

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Bulletin de l'Association suisse des électriciens |
| Herausgeber: | Association suisse des électriciens |
| Band: | 46 (1955) |
| Heft: | 9 |
| Artikel: | Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947...1954 auf dem Monte San Salvatore |
| Autor: | Berger, K. |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-1058138 |

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: 14.01.2026

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947...1954 auf dem Monte San Salvatore

Von K. Berger, Zürich

621.317.2 : 551.594.221

Im Anschluss an die in einem früheren Aufsatz [1]¹⁾ veröffentlichte Beschreibung der Messeinrichtungen zur Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore berichtet der Autor über die Resultate der elektrischen, magnetischen und optischen Untersuchungen des Blitzes. Die Resultate werden eingehend diskutiert und vorläufige Schlüsse gezogen für den Blitzschutz elektrischer Anlagen und von Gebäuden.

En suite de la description des dispositifs de mesure pour l'étude de la foudre au Monte San Salvatore, publiée précédemment [1]¹⁾, l'auteur communique les résultats des examens électriques, magnétiques et optiques de la foudre. Ces résultats sont discutés d'une manière approfondie et des conclusions provisoires en sont tirées pour la protection des installations électriques et des bâtiments contre la foudre.

I. Übersicht über die Messresultate

1. Meteorologische Angaben über Gewitterhäufigkeit

Nach Beobachtungen der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) gehört der Tessin zu den gewitterreichsten Gegenen in der Schweiz. Bekanntlich wird die Gewitterhäufigkeit von den Meteorologen durch die *Anzahl Gewittertage pro Jahr* definiert:

Als Gewittertag gilt dabei jener Tag, in dessen Verlauf mindestens einmal Donner gehört wurde. In der englischen Literatur heisst diese Zahl «Isoceraunic level».

Die Grösse dieser Zahl und ihr Verlauf über die Monate ist für den Monte San Salvatore in der Tabelle I angegeben (Beobachtungen von H. Rutz).

Anzahl der vom Beobachtungspunkt San Salvatore aus festgestellten Gewittertage («Isoceraunic level»)

Tabelle I

| Jahr | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Okt. | Total |
|--------------------------------|-------|-----|------|------|--------|-----------------|--------|------------------|
| 1947 | 2 | 10 | 6 | 15 | 14 | 3 | — | 50 |
| 1948 | 3 | 15 | 12 | 10 | 9 | 3 | 2 | 54 |
| 1949 | 4 | 10 | 8 | 9 | 9 | 6 | — | 46 |
| 1950 | 3 | 6 | 14 | 10 | 12 | 5 | — | 50 |
| 1951 | 3 | 7 | 14 | 9 | 15 | 3 | — | 51 |
| 1952 | 6 | 10 | 14 | 11 | 8 | 3 | 2 | 54 |
| 1953 | 8 | 6 | 12 | 12 | 7 | 8 | — | 53 |
| 1954 | 3 | 13 | 14 | 5 | 9 | 5 ¹⁾ | — | 49 ¹⁾ |
| 1947...1954 | | | | | | | Total | 407 |
| 1) Gilt bis 15. September 1954 | | | | | | | Mittel | 51 |

Zum Vergleich wird in Fig. 1 eine Karte reproduziert, die für das angrenzende Italien gilt, und die von M. Bossolasco im Auftrage der italienischen Elektrizitätswerke bearbeitet wurde [2]¹⁾.

Während die Tabelle I genau entsprechend der meteorologischen Definition als Gewittertag jeden Tag zählt, an welchem mindestens einmal donnern gehört wurde, sind in der folgenden Tabelle II nur

¹⁾ siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

jene Tage gezählt worden, an denen das Gewitter in die Nähe des Monte San Salvatore kam, so dass Einschläge befürchtet wurden, d. h. die *Anzahl Tage mit nahen Gewittern*:

Ein «nahe Gewitter» ist dann vorhanden, wenn entweder der Gewittermelder ertönt, oder lauter Donner hörbar ist, oder die Glimmstrom-Instrumente deutliche Sprünge im Strom zeigen. Diese Definition erfasst Gewitter bis in ca. 10 km Entfernung.

Anzahl Tage mit nahen Gewittern (innert ca. 10 km)
Tabelle II

| Jahr | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Okt. | Total |
|--------------------------------|-------|-----|------|------|--------|-----------------|--------|------------------|
| 1947 | 2 | 9 | 6 | 9 | 11 | 3 | — | 40 |
| 1948 | — | 10 | 10 | 6 | 9 | 3 | 2 | 40 |
| 1949 | 1 | 7 | 7 | 9 | 6 | 6 | — | 36 |
| 1950 | 3 | 6 | 15 | 9 | 13 | 4 | — | 50 |
| 1951 | 3 | 8 | 12 | 8 | 11 | 3 | — | 45 |
| 1952 | 5 | 5 | 9 | 8 | 7 | 3 | — | 37 |
| 1953 | 5 | 3 | 8 | 11 | 4 | 4 | — | 35 |
| 1954 | 3 | 9 | 14 | 3 | 10 | 6 ¹⁾ | — | 45 ¹⁾ |
| 1947...1954 | | | | | | | Total | 328 |
| 1) Gilt bis 15. September 1954 | | | | | | | Mittel | 41 |

Naturgemäß ist die so definierte Anzahl Tage mit nahen Gewittern kleiner als die Anzahl Gewittertage nach der allgemeinen meteorologischen Definition der Tabelle I. Letztere Zahl bewegt sich um 50 pro Jahr, erstere um 40 herum, wobei die Anzahl naher Gewitter mehr streut, was durchaus verständlich ist.

Auffallend ist der Unterschied zwischen Tabelle I und der italienischen Statistik, aus welcher für die Gegend von Lugano 15...20 Gewittertage hervorgehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einmal die Beobachtungen sich nicht auf die gleiche Periode beziehen; ferner kommt darin die für Gewitterbeobachtungen sehr günstige Aussichtslage des Monte San Salvatore zum Ausdruck. Der Donner wird offenbar auf dem Berg auf grössere Distanz gehört als in der Ebene. Dass diese Tatsache aber

den Unterschied nicht erklärt, geht aus dem Vergleich der Tabelle II mit der italienischen Statistik hervor. Auch hier resultiert die doppelte bis dreifache Anzahl Tage mit nahen Gewittern gegenüber jener Karte.

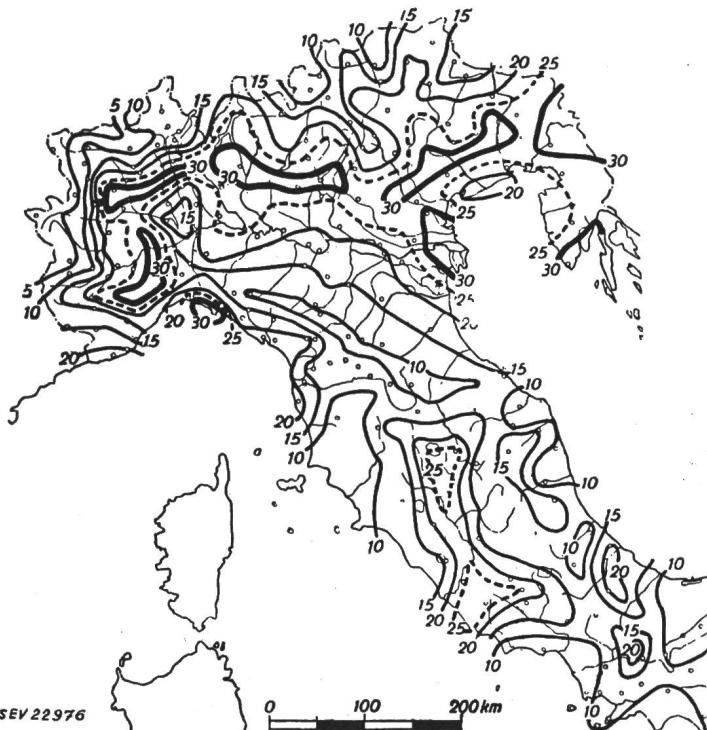
Ausser dieser Anzahl Tage mit nahen Gewittern ist versucht worden, auch die Anzahl naher Gewitter zu zählen. Dazu ist eine Definition des «Gewitters» nötig:

Ein nahes Gewitter ist vorhanden, wenn entweder der Gewittermelder ertönt, oder lauter Donner hörbar ist, oder die Glimmstrom-Instrumente deutliche Sprünge im Strom zeigen. Wird während mindestens einer Stunde keines dieser Merkmale beobachtet, so wird ein späteres Merkmal als weiteres «nahes Gewitter» gezählt. Es sind somit pro Tag mehrere «nahe Gewitter» möglich, wobei obige Definition auf Grund einer Pause von mindestens einer Stunde als willkürlich anzusehen ist.

Auf Grund dieser Definition eines «Gewitters» ist es möglich, die Verteilung über die Tageszeit festzustellen. Es sind dafür zwei Darstellungen gewählt worden:

1. In der Darstellung des *Tagesgangs des Gewitterbeginns* wurde jedes Gewitter in dem Zeitpunkt gezählt, wo sein Beginn beobachtet wurde. Als Beginn eines Gewitters wird dabei der erste

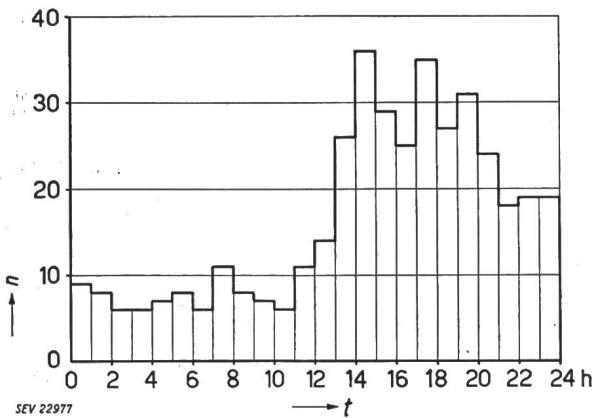
Nachmittags- und Abendstunden wird aus diesen Kurven ersichtlich. Da viele Gewitter mehr als eine Stunde dauern, werden die Ziffern der Gewitterhäufigkeit wesentlich höher als jene des Gewitterbeginns.



Donner oder Blitz betrachtet, der nach mindestens einer Stunde gewitterfreier Zeit auftritt.

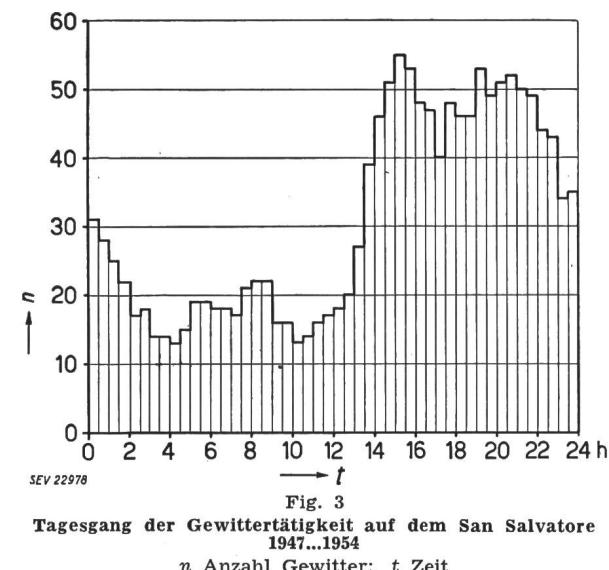
2. In der Darstellung des *Tagesgangs der Gewittertätigkeit* wurde stündlich festgestellt, ob momentan Gewitter bestand oder nicht. Ein mehrere Stunden dauerndes Gewitter wird in dieser Darstellung mehrmals gezählt, nämlich in jeder Stunde, in der es beobachtet wurde.

In den Kurven der Fig. 2 und 3 sind Gewitterbeginn und Gewittertätigkeit über der Tageszeit für die Jahre 1947...1954 für die nahen Gewitter (innert



ca. 10 km vom Beobachtungsort) dargestellt, d.h. der mittlere Tagesgang für die Summe aller Gewitter der ganzen Beobachtungsperiode. Die für unsere Gegend typische Häufung der Gewitter in den

Von einer Darstellung der Dauer der einzelnen Gewitter wird hier abgesehen. Für die dem San Salvatore nahe kommenden Gewitter, d. h. jene innert einer maximalen Entfernung von ca. 10 km, kann die Gewitterdauer seit 1951 aus der Registrierung des Glimmstromes der beiden Blitzauflaufstürme ersehen werden. Da sich in der Regel die Wirkungen mehrerer räumlich getrennter Gewitter



überlagern, sagt die Angabe einer solchen Gewitterdauer jedoch nicht viel. Einige Beispiele von Registrierstreifen der Glimmstrommessung beider Türme sind im folgenden Abschnitt wiedergegeben.

2. Raumladungsdichte und Glimmstrom (Elmsfeuer)

Einige Resultate des Ionenzählers nach *H. Israël* [3] über die Raumladungsdichte im Jahr 1952 sind in Fig. 4...6 festgehalten.

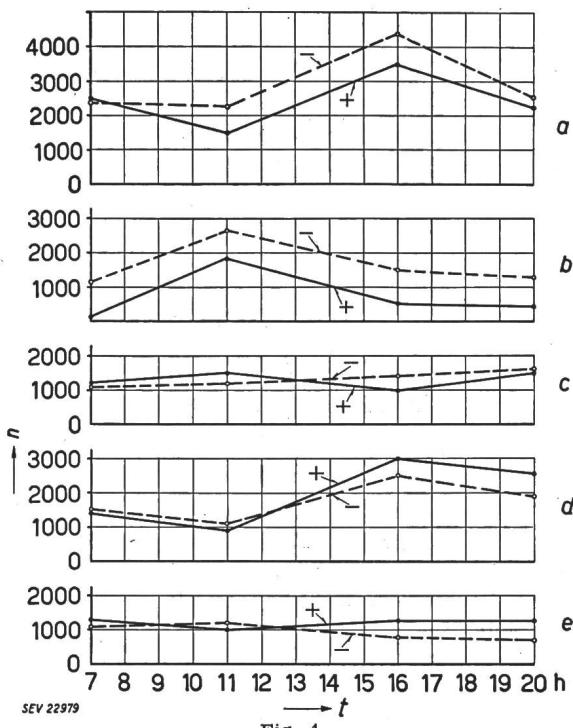


Fig. 4

Beispiele des Ionengehaltes der Luft auf dem San Salvatore bei fünf verschiedenen typischen Wetterlagen
 a bedeckt bis bewölkt; b Nordwind, hell; c Stratokumuli 10/10;
 d hell und Dunst; e hell ohne Dunst
 n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft;
 t Zeit

Zunächst zeigt Fig. 4 ein Beispiel des Tagesganges der Dichte positiver und negativer schwerer Ionen, wie sie mit diesem Apparat erfasst werden können. Es sind fünf Wetterlagen ausgewählt worden, die für die Gegend des San Salvatore typisch sind. Die grösste Ionenzahl scheint bei bedecktem Wetter vorhanden zu sein, die kleinste bei Nordwind. Der Unterschied zwischen positiven und negativen Ladungen ist nicht wesentlich.

Fig. 5 zeigt den mittleren Ionengehalt für verschiedene Witterungen. Die Anzahl Messungen, die zur Mittelwertbildung

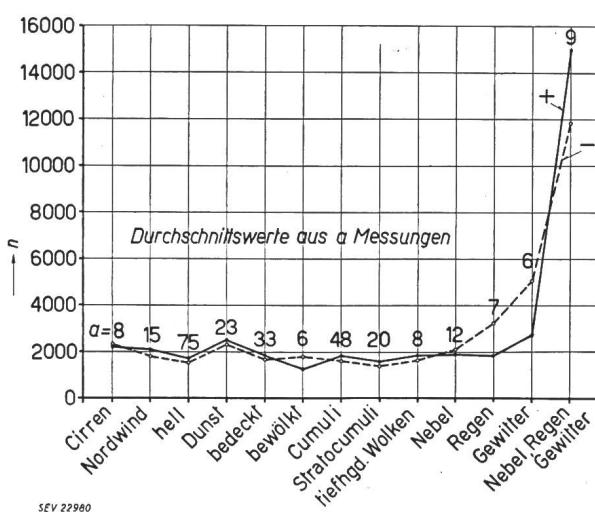


Fig. 5

Mittlerer Ionengehalt auf dem San Salvatore bei verschiedenen Witterungen
 n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft

benutzt wurden, ist jeweils neben den Kurvenpunkten notiert. Der übliche Ionengehalt von rund $2000/\text{cm}^3$ steigt bekanntlich bei Gewitter sehr stark. Der Vergleich mit früheren Messungen des Osservatorio Ticinese in Locarno-Monti zeigt durchaus ähnliche Werte [4].

