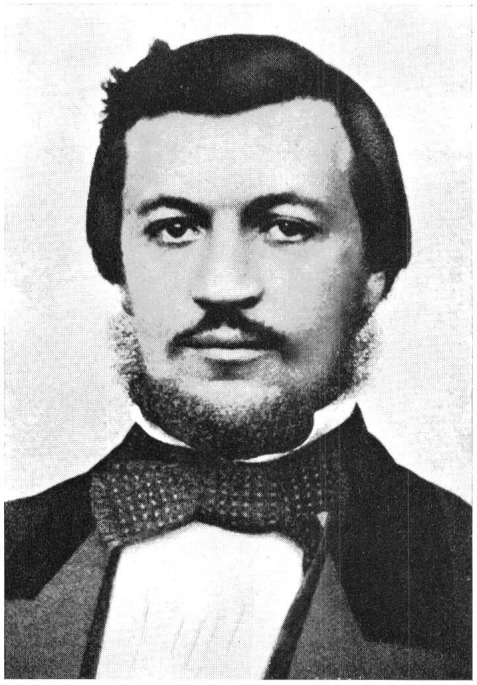

---

**Berichtigung.** Im Bulletin des SEV Nr. 12 hat sich im Titel des Artikels von *B. Lendorff* ein sinnstörender Druckfehler eingeschlichen. Der Titel sollte richtig heissen: «*Betrachtungen zur Entwicklung moderner Dampfturbinen für thermische Kraftwerke.*»

---

# NIKLAUS AUGUST OTTO

**1832—1891**



Klöckner Humbold Deutz AG

Noch in den Fünfzigerjahren des vorigen Jahrhunderts gab es ausser Wasserrädern und Dampfmaschinen keine Kraftmaschinen. Vor allem fehlte eine Maschine kleiner bis mittlerer Leistung für Gewerbebetriebe.

1859 erhielt der Franzose *Etienne Lenoir* das Patent auf einen Gasmotor, bei dem «Luft durch die Verbrennung von Leuchtgas ausgedehnt wird». 1860 vernahm der in Köln wohnende, 28jährige Handlungsgehilfe Niklaus August Otto aus der Zeitung von diesem Motor und machte sich selber an die Konstruktion einer Maschine. Im folgenden Jahr liess er sich ein kleines Vierzylinder-Viertakt-Maschinchen bauen. Doch die Ausführung war unzulänglich, da das Material den durch die Explosionen bedingten Beanspruchungen nicht gewachsen war. Er musste deshalb auf eine atmosphärische Gasmaschine zurückgreifen, bei der der Luftdruck die eigentliche Arbeit leistete. 1864 lernte Otto den jungen Ingenieur *Eugen Langen* kennen, der ihm die Maschine so verbesserte, dass die von ihnen gegründete Firma N. A. Otto & Co. ein erstes Exemplar verkaufen konnte. Auf Anraten von Prof. *Releux* entschlossen sich die beiden, den Motor 1867 an der Weltausstellung in Paris zu zeigen. Die vom Preisgericht durchgeführten Versuche ergaben, dass der Brennstoffverbrauch weniger als einen Drittel der Maschinen Lenoirs betrug, was ihnen neben der Goldmedaille zahlreiche Bestellungen aus aller Welt eintrug.

Neue Schwierigkeiten waren zu überwinden. Wieder wechselte die Firma ihren Namen. 1872 folgte die Gründung der Gasmotorenfabrik Deutz AG. Neue Mitarbeiter, wie *Daimler* und *Maybach,* trugen zur Entwicklung bei.

1875 gelang dann Otto der Bau der mit Benzin betriebenen, liegenden Viertaktmaschine, die seinen Ruhm begründete. Das Patent datiert vom 4. August 1877. Im Jahr 1878 konnte der neue Motor wieder an einer Weltausstellung in Paris vorgeführt werden. Vier Jahre später verlieh die Universität zu Würzburg dem Erfinder den Ehrendoktor der Philosophie.

Otto hatte beabsichtigt, für das Gewerbe und die Kleinindustrie einen brauchbaren konkurrenzfähigen Betriebsmotor zu schaffen. Inzwischen aber hatte der Elektromotor seinen Siegeslauf angetreten, was der Verbreitung des Benzinmotors nicht förderlich war. Dafür hat die beispiellose Entwicklung des Ottomotors das Automobil und damit unser ganzes Verkehrswesen in die Wege geleitet.

Vom Bauernsohn und einfachen Handlungsgehilfen hat sich Otto zum Erfinder und Industriellen heraufgearbeitet und mit seinem Motor die Voraussetzungen für den heutigen Strassenverkehr geschaffen. Er starb am 26. Januar 1891. *H. Wüger*


**Fortsetzung auf Seite 633**

**Suite à la page 633**