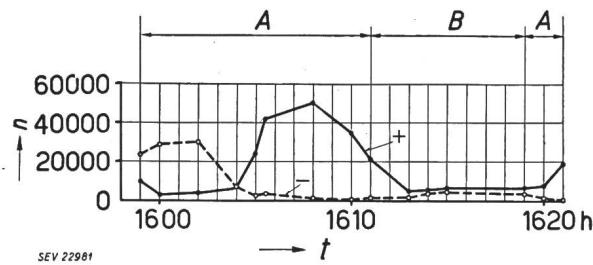


Fig. 6

Beispiel des Wechsels von positiven und negativen Raumladungen des in Regenwolken getauchten San Salvatore
 A Station in Regenwolken eingetaucht (Südwind); B sturmiger Nordwind, freie Sicht; n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft

Fig. 6 illustriert den raschen Wechsel von positiven zu negativen Ladungen oder umgekehrt, während die Station in Regenwolken eingetaucht war, die vom Wind vorübergetrieben wurden. In ca. 20 min Abstand folgen sich positives und negatives Maximum.

Fig. 7 und 8 geben zwei Beispiele von Glimmströmen beider Türme, einmal beim Vorüberziehen von Gewitterwolken ohne Blitz, das andere Mal mit Blitz in der weiten Umgebung.

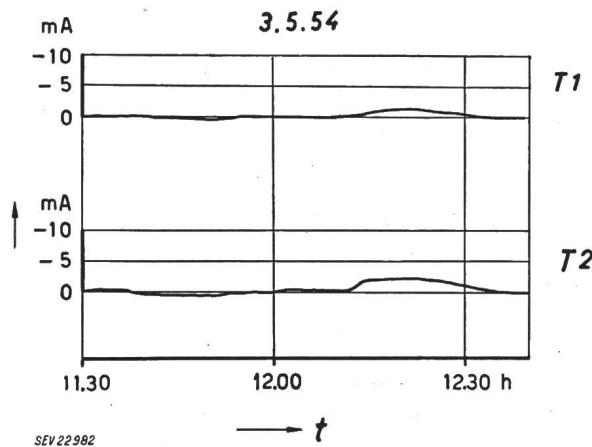


Fig. 7

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2

1. Beispiel: Beim Vorüberziehen von Gewitterwolken ohne Blitz
 i Glimmstrom; t Zeit

Im ersten Beispiel (Fig. 7) wechselt der Glimmstrom beim Vorüberziehen der Gewitterwolken sein Vorzeichen. Der Verlauf ist an beiden Türmen ganz ähnlich. In der Regel weist Turm 1 auf der Bergspitze etwas höhern Glimmstrom auf als Turm 2. Doch kommt auch der umgekehrte Fall vor.

Im zweiten Beispiel (Fig. 8) sind den langsam veränderlichen Glimmströmen (Elmsfeuer) die kurzen Impulse überlagert, die vom Verschiebungsstrom des Turmes im Moment von entfernten Blitzen entstehen. Auch diese Impulse sind in der Regel an beiden Türmen ganz ähnlich, wie das Beispiel dies zeigt. Der Impuls ist am Turm 1 fast immer grösser, weil dieser Turm eine wesentlich grössere Kapazität gegenüber den Wolken aufweist als Turm 2, wo nur die Nadelkapazität wirksam ist. Die Fläche der Stromkurven gibt ein Mass für die Ladung, welche im langsam veränderlichen Glimmstrom von jedem Turm in die Atmosphäre gesendet wurde. Bei den Impulsen ist die Ladungsmessung aus zwei Gründen nicht möglich: einmal wegen der Trägheit des Milliamperemeters und anderseits wegen der Strombegrenzung durch die zum Schutz des Instruments vorgeschaltete Selenkette.

Hie und da zeigen sich auch Glimmstromregistrierungen, die auf Turm 1 und 2 wesentlich verschieden verlaufen. Ein Beispiel dieses Falles ist in Fig. 9

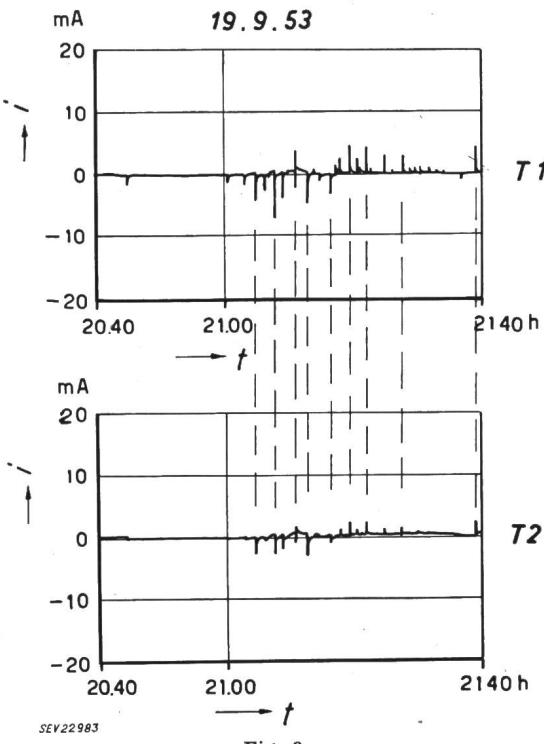


Fig. 8

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2
2. Beispiel: Mit Blitzen in der weiteren Umgebung
i Glimmstrom; t Zeit

reproduziert. In diesem Fall muss auf eine sehr beschränkte Ausdehnung der positiven oder negativen Raumladungswolke geschlossen werden, beträgt doch der horizontale Abstand der beiden Türme nur 400 m.

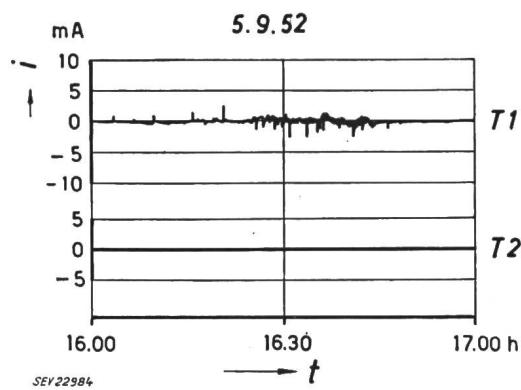


Fig. 9

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2
3. Beispiel: Bei starkem Regen
i Glimmstrom; t Zeit

Die zwei folgenden Fig. 10 und 11 geben zugleich den Verlauf des Glimmstromes an Turm 1 und den Verlauf der Ionendichte beider Polaritäten.

In der ersten Figur besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen beiden Grössen, indem beide Werte ungefähr gleichzeitig ändern. Diese Figur zeigt einen der grössten, während annähernd $\frac{1}{4}$ Stunde gemessenen Glimmstromwert von 3...4 mA. Dieser Glimmstrom ist deutlich als Zischen an der

Turm spitze hörbar; das Elmsfeuer ist jedoch am Tag gar nicht, bei Nacht nur schwach von Auge sichtbar.

Die beiden folgenden Fig. 12 und 13 zeigen schliesslich zwei Beispiele von Glimmstrommessung und Ladungsimpulsen bei sehr nahem Gewitter,

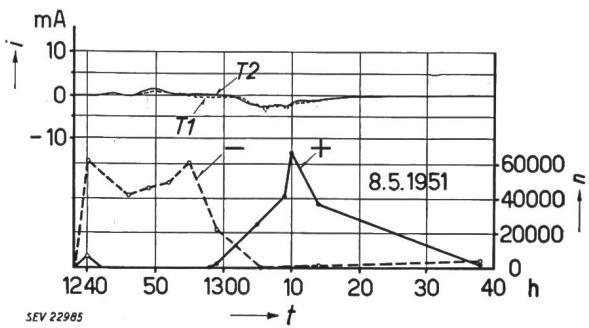


Fig. 10
Verlauf der Ionendichte und des gleichzeitigen Glimmstromes an Turm T1 und T2
1. Beispiel

i Glimmstrom; n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft; t Zeit

wobei auch mehrere Blitzeinschläge in die Türme erfolgen. Blitzeinschläge, die zu Oszillogrammen des SO führen, sind in diesen beiden Figuren mit einem Blitzpfeil bezeichnet, und zwar sowohl bei Turm 1 wie auch bei Turm 2.

Besonders interessant ist der Vergleich beider Türme im Moment eines Einschlages in einen Turm. Der gleichzeitige Impuls des zweiten Turmes zeigt zum Teil gleiche, zum Teil entgegengesetzte Polarität. Beide Beobachtungen lassen sich durch entsprechende Annahmen erklären: Der Impuls entgegengesetzter Polarität entspricht offenbar dem Zusammenbruch eines elektrischen Feldes, weil dabei die vorher gebundenen Influenzladungen, welche entgegengesetzte Wolkenpolarität haben, frei werden und über den Turm abfließen. Die gleichnamige Polarität entspricht offenbar einer Entladung auch am zweiten Turm, deren Ladung diejenige der Influenz übertrifft.

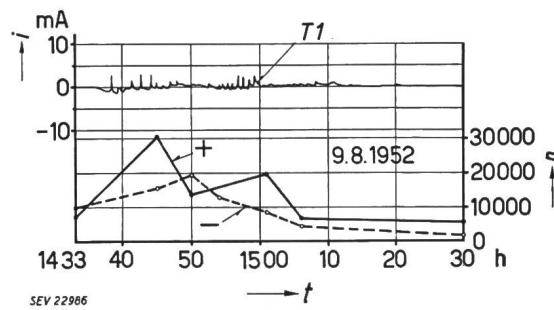


Fig. 11
Verlauf der Ionendichte und des gleichzeitigen Glimmstromes an Turm T1
2. Beispiel

i Glimmstrom; n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft; t Zeit

Von der Turm spitze in die Luft emporwachsende Entladungen im Moment eines zum andern Turm vorwachsenden Blitzes lassen sich verstehen, wenn man sich die Feldänderung unter der Gewitterwolke während des Vorwachsens eines Blitzes aus dieser

Wolke zum Erdboden vorstellt. Die Feldstärke am Boden muss während dieses Vorwachsens grösser werden, so dass reichlich Gelegenheit besteht für eine Büschelentladung aus den Spitzen beider Türme. Beide Entladungen haben gleiche Polarität. Bei dem vom nach unten vorwachsenden Blitz betroffenen Turm wird diese Ladung wesentlich grösser sein als beim andern, wo es beim Büschel bleibt. Ein solches Büschel aus der Turmspitze in die Luft ist in Fig. 18 sehr deutlich zu erkennen.

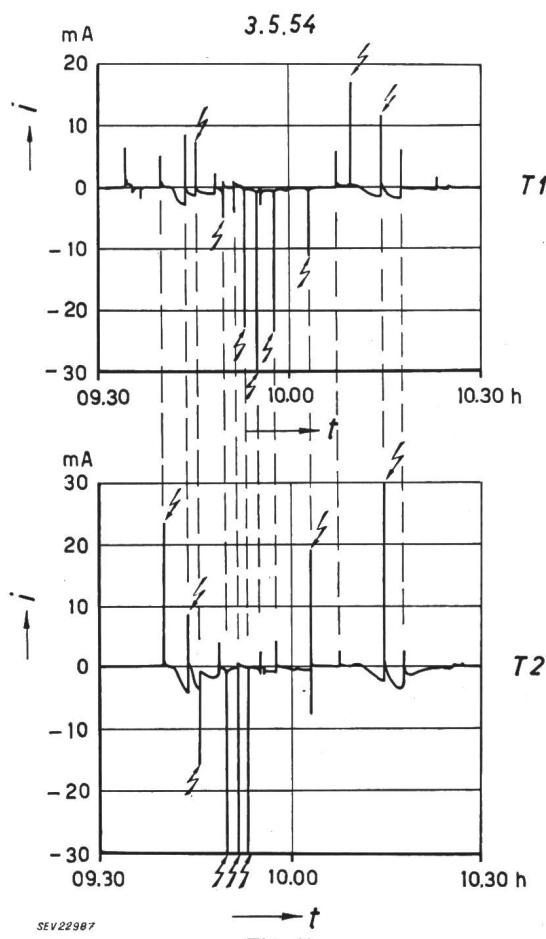


Fig. 12

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2 bei sehr nahen Gewittern mit Einschlägen in die Türme

1. Beispiel

Einschläge in die Türme mit Oszillogramm
i Glimmstrom; t Zeit

Die grosse Ausdehnung der beiden Blitztürme und die gute Empfindlichkeit der beiden Registrier-Milliampere-Meter machen jeglichen Verstärker überflüssig, so dass die Präzision der Messungen und die zeitliche Konstanz der Empfindlichkeit unvergleichlich zuverlässiger sind als mit den sog. Cerauographen, bei denen sich der zahlenmässige Vergleich der Angaben zweier an zwei verschiedenen Orten im Tessin aufgestellten Apparate als unmöglich erwiesen hat [5].

Neben der Anzahl Blitzeinschläge in beide Messtürme vermitteln die Registrierstreifen des Glimmstromes und des Verschiebungsstromes das beste Bild von der Gewittertätigkeit, Blitzhäufigkeit und Gewitterfeldstärke in der Gegend des San Salvatore.

Aus einer genaueren, gleichzeitig an beiden Türmen erfolgenden Feldstärke-Registrierung würden sich Schlüsse auf die räumliche Ausdehnung und evtl. auch über die Höhe der Ladungswolken ziehen lassen.

Bemerkenswert ist, dass Blitze mit negativen und positiven Teilblitzen im gleichen Gesamtblitz auch in den Registrierstreifen des Glimm- und Verschiebungsstromes ersichtlich sind. Solche bipolare Blitze wurden recht selten aufgezeichnet, nämlich in nur wenigen Prozenten aller registrierten Blitze.

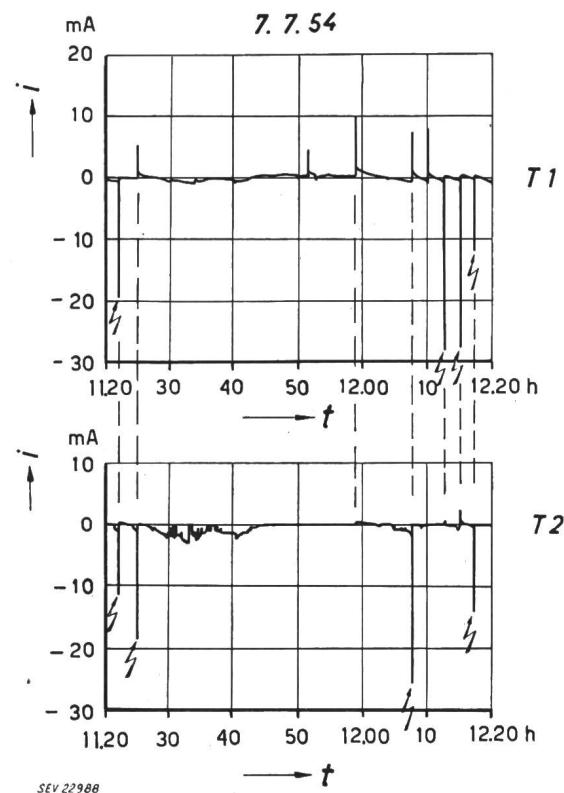


Fig. 13

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2 bei sehr nahen Gewittern mit Einschlägen in die Türme

2. Beispiel
Einschläge in die Türme mit Oszillogramm
i Glimmstrom; t Zeit

3. Schleifen-Oszillogramme

Bei jedem Versuch, die Oszillogramme zu beschreiben, muss vor allem die grosse Mannigfaltigkeit im Blitzstromverlauf auffallen. Es ist nicht einfach, die Menge verschiedenartiger Bilder in ein System hineinzupressen. Um doch einen Überblick über diese Mannigfaltigkeit zu geben, ist folgende Einteilung versucht worden: In der Tabelle III ist die Anzahl der jährlichen Oszillogramme eingetragen. Die pro 1946 eingetragenen Oszillogramme sind bereits im früheren Bericht [6] enthalten. Die Oszillogramme, welche Blitzeinschläge in Turm 2 betreffen, sind kursiv gesetzt worden, um beide Türme unterscheiden zu können. Gleichzeitige Einschläge in beide Türme sind durch fette Ziffern gekennzeichnet.

Systematik der Blitzströme 1946...1954

Tabelle III

| Jahr | Gruppe 1 Negative Blitze | Gruppe 1a Negative Blitze mit Anfangs- stoss (> 5 kA) | Gruppe 2 Positive Blitze | Gruppe 2a Positive Blitze mit Anfangs- stoss (> 5 kA) | Gruppe 3 Bipolare Blitze | Gruppe 4 Nur Stossent- ladung Dauer $\leq 0,01$ s | Gruppe 5a Negative Blitze mit Stoss im Rücken von Teilblitzen | Gruppe 5b Negative Blitze mit Stoss am Anfang späterer Teilblitzen | Gruppe 6 Beide Türme getroffen |
|----------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--|---|--|---|
| 1946 | 7 | 3 | 3 | 2 | — | — | 6 | 3 | 3) |
| 1947 | 13 | 1 | 2 | — | — | — | — | 4 | 3) |
| 1948 | 11 | 3 | 4 | 1 | — | 1 | — | 3 | 3) |
| 1949 | 8 | 2 | 2 | 1 | — | — | — | — | 3) |
| 1950 | 7 | 1 | 5+2 | 1+2 | 2 | 1+1 | — | 1 | — |
| 1951 | 15+7+6 | 4 | 5+4 | 2 | 1+1 | 2 | 5+1+2 | 6+2 | 6 |
| 1952 | 11+4+6 | 1 | 6+3 | 3 | — | 1+1 | 5 | 6+2+1 | 6 |
| 1953 | 5+3+2 | 2+1 | 3+4 | 1+1 | 1 | 1+1 | — | 2+1 | 3 |
| 1954 | 34+17+17 | 8+4 | 5+5+2 | 1 | 4+4 | 4 | 7+1 | 12+7 | 22 |
| <i>n</i> | 204 | | 57 | | 13 | | | | |
| <i>n_Δ</i> | 390 | | 59 | | 24 | | | | |
| <i>Q_m</i> | $\frac{4536}{204} = 22,2 \text{ C}^1$ | | $\frac{2537}{57} = 44,5 \text{ C}^1$ | | $\frac{1220}{13} = 94 \text{ C}^1$ | | | | |
| | | | | | $\frac{1550}{13} = 120 \text{ C}^2$ | | | | |

¹⁾ ab 1951 ohne Stossentladung
²⁾ mit Stoss von ca. 3 ms Dauer und > 385 C
³⁾ nur 1 Turm vorhanden

Senkrechte Ziffern: Einschläge in Turm 1
 Schräge Ziffern: Einschläge in Turm 2
 Fette Ziffern: Einschläge in beide Türme

Es werden zunächst negative und positive Blitze unterschieden (Gruppen 1 und 2):

Dabei bedeuten in üblicher Weise negative Blitze solche, die negative Ladung von der Wolke zum Erdboden führen. Entsprechend stammen positive Blitze aus positiv geladenen Wolken (positiver Blitzstrom).

Wenige Blitze passen nicht in dieses System; das sind jene, die in verschiedenen Teilblitzen oder sogar in einem und demselben Teilblitz positive und negative Ladungen sofort hintereinander transportieren, d. h. bipolare Blitze. Diese Ausnahmefälle sind in Gruppe 3 aufgeführt. Die Gesamtzahl der gemessenen Blitze ergibt sich somit als Summe der Gruppen 1, 2 und 3, ohne Berücksichtigung weiterer Gruppen. In den Gruppen 1, 2 und 3 ist die Anzahl der betreffenden Gesamt- und Teilblitze (*n* und *n_Δ*), sowie ihre mittlere Ladung (*Q_m*) notiert.

Die Gruppen 1 und 2 wurden sodann unterteilt auf Grund der Feststellung, ob der Strom am Anfang des Oszillogrammes allmählich oder plötzlich, d. h. als langsam ansteigender Gleichstrom oder mit anfänglichem Stoss einsetzt. Stösse kleiner Amplitude sind in den Oszillogrammen nicht immer sicher festzustellen. Vor allem fällt bei der näheren Betrachtung dieser Erscheinung auf, dass die *i_{max}*-Schleifen in manchen Fällen einen Stoßstrom von wenigen kA zu Beginn des Oszillogrammes aufzeichnen, ohne dass die beiden direkt angeschlossenen Stromschleifen einen Ausschlag zeigen. Diese gar nicht allzuseltene Beobachtung lässt sich nur verstehen, wenn angenommen wird, dass bei Blitzen in der Nähe des Berges kurzdauernde Entladungen (Büschenentladungen) aus der Turmspitze entstehen, deren Dauer so kurz ist, dass die tragenen Schleifen der direkten Strommessung nicht folgen. Wenn diese Erscheinung vorkommt, dann lässt sich auch verstehen, warum hier und da «Fehlauslösungen» des SO im Moment naher Blitze vorkommen, bei denen von den direkt zeigenden Schleifen nur Nulllinien des Stromes aufgezeichnet werden.

Um dieser vorläufigen Unklarheit auszuweichen, wurden in den Gruppen 1a und 2a nur jene Oszillogramme angeführt, bei denen am Anfang ein deutlicher Stoss, d. h. ein solcher von mindestens ca. 5 kA Amplitude ersichtlich ist. Bei diesen Blitzen

handelt es sich wahrscheinlich um solche, die aus grosser Höhe gegen die Erde herunterwachsen und die somit in Tälern und Ebenen wohl ausschliesslich massgebend sind. Als oberer Grenzwert für den anfänglichen Stoßstrom sind bis zum Abschluss der Berichtsperiode (15. September 1954) Ströme von ca. 100 kA gemessen worden. Wo dieser Stoßstrom nicht von einem mindestens 0,01 s dauernden «Gleichstrom» gefolgt ist, besteht der Blitz ausschliesslich in einer Stossentladung. Solche Blitze sind in Gruppe 4 speziell aufgeführt worden.

In Gruppe 5 sind speziell jene Blitze mit langer Stromdauer untersucht, welche entweder im Rücken von Teilblitzen oder als Beginn späterer Teilblitze starke Stromstösse aufweisen. Diese Gruppe dient der Untersuchung der Frage, ob die einzelnen Stossamplituden mit der Ordnungszahl der Stösse wachsen, sinken oder gleich bleiben. Diese Frage steht im Zusammenhang mit der Beobachtung von *B. F. J. Schonland*, wonach auf Grund von Feldstärkemessungen spätere Teilblitze aus immer grösserer Höhe zum Erdboden erfolgen [7].

Die letzte Gruppe 6 enthält schliesslich jene Oszillogramme, die Blitzströme zugleich in beide Türme 1 und 2 aufweisen.

Aus den insgesamt 274 mit dem Schleifenoszillographen registrierten Gesamtblitzen sind auf der Tafel I einige wenige Beispiele reproduziert worden, welche ein Bild der typischen Blitzegenschaften jeder Gruppe vermitteln. Dabei sind wieder die Gruppen 4...6 als Auszüge von Blitzen bestimmter Eigenschaften aus den Gruppen 1...3 zu betrachten.

Die Darstellung der Oszillogramme ist so gewählt, dass von jedem Blitzturm die Stromkurve, wenn nötig in zwei Bereichen verschiedener Empfindlichkeit, nachgezeichnet wurde.

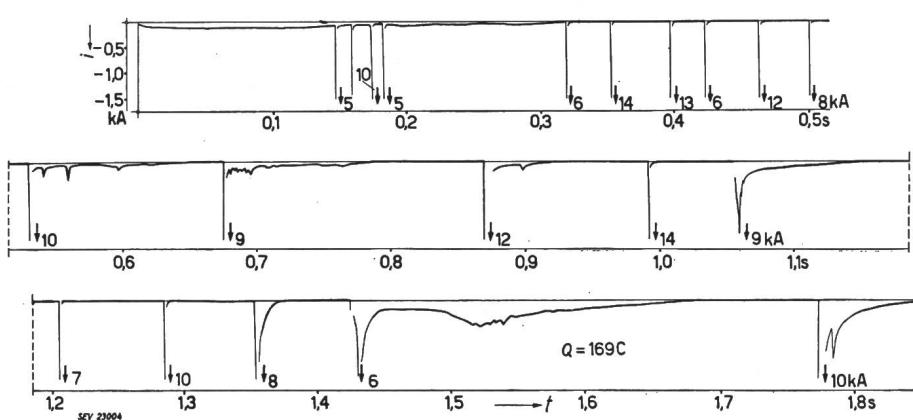
Der empfindliche Bereich umfasst Blitzstromwerte bis ca. 100 A (Jahre 1946...1949) bzw. bis ca. 300 A (seit 1950), während die Meßschleife oberhalb dieser Blitzstromwerte gegen Überlastung geschützt ist. Der weniger empfindliche Bereich umfasst Blitzströme bis ca. 1500 A (1946...1949) bzw. bis ca. 5000 A (seit 1950) mit Begrenzung des Schleifenstromes bei Blitzströmen oberhalb dieses Grenzwertes. Der Überlastungsschutz wurde bis 1949 durch Glimmlampen und Widerstände bewirkt, seit 1950 mit Hilfe von Selenketten, was sich als günstiger erwiesen hat.

Charakteristische Schleifen-Oszillogramme

Tafel I

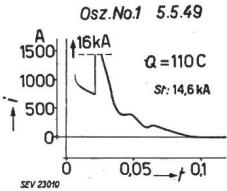
1946

Osz.No.6 6.7.46 *



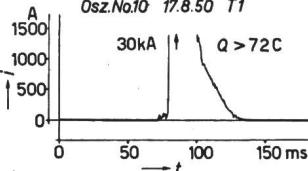
1949

Osz.No.1 5.5.49

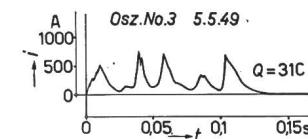
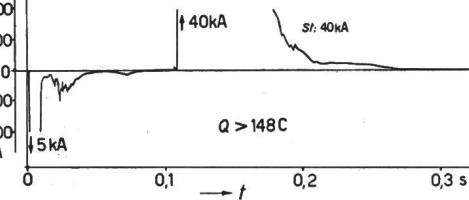


1950

Osz.No.10 17.8.50 T1

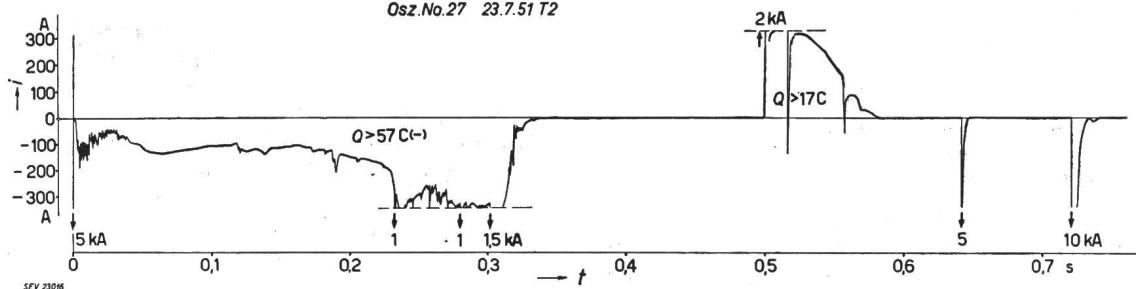


Osz.No.11 17.8.50 T1



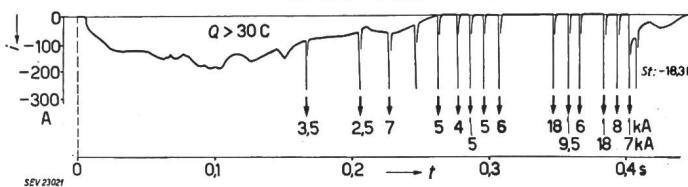
1951

Osz.No.27 23.7.51 T2

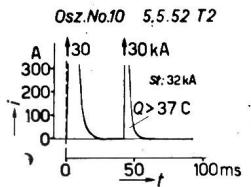


1952

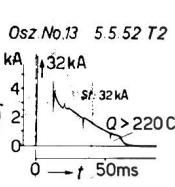
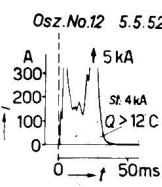
Osz.No.7 28.4.52 T1 *



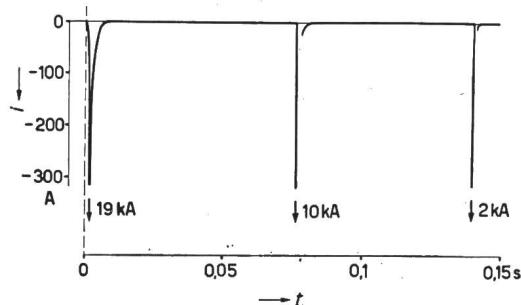
Osz.No.10 5.5.52 T2



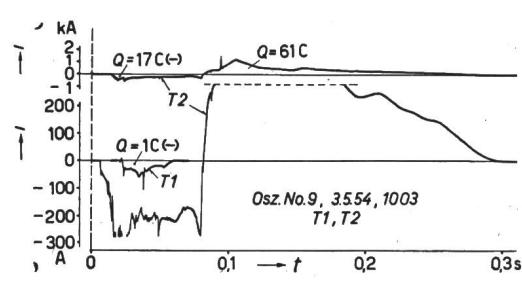
Osz.No.12 5.5.52 T1 *



1953

Osz.No.14
29.7.53, 2234, T2

1954



In diesen Oszillogrammen sind sodann die Resultate der i_{max} -Messung durch den mittels der Speicher-Schaltung gemessenen Wert des Stromscheitelwertes eingetragen. Wo zugleich mit der Messung des SO auch eine Messung mit Stahlstäbchen möglich war (wenn nämlich dieses Stäbchen nur von *einem* Blitzstrom magnetisiert wurde), so ist auch dieser Wert eingetragen worden. Sofern mit dem SO-Oszillogramm auch das KO-Oszillogramm reproduziert wird, ist dies durch das Zeichen * beim SO-Oszillogramm angedeutet.

4. Kathodenstrahl-Oszillogramme

Kathodenstrahl-Oszillogramme werden ausgelöst, wenn der Blitzstrom ca. 5 kA übersteigt und zugleich rasch ändert. Es sind zwei KO vorhanden; der eine schreibt über einer logarithmischen Zeitskala mit $T = 57 \mu\text{s}$, der andere über einer linearen Zeitskala während ca. 0,02 s. Die Anzahl Kathodenstrahl-Oszillogramme ist naturgemäß viel kleiner als jene der Schleifen-Oszillogramme, weil bei allen Blitzen mit kleinem Strom nur der SO zeichnet. Einige Kathodenstrahl-Oszillogramme sind auf der Tafel II reproduziert worden.

Die Numerierung der KO-Oszillogramme ist dieselbe wie bei den SO-Oszillogrammen, so dass man sich beim Schleifen-Oszillogramm das Kathodenstrahl-Oszillogramm gleicher Nummer eingefügt denken kann.

Im Jahre 1954 haben mehrere Blitze den Messbereich des KO von ca. 65 kA überschritten:

Bei einem solchen Blitzschlag mit der extremen Ladung von mehr als 350 C (positive Ladung) wurde erstmals der 1- Ω -Shunt durch thermische Überlastung zerstört. Das betreffende Gewitter vom 7. Juli 1954 zeichnete sich nicht nur durch abnormal hohe Ströme, sondern auch durch eine ganz abnormal hohe Anzahl Einschläge in die beiden Türme (insgesamt 32) aus. Ausser der Zerstörung des Shunts von Turm 2 wurde ein Betonsockel des Geländers infolge eines unterirdischen Überschlags von der Wasserleitung zum Geländer gehoben und ein Erdtrichter ausgeworfen (Fig. 14).

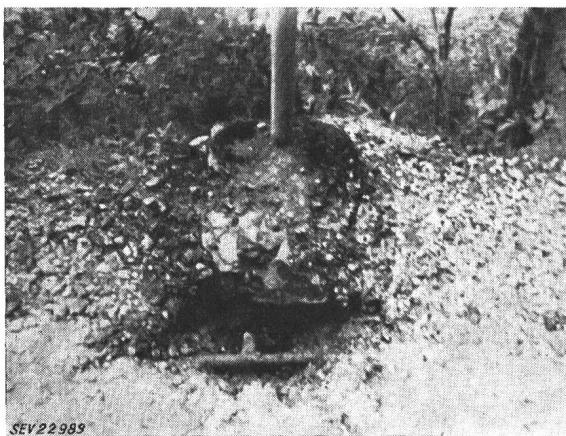


Fig. 14
Blitztrichter an Wasserleitung vor dem Messraum

5. Stahlstäbchen

Die Resultate der an den beiden Shunten angebrachten Stahlstäbchen lassen sich mit der Auswertung der Oszillogramme (SO und KO) vergleichen,

sofern nur ein einziger Stromstoss sie magnetisierte. Diese Bedingung ist leider im vorliegenden Fall oft nicht erfüllt, weil ein Gewitter in der Regel mehr als einen Einschlag in denselben Turm liefert. Sind z.B. zwei Einschläge vorhanden, wovon einer einen sehr kleinen Strom liefert gegenüber dem andern, so ist die Auswertung mit einiger Genauigkeit möglich. Sind dagegen zwei im Stromscheitelwert vergleichbare Blitze, oder gar zwei Blitze entgegengesetzter Polarität über die Messeinrichtung gegangen, so wurde auf eine Auswertung verzichtet. Aus diesem Grund wird auch von einer Statistik der Stäbchenangaben abgesehen. Die sich ergebenden Stromhöchstwerte i_{max} sind bei den Oszillogrammen des SO (Tafel I) eingetragen worden, soweit eben ihre Auswertung im obigen Sinn möglich war. Die Übereinstimmung von SO, KO und Stäbchen ist meistens befriedigend. Dieser Vergleich bildet die einzige Kontrollmöglichkeit der Messeinrichtung, da die Blitze sich leider nicht zu Vergleichszwecken reproduzieren lassen.

6. Steilheitsmessung mit Induktionsschleife

Die statistische Auswertung der induzierten Spannungen der Induktionsschleife und damit des grössten Momentanwertes der Steilheit di/dt des Blitzstromes ist im Gegensatz zur Ionenmessung grundsätzlich möglich, weil jede Klydonographenfigur unabhängig ist von früheren oder späteren Einwirkungen. Bedingung ist lediglich, dass mehrfache Figuren noch auseinander gehalten werden können. Mit der Auswechselung der die Form von alten Telefonhörern besitzenden Klydonographen nach jedem Gewitter ist dies im allgemeinen bei grösseren Figuren noch möglich. Da die kleinen Klydonographenfiguren jedoch z. T. in den grösseren verschwinden, sofern sich mehrere auf demselben Photopapier befinden, ist die Feststellung der gesamten Anzahl Figuren nicht möglich. Fig. 15 zeigt die Auswertung der Maximalwerte des Blitzstromanstiegs di/dt . Dabei ist stets zu beachten, dass es sich um grösste Momentanwerte der Blitzstromsteilheit handelt.

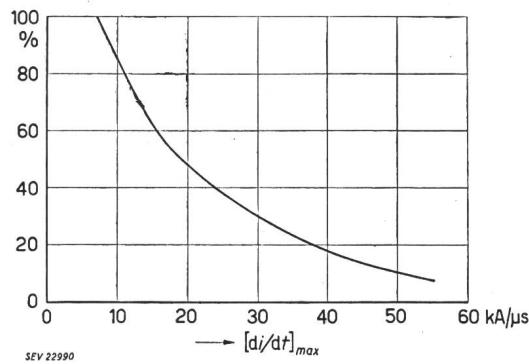


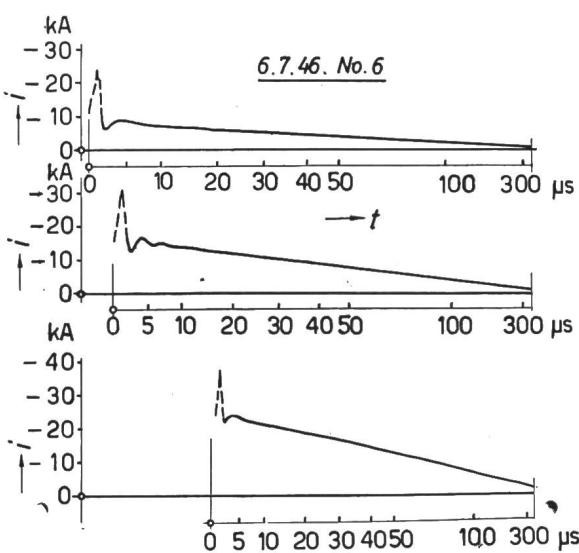
Fig. 15
Häufigkeit rascher Stromanstiege 1947...1954
26 Messungen mit Klydonograph
 $[di/dt]_{max}$ grösste Stromsteilheit

In sechs Fällen kam es zum Überschlag der Photopapiere der Klydonographen infolge Überschreitung des Messbereiches. Dieser liegt bei ca. 40 kA/μs. In drei Fällen von den obigen sechs wurde dabei das Photopapier vom Funken zerrissen.

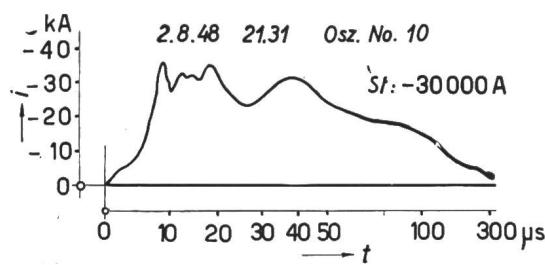
Charakteristische Kathodenstrahl-Oszillogramme

Tafel II

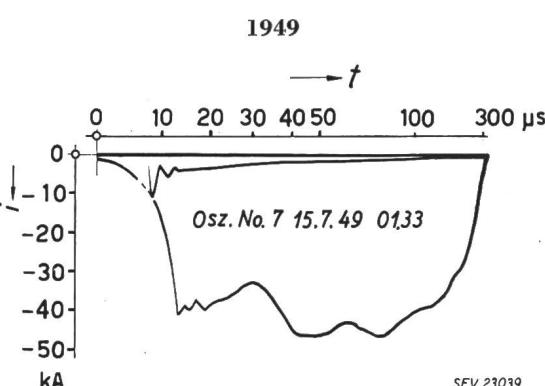
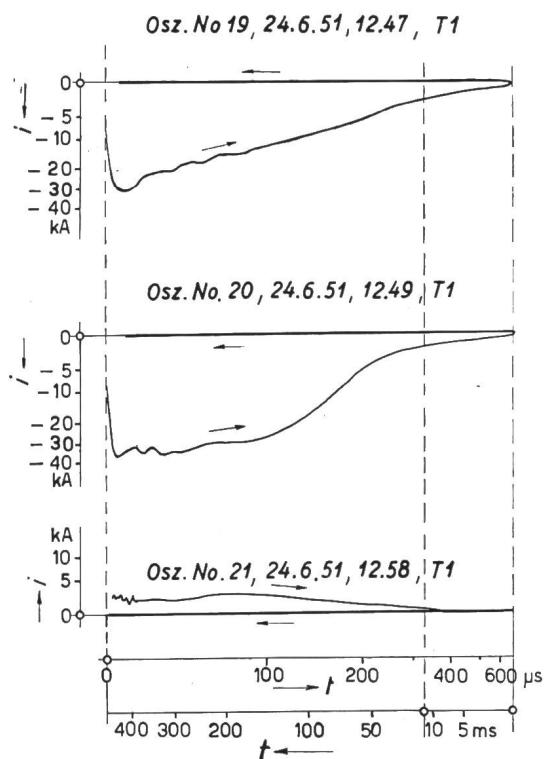
1946



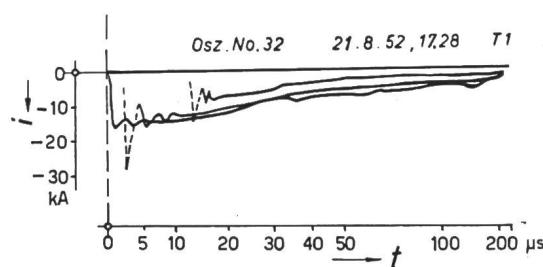
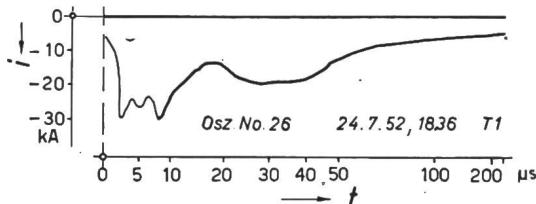
1948



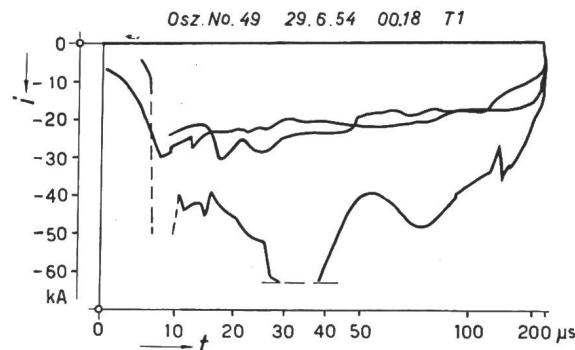
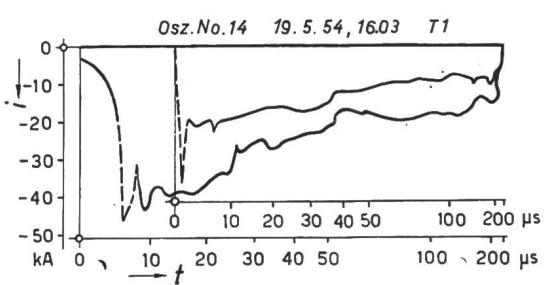
1951



1952



1954



Die Übereinstimmung der Messungen mit isolierter und geerdeter Drahtschleife ist befriedigend. Mit der gewählten symmetrischen Anordnung des Messgerätes ist der Abgriff eines Spannungsabfalles am Blitzableiter die empfindlichere und einfachere Anordnung als die isolierte Schleife; doch scheinen die Resultate der isolierten Schleife weniger zu streuen. Dabei ist ganz allgemein zu bemerken, dass die Messgenauigkeit dieser Methode infolge des Einflusses der Stossform auf die Grösse der Lichtenberg-Figur nicht sehr hoch ist, jedenfalls schlechter als bei der Stäbchenmessung für i_{max} .

7. Blitz einschlags-Photographie

Seit 1951 werden vom Photoraum auf dem Berggipfel aus alle nächtlichen Blitz einschläge in die Umgebung photographisch festgehalten. Dazu sind acht Fenster vorhanden, welche je ca. 50° Raumwinkel, d. h. den gesamten Horizont umfassen. Aus Sparsamkeitsgründen sind nur fünf Kleinbildapparate vorhanden, welche jeweils in jenen Richtungen eingesetzt werden, wo die meisten Blitze zu erwarten sind.

Leider ist es bis heute nur möglich, Blitze während der Nacht zu photographieren, weil die Verschlüsse während vielen Minuten geöffnet bleiben müssen, bis ein Blitz ins Blickfeld kommt. Zudem befindet sich der Berggipfel gerade bei sehr nahen Gewittern zum Teil in den Wolken, so dass dann auch nicht photographiert werden kann. Die nachstehenden Resultate erfassen somit nur einen kleinen Bruchteil, vielleicht im Mittel 1/5 aller vom Berg aus sichtbaren Blitz einschläge. Auf Grund der Oszillogramme wäre die Photographie des Blitz einschlagortes mit Hilfe einer sehr raschen Verschlussbetätigung auch bei Tageslicht möglich. Die zugehörige Einrichtung ist jedoch ziemlich kostspielig, insbesondere deshalb, weil sie in mehreren Exemplaren vorhanden sein müsste.

Als Beispiele sind einige Blitzphotographien in der Tafel III reproduziert worden, die unter günstigen Wetterbedingungen erhalten wurden.

Aus allen des Nachts erhaltenen Blitzphotographien der Jahre 1951...1954 sind die Einschlagspunkte durch Eintragen in die Tageslichtphoto ermittelt und dann in ein Gesamtpanorama eingezeichnet worden (siehe Fig. 16). Dabei sind verschiedene Markierungen für die vier Jahre verwendet, um auch über die Veränderung der Einschlagsstellen mit den Jahren ein Bild zu bekommen.

Die verschiedenen Jahre geben ganz verschiedene Einschlagsverteilungen. Es scheint aus diesem Grund heute noch verfrüht, allgemeine Schlüsse für eine längere Periode von Jahren zu ziehen. Dagegen mag eine besondere Beobachtung hier noch angebracht sein. Der Blitzwart, H. Rutz, hat die seltene Gelegenheit, vom Photoraum aus eine Menge von Blitzen von Auge zu beobachten, während die Photoparapparate bereitstehen. Nach seinen Aussagen deckt sich der Eindruck von der Lage und dem Aussehen einzelner deutlich beobachteter Blitze oft durchaus nicht mit dem objektiven Bild des Blitzes, wie es sich nach Entwickeln der Photofilme ergibt. Der Berichterstatter hat ähnliche Erfahrungen gemacht.

Gegenüber visuellen Angaben, insbesondere von Laien, über das Aussehen und den Verlauf von Blitzen scheint eine gehörige Dosis Skepsis sehr am Platz zu sein. Die Ursache dieser Diskrepanz zwischen objektiv photographischer und subjektiv visueller Blitzbeobachtung liegt wohl darin, dass beide nur dann übereinstimmen können, wenn das Auge des Beobachters während eines Blitzen sich nicht bewegt. Dies dürfte in den seltensten Fällen zutreffen, da sich der Beobachter der Bewegung seines Auges insbesondere im Blitzmoment gar nicht bewusst wird.

8. Vorwachsen des Blitzes, Blitzbildung

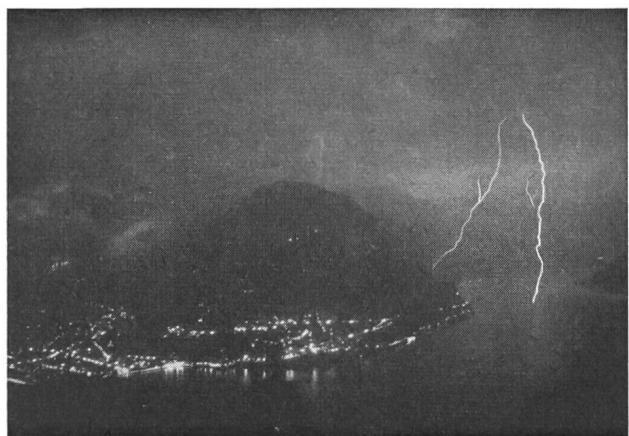
Seit den bahnbrechenden Arbeiten von *B. F. J. Schonland* und seinen Mitarbeitern *D. J. Malan*, *H. Collens* u. a. m. in Südafrika, ist bekannt geworden, dass der Blitz seine Bahn als Vorentladung auf zwei Arten öffnet, je nachdem es sich um den ersten Teilblitz oder um spätere Teilblitze handelt. Beim ersten Teilblitz zeigt sich bei Blitzen über der Ebene (Südafrika) z. T. eine ruckweise vorwachsende Lichterscheinung, die von der Gewitterwolke gegen den Boden herunterwächst. Schonland bezeichnet diese Vorentladung als «stepped leader». Die mittlere Geschwindigkeit des Vorwachsens beträgt nur einen kleinen Bruchteil (ca. 1/1000) der Lichtgeschwindigkeit. Spätere Teilblitze zeigen sehr oft auch einen «leader» (Leitblitz), der aber im Gegensatz zum ersten nicht ruckweise, sondern gleichmäßig vorwächst, und zwar mit einer um etwa eine Größenordnung höheren Geschwindigkeit (ca. 1/100 der Lichtgeschwindigkeit). Über die Blitzbildung an hohen Objekten liegen Beobachtungen von *K. B. McEachron* am 400 m hohen Empire State Building in New York, dem höchsten Wolkenkratzer der Welt. Danach wachsen dort weitaus die meisten Blitze von der Spitze des Wolkenkratzers gegen die Wolken hinauf. Leider gibt McEachron in seiner ausserordentlich interessanten Arbeit nur ein einziges, undeutliches Bild dieses Vorwachsens.

Auf dem San Salvatore sind in der Beobachtungsperiode 1946...1954 nur zwei gute Aufnahmen des ruckweisen Vorwachsens des ersten Teilblitzes («stepped leader») mit der Boys-Kamera mit hoher Filmgeschwindigkeit gelungen. Dagegen liegt eine ganze Reihe guter Bilder vor vom Vorwachsen späterer Teilblitze ohne Rückstufen («dart leader»: Leitblitz mit Wurfspeer vergleichbar). Die beiden gelungenen Bilder vom ersten Teilblitz sind in Fig. 17 und 18 reproduziert.

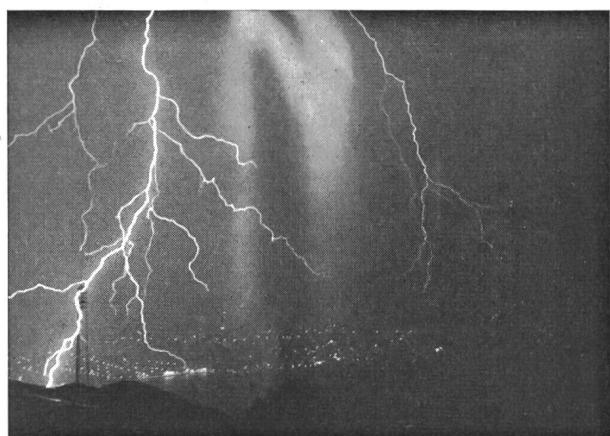
Das erste Bild (Fig. 17) ist im Photoraum in Paradiso am 15. Juli 1949 gewonnen. Es zeigt einen Blitz hinter dem Monte San Salvatore mit einer Reihe von Rückstufen, deren Auswertung auf dem Bild dargestellt ist. Das zweite Bild ist in Fig. 18 reproduziert. Die Abbildung betrifft einen Einschlag in den neuen Turm vom 29. Juli 1953. Von diesem Blitz liegt auch das Oszillogramm des Stromes vor (Osz. Nr. 14/1953, Tafel I). Das Bild hat besonderes Interesse, weil es deutlich die Vorentladungen bei einer Verzweigung des Blitzes erkennen lässt. Die Aufnahmen in der Mitte und unten stammen aus der Boys-Kamera mit raschem Filmvorschub (ca. 50 m/s), die Aufnahme oben aus der ruhenden Kamera. Die Entladung wächst von der Wolke zum Blitzturm herunter. Sowohl der erste Teilblitz wie auch zwei spätere Teilblitze weisen Vorentladungen auf. Ein Ast des Blitzes führt zu einem Einschlag in die Felsen östlich des neuen Turmes. Die Photo mit ruhendem

Charakteristische Blitzeinschläge

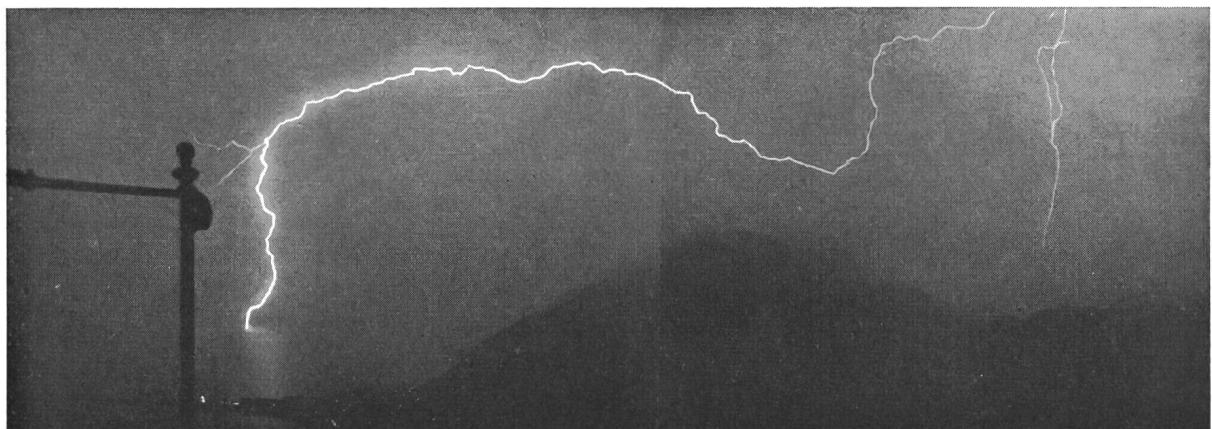
Tafel III



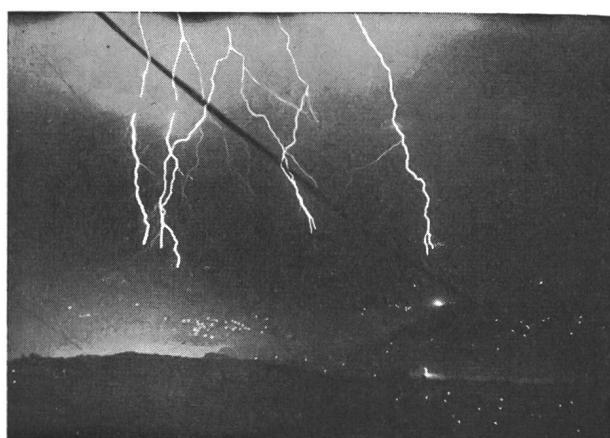
22./23. 7.51. 23.28 ... 0.19 NE



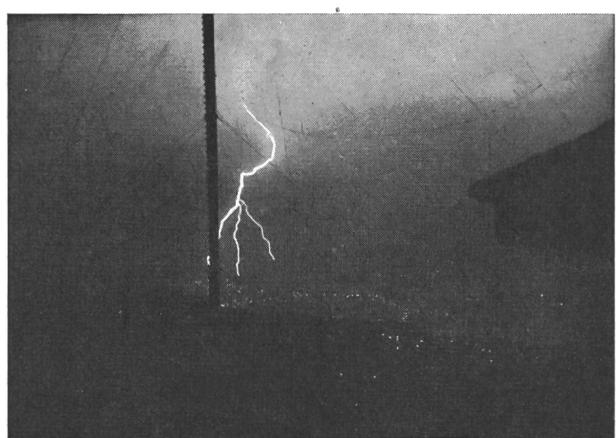
21. 5.53. 20.59 ... 21.01 NE



14. 7.52. 21.56 ... 21.58 S



8. 9.54. 01.25 ... 01.27 NW



8. 9.54. 01.26 ... 01.33 W

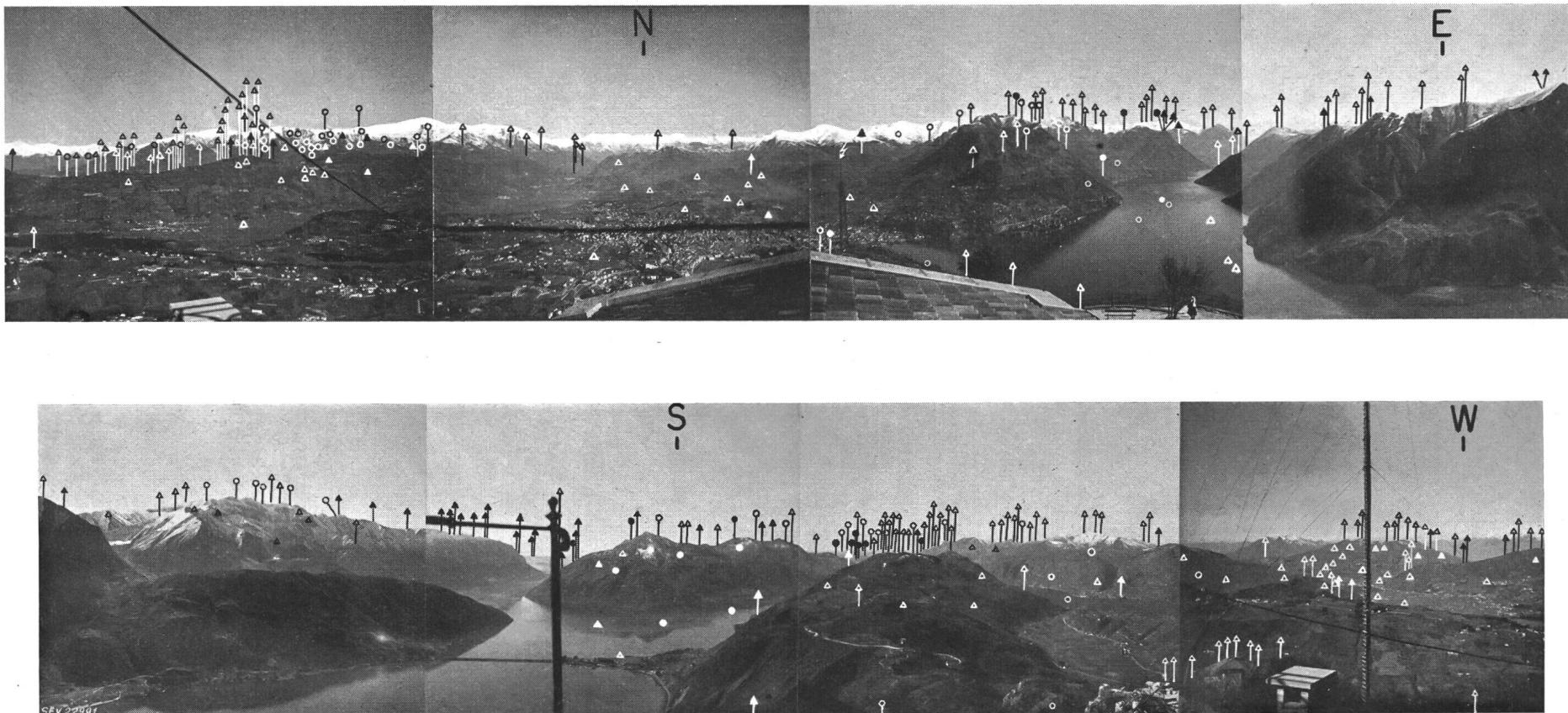


Fig. 16
Panorama mit eingetragenen Blitzeinschlagstellen

● 1951
▲ 1952
○ 1953
△ 1954

Einschlagstelle sichtbar

● 1951
▲ 1952
○ 1953
△ 1954

Einschlagstelle nicht sichtbar

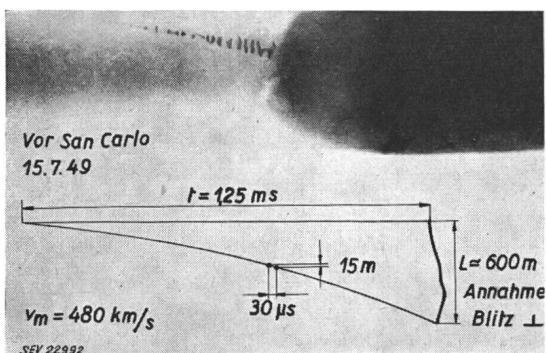


Fig. 17

Rückweise vorwachsender Teilblitz («stepped leader»)

1. Beispiel

Aufnahme mit Boys-Kamera Paradiso mit grosser Filmgeschwindigkeit

wicklung zeigen, Abzweige, die in der Luft endigen, dagegen momentan entstehen sollen. Die Erklärung liegt eher darin, dass die Vorentladungsstufen schwächer Abzweige photographisch zu wenig aktiv sind, um auf der Schicht zu erscheinen. Der Abzweig erscheint dann erst mit dem hellen Hauptblitz, der auch die Seitenkanäle heller aufleuchtet lässt.

Fig. 19 und 20 zeigen zwei Beispiele des Vorwachsens späterer Teilblitze; sie sind ebenfalls mit der raschlaufenden Boys-Kamera gewonnen.

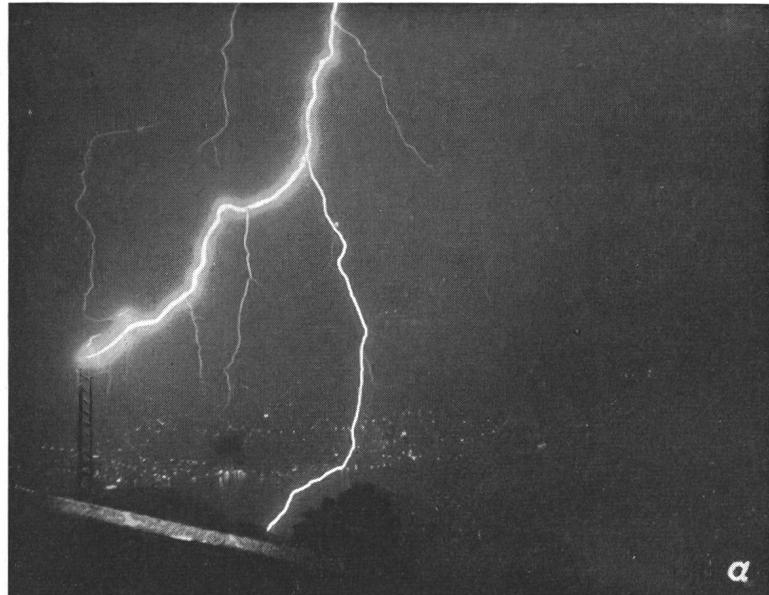
In vielen Fällen sind die Vorentladungen bereits mit der Boys-Kamera mit *langsamem Film-Vorschub* erkennbar.

Fig. 21 und 22 zeigen *nach oben wachsende Vorentladungen*.

Die erste ist am 25. August 1947 mit der Boys-Kamera mit langsamem Filmvorschub vom Photoraum Paradiso aus gewonnen worden und in Fig. 21 reproduziert. Leider ist kein zugehöriges Oszillosrogramm vorhanden, da dieser Blitz nicht von einem Messturm, sondern von einer dem Gipfel des

Film zeigt für den Blitzzweig in den Turm wesentlich grössere Helligkeit. Offenbar ist die Stromstärke dort viel grösser als beim Einschlag in den trockenen, sehr schlecht leitenden Dolomit-Felsen. Die späteren Teilblitze führen ausschliesslich zum Turm, nicht mehr zum Felsen. Das zu Fig. 18 gehörige Oszillosrogramm Nr. 14/1953, Tafel I, beginnt mit einem negativen Stoßstrom von ca. 19 kA. Auch die zwei späteren Teilblitze bringen Stoßströme von der Höhe 10 und 2 kA. Damit ist direkt experimentell bestätigt, dass im Moment, wo ein leaderstroke die Erde erreicht, der geladene Blitzkanal stossartig entladen wird. Leider ist kein zugehöriges KO-Oszillosrogramm vorhanden, weil der KO noch nicht betriebsbereit war.

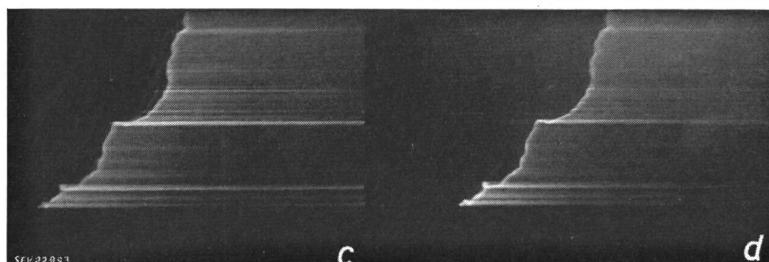
Bemerkenswert ist nebenbei auch, dass die Vorentladung den Turm nicht an seiner Spitze, sondern knapp über der geerdeten Eisenkonstruktion trifft! Ferner, dass im Moment, wo die Vorentladung den Turm trifft, ein Büschel aus der Turmspitze gegen oben wächst, das sich auf der raschbewegten Boysaufnahme fast parallel zur ruhenden Aufnahme aufzeichnet. Es leuchtet somit praktisch auf der ganzen Länge gleichzeitig auf und ist von sehr kurzer Dauer. Weiter ist eine zweite Verzweigung des Blitzes nach unten sowohl im ruhenden wie im bewegten Bild praktisch in paralleler Lage ersichtlich. Das heisst wieder, dass auch dieser Abzweig praktisch momentan aufleuchtet. Dies im Gegensatz zu den beiden Vorentladungen zum Erdboden hin, welche die ausgeprägten Ruckstufen zeigen. Es ist nicht wahrscheinlich, dass bei ein und demselben Blitz die Kanäle zur Erde eine stufenweise Ent-



a



b



c

d

Fig. 18

Rückweise vorwachsender erster Teilblitz mit zwei späteren Teilblitzen

2. Beispiel

Alle Teilblitze in Turm 2 (Osz. Nr. 14, 1953)
a Aufnahme mit Leica-Kamera; b Aufnahme mit Boys-Kamera (grosser Filmgeschwindigkeit), Vorwachsen und erster Teilblitz; c zweiter Teilblitz, 80 ms später;

d dritter Teilblitz, 150 ms später

San Salvatore vorgelagerten Bergkuppe ausging. Die Aufnahme zeigt einen faden Lichtschein zuerst am Boden, der nach oben wächst, ohne jedoch einen scharfen Funkenkanal zu bilden. Anschliessend flammt dieser Kanal auf der ganzen

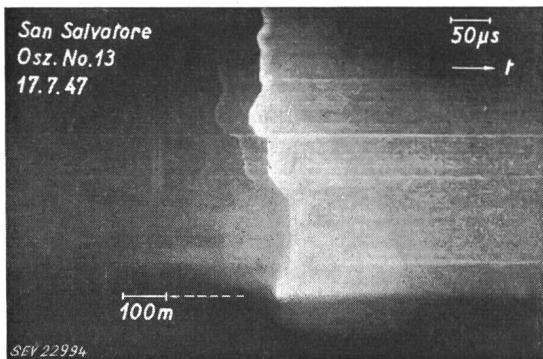


Fig. 19
Glatte, nicht ruckweise Vorentladung späterer Teilblitze
(``dart leader'')
1. Beispiel
Aufnahme mit Boys-Kamera (grosse Filmgeschwindigkeit)

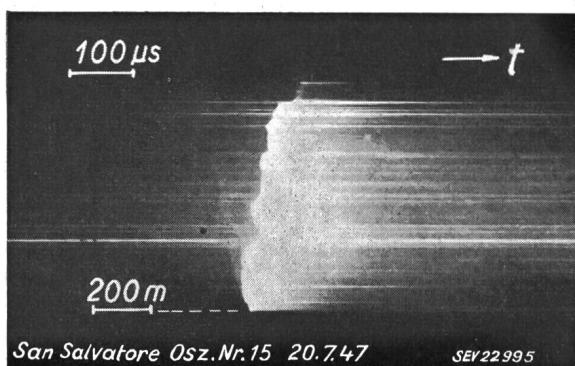


Fig. 20
Glatte, nicht ruckweise Vorentladung späterer Teilblitze
2. Beispiel
Aufnahme mit Boys-Kamera (grosse Filmgeschwindigkeit)

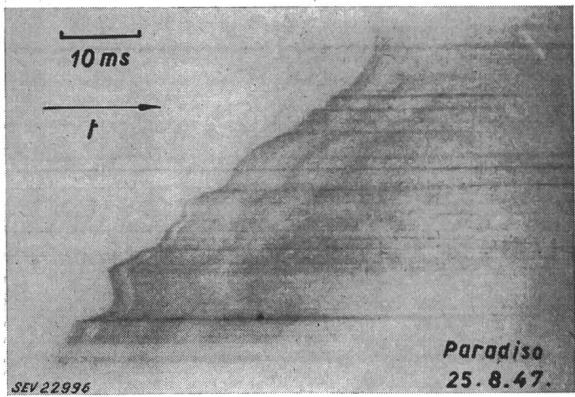


Fig. 21
Nach oben vorwachsender Blitz
1. Beispiel
Aufnahme mit Boys-Kamera (kleine Filmgeschwindigkeit)
von Paradiso aus (25. 8. 1947)

Länge über längere Zeit auf, wobei die Helligkeit schwankt. Die spätere Schwärzungsspur hat eine Neigung, die im Vergleich zur ersten Blitzspur auf ein Vorwachsen der Blitzhelligkeit von oben nach unten schliessen lässt, wie das auch bei späteren Teilblitzen stets der Fall ist.

Die zweite solche Aufnahme vom 13./14. August 1950 ist von der Bergkirche aus ebenfalls mit der Boys-Kamera mit langsamem Filmvorschub gelungen und in Fig. 22 reproduziert. Sie zeigt einen Blitz in den Abhang des bergigen Val Colla (links von Monte Brè), der deutlich vom Boden gegen oben wächst und zu einem ca. 0,4 s lang dauernden Strom ohne Stoss führt.

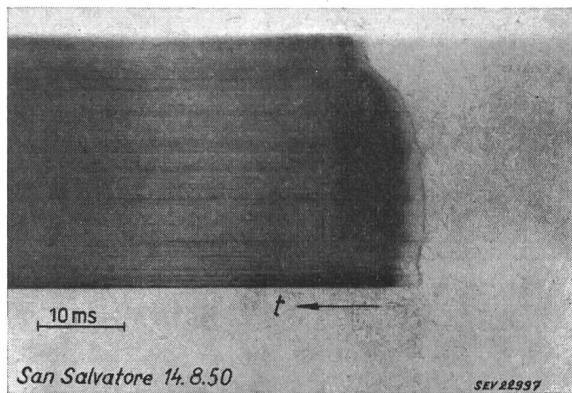


Fig. 22
Nach oben vorwachsender Blitz
2. Beispiel

Aufnahme mit Boys-Kamera (kleine Filmgeschwindigkeit)
von Kirche aus (14. 8. 1950)

Ausserordentlich auffällig ist es, dass bis heute keine Photoaufnahmen von Vorentladungen gelungen sind, bei denen der Blitz *ruckweise von der Turmspitze gegen die Wolken hinaufwächst*. Die Ursache, warum Aufwärtsblitze am San Salvatore keine solchen Vorentladungen zeigen, ist uns bisher nicht bekannt.

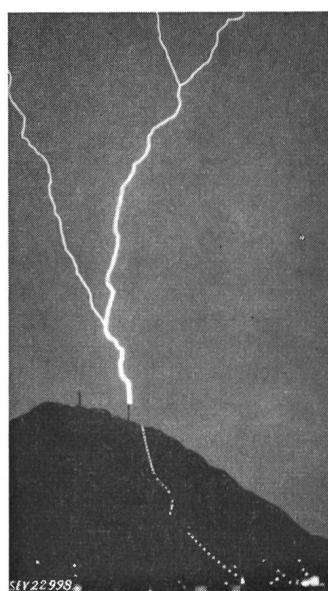


Fig. 23
Blitzaufnahme von C. F. Davis (New York) vom 19. 6. 1952
«Life», Nov. 1952

Dass nach oben vorwachsende Blitze auf dem San Salvatore durchaus nicht selten vorkommen, beweisen die Oszillogramme mit «Gleichstromverlauf», ferner jene Blitzphotos, bei denen sich der Blitz nach oben gabelt.

In diesem Zusammenhang ist in Fig. 23 eine sehr schöne Aufnahme reproduziert, die am 19. Juni 1952 von einem amerikanischen Gast in Lugano, C. F. Davis aus New York,

aufgenommen wurde. Der Einschlag erfolgt in Turm 1, der in der Originalaufnahme kaum zu erkennen ist; die helle Punktreihe stammt von der Beleuchtung des Trasses der Seilbahn zum San Salvatore.

Ferner ist es uns bisher nicht gelungen, *Vorentladungen aus positiv geladenen Wolken* zu photographieren. Dieser Fall hat besonderes Interesse, weil die Stromzillogramme zeigen, dass hier mit ganz seltenen Ausnahmen nur ein einziger Teilblitz vorkommt. Man vergleiche dazu die Häufigkeitskurven der Fig. 24a und b. Die Steilheit der positiven Blitzströme scheint viel kleiner zu sein als bei Blitzten aus negativen Wolken.

Schliesslich muss es auch auffallen, dass bei etwa gleichwertigen Sichtverhältnissen wesentlich mehr Blitzphotographien mit Boys-Kamera vorliegen, bei denen der *erste Teilblitz keine Spur einer Vorentladung*, weder von unten nach oben noch umgekehrt

a) Anzahl Teilblitze eines Gesamtblitzes

Als Teilblitz ist eine in sich abgeschlossene Entladung verstanden; vor und nach jedem Teilblitz ist der Blitzstrom während mindestens einigen Millisekunden kleiner als 1 A. Ein bipolarer Blitz, bei welchem der Stromnulldurchgang ohne Pause erfolgt (Beispiel: Osz. Nr. 9, 1954), gilt somit als 1 Teilblitz. Die Häufigkeit der Anzahl Teilblitze ist für positive und negative Blitze getrennt dargestellt (Fig. 24a und b). Es ergibt sich daraus, dass positive Blitze praktisch immer nur 1 Teilblitz enthalten.

b) Scheitelwert des Blitzstromes

Es sind zwei Darstellungen gewählt worden, nämlich einmal die Häufigkeit verschiedener Scheitelwerte von Gesamtblitzen (Fig. 25a), und dann die Häufigkeit verschiedener Scheitelwerte von Teilblitzen (Fig. 25b).

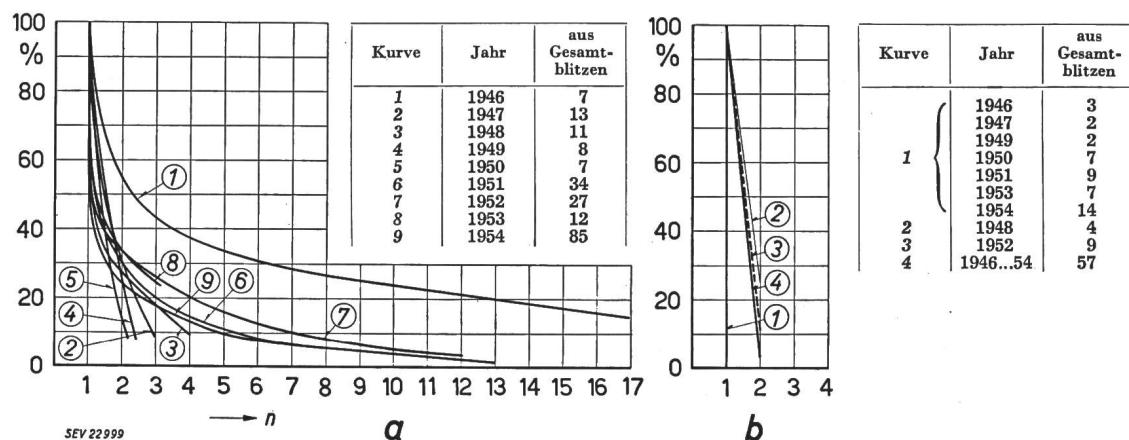


Fig. 24
Häufigkeit der Anzahl negativer und positiver Teilblitze in Gesamtblitzen
a negative Blitze; b positive Blitze; n Anzahl Teilblitze

erkennen lässt. Fig. 17 und 18 stellen daher mindestens photographisch einen relativ seltenen Ausnahmefall dar. Es fragt sich, ob auch die Bildung von Ruckstufen als Ausnahmefall zu gelten hat. Fig. 18, in der bei den schwachen Abzweigen des Blitzkanals ebenfalls keine Spur einer Vorentladung zu entdecken ist, trotzdem diese bei den beiden Ästen, die den Boden erreichen sehr deutlich sind, lässt auch die Möglichkeit offen, dass die Helligkeit der ersten Vorentladung bei vielen Blitzen nicht genügt, um die Photoschicht zu schwärzen. Vermutlich ist auch dann eine Vorentladung vorhanden, wo die Photoschicht heute nichts zeigt. Mit empfindlicherem Photomaterial müsste in diesem Fall wesentlich mehr zu sehen sein.

Eine ausführlichere Gesamtdarstellung der Messresultate wird demnächst in Buchform erscheinen.

II. Diskussion der bisherigen Beobachtungen

1. Statistik der elektrischen Blitzdaten

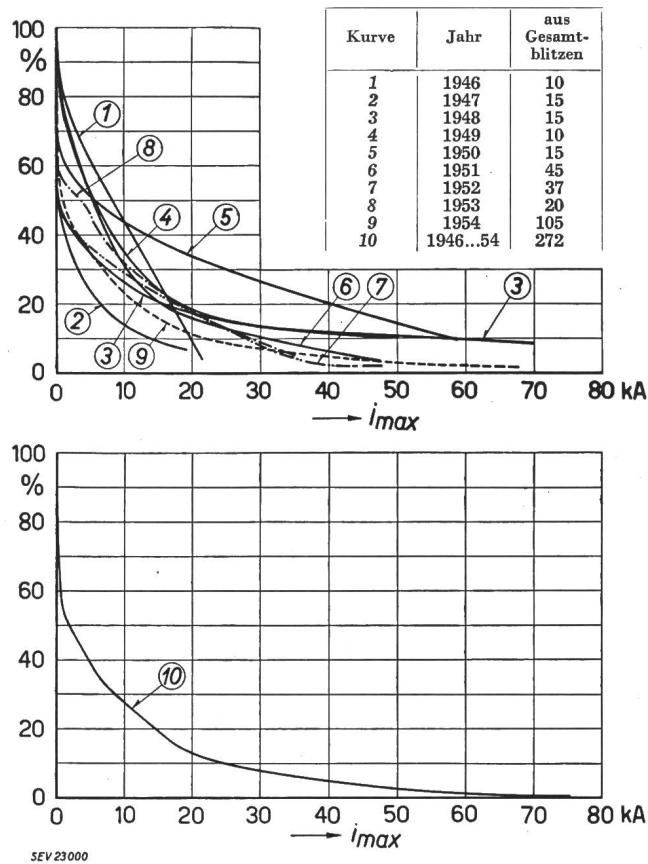
Die Blitzinschläge in die beiden Messtürme in den Jahren 1947...1954 sind statistisch ausgewertet und in den nachstehenden Fig. 24...27 dargestellt worden. Es betrifft dies folgende Daten des Blitzes:

Dazu ist zu erwähnen, dass der Schleifenoszillograph bereits bei Strömen zwischen 30 und 100 A auslöst. Die Statistik umfasst somit auch diese kleinen Blitzstromwerte. Fig. 25 zeigt, dass eine beträchtliche Anzahl Blitze mit kleinem Strom (z. B. < 2 kA) vorkommen. Es ist ohne weiteres möglich, aus diesen Kurven jene andern zu erhalten, bei welchen die untere Messgrenze höher liegt. Es ist dazu einfach der betreffende Kurvenpunkt als 100%-Punkt zu betrachten und der rechts liegende Kurventeil affin zu erhöhen. Die grössten gemessenen Blitzstrom-Scheitelwerte (i_{max}) betragen mehr als der heutige Messbereich 65 kA (schätzungsweise 100 kA) in folgenden Fällen:

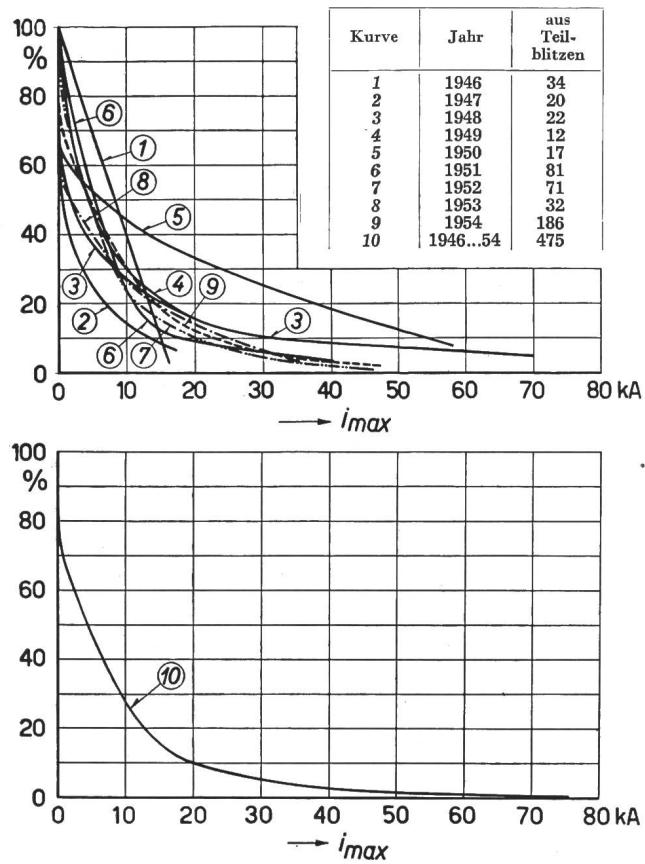
- 1948: Osz. Nr. 14, 75 kA negativ
- 1954: Osz. Nr. 49, > 65 kA negativ
- Osz. Nr. 50, > 65 kA negativ
- Osz. Nr. 51, > 65 kA negativ
- Osz. Nr. 68, > 65 kA positiv

c) Ladung des Blitzes

Fig. 26 zeigt die Ladung von Gesamtblitzen. Die Ladung langdauernder Teilblitze ($< 0,01$ s Dauer) ist durch Planimetrieren der Stromkurve des SO ermittelt worden. Die stossförmigen Ladungskom-



a



b

Fig. 25
Häufigkeit der Stromhöchstwerte in Gesamt- und Teilblitzen
a Gesamtblitze; b Teilblitze; i_{max} Stromscheitelwert

ponenten (in der Regel wenige Coulomb) sind somit in den Zahlen nicht enthalten. Die Ladung von Stoßstrom wurde bis 1949 mit der früher beschriebenen Röhrenschaltung direkt gemessen. Diese Messung musste ab 1950 fallen gelassen werden, weil die vorhandene Anzahl Meßschleifen des SO nicht ausreichte. Die grössten gemessenen Ladungen von Gesamtblitzen sind aus der Tabelle IV ersichtlich.

Grösste mit SO gemessene Ladungen ($> 100 C$, 1946...1954)
(ab 1951 ohne Stoßladungen)

Tabelle IV

| Jahr | Osz. Nr. | Pol. | Ladung (C) | i_{max} (A) |
|------|----------|-------|------------------------------|--|
| 1946 | 6 | — | 169 | — 14 000 |
| 1947 | — | — | — | — |
| 1948 | — | — | — | — |
| 1949 | 1 | + | 110 | + 16 000 |
| 1950 | 7 | + | > 151 | + 20 000 |
| | 11 | -/+ | > 7 (-) } > 148 | > 5 000 (-) 40 000 (+) |
| | | | > 141 (+) } > 148 | |
| 1951 | 38 | + | ≈ 125 | + 28 000 |
| 1952 | 13 | + | ≈ 220 | + 32 000 |
| | 28 | + | > 350 | + 47 000 |
| 1953 | — | — | — | — |
| 1954 | 3 | -/+ | > 61 (-) } > 108 | — 18 000 |
| | | | 47 (+) } > 108 | |
| | 11 | + | > 320 | + 14 000 |
| | 19 | — | 110 | — 1 550 |
| | 59 | +/- | > +300 } > 365 | + 7 500 — 3 000 |
| | 68 | -/+/- | > +350 ¹⁾ } > 385 | > + 65 000 ¹⁾ — 35 } > 385 |
| | 78 | — | > 135 | — 18 000 — 27 500 |

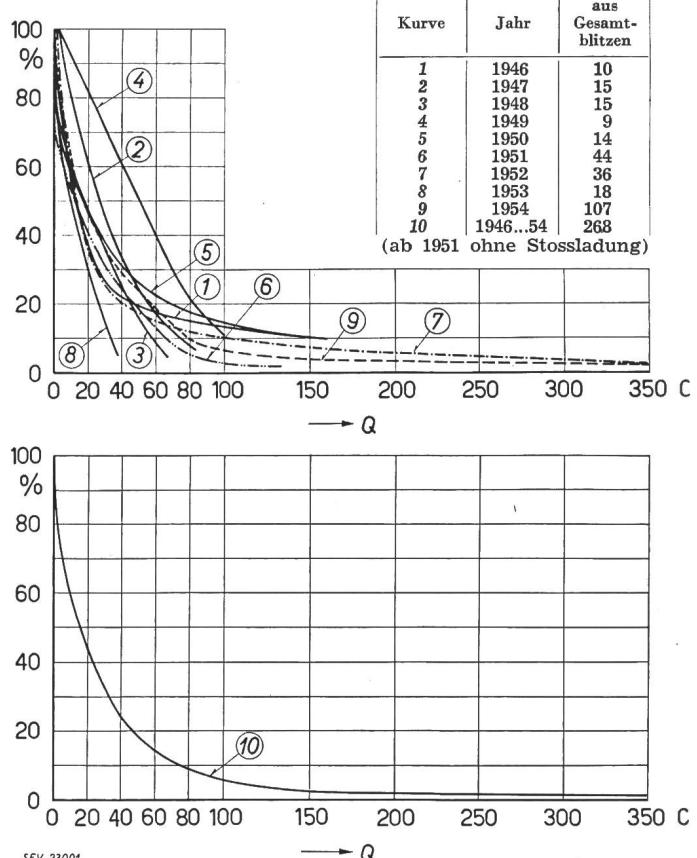
¹⁾ KO-Messung

Fig. 26
Häufigkeit der Ladungen von Gesamtblitzen
Q Ladung

d) Die Dauer des Blitzes

Es sind zwei Darstellungen gewählt, je nachdem, ob die Dauer von Gesamtblitzen (Fig. 27a) oder jene von Teilblitzen (Fig. 27b) gemeint ist.

scheinen von der Größenordnung 10...20 kA/μs zu sein.

Eine genauere Ausmessung der Front des Blitzstromes wäre wünschenswert. Bei Turm 1 ist diese

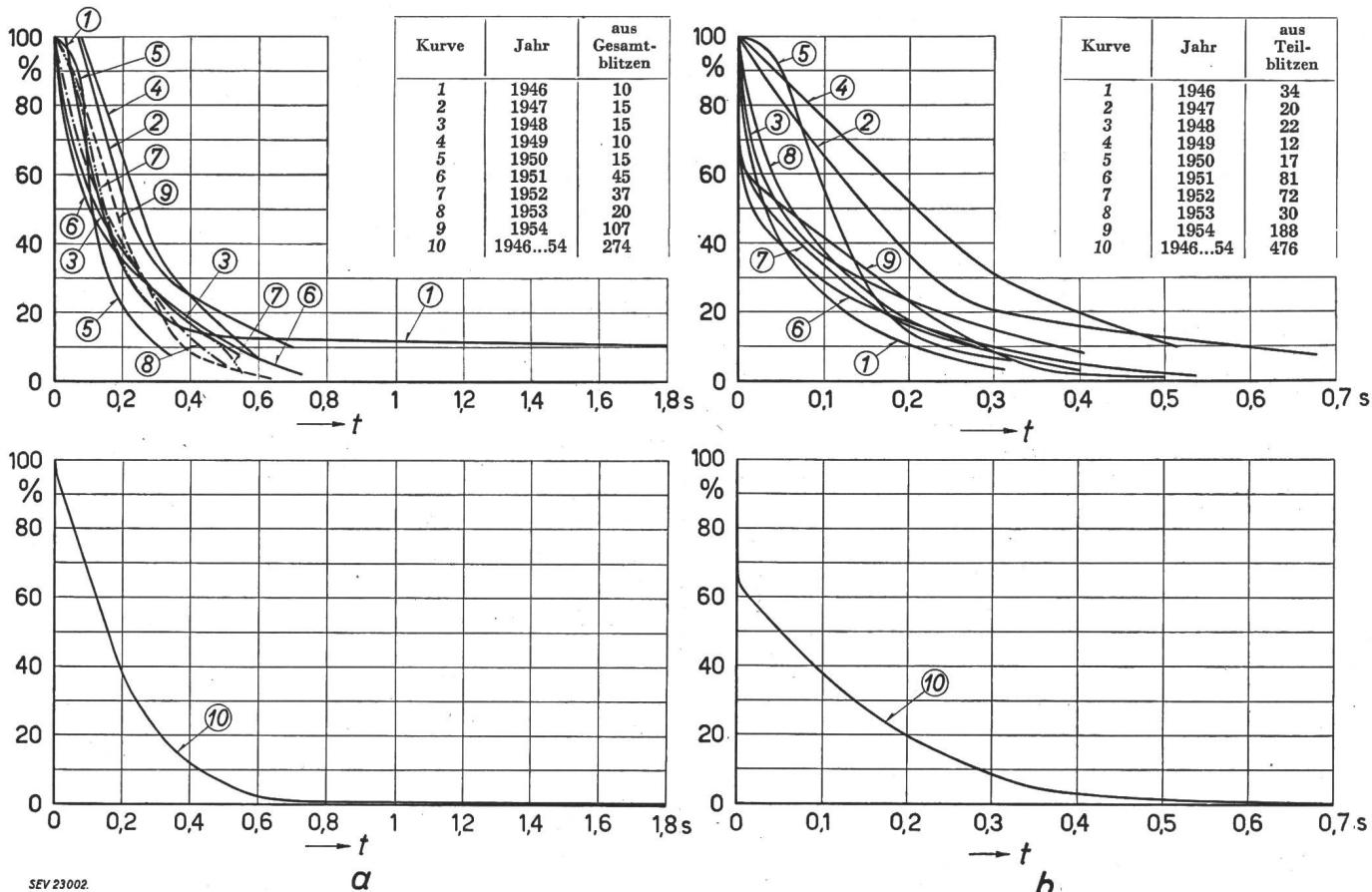


Fig. 27
Häufigkeit der Dauer von Gesamt- und Teilblitzen
a Gesamtblitze; b Teilblitze
t Blitzdauer

e) Die Steilheit von Blitzströmen

Hier wurden zwei Messreihen ausgewertet:

1. Steilheitsmessung mit Induktionsschleife und Klydonographen

Die Resultate sind bereits im Abschnitt 6 besprochen worden (Fig. 15). Da nicht für jeden Blitz eine Einzelmessung vorliegt, kann es sich hier nicht um eine strenge Statistik, sondern nur um eine Darstellung der grössten Messwerte über die Beobachtungsperiode handeln, wie bereits ausgeführt wurde.

2. Steilheitsmessung aus den KO-Oszillogrammen

Auch diese Messreihe ist lückenhaft, da infolge der langen Pumpzeit des KO nicht alle Blitze erfasst sind.

Tabelle V enthält die Auswertung der KO-Oszillogramme bezüglich des Stromscheitelwertes i_{max} , der Halbwertsdauer der Blitzstoßströme sowie der Frontsteilheit. Als Frontsteilheit ist dabei der Quotient Stromscheitelwert dividiert durch gesamte Frontdauer (Anstiegszeit bis zum Stromscheitelwert) bezeichnet. Wo die Frontdauer sehr kurz ist, ist die Messung relativ ungenau. In diesen Fällen geben die Zahlenwerte der Steilheit untere Grenzwerte; sie sind daher mit dem Zeichen $>$ versehen. Stromsteilheiten von 20 und 30 kA/μs dürfen als sicher vorkommend gelten; die häufigsten Stromsteilheiten

Messung nicht möglich, weil die Strommessung erst am Fuss des Antennengebildes erfolgt, wo sich eine Eigenfrequenz von nur ca. 0,3 MHz zeigt. Bei Turm 2 dagegen, wo der Shunt sich hoch über dem Erdboden am unteren Ende der Nadel befindet, wäre eine genauere Ausmessung der Blitzstromfront möglich.

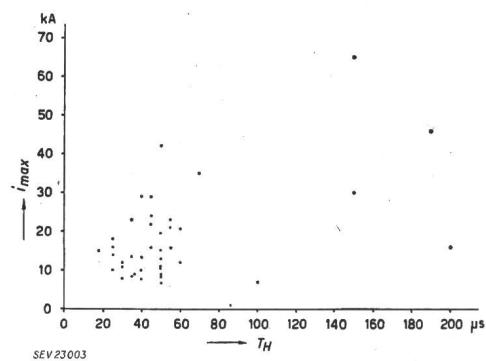


Fig. 28
Korrelation zwischen Blitzstrom-Scheitelwert und Halbwertsdauer
 i_{max} Stromscheitelwert; T_H Halbwertsdauer

KO-Oszillogramm-Auswertung

Tabelle V

| Jahr | Osz. Nr. | i_{max} kA | T_H μs | Frontsteilheit kA/μs |
|------|---------------------|-----------------|-------------|-------------------------|
| 1946 | 6 | — 9 | 38 | > 15 |
| | 6 | — 16 | 45 | >> 13 |
| | 6 | — 23 | 55 | >>> 15 |
| | 9 | — 13 | 50 | >>> 13 |
| | 10 | — 11 | 50 | >>> 10 |
| | 10 | — 12 | 60 | >> 13 |
| | 10 | — 9 | 50 | > 10 |
| | | | | |
| 1947 | 7 | — 7 | 50 | ? |
| | 13 | — 21 | 60 | >> 20 |
| | 15 | — 10,5 | 50 | >> 10 |
| | 15 | — 8,5 | 50 | ? |
| | 20 | — 11 | 50 | > 15 |
| 1948 | 6 | — 8 | 40 | > 15 |
| | 10 | — 35 | 70 | 4? |
| | 12 | — 16 | 55 | ? |
| | 12 | — 9 | 50 | ? |
| 1949 | 7 | — 46 | 190 | 3,5? |
| 1950 | keine Oszillogramme | | | |
| 1951 | keine Oszillogramme | | | |
| 1952 | 21 | — 13,5 | 40 | > 13 |
| | 22 | — 11 | ≈ 30 | >> 10 |
| | 23 | — 24 | 45 | >> 15 |
| | 23 | — 13 | 50 | >> 13 |
| | 23 | — 7 | 100 | ≈ 10? |
| | 23 | — 10 | 40 | > 10 |
| 1952 | 24 | — 22 | 45 | >> 20 |
| | 24 | — 8 | 30 | >> 10 |
| | 26 | — 29 | 45 | >> 15 |
| | 32 | — 15 | 50 | >> 15 |
| | 32 | — 14,5 | 35 | >> 15 |
| | 32 | — 8,5 | 35 | > 10 |
| 1953 | keine Oszillogramme | | | |
| 1954 | 12 | + 16 | 200 | ? |
| | 14 | — 42 | 50 | ? |
| | 14 | — 21 | 55 | > 20 |
| | 44 | — 15 | 18 | >> 15 |
| | 44 | — 14 | 25 | > 15 |
| | 49 | > 65 (—) | ≈ 150 | ? |
| | 49 | — 30 | 150 | 4 |
| | 51 | ? | ? | 5 |
| | 58 | — 19 | 50 | ? |
| | 66 | — 16 | 25 | ? |
| | 66 | — 10 | 25 | ? |
| | 67 | — 29 | 40 | > 30 |
| | 71 | — 23 | 35 | > 20 |
| | 78 | — 18 | 25 | >> 15 |
| | 79 | — 12 | 30 | > 12 |

f) Korrelation zwischen Blitzstromsteilheit und Blitzstromamplitude

In Fig. 28 ist schliesslich versucht worden, festzustellen, ob zwischen grösster Amplitude und grösster Steilheit des Blitzstromes ein Zusammenhang besteht. Aus der beschränkten Anzahl der bisher gewonnenen KO-Oszillogramme scheint ein solcher Zusammenhang nicht hervorzugehen.

2. «Schutzraum» von Blitzableitern

Die Beobachtung der zur Kontrolle von Blitzschlägen montierten Stahlstäbchen hat ergeben, dass weder in das Berghotel noch in die Bergstation der Drahtseilbahn während der Beobachtungsperiode 1947...1954 Blitzschläge vorgekommen sind. Dagegen ereignete sich ein einziger Blitzschlag in

den Blitzableiter der Bergkirche (Photoraum). Die Lage dieser Objekte ist im früher erschienenen Aufsatz [1] angegeben. Die Gebäude befinden sich auf einem Kegel von ca. 45° Öffnungswinkel gegen die Vertikale. Soweit von einem «Schutzraum» überhaupt gesprochen werden kann, liegen somit die zwei ersten Gebäude unter Voraussetzung der Topographie des Monte San Salvatore innerhalb des «Schutzraumes» des Turmes 1, die Bergkirche jedoch nicht mehr ganz. Die vielen Oszillogramme gleichzeitiger Blitze in Turm 1 und 2 zeigen deutlich, dass der «Schutzraum» eines Turmes sich sicher nicht über die Horizontaldistanz von 400 m bis zum zweiten Turm erstreckt, unter Voraussetzung wiederum der Topographie des Berges.

Man muss sich wohl hüten, obige Resultate zu verallgemeinern. Sie sollen hier nur als Beispiel für den Fall des San Salvatore angeführt sein. Die Fragwürdigkeit der Schutzraumtheorien wird drastisch demonstriert durch die Photographie des Blitzeneinschlags ca. 15 m unter der Spitze von Turm 2; siehe Fig. 18.

3. Geographische Lage der Blitzeneinschläge

Die in den Jahren 1951...1954 photographierten Blitzeneinschlagspunkte sind bereits in Fig. 16 dargestellt worden. Diese Beobachtungsperiode ist viel zu kurz, um allgemeine Schlüsse zu erlauben. Leider sind im Jahre 1954 die meisten Gewitter bei Tag erfolgt, so dass nur relativ wenige Photos vorliegen. Würden die von Auge beobachteten Blitzeneinschläge berücksichtigt, so wäre nach den Beobachtungen von H. Rutz die Lücke im Vedeggital, d. h. im Sektor NW...N, bereits von Blitzeneinschlägen ausgefüllt. Es steht bereits fest, dass von Jahr zu Jahr eine starke Streuung in dem Sinn vorhanden ist, dass in einem Jahr gewisse Gebiete fast ohne Blitzeneinschläge bleiben und dass dieselben Gebiete in folgenden Jahren sehr einschlagsreich sind. Andere Gebiete, wie das Malcantone, scheinen fast jedes Jahr von Blitzen betroffen. Ob ein Einfluss der Topographie und Geologie des Bodens auf die Wahl der Einschlagspunkte vorhanden ist, lässt sich aus den bisherigen Beobachtungen noch nicht beurteilen. Eine Beobachtungsperiode von mindestens zehn Jahren scheint nötig, um einigermassen wissenschaftliche Schlüsse ziehen zu können.

4. Blitze in Berge und Ebenen

Die Meßstation auf dem Monte San Salvatore wurde deshalb gebaut, weil es nur auf einem Berg möglich schien, viele Blitzeneinschläge elektrisch auszumessen, wie im früheren Bericht [1] gezeigt ist. Bei der Messung des Blitzstromes zeigt sich nun ein wesentlicher Unterschied, indem einzelne Blitze mit starkem Stromstoss einsetzen, andere dagegen mit kleiner Stromstärke der Grössenordnung 100 A beginnen. Diese Oszillogramme legen die Vermutung nahe, dass es sich im ersten Fall um Blitze handelt, die von den Wolken gegen den Erdboden herunterwachsen. Wo sie den Boden treffen, hängt zunächst von der Verteilung der elektrischen Raumladungen in der Atmosphäre, in zweiter Linie von der Topographie und evtl. weiteren Bodeneigenschaften ab.

Diese Blitze können somit Berge oder ebensogut Flachland oder Seen treffen.

Die zweite Blitzart, die mit kleinem Strom längerer Dauer einsetzt, deutet auf eine Entladung hin, die von der Berg- oder Turmspitze gegen die Wolken hinaufwächst. Es ist wahrscheinlich, dass diese Art Blitze infolge der viel kleinern Feldkonzentration in der Ebene dort kaum zu finden oder doch dort viel seltener ist als auf Bergen und hohen Türmen. Für sehr hohe Türme wurde diese Vermutung durch die Beobachtungen von K. B. McEachron bestätigt.

Mit der Photographie der Vorentladung der Blitze war beabsichtigt, diese Vermutung für bergiges Gelände direkt experimentell zu beweisen. Es sollte möglich sein, zu zeigen, dass Blitze, die mit Stoßstrom einsetzen, von der Wolke herunterwachsen, während Blitze, die mit kleinem Strom einsetzen, von Berg oder Turmspitzen gegen die Wolken hinaufwachsen. Die meist ungenügende Sichtbarkeit der Vorentladung des ersten Teilblitzes hat bisher verhindert, diesen Beweis sicher und lückenlos zu führen. Der einzige Fall, wo dieser Beweis möglich ist, bildet Fig. 18 mit Oszillogramm Nr. 14/1953. Dieser Fall bestätigt die Vermutung. Weitere Beweise wären wünschenswert. Sie bedingen jedoch entweder sehr viel Geduld oder eine Verbesserung der Empfindlichkeit der photographischen Methode.

Mit dem im Frühling 1954 fertig gestellten *Blitz-einschlagzähler*, der auf der magnetischen Induktion der grossen Stromänderung beim Blitzeinschlag beruht, wurden 1954 über 200 Einschläge im Umkreis von ca. 5 km vom Monte San Salvatore gezählt. Leider befand sich der Zähler beim grössten Gewitter vom 7. Juli 1954 sowie im frühen Frühling nicht im Betrieb. Die Gesamtzahl der vom Zähler erfassbaren Einschläge dürfte pro 1954 rund 300 betragen. Dabei war die Ansprechschwelle des Zählers eingestellt auf das Magnetfeld (Nahfeld) eines Stromes, der in einem langen vertikalen Leiter in 1 km Abstand vom Blitzzähler fliessst und sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von 1000 A/ μ s ändert. Somit war 1954 mit rund vier Blitzeinschlägen pro km^2 um den San Salvatore herum zu rechnen, welche obige minimale Stromsteilheit in 1 km Entfernung oder entsprechend mehr oder weniger steilen Strom bei weiter entfernten bzw. nähern Blitzen aufwiesen.

Bei der Bestimmung der Distanz der Blitzeinschläge ergab sich eine interessante Beobachtung. Die Distanz eines Einschlags bei Tageslicht wurde einerseits durch visuelle Beobachtung des Einschlagsortes aus der geographischen Karte durch H. Rutz, anderseits aus der Messung des Zeitintervalls zwischen Blitz und Donner bestimmt. Dabei zeigte sich, dass bei Einschlagspunkten in mehreren (4...6) km Distanz die Schallmessung oft nur 1...3 km ergibt. Nun liefert diese Schallmessung naturgemäss den kleinsten Abstand zwischen Beobachter und Blitzkanal. Es muss demnach bei vielen Blitzen, die zur Erde gehen, der kleinste Abstand wesentlich kleiner sein (1...3 km) als der Abstand des Einschlagspunktes (4...6 km).

Der Blitz muss offenbar in mehr oder weniger horizontaler Richtung über dem Beobachter verlaufen, wobei seine horizontale Ausdehnung oft mehrere (5...20) km beträgt. Das landläufige Bild des vertikalen Blitzen röhrt wohl davon her, dass der unter der Wolkengrenze liegende und daher sichtbare Teil des Blitzen mehr oder weniger senkrechte Richtung aufweist. Der horizontale, oft viel längere Teil dagegen ist nur in Aus-

nahmefällen sichtbar, wie z. B. aus Tafel III, Aufnahme vom 14. Juli 1952, hervorgeht. Die Entfernungsmessung eines Einschlags aus der Schallmessung muss daher zu ganz falschen Resultaten führen, und auch die Blitz-einschlagszählung auf Grund des Magnetfeldes wird von dieser Horizontalkomponente des Blitzkanals beeinflusst.

5. Theorie der Blitzbildung

Die Frage, wie es zur Ladungstrennung in der Gewitterwolke kommt, bietet heute immer noch ein Tummelfeld der verschiedensten Theorien, deren relative Bedeutung oder experimenteller Nachweis immer noch unklar sind oder ausstehen.

Die zweite Frage, wie nämlich aus überwiegend positiven und negativen Raumladungswolken heraus ein Blitzkanal entsteht, ist durch die Arbeiten von Schonland und seiner Mitarbeiter in Südafrika mit Hilfe elektrischer Feldmessungen einerseits und Blitzphotographien mit der Boys-Kamera andererseits in glänzender Weise gefördert worden. Diese Arbeiten gipfeln in der Erkenntnis eines «stepped leader» des ersten Teilblitzes, sowie eines hypothetischen «pilot leader», der photographisch nicht erfasst werden kann, da er viel zu lichtschwach ist.

Der Berichterstatter möchte den vorliegenden Bericht über Blitzbeobachtungen nicht durch Theorien verlängern. Nur auf eine Beobachtung soll hingewiesen werden, die für das Verstehen der Blitzbildung Bedeutung haben dürfte:

Es ist dies der festgestellte Unterschied der Anzahl Teilblitze bei der Entladung positiver und negativer Wolken. Von den 57 positiven Blitzen, die in der Berichtsperiode oszillographiert wurden, hatten zwei Blitze je zwei Teilblitze, alle übrigen nur einen einzigen. Dagegen beträgt die Anzahl Teilblitze bei den 204 negativen Blitzen im Durchschnitt 1,9 und im Maximum 17. Die Betrachtung der Oszillogramme zeigt, dass bei negativen Blitzen sehr oft eine eigentliche Instabilität der Entladung besteht: Der Blitzstrom klingt aus, bleibt einige Hundertstel-Sekunden gleich Null, um dann mit einem Stoßstrom zu einem weiteren Teilblitz anzusetzen (Beispiele: Gruppe 5 der Tabelle III). Das Bild sieht genau so aus, wie wenn der Blitzkanal am Erdboden gestoppt würde, währenddem er oben weiter bestehen bleibt und von oben stetig mit negativer Ladung versorgt wird.

Es muss nun auffallen, dass eine ähnliche Instabilität auch beim *Vorwachsen* des Blitzkanals aus negativen Wolken besteht (Fig. 17 und 18). Während es sich vorher um eine zeitliche Instabilität handelte, zeigt sich beim Vorwachsen des Blitzes eine räumliche Instabilität. Ob diese Instabilität an das Vorwachsen aus negativen Wolken oder Elektroden gebunden ist, muss sich erst noch erweisen, da die bisher bekannten Blitzphotos entweder nichts über die Polarität aussagen, weil keine zugehörigen Oszillogramme vorliegen oder dann noch zu selten sind. Sollte sich die Beobachtung der Polaritätsabhängigkeit weiter bestätigen, so müsste offenbar den positiven Raumladungen im entstehenden und sterbenden Blitzkanal und der von ihr erzeugten Sekundärfeldstärke eine entscheidende Rolle zugesprochen werden.

III. Ausblick auf die zukünftige Blitzforschung

Für den Blitzschutz von Hochspannungsleitungen und Gebäuden ist vor allem die Kenntnis der Blitzstromscheitelwerte und der Steilheit ihres Anstieges von Bedeutung. Dies deshalb, weil die Spannungsabfälle an jeder Art Erdung in erster Linie vom Scheitelwert des Stromes, die Spannungsabfälle auf jeder Art von Erdleitungen und Ableitungen und jegliche Induktionswirkung von der grössten Stromänderung (di/dt) abhängen. Betrach-

ten wir die bisherigen Resultate in dieser Hinsicht, so ist folgendes zu sagen:

Während über die Grösse und die Grobstruktur der Blitzströme nunmehr ziemlich gute Grundlagen vorhanden sind, gilt dies noch nicht für die Steilheit der stossartigen Einzelblitze. Diese Messung bedingt einen speziellen Registrer-KO grosser Schreibrates, der pro Jahr zwischen 500 und 1000 Betriebsstunden ohne merkliche Pumpzeit bereitstehen müsste.

Für den Bau von Leitungen wie auch anderer, speziell blitzempfindlicher Objekte, wie Munitionsfabriken und -Lager, besteht seit langem der Wunsch, den sogenannten «blitzgefährdeten Punkten» auszuweichen, ohne dass es erwiesen ist, dass es solche blitzgefährdete Punkte gibt. Diese Frage bildet ein immer noch offenes Grundlagenproblem des Blitzes und des Blitzschutzes. Das Problem kann gelöst werden, entweder durch objektive Zählung der Blitzschläge pro Jahr auf einem begrenzten Umkreis, oder im Detail durch Feststellung der genauen geographischen Lage jedes einzelnen Einschlages. Letzteres geschieht bis heute am einfachsten und zuverlässigsten photographisch von erhöhter Warte aus. Um die photographische Ausbeute zu erhöhen, wären Blitzphotos auch bei Tageslicht erwünscht. Für die Einschlagsphotos scheint die optisch-mechanische Steuerung der Photoverschlüsse möglich zu sein.

An hohen oder auf hohen Bergen gelegenen Leitungsmasten oder Gebäuden kommen sodann auf Grund unserer Messungen Blitzformen vor, die allem Anschein nach in der Ebene nicht existieren. Es handelt sich um relativ kleine Blitzströme, deren Steilheit aber nicht immer klein ist. Da der Schutz von Leitungen und Gebäuden in erster Linie in der Ebene wichtig ist, ist die Übertragung der Messresultate vom Berg auf die Ebene wichtig. Zu diesem Zweck kommt der Beobachtung der Vorentladungen des Blitzes praktische Bedeutung zu. Lücken bestehen hier vor allem in der Frage der Vorentladungen bei Aufwärtsblitzen und bei Blitzen aus positiven Wolken. Für die Photos der Vorentladungen kommt die optische Steuerung zu spät. Die von Schonland angegebene elektrische Steuerung auf Grund der Vorentladungsimpulse kommt nur zusammen mit einem trägeheitslosen, d. h. elektro-optischen Verschluss in Frage. Selbst in diesem Fall ist eine Öffnung nur der dem entstehenden Blitz

zugewandten Kamera kaum mit erschwinglichem Aufwand möglich. Es bleibt somit kaum ein anderes Mittel als das einer genügend langen Beobachtungsperiode. Dabei sollte nach Mitteln gesucht werden, die Empfindlichkeit der Photoschicht für Vorentladungen zu erhöhen.

Die drei genannten, praktisch wichtigsten Erkenntnislücken bedingen zu ihrer Erforschung reichlich Zeit und Geld. Anderseits scheint es nur auf diese Weise möglich, in jedem Fall, auf dem Berg und im Tal, die Bedeutung der beiden Blitzschutzprinzipien, nämlich der Erdung und des Faradaykäfigs, gegeneinander kostenmäßig abzuwagen und dadurch in allen Fällen den wirtschaftlichsten Blitzschutz zu verwirklichen.

Die vorstehend beschriebenen Blitz-Untersuchungen wurden mit den Einrichtungen und finanziellen Mitteln der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH) ausgeführt. Der Autor möchte nicht unterlassen, seinen Mitarbeitern für die grosse und treue Hilfe bestens zu danken. Es trifft dies vor allem H. Rutz, der zusammen mit seiner Gattin die Meßstation auf dem San Salvatore mit grösster Gewissenhaftigkeit und Liebe betreut, und sodann W. Baumann, der sowohl bei der Konstruktion der verwendeten Messeinrichtungen wie bei der Auswertung der bereits heute recht ansehnlichen oszillographischen, Stäbchen- und Hörermessungen tatkräftig mitgearbeitet hat.

Literatur

- [1] Berger, K.: Die Messeinrichtungen für die Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV Bd. 46 (1955), Nr. 5, 5. März, S. 193...201.
- [2] Bossolasco, M.: La distribuzione dei temporali in Italia. Energia elettr. Bd 26 (1949), Nr. 11/12, November/Dezember, S. 717...729.
- [3] Israël, H.: Ein transportables Messgerät für schwere Ionen. Z. Geophys. Bd. 5 (1929), Nr. 8, S. 342...350.
- [4] Ambrosetti, F.: Luftelektrische Messungen in Locarno-Monti. Ann. schweiz. meteorol. Zentr.-Anst. Bd. 81 (1944), Anhang Nr 6, S. 12...18.
- [5] Wieland, W.: Lassen sich mit dem Ceraunographen die Gewitterzüge bestimmen? Verh. schweiz. naturf. Ges. Bd. 133 (1953), S. 78...82.
- [6] Berger, K.: Neuere Resultate der Blitzforschung in der Schweiz. Bull. SEV Bd. 38 (1947), Nr. 25, 13. Dez., S. 813...823.
- [7] Malan, D. J. und B. F. J. Schonland: The Electrical Processes in the Intervals between the Strokes of a Lightning Discharge. Proc. R. Soc. Lond. Sect. A, Bd. 206 (1951), Nr. 1085, 10. April, S. 145...163.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. K. Berger, Versuchsleiter der FKH, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Heutiger Stand des Mastfundamentbaus¹⁾

Von J. Killer, Baden

621.315.66.002.73

I. Anwendung und Auswirkung der neuen Berechnungsmethode für Mastfundamente

Die ersten Resultate der Versuche im Erdbau-laboratorium und im Gelände konnten beim Bau der 380-kV-Lukmanierleitung im Jahre 1948 verwertet werden. Die im Trasse dieser Leitung an verschiedenen Stellen wie in Amsteg, Sedrun, Medelser-tal, Lukmanierpasshöhe und Lavorgo und in ver-

schiedenen Böden wie festem Sand, Kies, Gehängeschutt, Moräne, fein geschieferter, verwitterter, zerklüfteter und kompakter Fels durchgeführten Kleinversuche lieferten die Unterlagen für die Be-messung der Fundamente.

¹⁾ siehe auch Killer, J.: Entwicklung im Mastfundamentbau. Bull. SEV Bd. 44 (1953), Nr. 17, S. 775...779. Müller, A. G. und R. Haefli: Die Zugverankerung im Baugrund unter besonderer Berücksichtigung der Fundationsprobleme des Freileitungsbau. Bull. SEV Bd. 44 (1953), Nr. 21, S. 905...922.